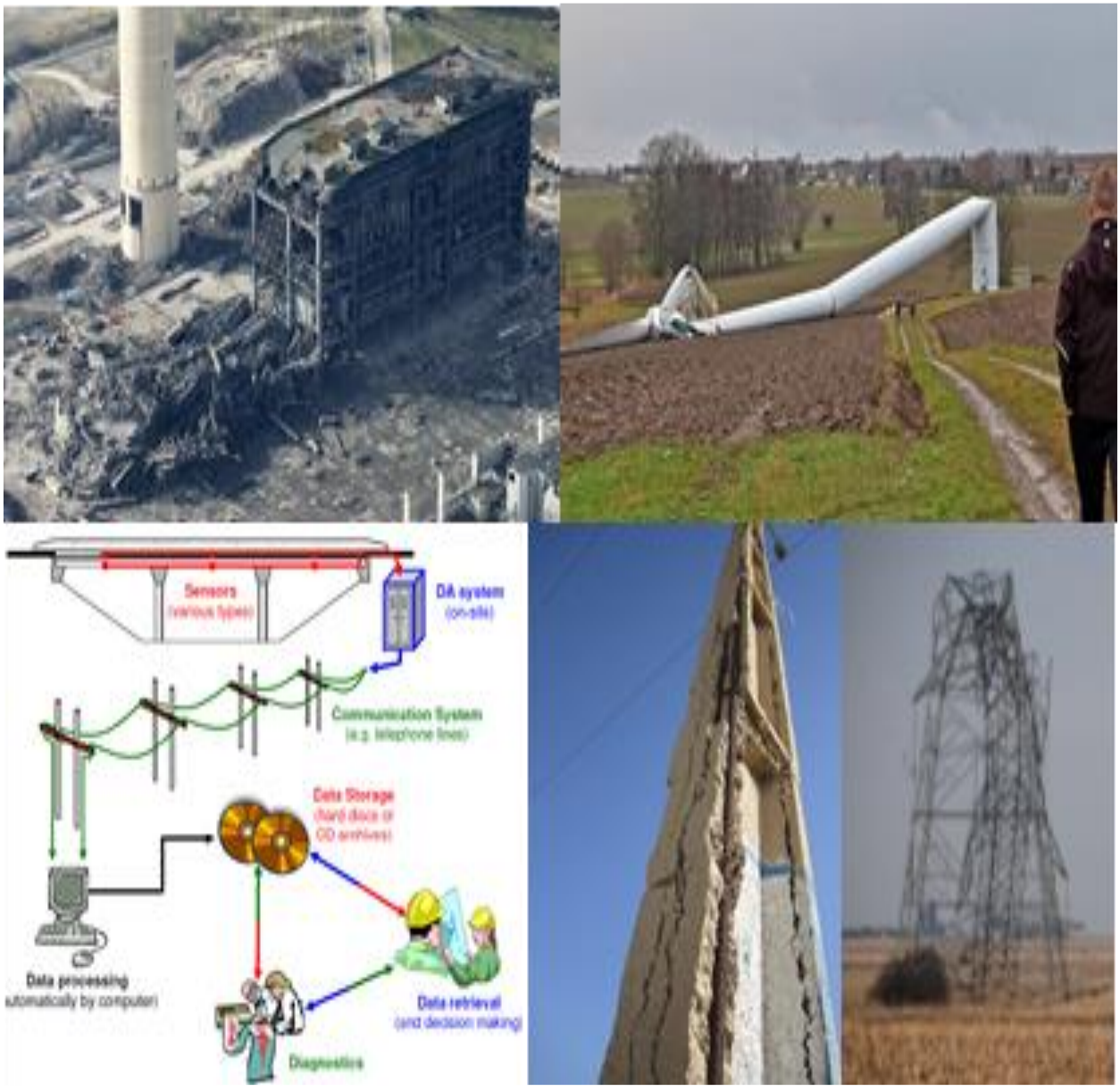
بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای



مدیر پروژه: محمدعلی جعفری

مجری: علیرضا رهنورد

NRI-ER-906-PPCVPN02-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.331


بسم الله الرحمن الرحيم

بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

مدیر پروژه:

محمدعلی جعفری

همکاران پروژه:

علیرضا رهنورد، علی‌اصغر ذکاوتی، امیر اکبری گرکانی

مجری:

علیرضا رهنورد

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

کد گزارش: NRI-ER-906-PPCVPN02-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.331

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها / محمدعلی جعفری. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱ .

۵۹۸. ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. رهنورد، علیرضا، مجری و همکار پروژه. ۲. ذکاوتی، علی‌اصغر، همکار پروژه. ۳. اکبری گرکانی، امیر، همکار پروژه. ۴. پایش سلامت سازه. ۵. سند راهبردی و نقشه راه.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

این‌جانب محمدعلی جعفری صحنه‌سرایی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی این‌جانب و همکاران به‌شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. علیرضا رهنورد

۲. علی‌اصغر ذکاوتی

۳. امیر اکبری گرکانی

پیشگفتار

پس از احداث زیرســـاخت‌های اصـــلی و حیاتی در صـــنایع مختلف، مهم‌ترین چالش پیش‌روی بهره‌برداران و مدیران و صـاحبان این صـنایع، حفظ و نگهداری آنها در شـرایط مطلوب کارکرد و خدمت‌رسـانی می‌باشـد. قطع کارکرد صـــنایع می‌تواند علل و منشـــأهای گوناگونی داشـــته باشـــد که از مهم‌ترین علل آن، وقوع انواع خرابی‌ها و آسـیب‌های فنی در بخش‌های مختلف صـنایع می‌باشـد. بخش‌های مختلف صـنعت برق نیز از این قاعده مسـتثنی نبوده و وقوع انواع خرابی‌ها و خسارات در قسمت‌های مختلف آنها، محتمل و متداول می‌باشد. بدلیل ویژگی خاص صنعت برق که وظیفه و نقش تأمین انرژی برای بسیاری از فعالیت‌ها و صنایع دیگر را عهده‌دار است، حفظ کارکرد و جلوگیری از توقف خدمت‌رســـانی آن (نســـبت به ســـایر صـــنایع) بســـیار ضـــروری و حیاتی اســـت. زیرا توقف خدمت‌رسانی صنعت برق از خاموشی‌های کوچک تا گسترده، علاوه بر خسارات مستقیم و غیرمستقیم که بر خود آن صـنعت وارد می‌کند، منجر به ایجاد وقفه و خسـارت در سـایر صـنایع و بخش‌های کشـور نیز شـده و پتانسـیل اعمال خسارات گسترده اقتصادی، سیاسی، امنیتی، اجتماعی و زیست‌محیطی را تا سطح ملی، دارا می‌باشد.

سازه‌های صـنعت برق به لحاظ شـرایط کارکرد خود جزء سازه‌های خاص و در معرض شـرایط محیطی و کاری خاص می‌باشـند که احتمال وقوع آسـیب‌ها و خرابی‌های پیش‌بینی نشـده را در مورد آنها (نسـبت به سـایر سـازه‌ها) افزایش می‌دهد. بنا به دلایل گوناگون، وقوع انواع آسـیب‌های موضـعی در سـطوح مختلف شـدت، در اجزای سـازه‌ای در طول عمر بهره‌برداری از آنها بسـیار محتمل بوده و موارد قابل ملاحظه‌ای از انواع آسـیب‌ها در سـازه‌های مختلف نیز مشـاهده شـده اسـت. بخصـوص با افزایش عمر سـازه، احتمال وقوع آسـیب در اجزای سـازه‌ای به مراتب بیشـتر خواهد شد. آسیب‌های سازه‌ای در صورت عدم توجه به رفع و تعمیر آنها می‌توانند گسترش یافته و در نهایت منجر به خرابی و فروریزش سازه شده و خسارات مالی و جانی سنگینی را به صاحبان خود تحمیل نماید. از سوی دیگر، حوادث طبیعی رخداده در طول عمر بهره‌برداری نیز یکی از منابع ایجاد آسیب و خرابی در اجزای سازه‌ای هستند. بر این اساس و با توجه به صرف سرمایه‌های کلان برای ساخت سازه‌ها و زیرساخت‌های کشور، لزوم پرداختن به حوزه پایش سلامت و نگهداری (مدیریت چرخه عمر) در سازه‌ها به جهت حفظ عملکرد و بهره‌برداری بهینه از آنها بطور روزافزونی احساس می‌شود. بسیاری از آسیب‌های ایجاد شده در سازه‌های صنعت برق، با اجرای یک برنامه مناسب مدیریت نگهداری در دوره عمر بهره‌برداری از آنها، پیش از رسیدن به مراحل بحرانی قابل تشخیص و رفع می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان از وقوع خسارات گسترده ناشی از فروریزش و خرابی کلی سازه‌ها جلوگیری نمود. بر این اســـاس، توســـعه دانش فنی و فناوری‌های مرتبط با پایش ســـلامت، ارزیابی عملکرد و راهکارهای تعمیر و بهســـازی ســـازه‌ها به منظور افزایش عمر مفید، افزایش تاب‌آوری و کاهش خســـارات و هزینه‌های ناشـــی از وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده در آنها، مورد نیاز می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، ضرورت توسعه و پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و نگهداری و حوزه‌های فنی مرتبط با آن در سـازه‌های صـنعت برق، بصـورت نظام‌مند و با لحاظ رویکردهای علمی و فناوری‌های نوین روشـن می‌گردد. با توجه به اینکه حوزه‌های فنی مرتبط با پایش سـلامت و نگهداری سـازه‌ها دارای کاربردهای وسـیع در حوزه‌های مختلف مهندسـی سـازه بوده و از طرف دیگر، نیاز به حوزه‌های گوناگونی از دانش علمی و فنی، تخصـص و فناوری دارد، تدوین سـند راهبردی ملی برای هماهنگ‌سـازی و جهت‌دهی به فعالیت‌های مورد نیاز توسـعه و در راسـتای افزایش کارایی و اثربخشی آنها، ضروری می‌باشد. در راستای تحقق ماموریت و اهداف پژوهشگاه نیرو در خصوص

مدیریت پژوهش‌های کاربردی در صنعت برق، سند راهبردی **"پایش سلامت سازه‌های صنعت برق روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه‌ی راه‌کارهای کاهش آن‌ها"** در گروه سازه‌های صنعت برق در سال ۱۳۹۴ تدوین گردید. پس از آغاز فرآیند اجرایی شدن سند از دی ماه ۱۳۹۶ و طی تعامل با شرکت‌های مادر تخصصی صنعت برق (در قالب کمیته راهبری سند) و کنش‌گران علمی و فنی (شرکت‌ها و دانشگاه‌ها)، تغییرات عمده‌ای در طرح‌ها و پروژه‌های زیرمجموعه سند از جنبه‌های مختلف فنی، زمان و بودجه آنها صورت گرفت. بر این اساس، ضرورت بازنگری کلی در محتوا و قالب سند وجود دارد. بر این اساس طبق دستورالعمل و راهنمای ابلاغی معاونت فناوری در خصوص بازنگری اسناد توسعه فناوری، بازنگری سند پایش سلامت سازه های صنعت برق در دستور کار قرار گرفته و طی پروژه حاضر، انجام گردید.

هدف اصلی این پروژه، به روزرسانی سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق (بطور خاص تقسیم‌بندی فعالیت‌های اجرایی سند در قالب طرح‌های مختلف و مناسب، خوشه‌بندی پروژه‌های هر طرح، تعیین عناوین پروژه‌ها به همراه بودجه و زمان آنها) در راستای انطباق بهتر پروژه‌ها با نیازمندی‌های جدید صنعت برق در حوزه‌های مرتبط، تعریف پروژه‌ها با نگرش محصول محور، اجتناب از فعالیت‌های تکراری و موازی، حذف همپوشانی‌های محتمل با سایر اسناد توسعه فناوری و تعامل بیشتر با ذینفعان، می‌باشد.

مدیر پروژه

محمدعلی جعفری صحنه‌سرایی

فهرست مطالب

پیشگفتار ۲

۱- بازنگری مبانی سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۱-۱- نگهداری و تعمیرات در سازه‌ها ۵

۱-۱-۱-۱- معرفی کلی پایش سلامت سازه‌ها و پیشینه آن ۹

۱-۱-۲- بررسی آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های مرتبط با صنعت برق ۱۳

۱-۱-۲-۱- بررسی موارد آسیب و خرابی سازه‌های صنعت برق در دنیا ۱۴

۱-۱-۲-۲- بررسی موارد آسیب و خرابی سازه‌های صنعت برق در ایران ۳۰

۱-۱-۳- پیشینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در دنیا ۴۷

۱-۱-۳-۱- نیروگاه‌های هسته‌ای ۴۸

۱-۱-۳-۲- نیروگاه‌های حرارتی ۵۰

۱-۱-۳-۳- نیروگاه‌های برق آبی (سدها) ۵۳

۱-۱-۳-۴- توربین‌های بادی ۵۷

۱-۱-۳-۵- دکل‌های انتقال برق ۶۱

۱-۱-۳-۶- پایه‌های توزیع برق ۶۶

۱-۱-۳-۷- پست‌های انتقال و توزیع برق ۷۰

۱-۱-۳-۸- نمونه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها در دنیا ۷۴

۱-۸-۳-۱-۱- تأمین بودجه تحقیقات در زمینه پایش سلامت سازه‌ها ۷۶

۱-۱-۴- پیشینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در ایران ۷۸

۱-۲- بازنگری ابعاد موضوع و محدوده مطالعات ۸۱

۱-۲-۱- بازنگری سطح تحلیل ۸۲

۱-۲-۲- به روزرسانی افق زمانی تحلیل ۸۲

۱-۲-۳- بازنگری مرزبندی و محدوده فنی مطالعات ۸۳

۱-۳-۲-۱- محدوده سند از نظر سازه‌های مورد مطالعه ۸۳

۱-۱-۳-۲-۱- سازه‌های بخش تولید برق ۸۳
۲-۱-۳-۲-۱- سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع برق ۸۴
۳-۱-۳-۲-۱- سازه‌های بخش توزیع برق ۸۵
۲-۳-۲-۱- محدوده سند از نظر حوزه‌های فنی تحت پوشش ۸۵
۳-۱- به روزرسانی ضرورت توسعه و دلایل توجیه‌پذیری پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۸۶
۱-۳-۱- ضرورت توسعه پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۸۶
۲-۳-۱- دلایل توجیه‌پذیری از بعد فنی ۹۱
۳-۳-۱- دلایل توجیه‌پذیری از بعد اقتصادی ۹۲
۱-۳-۳-۱- بررسی بازار پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها ۹۵
۲-۳-۳-۱- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای ۹۹
۳-۳-۳-۱- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی ۹۹
۴-۳-۳-۱- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در حوزه انتقال برق ۱۰۲
۵-۳-۳-۱- ارزش اقتصادی اطلاعات حاصل از پایش سلامت سازه‌ها ۱۰۳
۴-۳-۱- دلایل توجیه‌پذیری از بعد سیاسی اجتماعی ۱۰۴
۵-۳-۱- دلایل توجیه‌پذیری از بعد زیست‌محیطی ۱۰۶
۶-۳-۱- دلایل توجیه‌پذیری از بعد قانونی ۱۰۷
۱-۶-۳-۱- قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه کشور ۱۰۷
۲-۶-۳-۱- سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور ۱۰۹
۳-۶-۳-۱- سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو ۱۰۹
۴-۶-۳-۱- برنامه وزارت نیرو در دولت دهم ۱۱۱
۵-۶-۳-۱- مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور ۱۱۱
۶-۶-۳-۱- آرمان صنعت برق ۱۱۲
۷-۶-۳-۱- سیاست‌های کلی ابلاغی توسط مقام معظم رهبری در بخش پدافند غیرعامل ۱۱۵
۸-۶-۳-۱- سیاست‌های کلی تولید ملی، حمایت از کار و سرمایه ایرانی ۱۱۵
۹-۶-۳-۱- سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری ۱۱۶

۱-۶-۳-۱۰- سند "اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری مصوب کمیسیون‌های تخصصی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری" مصوبه‌ی سال ۱۳۹۰ ..... ۱۱۶
۱-۶-۳-۱۱- مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی ایران ۱۱۷
۱-۶-۳-۱۲- سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه (ابلاغی توسط مقام معظم رهبری – مصوب ۱۳۸۴/۰۲/۰۳) ۱۱۷
۱-۶-۳-۱۳- نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو ۱۱۹
۱-۶-۳-۱۴- جمع‌بندی بررسی اسناد بالادستی ۱۲۰
۱-۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲۰
۱-۵- منابع و مراجع فصل اول ۱۲۱
۲-به روزرسانی مطالعات هوشمندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها ۱۳۲
۲-۱- مقدمه ۱۳۳
۲-۲- شناسایی ابعاد مورد بحث در حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها ۱۳۳
۲-۲-۱- پایش سلامت سازه‌ها ۱۳۴
۲-۲-۱-۱- شناسایی سیستم و ارزیابی وضعیت سازه‌ها ۱۳۴
۲-۲-۱-۲- آشکارسازی و پیش‌بینی آسیب‌ها ۱۳۵
۲-۲-۲- ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها ۱۳۵
۲-۲-۲-۱- شناسایی و پایش شرایط و مخاطرات محیطی ۱۳۷
۲-۲-۳- ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر سازه‌ها ۱۳۹
۲-۲-۴- رویکردها و استراتژی‌های نوین نگهداری و تعمیرات ۱۴۱
۲-۳- شناسایی اجزا، زیرسیستم‌ها و فناوری‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها و راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها ۱۴۲
۲-۳-۱- انواع، روش‌ها و فناوری‌های مختلف بازدید و بازرسی ۱۴۲
۲-۳-۱-۱- بازدید چشمی ۱۴۲
۲-۳-۱-۲- روش‌های تصویربرداری، دورسنجی (RS) و پردازش تصاویر ۱۴۳
۲-۳-۱-۳- روش‌های پایش هندسی سازه‌ها ۱۴۵
۲-۳-۲- انواع، روش‌ها و فناوری‌های مختلف آزمون‌های غیرمخرب ۱۴۸

۱-۲-۳-۲- آزمون انتشار امواج صوتی (Acoustic Emission - AE) ۱۴۸
۲-۲-۳-۲- آزمون رادیوگرافی (Radiography Testing - RT) ۱۴۹
۳-۲-۳-۲- آزمون ذرات مغناطیسی (Magnetized Testing - MT) ۱۴۹
۴-۲-۳-۲- آزمون فراصوت (Ultrasonic Testing - UT) ۱۴۹
۵-۲-۳-۲- آزمون مایعات نافذ (Liquid Penetrant Testing - PT) ۱۴۹
۶-۲-۳-۲- آزمون الکترومغناطیس (Electromagnetic Testing - ET) ۱۵۰
۷-۲-۳-۲- آزمون نشتی (Leak Testing - LT) ۱۵۰
۸-۲-۳-۲- آزمون ترموگرافی یا مادون قرمز (Infrared Testing - IRT) ۱۵۰
۹-۲-۳-۲- آزمون نشت شار مغناطیسی (Magnetic Flux Leakage - MFL) ۱۵۰
۱۰-۲-۳-۲- آزمون‌های تعیین مقاومت و کیفیت بتن ۱۵۱
۱۱-۲-۳-۲- آزمون‌های نیمه‌مخرب تعیین مقاومت مصالح ۱۵۱
۱-۱۱-۲-۳-۲- آزمون تعیین مقاومت فولاد ۱۵۱
۲-۱۱-۲-۳-۲- آزمون‌های مغزه‌گیری بتن ۱۵۱
۳-۳-۲- اجزا، زیرسیستم‌ها و مراحل فرآیند پایش سلامت سازه‌ها ۱۵۴
۱-۳-۳-۲- طراحی سیستم پایش سلامت سازه ۱۵۶
۱-۱-۳-۳-۲- تعیین اهداف پایش سازه ۱۵۶
۲-۱-۳-۳-۲- شناسایی سازه و آسیب‌های محتمل آن ۱۵۷
۳-۱-۳-۳-۲- ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی سازه و محدودیت‌های موجود ۱۵۷
۴-۱-۳-۳-۲- مدلسازی و تحلیل رفتار سازه ۱۵۸
۵-۱-۳-۳-۲- تعیین پارامترهای مورد نیاز برای پایش سلامت سازه ۱۶۱
۶-۱-۳-۳-۲- تعیین و انتخاب روش و الگوریتم‌های ریاضی پایش سلامت ۱۶۳
۷-۱-۳-۳-۲- طراحی شبکه سنسورها و سایر تجهیزات سخت‌افزاری ۱۷۱
۸-۱-۳-۳-۲- طراحی برنامه بهره‌برداری و نگهداری از سیستم پایش ۱۷۳
۲-۳-۳-۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز ۱۷۴
۳-۳-۳-۲- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها ۱۷۸
۱-۳-۳-۳-۲- پردازش و تمیز کردن داده‌ها ۱۸۰

۲-۳-۳-۳-۲- شناسایی بارها ۱۸۲
۳-۳-۳-۳-۲- استخراج ویژگی‌ها ۱۸۲
۴-۳-۳-۳-۲- تشخیص و شناسایی آسیب ۱۸۳
۴-۳-۳-۲- پیش‌بینی آسیب و تخمین عمر باقیمانده ۱۸۹
۵-۳-۳-۲- تجهیزات سخت‌افزاری مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها ۱۹۱
۱-۵-۳-۳-۲- انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها ۱۹۴
۴-۳-۲- راهکارهای تعمیر آسیب‌ها و مقاومسازی سازه‌ها ۱۹۹
۱-۴-۳-۲- مصالح نوین برای تعمیر سازه‌های بتنی ۱۹۹
۲-۴-۳-۲- روش‌های تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها ۲۰۱
۳-۴-۳-۲- راهکارهای جایگزینی، اسقاط و بازیافت سازه‌ها ۲۰۸
۴-۴-۳-۲- راهکارهای مقابله با سرقت نبشی در دکل‌های مشبک انتقال نیرو ۲۱۲
۴-۲- نگاشت (درخت) موضوع نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها ۲۱۴
۵-۲- آینده‌پژوهی حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها ۲۲۴
۱-۵-۲- روش‌های آینده‌پژوهی ۲۲۵
۱-۱-۵-۲- روش استنتاج روند ۲۲۵
۲-۱-۲-۲- روش دلفی ۲۲۶
۳-۱-۵-۲- روش سناریونویسی ۲۲۶
۴-۱-۵-۲- روش مدل‌سازی ۲۲۶
۵-۱-۵-۲- شبیه‌سازی‌ها و بازی‌ها ۲۲۷
۲-۵-۲- روند تحولات آینده در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها ۲۲۷
۳-۵-۲- حوزه‌های تحول در پایش سلامت سازه‌ها در آینده ۲۲۹
۱-۳-۵-۲- سنسورها و فناوری‌های نوین اندازه‌گیری و بازرسی ۲۳۱
۲-۳-۵-۲- تحولات در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) ۲۴۱
۳-۳-۵-۲- روش‌ها و الگوریتم‌های تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها ۲۴۲
۴-۳-۵-۲- پایش سلامت سازه‌ها و سازه‌های هوشمند ۲۴۳
۶-۲- انجام مطالعات بازار پایش سلامت سازه‌ها در کشور ۲۴۸

۲-۶-۱- تجزیه و تحلیل تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان داخلی ۲۴۸
۲-۶-۲- بررسی محیط کلان ۲۶۳
۲-۶-۳- بررسی تقاضا و مشتریان/بهرهبرداران ۲۶۵
۲-۶-۳-۱- روند گذشته و آینده حجم بازار ۲۶۵
۲-۶-۳-۱-۱- حوزه تولید ۲۶۵
۲-۶-۳-۱-۲- حوزه انتقال ۲۶۹
۲-۶-۳-۱-۳- حوزه توزیع ۲۷۲
۲-۶-۳-۲- کشش تقاضا ۲۷۴
۲-۷- بررسی و تحلیل قابلیتهای پژوهشگاه نیرو ۲۷۶
۲-۷-۱- دانش ۲۷۶
۲-۷-۲- نیروی انسانی ۲۷۹
۲-۷-۳- تجهیزات و سخت افزارها ۲۸۰
۲-۷-۴- از منظر سازمانی ۲۸۷
۲-۷-۴-۱- اختیارات و فعالیتهای دفتر تجاریسازی ۲۸۷
۲-۷-۴-۲- سیاستها و قوانین حاکم بر پژوهشگاه ۲۸۹
۲-۷-۴-۳- ساختارهای انگیزشی و پاداش پژوهشگاه نیرو ۲۹۱
۲-۷-۴-۴- ارتباطات و فعالیتهای شبکهسازی ۲۹۴
۲-۷-۴-۵- دسترسی به منابع مالی ۲۹۵
۲-۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۹۶
۲-۹- منابع و مراجع فصل دوم ۲۹۷
۳- به‌روزرسانی ارکان جهت ساز در سطح ملی و تدوین ارکان جهت ساز در سطح پژوهشگاه نیرو ۳۰۵
۳-۱- به‌روزرسانی چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی ۳۰۶
۳-۱-۱- چهارچوب نظری در خصوص تدوین و تبیین بیانیه چشم‌انداز ۳۰۷
۳-۱-۱-۱- تعریف چشم‌انداز ۳۰۷
۳-۱-۱-۲- ویژگی‌های یک چشم‌انداز مطلوب ۳۰۸
۳-۱-۱-۳- ضرورت تدوین چشم‌انداز ۳۰۹

۳-۱-۱-۴- انواع چشم‌اندازها ۳۰۹
۳-۱-۱-۵- روش‌های تبیین بیانیه چشم‌انداز ۳۱۱
۳-۱-۲- فرایند تدوین چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به روش منتخب.۳۱۲
۳-۱-۲-۱- نتایج حاصل از بررسی اسناد بالادستی ۳۱۴
۳-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای مختلف ۳۱۶
۳-۱-۳-۱- سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP) ۳۱۷
۳-۱-۳-۲- سازمان انرژی باد اروپا (EWEA) ۳۱۸
۳-۱-۳-۳- شبکه اروپایی ارزیابی، پایش و کنترل سازه‌ها (SAMCO) ۳۱۸
۳-۱-۳-۴- سازمان جهانی هواشناسی (WMO) ۳۱۹
۳-۱-۳-۵- مؤسسه تحقیقات مهندسی زلزله (EERI) ۳۲۰
۳-۱-۳-۶- برنامه ملی کاهش خطر زلزله (NEHRP) ۳۲۰
۳-۱-۳-۷- آژانس فدرال مدیریت بحران (FEMA) ۳۲۱
۳-۱-۴- ارائه بیانیه اولیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۲۲
۳-۱-۵- اصلاح بیانیه چشم‌انداز بر اساس نظرات خبرگان و ارائه بیانیه نهایی ۳۲۵
۳-۲- به‌روزرسانی اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی ۳۲۷
۳-۲-۱- چارچوب نظری تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۲۷
۳-۲-۱-۱- حوزه‌های اهداف تعیین شده ۳۲۸
۳-۲-۱-۲- دریافت ورودی از نظرات خبرگان همراستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی، هوشمندی فناوری ۳۲۹
۳-۲-۱-۳- تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی ۳۲۹
۳-۲-۱-۴- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان ۳۳۰
۳-۲-۱-۵- دریافت بازخورد ۳۳۰
۳-۲-۲- فرآیند بازبینی اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۳۱
۳-۲-۲-۱- مراحل تدوین اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۳۱
۳-۲-۲-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش توجیه‌پذیری ۳۳۲
۳-۲-۲-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی چشم‌انداز تدوین شده ۳۳۳

۳-۱-۲-۲-۳- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی..... ۳۳۳
۳-۲-۳- اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق..... ۳۳۵
۳-۳- به‌روزرسانی راهبردهای سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی..... ۳۳۹
۳-۳-۱- اولویت‌بندی سامانه‌ها و تأسیسات اصلی صنعت برق بر اساس تحلیل جذابیت-توانمندی..... ۳۴۰
۳-۳-۱-۱- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی..... ۳۴۲
۳-۳-۱-۲- ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در تأسیسات و سامانه‌های اصلی صنعت برق ۳۴۳
۳-۳-۱-۳- تحلیل نتایج..... ۳۴۷
۳-۳-۱-۴- ماتریس جذابیت-توانمندی توسعه پایش سلامت سازه در سامانه‌های اصلی صنعت برق. ۳۴۸
۳-۳-۱-۵- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت-توانمندی..... ۳۴۹
۳-۳-۲- اولویت‌بندی سازه‌های موجود در سامانه‌های اولویت‌دار صنعت برق بر اساس تحلیل جذابیت-توانمندی ۳۵۲
۳-۳-۳- اولویت‌بندی منطقه‌ای سامانه‌های صنعت برق در سطح کشور برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها ۳۵۵
۳-۳-۴- اولویت‌بندی مخاطرات محیطی برای ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر آنها ۳۵۸
۳-۳-۵- تعیین روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت سازه در صنعت برق..... ۳۵۹
۳-۳-۵-۱- روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق..... ۳۵۹
۳-۳-۵-۲- روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق..... ۳۶۲
۳-۳-۶- راهبرد کلان بازنگری شده برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق ۳۶۳
۳-۴- تدوین ارکان جهتساز سند در سطح پژوهشگاه نیرو..... ۳۶۴
۳-۴-۱- تدوین ماموریت (نقش و جایگاه) پژوهشگاه نیرو در توسعه پایش سلامت سازههای صنعت برق. ۳۶۴
۳-۴-۱-۱- بررسی قوانین و اسناد بالادستی..... ۳۶۵
۳-۴-۱-۲- چشمانداز و اهداف کشور در حوزه فناورانه پایش سلامت سازه صنعت برق..... ۳۶۶
۳-۴-۱-۳- تحلیل اکوسیستم فناورانه..... ۳۶۸

۴-۱-۴-۳- بررسی نظرات ذینفعان ۳۶۹
۵-۱-۴-۳- بررسی نظرات خبرگان ۳۷۰
۲-۴-۳- تدوین چشمانداز پژوهشگاه در حوزه پایش سلامت سازهها ۳۷۱
۳-۴-۳- تدوین اهداف پژوهشگاه در توسعه پایش سلامت سازهها ۳۷۴
۴-۴-۳- تدوین راهبردهای پژوهشگاه در توسعه پایش سلامت سازهها ۳۷۵
۵-۳- جمع‌بندی ۳۷۶
۶-۳- منابع و مراجع فصل سوم ۳۷۹
پیوست شماره ۱: پرسشنامه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها ۳۸۲
پیوست شماره ۲: پرسشنامه اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها ۳۸۴
پیوست شماره ۳: پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق ۳۸۶
۴-بازنگری برنامه اقدامات ۳۹۴
۱-۴- مقدمه ۳۹۵
۲-۴- چارچوب نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند ۳۹۵
۱-۲-۴- تعاریف و مفاهیم سیاستگذاری ۳۹۶
۱-۱-۲-۴- ویژگیها و اصول تدوین سیاستهای کلان ۳۹۸
۲-۱-۲-۴- طراحی سیاست کلان ۴۰۰
۳-۱-۲-۴- فرایند تدوین سیاست ۴۰۲
۲-۲-۴- نظام نوآوری فناورانه ۴۰۳
۱-۲-۲-۴- کارکردها در نظام نوآوری فناورانه ۴۰۵
۲-۲-۲-۴- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه ۴۱۵
۳-۲-۲-۴- مشکلات سیستمی در نظام نوآوری فناورانه و ابزارهای سیاستی برای رفع آنها ۴۱۸
۳-۴- به‌روزرسانی سیاست‌ها و اقدامات توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ۴۲۸

۴-۳-۱- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی ۴۲۹
۴-۳-۱-۱- شناسایی وضعیت موجود توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳۰
۴-۳-۱-۱-۱- بازیگران نظام توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳۰
۴-۳-۱-۱-۲- شناسایی مرحله توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳۱
۴-۳-۱-۲- شناسایی وضعیت مطلوب توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳۴
۴-۳-۱-۳- شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و تدوین سیاست‌ها و اقدامات ۴۳۵
۴-۳-۲- فرایند تدوین اقدامات فنی ۴۴۱
۴-۴- اقدامات کلان مورد نیاز در سطح ملی برای توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۴۱
۴-۴-۱- سیاست‌ها و اقدامات غیرفنّی ۴۴۱
۴-۴-۲- اقدامات فنی ۴۴۵
۴-۵- اقدامات مورد نیاز در سطح پژوهشگاه نیرو برای توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۴۶
۴-۵-۱- اقدامات غیرفنّی ۴۴۷
۴-۵-۲- اقدامات فنی-پژوهشی ۴۵۲
۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۴۵۴
۴-۷- منابع و مراجع فصل چهارم ۴۵۵
۵- به‌روزرسانی رهنگاشت (نقشه‌راه) و برنامه عملیاتی (در سطح پژوهشگاه) ۴۵۶
۵-۱- مقدمه ۴۵۷
۵-۲- فرآیند تدوین پروژه‌های اجرایی ۴۵۷
۵-۲-۱- شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی ۴۵۸
۵-۲-۱-۱- مبنای شکستن اقدامات ۴۶۰
۵-۲-۱-۲- ابزارهای شکستن اقدامات ۴۶۱
۵-۲-۱-۳- بازنگری نهایی و انتخاب پروژه‌های اجرایی ۴۶۳
۵-۲-۲- فهرست پروژه‌های اجرایی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق ۴۶۳
۵-۳- تخصیص منابع ۴۶۷

۴-۵- تقسیم کار ملی (نگاشت‌نهادی مطلوب) ۴۷۴
۱-۴-۵- نگاشت نهادی ۴۷۵
۱-۱-۴-۵- انواع نقش‌ها در نگاشت نهادی ۴۷۶
۲-۱-۴-۵- مراحل طراحی نگاشت نهادی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۷۷
۳-۱-۴-۵- تحلیل نگاشت نهادی ۴۷۹
۲-۴-۵- تخصیص متولیان اقدامات ۴۸۱
۵-۵- ترسیم ره‌نگاشت ۴۸۵
۶-۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۴۹۲
پیوست ۱: شناسنامه اقدامات غیر فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۹۳
پیوست ۲: شناسنامه پروژه‌های فنی طرح‌های زیرمجموعه سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۱۱
پیوست ۳: معرفی اجمالی نهادهای مرتبط با نگاشت نهادی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۴۹
۷-۵- منابع و مراجع فصل پنجم ۵۶۲
۶-بازنگری برنامه ارزیابی و به روزرسانی ۵۶۳
۱-۶- مقدمه ۵۶۴
۲-۶- ارزیابی سیاست و هم‌راستایی ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها ۵۶۴
۱-۲-۶- ارزیابی سیاست ۵۶۵
۲-۲-۶- همراستایی ارزیابی با اقدامات و برنامه‌ها ۵۶۶
۳-۶- قالب‌های ارزیابی سیاست و تحلیل تأثیرات ۵۶۸
۱-۳-۶- مقایسه وضعیت قبل و بعد از برنامه ۵۶۹
۲-۳-۶- مقایسه روند گذشته و وضعیت بعد برنامه ۵۶۹
۳-۳-۶- مقایسه وضعیت در دو حالت بود یا نبود برنامه ۵۶۹
۴-۳-۶- مقایسه وضعیت گروه‌های کنترل و آزمایشی قبل و بعد از اجرای برنامه ۵۷۰
۴-۶- گام‌های عمومی ارزیابی سیاست و انواع روش‌های ارزیابی ۵۷۱
۱-۴-۶- پیمایش نوآوری ۵۷۲
۲-۴-۶- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌سازی اقتصاد کلان و شبیه‌سازی ۵۷۵

۶-۴-۲-۱- شرایط استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی کلان ۵۷۵
۶-۴-۲-۲- مراحل استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی ۵۷۵
۶-۴-۳- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌های اقتصادسنجی خرد ۵۷۷
۶-۴-۳-۱- شرایط استفاده از روش اقتصاد سنجی خرد ۵۷۸
۶-۴-۳-۲- مراحل پیاده‌سازی مدل ۵۷۸
۶-۴-۳-۳- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها ۵۷۹
۶-۴-۴- مدل‌های اقتصادسنجی: اندازه‌گیری بهره‌وری ۵۷۹
۶-۴-۴-۱- روش انجام ۵۸۰
۶-۴-۴-۲- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها ۵۸۰
۶-۴-۵- ارزیابی توسط خبرگان ۵۸۱
۶-۴-۵-۱- شرایط استفاده از خبرگان ۵۸۱
۶-۴-۵-۲- روش انجام روش استفاده از خبرگان ۵۸۱
۶-۴-۵-۳- داده‌های مورد نیاز ۵۸۲
۶-۴-۵-۴- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها ۵۸۲
۶-۴-۶- مطالعه میدانی و مطالعه موردی ۵۸۳
۶-۵- جمع‌بندی و ارائه روش پیشنهادی برای ارزیابی ۵۸۳
۶-۵-۱- تدوین شاخصهای ارزیابی کارایی و اثربخشی ۵۸۴
۶-۵-۲- تدوین مکانیزم ارزیابی ۵۸۴
۶-۵-۳- تدوین ساختار نظارت و بهروزرسانی ۵۸۶
۶-۶- فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۸۷
۶-۶-۱- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی ۵۸۷
۶-۶-۱-۱- تعریف شاخص‌های سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۸۸
۶-۷- تدوین ساختار نظارت، به‌روزرسانی و مکانیزم ارزیابی ۵۹۲
۶-۷-۱- ساختار نظارت و به‌روزرسانی ۵۹۲
۶-۷-۲- مکانیزم عملکرد ۵۹۴
۶-۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۵۹۵

۹-۶- منابع و مراجع فصل ششم ۵۹۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: مراحل روش شناسی مورد استفاده در بازنگری سند [۹۲] ۵
شکل ۱-۲: فازهای چرخه عمر یک دارایی ۶
شکل ۳-۱: فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس، مینسوتا، ایالات متحده امریکا ۱۱
شکل ۴-۱: فروریزش برج خنک‌کن در نیروگاه FERRYBRIDGE انگلستان-۱۹۶۵ ۱۵
شکل ۵-۱: آسیب‌های (ترک) ایجاد شده در برج خنک‌کن در نیروگاه PTOLEMAI¨S یونان ۱۶
شکل ۶-۱: تخریب بخشی از سازه برج خنک‌کن تر در نیروگاه UREA هندوستان-۲۰۰۷ ۱۶
شکل ۷-۱: تخریب بخشی از سازه برج خنک‌کن تر در نیروگاه MUJA استرالیا-۲۰۱۴ ۱۷
شکل ۸-۱: تخریب بخشی از سازه نگهدارنده بویلر در نیروگاه DIDCOT انگلستان-۲۰۱۶ ۱۷
شکل ۹-۱: فرو ریختن توربین بادی در کانزاس- ۲۰۱۴ ۱۹
شکل ۱۰-۱: فرو ریختن توربین بادی در آلمان- ۲۰۱۷ ۱۹
شکل ۱۱-۱: فرو ریختن توربین بادی در تایوان در اثر طوفان- ۲۰۰۸ ۲۰
شکل ۱۲-۱: حالات خرابی در توربین‌های بادی در دنیا-۱۲ درصد خرابی‌ها در سازه توربین [۷۰] ۲۰
شکل ۱۳-۱: آسیب ایجاد شده (ترک) در بتن فونداسیون توربین بادی ۲۱
شکل ۱۴-۱: گسیختگی پشت سر هم در خط انتقال بر اثر طوفان یخی در نبراسکا- ۲۰۰۷ ۲۲
شکل ۱۵-۱: فروریختن دکل‌های خطوط انتقال و توزیع در کانادا تحت اثر طوفان یخ ۲۲
شکل ۱۶-۱: گسیختگی پشت سر هم در خط انتقال بر اثر بار ناشی از برف مرطوب در آلمان- ۲۰۰۵ ۲۳
شکل ۱۷-۱: شکست دکل انتقال در اثر طوفان مایکل در آمریکا- ۲۰۱۸ ۲۳
شکل ۱۸-۱: فرونشست زمین و تاثیر آن بروی پی دکلهای برق در جزیره SHERMAN امریکا ۲۴
شکل ۱۹-۱: شکست دکل انتقال در اثر رانش زمین ناشی از زلزله در چین-۲۰۰۸ ۲۴
شکل ۲۰-۱: فرو ریختن دکل انتقال برق در زلزله شیلی به دلیل ضعف فونداسیون-۲۰۱۰ ۲۵
شکل ۲۱-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در چین-۲۰۰۸ ۲۶
شکل ۲۲-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در تایوان-۱۹۹۹ ۲۶
شکل ۲۳-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در شیلی-۲۰۱۰ ۲۷
شکل ۲۴-۱: شکست پایه چوبی توزیع در کانزاس در اثر طوفان یخی- ۲۰۰۷ ۲۸
شکل ۲۵-۱: شکست پایه‌های شبکه توزیع در اثر طوفان در آمریکا- ۲۰۱۸ ۲۸

شکل ۲۶-۱: شکست پایه شبکه توزیع در اثر طوفان مایکل در آمریکا- ۲۰۱۸ ..... ۲۹
شکل ۲۷-۱: روانگرایی در نزدیکی پایه پل و کج شدن تیر برق در نزدیکی آن در ژاپن- ۲۰۰۷ ..... ۲۹
شکل ۲۸-۱: کج شدن پایه توزیع در اثر رانش زمین در ژاپن- ۲۰۰۷ ..... ۳۰
شکل ۲۹-۱: نشست زمین اطراف شالوده پایه‌های بویلر نیروگاه لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹ ..... ۳۱
شکل ۳۰-۱: شکستگی نشیمن‌گاه خرپای سقف واحد نیروگاهی لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹ ..... ۳۱
شکل ۳۱-۱: آسیب در بتن فونداسیون توربین-نیروگاه بعثت-۱۳۹۸ ..... ۳۲
شکل ۳۲-۱: شکست و سقوط توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در یکی از مزارع بادی کشور ۳۳
شکل ۳۳-۱: خرابی دکل انتقال در اثر برف سنگین در ملایر- ۱۳۹۵ ..... ۳۳
شکل ۳۴-۱: آسیب‌های دکل شماره ۲۵ از خط ۲۳۰ کیلو ولت رشت-لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹ ..... ۳۴
شکل ۳۵-۱: دکل برق تخریب شده در زلزله کرمانشاه-۱۳۹۶ ..... ۳۴
شکل ۳۶-۱: وقوع رانش زمین و خرابی دکل فشار قوی در کردستان- ۱۳۹۵ ..... ۳۵
شکل ۳۷-۱: شکست مقره‌های پست در بم در اثر زلزله-۱۳۸۲ ..... ۳۶
شکل ۳۸-۱: خرابی سازه نگهدارنده تجهیزات در پست بم در اثر زلزله-۱۳۸۲ ..... ۳۶
شکل ۳۹-۱: نمونه‌ای از تخریب پست‌های زمینی در زلزله منجیل- ۱۳۶۹ ..... ۳۶
شکل ۴۰-۱: وجود آسیب (ترک در جان و کنده شدن قسمتی از بتن) در پایه توزیع برق ۳۷
شکل ۴۱-۱: وجود آسیب (شکستگی و ریختن بتن) در پایه بتنی توزیع برق-تهران ۱۳۹۹ ..... ۳۸
شکل ۴۲-۱: زوال بتن و میلگرد در اثر رطوبت در جنوب کشور ۳۸
شکل ۴۳-۱: ریختن پوشش بتن و خوردگی میلگرد-بوشهر-۱۳۹۲ ..... ۳۹
شکل ۴۴-۱: جداشدگی و ریزش پوشش بتن در اثر خوردگی میلگرد در پایه بتنی پیش تنیده ۴۰
شکل ۴۵-۱: کج شدن پایه توزیع در اثر وقوع رانش زمین در گرگان-۱۳۹۱ ..... ۴۱
شکل ۴۶-۱: سقوط تیرهای برق در اثر رانش زمین در کلاردشت- ۱۳۹۴ ..... ۴۱
شکل ۴۷-۱: شکستگی پایه بتنی ناشی از باد ۴۲
شکل ۴۸-۱: شکست پایه بتنی در اثر طوفان در تهران-۱۴۰۰ ..... ۴۲
شکل ۴۹-۱: شکستن پایه تیرهای برق در اثر برف سنگین در همدان-۱۳۹۵ ..... ۴۳
شکل ۵۰-۱: شکستگی و کج شدن تیرهای برق در اثر وقوع سیل در شهر بابک- ۱۳۹۵ ..... ۴۳
شکل ۵۱-۱: شکستگی در تیرهای برق در اثر وقوع سیل در تنکابن- ۱۳۹۴ ..... ۴۴

شکل ۵۲-۱: خرابی تیرهای برق در اثر وقوع سیل در زنجان- ۱۳۹۵ ..... ۴۴
شکل ۵۳-۱: شستهشدن پایه تیرهای برق در اثر وقوع سیل در خراسان جنوبی- ۱۳۹۲ ..... ۴۵
شکل ۵۴-۱: شکست پایه توزیع در زلزله بم-۱۳۸۲ ..... ۴۵
شکل ۵۵-۱: شکست پایه‌های توزیع در زلزله بم-۱۳۸۲ ..... ۴۶
شکل ۵۶-۱: وضعیت پایه بتنی تخریب شده بر اثر زلزله بوشهر در سال ۱۳۹۵ بعد از نصب پایههای جدید ۴۶
شکل ۵۷-۱: صدمه وارد بر پایه در اثر تصادف وسیله نقلیه – نمونه‌ای از مخاطرات انسانی ۴۷
شکل ۵۸-۱: تولید انرژی الکتریکی در دنیا به تفکیک منابع-۲۰۱۸ ..... ۵۰
شکل ۵۹-۱: بازرسی و تعیین آسیب‌های برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت SITES (فرانسه) ۵۱
شکل ۶۰-۱: نمونه آسیب‌های شناسایی شده در برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت SITES (فرانسه) ۵۲
شکل ۶۱-۱: پایش سلامت برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت ZPP (آلمان) ۵۲
شکل ۶۲-۱: پایش سلامت سازه‌های نیروگاهی توسط شرکت VCE (اتریش) ۵۳
شکل ۶۳-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد وزنی ۵۵
شکل ۶۴-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد قوسی بتنی ۵۵
شکل ۶۵-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی یک دایک ۵۶
شکل ۶۶-۱: نمایی از سد وزنی PLAVINU HES ۵۶
شکل ۶۷-۱: نمایی از سد قوسی EMOSSON ۵۷
شکل ۶۸-۱: نمایی از سد قوسی LUZZONE ۵۷
شکل ۶۹-۱: توربین‌های بادی تجهیز شده با سنسورهای وایرلس، A) NEG MICON و B) VESTAS (در کشور آلمان) ۶۰
شکل ۷۰-۱: ساختار سیستم SHM برای توربین بادی ۵۰۰ کیلووات ۶۰
شکل ۷۱-۱: سیستم پایش پایه های تلسکوپی توزیع و انتقال برق ۶۲
شکل ۷۲-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق [۴۹] ۶۳
شکل ۷۳-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق (تایوان) ۶۴
شکل ۱–۷۴: تشخیص آسیب در پایه بتنی با استفاده از تست اولتراسونیک ۶۸
شکل ۱–۷۵: تشخیص آسیب در پایه‌های چوبی با استفاده از امواج هدایت شده و آرایه سنسورها ۶۹
شکل ۱–۷۶: تشخیص آسیب در پایه چوبی با استفاده از روش‌های پیشرفته پردازش سیگنال حاصل از امواج هدایت شده [۹۹] ۶۹

شکل ۱–۷۷: تشخیص آسیب در پایه چوبی با استفاده از دستگاه مقاومت سنج–شرکت ALAMON ۷۰
شکل ۷۸-۱: آزمون دینامیکی (میز زلزله) ارزیابی عملکرد لرزه‌ای بوشینگ ترانسفورماتور قدرت (PEER) ۷۱
شکل ۷۹-۱: آزمایش ارتعاش محیطی جهت شناسایی مشخصات دینامیکی ترانسفورماتور قدرت (PEER) ۷۱
شکل ۸۰-۱: استفاده از اتصال انعطاف پذیر جهت کاهش خسارات تجهیزات متصل به هم در زلزله (PEER) ۷۲
شکل ۸۱-۱: مقاومسازی بوشینگ ترانسفورماتور در برابر نشت روغن ناشی از زلزله (PEER) ۷۲
شکل ۸۲-۱: نمونه آزمایشگاهی برای جداسازی پایه ترانسفورماتور قدرت با سیستم جداگر آونگ اصطکاکی (PEER) ۷۳
شکل ۸۳-۱: مقاومسازی ترانسفورماتور قدرت ۴۶۰ کیلوولت با استفاده از جداساز پاندول اصطکاکی–ونکوور (MCEER) ۷۳
شکل ۸۴-۱: استفاده از میراگرهای اصطکاکی برای کنترل ارتعاشات تجهیزات پست برق با ولتاژ بالا–شیلی ۷۴
شکل ۸۵-۱: میراگرهای انرژی برای مقاومسازی لرزه‌ای تجهیزات پست ۴۰۰ کیلوولت قائنات (پژوهشگاه نیرو) ۸۱
شکل ۸۶-۱: دستورالعمل ارزیابی عملکرد و بهسازی شبکه توزیع در برابر زلزله (پژوهشگاه نیرو) ۸۱
شکل ۸۷-۱: توزیع نیروگاه‌های حرارتی کشور در مناطق با خطر لرزه‌ای مختلف [۱۰۲] ۸۸
شکل ۸۸-۱: توزیع تعداد نیروگاه‌های حرارتی کشور واقع در مناطق با خطر لرزه‌ای مختلف [۱۰۲] ۸۹
شکل ۸۹-۱: توزیع نیروگاه‌های حرارتی کشور واقع در مناطق با خطر فرونشست زمین (مناطق با رنگ بنفش) ۸۹
شکل ۹۰-۱: ارزش جهانی بازار پایش سلامت سازه‌ها و پیش‌بینی روند رشد آن ۹۵
شکل ۹۱-۱: سن نیروگاه‌های حرارتی کشور [۷۴] ۹۷
شکل ۹۲-۱: نمودار فراوانی نسبی سن خطوط انتقال و فوق توزیع کشور (برگرفته از آمار صنعت برق) ۹۸
شکل ۹۳-۱: آنالیز هزینه–سود استفاده از سنسور به منظور پایش سلامت توربین بادی ۱۰۰
شکل ۹۴-۱: آنالیز حساسیت نقطه سر به سر به قیمت سیستم سنسورها ۱۰۱
شکل ۹۵-۱: توزیع احتمال اختلاف هزینه چرخه عمر پره در دو حالت بازرسی چشمی و پایش آنلاین SHM ۱۰۲
شکل ۹۶-۱: تجمع مردم خوزستان بدلیل قطعی برق ۱۰۵
شکل ۹۷-۱: سقوط تیر برق بر اثر وزش باد در زاهدان و کشته شدن یکی از پرسنل ۱۰۶
شکل ۱-۲: منحنی عملکرد سازه در دوره عمر و اثر آسیب‌های تدریجی و ناگهانی بر عملکرد [۴۵] ۱۳۷
شکل ۲-۲: به‌روزرسانی منحنی عملکرد و برنامه مدیریت نگهداری سازه با استفاده از اطلاعات حاصل از پایش سلامت و ارزیابی وضعیت سازه [۴۵] ۱۳۷
شکل ۳-۲: برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات و اثر آنها بر منحنی عملکرد و افزایش عمر سازه [۵۲] ۱۴۰
شکل ۴-۲: استفاده از پردازش تصاویر رنگی در تشخیص ترک‌خوردگی مقره (نقاط قرمز ترک‌خوردگی دارند) ۱۴۴

شکل ۵-۲: دسته‌بندی روش‌های مرسوم در پایش سلامت SHM ۱۶۴
شکل ۶-۲: فرکانس‌های ارتعاش طبیعی سیستم در دوحالت سالم و دارای خرابی (تغییرشکل پلاستیک) ۱۶۶
شکل ۷-۲: تغییرات فرکانس طبیعی اول سیستم نسبت به میزان خرابی (کاهش سختی فنر) ۱۶۶
شکل ۸-۲: تشخیص آسیب در یک اتصال پیچی در مقیاس آزمایشگاهی با روش مبتنی بر امپدانس ۱۶۸
شکل ۹-۲: مشخص شدن محل نشت در خطوط لوله با پایش تغییرات دما ۱۶۹
شکل ۱۰-۲: تغییر در تاریخچه کرنش در اثر خرابی (تغییرشکل پلاستیک) ۱۷۰
شکل ۱۱-۲: تعریف محدوده‌های هشدار بر اساس اندازه‌گیری تغییرمکان ۱۷۱
شکل ۱۲-۲: نکات و الزامات قابل توجه در فرآیند نصب سنسورها ۱۷۶
شکل ۱۳-۲: فلوچارت سیستم گیرنده داده‌ها با حالات مختلف انتقال و پردازش سیگنال از سنسورها به بخش پردازش داده‌ها ۱۷۸
شکل ۱۴-۲: فلوچارت آنالیز داده‌ها برای پایش سلامت سازه (SHM) [۳] ۱۸۰
شکل ۱۵-۲: A) تاریخچه زمانی با اضافه بارگذاری و بخش‌های مختلفی از پاسخ سازه با دامنه کم B) داده‌های فیلتر و نرمالایز شده به حداکثردامنه پاسخ [۳] ۱۸۱
شکل ۱۶-۲: سطوح مختلف پایش سلامت سازه (SHM) ۱۸۴
شکل ۱۷-۲: فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها [۵] ۱۹۰
شکل ۱۸-۲: اجزای اصلی سیستم پایش سلامت سازه ۱۹۱
شکل ۱۹-۲: تجهیزات مورد استفاده در نمونه‌ای ساده از یک سیستم پایش سلامت سازه ۱۹۴
شکل ۲۰-۲: انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده برای SHM با توجه به نوع کاربرد: مقایسه بین مهندسی عمران و هوافضا ۱۹۵
شکل ۲۱-۲: نمونه یک شتاب سنج دومحوری ADXL ۱۹۶
شکل ۲۲-۲: نمونه یک شتاب سنج سه محوری MEMS ۱۹۷
شکل ۲۳-۲: نمونه یک کرنش سنج مقاومتی ۱۹۷
شکل ۲۴-۲: نمونه یک کرنش سنج فیبرنوری ۱۹۸
شکل ۲۵-۲: نمونه یک دما سنج فیبرنوری ۱۹۸
شکل ۲۶-۲: نمونه یک سنسور دوران ۱۹۸
شکل ۲–۲۷: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با FRP [۸۱] ۲۰۴

شکل ۲–۲۸: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با ژاکت بتنی [۸۲] ۲۰۴
شکل ۲–۲۹: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با ژاکت فولادی [۸۳] ۲۰۵
شکل ۲–۳۰: مقاومسازی قسمت مدفون و فونداسیون پایه چوبی با بتن [۸۴] ۲۰۵
شکل ۲–۳۱: مقاومسازی پایه توزیع با FRP [۸۵] ۲۰۶
شکل ۲–۳۲: مقاومسازی پایه توزیع با FRP [۸۶] ۲۰۶
شکل ۲–۳۳: مقاومسازی و تقویت موقت پایه چوبی توزیع با ژاکت فولادی موقت (ماژولار) [۸۷] ۲۰۷
شکل ۲–۳۴: استفاده از میراگرهای اصطکاکی برای کنترل ارتعاشات تجهیزات پست برق با ولتاژ بالا-شیلی ۲۰۷
شکل ۲–۳۵: استفاده از میراگر فلزی برای مقاومسازی لرزه‌ای تجهیزات پست انتقال در نیشابور (پژوهشگاه نیرو) ۲۰۸
شکل ۲–۳۶: مقاومسازی ترانسفورماتور قدرت ۴۶۰ کیلوولت با استفاده از جداساز پاندول اصطکاکی-ونکوور [۸۸] ۲۰۸
شکل ۲–۳۷: مراحل تخریب یک برج خنک‌کن نیروگاهی در چین با انفجار کنترل شده [۹۷] ۲۱۱
شکل ۲-۳۸: نگاشت حوزه‌های فنی مرتبط با نگهداری و تعمیرات سازه‌ها ۲۱۵
شکل ۲-۳۹: نگاشت رویکردها، اجزا و فناوری‌های پایش سلامت سازه‌ها ۲۱۶
شکل ۲-۴۰: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی) ۲۱۸
شکل ۲-۴۱: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی) (ادامه) ۲۱۹
شکل ۲-۴۲: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی) (ادامه) ۲۲۰
شکل ۲-۴۳: نگاشت تجهیزات و ابزارهای پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM ۲۲۱
شکل ۲-۴۴: نگاشت سامانه‌های صنعت برق و سازه‌های آنها در بخش تولید برق ۲۲۲
شکل ۲-۴۵: نگاشت سامانه‌های صنعت برق و سازه‌های آنها در بخش‌های انتقال و توزیع برق ۲۲۳
شکل ۲-۴۶: اجزای فنی سیستم جامع مدیریت دوره عمر سازه‌ها [۲۶] ۲۳۰
شکل ۲-۴۷: سیستم‌های یکپارچه سنسورها برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۳] ۲۳۲
شکل ۲-۴۸: روند توسعه سیستم‌های مینیاتوری یکپارچه سنسورها [۲۳] ۲۳۳
شکل ۲-۴۹: شش نسل از سنسورهای بی سیم تولید شده برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۴] ۲۳۴
شکل ۲-۵۰: استفاده از کرنش سنج FOP در لایه ژئوتکستایل [۱۳] ۲۳۶
شکل ۲-۵۱: استفاده از پوشش نانو لولههای کربنی به عنوان سنسور حساس به کرنش ۲۳۷
شکل ۲-۵۲: استفاده از پهپاد در بازرسی خطوط انتقال و توزیع ۲۳۷
شکل ۲-۵۳: استفاده از پهپاد در بازرسی توربین بادی ۲۳۸

عیب پیدا شده در توربین بادی ۲۳۸
تصویر مقره خط انتقال ۲۳۸
شکل ۵۴-۲: نمونه‌هایی از تصاویر اخذ شده توسط پهپاد ۲۳۸
شکل ۵۵-۲: شکل شماتیک پایش یک دکل انتقال با روش‌های مختلف شامل سنسورهای ارتعاش و کرنش‌سنج، دوربین ویدئویی و پهپاد [۱۰۹] ۲۳۹
شکل ۵۶-۲: روبات‌های بازرسی (MIR) مورد استفاده در صنعت برق (چین) [۳۵] ۲۴۰
شکل ۵۷-۲: نمونه‌هایی از روبات‌های بازرسی (PTLIR) مورد استفاده در خطوط انتقال [۱۱۰] ۲۴۰
شکل ۵۸-۲: پایش ارتعاشات پل فولادی راه‌آهن با استفاده از دوربین راداری IBIS-FS [۳۹] ۲۴۱
شکل ۵۹-۲: استفاده از سنسورهای PH در داخل سازه بتنی برای تشخیص خوردگی ۲۴۳
شکل ۶۰-۲: شکل شماتیک اجزای یک سازه هوشمند [۱۱۱] ۲۴۵
شکل ۶۱-۲: سیر کلی تحول در سازه‌ها و مصالح آنها تا ظهور مصالح و سازه‌های هوشمند [۴] ۲۴۶
شکل ۶۲-۲: مفاهیم مشترک و متمم: SHM، سازه‌های هوشمند کنترل‌کننده شکل و ارتعاش ۲۴۸
شکل ۶۳-۲: نمودار تغییرات ظرفیت تولید نیروی برق در نیروگاههای کشور در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ ۲۶۷
شکل ۶۴-۲: نمودار پیشبینی روند تغییرات نیروگاههای کشور تا پایان سال ۱۴۱۸ (مطابق سناریو مرجع) [۶۳] ۲۶۸
شکل ۶۵-۲: میانگین سنی نیروگاههای حرارتی کشور[۶۴] ۲۶۹
شکل ۶۶-۲: نمودار تغییرات ظرفیت پستهای انتقال و فوق توزیع در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶] ۲۷۰
شکل ۶۷-۲: نمودار تغییرات تعداد پستهای انتقال و فوق توزیع در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶] ۲۷۱
شکل ۶۸-۲: نمودار تغییرات طول خطوط انتقال و فوق توزیع در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶] ۲۷۲
شکل ۶۹-۲: نمودار تغییرات طول خطوط توزیع در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۷ و ۶۸] ۲۷۳
شکل ۷۰-۲: نمودار تغییرات تعداد پستهای توزیع (زمینی و هوایی) در پایان سالهای ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۷ و ۶۸] ۲۷۴
شکل ۱-۳- بررسی ابعاد قدرت و مزایای چشم‌انداز ۳۱۰
شکل ۲-۳- گام‌های پردازش یک چشم‌انداز مطلوب ۳۱۲
شکل ۳-۳- مدل اجرایی خلق چشم‌انداز ۳۱۳
شکل ۴-۳- مدل توسعه مفهومی ارزیابی چشم‌انداز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سایر کشورها ۳۱۷
شکل ۵-۳- زمینه‌های استخراج شده برای چشم‌انداز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۲۲
شکل ۶-۳- ویژگی‌های اهداف کلان ۳۳۰

شکل ۷-۳-نحوه تعیین اهداف کلان در سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق..... ۳۳۲
شکل ۸-۳-نحوه ارتباط اهداف با ورودیهای تدوین اهداف..... ۳۳۶
شکل ۹-۳- مدل مفهمومی تدوین راهبردها..... ۳۴۰
شکل ۱۰-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در تأسیسات صنعت برق..... ۳۴۹
شکل ۱۱-۳- اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت و توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس..... ۳۵۰
شکل ۱۲-۳- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق..... ۳۵۱
شکل ۱۳-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی..... ۳۵۳
شکل ۱۴-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های نیروگاه‌های بادی..... ۳۵۴
شکل ۱۵-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های بخش انتقال و فوق توزیع..... ۳۵۴
شکل ۱۶-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های بخش توزیع..... ۳۵۵
شکل ۱۷-۳- اولویت‌بندی شرکت‌های برق منطقه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های خطوط انتقال و فوق توزیع..... ۳۵۶
شکل ۱۸-۳- اولویت‌بندی شرکت‌های برق منطقه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های پست‌های انتقال و فوق توزیع..... ۳۵۷
شکل ۱۹-۳- اولویت نیروگاه‌های دولتی کشور برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها..... ۳۵۷
شکل ۲۰-۳- اولویت نیروگاه‌های خصوصی کشور برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها. ۳۵۸
شکل ۲۱-۳- الگوریتم تعیین روش اکتساب فناوری..... ۳۶۱
شکل ۱-۴- چارچوب طراحی سیاست‌های کلان..... ۴۰۱
شکل ۲-۴- نمایش مسیر توسعه بازار تکنولوژی..... ۴۱۲
شکل ۳-۴- فرایند تدوین سیاست ها و اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق..... ۴۲۹
شکل ۴-۴- نشانه‌های تحقق مراحل برای تعیین مرحله توسعه..... ۴۳۲
شکل ۵-۴- مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای..... ۴۳۵
شکل ۱-۵- فرایند تدوین برنامه عملیاتی..... ۴۵۸
شکل ۲-۵- نحوه شکستن اقدام X..... ۴۵۹
شکل ۳-۵- اجزای مختلف برنامه عملیاتی [۲]..... ۴۸۷
شکل ۴-۵- رەنگاشت اقدامات غیرفنی توسعه نظام نوآوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق..... ۴۸۸

شکل ۵-۵- ره‌نگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش تولید برق ۴۸۹
شکل ۶-۵- ره‌نگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع ۴۹۰
شکل ۷-۵- ره‌نگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش توزیع برق..... ۴۹۱
شکل ۱-۶- منطق ارزیابی اهداف و سیاست‌ها..... ۵۶۷
شکل ۲-۶- مدل منطقی ارزیابی ۵۶۷
شکل ۳-۶- قالب‌های تحلیل تأثیرات سیاست..... ۵۷۰
شکل ۴-۶- ساختار سند توسعه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ۵۹۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ : نمونه‌هایی از آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در دنیا ۱۸

جدول ۲-۱ : برنامه کلی زمانی و هزینه برای تحقیقات آزمایشگاهی پیاده‌سازی سیستم پایش آنلاین در اجزای سازه‌ای رآکتورهای نیروگاه هسته‌ای [۳۶] ۴۹

جدول ۳-۱ : فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده در خصوص پایش سلامت سازه‌های خطوط انتقال ۶۵

جدول ۴-۱ : نمونه‌هایی از موارد جایگزینی و تعویض پایه‌های توزیع فرسوده در سطح کشور ۹۸

جدول ۵-۱ : جدول بسترهای سازمانی و استراتژی‌های بعد فنی آرمان صنعت برق ۱۱۳

جدول ۶-۱ : جدول بسترهای سازمانی و استراتژی‌های بعد ایمنی آرمان صنعت برق ۱۱۴

جدول ۱-۲ : فهرست مخاطرات محیطی جوی مؤثر بر صنعت برق ۱۳۸

جدول ۲-۲ : فهرست مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر صنعت برق ۱۳۸

جدول ۳-۲ : مقایسه روش‌های تست غیرمخرب ۱۵۲

جدول ۴-۲ : ساختار فعالیت‌های اصلی و کلیدی در پایش سلامت سازه‌ها ۱۵۵

جدول ۵-۲ : : نمونه‌هایی از رویکردهای مورد استفاده در مدلسازی آسیب‌های سازه‌ای ۱۶۱

جدول ۶-۲ : : نمونه‌های متداولی از آسیب‌های سازه و پارامترهای قابل استفاده برای تشخیص آنها ۱۶۲

جدول ۷-۲ : مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری ۱۶۳

جدول ۸-۲ : روش های مختلف نصب سنسورها به همراه مزایا و معایب آنها ۱۷۴

جدول ۹-۲ : روش‌های مختلف شناسایی سیستم و به‌روزرسانی مدل اجزای محدود سازه ۱۸۶

جدول ۱۰-۲ : اجزاء اصلی سخت‌افزاری سیستم SHM و نقش آنها ۱۹۲

جدول ۱۱-۲ : انواع رایج سنسورها، نوع و کاربردهای آنها ۱۹۹

جدول ۱۲-۲ : انواع سنسورهای فیبرنوری در اروپا [۲۵] ۲۳۵

شرکت‌ها و گروه‌های فعال در اروپا ۲۳۵

بلوغ ۲۳۵

پارامتر اندازه‌گیری ۲۳۵

نوع سنسور ۲۳۵

جدول ۱۳-۲ : اسامی شرکتهای تولیدکنندگان و تامینکنندگان داخلی فناوریهای پایش سلامت سازههای صنعت برق (بالفعل و بالقوه) ۲۴۹

جدول ۱۴-۲ : وضعیت کمی تعداد و ظرفیت نیروگاهها در بخش تولید نیروی برق در سطح کشور ۲۶۶
جدول ۱۵-۲ : وضعیت کمی پستهای انتقال و فوق توزیع در بخش انتقال نیروی برق در سطح کشور ۲۶۹
جدول ۱۶-۲ : وضعیت کمی خطوط انتقال و فوق توزیع در بخش انتقال نیروی برق در سطح کشور ۲۷۱
جدول ۱۷-۲ : وضعیت کمی خطوط هوایی و زمینی مورد استفاده در بخش توزیع در سطح کشور ۲۷۲
جدول ۱۸-۲ : وضعیت کمی ترانسفورماتورهای مورد استفاده در بخش توزیع در سطح کشور ۲۷۳
جدول ۱۹-۲ : اولویتهای تحقیقاتی شرکت مادر تخصصی برق حرارتی، شرکت‌های برق منطقه ای و توزیع نیروی برق در زمینه توسعه فناوریهای پایش سلامت سازههای صنعت برق ۲۷۴
جدول ۲۰-۲ : فعالیت پژوهشگاه نیرو در قالب طرحها و پروژههای پژوهشی مرتبط با این سند از ابتدا تاکنون ۲۷۷
جدول ۲۱-۲ : جدول توانمندیهای گروههای پژوهشی پژوهشگاه نیرو در حوزه خلق دانش ۲۷۸
جدول ۲۲-۲ : جدول توانمندیهای گروههای پژوهشی پژوهشگاه نیرو از منظر نیروی انسانی ۲۷۹
جدول ۲۳-۲ : جدول توانمندیهای پژوهشگاه نیرو از منظر تجهیزات و سخت افزار ۲۸۰
جدول ۲۴-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه مسئلهیابی و توسعه ایده محصولات و خدمات دانشبنیان و نوآورانه در حوزه پایش سلامت سازههای صنعت برق[۷۵] ۲۹۲
جدول ۲۵-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه تحقیق و توسعه محصولات و خدمات دانشبنیان و نوآورانه در حوزه پایش سلامت سازههای صنعت برق[۷۵] ۲۹۲
جدول ۲۶-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه تجاریسازی محصولات و خدمات دانشبنیان و نوآورانه در پایش سلامت سازههای صنعت برق[۷۵] ۲۹۳
جدول ۲۷-۲ : خلاصه ای از بودجه مورد نیاز برای تامین هزینههای مدیریتی و پیادهسازی سند پایش سلامت سازههای صنعت برق در دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ ..... ۲۹۶
جدول ۱-۳- عناوین سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب بررسی شده ۳۱۴
جدول ۲-۳- ویژگی‌های موجود در اسناد بالادستی مرتبط پایش سلامت ۳۱۴
جدول ۳-۳- بیانیه چشم‌انداز سایر کشورها در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت در سازه‌ها ۳۲۱
جدول ۴-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز ۳۲۳
جدول ۵-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز بازنگری شده ۳۲۵
جدول ۶-۳- اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی در حوزه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۳۳
جدول ۷-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان سند اولیه ۳۳۷

جدول ۸-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان بازنگری شده ۳۳۸
جدول ۹-۳- اسامی و سمت افراد تکمیل کننده پرسشنامه جذابیت- توانمندی ۳۴۴
جدول ۱۰-۳ وزن سوالات جذابیت ۳۴۵
جدول ۱۱-۳- وزن سوالات توانمندی ۳۴۶
جدول ۱۲-۳- جمع‌بندی نتایج جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق ۳۴۶
جدول ۱۳-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق ..۳۴۷
جدول ۱۴-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق۳۴۸
جدول ۱۵-۳- شاخص‌های جذابیت و توانمندی در اولویت‌بندی سازه‌ها برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری ۳۵۲
جدول ۱۶-۳- اولویت‌های مخاطرات محیطی جهت ارزیابی عملکرد سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق ۳۵۹
جدول ۱۷-۳- روش اکتساب پیشنهادی برای فناوریهای ناحیه دوم ۳۶۱
جدول ۱۸-۳- روش اکتساب پیشنهادی جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات صنعت برق ۳۶۲
جدول ۱۹-۳- اولویت‌بندی تأسیسات و سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها و سبک اکتساب آن ۳۶۳
جدول ۲۰-۳- نقش بازیگران مختلف در حوزه فناوریهای پایش سلامت سازههای صنعت برق ۳۶۸
جدول ۲۱-۳- نظرات ذینفعان در زمینه نقش اصلی پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازههای صنعت برق ۳۶۹
جدول ۲۲-۳- نظرات خبرگان در زمینه نقش اصلی پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازههای صنعت برق و بیانیه اولیه ماموریت پژوهشگاه ۳۷۰
جدول ۲۳-۳- بیانیه چشمانداز و زمینههای قابل استخراج وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو و پژوهشکدههای تولید، انتقال و توزیع نیرو ۳۷۲
جدول ۲۴-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشمانداز پژوهشگاه ۳۷۳
جدول ۲۵-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف پژوهشگاه ۳۷۴
جدول ۱-۴-کارکردهای پیشنهادی و توصیف آنها ۴۰۶
جدول ۲-۴- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه ۴۱۸
جدول ۳-۴- اهداف بررسی مشکلات سیستمی ۴۱۹
جدول ۴-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد کارآفرینی ۴۱۹
جدول ۵-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد توسعه دانش ۴۲۱

جدول ۶-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد تأمین منابع ۴۲۲
جدول ۷-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد انتشار دانش ۴۲۳
جدول ۸-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد جهت‌دهی به سیستم ۴۲۴
جدول ۹-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد مشروعیت بخشی ۴۲۶
جدول ۱۰-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد شکل‌دهی به بازار ۴۲۷
جدول ۱۱-۴- بازیگران توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳۰
جدول ۱۲-۴- شاخص‌های شناسایی مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه ۴۳۱
جدول ۱۳-۴- ویژگی مراحل توسعه به تفکیک عناصر ساختاری برای تعیین مرحله‌ی نظام نوآوری فناورانه ۴۳۳
جدول ۱۴-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد کارآفرینی ۴۳۷
جدول ۱۵-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد خلق و توسعه دانش ۴۳۷
جدول ۱۶-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد انتشار دانش ۴۳۸
جدول ۱۷-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد جهتدهی به سیستم ۴۳۹
جدول ۱۸-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد تامین منابع ۴۳۹
جدول ۱۹-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد شکل‌دهی به بازار ۴۴۰
جدول ۲۰-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد مقبولیت بخشی ۴۴۰
جدول ۲۱-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش ۴۴۱
جدول ۲۲-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد کارآفرینی، جهت‌دهی به سیستم و شکل‌دهی به بازار ۴۴۳
جدول ۲۳-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد مقبولیت بخشی و تامین منابع ۴۴۴

جدول ۲۴-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش..... ۴۴۸
جدول ۲۵-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد کارآفرینی، جهت‌دهی به سیستم و شکل‌دهی به بازار ۴۴۹
جدول ۲۶-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد مقبولیت بخشی و تامین منابع ۴۵۱
جدول ۱-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق ۴۶۴
جدول ۲-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع ۴۶۵
جدول ۳-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق..... ۴۶۶
جدول ۴-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق..... ۴۶۸
جدول ۵-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق ۴۷۰
جدول ۶-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع ۴۷۲
جدول ۷-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق..... ۴۷۳
جدول ۸-۵- نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق ۴۸۰
جدول ۹-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق..... ۴۸۲
جدول ۱۰-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع..... ۴۸۳
جدول ۱۱-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق ۴۸۴
جدول ۱-۶- ویژگی‌های روش‌های مختلف ارزیابی..... ۵۸۴
جدول ۲-۶- شاخص شناسایی شده برای چشم انداز سند توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق..... ۵۸۸
جدول ۳-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای اهداف کلان سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۸۹
جدول ۴-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق .. ۵۹۰
جدول ۵-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای پروژه‌های فنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق..... ۵۹۱

 DOI: 10.30503/nripress.2020.331

فصل اول

۱- بازنگری مبانی سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

۱-۱-مقدمه

در میان حوزه‌های فنی مختلف مرتبط با مهندسی سازه، حوزه نگهداری[1] از سازه‌ها بطور کلی (و بطور خاص در صنعت برق) پس از ساخت و در طی بهره‌برداری از آنها؛ کمتر مورد توجه مهندسان و مالکان آنها قرار داشته و نسبتاً مغفول مانده است. این در حالی است که بنا به دلایل گوناگون، وقوع انواع آسیب‌های موضعی در سطوح مختلف شدت، در اجزای سازه‌ای در طول عمر بهره‌برداری از آنها بسیار محتمل بوده و موارد قابل ملاحظه‌ای از انواع آسیب‌ها[2] در سازه‌های مختلف نیز مشاهده شده است. بخصوص با افزایش عمر سازه، احتمال وقوع آسیب در اجزای سازه‌ای به مراتب بیشتر خواهد شد. آسیب‌های سازه‌ای در صورت عدم توجه به رفع و تعمیر آنها می‌توانند گسترش یافته و در نهایت منجر به خرابی[3] و فروریزش سازه شده و خسارات مالی و جانی سنگینی را به صاحبان خود تحمیل نماید. از سوی دیگر، حوادث طبیعی رخداده در طول عمر بهره‌برداری نیز یکی از منابع ایجاد آسیب و خرابی در اجزای سازه‌ای هستند. بر این اساس و با توجه به صرف سرمایه‌های کلان برای ساخت سازه‌ها و زیرساخت‌های کشور، لزوم پرداختن به حوزه نگهداری و تعمیرات در سازه‌ها به جهت حفظ عملکرد و بهره‌برداری بهینه از آنها بطور روزافزونی احساس می‌شود. در راستای پاسخگویی به این نیاز در محدوده صنعت برق و با توجه به گستردگی حوزه‌های دانش علمی و فنی و فناوری‌های مرتبط، وجود برنامه‌ای جامع در قالب یک سند راهبردی و نقشه راه برای هماهنگ‌سازی و جهت‌دهی فعالیت‌های مورد نیاز ذینفعان مختلف و افزایش کارایی و اثربخشی آنها، ضروری می‌باشد. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها، راهبردها، اقدامات و برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه فناوری و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند. وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه مورد نیاز برای پیاده‌سازی نگهداری و تعمیرات و توسعه فناوری‌های مورد نیاز آن در سازه‌های صنعت برق و نیل به اهداف آن خواهد شد.

موضوع اصلی سند حاضر، توسعه و پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق و حوزه‌های فنی مرتبط با آن، بصورت نظام‌مند و با لحاظ رویکردهای علمی و فناوری‌های نوین می‌باشد. در این راستا، حوزه های فنی به شرح زیر در این سند مورد نظر قرار دارند:

- پایش سلامت سازه‌ها (شامل حوزه‌های شناسایی سیستم[4] و ارزیابی وضع موجود[5] سازه‌ها، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های[6] موجود در سازه‌ها، پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها[7]، پایش شرایط و مخاطرات محیطی)

[1] - Maintenance
[2] - Damage
[3] - Failure
[4] - System Identifiction
[5] - Condition Assessment
[6] - Damage Detection and Diagnosis
[7] - Damage prognosis

- ارزیابی عملکرد[1 و2] و تخمین عمر باقیمانده[3] سازه‌ها در برابر بارهای وارده و مخاطرات محیطی
- ارائه راهکارهای رفع یا کاهش آسیب‌ها، جلوگیری از خرابی، تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر مفید برای سازه‌ها (مانند تعمیر، بهسازی، مقاومسازی و ...)

فناوری‌های موسوم به پایش سلامت سازه‌ها[4] (در حالت کلی و با رویکردهای مختلف خود) یکی از فناوری‌های پشتیبان نگهداری هستند که با هدف تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌های سازه‌ای و شناسایی وضعیت موجود سیستم سازه، بسترهای لازم برای توسعه و پیاده‌سازی رویکردهای مدرن نگهداری در سازه‌ها را فراهم می‌کنند. ازاینرو، تدوین دانش فنی و توسعه بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه‌ها با رویکردهای نوین و مدرن آن در صنعت برق، بطور خاص در این سند مورد توجه قرار گرفته است. در این سند، سازه‌های موجود در بخش‌های سه‌گانه صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) مورد نظر می‌باشند. فهرست کلی سازه‌های مذکور در بخش مرزبندی فنی این گزارش (بخش ۱-۳-۲-۱-) ارائه شده‌اند.

بدیهی است که پیاده‌سازی و اجرای موفقیت‌آمیز سیستم نگهداری و توسعه فناوری‌های مورد نیاز آن، علاوه بر دانش فنی مورد نظر در این سند، نیازمند بسترسازی و ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز در سایر حوزه‌ها، بخصوص در ارتباط با فرهنگ‌سازی استفاده از این سیستم در صنعت برق و ایجاد ساختارهای مدیریتی و سازمانی در رده‌های مختلف وزارت نیرو می‌باشد. علاوه بر اینها باید کنشگران و متولیان اجرای سیستم در صنعت برق در بخش‌های مختلف از قبیل ارائه‌دهندگان خدمات نگهداری و پایش سلامت، بهره‌برداران سیستم، تأمین‌کنندگان مالی و مسئولین الزام‌کننده نیز مشخص شده و نقش هریک در فرآیند اجرای سیستم در صنعت برق بررسی و تبیین گردد.

در این راستا و با توجه به ماموریت و اهداف پژوهشگاه نیرو در خصوص مدیریت پژوهش‌های کاربردی در صنعت برق، اجرای پروژه "***تدوین سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه‌ی راه‌کارهای کاهش آن‌ها***" از سوی وزارت نیرو به پژوهشگاه نیرو واگذار گردیده و در اسفندماه سال ۱۳۹۲ در گروه سازه‌های صنعت برق آغاز شد. در شهریورماه سال ۱۳۹۴ نتایج حاصل از اجرای پروژه بصورت یک دفترچه سند حاوی نقشه راه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق استخراج گردید. پس از تصویب و تأیید سند توسط مقام عالی وزارت نیرو در دیماه سال ۱۳۹۵ و انجام فعالیت‌هایی در راستای شرح تفصیلی پروژه‌های دو سال نخست آن، اولین کمیته راهبری سند در آبان ماه ۱۳۹۶ تشکیل گردیده و اجرای سند در بخش تولید نیرو، در قالب یک طرح جداگانه تصویب و فرآیند اجرای پروژه‌های آن (با انجام فراخوان‌های واگذاری) آغاز گردید.

پس از شکل‌گیری ساختارهای اجرای اسناد توسعه فناروی در پژوهشگاه و آغاز فرآیند اجرایی شدن سند از دی ماه ۱۳۹۶ و طی تعامل با شرکت‌های مادر تخصصی صنعت برق (در قالب کمیته راهبری سند) و کنش‌گران علمی

---

[1] - Performance Assessment

[2] منظور از عملکرد (Performance) سازه، نحوه رفتار و کارکرد آن در شرایط مشخص است که با شاخص‌های مختلفی نظیر پاسخ‌های سازه (تغییرمکان، نیرو، تنش و ...)، اندیس‌های آسیب، قابلیت اعتماد (در زمینه ایمنی و سرویس‌دهی)، ریسک، تاب‌آوری و ... سنجیده می‌شود.

[3] - Remaining (Service) Life Estimation

[4] - Structural Health Monitoring

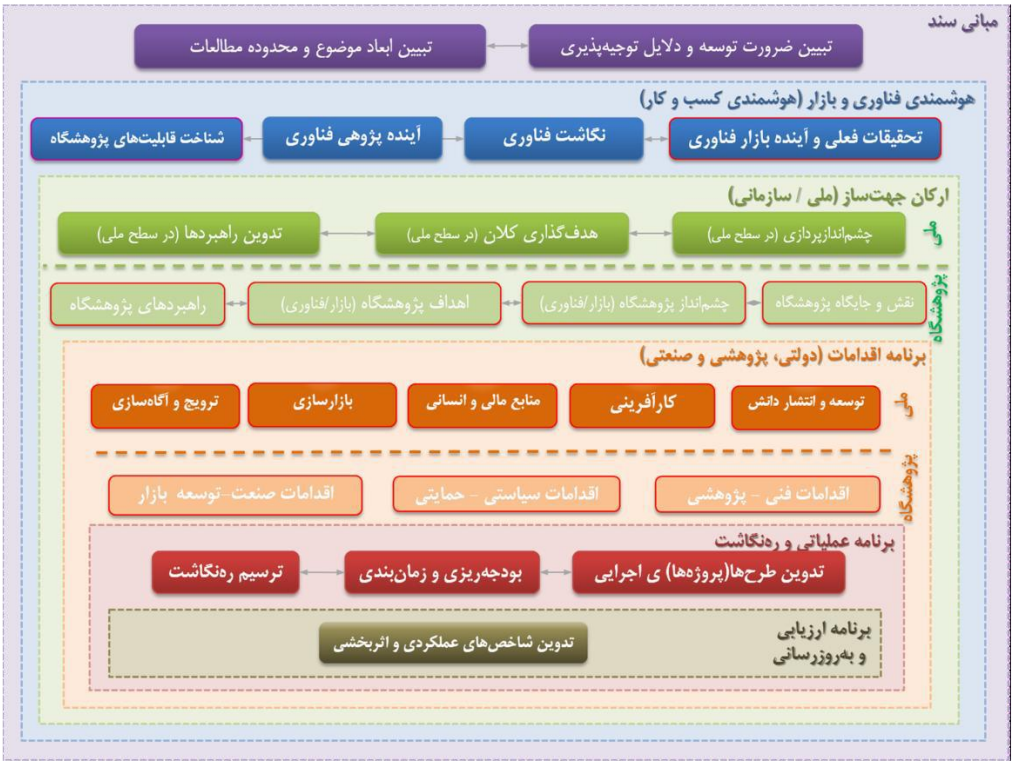
و فنی (شرکت‌ها و دانشگاه‌ها)، تغییرات عمده‌ای در طرح‌ها و پروژه‌های زیرمجموعه سند از جنبه‌های مختلف فنی، زمان و بودجه آنها صورت گرفت. بر این اساس، ضرورت بازنگری کلی در محتوا و قالب سند مشخص گردید.

تغییرات مورد نیاز در سند بطور کلی مرتبط با عوامل مختلفی به شرح زیر می‌باشند:

۱. ایجاد تغییرات محیطی از منظر اقتصادی و مدیریتی در ساختار صنعت برق شامل مسائلی از قبیل:
   - لزوم تغییر در نحوه تأمین منابع مالی اجرای سند و نوسانات قابل توجه قیمت‌ها در سال‌های اخیر
   - شکل‌گیری شرکت مادرتخصصی تولید برق حرارتی (متولی مسائل مرتبط با نیروگاه‌های حرارتی)
   - شکل‌گیری ساختارها و فرآیندهای اجرای اسناد توسعه فناوری در پژوهشگاه نیرو
   - تغییر در ترکیب اعضای کمیته راهبری سند
۲. اعلام نیازمندی‌ها و اولویت‌های جدید در صنعت برق مانند:
   - اضافه شدن پروژه‌های تقاضامحور (نیاز صنعت) به سبد پروژه‌های فنی سند
   - لزوم نگرش محصول محور در تعریف پروژه‌های سند
   - اولویت‌بندی اسناد و پروژه‌های آنها توسط شرکت‌های مادرتخصصی
۳. وجود مشکلات در فرآیند اجرایی‌سازی نقشه‌های راه شامل مسائلی از قبیل:
   - لزوم بازنگری در عناوین و شرح خدمات پروژه‌های سند طبق نیاز صنعت و نظر کمیته راهبری
   - مشکلات مربوط به تأمین منابع مالی جهت اجرای سند

بر این اساس طبق دستورالعمل و راهنمای ابلاغی معاونت فناوری در خصوص بازنگری اسناد توسعه فناوری، بازنگری سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در دستور کار قرار گرفته و جهت انجام، به گروه سازه‌های صنعت برق واگذار گردید.

در بازنگری سند علاوه بر موارد اشاره شده در بندهای فوق، تغییراتی در متدلوژی تدوین سند نیز که توسط مشاور عالی پژوهشگاه (شرکت آینده اندیشان افق بهسان) ارائه شده، اعمال گردید. بر این اساس، متدلوژی جدید برای بازنگری سند طی ۶ مرحله طبق شکل ۱-۱ مورد استفاده قرار گرفت. [۹۲]



شکل ۱-۱: مراحل روش شناسی مورد استفاده در بازنگری سند [۹۲]

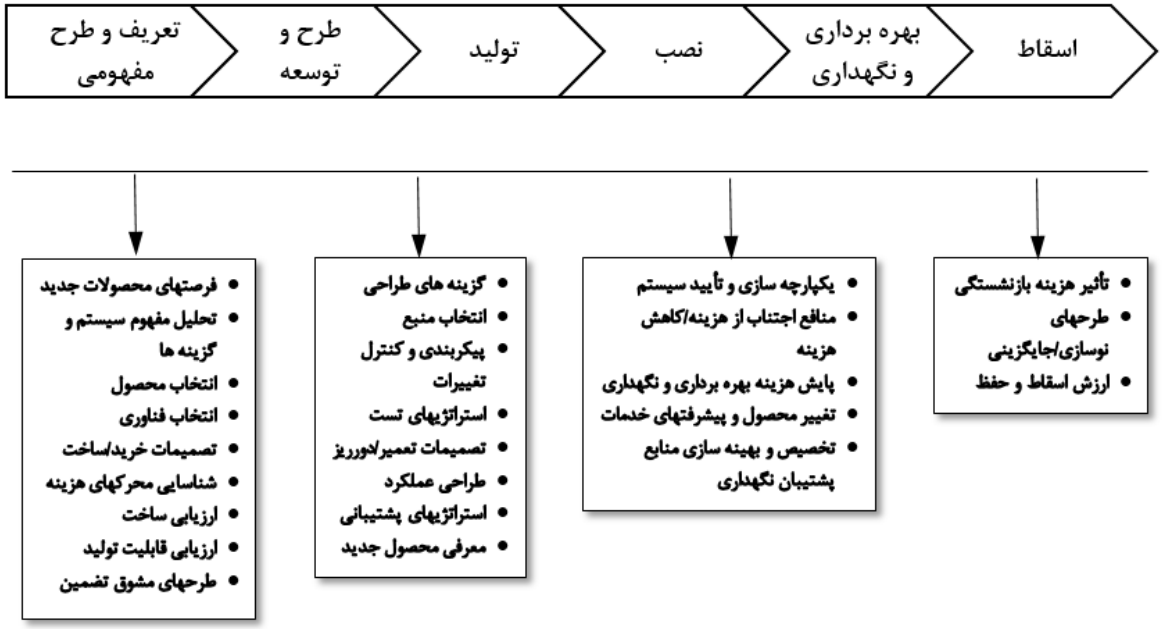
اولین مرحله از روند تدوین اسناد راهبردی ملی، تبیین مبانی سند می‌باشد که مقدمات اصلی لازم برای شروع تدوین سند و نقشه راه را ارائه می‌دهد. این مولفه به مدیران کمک می‌کند تا با قطعیت بالاتری در مورد سایر بخش‌های سند (ارکان جهت ساز) تصمیم‌گیری نمایند. تشریح ضرورت توسعه و دلایل توجیه‌پذیری، و شناخت ابعاد موضوع و محدوده مطالعات دو مولفه اصلی تشکیل‌دهنده این بخش هستند. این موضوع بر کل مراحل بعدی اثر شگرفی دارد و تدقیق آن جزو ضروریات ابتدایی مطالعه است. [۹۲] در ادامه این گزارش، مؤلفه‌ها و اجزای اصلی مبانی سند پایش سلامت سازه‌ها تشریح و ارائه شده است.

۱-۱-۱- نگهداری و تعمیرات در سازه‌ها

دوره یا چرخه عمر[1] یک دارایی یا بازه زمانی‌ای است که از زمان شناسایی نیاز به یک دارایی یا تجهیز شروع شده و پس از خرید و بهره‌برداری، با اسقاط آن خاتمه می‌یابد. تمامی هزینه‌های مرتبط با دارایی در این بازه را هزینه چرخه عمر[2] آن دارایی می‌نامند. چرخه عمر یک دارایی بطور کلی شامل شش فاز یا مرحله اصلی است که عبارتند از: شناسایی نیاز و تعریف محصول یا دارایی، طراحی و توسعه، ساخت و آزمون، حمل و نصب، بهره‌برداری

[1] Asset Life Cycle
[2] Life Cycle Cost (LCC)

و نگهداری و تعمیرات، اسقاط[1] و بازیافت[2]. (شکل ۱-۲) هزینه‌های ایجاد شده در این فازها را می‌توان به سه بخش کلی ایجاد، بهره‌برداری/نگهداری و اسقاط تقسیم کرد. هزینه ایجاد معمولا به راحتی قابل درک و مشاهده است و قبل از تصمیم‌گیری برای ایجاد محصول براحتی قابل محاسبه است. این هزینه می‌تواند شامل هزینه نصب باشد و یا نباشد. هزینه‌های نگهداری که اغلب بخش مهمی از هزینه چرخه عمر را تشکیل می‌دهند در بسیاری از موارد از هزینه ایجاد بیشترند و نیز براحتی قابل مشاهده نیستند. پیش‌بینی این هزینه‌ها کار سختی است و می‌تواند شامل هزینه نصب نیز باشد. بر این اساس، یک بخش مهم از چرخه عمر یک دارایی شامل فعالیت‌های مربوط به بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات در دوره عمر مفید آن است که در مقاطع مختلف نیاز به اتخاذ تصمیمات مهم و تأثیرگذار (در خصوص اجرای فعالیت‌های تعمیرات و در نهایت، اسقاط دارایی در بهترین زمان ممکن) در راستای بهبود خدمت‌رسانی با کمترین هزینه دارد. بطور کلی پرداختن به این مباحث در خصوص سازه‌ها نسبتا جدید بوده (نسبت به سایر فازهای چرخه عمر) و هنوز در حال تکمیل و توسعه می‌باشد.



شکل ۱-۲: فازهای چرخه عمر یک دارایی

پس از ساخته شدن زیرساخت‌های اصلی و حیاتی کشورها در صنایع مختلف (از جمله صنعت برق)، مهمترین چالش پیش روی بهره‌برداران و مدیران و صاحبان این صنایع، حفظ و نگهداری آنها در شرایط مطلوب کارکرد و سرویس‌دهی آنها می‌باشد. پی‌آمدهای حاصل از اخلال یا قطع کارکرد صنایع می‌تواند طیف گسترده‌ای از خسارات اقتصادی، انسانی، سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی (از گستره محلی تا ملی) را در برگیرد. قطع کارکرد صنایع می‌تواند علل و منشأهای گوناگونی داشته باشد که یکی از مهمترین علل آن، وقوع انواع آسیب‌های فنی و

[1] Disposal
[2] Recycling

خرابی‌های حاصل از آنها در بخش‌های مختلف صنایع (تجهیزات، سازه‌ها، بخش‌های نرم‌افزاری و ...) می‌باشد. به دلایل مختلف، وقوع آسیب و خرابی در ساختمان‌ها، پل‌ها، سکوهای نفتی و بطور کلی تمام سیستم‌های سازه‌ای در طول عمر سازه امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با ظهور و ورود سازه‌های جدید که دارای تکنولوژی‌های پیشرفته می‌باشند و با هزینه‌های هنگفتی احداث گردیده‌اند، بحث بررسی کارایی و عملکرد آنها نیز وارد شاخه‌های مهندسی گردیده و همواره اطمینان از عملکرد بی‌نقص سازه‌هایی با اهمیت بالا مانند سازه‌هایی با ارزش تاریخی و یا ساختمان‌های حیاتی دغدغه ذینفعان بوده است. تاکنون نمونه‌های بسیاری از انواع خرابی‌ها در سازه‌های مختلف مهندسی به ثبت رسیده که در پی وقوع آنها، خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آمده است. بیشتر چنین خرابی‌ها را می‌توان با بررسی‌های اولیه از وضعیت موجود و تشخیص آسیب‌های سازه‌ها اصلاح و ترمیم نمود و بدین ترتیب از گسترش آسیب و وقوع خرابی در سازه‌ها و فروریختن ساختمان‌ها و خسارتهای مالی جلوگیری کرد. این موضوع در مناطق زلزله‌خیز که خرابی‌های موضعی در المان‌های سازه‌ها می‌توانند منشاء خرابی‌های کلی باشند اهمیت دو چندان پیدا می‌کند. بنابراین تعیین آسیب‌ها در سیستم‌های سازه‌ای و اقدام مناسب جهت رفع یا کاهش آنها برای افزایش ایمنی و اطمینان از وضعیت مطلوب سازه‌ها امری مهم و ضروری است. اگر آسیب‌های موجود در سیستم‌های سازه‌ای به طریقی قابل شناسایی باشند می‌توان با تعمیر یا تعویض المان‌های آسیب دیده از ایجاد خرابی‌های کلی در سازه جلوگیری نمود. در نتیجه سیستم‌های شناسایی و تعیین آسیب می‌توانند نقش بسیار مهمی را درفرآیند نگهداری و ایمن‌سازی و بهسازی سازه‌ها و جلوگیری از بوجود آمدن خسارات مالی و جانی ناشی از فروریختن آنها ایفا نمایند. بر این اساس، تدوین و اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات (نت) در صنایع مختلف مطرح گردیده و در بخش‌های مختلف صنعت برق نیز (بخصوص در مورد تجهیزات) مورد استفاده قرار گرفته است. مبحث نگهداری و تعمیرات شامل روش‌ها و فناوری‌های بسیار متنوعی بوده و در طول زمان، پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. استراتژی‌ها و دیدگاه‌های موجود در صنایع درباره نگهداری و تعمیرات (نت)، روند پرافت و خیزی را در قرن اخیر طی کرده و دگرگونی‌های زیادی در این عرصه بوجود آمده است. به طور خلاصه باید گفت دیدگاه موجود در زمینه نگهداری و تعمیرات (نت) از یک نگرش منفعل[1] در اوائل قرن ۲۰ به یک نگرش پیش‌اقدام[2] در آغاز قرن ۲۱ مبدل شده است. بسیاری از این تغییرات در ۵۰ سال اخیر (از دهه ۷۰ میلادی) ایجاد شده‌اند.

امروزه یکی از مؤثرترین و کارآمدترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع، نگهداری پیش اقدام (در مقابل نگرش سنتی تعمیر بعد از شکست[3]) می‌باشد. این استراتژی مبتنی بر انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری قبل از وقوع شکست‌های کارکردی در اجزا بوده (بعبارت دیگر بر اساس مثل قدیمی علاج واقعه قبل از وقوع) و سبب جلوگیری از قطع کارکرد صنعت و جلوگیری از پی‌آمدهای زیان بار آن می‌شود. تجربیات بسیار زیاد و مطالعات گسترده در صنایع مختلف، مزایا و کارآیی این استراتژی را، بخصوص در مورد کاهش قابل توجه زیان‌های اقتصادی ناشی از خرابی‌ها و قطع کارکرد اجزاء، به اثبات رسانده؛ بطوریکه این استراتژی اکنون کاملاً مورد پذیرش صنایع مختلف قرار گرفته و جا افتاده است. استراتژیها و رویکردهای مختلفی برای برنامه‌ریزی، مدیریت و اجرای

[1] - Reactive
[2] - Proactive
[3] - Run to Failure

نگهداری و تعمیرات پیش‌اقدام در دهه‌های گذشته ارائه شده است که از شاخص‌ترین آنها می‌توان به نگهداری برمبنای قابلیت اطمینان[1] (RCM)، نگهداری بر اساس ریسک[2] (RBM)، نگهداری بهره‌ور فراگیر[3] (TPM) و سیستم مدیریت نگهداری نرم‌افزاری[4] (CMMS) اشاره نمود. از دیدگاهی دیگر، نگهداری و تعمیرات (نت) پیش‌اقدام با استفاده از دو رویکرد اصلی انجام می‌شود که شامل نت پیشگیرانه[5] و نت پیشگویانه[6] می‌باشند. در نت پیشگیرانه، نگهداری ازتجهیزات در پریودهای زمانی خاص و براساس زمانبندی مشخص صورت می‌گیرد. بعبارت دیگر، روش نگهداری و تعمیر پیشگیرانه بر این اصل استوار است که پیش از آنکه دستگاه به مرحله خرابی برسد، عملیات تعمیر بر اساس برنامه زمان‌بندی به اجرا در آید. این روش بسته به نوع دستگاه به صورت تقویمی یا ساعت کارکردی قابل اجرا است. به این رویکرد، نگهداری بر اساس زمان[7] (TBM) نیز اطلاق می‌شود. در نت پیشگویانه، اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیر تجهیزات با توجه به شرایط آنها صورت می‌گیرد. بعبارت دیگر، در این روش در بازه‌های زمانی معین تعدادی از پارامترهای تجهیزات که می‌توانند نشان‌دهنده وضعیت غیر عادی آن باشند، رصد و اندازه‌گیری شده و براساس داده‌های حاصل، نیاز به اقدام برای تعمیر و یا تعویض قطعات و تجهیزات، تشخیص داده شده و براساس آن، تصمیم‌گیری در خصوص اقدامات مورد نیاز صورت می‌گیرد. به این رویکرد، نگهداری براساس شرایط[8] (CBM) نیز گفته می‌شود. مهمترین اشکال نت پیشگیرانه (TBM) این است که در اغلب موارد مبتنی بر نیاز واقعی نبوده و بنابراین، ممکن است که فعالیت‌های نت بیهوده (بدون وقوع آسیب) انجام گرفته که باعث اتلاف هزینه می‌گردد و یا اینکه فعالیتی در مواقع مورد نیاز (وقوع آسیب) بدلیل عدم تخمین زمان مناسب آن، انجام نشده و منجر به خسارت شود. در روش پیشگویانه (CBM) این کاستی مهم وجود نداشته و بنابراین، به لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر است.

یکی از نیازمندی‌های اساسی در نت پیشگویانه مبتنی بر شرایط (CBM)، رصد و تشخیص عیوب و آسیب‌های موضعی موجود در تجهیزات و سازه‌ها است. روش‌های مختلفی برای رصد آسیب‌های جزئی در اجزای مختلف وجود دارد که طیف وسیعی از روش‌های ساده (بازرسی با استفاده از حواس انسان) تا روش‌های پیچیده‌تر شامل انجام ارزیابی‌های غیرمخرب[9] (NDE) و یا تکنیک‌های پایش وضعیت[10] (CM) را در بر می‌گیرد. پایش وضعیت بر این باور استوار است که اغلب آسیب‌های موجود در سازه‌ها و تجهیزات پس از رسیدن به یک مرحله مشخص، نشانه‌هایی از خود بروز می‌دهند که می‌توان این نشانه‌ها را به صورت ارتعاشات، صدا، امواج آلتراسونیک، ذرات فرسایشی، دما و ... بطور پیوسته تشخیص داده و وجود آسیب و عیب را آشکار کرد. لذا می‌توان قبل از رسیدن آسیب به مراحل بحرانی، با برنامه‌ریزی فعالیت تعمیراتی و اجرای آن، گسترش و پیشرفت آن را متوقف ساخت. ارزیابی‌های غیر مخرب نیز اساساً مانند پایش وضعیت می‌باشند، با این تفاوت که بصورت پیوسته انجام

[1] - Reliability Centered Maintenance (RCM)
[2] - Risk Based Maintenance (RBM)
[3] - Total Productive Maintenance (TPM)
[4] - Computerized maintenance management system (CMMS)
[5] - Preventive
[6] - Predective
[7] - Time Based Maintenance
[8] - Condition Based Maintenence
[9] - Non Destructive Evaluation
[10] - Condition Monitoring

نشده و در بازه‌های زمانی مشخصی با استفاده از نیروهای متخصص و ابزارهای خاص، به جستجوی آسیب‌های موضعی و جزئی در تجهیزات و سازه‌ها، پرداخته می‌شود. اصطلاح پایش وضعیت (CM) بطور خاص در مورد تجهیزات و ماشین آلات اطلاق می‌گردد. مفهوم مشابه پایش وضعیت در مورد سازه‌ها بطور کلی، پایش سلامت سازه[1] نام دارد که توسعه بکارگیری آن در سازه های صنعت برق، یکی از موضوعات مهم این سند می‌باشد. بعبارت دیگر، فناوری پایش سلامت سازه ابزاری جهت تشخیص وجود آسیب‌های موضعی در سازه با هدف اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگویانه مبتنی بر شرایط (CBM) بوده و نقشی همانند پایش وضعیت تجهیزات را، در مورد سازه‌ها ایفا می‌نماید.

۱-۱-۱-۱- معرفی کلی پایش سلامت سازه‌ها و پیشینه آن

پایش سلامت سازه به صورت یک سیستم شناسایی سازه و آسیب‌های موجود در آن است که یکی از مهمترین فناوری‌های پشتیبان سیستم نگهداری سازه بوده و به واسطه آن متخصصان قادر خواهند بود نگهداری از سازه را در یک مسیر صحیح و ایمن (بر مبنای شرایط با رویکرد CBM) هدایت کنند. هدف اصلی این فناوری، شناسایی مشخصات فنی سازه[2] و تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های موجود در اجزای سازه‌ای و در سطوح پیشرفته‌تر، پیش‌بینی نحوه گسترش آسیب‌ها در آینده و تخمین عمر باقیمانده سازه تحت شرایط مشخص است.

در ارتباط با پیشینه، پایش سلامت سازه به لحاظ مفهومی روش جدیدی نیست. از زمان‌های باستان مهندسان، معماران و صنعتگران، بسیار مشتاق مشاهده رفتار سازه‌های ساخته شده برای کشف هر نشانه‌ای از زوال‌سازه و گسترش دانش خود و بهبود طراحی سازه‌های آینده بودند. معماران زمان باستان الگوهای ترک خوردگی را در سنگ‌ها و پل‌های بنایی مشاهده و ثبت می‌کردند. دهانه‌های بزرگتر و قوس‌های لاغرتر ساخته می‌شدند و گاهی در حین ساخت و یا بعد از مدت کوتاهی تخریب می‌شدند. این شکست‌ها و آنالیز آنها منجر به بینش جدید و پیشرفته طراحی سازه‌ها در آینده شد. این تلاش مداوم برای بهبود سازه‌ها که با حس کنجکاوی مهندسان هدایت می‌شد به لحاظ اقتصادی ملاحظات و مشکلاتی را در برداشت. پل‌ها و ساختمان‌ها باید دهانه‌های بیشتری را پوشش می‌دادند تا نسل جدید روابط اقتصادی و حمل و نقل سریع مردم و کالا را پدید آوردند و در عین حال باید ارزان‌تر و با دوام بیشتری ساخته می‌شدند. گمان می‌رود از زمانی‌که انسان به استفاده از ابزار روی آورده است، تشخیص آسیب و یا خطا که با استفاده از تغییرات پاسخ سیستم دینامیکی تعیین می‌شود، به صورت کمی با استفاده از تکنیک‌های صوتی و یا ارتعاشی صورت می‌گرفته است. یکی از اولین موارد پایش وضعیت، تست ضربه بوده است که برای تشخیص ترک در چرخ‌های راه آهن در قرن ۱۸ انجام می‌شده است. در سی سال گذشته، افزایش قابل توجهی در تعداد مطالعاتی که اقدام به تکامل پایش وضعیت از روش‌های کمی اولیه به روش‌های حساس‌تر و قابل اندازه‌گیری‌تر برای تشخیص آسیب کرده‌اند، صورت گرفته است. در طول این زمان پایش وضعیت به نقطه‌ای رسیده است که از یک موضوع تحقیقاتی به کاربرد واقعی در بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای تبدیل شده است.

[1] - Structural Health Monitoring
[2] - Structural System Identification

روش‌ها و رویکردهای مختلفی برای پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در اجزای سازه‌ای وجود دارد که می‌توان آنها را در سه دسته کلی به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

۱. بازرسی بصری[1] دوره‌ای: در این رویکرد، ویژگی‌ها و آسیب‌های سازه با استفاده از مشاهده مستقیم آنها (بصورت چشمی توسط بازرس یا با استفاده از ابزارهای مشاهداتی) کشف و آشکارسازی می‌شوند. این رویکرد بطور کلی ساده‌ترین و قدیمی‌ترین رویکرد پایش بوده و دارای محدودیت‌های خاص خود نیز، می‌باشد. از جمله روش‌ها و فناوری‌هایی که در این دسته جای دارند (علاوه بر بازرسی چشمی) می‌توان به روش‌های فیلمبرداری با استفاده از پهباد، تصویربرداری با دوربین‌های مخصوص و پردازش تصاویر[2]، سنجش از دور[3] و اندازه‌گیری با استفاده از ابزارهای لیزری و راداری اشاره نمود.

۲. ارزیابی‌ها و تست‌های غیرمخرب[4]: در این رویکرد، آسیب‌های موجود در سازه با استفاده از انجام تست‌های غیرمخرب نظیر رنگ نافذ، ذرات مغناطیسی، تست اولتراسونیک، ترموگرافی و موارد نظیر اینها شناسایی می‌شود.

۳. پایش سلامت سازه (SHM)[5]: این رویکرد که مدرن‌ترین رویکرد پایش و تشخیص آسیب در سازه است، بطور کلی شامل نصب سنسورهای مناسب و اندازه‌گیری‌های دوره‌ای منظم پارامترهای مشخص، پردازش داده‌های اندازه‌گیری شده و بدست آوردن پارامترهای مرتبط با عملکرد سازه و مشخصه‌های حساس به آسیب از این داده‌ها و در نهایت، تجزیه و تحلیل این پارامترها و مشخصه‌ها برای تعیین وضعیت سلامت سازه و تشخیص آسیب‌های موجود در آن می‌باشد.

لازم به ذکر است که هرچند هرسه رویکرد فوق به لحاظ مفهومی پایش سلامت سازه محسوب می‌گردند، ولیکن عبارت "پایش سلامت سازه" در ادبیات فنی عمدتاً تنها به رویکرد سوم اطلاق می‌گردد. بر این اساس برای اجتناب از بدفهمی و اشتباه، در این گزارش هرجا که مراد رویکرد سوم باشد از عبارت SHM در کنار پایش سلامت سازه استفاده خواهد شد.

SHM در سازه‌های بزرگ مانند پل‌ها برای سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است اما این کاربرد در بیشتر موارد از فاز تحقیقاتی فراتر نرفته است زیرا اندازه فیزیکی این سازه‌ها چالش‌های بسیاری را برای SHM ایجاد کرده است. در این مورد انگیزه اولیه استفاده از این سیستم جلوگیری از کاهش عمر سازه و ایمنی است. مطالعات استفاده از این سیستم در پل‌ها از سال ۱۹۸۰ آغاز شده است. جامعه مهندسین عمران از اوایل ۱۹۸۰ مطالعه بر روی ارزیابی آسیب‌های پل‌ها برپایه ارتعاشات را آغاز کرده است. اندازه فیزیکی این سازه‌ها چالش‌های بسیاری را برای SHM ایجاد کرده است. نیازها در کشورهای آسیایی، کمپانی‌هایی را که ساخت پل‌ها را انجام می‌دهند، موظف به ارزیابی دوره‌ای سلامت سازه‌ها کرده است که خود منجر به تحقیقات و توسعه‌های تجاری سیستم‌های نظارت لرزه‌ای پل‌ها شده است. به عنوان مثال می‌توان به پل Tsingma در هنگ کنگ اشاره کرد که در آن بیش از ۱۰۰۰ کلنال دریافت داده‌ها قرار دارد. در ایالت متحده امریکا ارزیابی جامع خرابی پل‌ها از ۱۹۵۰ نشان

[1] - Visual Inspection (VI)
[2] - Image processing
[3] - Remote Sensing
[4] - Non Destructive Evaluation (NDE) and Test (NDT)
[5] - Structural Health Monitoring

داد که پاسخ مهندسان در برابر این خرابی‌ها، واکنشی (و نه پیشگیرانه) بوده است. اصلاحات طراحی پل‌ها و تغییرات برنامه بازرسی، اغلب به عنوان تنها پاسخ به خرابی و آسیب‌های شدید، صورت گرفته است. فرو ریختن پل Tacoma در بیش از نیم قرن پیش مثال کلاسیکی از این حالت واکنشی است زیرا که منجر به بازرسی و اصلاحات پل‌های معلق دیگر شد. شروع گسترده یک برنامه سیستماتیک ملی برای بازرسی پل‌ها در آمریکا، مستقیماً به فروپاشی فاجعه بار یک پل در ۱۹۶۷ در غرب ویرجینیا نسبت داده شد. اصلاحات طراحی برای پاسخ لرزه‌ای پل‌ها در نتیجه‌ی آسیبهای وارد بر این سازه‌ها در زلزله‌ی ۱۹۷۱ سان‌فرانسیسکو، صورت گرفت. امروزه، بطور کلی پل‌ها در ایالت متحده رتبه‌بندی شده‌اند و توسط دولت فدرال به صورت دو سالانه با استفاده از تکنیک‌های بازرسی بصری نظارت و کنترل می‌شوند. این پروسه آهسته است و بخش‌هایی از پل برای چنین بازرسی‌هایی غیر قابل دسترسی هستند. این احتمال وجود دارد که آسیب در بازرسی‌ها مشخص نشود و یا ترک‌ها در اعضای باربر در فواصل بازرسی رشد کرده و به مرحله بحرانی برسند. شایع‌ترین این چنین خرابی‌ها فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس در تابستان 2007 بود. (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۱: فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس، مینسوتا، ایالات متحده امریکا

علاوه بر این مکانیزم تجمعی آسیب بصورت تدریجی می‌تواند منجر به آسیب‌های ناگهانی در پل شود. همچنین برخوردها نیز می‌توانند منجر به فرو ریختن پل شود. به عنوال مثال پل راه آهن AMTRAK در جنوب شرقی ایالت متحده در ۱۹۹۳ براثر برخورد قایق به پایه پل فرو ریخت. بیش از ۱۳٪ آسیب‌های شناسایی شده در پل‌ها از سال ۱۹۵۰ به برخورد نسبت داده شده است. براساس این نگرانی ها روش‌های پیوسته و کمّی‌ای برای نظارت بر آسیب پل‌ها به منظور تقویت و یا جایگزینی روش‌های بازرسی فعلی مورد مطالعه قرار گرفته است. از اواخر ۱۹۹۰ سیستم های تجاری برای نظارت بر سلامت پل‌ها موجود بوده است اما در بیشتر موارد آنها حداقل

ابزار را، بدون قدرت تفکیک مکان برای تشخیص شروع زودرس آسیب محلی فراهم می‌کنند. نهایتاً براساس اهمیت رو به رشد تکنولوژی پایش سلامت سازه در سازه‌های پل‌ها سازمان حمل و نقل ایالت متحده، مرکزی را برای اعتبار سنجی روش‌های غیر مخرب بازرسی پل‌ها ایجاد کرده است.

در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، صنعت نفت تلاش‌های قابل توجهی جهت ایجاد روش‌های تشخیص خرابی مبتنی بر ارتعاش برای سکوهای نفتی دریایی انجام داده است. این مسأله‌ی تشخیص خرابی اصولاً متفاوت از روش تشخیص خرابی ماشین آلات چرخشی است، به این دلیل که موقعیت خرابی نامعلوم است و دسترسی به بخش اعظم این ساختار برای اندازه‌گیری به آسانی میسر نیست. روش متداولی که جهت رفع این مشکلات، توسط صنعت نفت اتخاذ شده است شامل شبیه سازی حالت‌های خرابی محتمل با مدل‌های عددی، بررسی تغییرات فرکانس رزونانسی که توسط تغییرات شبیه سازی شده ایجاد می‌شود و ایجاد ارتباط این تغییرات با دیتای حاصل از اندازه‌گیری بر روی سکوهای نفتی دریایی می‌باشد. تعدادی از مشکلاتی که در این راستا وجود داشت شامل مشکلات اندازه‌گیری ناشی از نویز ماشین‌آلات سکوها، بکار بردن صحیح تجهیزات اندازه‌گیری در شرایط محیطی نامطلوب، تغییر میزان ذخایر و ناتوانی حرکت موج برای ایجاد حالت‌های ارتعاشی شدیدتر بود. این مسائل مانع پذیرش این تکنولوژی شد و تلاش‌های بیشتر جهت توسعه‌ی این تکنولوژی برای سکوهای نفتی دریایی در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ بی‌نتیجه رها شد.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ انجمن هوافضا شروع به تحقیق و بررسی در خصوص استفاده از روش تشخیص خطای مبتنی بر ارتعاش و توسعه‌ی شاتل فضایی کرد. سیستم نظارت و بازبینی مودال شاتل (SMIS[1]) به منظور تشخیص فرسودگیِ اجزائی همچون سطوح کنترل، پانل‌های بدنه‌ی هواپیما و سطوح بالابر ایجاد شد. این سطوح دارای پوششی از یک سیستم حفاظتی حرارتی هستند که آن‌ها را غیر قابل دسترس می‌سازد و بنابراین، برای روش‌های بررسی و آزمون‌های غیر مخرب محلی معمول قابل استفاده نیستند. SMIS در تعیین محل قطعات آسیب دیده که با سیستم حفاظتی حرارتی پوشانده شده، موفق بوده است. از سال ۱۹۸۷ تست‌های SMIS به صورت دوره‌ای بر روی تمامی مدارگردها انجام می‌شود. کاربردهای ایستگاه فضایی سبب توسعه‌ی روش‌های تجربی/تحلیلی مربوط به شناسایی خرابی عناصر خرپای ناشی از زباله‌های فضایی شده است. از اواسط دهه‌ی ۱۹۹۰ با ایجاد مخزن سوخت کامپوزیت برای وسایل پرتاب، زمینه‌ی مطالعات تشخیص خرابی مربوط به مواد کامپوزیت نیز فراهم شد.

سیستم SHM در مورد ساختمان‌های بلند مرتبه و آسمان خراش‌ها از اهمیت بیشتری نسبت به ساختمان‌های کوتاهتر برخوردار است زیرا آسیب‌های این نوع سازه‌ها خطرات جانی، مالی و اقتصادی قابل توجهی برای جوامع در پی دارد. این سازه‌ها متشکل از اجزا متعددی در تعداد زیاد همانند ستون‌ها، تیرها، دال‌ها و... هستند. بنابراین روش‌های SHM برای هریک از این اجزا بصورت جداگانه ارائه شده است و در نهایت استراتژی SHM برای پایش کل ساختمان با در نظر گرفتن سیستم سنسورهای کاهش یافته و محدود شده به اجزاء بحرانی و حساس‌تر سیستم مانند ستون‌ها و هسته‌ها مخصوصاً در طبقات پایین‌تر و تیرهای تحت بارهای دینامیکی و استاتیکی بزرگتر شکل می‌گیرد. در این موارد ترکیبی از پایش استاتیکی و دینامیکی سازه توصیه

[1] - Shuttle Modal Inspection System

شده است. روش‌های پایش استاتیکی با استفاده از تغییر شکل‌های استاتیکی سازه از جمله با اندازه‌گیری کرنش یا جابجایی سازه تحت یک بار استاتیکی بزرگ و مشخص با بهره‌گیری از بهنگام‌سازی مدل المان محدود سازه، تغییرات سختی و ظرفیت تحمل بار سازه را بررسی و پایش می‌نمایند. روش‌های پایش دینامیکی که مبتنی بر ارتعاش[1] هستند، تغییرات خصوصیات ارتعاشی سازه (مانند فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی) و سیگنال‌های ثبت شده را نشانگر خسارت و آسیب در سازه می‌دانند. در حقیقت آسیب موضعی، خصوصیات فیزیکی سازه (سختی/ جرم) را تغییر می‌دهد که این امر خود سبب تغییر در مشخصات ارتعاشی و سیگنال‌های برداشت شده از سازه می‌شود. بنابراین با اندازه‌گیری و محاسبه خصوصیات ارتعاشی سازه و بررسی تغییرات آنها، وضعیت سازه پایش می‌شود.

همچنین بناهای تاریخی نیز با توجه به نقش مهمی که در تاریخ جامعه دارند و به دلیل سن سازه، زیبایی‌های معماری، دلایل مذهبی و وقایع تاریخی مورد توجه هستند، از جمله مواردی هستند که اجرای سیستم SHM در آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این موارد نیز آسیب سازه می‌تواند منجر به از دست رفتن کل سازه شود که علاوه بر مسائل ایمنی و اقتصادی می‌تواند آسیب‌های برگشت ناپذیری بر فرهنگ و تاریخ جوامع نیز بگذارد. استراتژی کلی برای نظارت بر بناهای تاریخی وجود ندارد زیرا این سازه‌ها می‌توانند از هر نوعی: ساختمان، کلیسا، مسجد، پل، موزه، تونل و نظایر آنها باشد. اما می‌توان از سیستم‌های SHM موجود در هر نوع برای نظارت بر آنها استفاده کرد.

فرآیند پایش سلامت همچنین در سازه‌های مورد استفاده در صنایع مختلف نظیر خطوط لوله نفت و گاز، سازه‌های نیروگاهی، توربین‌های بادی و ... نیز بکار گرفته شده است.

۱-۱-۲- بررسی آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های مرتبط با صنعت برق

از نخستین علل و انگیزه‌هایی که ضرورت پرداختن و توسعه مباحثی نظیر نگهداری و تعمیرات، مقاوم‌سازی و پایش سلامت سازه را ایجاب می‌کند، مشاهده وقوع خسارات و خرابی‌ها در سازه‌ها و پی‌آمدهای زیان بار تحمیل شده در نتیجه این خسارات هستند. بر این اساس، مروری بر سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در انواع مختلف سازه‌های صنعت برق می‌تواند به درک ضرورت و چرایی پرداختن به این موضوعات کمک شایانی نماید. ازاینرو در این بخش از گزارش، نمونه‌هایی از آسیب‌ها و خرابی‌های مشاهده شده در گذشته در سازه‌های صنعت برق در سطح دنیا و ایران، ارائه شده‌اند. در ابتدا مناسب است که تعریف دقیقی از مفاهیم آسیب و خرابی در سازه‌ها و علل و عوامل ایجاد آنها به شرح زیر ارائه شود:

- **آسیب**[2]: هر نوع تغییر ایجاد شده در ویژگی‌های مصالح، هندسه و پیوستگی در اجزای سازه که لزوماً باعث قطع عملکرد مورد انتظار سازه نمی‌شوند. (مثال: ترک، خوردگی، زوال مصالح، نقص‌های هندسی، حذف یا شل‌شدگی پیچ‌ها و ... که به آنها آسیب موضعی[3] هم اطلاق می‌شود)

[1] - Vibration based
[2] - Damage
[3] - Local damage

- **خرابی**[1]: از دست رفتن مقاومت یا پایداری کل سازه با بخش‌های عمده‌ای از آن که منجر به قطع عملکرد مورد انتظار سازه شود. (مثال: فروریزش[2] ، واژگونی، تغییرشکل‌های زیاد و...) در برخی از مراجع، آسیب به لحاظ شدت درجه‌بندی شده و خرابی به عنوان شدیدترین درجه آسیب منظور می‌شود.

آسیب‌های موضعی در اعضای سازه‌ای می‌توانند در طول زمان گسترش یافته و به خرابی یا فروریزش کلی سازه منتج شوند. از طرف دیگر، وجود این آسیب‌ها سبب کاهش در ظرفیت باربری و قابلیت اطمینان سازه شده و می‌تواند منجر به شکست زودهنگام در اثر مخاطرات با شدت‌هایی به مراتب کمتر از مقادیر مورد نظر در طراحی سازه‌ها شود.

عمده علل و عوامل ایجاد آسیب‌های موضعی در سازه‌ها را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱. **عوامل مربوط به مرحله ساخت سازه‌ها**
   - حوادث حین حمل و نقل و یا ساخت و نصب اجزای سازه‌ای (ضربه و ...)
   - اشکالات اجرا در قطعات بتنی (عدم تراکم مناسب، شرایط محیطی نامساعد و ...)
   - نقص‌ها و خطاهای اجرایی و اشکالات در مصالح
   - خطاهای طراحی
۲. **عوامل مربوط به مرحله بهره‌برداری از سازه‌ها**
   - شرایط محیطی و بهره‌برداری (محیط خورنده، ارتعاش، نشست خاک، بهره‌برداری نادرست)
   - زوال مصالح ناشی از پیری و فرسودگی
   - حوادث طبیعی (طوفان، سیل، زلزله و ...) یا انسانی (عمدی یا غیرعمدی)

عمده علل و عوامل ایجاد خرابی در سازه‌ها نیز عبارتند از:

- رشد و گسترش آسیب‌ها به مرور زمان (خستگی، خزش، فرسودگی)
- اضافه بارهای اعمالی از حوادث طبیعی یا انسانی به سازه‌های آسیب‌دیده یا سالم

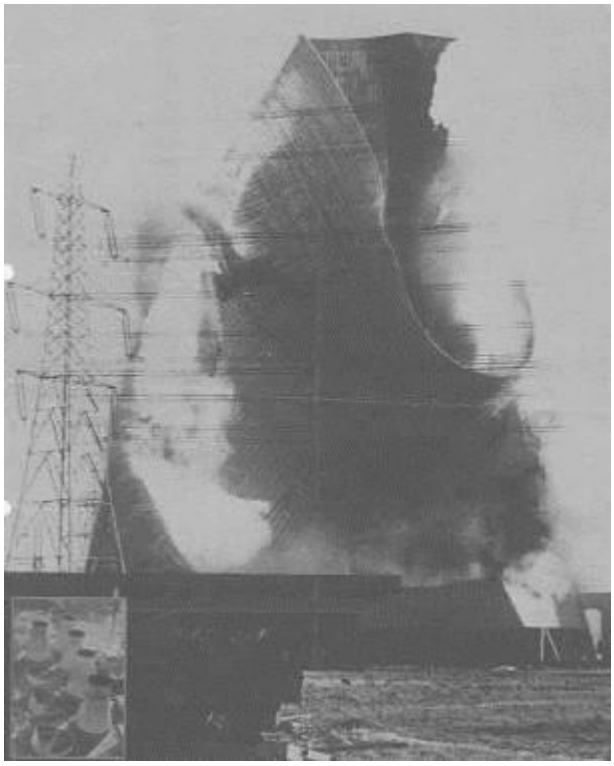
۱-۱-۲-۱- بررسی موارد آسیب و خرابی سازه‌های صنعت برق در دنیا

سازه‌های صنعت برق به دلیل شرایط خاص محیطی و عملکردی خود مستعد تجربه آسیب و خرابی در طول عمر کارکرد خود بوده و جزء سازه‌های با نرخ آسیب نسبتاً بالا (در مقایسه با سازه‌های ساختمانی) هستند. در مورد سوابق آسیب و خرابی در انواع سازه‌های صنعت برق، مستندات تجمیع شده و یکپارچه‌ای وجود نداشته و در بسیاری موارد، حوادث رخداده ثبت و مستندسازی نشده و یا اطلاعات مربوطه منتشر نشده و در دسترس نیستند. [۶۲] موارد ارائه شده در این بخش از گزارش صرفاً نمونه‌هایی از سوابق آسیب و خرابی بوده که از جستجوی منابع و مستندات گوناگون (مقالات، گزارش‌های خبری، کتاب‌ها و ...) گردآوری و در شکل ۴-۱ الی شکل ۲۸-۱ ارائه شده‌اند.

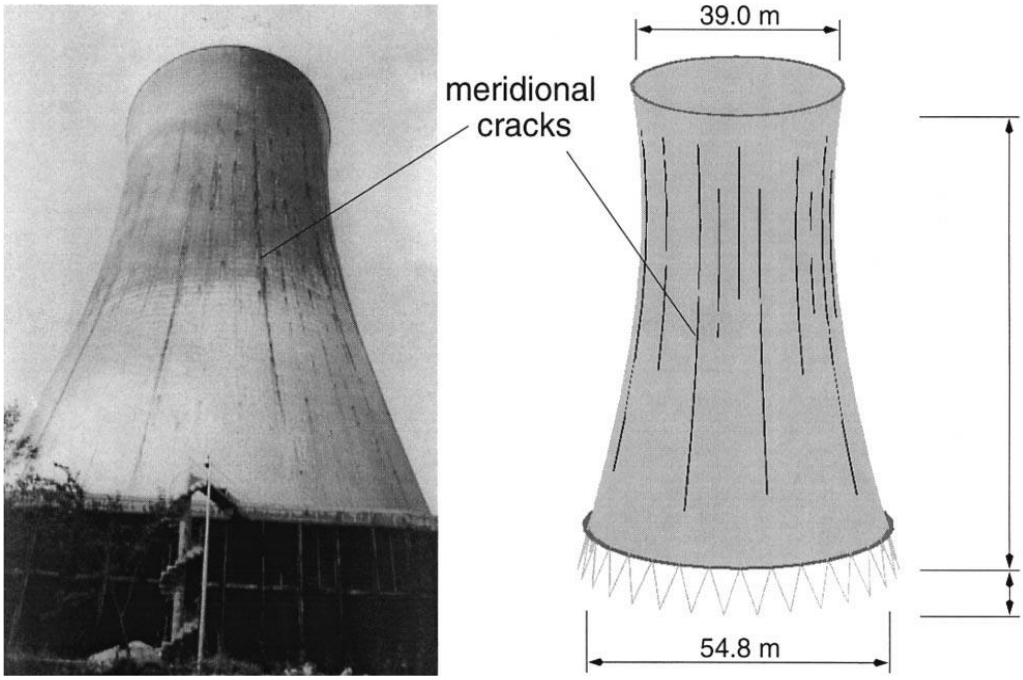
[1] - Failure
[2] - Collapse

شـکل ۴-۱ فروریزش یک برج خنک‌کن هلر بتنی در انگلسـتان را نشـان می‌دهد که در اثر وزش طوفان دچار خرابی شد و بررسی‌های بعدی نشان داد که طراحی و میلگردگذاری پوسته برج نیز اشکال دارد. این خرابی موجب اصـلاح روال‌ها و روش‌های طراحی این نوع از برج‌ها شـد. [۶۲] همچنین آسـیب‌های موضـعی و ترک‌های طولی و عرضـی نیز در تعداد قابل توجهی از برج‌های خنک‌کن بتنی در دنیا دیده شـده که نمونه‌ای از آن در شـکل ۵-۱ نشان داده شده است. عمده این آسیب‌های موضعی ناشی از ترکیب شرایط محیطی (تغییرات دما و رطوبت، باد) با اشکالات طراحی و ساخت سازه‌ها (کیفیت پایین بتن و میلگرد ناکافی) بوده و به مرور زمان اینجاد شده‌اند.

نمونه‌هایی از خرابی در بخش‌هایی از سـازه چوبی برج‌های خنک‌کن تر نیز در شـکل ۶-۱ و شـکل ۷-۱ نشـان داده شده‌اند. این خرابی‌ها معمولا ناشی از گسترش آسیب‌های موضعی (بخصوص پوسیدگی، جابجایی و شکست) به مرور زمان در اعضای چوبی این سازه‌ها می‌باشند.



شکل ۴-۱: فروریزش برج خنک‌کن در نیروگاه Ferrybridge انگلستان-۱۹۶۵



شکل ۵-۱: آسیب‌های (ترک) ایجاد شده در برج خنک‌کن در نیروگاه Ptolemaïs **یونان**



شکل ۶-۱: تخریب بخشی از سازه برج خنک‌کن تر در نیروگاه Urea **هندوستان-۲۰۰۷**



شکل ۷-۱: تخریب بخشی از سازه برج خنک‌کن تر در نیروگاه Muja استرالیا-۲۰۱۴



شکل ۸-۱: تخریب بخشی از سازه نگهدارنده بویلر در نیروگاه Didcot انگلستان-۲۰۱۶

فهرستی از آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در جدول زیر ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین آسیب و خرابی در برج‌های خنک‌کن (بتنی خشک و چوبی تر) گزارش شده است. عمده مودهای آسیب در برج‌های خنک‌کن بتنی نیز ترک خوردگی در اثر مرور زمان است.

جدول ۱-۱: نمونه‌هایی از آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در دنیا

کشور	نیروگاه	نوع سازه	نوع آسیب یا خرابی	علت	سال
انگلستان	Ferrybridge	برج خنک کن	فروریزش	طوفان	۱۹۶۵
اسکاتلند	Adeer Nylon Works	برج خنک کن	فروریزش	باد متوسط	۱۹۷۳
فرانسه	Bouchain	برج خنک کن	فروریزش	باد متوسط	۱۹۷۹
انگلستان	Fiddlers Ferry	برج خنک کن	فروریزش	طوفان	۱۹۸۴
ژاپن	Ikata	فونداسیون توربین	ترک خوردگی و تغییرشکل	مواد شیمیایی در آب دریا	۱۹۸۱
آفریقای جنوبی	Kelvin	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۸۶
فرانسه	Pont sur Sambre	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۸۹
فرانسه	Ansereuilles	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۸۹
آفریقای جنوبی	Athlone	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۹۳
انگلستان	Ratcliffe	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۹۵
انگلستان	Ironbridge	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	۱۹۹۵
یونان	Ptolemaïs	برج خنک کن	ترک خوردگی شدید	پیری	--
هندوستان	Urea line-II	برج خنک کن تر	فروریزش موضعی	نقائص سازه ای	۲۰۰۷
استرالیا	Wallerawang	برج خنک کن تر	فروریزش موضعی	--	۲۰۱۳
استرالیا	Muja	برج خنک کن تر	فروریزش موضعی	--	۲۰۱۴
انگلستان	Didcot	سازه بویلر	فروریزش موضعی	پیری	۲۰۱۶

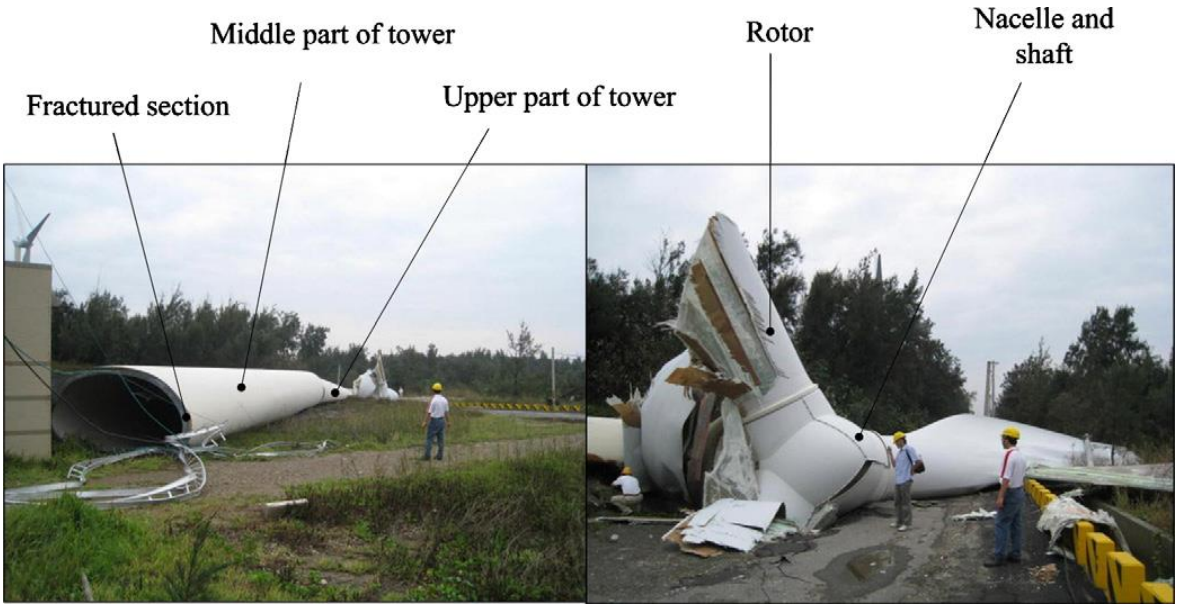
نمونه‌هایی از فروریزش و شکست برج در توربین‌های بادی که در اثر باد شدید اتفاق افتاده‌اند، در شکل ۹-۱ و شکل ۱۰-۱ نشان داده شده‌اند. در نمونه دیگری از فروریزش توربین بادی که در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده و با توجه به شکست‌های مشاهده شده در بولت‌های اتصالات قطعات برج، ترکیبی از باد شدید، مقاومت ناکافی بولت‌های اتصال و کنترل کیفیت ضعیف بولت‌ها در حین نصب، به عنوان دلایل محتمل شکست عنوان شده‌اند. [۷۰] بر اساس شکل ۱۲-۱، در حدود ۱۲٪ از کل حوادث رخداده در توربین‌های بادی در دنیا مربوط به شکست‌های سازه‌ای می‌باشند. فهرستی از ۶۲ حادثه شکست کامل برج توربین بادی در نقاط مختلف دنیا در بازه زمانی ۱۹۹۷ الی ۲۰۰۹ در [۷۰] ارائه شده است.



شکل ۹-۱: فرو ریختن توربین بادی در کانزاس- ۲۰۱۴



شکل ۱۰-۱: فرو ریختن توربین بادی در آلمان- ۲۰۱۷



شکل ۱۱-۱: فرو ریختن توربین بادی در تایوان در اثر طوفان- ۲۰۰۸

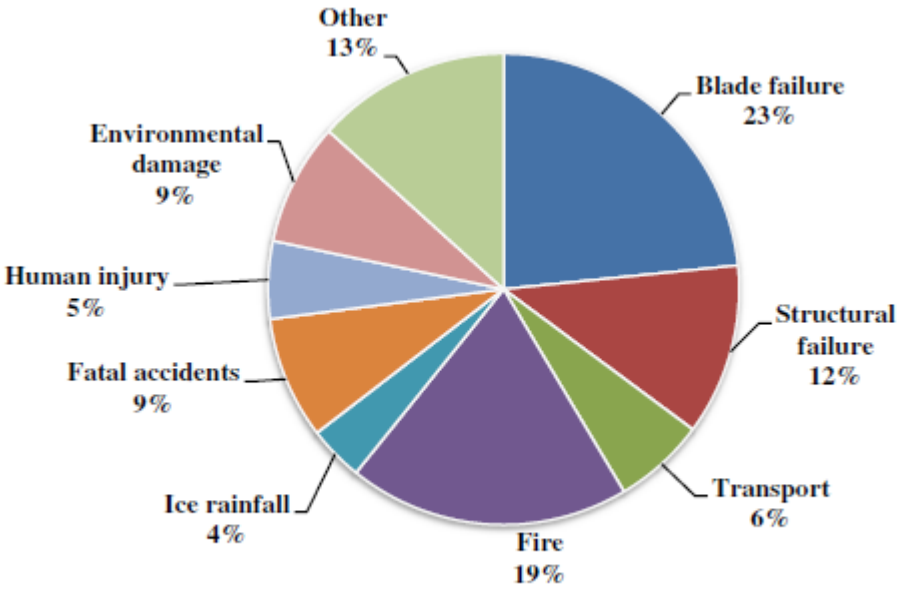


Fig. 7. Failure types of wind turbine accidents.

شکل ۱۲-۱: حالات خرابی در توربین‌های بادی در دنیا-۱۲ درصد خرابی‌ها در سازه توربین [۷۰]

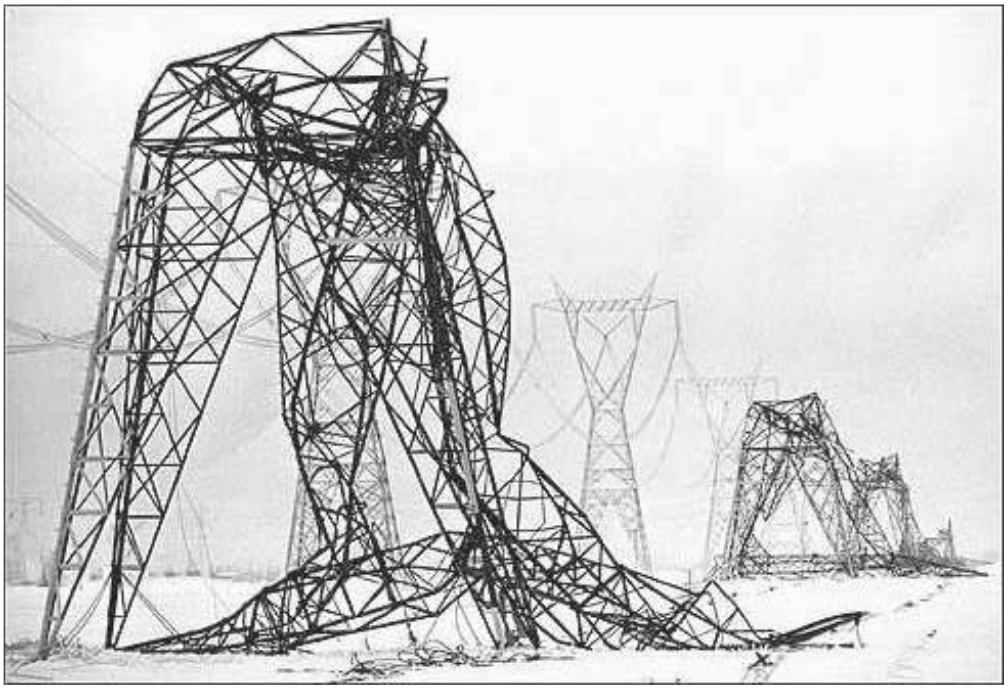


شکل ۱۳-۱: آسیب ایجاد شده (ترک) در بتن فونداسیون توربین بادی

خطوط انتقال در سراسر دنیا از جمله زیرساخت‌هایی هستند که نسبتاً به تعداد زیادی (نسبت به سایر انواع سازه‌ها) خرابی در آنها اتفاق افتاده است. عمده خرابی‌های رخداده در خطوط و دکل‌های انتقال ناشی از مخاطرات محیطی طبیعی (عمدتاً طوفان، برف و یخ، رانش زمین) و انسانی (سرقت، تصادفات، خرابکاری) بوده است. نمونه‌هایی از خرابی دکل‌های انتقال در اثر مخاطرات محیطی جوی در شکل ۱۴-۱ الی شکل ۱۷-۱ نشان داده شده‌اند. بدیهی است که وجود آسیب در اجزای دکل یا فونداسیون که به دلایل مختلف می‌تواند ایجاد شود (مانند مورد نشان داده شده در شکل ۱۸-۱) منجر به کاهش مقاومت و افزایش احتمال خرابی آن در رخدادهای محیطی آینده (حتی با شدت کمتر از مقادیر طراحی) خواهد شد. نمونه‌هایی از شکست دکل در اثر عوامل مربوط به زمین و فونداسیون نیز در شکل ۱۹-۱ و شکل ۲۰-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۴-۱: گسیختگی پشت سر هم در خط انتقال بر اثر طوفان یخی در نبراسکا- ۲۰۰۷



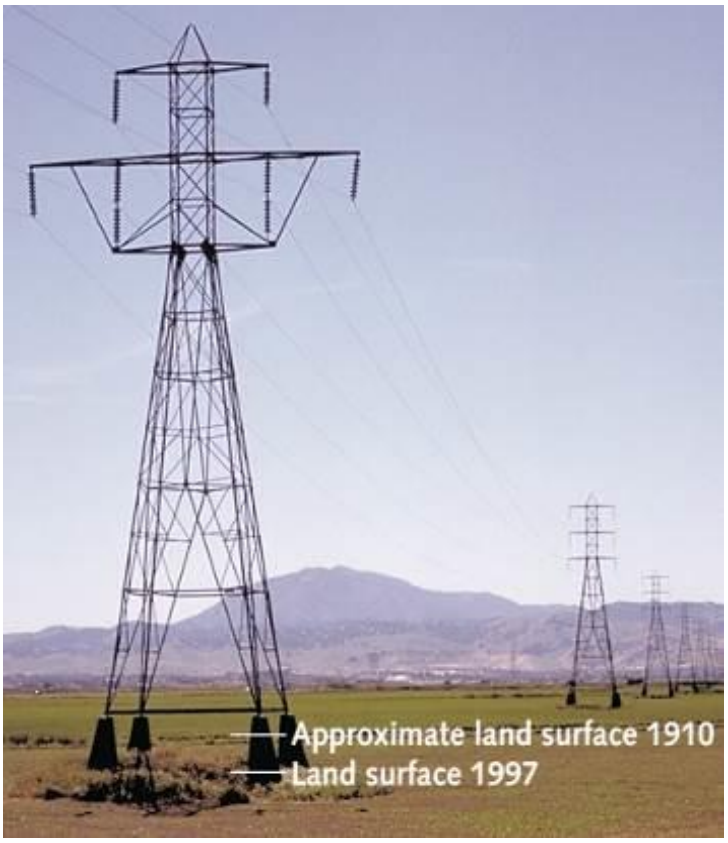
شکل ۱۵-۱: فروریختن دکل‌های خطوط انتقال و توزیع در کانادا تحت اثر طوفان یخ



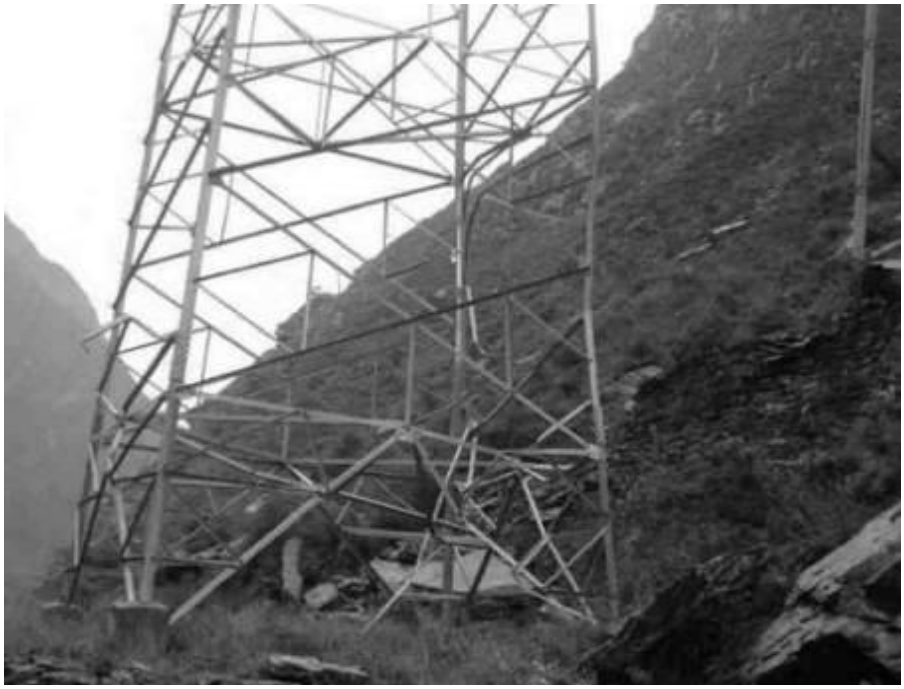
شکل ۱۶-۱: گسیختگی پشت سر هم در خط انتقال بر اثر بار ناشی از برف مرطوب در آلمان- ۲۰۰۵



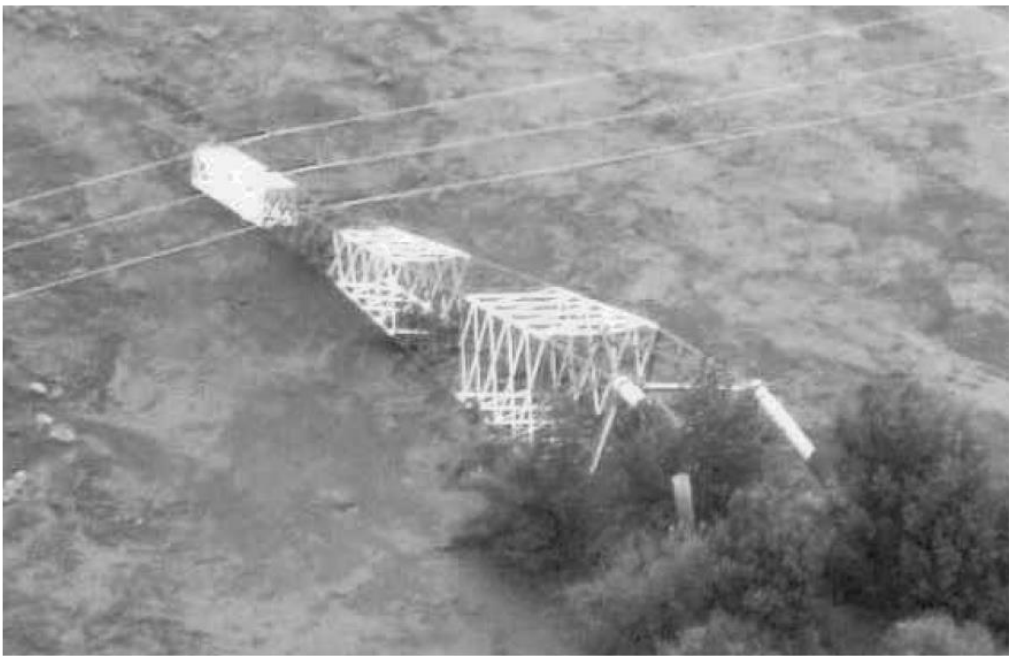
شکل ۱۷-۱: شکست دکل انتقال در اثر طوفان مایکل در آمریکا- ۲۰۱۸



شکل ۱۸-۱: فرونشست زمین و تاثیر آن بروی پی دکل‌های برق در جزیره Sherman امریکا



شکل ۱۹-۱: شکست دکل انتقال در اثر رانش زمین ناشی از زلزله در چین-۲۰۰۸



شکل ۲۰-۱: فرو ریختن دکل انتقال برق در زلزله شیلی به دلیل ضعف فونداسیون-۲۰۱۰

در خصوص پست‌های انتقال، عمده خرابی‌ها و خسارات رخداده در گذشته، در اثر وقوع زلزله بوده است. عمده تجهیزات مورد استفاده در پست‌های انتقال در زلزله‌های گذشته دچار خرابی، شکستگی و سقوط از روی پایه‌های نگهدارنده خود شده‌اند. مطالعات گسترده‌ای در نقاط مختلف دنیا در خصوص بررسی رفتار پست‌های انتقال در برابر زلزله انجام شده و بر اساس نتایج حاصله، استانداردهای مختلفی با هدف بهبود رفتار لرزه‌ای آنها تدوین شده‌اند که به عنوان شاخص‌ترین آنها می‌توان IEEE 693 را نام برد. عمده دلایل آسیب‌پذیری تجهیزات پست‌های انتقال در برابر زلزله به شرح زیر است:

- عدم مهاربندی مناسب تجهیزات به زمین (بخصوص ترانس‌های قدرت)
- وجود جرم‌های متمرکز در بالای تجهیزات
- استفاده از مصالح ترد و شکننده (مانند سرامیک) در تجهیزات
- داشتن میرایی نسبتاً پایین

نمونه‌هایی از شکست تجهیزات پست در زلزله در شکل ۲۱-۱ الی شکل ۲۳-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲۱-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در چین-۲۰۰۸



شکل ۲۲-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در تایوان-۱۹۹۹



شکل ۲۳-۱: شکست تأسیسات پست برق در اثر زلزله در شیلی-۲۰۱۰

موارد متعددی از آسیب و شکست نیز در پایه‌های خطوط توزیع هوایی مشاهده شده است. عمده خرابی‌های پایه‌های توزیع در اثر مخاطرات محیطی طبیعی و انسانی (مانند طوفان، زلزله، رانش زمین، تصادفات) رخداده‌اند. ترک‌خوردگی، ریختن پوشش بتن و خوردگی میلگردها از حالات آسیب بسیار شایع در پایه‌های توزیع بتنی می‌باشند. نمونه‌هایی از شکست پایه‌های توزیع در دنیا در شکل ۲۴-۱ الی شکل ۲۸-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲۴-۱: شکست پایه چوبی توزیع در کانزاس در اثر طوفان یخی- ۲۰۰۷



شکل ۲۵-۱: شکست پایه‌های شبکه توزیع در اثر طوفان در آمریکا- ۲۰۱۸



شکل ۲۶-۱: شکست پایه شبکه توزیع در اثر طوفان مایکل در آمریکا- ۲۰۱۸



شکل ۲۷-۱: روانگرایی در نزدیکی پایه پل و کج شدن تیر برق در نزدیکی آن در ژاپن- ۲۰۰۷



شکل ۲۸-۱: کج شدن پایه توزیع در اثر رانش زمین در ژاپن- ۲۰۰۷

۱-۱-۲-۲- بررسی موارد آسیب و خرابی سازه‌های صنعت برق در ایران

در کشور ایران موارد متعددی از وقوع خسارت و خرابی در سازه‌های صنعت برق (بخصوص در بخش‌های انتقال و توزیع) اتفاق افتاده است. در مجموعه صنعت برق کشور نیز ثبت و مستندسازی خسارات رخداده در سازه‌های بخش‌های مختلف، بصورت یکپارچه و استاندارد انجام نشده و دسترسی به این اطلاعات نیز به سادگی مقدور نمی‌باشد. در این بخش، نمونه‌هایی از آسیب‌ها و خرابی‌های رخداده در سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق کشور (سازه‌های نیروگاهی، سازه‌های انتقال و توزیع) با استفاده از منابع گوناگون (گزارش‌ها، مقالات، خبرها و ...) گردآوری و در شکل ۲۹-۱ الی شکل ۵۷-۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۲۹-۱: نشست زمین اطراف شالوده پایه‌های بویلر نیروگاه لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹



شکل ۳۰-۱: شکستگی نشیمن‌گاه خرپای سقف واحد نیروگاهی لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹



شکل ۳۱-۱: آسیب در بتن فونداسیون توربین-نیروگاه بعثت-۱۳۹۸

با توجه به عدم انجام فعالیت‌های پایش سلامت و تشخیص آسیب سازه‌ها بصورت نظام‌مند در نیروگاه‌های کشور و همچنین عدم مستندسازی و ثبت حوادث و آسیب‌های سازه‌ای رخداده، انتظار می‌رود که موارد واقعی آسیب‌های موجود، بیشتر از موارد ارائه شده در این بخش باشد.

نمونه‌ای از شکست و فروریزش برج یک توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در یکی از نیروگاه‌های بادی کشور در شکل ۳۲-۱ نشان داده شده است. شکست این برج در ناحیه پیچ‌های اتصال برج به قطعه مدفون در فونداسیون آن اتفاق افتاده و بررسی‌های انجام شده، نشان دهنده شکست بولت‌ها در اثر مکانیزم خستگی است. [۱۴۳]



شکل ۳۲-۱: شکست و سقوط توربین بادی ۶۶۰ کیلوواتی در یکی از مزارع بادی کشور

نمونه‌هایی از شکست دکل‌های انتقال کشور در شکل ۳۳-۱ الی شکل ۳۶-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳۳-۱: خرابی دکل انتقال در اثر برف سنگین در ملایر- ۱۳۹۵



شکل ۳۴-۱: آسیب‌های دکل شماره ۲۵ از خط ۲۳۰ کیلو ولت رشت-لوشان در زلزله منجیل-۱۳۶۹



شکل ۳۵-۱: دکل برق تخریب شده در زلزله کرمانشاه-۱۳۹۶



شکل ۳۶-۱: وقوع رانش زمین و خرابی دکل فشار قوی در کردستان- ۱۳۹۵

نمونه‌هایی از خرابی تجهیزات پست‌های انتقال و توزیع کشور در اثر زلزله در شکل ۳۷-۱ الی شکل ۳۹-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳۷-۱: شکست مقره‌های پست در بم در اثر زلزله-۱۳۸۲



شکل ۳۸-۱: خرابی سازه نگهدارنده تجهیزات در پست بم در اثر زلزله-۱۳۸۲



شکل ۳۹-۱: نمونه‌ای از تخریب پست‌های زمینی در زلزله منجیل- ۱۳۶۹

همانطور که در بخش قبل عنوان شد، پایه‌های توزیع (بخصوص پایه‌های بتنی) یکی از اجزای آسیب‌پذیر شبکه برق بوده و موارد متعددی از انواع آسیب در آنها مشاهده شده است. عمده حالات آسیب در پایه‌های بتنی توزیع شامل ترک‌خوردگی، ریختن پوشش بتن، شکستن تکه‌هایی از بتن و خوردگی میلگردها می‌باشند که در اثر عوامل مختلف طبیعی و انسانی ایجاد می‌شوند. نمونه‌هایی از آسیب‌های موجود در پایه‌های توزیع در کشور، در شکل ۴۰-۱ الی شکل ۴۴-۱ نشان داده شده‌اند. همانند سایر سازه‌ها، وجود آسیب در پایه‌های بتنی سبب افت مقاومت و افزایش احتمال شکست و خرابی آنها تحت اثر بارهای مکانیکی محیطی خواهد شد. این موضوع در مورد پایه‌های توزیع که بصورت یک ستون کنسولی بوده و درجه نامعینی و افزونگی[1] ندارند، شدیدتر می‌باشد. نمونه‌هایی از شکست و خرابی پایه‌های توزیع در اثر عوامل مختلف محیطی در شکل ۴۵-۱ الی شکل ۵۷-۱ نشان داده شده‌اند. در خصوص پایه‌های توزیع، بررسی نسبتا جامعی در مورد انواع آسیب‌ها و خرابی‌ها و علل آنها به همراه نمونه‌های رخداده و مشاهده شده، در [۹۱] ارائه شده است.



شکل ۴۰-۱: وجود آسیب (ترک در جان و کنده شدن قسمتی از بتن) در پایه توزیع برق

[1] - Redundancy



شکل ۴۱-۱: وجود آسیب (شکستگی و ریختن بتن) در پایه بتنی توزیع برق-تهران ۱۳۹۹



شکل ۴۲-۱: زوال بتن و میلگرد در اثر رطوبت در جنوب کشور



شکل ۴۳-۱: ریختن پوشش بتن و خوردگی میلگرد-بوشهر-۱۳۹۲



شکل ۴۴-۱: جداشدگی و ریزش پوشش بتن در اثر خوردگی میلگرد در پایه بتنی پیش تنیده



شکل ۴۵-۱: کج شدن پایه توزیع در اثر وقوع رانش زمین در گرگان-۱۳۹۱



شکل ۴۶-۱: سقوط تیرهای برق در اثر رانش زمین در کلاردشت- ۱۳۹۴



شکل ۴۷-۱: شکستگی پایه بتنی ناشی از باد



شکل ۴۸-۱: شکست پایه بتنی در اثر طوفان در تهران-۱۴۰۰



شکل ۴۹-۱: شکستن پایه تیرهای برق در اثر برف سنگین در همدان-۱۳۹۵



شکل ۵۰-۱: شکستگی و کج شدن تیرهای برق در اثر وقوع سیل در شهر بابک- ۱۳۹۵



شکل ۵۱-۱: شکستگی در تیرهای برق در اثر وقوع سیل در تنکابن- ۱۳۹۴



شکل ۵۲-۱: خرابی تیرهای برق در اثر وقوع سیل در زنجان- ۱۳۹۵



شکل ۵۳-۱: شسته‌شدن پایه تیرهای برق در اثر وقوع سیل در خراسان جنوبی- ۱۳۹۲



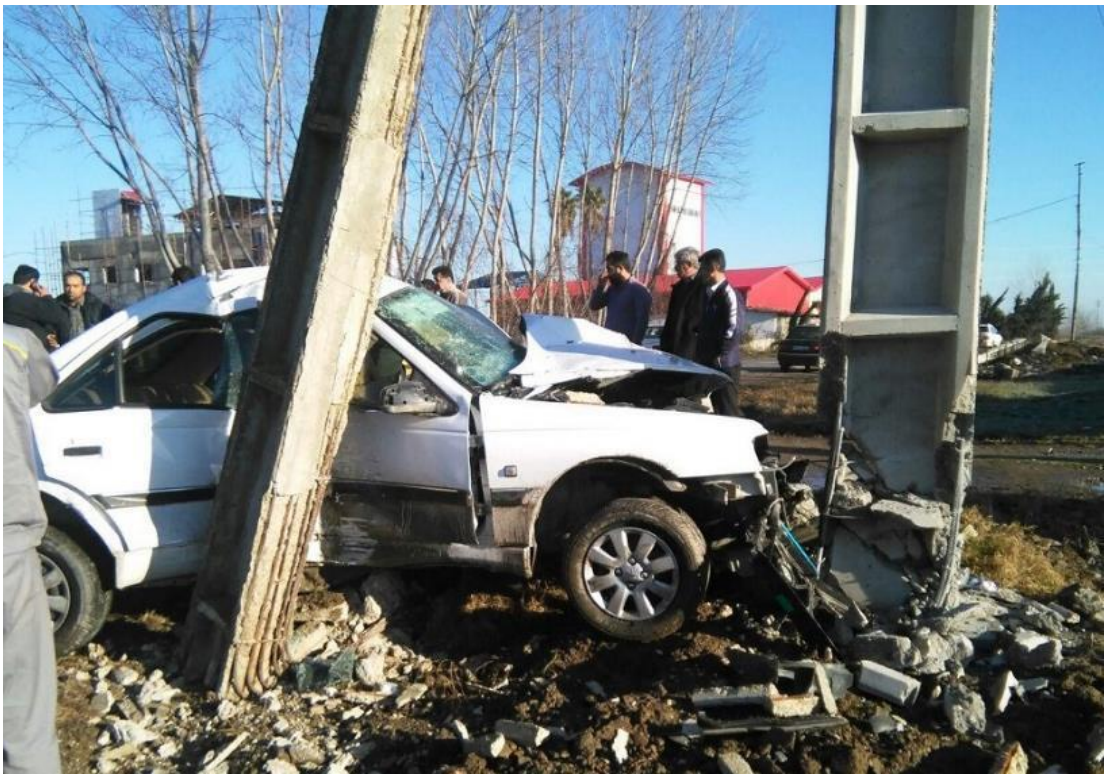
شکل ۵۴-۱: شکست پایه توزیع در زلزله بم-۱۳۸۲



شکل ۵۵-۱: شکست پایه‌های توزیع در زلزله بم-۱۳۸۲



شکل ۵۶-۱: وضعیت پایه بتنی تخریب شده بر اثر زلزله بوشهر در سال ۱۳۹۵ بعد از نصب پایه‌های جدید



شکل ۵۷-۱: صدمه وارد بر پایه در اثر تصادف وسیله نقلیه – نمونه‌ای از مخاطرات انسانی

۱-۱-۳- پیشینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در دنیا

بدلیل نیاز حیاتی بخش‌های مختلف جوامع به انرژی برق، صنعت برق در کلیه کشورها دارای اهمیت استراتژیک بوده و قطع یا اخلال در خدمت رسانی آن (بخصوص در بخش‌های تولید و انتقال که دارای مقیاس تأثیرگذاری بزرگی هستند) می‌تواند منجر به پی آمدهای وخیم اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گردد. از این‌رو حفظ اجزای مختلف شبکه برق در شرایط کارکرد خود، دارای اهمیت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. مباحث نگهداری و زیرمجموعه‌های آن نظیر ارزیابی عملکرد، پایش سلامت، تعمیر، مقاومسازی و بهسازی در سازه‌ها کاملاً در راستای هدف فوق است. در مورد تجهیزات شبکه برق (مانند توربین‌ها، ژنراتورها، پایپینگ، ترانس‌ها و ...) روند پایش سلامت که از آن در ادبیات فنی به پایش وضعیت (CM)[1] تعبیر می‌گردد، متداول بوده و استفاده می‌شود. اما در مورد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق، بحث پایش سلامت مانند سازه‌های موجود در سایر بخش‌های صنعتی و کاربردی، نسبتاً جوان بوده و بیشتر در حوزه‌های تحقیقاتی به آن پرداخته شده است.

در میان انواع سازه‌های موجود در صنعت برق، سدها (نیروگاه‌های برق آبی)، توربین‌های بادی و نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای از بخش تولید و دکل‌های انتقال برق از بخش انتقال، بیشترین حجم فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی در زمینه پایش سلامت در دنیا را به خود اختصاص داده‌اند که در ادامه این بخش، نمایی از وضعیت و فعالیت‌های انجام شده در این خصوص، ارائه شده است.

[1] - Condition Monitoring

۱-۱-۳-۱- نیروگاه‌های هسته‌ای

نیروگاه‌های هسته‌ای یکی از منابع مهم تولید برق در بسیاری از کشورهای جهان می‌باشند که بدلیل هزینه‌های بالای احداث و بهره‌برداری و همچنین پتانسیل بالای خطرزایی آنها برای محیط زیست (به لحاظ آلودگی‌های رادیواکتیو) از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشند. در حدود ۴۴۰ نیروگاه هسته‌ای در دنیا در حال تولید انرژی می‌باشند که در این میان، ۱۰۴ عدد در آمریکا هستند. عمر متوسط این نیروگاه‌ها حدود ۲۰ سال است و عمر مفید بهره‌برداری آنها نیز حدود ۳۰ الی ۴۰ سال بوده و تلاش می‌شود تا به ۴۰ الی ۶۰ سال افزایش یابد. برای اطمینان از صحت عملکرد و حفظ پیوستگی کارکرد این نیروگاه‌ها، دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌ای در دنیا تدوین شده و لازم‌الاجرا می‌باشند که عمده آنها توسط مؤسساتی نظیر آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IEEA) و انجمن مهندسی مکانیک آمریکا (ASME) تهیه شده‌اند. بخش اعظم دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه‌های هسته‌ای شامل انواع روش‌های بازرسی و ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE[1]) می‌باشد. در آمریکا در حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد هزینه کلی تولید انرژی از نیروگاه‌های هسته‌ای، شامل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌شود. این هزینه‌ها در سایر کشورهای دنیا دارای پیچیدگی و پراکندگی بیشتری می‌باشد. [۳۲] و [۳۳]

در سال‌های اخیر بنا به دلایل بسیاری از جمله نیاز به افزایش قابلیت اطمینان عملکرد نیروگاه، وجود خطاهای انسانی در ارزیابی مشکلات، عدم دسترسی مناسب به همه اجزا جهت بازرسی و ارزیابی، نیاز به قطع کارکرد هنگام عملیات بازرسی و ارزیابی، افزایش عمر مفید بهره‌برداری، رشد هزینه‌های بازرسی و نگهداری و وقوع مشکلات پیش‌بینی نشده با افزایش عمر نیروگاه، عدم انطباق مناسب و خطی میان دوره‌های بازرسی با روند رشد آسیب‌ها و موارد نظیر، تمایل به استفاده از روش‌های مدرن و سیستماتیک ارزیابی وضعیت اجزای مختلف نیروگاه به جای روش‌های موجود ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE)، ایجاد شده و در حال گسترش است. در این میان، در نظر است که استفاده از روش‌های مختلف پایش سلامت آنلاین و پیش‌بینی خرابی‌ها به تدریج، جایگزین روش‌های سنتی و متداول ارزیابی‌های غیرمخرب شوند. این موضوع بخصوص در مورد نسل‌های جدیدتر نیروگاه‌های هسته‌ای حائز اهمیت بیشتری است. نیروگاه‌های جدیدتر با هدف بازدهی بیشتر و هزینه نگهداری کمتر و نیاز کمتر به قطع سرویس‌دهی در هنگام بازرسی‌ها و تعمیرات دوره ای، طراحی و ساخته می‌شوند. لزوم کارکرد این نیروگاه‌ها در دماهای بالاتر (نسبت به موارد موجود) و استفاده از مصالح نوین در آنها، موجب افزایش احتمال بروز انواع خرابی و زوال‌های[2] جدید و ناشناخته در اجزای آنها شده و ضرورت استفاده از سامانه های مدرن تشخیص[3] و پیش‌بینی[4] خرابی که مبتنی بر تکنولوژی‌های پایش آنلاین باشند را روشن می‌سازد. بر این اساس و با توجه به ناکافی بودن دستورالعمل‌های موجود در زمینه بازرسی و نگهداری نیروگاه‌های متعارف برای نسل‌های جدید، تلاش‌های وسیعی در آمریکا برای جایگزینی روش‌های پایش آنلاین در بخش‌های مختلف (تجهیزات، سازه‌ها و ...) با روش‌های متداول NDE صورت گرفته است. بررسی‌های انجام شده، نشان دهنده مزایای قابل توجه این جایگزینی، شامل

[1] - Non Distructive Evaluation
[2] - Degradation
[3] - Diagnosis
[4] - Prognosis

افزایش کلی ایمنی، افزایش عمر مفید بهره‌برداری، کاهش قطع سرویس‌های ناگهانی و پیش‌بینی نشده، کاهش هزینه‌های نگهداری و بازرسی و بطورکلی بهبود اقتصاد نیروگاه، امکان برنامه‌ریزی بهینه برای تعمیرات، عدم نیاز به قطع سرویس‌دهی حین بازرسی‌های دوره‌ای، افزایش کلی آگاهی و تسلط مداوم اپراتورها نسبت به بخش‌های مختلف نیروگاه، می‌باشد. [۳۲ و ۳۳]

هم اکنون در آمریکا، حرکت از رویکرد بازرسی دوره‌ای به پایش آنلاین در سازه‌ها و تجهیزات موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای بخصوص در مورد نسل‌های جدید آغاز شده و در حال پیشرفت و گسترش در حوزه های تحقیقاتی و اجرایی است. تحقق این حرکت نیازمند تحقق مواردی از قبیل پیشرفت در تکنولوژی سنسورها، درک بهتر در مورد نحوه انجام اندازه‌گیری‌ها در اجزای نیروگاه، پیشرفت در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، تدوین روش‌ها و الگوریتم‌های ارزیابی و تشخیص و پیش‌بینی خرابی و فرسودگی در اجزای مختلف می‌باشد. [۳۲] و [۳۵]

استفاده از سیستم پایش آنلاین در بخش‌هایی از نیروگاه‌های هسته‌ای (شامل سازه رآکتور)، بصورت محدود و پایلوت و با کارکرد عمدتاً تحقیقاتی، در برخی از کشورها در دنیا (مانند آمریکا، انگلستان، ایتالیا، کانادا و ژاپن) صورت گرفته که نمونه هایی از آنها در مراجع [۳۵] و [۳۷] ارائه شده‌اند. در گزارش مرجع [۳۶] نیز برنامه تحقیقاتی دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) برای اجرا و استفاده از سیستم آنلاین پایش سلامت در بخش‌های سازه‌ای رآکتور Savannah River Site تا سال ۲۰۱۶ (در یک دوره ۵ ساله)، ارائه شده است. سرمایه‌گذاری انجام شده برای انجام تحقیقات مذکور در دوره ۵ ساله (۲۰۱۱ الی ۲۰۱۶) مطابق جدول زیر حدوداً برابر ۲۷ میلیون دلار می‌باشد.

جدول ۲-۱: برنامه کلی زمانی و هزینه برای تحقیقات آزمایشگاهی پیاده‌سازی سیستم پایش آنلاین در اجزای سازه‌ای رآکتورهای نیروگاه هسته‌ای [۳۶]

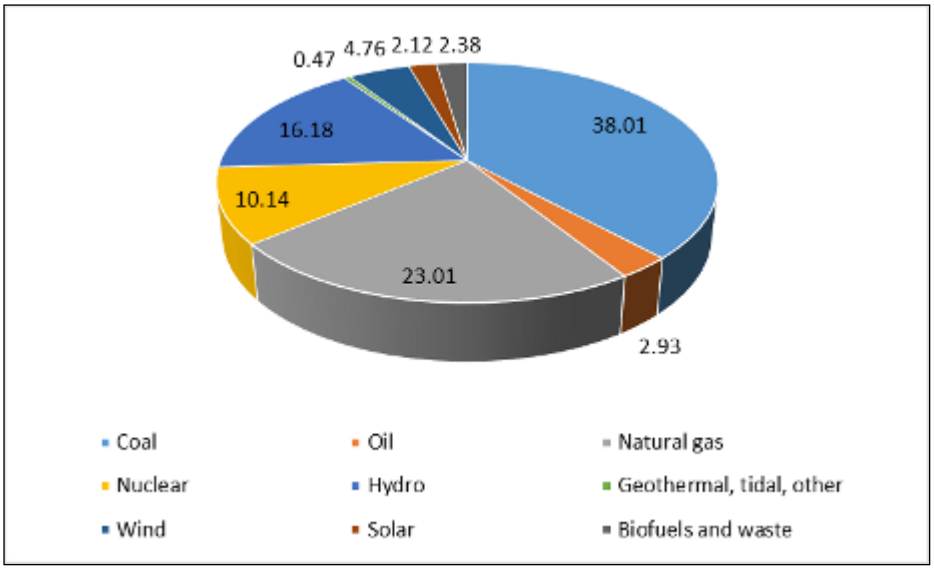
فعالیت	هزینه (هزار دلار) در سال				
	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶
ارتباطات و مستندات	۱۷۰۰	۱۳۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۶۵۰
طراحی، ساخت و بهره برداری از بستر تست مقیاس کامل	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
سیستم کف قوی برای بستر تست	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
برنامه تحقیق و توسعه سنسورهای نوین	۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	۰
استقرار سنسورهای سازه در کلاهک و بالای کف بستر تست	۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰
استقرار سنسورهای فیزیکی و شیمیایی در زیر کف بستر تست	۰	۰	۲۰۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰
توصیه ها به مهندسی ACP	۲۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۰	۰

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در سندی که در سال ۲۰۰۷ منتشر کرده، لزوم اعمال سیستم نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در نیروگاه‌های هسته‌ای را عنوان نموده و استراتژی‌های مورد نیاز برای نیل به این هدف را ارائه نموده که در میان آنها، پایش وضعیت آنلاین (CM) برای تجهیزات و پایش سلامت آنلاین (SHM) برای سازه‌ها نیز مشاهده می‌گردد. [۵۰]

به عنوان نمونه ای از پروژه های مربوط به پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای میتوان به برنامه تحقیقاتی دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) برای اجرا و استفاده از سیستم آنلاین پایش سلامت در بخش‌های سازه ای رآکتور Savannah River Site تا سال ۲۰۱۶ اشاره نمود. [۳۶]

۱-۱-۳-۲- نیروگاه‌های حرارتی

در حال حاضر نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت فسیلی) مهمترین منابع تولید انرژی الکتریکی در دنیا بوده و در میان انواع منابع تولید انرژی، بیشترین سهم تولید را دارا می‌باشند. بر اساس آخرین گزارش آژانس بین‌المللی انرژی[1] تا زمان تهیه این گزارش، ۶۳/۹ درصد انرژی الکتریکی دنیا در سال ۲۰۱۸ توسط نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی تولید شده است. (شکل ۵۸-۱) [۱۰۳]



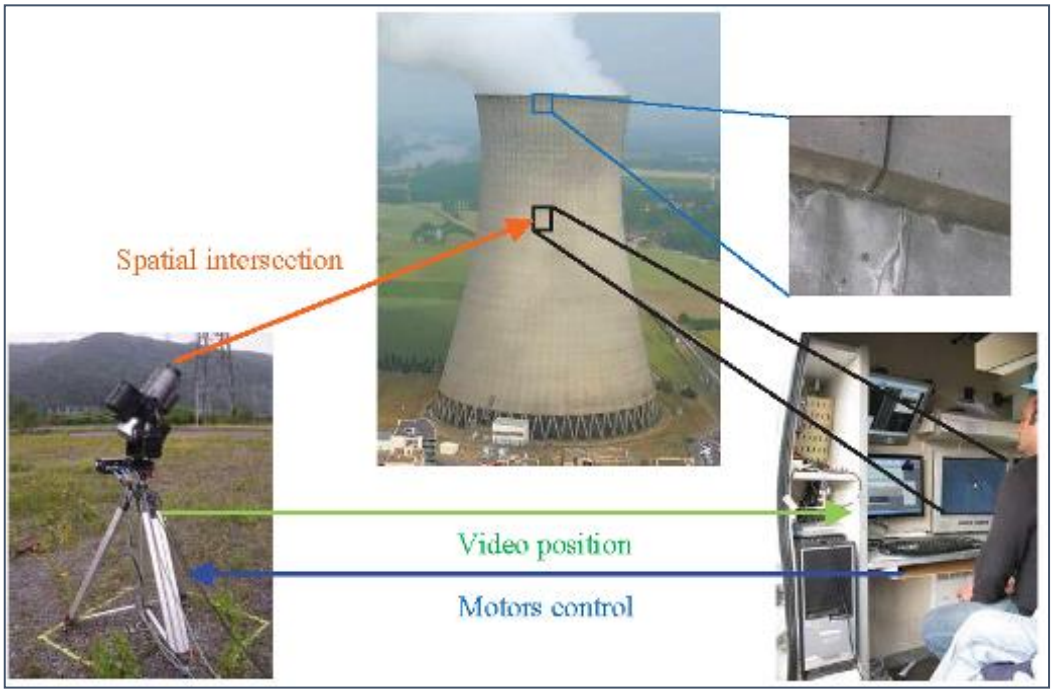
شکل ۵۸-۱: تولید انرژی الکتریکی در دنیا به تفکیک منابع-۲۰۱۸

در نیروگاه‌های حرارتی، بیشترین حجم فعالیت‌های نگهداری و پایش سلامت (از بازرسی تا SHM) در سازه برج‌های خنک‌کننده مشاهده می‌شود که می‌تواند به دلیل وقوع بیشتر آسیب‌ها و خرابی‌ها در این سازه‌ها باشد. پس از خرابی برج‌های خنک‌کننده در نیروگاه‌های Ferrybridge، Adeer Nylon و Fiddlers Ferry در انگلستان، انجمن مرکزی تولید برق[2] در سال ۱۹۸۴ برنامه جامعی را برای بازرسی، تعمیر و نگهداری ۱۳۹ برج خنک‌کن در حال سرویس، آغاز نمود. فاز اول این برنامه شامل بازرسی و پایش سلامت این سازه‌ها جهت تعیین وضعیت موجود و آسیب‌های آنها بود. به عنوان نمونه‌ای از نتایج این بازرسی‌ها، برج خنک‌کن نیروگاه Ratcliffe بود که دارای ترک‌های قائم و تغییرمکان‌های قابل توجه در محیط خود بود. پس از انجام پایش و تعیین آسیب‌ها، اولویت‌بندی برج‌های خنک‌کن دارای آسیب برای انجام برنامه تعمیر و مقاوم‌سازی (با استفاده از تکنیک‌های

[1] International Energy Agency (IEA)
[2] - Central Electricity Generating Board

مختلف) صـــورت گرفت. به عنوان نمونه در برج خنک‌کن نیروگاه Ironbridge که دارای ترک‌هایی در پوســـته بتنی اضـافی در بیرون پوسـته اصـلی بود، با تزریق رزین تعمیر شـد. [۶۲] برنامه مشـابهی در بازه زمانی ۱۹۸۴ الی ۱۹۹۳ در آفریقای جنوبی اجرا شـده و تعدادی از مهمترین برج‌های خنک‌کن دارای آسـیب، شـناسـایی و تعمیر شـــدند که به عنوان نمونه می‌توان به برج‌های نیروگاه‌های Kelvin در ژوهانســـبورگ و Athlone در کیپ‌تاون اشـاره نمود که ترک‌های شـناسـایی شـده در آنها با تزریق رزین اپوکسـی ترمیم شـدند. [۶۲] در موارد متعددی نیز بدلیل شدت و عمق آسیب‌های موجود، سازه برج خنک‌کن قابل استفاده نبوده و تخریب[1] شده که به عنوان نمونه می‌توان به برج‌های نیروگاه‌های Pont sur Sambre و Ansereuilles در فرانسه اشاره نمود. [۶۲]

در ادامه، نمونه‌هایی از پروژه‌های انجام شـده در راسـتای بازرسـی، پایش سـلامت و ارزیابی عملکرد سـازه‌های نیروگاهی ارائه شده‌اند.



شکل ۵۹-۱: بازرسی و تعیین آسیب‌های برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت SITES (فرانسه)

[1] - Demolish

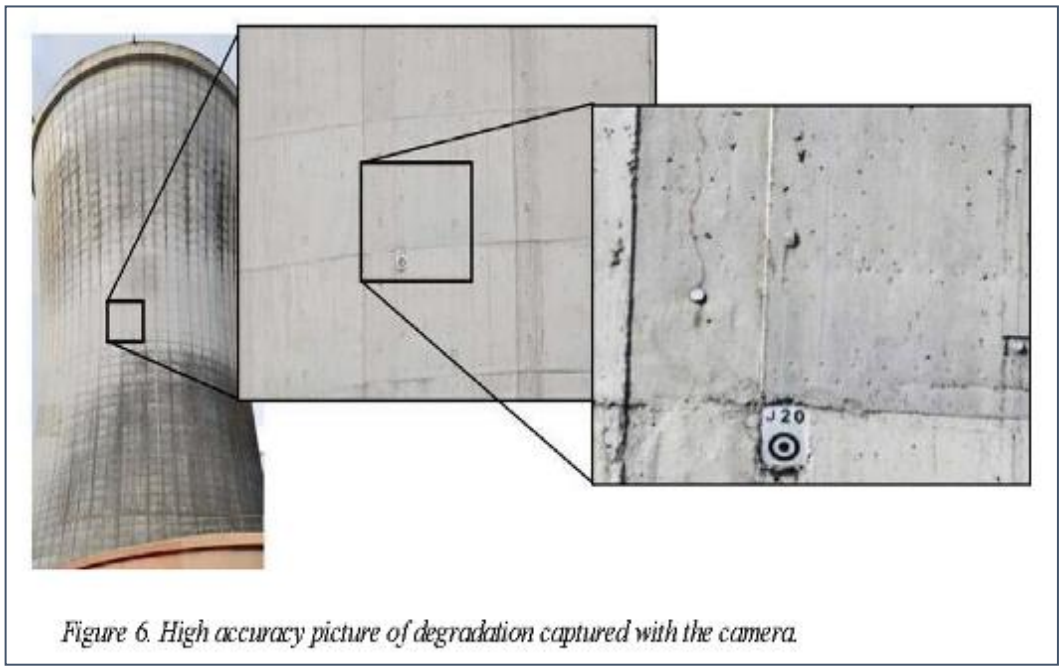
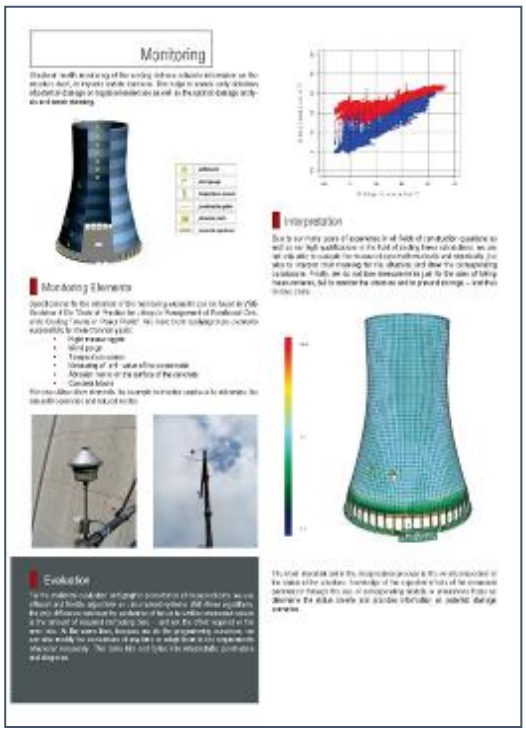


Figure 6. High accuracy picture of degradation captured with the camera.

شکل ۶۰-۱: نمونه آسیب‌های شناسایی شده در برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت SITES (فرانسه)





شکل ۶۱-۱: پایش سلامت برج خنک‌کن بتنی توسط شرکت ZPP (آلمان)



پایش سلامت سازه دودکش　　پایش سلامت سازه بویلر

شکل ۶۲-۱: پایش سلامت سازه‌های نیروگاهی توسط شرکت VCE **(اتریش)**

۱-۱-۳-۳- نیروگاه‌های برق آبی (سدها)

سدها از جمله زیر ساخت‌های مهم عمرانی هستند که اهمیت ویژه‌ای دارند زیرا شکست این سازه‌ها می‌تواند عواقب بسیاری از جمله خسارت مالی و جانی، جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی و آسیب‌های اکولوژیک در پی داشته باشد. سدها سازه‌هایی هستند که هم اکنون به خوبی نظارت و پایش می‌شوند. برای نظارت بر سدها در بیشتر کشورها آیین نامه‌هایی ارائه شده است که با در نظر گرفتن عواقبی که شکست سد می‌تواند داشته باشد از جمله خسارت مالی و جانی، جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی و آسیب‌های اکولوژیک، این موضوع قابل درک است.

پایش سلامت آنلاین در سدها زیرمجموعه برنامه بزرگتری است که در حالت کلی، سیستم ایمنی سد[1] نام دارد. سیستم ایمنی سد مشتمل بر گزاره‌های متعددی نظیر بازرسی و ارزیابی‌های ایمنی جهت تعیین وضعیت سلامت و ایمنی سد و اعلام هشدار در شرایط اضطراری می‌باشد. اولین دستورالعمل ملی در زمینه بازرسی سدها در سال ۱۹۷۲ به دنبال خرابی سد Buffalo Creek در آمریکا که منجر به مرگ ۱۲۵ نفر شد، تدوین گردید. در سال‌های ۱۹۷۸ الی ۱۹۸۰ پس از خرابی سدهای Teton در سال ۱۹۷۶ (با یک میلیون دلار زیان مالی و مرگ ۱۴ نفر) و Kelly Bames در سال ۱۹۷۷ (با مرگ ۳۹ نفر) دستورالعمل‌ها و راهنماهای ایمنی سدها بازنگری و تکمیل شدند. پس از آن نیز به مرور با پیشرفت روش‌های بازرسی و پایش، برنامه ها و دستورالعمل‌های

[1] - Dam Safety System

ایمنی سدها تکمیل و به روز شده و تحت قالب کلی برنامه ملی ایمنی سد[1] مورد بهره‌برداری و اجرا قرار گرفتند. برنامه های ایمنی سدها در سایر کشورهای جهان نیز به همین ترتیب تدوین شده و اجرا می گردند. در ایران نیز مبحث ایمنی سدها تحت عنوان راهنمای ارزیابی ایمنی و اقدامات اضطراری در سدها و سازه‌های وابسته توسط معاونت آبفای وزارت نیرو تهیه و تدوین شده است. در راهنمای مذکور، نکات و الزاماتی در خصوص پایش سدها با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری ارائه شده است. البته عنوان پایش سد در راهنمای مذکور بیشتر ناظر به ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE) بوده و اندازه‌گیری‌های پیوسته و آنلاین پارامترها، بصورت مجزا عنوان نشده است.

پایش سد علاوه بر بازرسی‌های چشمی دوره‌ای، با استفاده از ابزارهای مختلفی نظیر GPS، لرزه نگارها و سنسورهای مختلف کرنش و تغییرمکان صورت می‌گیرد. استراتژی‌های پایش سدها در طول قرن بیستم عمدتاً بر اساس استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولی توسعه یافته بودند. بنابراین روش‌های پایش سدها و مبانی تئوریک آنها براساس استفاده از سنسورهای فیبر نوری، تفاوتی با حالتی که از سنسورهای قدیمی‌تر استفاده شود، ندارند. سنسورهای فیبرنوری می‌توانند جایگزین سنسورهای گسسته قدیمی‌شوند؛ که مزایایی از جمله عدم حساسیت به شرایط سخت زیست محیطی (خوردگی، رطوبت، میدان‌های الکترومغناطیس و ...) دقت، ثبات و عملکرد دراز مدت را در پی خواهد داشت.

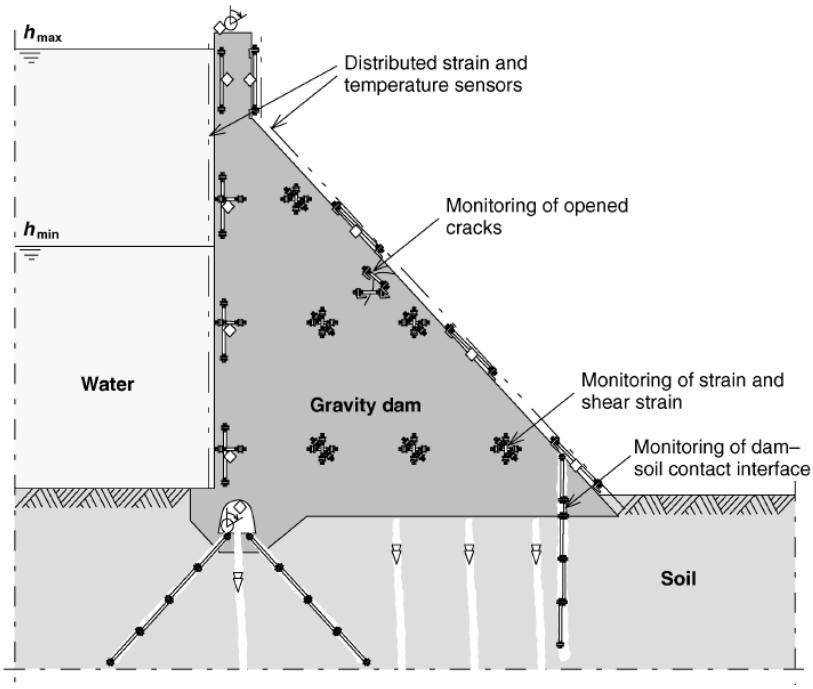
از آنجایی که سدها سازه‌های بزرگی هستند استفاده از تکنولوژی‌های گسترده فیبر نوری امکانات جدیدی را برای نظارت بر کرنش، دما و نشست فراهم می‌کند. یک سنسور توزیع شده اجازه نظارت بر محدوده بزرگی را می‌دهد که با استفاده از سنسورهای قدیمی ممکن نبوده است. علاوه براین تکنولوژی توزیع سنسورها (فیبر نوری) نظارت کلی سدها و اعضای سازه‌ای سد را فراهم می‌سازد. البته تکنولوژی‌های فیبر نوری را نمی‌توان بطور کامل جایگزین تکنولوژی‌های معمولی کرد.

به لحاظ ساختاری، سدها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

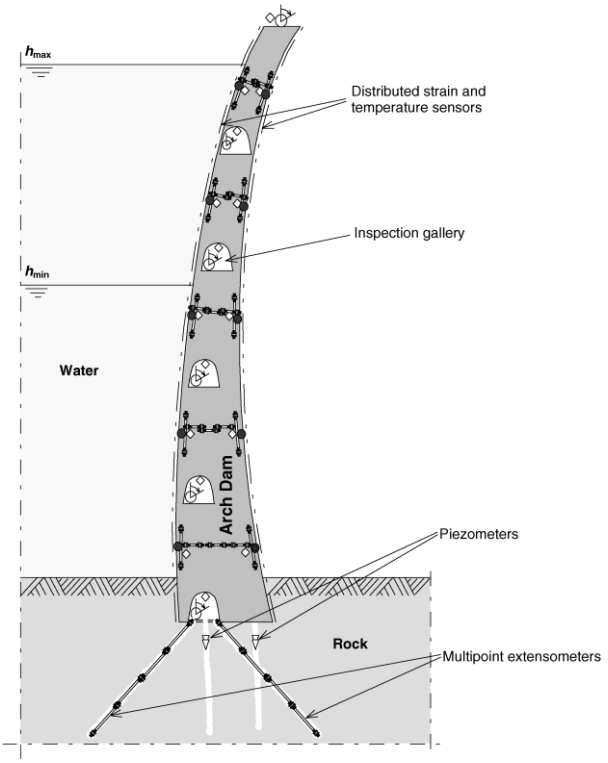
- سدهای قوسی[2]: سد قوسی یک پوسته فضایی است که در صفحات افقی و قائم دارای انحنا (قوس) بوده و عمدتاً از بتن غیرمسلح ساخته می‌شود. سدهای قوسی عمدتاً در مناطق کوهستانی ساخته شده و فشار آب را توسط عملکرد قوسی خود به دیواره‌های کوه و پی منتقل می‌کنند.
- سدهای وزنی[3]: سدهای وزنی عمدتا از بتن غیرمسلح و سنگ ساخته می‌شوند و مقطع آنها تقریبا مثلثی شکل است که در بالای آن دارای عرض نسبتا کم و در پایین (اتصال به پی) دارای عرض نسبتا زیادی است. سدهای وزنی حجم بالایی دارند و بر رودهای نسبتا وسیع و عریض ساخته شده و با استفاده از عملکرد کنسولی حاصل از وزن خود، فشار آب پشت خود را به پی می‌کنند.
- دایک‌ها[4]: دایک‌ها یا سدهای خاکی نوع خاصی از سدهای وزنی هستند که از یک هسته رسی و مصالح پرکننده اطراف آن (سنگریزه و خاک) تشکیل شده‌اند. مقطع آنها به شکل ذوزنقه (عرض کم در بالا و عرض خیلی زیاد در محل پی) می‌باشد.

[1] - National Dam Safety Program
[2] - Arch Dam
[3] - Gravity Dam
[4] - Dyke

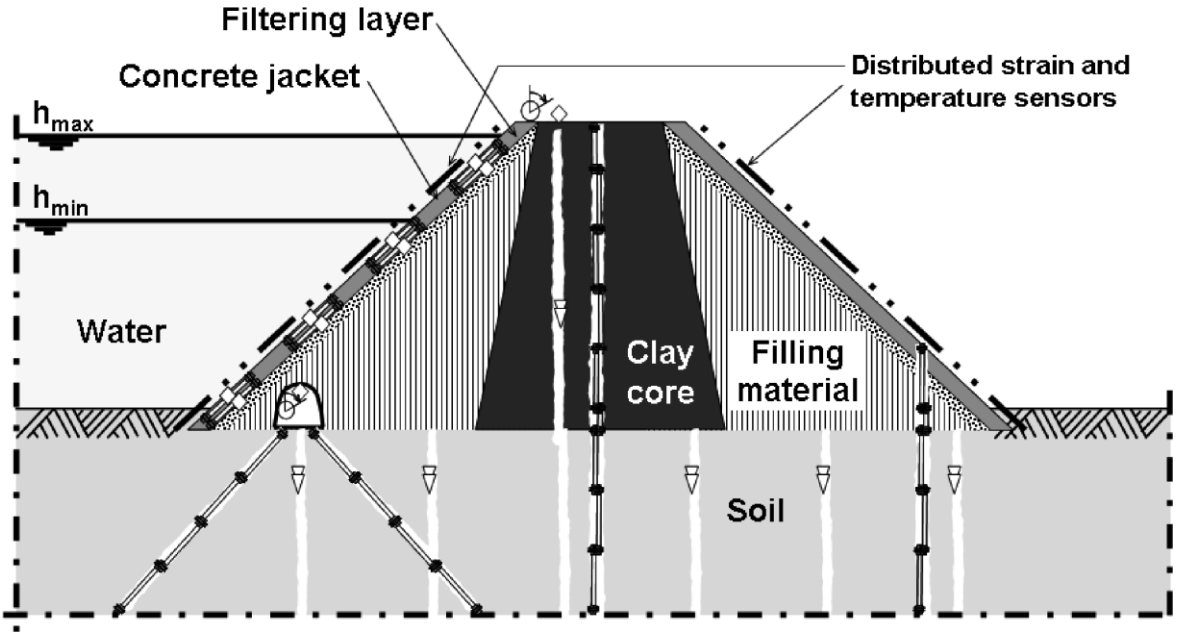
مقطعی از سدهای نمونه به همراه سنسورهای نصب شده بر آن در اشکال زیر نشان داده شده‌اند. [۲]



شکل ۶۳-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد وزنی

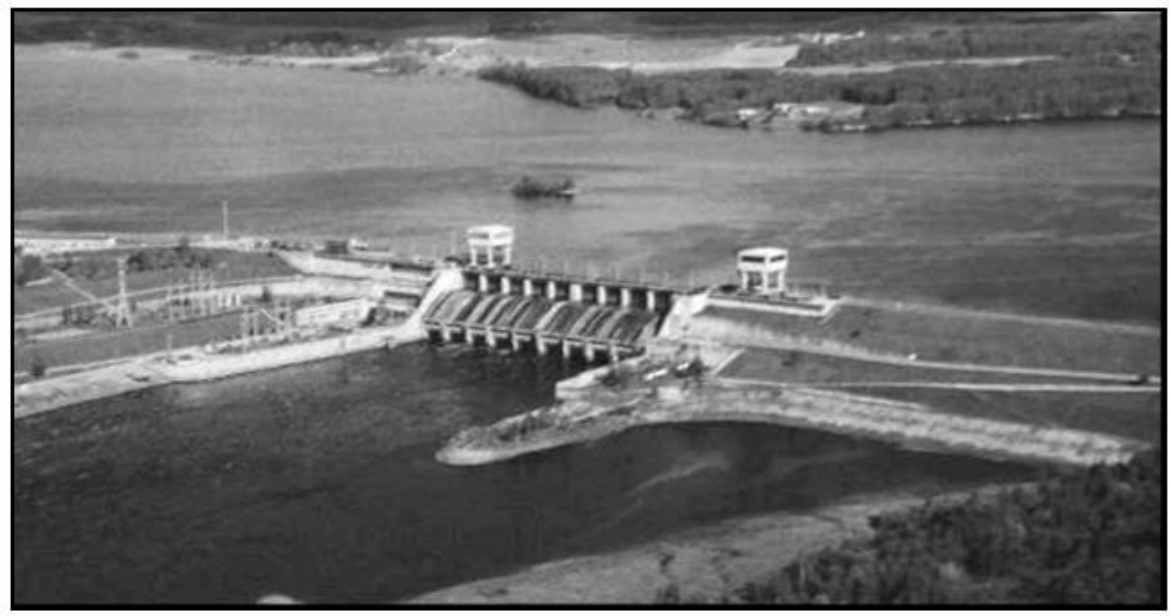


شکل ۶۴-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد قوسی بتنی



شکل ۶۵-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی یک دایک

به عنوان نمونه‌ای از پایش سلامت سازه در سدها میتوان به سد وزنی Pelavinu hes که سدی متعلق به مجموعه‌ای از سه ایستگاه بسیار مهم برق آبی رودخانه Daugava، و به لحاظ ظرفیت، بزرگترین نیروگاه آبی در لتونی بوده و سومین سطح برق آبی آبشار Daugava محسوب می‌شود؛ اشاره نمود. به منظور افزایش ایمنی و بهبود فعالیت‌های مدیریتی تصمیم گرفته شد تا بر کل درزهای اجرایی بلوک‌های سد و کرنش متوسط در دستک بتنی نزدیک به درزها، با استفاده از سنسورهای گسترده فیبر نوری پایش شود. [۲]



شکل ۶۶-۱: نمایی از سد وزنی plavinu hes

از نمونه‌های دیگر استفاده از سیستم پایش سلامت در سدها می‌توان به پایش دما و کرنش‌ها در سدهای قوسی Emosson و Luzzone در کشور سوئیس اشاره نمود. (اشکال زیر) در این سدها، پارامترهایی نظیر کرنش و دما با استفاده از سنسورهای فیبر نوری اندازه‌گیری شده و بر اساس آنها، سازه مورد مراقبت قرار گرفته است. [۲]



شکل ۶۷-۱: نمایی از سد قوسی Emosson



شکل ۶۸-۱: نمایی از سد قوسی Luzzone

۱-۱-۳-٤- توربین‌های بادی

انرژی باد به عنوان نوعی از انرژی‌های امن، ارزان و پاک، یکی از منابع انرژی‌های نو است که به سرعت در حال رشد است. طبق اعلام انجمن جهانی انرژی باد[1] (WWEA)، سیستم‌های انرژی بادی امروزه برای تولید برق در حدود ۱۰۰ کشور جهان استفاده می‌شوند. در سال ۲۰۲۰ مقدار ۹۳ گیگاوات ظرفیت توربین بادی جدید در دنیا نصب شده که به میزان حدود ۵۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۹ رشد داشته است. بطور کلی ظرفیت جهانی تولید برق بادی به حدود ۷۴۴ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ رسیده که این میزان در حدود ۷ درصد تقاضای جهانی برق بوده و در حدود ۸۵ درصد این مقدار توسط ۱۰ کشور تولید می‌شوند. در میان کشورهای مختلف، چین با ظرفیت ۲۹۰ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ در رتبه اول تولید برق بادی قرار داشته و پس از آن کشورهای آمریکا (۱۲۲ گیگاوات)، آلمان (۶۳ گیگاوات) و هندوستان (۳۹ گیگاوات) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. [۱۰۴] طبق پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، تولید برق بادی طی سال‌های آتی در جهان همچنان دارای روند رو به رشد بوده و افزایش ظرفیت سالانه تولید انرژی بادی در دنیا تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۳۰ گیگاوات خواهد رسید. [۱۰۵]

ملاحظات کلیدی هنگام نصب توربین‌های بادی، در دسترس بودن، قابل اطمینان بودن و مفید بودن آنهاست. اصلی‌ترین انگیزه نصب سیستم‌های SHM اطمینان از سلامت بلند مدت و عملکرد موثر توربین‌های بادی است. به هر دو این اهداف می‌توان با نظارت سیستماتیک بر شرایط اعضای سازه‌ای و یا اجزاء مکانیکی با در نظر گرفتن پتانسیل خرابی‌ها و آسیب‌ها دست یافت. امروزه استفاده از سیستم SHM در مورد توربین‌های بادی در بسیاری از کشورهای صنعتی رواج دارد و کاربردی عملی و تجاری پیدا کرده است. البته شایان ذکر است که فعالیت‌های تحقیقاتی نیز در دانشگاه‌ها و موسسات معتبر مربوطه در جهت تکمیل و به روز کردن سیستم‌های تجاری SHM و استفاده از تکنولوژی‌های جدید همگام با کاربرد تجاری صورت می‌گیرد. سیستم پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی برای اجزایی نظیر پره‌ها، برج و فونداسیون مورد نظر می‌باشد که در این میان، پره‌ها دارای اهمیت بیشتری بوده و سهم بیشتری از فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی را به خود تخصیص داده است. با پیشرفت تکنولوژی ساخت سنسورها مخصوصاً سنسورهای فیبر نوری پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک تکنولوژی استفاده از این سنسورها تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های SHM شود. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها رو به کاهش است. از طرفی با پیشرفت سیستم‌ها و نرم‌افزارهای آنالیز و پردازش داده‌ها سیستم‌های SHM همواره در جهت پیشرفت و دقت بیشتر هستند. [۳۹] الی [۴۵]

تکنولوژی‌های نوین همانند نانوتکنولوژی نیز کم‌کم جایگاه خود را در این صنعت بدست آورده‌اند. بطور کلی کاربرد نانوتکنولوژی در پایش سلامت سازه‌ها در حوزه سنسورهای اندازه‌گیری است که با عبارت کلی نانوسنسورها شناخته می‌شوند. در این حوزه، نانولوله‌های کربنی[2] (CNT) از کاربرد بیشتری بخصوص در مصالح کامپوزیتی برخوردارند. یک کاربرد قابل توجه نانولوله‌های کربنی در مواد کامپوزیت الیافی، توسعه مواد کامپوزیتی چند منظوره با قابلیت استفاده به عنوان سنسور همراه با تقویت مکانیکی اضافی است. این سنسورها از طریق تغییراتی که در رسانایی الکتریکی آنها ناشی از کرنش مکانیکی یا آسیب‌های موضعی ایجاد می‌شوند، قادر به اندازه‌گیری

[1] - World Wind Enargy Association
[2] - carbon nanotubes

کرنش یا تشخیص وقوع آسیب می‌باشند. نانوسنسورهای ساخته شده از نانولوله‌های کربنی می‌توانند در حین فرآیند تولید مواد کامپوزیتی، در درون لایه‌های این مواد تعبیه شوند و یا اینکه بصورت پوشش در سطح تمام شده مواد قرار داده شوند. [۱۳۶ و ۱۳۷] به عنوان نمونه‌ای از نانوسنسورها، محققان دانشگاه دیویس کالیفرنیا (UC Davis) با استفاده از نانولوله‌های کربنی، پوشش مقاوم و چند منظوره‌ای را ساخته‌اند که می‌توان آن را بر روی هر سطحی اسپری کرد و کرنش‌های بوجود آمده در آن سطح را پایش کرد. این تکنولوژی در ابتدا به صورت لایه‌لایه در داخل اجزای سازه‌ای ساخته شده از مواد کامپوزیتی اجرا می‌شد. با توسعه آن امکان اجرای آن به صورت اسپری بر روی سطوح فراهم شد. این پوشش حساس به کرنش است به این صورت که اگر کشیده و یا فشرده شود مشخصات رسانایی الکتریکی آن بسته به مقدار کرنش، تغییر می‌کند. از این سنسورها برای پایش سلامت سازه‌های با اهمیت نظیر پل‌ها و توربین‌های بادی (بخصوص در پره و برج توربین) استفاده می‌شود. [۱۳۸ الی ۱۴۰]

در پروژه‌ای که شرکت Strainstall Monitoring برای نظارت بر توربین‌های بادی دریایی در چهار منطقه از محدوده بادگیر اطراف خط ساحلی انگلیس انجام داده است؛ برای نظارت بر عمر خستگی سازه‌های توربین بادی از دو روش استفاده شده است. در اولین روش از کرنش سنج‌های نصب شده در مکان‌های محتمل خستگی استفاده شده و داده‌های ضبط شده با استفاده از الگوریتم شمارش جریان بارانی[1] آنالیز می‌شوند تا سیکل‌های تنش با استفاده از منحنی‌های S-N در طراحی خستگی تعیین شوند. داده‌های ارزیابی با استفاده از قانون ماینر[2] برای محاسبه آسیب و تخمین عمر خستگی سازه ترکیب می‌شوند. در روش دوم از سنسورهای Crackfirst استفاده شده است. این سنسورها برای پایش ترک‌های ناشی از خستگی در سازه‌های فولادی جوش داده شده طراحی شده‌اند. این سنسورها که متشکل از یک لایه نازک مواد با یک ترک پیش‌ساخته در مرکز آن هستند، در محلی نزدیک به اتصال جوشی مورد نظر از سازه، متصل می‌شوند. تحت اثر اعمال تنش‌های رفت و برگشتی، پیش ترک موجود در سنسور بطور متناسب با رشد تجمعی آسیب ناشی از خستگی در اتصال جوشی مورد نظر، گسترش می‌یابد. بدین ترتیب، وضعیت سنسور نشان‌دهنده مقدار عمر طراحی مصرف شده در اتصال جوشی مورد نظر خواهد بود. [۳۸ و ۱۰۷]

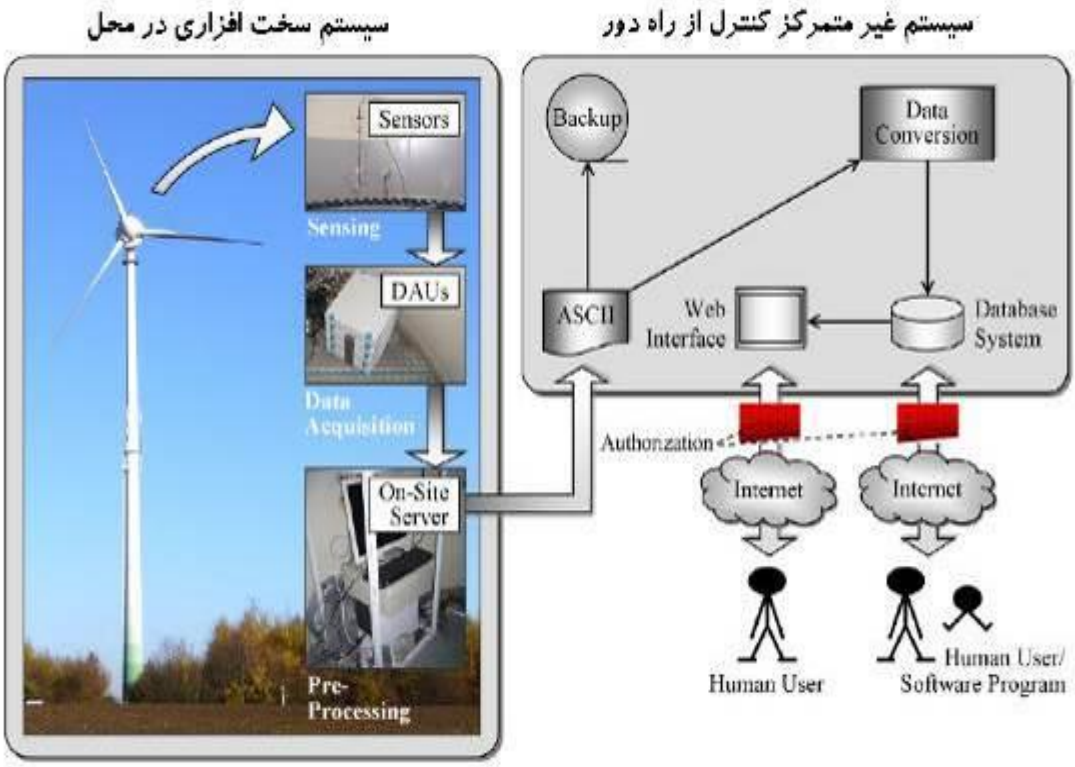
به عنوان نمونه‌ای دیگر از پروژه‌های اجرا شده، می‌توان دو سازه برج توربین بادی را که در مرجع [۴۲] به آنها اشاره شده است، ذکر کرد. سازه اول توربین ۴۰ متری ۲۵۰ کیلوواتی NEG-Mican و دیگری توربین ۷۸ متری ۲ مگاواتی Vestas که هر دو در کشور آلمان قرار دارند (شکل ۶۹-۱). هر دو این توربین‌ها دارای برج فولادی هستند که به فونداسیون بتنی پیچ شده‌اند. در این توربین‌ها از سنسورهای بیسیم (وایرلس) استفاده شده است و علت اصلی ذکر شده در مرجع برای استفاده از سنسورهای وایرلس قیمت نسبتاً پایین و سهولت نصب این نوع از سنسورها است که استفاده از آنها را برای نظارت بر سازه‌های بزرگ رواج داده است.

[1] - Rainflow Counting
[2] - Miner Damage Rule



شکل ۶۹-۱: توربین‌های بادی تجهیز شده با سنسورهای وایرلس، a) NEG Micon و b) Vestas (در کشور آلمان)

در مطالعه‌ای تحقیقاتی دیگری که توسط موسسه مطالعاتی آلمان در دانشگاه Ruhr بوخوم حمایت شده است، سیستم SHM غیرمتمرکز همزمانی بر روی توربین بادی ۵۰۰Kw در آلمان طراحی، اجرا و نصب شده است. (شکل ۷۰-۱)



شکل ۷۰-۱: ساختار سیستم SHM برای توربین بادی ۵۰۰ کیلووات

۱-۱-۳-۵- دکل‌های انتقال برق

فعالیت اصلی سیستم انتقال و توزیع برق (T&D) رساندن انرژی از تولیدکننده (ژنراتور) به مصرف‌کننده است. خطوط هوایی انتقال و توزیع، دکل‌های نگهدارنده آنها، مقره‌ها و سایر اجزاء خط تشکیل یک سیستم پیچیده و گسترده را می‌دهند که در برابر انواع خرابی‌ها آسیب‌پذیر است. سناریوهای متداول خرابی در اجزای خطوط انتقال شامل ترک در فونداسیون‌ها، شکست مقره‌ها، خرابی پرچ‌ها و پیچ‌ها، فروریزش دکل‌ها و موارد نظیر می‌باشند که عمدتاً موجب خروج خط[1] و خاموشی محدود یا سراسری[2] می‌گردند. عوامل متعددی در وقوع خرابی در خطوط انتقال مؤثرند که می‌توان به خرابی‌های زمین، صائقه، سیل، زلزله، ارتعاشات حاصل از باد (آئولین و گالوپینگ)، یخزدگی، فرسودگی[3] (با توجه به اینکه بسیاری از دکل‌های انتقال در مدت زمانی بیش از عمر طرح خود بهره‌برداری می‌شوند) و عوامل انسانی (نقائص اجرایی، حملات خرابکارانه، دزدی اجزای خط و ...) اشاره نمود. علاوه بر خسارات مالی مستقیم حاصل از خرابی اجزای خطوط، وقوع خاموشی‌های حاصل از آن نیز می‌تواند منجر به خسارات سنگین اقتصادی (و سیاسی و اجتماعی در صورت وقوع خاموشی‌های گسترده) گردد.

بدلیل گستردگی مکانی خطوط انتقال و احتمال صعوبت دسترسی به برخی از قسمت‌های آن بدلیل شرایط نامساعد محیطی، بازرسی کلیه دکل‌های خطوط انتقال بصورت مستمر و با روش‌های سنتی ارزیابی، کاری بسیار مشکل و حتی غیرممکن است. بر این اساس، امروزه مبحث پایش سلامت و استفاده از ابزارهای پایش آنلاین در دکل‌های انتقال برای تشخیص و پیش‌بینی وقوع برخی از خرابی‌ها و ارائه هشدارهای لازم جهت ممانعت از وقوع خاموشی و قطع برق، مطرح شده و فعالیت‌های تحقیقاتی قابل توجهی در دنیا در این راستا صورت گرفته است. فیلیپس (۲۰۰۸)، فناوری‌های نوینی که می‌توان از آنها برای بازرسی و عیب‌یابی خطوط انتقال نیرو استفاده کرد را ارائه کرده است [۱۰۸]. این فناوری‌ها شامل طیف نسبتاً وسیعی از سنسورها مانند سنسورهای گسترده[4] (در مقابل سنسورهای نقطه‌ای)، سنسورهای کرنش، سنسورهای انحراف‌سنج[5]، سنسورهای ارتعاشی، سنسورهای دما، سنسورهای مربوط به تصاویر اپتیکی، مادون قرمز و ماورای بنفش و ... میشوند. همچنین سایر تجهیزات مرتبط با بازرسی خطوط مانند پهباد، ماهواره، هواپیما و ربات‌ها نیز معرفی شده‌اند.

پایش سلامت سازه با رویکرد SHM در مورد دکل‌های انتقال برق تا کنون، منحصر به حوزه تحقیقات بوده و فعالیت اجرایی قابل توجهی در این زمینه مشاهده نشده است. عمده متدهای پایش سلامت بررسی شده تا کنون در دکل‌های برق مبتنی بر ارتعاشات و یا شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند. با استفاده از تکنیک‌های پایش سلامت، می‌توان خرابی‌هایی مانند عبور خیز خط از حد مجاز، شل شدن یا جدایی پیچ‌ها، ترک‌های ناشی از خستگی یا عوامل دیگر، آسیب‌های انسانی نظیر دزدی اجزاء خط و آلودگی مقره‌ها در خطوط انتقال را تشخیص داد. از طرف دیگر، مبحث تعیین عمر باقیمانده خطوط انتقال با استفاده از تکنولوژی پایش سلامت نیز مطرح بوده

[1] - Outage
[2] - Blackout
[3] - aging
[4] - Distributed sensors
[5] - Tilt sensors

و در مرحله اثبات مفهومی[1] می‌باشد. مرور نسبتاً کاملی از فعالیت‌های تحقیقاتی[2] در حوزه پایش سلامت خطوط هوایی انتقال در [۴۷] ارائه شده است. بر اساس بررسی انجام شده، فعالیت‌های تحقیقاتی در این حوزه از دهه ۱۹۹۰ میلادی بطور پراکنده آغاز شده و در سال‌های پس از ۲۰۰۰ میلادی سرعت بیشتری گرفته است. بیشترین حجم تحقیقات انجام و منتشر شده (حدود ۷۰ درصد) نیز مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ به بعد است که نشان دهنده تازگی و نو بودن مبحث پایش آنلاین سلامت در خطوط انتقال برق می‌باشد. همچنین روش‌ها و تکنیک‌هایی برای پایش سلامت در خطوط و دکل‌های انتقال برق با استفاده از سنسورهای فیبر نوری FBG[3] ارائه شده است. سنسورهای FBG نوعی از سنسورهای فیبر نوری هستند که بطور گسترده به عنوان سنسورهای اندازه‌گیری کرنش کششی استفاده می‌شوند. این سنسورها تنها نورهای با طول موج مشخصی را منعکس می‌کنند که این طول موج، حساس به کشش در محل نصب سنسور است. این سنسورها قابلیت نصب به تعداد زیاد در یک فیبر نوری طولی را دارند که در نتیجه، می‌توانند به عنوان سنسور گسترده (مثلا برای پایش فلش خطوط) بکار گرفته شوند. سنسورهای فیبر نوری در برابر نویز الکترومغناطیسی ایمن هستند و این از مزایای این سنسورها برای استفاده در خطوط انتقال است. [۴۷]

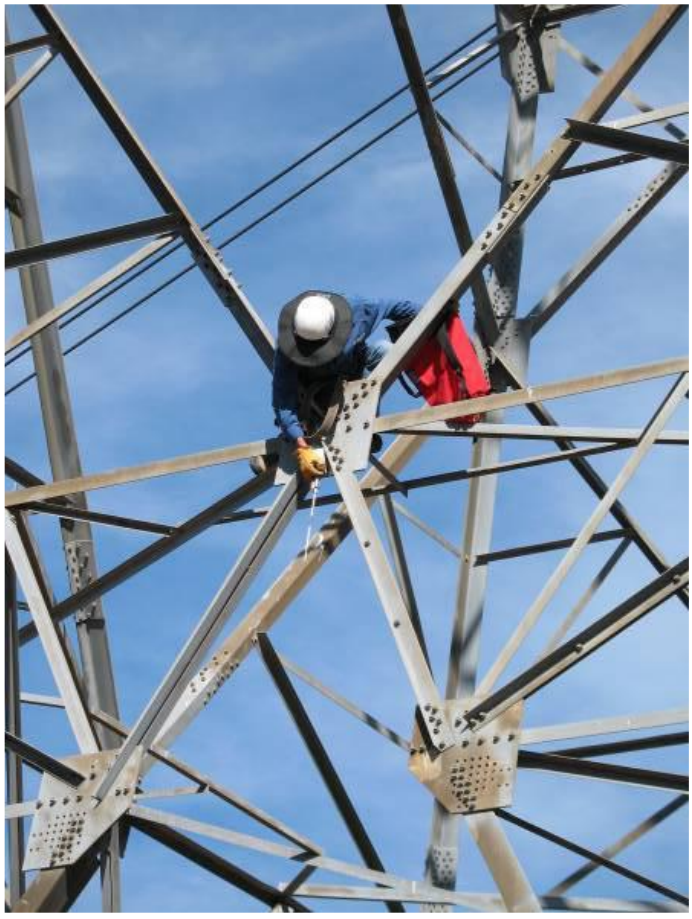
در شکل ۷۱-۱، سیستم پایش سلامت برای تشخیص آنلاین و از راه دور دزدی اجزاء پایه‌های تلسکوپی انتقال و توزیع، پیشنهاد و بصورت آزمایشگاهی بررسی شده است. [۴۸]



شکل ۷۱-۱: سیستم پایش پایه های تلسکوپی توزیع و انتقال برق

[1] - Proof-of-Concept
[2] - The State of the Art
[3] - Fiber Bragg Grating

در دکل‌های انتقال برق، فعالیت‌های انجام شده در مورد پایش سلامت سازه، عمدتاً ماهیت تحقیقاتی دارند. پروژه های اجرا شده نیز عمدتاً با اهداف تحقیقاتی انجام شده‌اند. در [۴۹] گزارش یک پروژه تحقیقاتی آزمایشی (بصورت پایلوت) در مورد نصب یک سیستم پایش سلامت در یک پست انتقال نیرو به همراه سه عدد از دکل‌های انتقال اطرافش در سن‌دیگوی آمریکا، ارائه شده است. پروژه مذکور در قالب برنامه عمومی تحقیقات انرژی (PIER[1]) در کمیسیون انرژی کالیفرنیا انجام شده است. اهداف اصلی سیستم پایش آنلاین در این پست، شناسایی نفوذ خارجی (برای دزدی یا خرابکاری) به فضای پست و خطرات حاصل از عوامل محیطی منطقه (شامل آتش سوزی) معرفی شده‌اند. سیستم پایش استفاده شده بصورت شبکه ای از ۸۹ سنسور بی سیم شامل ژئوفون، مغناطیس‌سنج[2]، شتاب سنج، دماسنج و آشکارساز مادون قرمز می‌باشد. در کشور تایوان نیز پروژه‌هایی با اهداف تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت دکل‌های انتقال، توسط دانشگاه ملی تایوان انجام شده است.



شکل ۷۲-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق [۴۹]

[1] - Public Interest Energy Research Program
[2] - Magnetometer



شکل ۷۳-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق (تایوان)

در [۱۰۹]، ظرفیت سازه‌ای دکل‌ها تحت بار باد و شرایط خورنده بررسی شده است. همچنین تحلیل شکست آنها با استفاده از شبیه‌سازی اجزاء محدود تحت بارگذاری منجمدکننده باران، برف و باد در [۱۱۰, ۱۱۱] انجام و ارائه شده است. روش‌هایی از قبیل استفاده از سنسورهای انحراف‌سنج و تداخل‌سنج تفاضلی رادار روزنه مصنوعی[1] برای سنجش انحراف کلی دکل‌ها (تغییر شکل‌های موضعی را در نظر نمی‌گیرند) در تحقیقات قبل بررسی شده‌اند. همچنین تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت دکل‌هایی با فونداسیون در نواحی منجمد (خاک‌های یخ زده) نیز انجام شده است [۱۱۲]. تغییر شکل‌ها و وضعیت سازه دکل از طریق پردازش تصاویر نیز قابل اندازه‌گیری می‌باشند، مخصوصا با استفاده از ربات RTS[2] و پهباد (UAV[3]) [۱۱۳-۱۱۵]. پایش سلامت سازه‌ها با استفاده از تحلیل مودال نیز روشی متداول است که معمولا در سازه‌های بزرگ مانند پل‌ها و سکوهای دریایی استفاده می‌شود. در [۱۱۶] یک روش شناسایی مودال بدون در نظر گرفتن اثر هادی‌های دکل، در محیط آزمایشگاهی انجام شده است (در صورتی که در عمل هادی‌ها قابل چشم‌پوشی نیستند). مرجع [۱۱۷] نیز با استفاده از بهینه‌یابی، مکان نصب سنسورهای شتاب‌سنج را بدست آورده است. در [۱۱۸] نیز وضعیت تحقیق و چشم‌انداز شناسایی آسیب سازه‌های دکل انتقال بررسی شده است. علاوه بر موارد فوق، تعدادی از مهمترین فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده در زمینه پایش سلامت دکل‌های انتقال در جدول ۳-۱ ارائه شده‌اند.

[1] Differential synthetic aperture radar interferometry
[2] Robotic Total Station (RTS)
[3] Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

جدول ۳-۱: فعالیت‌های تحقیقاتی انجام شده در خصوص پایش سلامت سازه‌های خطوط انتقال

نویسندگان	مطالعه موردی	روش	توضیحات
ژوو و همکاران (۲۰۱۱) [۱۱۹]	دکل انتقال نیروی 1000kV (آزمایشگاهی)	مبتنی بر ارتعاش	با استفاده از تبدیل هیلبرت، سیگنال تحلیلی ناشی از ارتعاش آزاد بدست می‌آید. با استفاده از استنباط توزیع ریاضی ترم‌های خودی ویگنر-ویل تابع رابط مابین پارامترهای مودال و ترم‌های خودی مشخص می‌شود. سپس، روش جدیدی مبتنی بر دامنه انحنای ترم‌های خودی برای تشخیص آسیب دکل انتقال نیرو ارائه می‌شود.
فی و همکاران (۲۰۱۲) [۱۲۰]	سیستم خط-دکل انتقال بلند دهانه Bengbu (عددی)	مدل اجزای محدود	در این تحقیق، مدل المان محدود سیستم خط-دکل انتقال ساخته شده است. سپس برای تعیین بار بحرانی باد، تحلیل کمانش غیرخطی سیستم دکل و خط-دکل انجام شده است.
چنگ-ژانگ و زو-وی (۲۰۱۲) [۱۲۱]	دکل انتقال ولتاژ بالای 500kV (عددی)	مبتنی بر ارتعاش	سیگنال‌های برداشت شده محاسبه و ضرایب شکل توابع مود ذاتی برای کمی‌سازی آنها استفاده می‌شوند. با مقایسه این مقادیر به راحتی حالت آسیب دیده سازه از حالت سالم آن قابل تمیز می‌باشد.
لیو و همکاران (۲۰۱۴) [۱۲۲]	دکل 500kV ZB21 به ارتفاع ۴۲ متر (عددی)	مبتنی بر ارتعاش	با استفاده از مجموع تفاضل انحنای موجک بسته‌ای، می‌توان به خوبی ترک‌های ریز را تشخیص داد.
رافائل و جادهاو (۲۰۱۵) [۱۲۳]	یک دکل معمولی 220 kV	-	محل سنسورها، بر اساس حداکثر آنتروپی؛ که مبین حداکثر فاصله میان نمونه مدلهایی است که نشان دهنده ترکیبات متفاوت مقادیر پارامترهای دارای عدم قطعیت می‌باشند، تعیین می‌شود.
راجکومار و همکاران (۲۰۱۵) [۱۲۴]	۱. نبشی دکل مشبک ۲. خرپای مسطح با اعضای نبشی ۳. پانل دکل مشبک	مبتنی بر ارتعاش	محاسبه مقادیر تغییر شکل و سپس محاسبه انحنای تغییر شکل در هر نقطه برای هر دو حالت سالم و آسیب دیده و در نهایت استفاده از ضریب رابطه خاکستری برای تشخیص و تعیین آسیب.
لینگ و همکاران (۲۰۱۶) [۱۲۵]	دکل انتقال کله گربه‌ای که معادل با یک سیستم ۱۲ درجه آزادی مدل شده است (روش فشرده سازی استاتیکی)	مبتنی بر ارتعاش	در ابتدا، با توجه به رابطه خطی میان المان‌های ماتریس نرمی و پارامترهای سازه، معادله ضریب آسیب پارامترهای مودال و پارامترهای آسیب ایجاد می‌شود. سپس، با استفاده از توزیع ویگنر-ویل پاسخ ارتعاش آزاد تحلیلی سازه میرا بدست می‌آید. با جایگذاری بردار شکل مودی با بردار دامنه ترم سیگنال، معادله ضریب حل می‌شود
لینگ و همکاران (۲۰۱۶) [۱۲۶]	دکل کله گربه‌ای (عددی)	مدل اجزای محدود	با استفاده از الگوریتم شاخه و کران کلی به دنبال مودهای زوال اصلی سازه گشته و اعضای کلیدی مشخص می‌شوند. سپس با استفاده از پاسخ شتاب تحت تلاطم باد، روش پیشنهادی با شاخص مبتنی بر ویژگی آماره توزیع ویگنر-ویل بررسی می‌شود تا آسیب وارده بر این اعضای کلیدی شناسایی و مکان یابی گردد.
تن و همکاران (۲۰۱۷) [۱۲۷]	سازه دکل انتقال (آزمایشگاهی)	مبتنی بر ارتعاش	در ابتدا، سیگنال ارتعاش سازه با استفاده از تبدیل موجک تجزیه می‌شود و سپس بردار مشخصه آسیب با استفاده از مولفه انرژی تبدیل موجک که به عنوان مجموعه‌ای نمونه برای مدل می‌باشد، تشکیل می‌شود. با استفاده از مولفه انرژی تبدیل موجک می‌توان به راحتی وقوع آسیب را تشخیص داد.
ولتی و پاکزاد (۲۰۱۷) [۱۲۸]	دکل انتقال نیروی مشبک (میدانی)	تصویر	تصویر با استفاده از الگوریتم خوشه بندی کا بر اساس رنگ‌های فضای رنگی، به خوشه‌هایی تقسیم بندی می‌شود. این تقسیم بندی‌ها با شرایط رنگ بدست آمده از تحلیل آماری مقادیر رنگ متناظر با مجموعه‌ای عکس از سطوح دچار خوردگی مقایسه می‌شوند تا قسمت دچار خوردگی شناسایی شود.

نویسندگان	مطالعه موردی	روش	توضیحات
چنگ و همکاران (۲۰۱۸) [۱۲۹]	دکل انتقال نیروی ۱۳۱ متری	مدل اجزای محدود	یک مدل المان محدود دقیق با همان مشخصه‌های دینامیکی مدل آزمایشگاهی با لحاظ اثر اندرکنش خاک و سازه حاصل شده است.
ژائو و همکاران (۲۰۱۹) [۱۳۰]	یک دکل انتقال کله گربه‌ای ۱۱۰ کیلو ولتی به ارتفاع ۲۱ متر (میدانی)	مبتنی بر ارتعاش	یک تحلیلگر، داده‌های بدست آمده از گروهی از شتاب سنج‌ها را دریافت و فرکانس‌های طبیعی سازه را محاسبه می‌کند که در نهایت تغییرات سازه بر اساس فرکانس‌های طبیعی تعیین می‌شوند. با استفاده از روش شناسایی زیرفضای تصادفی (SSI)، فرکانس طبیعی کل سازه محاسبه شده است. مرکز پایش، نقش هشدار دهنده را نیز به عهده دارد.
زوو و همکاران (۲۰۱۹) [۱۳۱]	5A-ZB2 HVPT tower با مقیاس ۱ به ۱۰ (آزمایشگاهی و عددی) ، نصب ۲۴ شتاب سنج در ۱۲ گره و ۳۷ کرنش سنج در وسط المان‌های تیر انتخاب شده	مدل اجزای محدود	در مرحله اول، با استفاده از تئوری تیر دکل، نصب بهینه چند نوع سنسور و و روش تشخیص آسیب چند حسگر مبتنی بر پاسخ کواریانس (CBMS)، مکان آسیب مشخص می‌شود. سپس در مرحله دوم، برای تشخیص نبشی مشکوک با پیچ‌های سست در اتصال، از مدل تیر دکل استفاده می‌شود. در مرحله سوم، از نتایج مرحله دوم استفاده و با ساخت مدل اجزای محدود چند مقیاسه از دکل که اتصالات آسیب دیده در آن با جزئیات مدل شده‌اند، مکان و شدت سستی پیچ‌ها در اتصال تعیین می‌شود.
چنگ و جی (۲۰۱۹) [۱۳۲]	دکل انتقال به ارتفاع ۱۳۱ متر (میدانی)	مدل اجزای محدود	در ابتدا با GPS نشست دکل محاسبه و سپس با مدل اجزای محدود توزیع نیرو در اعضا مشخص می‌شود. سپس یک روش دو مرحله‌ای قابلیت اطمینان جهت ارزیابی وضعیت واقعی سازه مبتنی بر توزیع تنش گذرای حاصل از کل سازه نیز ارائه شده است. در ادامه احتمال خرابی کل سازه، به صورت سری از احتمال خرابی اجزای تشکیل دهنده آن، حاصل می‌شود.
گان و همکاران (۲۰۲۰) [۱۳۳]	دکل انتقال کله گربه‌ای	مبتنی بر ارتعاش	مکانیزم‌های زوال دکل انتقال نیرو تحت شرایط محیطی بررسی و مشخصه‌های دینامیکی دکل‌ها تحت بارهای محیطی با استفاده از نتایج شبیه‌سازی المان محدود حاصل شده‌اند. سپس یک روش پایش سلامت برخط با توجه به مشخصات دینامیکی دکل پیشنهاد شده است تا با تشخیص تنش، وقوع آسیب یا وجود آن گزارش شود.
گواُ و ونگ (۲۰۲۰) [۱۳۴]	دکل انتقال	مبتنی بر سری زمانی	مدل دکل انتقال ساخته و به ۶ زیرسازه تقسیم می‌شود. سپس، مدل خود رگرسیو ساخته، فاصله میان مدل‌های خود رگرسیو سالم و آسیب دیده ارائه و شاخص آسیبی مبتنی بر سختی ارائه شده است. پاسخ دینامیکی سازه‌ها را می‌توان با استفاده از مدل‌های سری زمانی تحلیل کرد.

۱-۱-۳-۶- پایه‌های توزیع برق

یکی از موارد مهم کاربرد پایش سلامت سازه در بخش توزیع، تشخیص و آشکارسازی عیوب و آسیب‌های موجود در پایه‌های گرد چوبی توزیع است که به وفور در کشورهای استرالیا، نیوزیلند و کانادا مورد استفاده قرار می‌گیرند. طبق گزارش ارائه شده در [۷۵]، در حدود ۸۰ درصد پایه‌های توزیع موجود در استرالیا از نوع چوبی بوده که حدود ۷۰ درصد آنها دارای عمر بالای ۲۰ سال و نیازمند بررسی در خصوص وضعیت سلامت و نیاز آنها به تعویض می‌باشند. سالانه میلیون‌ها دلار صرف نگهداری و تعویض این پایه‌ها جهت جلوگیری از شکست آنها

می‌شود. بر این اساس، دانشگاه صنعتی سیدنی با همکاری اتحادیه شبکه برق استرالیا[1] (AUSGRID) یک برنامه تحقیقاتی برای توسعه روش‌های نوین و اقتصادی غیرمخرب (با رویکردهای NDT و SHM علاوه بر روش‌های متداول مبتنی بر بازدید چشمی و تست‌های ساده نظیر تست صدا) جهت تشخیص آسیب‌های داخلی موجود در این پایه‌ها بخصوص در بخش مدفون، در دست اجرا دارند. [۷۵] در این راستا، روش‌های متنوعی برای تشخیص آسیب پایه‌ها تحقیق و ارائه شده‌اند که به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: [۷۶ و ۷۷] و [۹۳ الی ۱۰۰]

- تعیین فرکانس ارتعاش با استفاده از سنسورهای شتاب‌سنج: یکی از متداول‌ترین روش‌های تشخیص آسیب در سازه‌ها، بررسی و پایش تغییرات فرکانس‌های ارتعاش طبیعی آنها است. از آنجا که سختی اعضای سازه‌ای در اثر آسیب‌های موضعی دچار تغییرات می‌شود و فرکانس‌های ارتعاش سازه نیز وابسته به سختی است، تغییرات این فرکانس‌ها می‌تواند نشانه‌ای از وجود آسیب باشد. بر این اساس، با تعیین فرکانس‌های ارتعاش طبیعی پایه با استفاده از اعمال تبدیل فوریه بر داده‌های حاصل از سنسورهای شتاب‌سنج و بررسی تغییرات آنها نسبت به حالت اولیه (بدون آسیب) پایه، وجود آسیب در بدنه یا بخش مدفون پایه قابل شناسایی می‌باشد. [۹۳]
- پردازش سیگنال‌های حاصل از انتشار امواج ضربه‌ای با استفاده از تبدیل هیلبرت-هوانگ: در این روش، امواج تنشی حاصل از ضربه (با استفاده از یک چکش لاستیکی) در طول پایه منتشر شده و سیگنال‌های حاصله توسط یک سنسور ژئوفون دریافت و ثبت می‌شوند. سپس با اعمال تبدیل هیلبرت-هوانگ بر سیگنال‌ها، فرکانس لحظه‌ای[2] پایه بدست می‌آید. وجود تغییرات ناگهانی در نمودار فرکانس لحظه‌ای، حاصل از بازتاب امواج تنشی در برخورد با آسیب‌های موضعی بوده و از این خاصیت، برای تشخیص وجود و موقعیت آسیب در پایه استفاده می‌شود. [۷۶]
- تست‌های فراصوت (اولتراسونیک): در این روش، زمان عبور امواج صوتی در یک محیط، اندازه‌گیری و سپس با خواص کششی و تراکم مصالح ارتباط داده می‌شود. زمان عبور امواج التراسونیک، شرایط داخلی ناحیه مورد نظر را نشان می‌دهد. به طور کلی، برای یک مسیر مشخص، زمان عبور بیشتر نشان دهنده بتنی باکیفیت پایین و دارای آسیب است، در حالی که زمان عبور کمتر نشان دهنده بتن باکیفیت و ناهنجاری کمتر می‌باشد. هنگامی که موج التراسونیک درون ناحیه آزمایش گسترش می‌یابد، موج در مرز ناهنجاری ها منعکس شده و منجر به افزایش زمان عبور می‌شود. این باعث می‌گردد که زمان انتقال در بتن باکیفیت پایین، بیشتر و در بتن باکیفیت بالا، کمتر باشد. (شکل ۱-۷۴) [۹۸]
- روش‌های مبتنی بر تشخیص الگو[3] با استفاده از پردازش سیگنال‌های حاصل از امواج هدایت شده[4] و یادگیری ماشین[5]: در این روش‌ها ابتدا سیگنال‌های امواج حاصل از ضربه چکش مخصوص بر بدنه پایه توسط آرایه‌ای از سنسورهای نصب شده در نقاط مختلف پایه دریافت می‌شود. سپس سیگنال‌ها پردازش

[1] - Electricity Network Association of Australia
[2] - Instantaneous frequencies
[3] - Pattern Recognition
[4] - Guided Wave
[5] - Machine Learning

شده و ویژگی‌های حساس به آسیب[1] از آنها استخراج می‌شوند. سپس با اعمال یک دسته‌بند مناسب بر ویژگی‌های استخراج شده و با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، سیگنال‌های دریافتی به دو دسته سالم و معیوب دسته‌بندی شده و بر این اساس، وضعیت پایه مشخص می‌شود. (شکل ۱–۷۵ و شکل ۱–۷۶) [۹۵، ۹۷ و ۹۹]

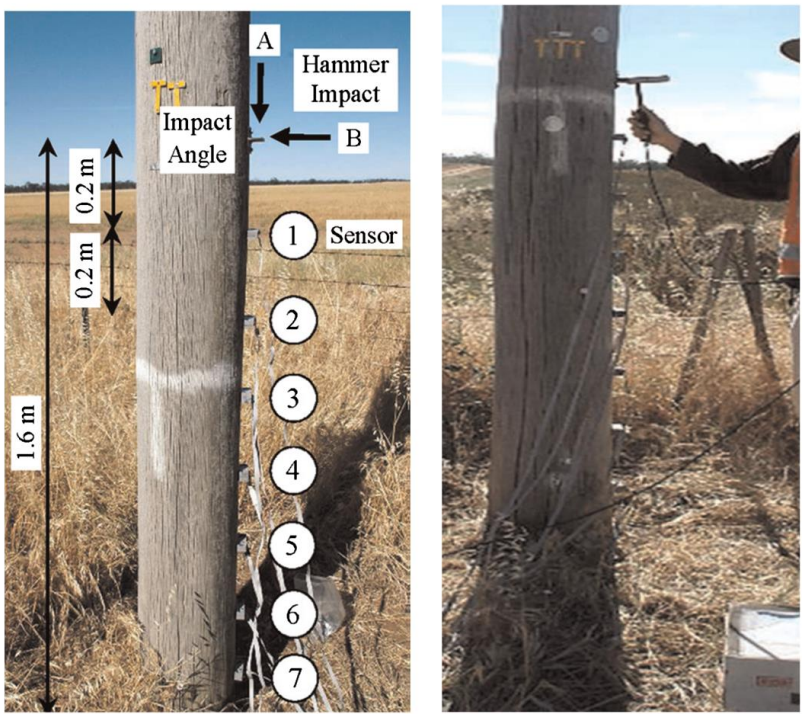
- تست غیرمخرب تشخیص کیفیت پایه‌های چوبی با استفاده از دستگاه مقاومت‌سنج:

دستگاه مقاومت‌سنج با اندازه‌گیری مقاومت سوزن مته در حین ورود به هسته چوب، کیفیت چوب را نشان می‌دهد. این روش برای پایه‌هایی که در بتن یا آسفالت محصور شده‌اند ایده‌آل است و یک راه حل مناسب برای پایه‌هایی است که چندین دوره چرخه بازرسی با سوراخ بزرگتر را تجربه کرده‌اند. (شکل ۱–۷۷) [۱۰۰]



شکل ۱–۷۴: تشخیص آسیب در پایه بتنی با استفاده از تست اولتراسونیک

[1] - Damage-Sensitive Features



شکل ۱–۷۵: تشخیص آسیب در پایه‌های چوبی با استفاده از امواج هدایت شده و آرایه سنسورها



شکل ۱–۷۶: تشخیص آسیب در پایه چوبی با استفاده از روش‌های پیشرفته پردازش سیگنال حاصل از امواج هدایت شده [۹۹]



شکل ۱-۷۷: تشخیص آسیب در پایه چوبی با استفاده از دستگاه مقاومت سنج-شرکت Alamon

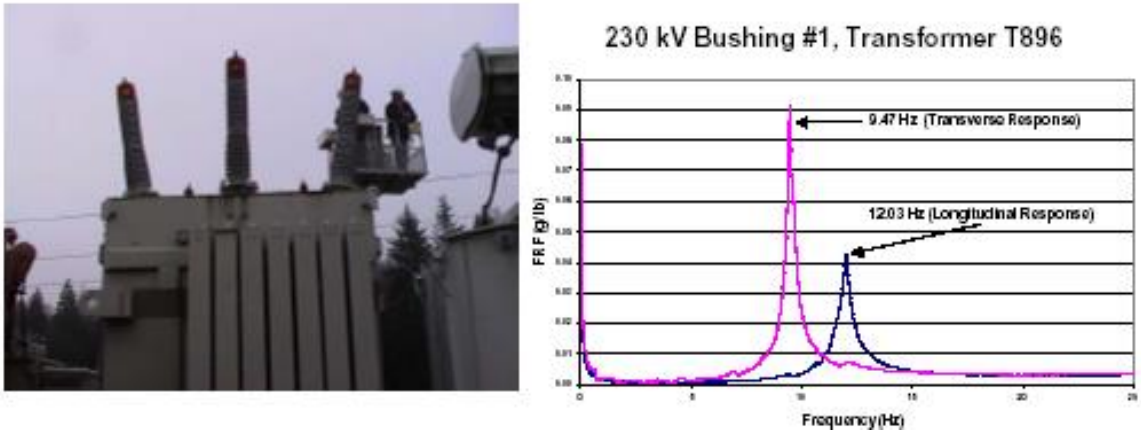
۱-۱-۳-۷- پست‌های انتقال و توزیع برق

با توجه به اینکه عمده خسارات رخداده در سازه‌های پست‌های انتقال و توزیع در دنیا ناشی از مخاطرات طبیعی (بخصوص زلزله) بوده، اغلب فعالیت‌های مربوط به نگهداری این سازه‌ها معطوف به ارزیابی عملکرد و مقاومسازی آنها در برابر زلزله بوده است. مراکز و مؤسسات مختلف در دنیا در زمینه تدوین روش‌ها و استانداردهای ارزیابی و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق در برابر زلزله فعالیت دارند که می‌توان به اتحادیه شریان‌های حیاتی آمریکا (ALA)، انجمن فنی مهندسی لرزه‌ای شریان‌های حیاتی (TCLEE)، مرکز چند رشته‌ای تحقیقات مهندسی زلزله (MCEER)، مرکز تحقیقات مهندسی زلزله پاسیفیک (PEER)، انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE)، موسسه تحقیقات نیروی برق (EPRI)، موسسه مهندسین برق و الکترونیک (IEEE)، کمیته مهندسی زلزله انجمن مهندسین عمران ژاپن (JSCE) و موسسه تحقیقاتی مهندسی شریان‌های حیاتی ژاپن (RILE) اشاره نمود. در ادامه، نمونه‌هایی از فعالیت‌های مرتبط با مقاومسازی تجهیزات و سازه‌های پست‌ها ارائه شده‌اند.

یکی از روش‌های ارزیابی رفتار و کفایت سازه‌ها و تجهیزات پست‌های انتقال در برابر زلزله و شناسایی مشخصات دینامیکی آنها، انجام تست‌های دینامیکی مانند تست میز زلزله (شکل ۷۸-۱) و تست ارتعاش محیطی (شکل ۷۹-۱) می‌باشد که طبق استانداردهای معتبر این حوزه (مانند IEEE693)، انجام آنها برای تجهیزات پست‌های انتقال الزامی است.



شکل ۷۸-۱: آزمون دینامیکی (میز زلزله) ارزیابی عملکرد لرزه‌ای بوشینگ ترانسفورماتور قدرت (PEER)



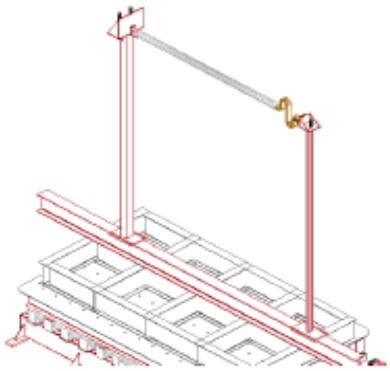
شکل ۷۹-۱: آزمایش ارتعاش محیطی جهت شناسایی مشخصات دینامیکی ترانسفورماتور قدرت (PEER)

روش‌ها و رویکردهای مختلفی برای مقاوم‌سازی و بهبود عملکرد تجهیزات پست‌های انتقال در برابر زلزله، توسط محققین ارائه شده است. به عنوان نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر (نظیر اتصال U شکل نشان داده شده در شکل ۸۰-۱) جهت حذف یا کاهش اثرات مخرب اندرکنش تجهیزات متصل به هم در اثر تکان‌های زلزله.
- استفاده از رینگ تقویتی در پای بوشینگ‌های (و سایر مقره‌های) روغنی با هدف جلوگیری از نشت روغن که در اثر ترک‌خوردگی و شکست بوشینگ‌های سرامیکی در زلزله‌های با شدت متوسط اتفاق میفتد. (شکل ۸۱-۱)

- استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه[1] که موجب تغییر مشخصات دینامیکی تجهیزات و کاهش انرژی ورودی زلزله به سازه-تجهیز شده و از وقوع آسیب و شکست در اجزای آنها جلوگیری می‌کند. (شکل ۸۲-۱ و شکل ۸۳-۱)
- استفاده از ادوات جاذب انرژی[2] (میراگرها[3]) که موجب جذب و اتلاف انرژی حاصل از زلزله و کاهش پاسخ سازه‌ها و تجهیزات شده و در نتیجه، سبب جلوگیری از شکست و آسیب در اجزای سازه‌ای و تجهیزات می‌شود. (شکل ۸۴-۱)





شکل ۸۰-۱: استفاده از اتصال انعطاف پذیر جهت کاهش خسارات تجهیزات متصل به هم در زلزله (PEER)



شکل ۸۱-۱: مقاومسازی بوشینگ ترانسفورماتور در برابر نشت روغن ناشی از زلزله (PEER)

[1] - Seismic Base Isolation
[2] - Energy Dissipation Device
[3] - Damper



شکل ۸۲-۱: نمونه آزمایشگاهی برای جداسازی پایه ترانسفورماتور قدرت با سیستم جداگر آونگ اصطکاکی (PEER)



شکل ۸۳-۱: مقاومسازی ترانسفورماتور قدرت ۴۶۰ کیلوولت با استفاده از جداساز پاندول اصطکاکی-ونکوور (MCEER)



شکل ۸۴-۱: استفاده از میراگرهای اصطکاکی برای کنترل ارتعاشات تجهیزات پست برق با ولتاژ بالا-شیلی

۱-۱-۳-۸- نمونه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها در دنیا

در سال ۲۰۰۵ گروهی ۴۵ نفری از متخصصین بحث پایش سلامت سازه‌ها، تحت حمایت NSF[1] آمریکا و NSFC[2] چین به منظور تنظیم کردن نقشه تحقیقات ده ساله به هدف سرعت بخشیدن به پیشرفت تکنولوژی پایش سلامت، کار تحقیقاتی مشترکی را آغاز کرده‌اند. هدف این گروه مشخص کردن استراتژی تکنولوژی پایش سلامت می‌باشد. تحقیقات این گروه روی انواع مختلف سازه‌ها شامل پل‌ها، سازه‌های بلند مرتبه، سکوهای دریایی و شریان‌های حیاتی انجام شده است. تمرکز اصلی این گروه، علاوه بر پایش سلامت سازه‌های متداول بر روی سیستم‌های حیاتی از قبیل خطوط انتقال انرژی (الکتریسیته، گاز و نفت)، خطوط انتقال آب و فاضلاب و همچنین سیستم‌های ارتباطی می‌باشد، [۵۲و۵۳]. هدف اصلی این گروه مشترک آمریکایی-چینی، فرمول‌بندی برنامه تحقیقات در زمینه‌ی نوع‌آوری‌های پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد. در [۵۳] چشم‌اندازهای فنی و برنامه‌ای این گروه مشخص شده‌است و برنامه‌ای جامع برای شتاب بخشیدن به پیشرفت پایش سلامت سازه‌های پر اهمیت عمرانی که در معرض خطرات زلزله و باد هستند، تدوین شده‌است. به این ترتیب، به دانشجویان و محققین در ارتباط با پایش سلامت آموزش داده می‌شود و کلاس‌های آموزشی در این زمینه برگزار می‌شود. همچنین، آن قسمت از صنعت و دولت را که به بحث پایش سلامت مربوط می‌شود به منظور پیشرفت در این زمینه درگیر

[1] - National Science Foundation
[2] - National Science Foundation of China

می‌کنند. بر خلاف تحقیقات گذشته که غالباً به تکنولوژی پایش سلامت برای سازه‌هایی از قبیل ساختمان‌ها و پل‌ها می‌پرداختند، در این گروه تحقیقاتی آمریکایی-چینی بیشتر تحقیقات مربوط به توسعه و کاربردی کردن سنسورهای پیشرفته و همچنین مانیتورینگ سیستم‌های پر اهمیت از قبیل خطوط انتقال انرژی برق، گاز و نفت و همچنین سیستم‌های ارتباطی می‌شود، [۵۳].

شبکه SAMCO[1]، متشکل از تعدادی از نماینده‌های اروپایی در زمینه‌ی مانیتورینگ، ارزیابی و کنترل سازه‌ها می‌باشد. یکی از مأموریت‌های اصلی این گروه تدوین استراتژی تحقیقات در این زمینه می‌باشد به طوریکه نقشه راه و اولویت‌های تعریف شده به عنوان مرجعی برای تحقیقات آینده به‌کار روند. نقشه استراتژیکی در سال ۲۰۰۶ توسط SAMCO تدوین شده است، که چشم‌انداز آن برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد، [۵۷]. در این اسناد چشم‌انداز آینده به صورت زیر تعریف می‌شود:

- استفاده از سیستم‌های هوشمند جاسازی شده که قابل رویت نیستند ولی برای کاربر بسیار کاربردی می‌باشند،
- به کارگیری سیستم‌هایی که کارهای عادی و روتین کاربر را انجام می‌دهند،
- متدولوژی‌های تشخیص خرابی که امکان ارزیابی سریع هر سازه پس از رویدادای غیر طبیعی را می‌دهد،
- داشتن اطلاعاتی در مورد مدیریت چرخه عمر هر سازه به منظور توانایی در برنامه‌ریزی،
- افزایش راحتی و امنیت کاربر در حالیکه هزینه‌های کاربر کاهش می‌یابد،
- تدوین کدها و استانداردهای کاربردی.

در بسیاری از برنامه‌های استراتژیک کشورهای مختلف در توسعه صنایع گوناگون، بحث پایش سلامت به عنوان یک مساله پراهمیت مطرح می‌باشد. به عنوان مثال نقشه‌راهی برای تحقیقات در زیر ساخت شبکه‌های ارتباطی آینده در اروپا (reFINE[2]) توسط سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP[3]) در سال ۲۰۱۳ در افقی تا سال ۲۰۳۰ تدوین شده است و به تحقیقات در ارتباط با توسعه و نوآوری در زیر ساخت شبکه حمل و نقل می‌پردازد. در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها، اهمیت بسیاری دارد، [۵۴]. همچنین، در برنامه استراتژیکی که در سال ۲۰۱۴ برای پیشرفت تکنولوژی استفاده از انرژی باد در اروپا توسط سازمان انرژی باد اروپا (EWEA[4]) برای افقی تا سال ۲۰۳۰ نوشته شده است، تحقیقات در جهت توسعه پایش سلامت سازه‌های مرتبط با این نوع انرژی به عنوان قسمتی از طرح توسعه انرژی در نظر گرفته شده است، [۵۵].

انرژی حاصل از باد داخل دریا[5] نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی پاک و تجدیدپذیر در آمریکا ایفا می‌کند. اما از آنجا که هزینه تعمیر و نگهداری این نوع توربین‌ها بسیار بالا می‌باشد، به برنامه‌ی جامعی جهت پایش سلامت این سازه‌ها نیاز است. به این منظور در سال ۲۰۱۲ نقشه راهی برای مدیریت پایش سلامت و تشخیص خرابی توربین‌های بادی داخل دریا توسط Sandia National Laboratories تحت نظر اداره امنیت هسته‌ای ملی

[1] - The European Network for Structural Assessment Monitoring and Control
[2]- Research for Future Infrastructure Networks in Europe
[3]- The European Construction Technology Platform
[4]- The European Wind Energy Association
[5]- Offshore wind energy

وزارت انرژی آمریکا[1] تدوین شده است. در این برنامه استراتژیک تأکید شده است که یک سیستم پایش سلامت موفق قادر خواهد بود بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری را حذف کند و یا کاهش دهد، [۵۶].

۱-۱-۳-۸-۱- تأمین بودجه تحقیقات در زمینه پایش سلامت سازه‌ها

- **آمریکا**:

در کشور آمریکا وزارت دفاع و حمل و نقل و وزارت انرژی علاوه بر اینکه درون سازمان به تحقیق و توسعه تکنولوژی پایش سلامت می‌پردازند، اعتبارات مالی را نیز برای تحقیق برون سازمانی در این زمینه در صنعت و دانشگاه‌ها فراهم می‌کنند. بیشتر اعتبارات برون سازمانی این وزارت‌خانه‌ها به تحقیقات هدفمند صنعت اختصاص می‌یابد و غالب بودجه تحقیقات آکادمیک و دانشگاهی تکنولوژی پایش سلامت در آمریکا از طریق NSF[2] تأمین می‌شود [۵۳].

- **چین**:

در کشور چین، آکادمی مهندسی چین (CEA[3]) تحقیقات درون سازمانی را در زمینه پایش سلامت انجام می‌دهد. در سال‌های اخیر پروژه‌های زیادی در ارتباط با پایش سلامت بسیاری از سازه‌ها و همچنین توسعه سازه‌های هوشمند تحت حمایت وزارت علم و تکنولوژی چین (MOST[4]) انجام گرفته‌است. همچنین وزارت ارتباطات (MOC[5]) حمایت بسیاری از تحقیق و توسعه پایش سلامت سازه‌ها و پل‌ها و تونل‌های هوشمند انجام داده است. بسیاری از بودجه تحقیقاتی مرتبط با توسعه و پیشرفت تکنولوژی پایش سلامت سازه‌ها در دانشگاه‌ها در چین توسط NSFC[6] تأمین می‌شود، [۵۳].

- **کانادا**:

در کانادا، مؤسسه ISIS[7] به عنوان یکی از اعضای شبکه مراکز تعالی (NCE)[8] که با بودجه فدرال فعالیت می‌کند، در سال ۱۹۹۵ با مرکزیت دانشگاه مانیتوبا[9] تأسیس شد و شامل ۱۴ دانشگاه کانادا و بیش از ۳۰۰ محقق است. این مؤسسه به طور فعال به دنبال تحقیق در زمینه‌های مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌ها بوده و در حال حاضر بیش از ۱۹۰ سازمان با بیش از ۴۵ پروژه تحقیقاتی بین‌رشته‌ای مرتبط در آن فعال هستند. [۱۴۴ و ۱۴۵]

- **ژاپن**:

[1]- The U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration
[2]- National Science Foundation
[3]- China Engineering Academy
[4]- Ministry of Science and Technology
[5]- Ministry of Communication
[6]- National Science Foundation of China
[7] - Intelligent Sensing for Innovative Structures
[8] - Network of Centres of Excellence
[9] - University of Manitoba

پایش ساختمان‌ها در ژاپن از حدود سال ۱۹۵۰ با نصب شتاب‌نگار و با هدف بررسی رفتار ساختمان‌ها در زلزله، توسط مؤسسه تحقیقات ساختمان ژاپن[1] (BRI) و با بودجه دولتی آغاز شد. پایش سلامت سازه با هدف تشخیص آسیب‌های موجود در آنها در تعدادی از ساختمان‌های دولتی قدیمی از حدود سال ۲۰۰۰ آغاز شد. پس از زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ و نیاز به تعیین وضعیت ایمنی ساختمان‌ها برای استفاده پس از زلزله و با توجه به فراوانی نسبتاً زیاد زلزله در ژاپن، استفاده از سیستم پایش سلامت سازه SHM در دستور کار مؤسسه تحقیقات ساختمان ژاپن قرار گرفت و پس از زلزله سال ۲۰۱۱ توهوکو، این موضوع با حمایت دولت محلی توکیو[2] با جدیت بیشتری دنبال شد. از حدود سال ۲۰۱۴ استفاده از سیستم SHM برای تعیین وضعیت و ایمنی ساختمان‌های شخصی و با سرمایه مالکان آنها آغاز شده و با فرهنگ‌سازی و ترغیب عموم مردم، پیشرفت مناسبی داشته؛ بطوریکه تا اوایل ۲۰۲۰ حدود ۴۵۰ ساختمان شخصی به سیستم SHM مجهز شده‌اند. [۱۴۶] به منظور کاهش بلایای طبیعی و تلفات مربوط به آنها، ژاپن منابع زیادی را برای فعالیت‌هایی از جمله تحقیق در مورد پیشگیری از بلایا، کاهش اثرات بلایا و بازیابی بلایا اختصاص داده است. به طور متوسط، دولت ژاپن سالانه حدود ۲.۵ تا ۳.۵ میلیارد دلار برای چنین فعالیت‌هایی هزینه می‌کند. این شامل توسعه سیستم‌های جامع پایش مخاطرات در سراسر کشور است. برای نظارت بر خطر زلزله، سیستم سراسری که شبکه‌ای از ۱۰۳۴ لرزه‌نگار نصب شده روی سطح زمین را تشکیل می‌دهد؛ توسعه داده شده است. برای پایش مخاطرات جوی، یک سیستم نظارت بر سطح با وضوح بالا شامل باد، دما و سایر داده‌های هواشناسی توسط آژانس هواشناسی ژاپن[3] (JMA) ایجاد شده است. [۱۴۷]

- **استرالیا:**

در کشور استرالیا، شبکه استرالیایی پایش سلامت سازه[4] (ANSHM) که شامل اعضایی از دانشگاه‌ها و صنایع است، از سال ۲۰۰۹ شروع به انجام تحقیقات کاربردی در زمینه توسعه پایش سلامت سازه‌ها با رویکردهای مختلف نمود. تحقیقات در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در این کشور با حمایت مالی مشترک انجمن تحقیقات استرالیا[5] (ARC)، مرکز تحقیقات مدیریت دارایی زیرساخت‌ها[6] (CIEAM)، سازمان مشترک‌المنافع تحقیقات علمی و صنعتی[7] (CSIRO) و بخش‌های صنعتی ذینفع انجام می‌شود. [۱۴۸] به عنوان نمونه‌ای از این تحقیقات، برنامه تحقیق و توسعه (R&D) برای توسعه روش‌های نوین تشخیص آسیب پایه‌های چوبی توزیع برق را نام برد که با حمایت مالی انجمن تحقیقات استرالیا (ARC) توسط دانشگاه صنعتی سیدنی و با همکاری اتحادیه شبکه برق استرالیا[8] (AUSGRID) انجام شد. [۷۵]

- **کشورهای اروپایی:**

[1] - Japan Building Research Institute
[2] - Tokyo Metropolitan Government
[3] - Japan Meteorological Agency
[4] - Australian Network of Structural Health Monitoring
[5] - Autralian Research Council
[6] - Research Center for Infrastructure and Engineering Asset Management
[7] - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
[8] - Electricity Network Association of Australia

در اغلب کشورهای اروپایی، انجمن‌ها و شبکه‌های متعددی متشکل از بخش‌های صنعتی و دانشگاه‌ها وجود دارند که در زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها فعالیت می‌کنند. فعالترین شبکه اروپایی در این زمینه، شبکه SAMCO[1] است. این شبکه در سراسر اروپا فعال است و اعضای آن از شرکت‌های ساختمانی، مالکین و مدیران راه‌آهن و راه‌ها و بخش‌های ساختمانی، دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی، تأمین‌کنندگان تجهیزات، دولت‌های محلی و شهرداری‌ها تشکیل شده‌اند. این شبکه از فعالیت‌های انتقال دانش و فن‌آوری در زمینه ارزیابی، پایش و کنترل سازه‌ها و زیرساخت‌های عمرانی و صنعتی نظیر پل‌ها، ساختمان‌ها، نیروگاه‌ها، کارخانه‌ها و سازه‌های صنعتی تحت اثر زلزله یا سایر مخاطرات محیطی پشتیبانی می‌کند. شبکه SAMCO ابتدا در سال ۲۰۰۱ با حمایت مالی کمیسیون اروپا[2] تأسیس شد و از سال ۲۰۰۶ با اخذ ۸۵ عضو از ۲۵ کشور دنیا، سطح فعالیت‌های خود را گسترش داد. پروژه‌های تحقیقاتی و اجرایی بزرگی توسط اعضای این شبکه انجام و توسط کمیسیون اروپا و سایر بخش‌های دولتی و محلی نظیر وزارت اقتصاد و تکنولوژی آلمان[3] و وزارت آموزش و تحقیقات آلمان[4] تأمین مالی شده‌اند. [۱۴۹]

- **کره جنوبی:**

در کشور کره جنوبی، تمرکز بر پایش سلامت سازه‌ها عمدتاً در مورد پل‌های بزرگراهی بوده و از حدود سال ۱۹۹۰ با حمایت بخش‌های دولتی آغاز شد. سیستم راه‌های کره عمدتاً توسط شبکه شاهراه‌های ملی[5] و شبکه بزرگراه‌های ملی[6] مدیریت می‌شوند. این شبکه‌ها که زیرمجموعه شرکت‌های شاهراه[7] (KEC) و بزرگراه کره[8] (KHC) هستند، مسئول ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات راه‌ها هستند. به منظور انجام مدیریت علمی بهره‌برداری و نگهداری پل‌ها، وزارت ساخت و حمل و نقل کره[9] (MOCT) به همراه مؤسسه تکنولوژی ساخت کره[10] (KICT)، سیستم مدیریت پل‌های کره (KOBMS) را توسعه دادند که شامل پایش سلامت، ارزیابی وضعیت و برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات پل‌ها نیز می‌شود. تحقیق و توسعه در خصوص سیستم‌های پیشرفته پایش سلامت آنلاین پل‌ها نیز با همکاری مشترک آمریکا و ژاپن بر روی تعدادی از پل‌های مهم کره انجام شده است. [۱۵۰ و ۱۵۱]

۱-۱-٤- پیشینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در ایران

بطور کلی مباحث مربوط به نگهداری سازه‌ها در چرخه عمر خود در کشور دارای سابقه طولانی نیست؛ بطوریکه ویرایش اول مبحث ۲۲ (مراقبت و نگهداری از ساختمان‌ها) در سال ۱۳۹۲ تدوین و ارائه شده است.

[1] - **S**tructural **A**ssessment, **M**onitoring and **Co**ntrol
[2] - European Commission
[3] - German Federal Ministry of Economics and Technology
[4] - German Federal Ministry of Education and Research
[5] - national expressway network
[6] - national highway network
[7] - Korea Expressway Corporation
[8] - Korea Highway Corporation
[9] - Korean Ministry of Construction and Transportation
[10] - Korea Institute of Construction Technology

فعالیت‌های انجام شده در خصوص نگهداری و تعمیرات سازه‌ها نیز با دیدگاه سیستمی (نگهداری بر اساس زمان یا شرایط) نبوده و بصورت پراکنده و صرفاً معطوف به اجرای تعمیرات پس از مشاهده آسیب‌های بزرگ و قابل مشاهده (که نیاز به فعالیت خاصی جهت تشخیص ندارند) هستند. در این خصوص، تنها حوزه‌ای که فعالیت‌های نسبتاً بیشتری را در کشور به خود تخصیص داده، ارزیابی عملکرد و بهسازی سازه‌های موجود در برابر زلزله بوده که در حدود دهه ۸۰ شمسی آغاز شده و عمدتاً در سازه‌های مهم (مدارس، ساختمان‌های ستادی دولتی، بیمارستان‌ها، سازه‌های صنعتی و ...) اجرا شده است.

پایش سلامت سازه‌ها (با رویکرد SHM) نیز در ایران موضوع نسبتاً جدیدی بوده و فعالیت‌های انجام شده در این زمینه عمدتاً محدود به پروژه‌های تحقیقاتی نظری و در مواردی آزمایشی در دانشگاه‌ها می‌باشند. همانند سایر کشورها، در ایران نیز سیستم پایش سلامت در مورد پل‌ها بیشتر از سایر انواع سازه‌ها مطرح شده و مورد استفاده قرار گرفته است. عمده فعالیت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در ایران از نوع فعالیت‌های تحقیقاتی است. این فعالیت‌ها عمدتاً زمینه‌های نظری شامل توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضی برای شناخت ویژگی‌های سازه‌ها و خرابی‌های آنها بر اساس پاسخ‌های اندازه‌گیری شده، بهینه‌سازی تعداد و موقعیت سنسورها در سازه، شناسایی سازه‌ها و تشخیص خرابی بر اساس ویژگی‌های ارتعاشی سازه‌ها و موارد نظیر این‌ها را در بر می‌گیرد. سازه‌های گوناگونی نظیر انواع پل‌ها، سدها، ساختمان‌ها، تأسیسات صنعتی و شریان‌های حیاتی (خطوط لوله نفت و گاز) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در مورد سازه‌های صنعت برق، مطالعات محدودی در مورد پایش سلامت دکل‌های انتقال برق در دانشگاه‌ها انجام شده است. در مورد سدها، تحقیقات و مطالعات نسبتاً قابل توجهی در زمینه پایش سلامت سازه در کشور انجام شده است. با توجه به اینکه مبحث پایش سلامت سازه‌ها در ایران بسیار جوان بوده و عمری کمتر از دو دهه دارد، فعالیت‌های اجرایی قابل ملاحظه‌ای در این زمینه در داخل کشور (بجز موارد خاص) مشاهده نشده است. شرکت‌های محدودی در داخل کشور در این زمینه فعال می‌باشند که می‌توان به شرکت‌های رسیس‌افزار [۲۶]، شرکت دانش‌بنیان پارت سازه ساینار [۶۳]، شرکت دانش‌بنیان تحقیق و توسعه ایرانیان (تتا) [۶۴]، شرکت مهندسی هوشمند حسگر پیشرو [۲۷]، شرکت آیسنس [۱۰۶] و شرکت بهین هوشمند سازه شریف (وابسته به مرکز رشد پارک علم و فناوری دانشگاه شریف) [۷۲] اشاره نمود. تعداد محدودی شرکت تولید کننده سنسور و تجهیزات اندازه‌گیری در داخل کشور فعال می‌باشند. شرکت‌های دیگر نیز وجود دارند که عمدتاً واردکننده تجهیزات اندازه‌گیری برای مصارف کلی در صنایع مختلف می‌باشند. در میان سازمان‌هایی که در ایران به نوعی با مبحث پایش سلامت سازه‌ها مرتبط می‌باشند می‌توان وزارت نیرو (عمدتاً در بخش سدها)، وزارت نفت، وزارت راه و شهرسازی و شهرداری‌ها را نام برد. همچنین در میان سازه‌هایی در داخل کشور که سیستم پایش سلامت در آنها اجرا شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- برج میلاد تهران
- برخی سازه‌های موجود در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی (بخصوص در پروژه پارس جنوبی)
- بخش‌هایی از خطوط لوله نفت و گاز
- تعدادی از پل‌های درون شهری شامل پل صدر و پل بزرگراه شهید باکری (تحت نظارت شهرداری تهران)
- تعدادی از پل‌های برون شهری (تحت نظارت وزارت راه و شهرسازی)
- برخی از سدها و سازه‌های هیدرولیکی و آبی

سیستم پایش سلامت برج میلاد تهران که توسط شرکت رسیس‌افزار با همکاری علمی دانشگاه‌های خواجه نصیرالدین طوسی و تربیت مدرس نصب و راه‌اندازی شده، شامل ۱۶ عدد شتاب سنج، ۱۶ عدد سنسور جابجایی و کرنش‌سنج، ۴ عدد سنسور انحراف‌سنج و ۳ عدد سنسور بادسنج می‌باشد. تمام سنسورها از نوع فیبرنوری و دارای عدم حساسیت نسبت به میدان‌های الکترومغناطیسی می‌باشند. قرائت داده‌ها توسط سنسورها بطور همزمان و هماهنگ و با فرکانس ۰/۱ هرتز صورت می‌گیرد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها توسط نرم‌افزارهای خاص پردازش شده و برای پایش آنلاین وضعیت و عملکرد سازه تحت شرایط عادی و فوق‌العاده (طوفان، زلزله و ...) و تشخیص اشکالات احتمالی استفاده می‌شوند.

در خصوص سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق، فعالیت‌های مربوط به نگهداری، بازرسی و پایش و تعمیرات بطور مستقل و نظام‌مند وجود نداشته و عمدتاً شرکت‌های خصوصی که متولی تعمیر و نگهداری تجهیزات هستند ممکن است که سازه‌ها را هم مد نظر قرار دهند. در نیروگاه‌های حرارتی طبق بررسی‌های انجام شده، فعالیت منسجم و ساختاریافته در خصوص نگهداری سازه‌ها انجام نمی‌شود (مگر در مواردی که آسیب مشهودی مشاهده شود مانند برخی از سازه های بتنی در نیروگاه رامین اهواز و فونداسیون توربین در نیروگاه لوشان). در مورد دکل‌های انتقال، بازرسی‌های دوره‌ای (عمدتاً سالانه) و تعمیرات مربوطه توسط شرکت‌های تعمیر و نگهداری (مانند شرکت متانیر) در دستورکار قرار داشته و دستورالعمل‌هایی نیز در این خصوص موجود است. [۷۳] در مورد پایه‌های توزیع نیز فعالیت‌های متداول نگهداری، تعمیرات و مقاوم‌سازی پایه‌های توزیع در کشور، شامل تعویض پایه‌های بسیار فرسوده (که مشکلات و آسیب‌های مشهودی دارند)، تعویض پایه‌های تخریب شده در اثر حوادث و مقاوم‌سازی پایه‌ها (با هدف کاهش خسارات آنها در برابر مخاطرات محیطی) می‌شود. دستورالعمل‌های متعددی در این خصوص بصورت کشوری (توسط توانیر) و یا محلی (توسط شرکت‌های توزیع) در سال‌های اخیر تدوین شده و یا در دست تدوین می‌باشند که به عنوان نمونه می‌توان به [۱۵۲] الی [۱۶۵] اشاره نمود. در مورد سازه‌های صنعت برق (بجز سدها)، تاکنون فعالیت اجرایی خاصی در مورد پایش سلامت آنلاین (SHM) آنها در کشور مشاهده نشده است.

در خصوص ارزیابی عملکرد و مقاوم‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر زلزله نیز فعالیت‌های محدودی در کشور انجام شده است. مطالعات برآورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای ۹ نیروگاه، ۱۶ پست و ۷ دیسپاچینگ کشور که طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ توسط شرکت توانیر و با مدیریت شرکت مشانیر انجام گردیده است نشان می‌دهد که درصد زیادی از سامانه‌های مذکور در معرض آسیب‌های متوسط تا زیاد در زلزله‌های احتمالی آینده خواهند بود. در این مطالعات که شامل کلیه ساختمان‌ها و تجهیزات نیروگاه‌ها می‌شد، نشان داده شده است که بخش وسیعی از اجزاء و ساختمان‌های موجود در نیروگاه‌های کشور در معرض آسیب می‌باشند. برخی از مطالعات انجام شده در این حوزه که توسط پژوهشگاه نیرو در بخش‌های انتقال (پست‌ها) و توزیع انجام شده؛ شامل مطالعات آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی تجهیزات پست ۴۰۰ کیلوولت نیشابور با استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی (شکل ۸۵-۱) و تدوین دستورالعمل ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای شبکه‌های توزیع (شکل ۸۶-۱) [۱۵۶] می‌باشند.



شکل ۸۵-۱: میراگرهای انرژی برای مقاومسازی لرزه‌ای تجهیزات پست ۴۰۰ کیلوولت قائنات (پژوهشگاه نیرو)



شکل ۸۶-۱: دستورالعمل ارزیابی عملکرد و بهسازی شبکه توزیع در برابر زلزله (پژوهشگاه نیرو)

۱-۲-بازنگری ابعاد موضوع و محدوده مطالعات

در این بخش سعی شده تا ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مرتبط با فناوری پایش سلامت سازه‌ها که شامل سطح تحلیل، افق زمانی برنامه‌ریزی و مرزبندی نظام اجتماعی-فنی است؛ بررسی و ارائه گردد. سطح تحلیل

مشخص می‌کند که اندازه مجاز حوزه اثر و سطح تأثیرگذاری فناوری بر محیط (از نظر جغرافیا و حوزه تخصصی) چقدر است. افق زمانی برنامه‌ریزی معین کننده بازه زمانی مورد انتظار برای رسیدن به چشم‌انداز و تحقق اهداف توسعه فناوری است. مرزبندی فنی هم باعث می‌شود تا حوزه‌های کاری مورد مطالعه در سند از جهات مختلف مشخص و متمایز شده و فعالیت‌ها از قابلیت کنترل بالاتری در ارائه نتایج برخوردار باشند. نتایج این بخش از مطالعات دارای اهمیت قابل توجهی بوده و بر خروجی مؤلفه‌های دیگر سند تأثیرگذار است. [۱]

۱-۲-۱- بازنگری سطح تحلیل

سطح تحلیل از منظر جغرافیا به سه رده منطقه‌ای، ملی و فراملی تقسیم می‌گردد. سطح منطقه‌ای به تصمیم‌گیری در مورد زیربخش‌های ملی با پتانسیل از لحاظ ایجاد کسب و کارهای دانش‌بنیان می‌پردازد. (مانند خوشه‌های صنعتی و قطب‌های فناورانه) سطح ملی بیانگر تصمیمات دولت‌ها در توسعه اقتصادی مرتبط بخش‌ها و فناوری‌های موجود در یک کشور است. سطح فراملی نیز بیانگر همکاری‌های بین‌المللی در برنامه‌ریزی برای توسعه محصولات و فناوری‌ها است. مشخص شدن سطح تحلیل از لحاظ محدوده جغرافیایی در تعیین اندازه مرزهای سیستم تحت مطالعه و انتخاب نوع ابزارهای سیاست‌گزاری و تدوین راهبرد، مؤثر خواهد بود. [۱]

از آنجا که گستره و توزیع جغرافیایی سازه‌های مهم موجود در شبکه برق (نیروگاه‌ها، شبکه انتقال و توزیع برق) و همچنین پتانسیل وقوع آسیب و خرابی در آنها، در کل کشور بوده و منحصر به مکان‌های خاص استانی نمی‌باشد، در ارتباط با مباحث مربوط به نگهداری سازه های مذکور و فناوری‌های پشتیبان آن (شامل پایش سلامت سازه‌ها) در این سند، **سطح جغرافیایی ملی** مورد نظر می‌باشد.

از منظر دیگر (فرای جغرافیا)، سطح تحلیل می‌تواند به دو دسته بخشی و فناورانه نیز تقسیم شود. سطح بخشی به تعیین سیاست و تدوین راهبرد در حوزه یک صنعت خاص (مشتمل بر فناوری‌های آن) می پردازد. سطح فناورانه نیز یک فناوری خاص را هدف مطالعه قرار می‌دهد که که امکان استفاده از آن در چندین بخش یا صنعت مختلف نیز وجود دارد. [۱] بر این اساس، با توجه به اینکه سازه‌های مورد استفاده در صنعت برق (بخصوص در بخش‌های انتقال و توزیع) مختص به این صنعت بوده و روش‌های خاص خود را در حوزه‌های نگهداری، پایش سلامت، ارزیابی و تعمیرات طلب می‌کنند که می‌تواند با سایر انواع سازه‌ها در بخش‌های صنعتی دیگر متفاوت باشد؛ سطح تحلیل مطالعات این سند بصورت بخشی (در محدوده صنعت برق وزارت نیرو) منظور می‌شود.

۱-۲-۲- به روزرسانی افق زمانی تحلیل

ماهیت اسناد راهبردی با درنظرگیری افق‌های برنامه‌ریزی فراتر از زمان حال برای اقدامات و فعالیت‌ها معنی پیدا می‌کند. [۱] بطور معمول افق‌های برنامه‌ریزی برای اکتساب و توسعه فناوری‌ها با توجه به وضعیت فعلی آنها و نگاه به آینده، به نحوی انتخاب می‌گردند که احتمال وقوع تغییرات شدید و ماهیتی فناوری در محدوده زمانی مورد نظر، حداقل ممکن باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه‌های مرتبط با این سند (نگهداری، ارزیابی عملکرد، پایش سلامت سازه‌ها و تعمیرات آنها) در دنیا و ایران که در بخش‌های قبلی ارائه گردید، مشخص شد که

این مباحث و کاربرد آن در بخش سازه، در کشور نسبتاً جوان بوده و بنابراین، احتمال وقوع تغییرات شدید در این فناوری و کاربردهای آن در آینده (در افق میان مدت) کم می‌باشد.

بر اساس بررسی اسناد بالادستی کشور شامل سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، مجموعه برنامه پنجساله پنجم توسعه، سند راهبردی وزارت نیرو و سند نقشه جامع علمی کشور، افق برنامه‌ریزی مورد نظر در ارتباط با توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق کشور، **افق میان مدت ۱۰ ساله** در نظر گرفته شده است.

با توجه به وسعت و گستره سازه های موجود در کشور و حجم فعالیتهای مورد نیاز برای تحقق اهداف ارائه شده در اسناد بالادستی از یک طرف و پتانسیل‌های موجود در بخش‌های تحقیقاتی، صنعتی و دانش‌بنیان کشور از طرف دیگر، انتظار می‌رود که اهداف کلی مورد نظر در این سند (پیاده‌سازی سیستم نگهداری و فعالیت‌های مرتبط با آن شامل اکتساب دانش فنی و توسعه بکارگیری سیستم‌های پایش سلامت، ارزیابی عملکرد و ارائه راهکارهای تعمیر و بهسازی، بصورت ساختار یافته و قابل اطمینان در سازه‌های صنعت برق) در افق زمانی مورد نظر امکان پذیر باشد.

۱-۲-۳- بازنگری مرزبندی و محدوده فنی مطالعات

در این بخش، مرزبندی و محدوده مورد نظر در این سند از دو جنبه شامل محدوده انواع سازه‌ها و حوزه‌های فنی تحت پوشش، ارائه شده‌اند.

۱-۲-۳-۱- محدوده سند از نظر سازه‌های مورد مطالعه

در این بخش، کلیه انواع سازه‌هایی که در بحث نگهداری و پایش سلامت در این سند مورد نظر قرار دارند، معرفی شده‌اند. همانطور که در بخش‌های قبلی این گزارش نیز ذکر گردید، سازه‌های مورد نظر در این سند، کلیه سازه‌های ساختمانی، غیرساختمانی و نگهدارنده تجهیزات صنعت برق در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق به همراه فونداسیون‌های آنها، هستند. در مراحل بعدی سند، سازه‌های مورد اشاره در این بخش جهت انجام فعالیت‌های مورد نظر، بر اساس معیارهای مناسب اولویت‌بندی خواهند شد. فهرست جزئی‌تر سازه‌های مورد نظر در این سند به شرح ذیل می‌باشد:

۱-۲-۳-۱-۱- سازه‌های بخش تولید برق

سازه‌های بخش تولید برق (به همراه فونداسیون‌های آنها) شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. نیروگاه‌های حرارتی (سیکل بخار، سیکل گازی، سیکل ترکیبی)

- ⇦ سازه سیستم خنک‌کن (اصلی و کمکی)
- ⇦ سازه دودکش (بخاری و گازی)
- ⇦ سازه نگهدارنده بویلر (اصلی و کمکی) و HRSG (ترکیبی)
- ⇦ سازه‌ها یا فونداسیون‌های نگهدارنده تجهیزات اصلی (فونداسیون توربین-ژنراتور، فونداسیون پمپها)
- ⇦ سالن توربین
- ⇦ ساختمان کنترل مرکزی

- سیستم لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها
- تصفیه‌خانه و مخازن ذخیره سوخت و آب خام
- سازه‌های موجود در پست‌های بلافصل (طبق بخش سازه‌های پست‌های انتقال)
- سایر ساختمان‌های جانبی (اداری، خدماتی سه‌منظوره، انبار، آتش‌نشانی، درمانگاه، کانتین و ...)
- سایر سازه‌ها

۲. نیروگاه‌های هسته‌ای
- سازه‌های مربوط به رآکتور (مخزن فشار، پوسته‌های محافظ بتنی)
- سازه‌های ساختمانی و کنترلی
- مخازن ذخیره سوخت
- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات
- سایر سازه‌ها

۳. نیروگاه‌های برق آبی
- سدهای بتنی
- سدهای خاکی

٤. نیروگاه‌های بادی
- پره‌های توربین‌های بادی
- برج و فونداسیون توربین‌های بادی

٥. سایر نیروگاه‌های نوین (انرژی‌های تجدیدپذیر)
- نیروگاه‌های خوشیدی
- نیروگاه‌های زمین‌گرمایی
- نیروگاه‌های زباله‌سوز

۱-۲-۳-۱-۲- سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع برق

سازه‌های بخش انتقال برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. خطوط انتقال برق هوایی
- انواع دکل‌های انتقال برق
- مقره‌ها و هادی‌های انتقال (از نظر عملکرد مکانیکی آنها)

۲. خطوط انتقال برق زیرزمینی
- گالری‌های بتنی
- اتصالات و منهول‌ها

۳. پست‌های انتقال
- ساختمان‌های کنترل

⇦ گنتری و سازه‌های خرپایی مشابه
⇦ سازه‌ها، فونداسیون‌ها و مهارهای نگهدارنده تجهیزات پست

۱-۲-۳-۱-۳- سازه‌های بخش توزیع برق

سازه‌های بخش توزیع برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. خطوط توزیع برق هوایی
⇦ پایه‌های توزیع برق
۲. پست‌های توزیع برق
⇦ پست‌های هوایی
⇦ پست‌های زمینی و زیرزمینی

۱-۲-۳-۲- محدوده سند از نظر حوزه‌های فنی تحت پوشش

این سند حوزه‌های فنی به شرح زیر را که مرتبط با مباحث پایش سلامت، نگهداری و تعمیرات سازه‌ها در طی زمان بهره‌برداری از آنها هستند، در بر می‌گیرد:

۱. **پایش سلامت سازه‌ها**: تدوین دانش فنی و نرم‌افزارهای مربوط به فرآیند شناسایی[1] و ارزیابی وضعیت سازه‌ها[2]، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های[3] موضعی و پیش‌بینی[4] گسترش آسیب‌ها با رویکردهای مختلف (بازرسی، آزمایش‌های غیرمخرب و SHM با تأکید بر توسعه فناوری‌های نوین) به همراه بررسی علل و عوامل ایجاد آسیب‌های موضعی در سازه‌های موجود و سازه‌های جدید الاحداث (به امکان نصب سنسورها در داخل اعضای سازه در حین ساخت و امکان حصول داده‌های مربوط به سازه اولیه و سالم)؛ و پیاده‌سازی آن در تعداد مشخصی از سازه‌های صنعت برق کشور بر حسب اولویت.
   - ساخت تجهیزات سخت‌افزاری مورد نیاز (سنسورها، دیتالاگر و ...) از محدوده این سند خارج است.
۲. **ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها**: تدوین دانش فنی مربوط به فرآیند شناسایی و ارزیابی مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه‌ها (شامل مخاطرات جوی نظیر باد، برف، دما و ...، مخاطرات ژئوتکنیکی نظیر زمین‌لرزه، فرونشست، رانش و ... و مخاطرات انسانی نظیر سرقت، خرابکاری و ...)، ارزیابی عملکرد[5] سازه‌ها در وضعیت فعلی و پیش‌بینی عملکرد آنها در آینده (تخمین عمر باقیمانده[6]) تحت اثر انواع مخاطرات محیطی و بارهای حاصل از شرایط بهره‌برداری؛ و پیاده‌سازی آن در تعداد مشخصی از سازه‌های صنعت برق کشور بر حسب اولویت.
   - حوزه‌های تحت پوشش پدافند غیرعامل از محدوده این سند خارج هستند.

[1] - Structural System Identification
[2] - Condition Assessment
[3] - Damage Detection and Diagnosis
[4] - Damage Prognosis
[5] - Performance Assessment
[6] - Remaining Life Estimation

۳. **ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر سازه‌ها**: ارائه راهکارهای اجرایی، روش‌ها و فناوری‌های نوین در خصوص ترمیم، تعمیرات، تخریب و نوسازی، بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌ها با هدف تأمین عملکرد مطلوب، کاهش خسارات و افزایش عمر مفید آنها؛ تدوین دانش فنی مربوط به فرآیندهای تصمیم‌سازی و مدیریت نگهداری جهت انتخاب راهکار بهینه و پیاده‌سازی آن در تعداد مشخصی از سازه‌های صنعت برق کشور بر حسب اولویت.

- راهکارهای مرتبط با مدیریت بحران برای بهبود عملکرد سازه‌ها از محدوده سند خارج است.
- اجرای راهکارهای ارائه شده برای بهبود عملکرد سازه‌ها از محدوده سند خارج است.

۱-۳-به روزرسانی ضرورت توسعه و دلایل توجیه‌پذیری پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در این بخش، ضرورت توسعه و دلایل توجیه‌پذیری پیاده‌سازی فعالیت‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات و فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، با مطالعه و شناسایی محیط پیرامون فناوری و عوامل و بخش‌های اثرگذار بر آن در صنعت برق، میزان نیاز صنعت به فناوری مورد نظر، تحلیل و بررسی می‌گردد. در بررسی توجیه‌پذیری توسعه فناوری، افق زمانی بلندمدت مورد نظر قرار می‌گیرد. تحلیل توجیه‌پذیری توسعه فناوری در این بخش، بر اساس بررسی ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست محیطی و قانونی صورت گرفته و ارائه شده است.

شایان ذکر است که مطالب ارائه شده در این بخش کلی بوده و بررسی جامع و جزئی توجیه‌پذیری سند در بخش‌های تولید و انتقال (عمدتاً در ابعاد فنی و اقتصادی)، در قالب پروژه‌های مجزا در دست اقدام می‌باشد.

۱-۳-۱- ضرورت توسعه پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همانطور که در بخش قبل عنوان گردید، وقوع انواع خرابی‌ها در اجزای مختلف صنایع و پی‌آمدها و خسارات اقتصادی، انسانی و ... حاصل از آنها، سبب ایجاد و تکامل فرآیند کلی نگهداری و تعمیرات شده است. بخش‌های مختلف صنعت برق نیز از این قاعده مستثنی نبوده و وقوع انواع خرابی‌ها و خسارات در قسمت‌های مختلف آنها، محتمل و متداول می‌باشد. بدلیل ویژگی خاص صنعت برق که وظیفه و نقش تأمین انرژی برای بسیاری از فعالیت‌ها و صنایع دیگر را عهده دار است، حفظ کارکرد و جلوگیری از توقف خدمت رسانی آن (نسبت به سایر صنایع) بسیار ضروری و حیاتی است. زیرا توقف خدمت‌رسانی صنعت برق از خاموشی‌های کوچک تا گسترده[1]، علاوه بر خسارات مستقیم و غیرمستقیم که بر خود آن صنعت وارد می‌کند، منجر به ایجاد وقفه و خسارت در سایر صنایع و بخش‌های کشور نیز شده و پتانسیل اعمال خسارات گسترده اقتصادی، سیاسی و اجتماعی را تا سطح ملی نیز، دارا می‌باشد.

[1] - Blackout

در این سند بطور خاص، خرابی‌های سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) مورد نظر می‌باشد. سازه‌های صنعت برق به لحاظ شرایط کارکرد خود جزء سازه‌های خاص و در معرض شرایط محیطی و کاری خاص می‌باشند که احتمال وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده را در مورد آنها (نسبت به سایر سازه‌ها) افزایش می‌دهد. از مهمترین عوامل ایجاد خرابی‌های پیش‌بینی نشده در این سازه‌ها موارد زیر را می‌توان ذکر نمود:

- سازه‌های موجود در انواع نیروگاه‌های تولید برق عمدتاً در معرض ارتعاش، رطوبت، مواد شیمیایی، حرارت و برودت یا موارد نظیر اینها می‌باشند. از اینرو آسیب‌هایی نظیر خوردگی، خستگی، ترک، شل شدن اتصالات و ... در اجزای سازه‌ای و فونداسیون‌های آنها محتمل بوده که در صورت پیشرفت، می‌توانند منجر به خرابی گسترده و فروریزش[1] کلی سازه شوند.
- مشخصات و ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مصالح و اجزای سازه‌ای مانند بتن و فولاد در طول زمان دچار تغییرات و زوال شده (به این پدیده، فرسودگی[2] یا پیری نیز اطلاق می‌شود) که در نتیجه آن، وقوع خرابی و آسیب در آنها بسیار محتمل خواهد بود. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از سازه‌های صنعت برق دارای عمر نسبتاً زیاد هستند، وجود آسیب‌های ناشی از فرسودگی در آنها بسیار محتمل است. (به عنوان نمونه، در حدود ۲۱٪ از نیروگاه‌های حرارتی کشور (به لحاظ ظرفیت) دارای عمر بیش از ۳۰ سال هستند که عمدتاً شامل نیروگاه‌های بخاری پایه می‌باشند [۶۶].) نشانه‌ها و آسیب‌های ناشی از فرسودگی در پایه‌های توزیع حتی با وجود سن کم نیز در مناطق مختلف کشور به وفور مشاهده شده است [۹۱].
- سازه‌های انتقال برق (دکل‌ها) نیز در معرض انواع شرایط محیطی مخرب بوده و وقوع خسارات مذکور (بخصوص خوردگی و شکست یا شل‌شدگی پیچ‌های اتصالات) در مورد اینها نیز محتمل است.
- عوامل انسانی (نظیر سرقت و خرابکاری) نیز یکی از دلایل مهم و شایع وقوع خسارات در دکل‌های انتقال برق می‌باشد.
- پایه‌های هوایی توزیع و فونداسیون آنها نیز طی قرار گرفتن در معرض شرایط محیطی و بهره‌برداری، به دلایل مختلف (از جمله کاستی‌های موجود در ضوابط و دستورالعمل‌ها، خطاها و عدم رعایت ضوابط طراحی، عدم کیفیت مصالح و ساخت، شرایط نامساعد محیطی، وقوع حوادث طبیعی یا انسانی) دچار انواع آسیب‌ها می‌شوند. پایه‌های آسیب دیده با اعمال بارهای مکانیکی به مراتب کمتر از سطح طراحی به آنها، تخریب شده و شبکه توزیع از این بابت متحمل خسارات مالی و جانی (سقوط سیمبانان در اثر تخریب پایه‌های آسیب دیده) می‌شود. موارد متعددی از پایه‌های آسیب دیده در شبکه‌های توزیع در سطح کشور قابل مشاهده می‌باشند.
- مخاطرات محیطی طبیعی (نظیر زلزله، سیل، طوفان و ...) و انسانی (سرقت، تصادفات و ...) نیز یکی از عوامل مهم ایجاد آسیب با شدت‌های مختلف (از آسیب‌های کم و جزئی تا فروریزش کامل) در سازه‌ها

[1] - Collapse
[2] - Aging

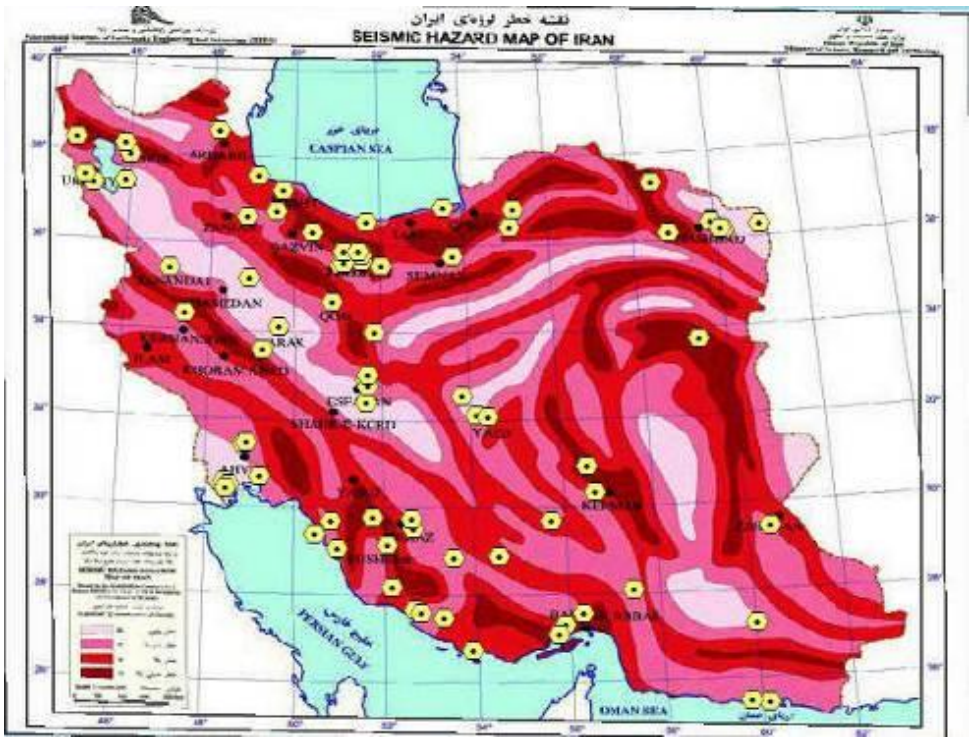
می‌باشند. حتی برخی از سازه‌های موجود که در گذشته احداث شده و دارای شرایط سالم نیز هستند، ممکن است در اثر عدم طراحی صحیح (بارگذاری نامناسب با شرایط اقلیمی واقعی، عدم لحاظ بارهای ناشی از زلزله و ...) در گذشته و یا ایجاد تغییر در شرایط بهره‌برداری نسبت به زمان طراحی، در برابر مخاطرات محیطی آسیب‌پذیر باشند.

- از دیگر عوامل وقوع آسیب و خرابی در این سازه‌ها می‌توان به آسیب‌های احتمالی ایجاد شده در حین فرآیند ساخت، حمل و نقل و نصب اجزای سازه‌ای در محل اشاره نمود.

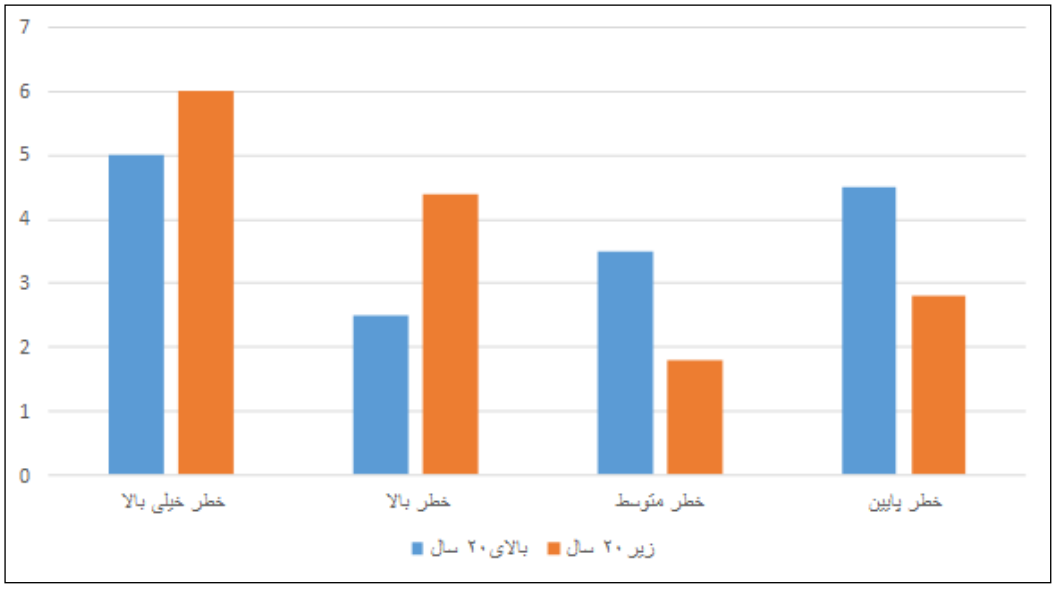
موارد مختلف آسیب، خرابی و فروریزش در سازه‌های مختلف صنعت برق کشور و سایر مناطق دنیا در گذشته نیز واقع گردیده است. نمونه‌هایی از این آسیب‌ها و خرابی‌ها در بخش ۲-۱-۱- از این گزارش ارائه شده‌اند که نشان دهنده وجود پتانسیل وقوع خسارت و خرابی در آنها می‌باشد.

پتانسیل وقوع مخاطرات محیطی متعددی شامل مخاطرات طبیعی (جوی و زمینی) و انسانی در محدوده جغرافیایی کشور وجود دارد که میتوانند بر سازه ها و تأسیسات صنعت برق تأثیر آسیب زننده یا مخرب داشته باشند. به عنوان نمونه طبق بررسی های انجام شده، میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

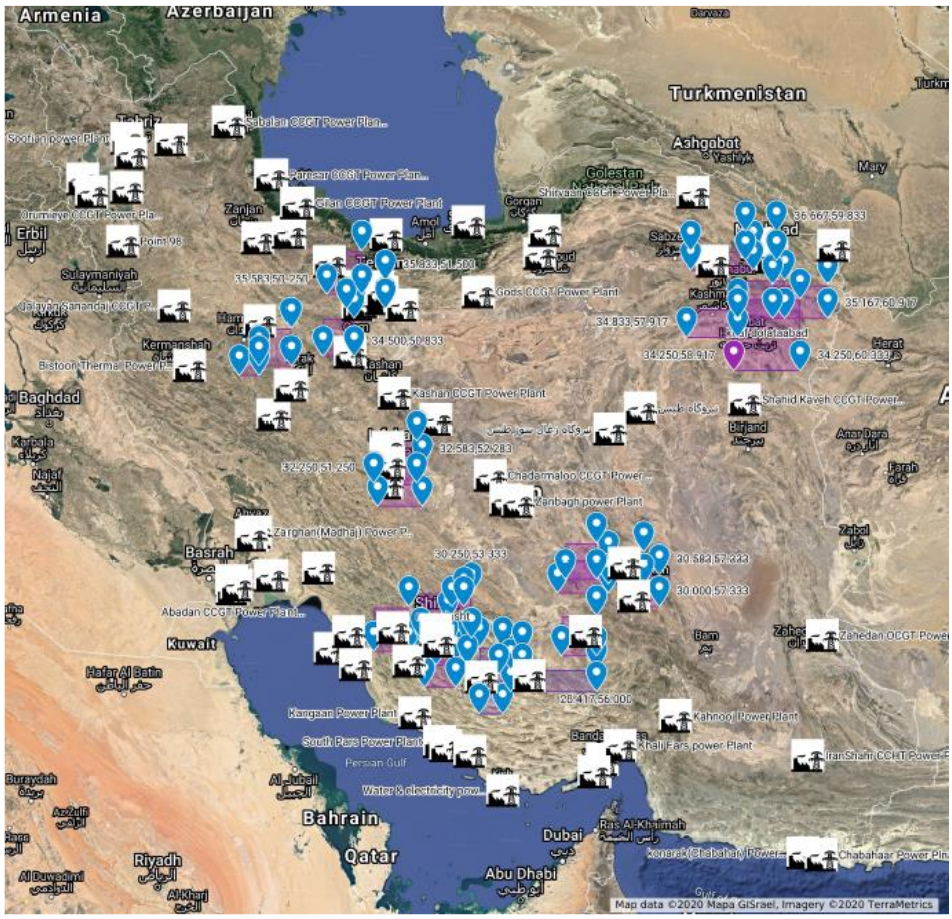
- در حدود ۵۵ درصد از نیروگاه های حرارتی کشور (معادل ۶۰ درصد ظرفیت تولید آنها) در مناطق با خطر زلزله زیاد و خیلی زیاد (طبق پهنه بندی خطر زلزله کشور) قرار دارند که از این نیروگاه ها، حدود ۴۰ درصدشان دارای سن بالای ۲۰ سال میباشند. (شکل ۸۷-۱ و شکل ۸۸-۱)
- در حدود ۲۶ درصد از نیروگاه‌های حرارتی کشور در مناطق دارای پتانسیل فرونشت زمین واقع شده اند که حدود ۳۷ درصد ظرفیت تولید حرارتی کشور را تأمین می‌کنند. (شکل ۸۹-۱)



شکل ۸۷-۱: توزیع نیروگاه‌های حرارتی کشور در مناطق با خطر لرزه‌ای مختلف [۱۰۲]



شکل ۸۸-۱: توزیع تعداد نیروگاه‌های حرارتی کشور واقع در مناطق با خطر لرزه‌ای مختلف [۱۰۲]



شکل ۸۹-۱: توزیع نیروگاه‌های حرارتی کشور واقع در مناطق با خطر فرونشست زمین (مناطق با رنگ بنفش)

خرابی‌های ایجاد شده در سازه‌ها علاوه بر خسارات مستقیم ناشی از تخریب‌ها و غیرمستقیم ناشی از توقف خدمت‌رسانی، می‌تواند منجر به زیان‌های انسانی و صدمات جانی نیز گردد. بر این اساس و با توجه به شدت زیاد پی‌آمدهای خرابی‌ها و خسارات سازه‌ای، ضرورت ایجاد و اعمال سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) برای سازه‌ها در صنعت برق، کمتر از نت تجهیزات (که در اغلب موارد موجود است) نمی‌باشد. بسیاری از خرابی‌های مورد اشاره در سازه‌های صنعت برق، با اجرای یک برنامه مناسب نگهداری، پیش از رسیدن به مراحل بحرانی قابل تشخیص می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان از وقوع خسارات گسترده ناشی از فروپاشی و خرابی کلی سازه‌ها جلوگیری نمود. همچنین با پیاده‌سازی و اجرای برنامه ارزیابی و مقاومسازی سازه‌ها در برابر حوادث طبیعی، می‌توان خسارات حاصل از آسیب و خرابی آنها در اثر این نوع حوادث را نیز به میزان قابل قبولی کاهش داد.

علاوه بر دلایل فوق‌الذکر در خصوص لزوم کاهش خرابی‌های سازه‌ای، دلایل و انگیزه‌های دیگری نیز به شرح زیر وجود دارد که بیانگر نیاز صنعت برق به پایش سلامت، ارزیابی، نگهداری، تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها است:

- وقوع حوادث طبیعی خاص (مانند زلزله، طوفان‌ها و سیلاب‌های شدید و ...) میتوانند منجر به ایجاد آسیب در اجزای سازه‌ای شوند. اگرچه آسیب‌های وارده ممکن است جزئی و غیرقابل مشاهده بوده و حتی باعث توقف فرایند هم نشوند، ولیکن در مقاومت سازه مؤثر بوده و باعث کاهش عمر مفید و افزایش احتمال خرابی در حوادث بعدی خواهند شد. ازاینرو لازم است که سازه‌ها پس از تجربه حوادث طبیعی، مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفته و آسیب‌های موجود در آنها تعیین و رفع گردند. (به عنوان نمونه می‌توان به نیروگاه‌های بیستون و زرند پس از وقوع زلزله های ۱۳۹۷ در سرپل‌ذهاب و ۱۳۸۳ در زرند اشاره نمود که وضعیت و شرایط سازه‌ها پس از تجربه زلزله های مذکور، نامشخص بوده است) از منظر دیگر، شناسایی وضعیت سازه‌ها و آسیب‌های موجود در آنها یکی از ابزارهای مهم برای تصمیم‌گیری در خصوص نحوه بهره‌برداری از آنها پس از تجربه حوادث طبیعی بوده و در ارتقای تاب‌آوری صنعت برق از جنبه سازه، مؤثر است.
- افزایش طول عمر نیروگاه‌های قدیمی کشور با توجه به مزایای اقتصادی آن (در مقایسه با احداث نیروگاه‌های جدید) در دستورکار متولیان صنعت برق قرار دارد [۶۷]. در مستندات مربوط به این موضوع، تنها تجهیزات مد نظر قرار گرفته‌اند. بدیهی است که تجهیزات نیروگاهی در صورت وجود سازه‌های سالم و قابل اطمینان قادر به انجام خدمات مورد نظر بوده و اطمینان از صحت و سلامت سازه‌ها نیز در این راستا مورد نیاز است. بر این اساس، لحاظ مباحث پایش سلامت، ارزیابی عملکرد و تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها در نیروگاه‌های قدیمی کشور به منظور افزایش عمر آنها ضروری است.
- به منظور واگذاری تأسیسات مختلف صنعت برق (نیروگاه‌ها، شبکه‌های انتقال و توزیع) به بخش خصوصی، تخمین ارزش مالی آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا، اطلاع از وضعیت و شرایط موجود سازه‌ها به لحاظ میزان سلامت، قابلیت اطمینان و عملکرد آنها در ارزش‌گذاری آنها مؤثر و ضروری است. بر این اساس، انجام شناسایی و ارزیابی وضعیت موجود سازه‌ها مورد نیاز است.

بر اساس جمیع مطالب فوق‌الذکر، پیاده‌سازی فرآیند پایش سلامت، نگهداری و تعمیرات، ارزیابی عملکرد و مقاومسازی سازه‌ها و توسعه دانش و فناوری‌های پشتیبان آنها در صنعت برق، دارای ضرورت می‌باشد.

۱-۳-۲- دلایل توجیه‌پذیری از بعد فنی

مطالب ارائه شده در بخش قبل را به نوعی می‌توان در راستای توجیه فنی نیاز به فعالیت‌های نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق با هدف کلی کاهش خسارات و افزایش عمر مفید آنها نیز، قلمداد نمود. جهت افزایش کارآیی و اثربخشی فرآیند نگهداری سازه‌ها نیاز به برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های نوین نگهداری و تعمیرات با رویکرد پیش‌اقدام وجود دارد. این سیستم‌های نگهداری نیازمند وجود یک زیرسیستم پایش (به عنوان فناوری پشتیبان) جهت جستجو و تشخیص خرابی‌های جزئی و اقدام جهت رفع آنها می‌باشد. سیستم‌های پایش و تشخیص خرابی می‌توانند شامل سیستم‌های ساده‌تر نظیر بازرسی چشمی (VI) تا سیستم‌های پیچیده‌تر نظیر ارزیابی‌های غیر مخرب (NDE) یا سیستم‌های پایش سلامت آنلاین (SHM) باشند. سیستم‌های پایش سلامت (SHM) نسبت به سایر رویکردهای تشخیص آسیب (بازرسی و ارزیابی‌های دوره‌ای غیرمخرب) دارای مزایای متعددی هستند که عمده‌ترین آنها به شرح ذیل می‌باشند:

- در مورد برخی از سازه‌های صنعت برق (بخصوص در نیروگاه‌ها) انجام بازرسی‌ها یا ارزیابی‌های NDE نیاز به توقف کار تجهیزات و قطع موقت فرآیند تولید برق دارد. این موضوع بخصوص در مورد سازه‌های با عمر بیشتر که تعداد بازدیدها و ارزیابی‌های بیشتری را نیاز دارند، به لحاظ فنی و اقتصادی مناسب نیست. در صورت نصب سیستم پایش سلامت آنلاین، جستجو و تشخیص خرابی‌ها بدون توقف کارکرد تجهیزات و فرآیند تولید، قابل انجام است.
- در مورد برخی از سازه‌های صنعت برق، بدلیل عدم دسترسی به همه نقاط اجزای سازه به دلایل مختلف، انجام بازرسی و ارزیابی های NDE بصورت دوره‌ای، بسیار مشکل و حتی غیرممکن است. در مورد دکل‌های انتقال به دلیل تعداد نسبتاً زیاد و استقرار برخی از آنها در مناطق صعب العبور نیز، انجام بازرسی‌های دوره‌ای نسبتاً مشکل و پرهزینه است. در این شرایط، نصب سیستم پایش سلامت (که یک بار انجام می‌شود) در تعدادی از نقاط سازه، این مشکلات را مرتفع می‌سازد.
- روش‌های مبتنی بر بازرسی (VI) قادر به تشخیص آسیب‌هایی هستند که اساساً قابل مشاهده بوده و پنهان نباشند. روش‌های NDE و NDT نیز موضعی بوده و نیازمند وجود دانش در مورد محل تقریبی وجود آسیب در سازه هستند تا بتوانند در حول و حوش آن، تست انجام داده و وجود و میزان آسیب را تشخیص دهند.
- انجام بازرسی و ارزیابی دوره‌ای (NDE) ممکن است بیهوده بوده (خرابی موجود نباشد) و یا اینکه به موقع نباشد؛ (خرابی کلی در بین دو ارزیابی متوالی ایجاد شود) که در هر دو حالت نامطلوب می‌باشد. در صورت استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین (SHM) این مشکلات وجود نخواهند داشت و آسیب‌های جزئی به موقع رصد شده و قبل از وقوع خرابی کلی و رسیدن به شرایط بحرانی، رفع می‌گردند. بعبارت دیگر استفاده از سیستم پایش سلامت، امکان پیاده‌سازی سیستم نگهداری بر اساس شرایط (CBM) را به جای سیستم نگهداری مبتنی بر زمان (TBM) فراهم می‌کند.

از طرف دیگر، معایب عمده سیستم‌های پایش سلامت (SHM) نسبت به سایر رویکردهای تشخیص آسیب نیز عبارتند از:

- سیستمهای پایش سلامت SHM دارای پیچیدگی بیشتری بوده و نیاز به دانش فنی، نیروی انسانی ماهر و تجهیزات در سطح بالاتری دارند که هزینه‌های اولیه آنها را بیشتر می‌کند.
- در برخی از موارد، دانش فنی مورد نیاز برای بکارگیری سیستم‌های SHM در سطح مرز دانش بوده و برای اجزای سازه‌ای ساده و در محیط آزمایشگاهی تدوین شده‌اند و ازاینرو، و بصورت قابل کاربرد برای موارد عملی (در سازه‌های واقعی) توسعه پیدا نکرده است.
- در مورد سازه‌های گسترده و با تعداد زیاد که در معرض دید هم هستند (مانند دکل‌های انتقال و پایه‌های توزیع) به دلیل حجم زیاد داده‌ها و تعداد زیاد سنسورها، استفاده از SHM دارای مسائل و مشکلات قابل توجهی بوده و به احتمال قوی، اقتصادی نخواهد بود.

با توجه به مطالب عنوان شده، حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت، نگهداری و بهسازی در سازه‌های بخش‌های مختلف صنعت برق باید با ترکیبی از سه رویکرد فوق‌الذکر، برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی شود که بتوان از مزایای هریک از آنها استفاده نموده و منافع حاصله را با حداقل هزینه، حداکثر نمود. تجربیات موجود در سایر سازه‌ها (بخصوص پل‌ها) به همراه وجود ملزومات و نیروی انسانی دارای پتانسیل در حوزه‌های مرتبط در کشور، حاکی از امکان‌پذیری فنی تحقق این امر در صورت برنامه‌ریزی مناسب توسعه، می‌باشد.

۱-۳-۳- دلایل توجیه‌پذیری از بعد اقتصادی

بررسی و ارائه توجیه اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در دو بخش صورت می‌گیرد. ابتدا ضرورت وجود و بکارگیری سیستم برنامه‌ریزی شده نگهداری و تعمیر با رویکردهای نوین پیش‌اقدام برای سازه‌ها در مقایسه با انجام بازسازی و جایگزینی سازه پس از وقوع خرابی به لحاظ اقتصادی بررسی شده و پس از آن، توجیه اقتصادی سیستم پایش آنلاین سلامت (SHM) در مقایسه با سایر سیستم‌های تشخیص آسیب ارائه خواهد گردید.

همانطور که در قسمت‌های قبلی عنوان شد، وقوع خرابی‌های سازه‌ای در بخش‌های مختلف صنعت برق محتمل بوده و در گذشته نیز اتفاق افتاده است. خرابی‌های سازه‌ای عمدتاً از نوع خرابی‌های با فراوانی (احتمال) کم و پی‌آمد بالا[1] می‌باشند. پی‌آمدهای خرابی سازه‌ها حداقل شامل خسارات اقتصادی خواهد بود. خسارات اقتصادی ناشی از خرابی سازه‌ها به صنعت برق شامل خسارات مستقیم (در اثر تخریب سازه‌ها و تجهیزات مرتبط با آنها) و خسارات غیرمستقیم (عمدتاً ناشی از کاهش یا توقف فرآیند تولید برق در نیروگاه‌ها، اخلال یا توقف انتقال یا توزیع برق و وقوع خاموشی) می‌باشند. بسته به نوع سازه و نوع و میزان خرابی، خسارت اقتصادی ناشی از خرابی سازه‌ها می‌تواند طیف گسترده‌ای از کم (محدوده تأثیر محلی) تا بسیار زیاد (محدوده تأثیر ملی) را در برگیرد. از طرف دیگر از دیدگاه کلان‌تر، توقف خدمت‌رسانی صنعت برق علاوه بر خسارات اقتصادی درون صنعت،

[1] - Low Frequency-High consequence

منجر به خسارات اقتصادی در سایر بخش‌ها و صنایع کشور که برای فعالیت خود نیازمند برق می‌باشند نیز، خواهد شد. همانطور که در بخش‌های قبلی نیز ذکر شد، می‌توان با برنامه‌ریزی و استقرار یک سیستم نگهداری مناسب، بسیاری از آسیب‌های سازه‌ها و تجهیزات را در مراحل اولیه تشخیص داده و با رفع آنها، از وقوع خرابی‌های گسترده‌تر بعدی، جلوگیری نمود. این مطلب در واقع همان استراتژی قدیمی علاج واقعه قبل از وقوع و یا پیشگیری قبل از درمان می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف دنیا، نشان‌دهنده این است که استفاده از سیستم نگهداری مناسب، علاوه بر اینکه از وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده جلوگیری نموده و باعث افزایش عمر مفید سیستم می‌شود؛ صرفه اقتصادی نیز خواهد داشت. بعبارت دیگر، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات پیش اقدام سازه‌ها و تجهیزات، در برابر خسارات اقتصادی حاصل از خرابی‌های آنها، در اغلب موارد بسیار ناچیز می‌باشند. متأسفانه گزارش‌ها و منابعی که بصورت سیستماتیک و جامع خسارات مالی حاصل از خرابی‌های سازه‌ای را ارائه کرده باشند وجود نداشته و یا در دسترس نیستند. مع‌الوصف موارد به شرح زیر که بصورت پراکنده در منابع مختلف یافت شده، به عنوان نمونه‌ای از این خسارات ارائه می‌گردد:

در بخش تولید برق:

- هزینه تعمیر (خسارت مستقیم) خرابی ایجاد شده برج خنک‌کن تر در نیروگاه Muja واقع در غرب استرالیا (شکل ۷-۱) در حدود ۴ میلیون دلار برآورد شده است. حادثه مذکور در سال ۲۰۱۴ اتفاق افتاده و مدت زمان لازم برای بازیابی و سرویس دهی کامل برج حدود ۵ ماه بوده است. [۶۹]
- خسارت مستقیم حاصل از خرابی توربین بادی در تایوان (شکل ۱۱-۱) که در سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاد، بالغ بر ۳/۲ میلیون دلار برآورد شده است. [۷۰]
- هزینه تعمیر مستقیم خرابی پره توربین بادی در اسکاتلند که در سال ۲۰۰۵ رخداده بود، ۱/۲۵ میلیون پوند برآورد شد. [۴۲]

در بخش انتقال برق:

- هزینه بازسازی شبکه خسارت دیده در زلزله منجیل در سال ۱۳۶۹ بالغ بر ۱۱ میلیارد ریال برآورد شده است.
- میزان خسارات مالی وارده به پست ۲۳۰ بم در زلزله بم در سال ۱۳۸۲ بالغ بر ۲۳ میلیارد ریال برآورد شده است.
- میزان خسارات مالی وارده به پست‌ها در زلزله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ بالغ بر ۱۶۸ میلیارد ریال برآورد شده است.
- برآورد اعتبارات صرف شده برای بازسازی شبکه برق بم حدود ۳۳۰ میلیارد ریال برآورد شده است. [۷۱]

در بخش توزیع برق:

- میزان خسارات مالی وارده به بخش توزیع برق در اثر زلزله بم در سال ۱۳۸۲ بالغ بر ۶۸ میلیارد ریال برآورد شده است.
- بارش سنگین برف در منطقه بروجرد استان لرستان در سال ۱۳۸۷، باعث شکستن ۱۵۰۰ پایه بتنی و حدود ۱۰۰ میلیارد ریال (معادل ۱۰ میلیون دلار) خسارت شد.

- میزان خسارات مالی وارده به شبکه توزیع برق استان همدان در اثر برف سنگین در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۵۹.۶ میلیارد ریال برآورد شده است.
- میزان خسارات مالی وارده به شبکه توزیع برق استان لرستان در اثر برف سنگین در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۲۰ میلیارد ریال برآورد شده است.
- میزان خسارات مالی وارده به شبکه توزیع برق استان بوشهر در اثر باران سنگین و سیل در سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۲۵ میلیارد ریال برآورد شده است.
- خسارت ناشی از شکست ۲۰۰ پایه بتنی در سیل سال ۱۳۹۸ در منطقه آق‌قلا بالغ بر ۴ میلیارد ریال برآورد شده است.
- خسارت ناشی از شکست پایه‌های بتنی در طوفان سال ۱۴۰۰ در منطقه سیستان بالغ بر ۲۴۰ میلیارد ریال برآورد شده است.
- میزان خسارات مالی وارده به بخش توزیع برق در اثر زلزله بندرعباس در سال ۱۴۰۰ بالغ بر ۳۰۵ میلیارد ریال برآورد شده است.

ارقام فوق‌الذکر که به عنوان نمونه ارائه شده، نشان‌دهنده رقم قابل توجه خسارات مالی حاصل از خرابی سازه‌ها و زیرساخت‌ها در صنعت برق می‌باشد.

عمده مطالعات انجام شده مؤید مزیت اقتصادی رویکرد نگهداری براساس شرایط (CBM) نسبت به نگهداری بر اساس زمان (TBM) می‌باشد. [۶۸] استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین (SHM) در تشخیص آسیب‌های تجهیزات و سازه‌ها دارای مزایای اقتصادی نیز می‌باشد. بطوریکه می‌توان اذعان نمود که انگیزه اصلی استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین و جایگزینی آنها با سیستم‌های سنتی تشخیص آسیب (مانند بازرسی و NDE)، کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بوده و به عبارت دیگر، انگیزه‌های اقتصادی بوده است. از جمله مزایای سازه‌های با سیستم SHM هزینه نگهداری ثلبت و قلبل اعتماد آنها به جای افزایش هزینه‌های نگهداری و کاهش قابلیت اعتماد در سازه‌های کلاسیک بدون سیستم SHM است. البته هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات اساسی هر سیستم باید در هزینه کلی سیستم SHM (توسعه، استقرار و نگهداری) لحاظ شود تا نرخ مثبت بازگشت سرمایه تأمین شود. باز هم با در نظر گرفتن این موارد مسئله اقتصادی از قویترین جذابیت‌های سیستم SHM برای سازه‌های پیشرفته و کلیدی عمرانی، مکانیکی و علوم هوایی است. در ارتباط با مزایای اقتصادی پایش وضعیت آنلاین (SHM) در مقایسه با روش‌های سنتی (بازرسی یا NDE) در مورد تجهیزات، بررسی‌های مختلفی انجام شده است. در یک مطالعه در مجتمع پتروشیمی رازی، میزان صرفه جویی (مربوط به هزینه نیروی انسانی و تعویض قطعات در پمپ‌ها، توربین‌ها، موتورها، گیربکس‌ها و فن‌ها) در سال ۸۵ ناشی از جایگزینی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگویانه (CBM) مبتنی بر پایش وضعیت آنلاین بجای نت پیشگیرانه (بازرسی و تعمیرات دوره‌ای)، در حدود ۱۳/۷ میلیارد ریال عنوان شده است. [۵۸] بر اساس برآوردهای جهانی، با اجرای برنامه های پایش وضعیت در تجهیزات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بطور متوسط تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت و این در حالی است که صرفه جویی های ناشی از پیشگیری از کاهش یا توقف تولید تا دو برابر این میزان خواهد بود که در این برآورد درنظر گرفته نشده است. [۵۹] یک مؤسسه تحقیقاتی در زمینه انرژی الکتریکی در یک طرح مطالعاتی، هزینه نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های تولید برق را در آمریکای شمالی بررسی کرد. این

بررسی تحقیقاتی نشان داد که در صورت استفاده از روش نگهداری عکس‌العملی، هزینه نگهداری و تعمیر به ازای تولید یک اسب بخار انرژی الکتریکی برابر با ۱۸ دلارخواهد بود. در صورت استفاده از نگهداری پیشگیرانه، این هزینه به ۱۳ دلار برای هر اسب بخار کاهش می‌یابد و استفاده از نگهداری پیش‌بینانه تنها ۹ دلار برای هر اسب بخار تولیدی هزینه دارد. [۵۹]

در ادامه این بخش پس از بررسی مختصر بازار پایش سلامت سازه‌ها در دنیا و ایران، نتایج مطالعات موردی که در ارتباط با مزایای اقتصادی کاربرد سیستم پایش سلامت (SHM) در برخی از سازه‌های صنعت برق انجام شده به اختصار ارائه شده‌اند.

۱-۳-۳-۱- بررسی بازار پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها

بر اساس یک مطالعه تحقیقاتی توسط مؤسسه marketsandmarkets که در سال ۲۰۲۰ انجام شده، ارزش کلی بازار پایش سلامت سازه‌ها (SHM) در دنیا در سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۱/۵ میلیارد دلار بوده که پیش‌بینی می‌شود این رقم در سال ۲۰۲۵ با نرخ رشد سالانه ۱۴/۱ درصد به ۲/۹ میلیارد دلار برسد. (شکل ۹۰-۱) بنا به گزارش مذکور، حجم بازار پایش سلامت سازه در منطقه آمریکا (شمالی و جنوبی) بزرگتر از سایر مناطق دنیا است.



شکل ۹۰-۱: ارزش جهانی بازار پایش سلامت سازه‌ها و پیش‌بینی روند رشد آن

در گزارش مذکور، موارد زیر به عنوان دلایل و انگیزه‌های رشد دهنده بازار پایش سلامت سازه‌ها ارائه شده است:

- استانداردشدن نگهداری و تعمیرات زیرساخت‌های عمرانی در دوره پساکرونا[1]

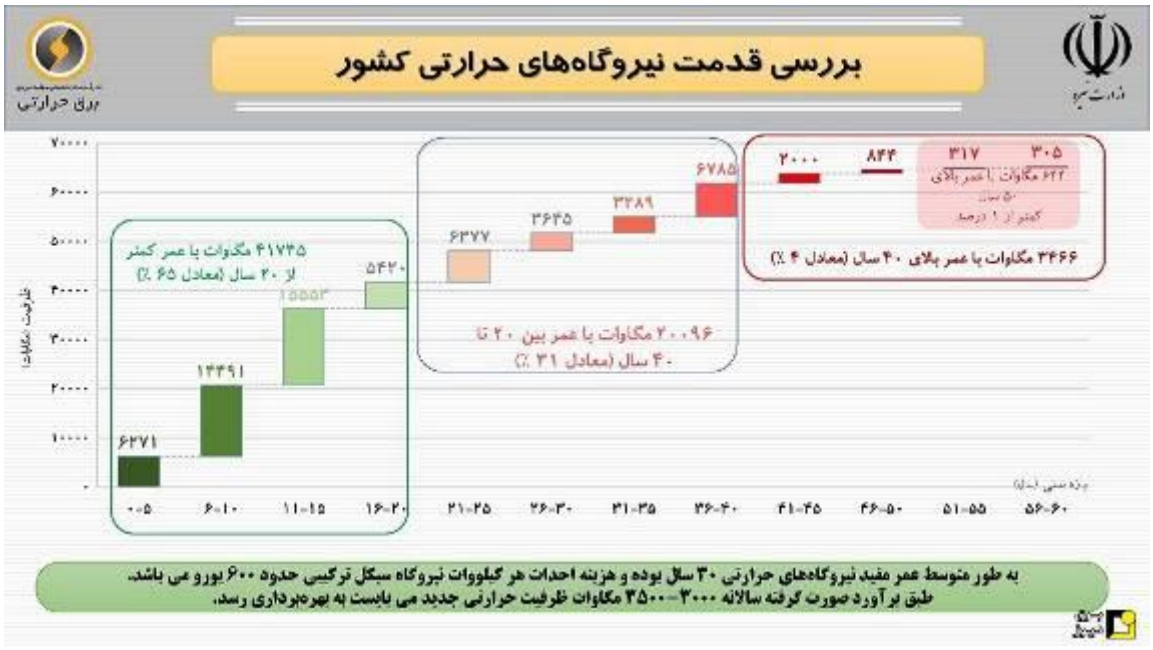
[1] - post-COVID-19 period

- خسارات قابل توجه مالی و انسانی حاصل از خرابی سازه‌ها که بخش قابل توجهی از آنها با استفاده از این سیستم قابل جلوگیری است.
- سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه انجام شده در این حوزه در کشورهای مختلف
- وضع مقررات سختگیرانه دولت‌ها در خصوص لزوم پایداری[1] (تداوم، ماندگاری) سازه‌ها
- فرسودگی و پیری سازه‌ها ناشی از افزایش عمر آنها و منافع حاصل از پایش سلامت سازه از این نظر
- کاهش هزینه‌های پایش سلامت سازه‌ها ناشی از کاهش قیمت سنسورها و سایر تجهیزات. [۶۵]

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، نگهداری سازه‌ها (اعم از ساختمانی و غیرساختمانی) و حوزه‌های فنی مرتبط با آن در داخل کشور نسبت به مباحث مرتبط با طراحی و ساخت، کمتر مورد توجه قرار داشته و برای فعالیت‌های مرتبط با آن، تا کنون بازار مشخصی در داخل کشور ایجاد نشده است. تنها در حوزه ارزیابی و بهسازی سازه‌ها در برابر زلزله برای ساختمانها و زیرساخت‌های مهم کشور (مانند ساختمان‌های ستادی، مدارس و ...) بازار نسبتاً قابل توجهی از سال‌های ابتدایی دهه ۱۳۸۰ شمسی ایجاد گردید که در دهه ۹۰ به دلایل مختلف (اعم از کمبود منابع مالی و ...) حجم آن به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. در مورد نگهداری و پایش سلامت سازه‌های خاص و بخصوص در مورد پل‌ها، در برخی از شهرهای بزرگ کشور (مانند تهران و اصفهان) فعالیت‌های سازمان یافته‌ای در سال‌های اخیر آغاز شده و بازار محدودی ایجاد شده است. با تدوین مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی و الزام به اجرای آن از یک سو و نیاز به نگهداری ساختمان‌ها به دلیل فرسودگی آنها با گذشت عمرشان از سوی دیگر، انتظار می‌رود که بازار نگهداری و پایش سلامت سازه‌های ساختمانی در آینده نه چندان دور، شکل گرفته و بخش خصوصی در آن فعال شود.

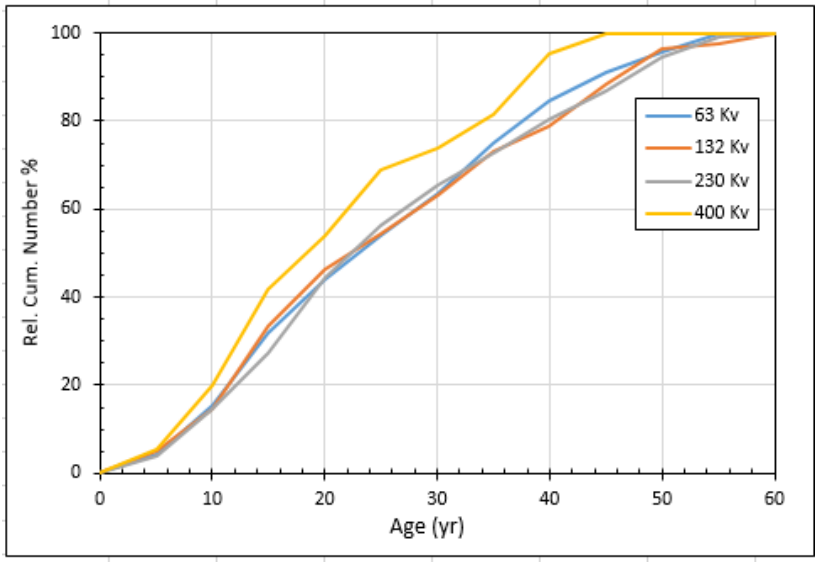
در خصوص نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق بطور کلی، تاکنون بازار مشخصی در کشور تشکیل نشده است. در بخش تولید برق (نیروگاه‌های حرارتی و تجدیدپذیر)، فعالیت سازمان یافته‌ای در خصوص نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها انجام نشده و تنها تعمیرات اضطراری و موردی در صورت وقوع خرابی و یا آسیب جدی در سازه‌ها انجام می‌گردد که عمدتاً توسط شرکت‌های ساختمانی یا شرکت‌های سازنده سازه‌های نیروگاهی انجام شده و دارای بازار مشخصی نیست. البته با توجه به تعداد واحدهای نیروگاهی موجود در کشور (در حدود ۸۰ واحد نیروگاه بخاری، ۳۶۵ واحد نیروگاه گازی و ۱۴۰ واحد نیروگاه چرخه ترکیبی طبق آمار سال ۱۳۹۵) و عمر گذشته از آنها (طبق شکل ۹۱-۱ در حدود ۳۵ درصد از توان تولیدی نیروگاه‌های حرارتی، در نیروگاه‌های با عمر بیش از ۲۰ سال که عمدتاً بخاری هستند، تولید می‌شود)، انتظار می‌رود که در آینده نیاز به پایش سلامت، نگهداری و تعمیرات سازه‌های نیروگاهی با روند رو به رشدی مواجه شده و حتی منجر به تشکیل بازار اختصاصی نیز گردد.

[1] - Sustainability



شکل ۹۱-۱: سن نیروگاه‌های حرارتی کشور [۷۴]

در بخش انتقال برق، فعالیت‌های نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها بطور سنتی (با انجام بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات اصلاحی) و بر اساس دستورالعمل‌های محلی و یا ابلاغ شده از طرف شرکت توانیر انجام می‌شود. البته انجام این فعالیت‌ها توسط شرکت‌های نگهداری و تعمیرات خطوط و پست‌ها (که متولی انجام نگهداری و تعمیرات کلیه اجزای خط اعم از سازه‌ها و تجهیزات برقی هستند) صورت گرفته و بنابراین بازار خاصی که صرفاً در بردارنده فعالیت‌های مرتبط با سازه‌ها باشد، وجود ندارد. در خصوص دکل‌های انتقال نیز با توجه به توزیع سن خطوط انتقال کشور (طبق شکل ۹۲-۱ در حدود ۵۰ الی ۶۰ درصد خطوط انتقال و فوق توزیع کشور دارای سن بالای ۲۰ سال هستند) و افزایش آسیب‌های موضعی و احتمال خرابی با بالارفتن سن خطوط، انتظار می‌رود که فعالیت‌های مرتبط با نگهداری، پایش سلامت و افزایش عمر مفید آنها در آینده رشد بیشتری پیدا کند.



شکل ۹۲-۱: نمودار فراوانی نسبی سن خطوط انتقال و فوق توزیع کشور (برگرفته از آمار صنعت برق)

در بخش توزیع برق نیز تا قبل از چند سال اخیر، تنها تعمیرات اضطراری و اصلاحی و تعویض پایه‌ها (در صورت وقوع خرابی یا مشاهده آسیب جدی در آنها) انجام می‌شدند. با توجه به تعداد نسبتاً قابل توجه پایه‌های توزیع در سطح کشور و مشاهده فرسودگی و آسیب‌های موجود در آنها و حوادث رخداده ناشی از آسیب‌ها در سال‌های گذشته، توجه به مباحث مرتبط با پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های توزیع (بخصوص پایه‌های هوایی) در سال‌های اخیر بیشتر شده و فعالیت‌های گسترده‌ای در کشور با راهبری شرکت توانیر آغاز شده و در دست انجام است. در این راستا، دستورالعمل‌هایی برای مقاوم‌سازی شبکه توزیع در حوزه‌های مختلف توسط معاونت هماهنگی توزیع تهیه و ابلاغ شده‌اند. [۱۵۲ الی ۱۶۵] به نظر می‌رسد که در این بخش نیز، پتانسیل شکل‌گیری بازار نگهداری، پایش سلامت، مقاوم‌سازی و تعمیرات سازه‌ها در کشور وجود دارد. نمونه‌هایی از آمار فرسودگی و جایگزینی پایه‌های توزیع در سطح کشور در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۱ : نمونه‌هایی از موارد جایگزینی و تعویض پایه‌های توزیع فرسوده در سطح کشور

منطقه یا شرکت توزیع	تعداد پایه فرسوده	هزینه جایگزینی (میلیون ریال)	سال
اصفهان	۵۸۹	۸۰۰۰	۱۳۹۶
اصفهان	۸۰۰	۱۵۰۰۰	۱۳۹۷
خراسان جنوبی	۶۰۰۰	۷۳۰۰۰	-
خراسان شمالی	۳۰۰۰	۹۰۰۰۰	۱۳۹۶
کرمان	--	۶۰۰۰۰	۱۳۹۴
کرمان	۵۰۰	--	۱۳۹۶
گلستان	۲۰۰	۴۰۰۰	۱۳۹۸
یزد	۴۵	۱۵۰	۱۳۹۰
طبس	۹۰۰	--	۱۳۹۵

در خصوص بازار پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق در کشور، مطالعات کاملتری انجام و در گزارش مرحله دوم پروژه حاضر ارائه شده است.

۱-۳-۳-۲- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای

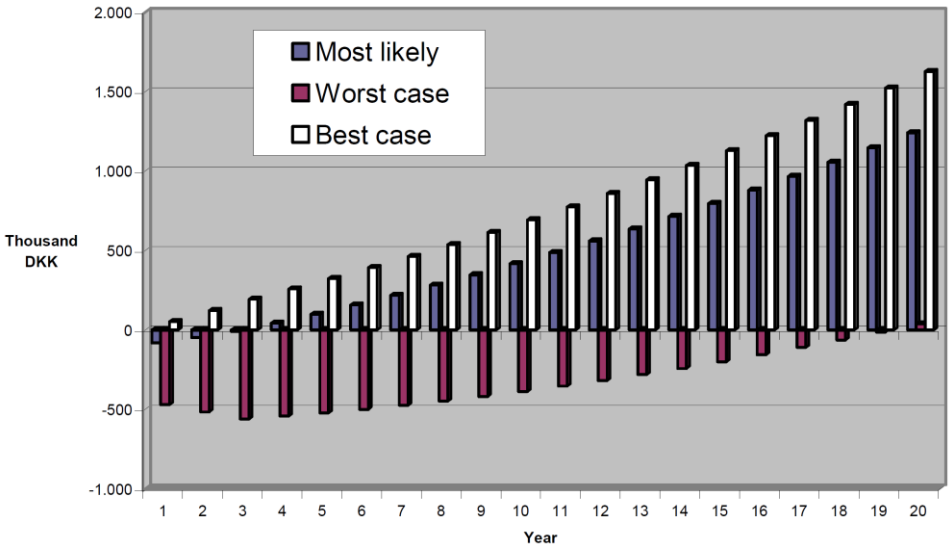
آنالیزهای هزینه-فایده انجام شده در مورد نیروگاه‌های هسته‌ای در آمریکا نشان‌دهنده اقتصادی بودن جایگزینی سیستم‌های پایش آنلاین در بخش‌های تجهیزاتی و سازه‌ای نیروگاه، به جای سیستم‌های سنتی NDE می‌باشند. با استفاده از پایش آنلاین نیاز به بازرسی‌ها و تعمیرات دوره‌ای کاهش می‌یابد و زمان از کارافتادگی و خاموشی نیروگاه بسیار کم می‌شود. بنابر یک مطالعه اقتصادی، استفاده از تکنولوژی پایش سلامت آنلاین در تمام اجزای کلیدی نیروگاه بطور متوسط منجر به کاهش هزینه‌ای در حدود یک میلیارد دلار در سال خواهد گردید. [۳۳]، [۳۴] و [۳۵]

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در سندی که در سال ۲۰۰۷ منتشر کرده، لزوم اعمال سیستم نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در نیروگاه‌های هسته‌ای را عنوان نموده و استراتژی‌های مورد نیاز برای نیل به این هدف را ارائه نموده که در میان آنها، پایش وضعیت آنلاین (CM) برای تجهیزات و پایش سلامت آنلاین (SHM) برای سازه‌ها نیز مشاهده می‌گردد. [۵۰] این امر نیز مؤید مزایای سیستم نگهداری مذکور نسبت به روش‌های سنتی نگهداری و تعمیرات می‌باشد.

۱-۳-۳-۳- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی

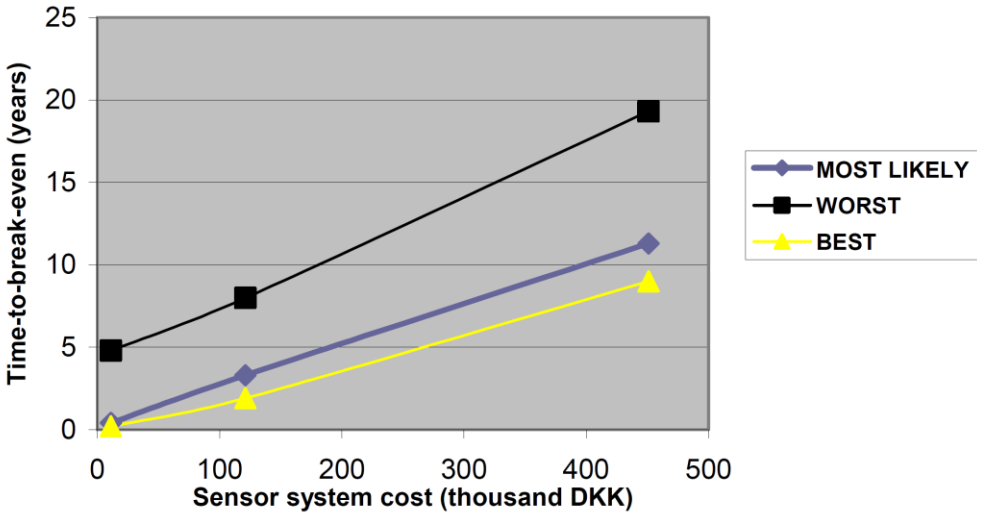
از آنجا که توربین‌ها معمولاً در نواحی دور افتاده قرار دارند. هیچ توجیه امنیت جانی برای پیاده‌سازی یک سیستم SHM برای آنها وجود ندارد. انگیزه پیاده‌سازی سیستم SHM برای توربین‌های بادی صرفاً اقتصادی است. اقتصاد توربین بادی می‌تواند به مقوله‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه نصب، درآمد حاصل از فروش برق و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شکسته شود. می‌توانیم فرض کنیم که سرمایه‌گذاری اولیه در حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون دلار در هر مگاوات است. علاوه بر این در حال حاضر هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تقریباً ۱/۵ الی ۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. اگر توربین ۵ مگاواتی را در نظر بگیریم هزینه اولیه در حدود ۵ تا ۷/۵ میلیون دلار برای هر توربین و هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالیانه با در نظر گرفتن میزان ۲٪ ، حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ هزار دلار در سال برای هر توربین است. انتظار می‌رود که تعمیرات اساسی (اورهال) توربین، هزینه‌ای حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد سرمایه‌گذاری اولیه داشته باشد و برای حدود ۲۰ سال مورد نیاز است. برای این مثال هزینه مربوطه با در نظر گرفتن عدد ۲۰ درصد حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون دلار خواهد شد. در حال حاضر تکنسین‌ها توربین‌ها را برای تعیین تعمیر و نگهداری های لازم بازرسی می‌کنند. در حالت ایده‌آل سیستم SHM جایگزین و یا باعث تقویت روش‌های بازرسی می‌شود تا هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه را به حداقل برساند (مقدار عددی کاهش هزینه در این مثال ارائه نشده است) و تنها تعمیرات اساسی هنگامی انجام شود که شرایط توربین نیاز به آنها را دیکته می‌کند. هزینه‌هایی که در بالا برای بهره‌برداری و نگهداری تعریف شده‌اند و همچنین محدودیت‌های تعمیرات اساسی باید در هزینه کلی سیستم SHM (توسعه، استقرار و نگهداری) دیده شود تا نرخ مثبت بازگشت سرمایه تأمین شود. اگر سیستم SHM یکسان روی توربین‌های مختلف نصب شده باشد می‌توان هزینه توسعه را بین توربین‌های متعدد تقسیم کرد. علاوه بر این، این ارزیابی محدودیت‌هایی را بر عمر بهره‌برداری مورد نیاز

سیستم SHM وارد می‌کند. [۵] در سال ۲۰۰۲ در کشور دانمارک، تحقیقاتی بر روی پایش سلامت سازه‌های توربین بادی درون دریا انجام گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی راه‌های تشخیص خرابی (محل و نوع خرابی) و تخمین اثر خرابی روی عمر باقیمانده توربین بادی است. در این تحقیق بررسی جامعی روی موانع تکنیکی و اقتصادی در جهت رسیدن به این هدف انجام شده است. از نظر اقتصادی، آنالیز هزینه-سود برای استفاده از سنسورها به منظور پایش سلامت و همچنین تخمین قیمت برای سیستم پایش سلامت سازه‌ی توربین بادی انجام گرفته است. آنالیز هزینه-سود انجام گرفته در این پروژه نشان می‌دهد که استفاده از سنسورهای کارگذاشته شده درون پره‌های توربین بادی به منظور پایش سلامت سازه، از نظر اقتصادی کاملا عملی و مقرون به صرفه می‌باشد. در این تحقیق کل هزینه عملیاتی یک توربین سه پره‌ای ۲ مگاوات برای حالتی که پایش سلامت انجام نگیرد و حالتی که سیستم پایش سلامت استفاده شود، با هم مقایسه شده‌اند. تفاوت هزینه‌ها در طول عمر سازه، نشان دهنده نسبت هزینه به سود استفاده از سنسورها برای پایش سلامت سازه می‌باشد. آنالیز هزینه برای سه سناریو محتملترین[1]، بدترین[2] و بهترین[3] حالت استفاده از سنسور انجام شده است. برای محتملترین حالت نقطه‌ی سر به سر[4] هزینه‌ها تقریبا سه سال بعد از نصب سنسور اتفاق می‌افتد. به این دلیل که، هزینه خرابی‌های محتمل در سال‌های اولیه بیشتر است و همچنین استفاده از سنسورها، هزینه اولیه را بالا می‌برند. در بهترین حالت، هزینه اضافی خیلی کم در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه صرفه اقتصادی از همان ماه‌های شروع استفاده از سنسورها اتفاق می‌افتد. در بدترین حالت، سیستم سنسورها بسیار گران است اما ریسک خرابی‌ها را کاهش نمی‌دهد. در ضمن تعداد زیاد تعمیرات غیر ضروری، نقطه سر به سر را تا ۱۹ سال افزایش می‌دهد، (شکل ۹۳-۱). در این تحقیق آنالیز حساسیت نیز انجام گرفته است و حساسیت نقطه سر به سر به هزینه سیستم سنسورها در شکل ۹۴-۱ نشان داده شده است، [۶۰ و ۶۱].



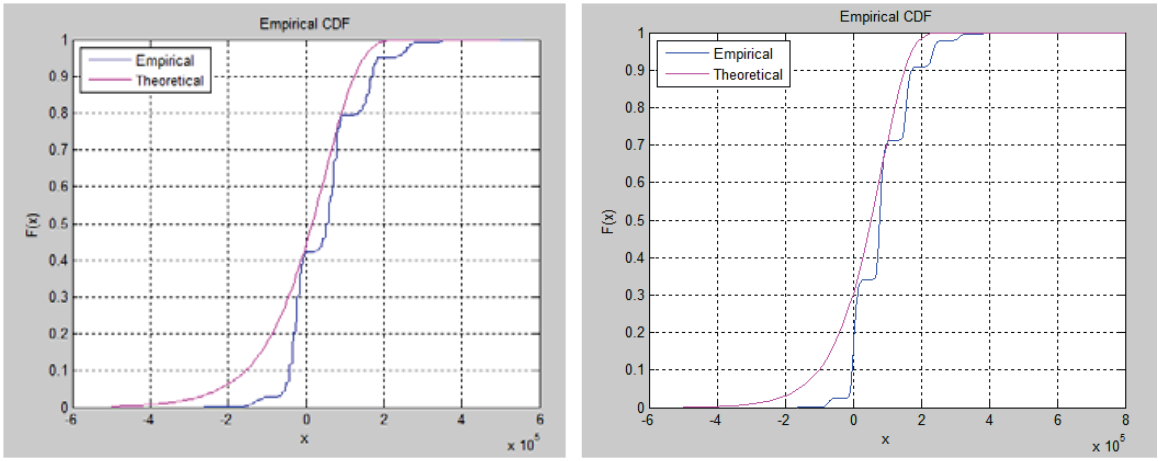
شکل ۹۳-۱: آنالیز هزینه-سود استفاده از سنسور به منظور پایش سلامت توربین بادی

[1] - Most Likely
[2] - Worse Case
[3] - Best Case
[4] - Time to Brake Event



شکل ۹۴-۱: آنالیز حساسیت نقطه سر به سر به قیمت سیستم سنسورها

نمونه‌هایی از بررسی اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت SHM آنلاین برای پره‌های توربین‌های بادی در [۱۴۱] ارائه شده‌اند که نشان‌دهنده اقتصادی بودن استفاده از این سیستم نسبت به حالت تعمیرات اصلاحی (پس از شکست) می‌باشند. در یکی از این نمونه‌ها، سه رویکرد پایش سلامت پره‌ها شامل بازرسی چشمی، بازرسی غیرمخرب و پایش SHM آنلاین به لحاظ اقتصادی با هم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که پایش آنلاین برای حالات شکست با نرخ بالاتر و بازرسی غیرمخرب برای حالت شکست با نرخ پایینتر، مناسب هستند. در نمونه‌ای دیگر، هزینه چرخه عمر (LCC) برای دو حالت با و بدون سیستم پایش آنلاین پره‌ها مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که هزینه چرخه عمر با سیستم پایش آنلاین، بطور متوسط در حدود ۲۵۲۰۰۰ دلار کمتر از حالت تعمیرات بدون پایش سلامت است که دلیل این صرفه جویی، نیاز به تعمیرات زودتر و ارزانتر و جلوگیری از توقف یا کاهش تولید در زمان انجام تعمیرات است. همچنین مقایسه احتمالاتی (با لحاظ سناریوهای مختلف محتمل در طول عمر ۲۰ ساله یک توربین نمونه) میان هزینه چرخه عمر پره در دو حالت بازرسی چشمی و پایش آنلاین SHM انجام شده است. نتایج نهایی حاصله که در شکل ۹۵-۱ ارائه شده‌اند، نشان دادند که پایش آنلاین در بدترین و بهترین وضعیت خود، به ترتیب در ۵۵٪ و ۷۰٪ حالات، اقتصادی‌تر از بازرسی چشمی است. [۱۴۱]



بدترین شرایط　　بهترین شرایط

شکل ۹۵-۱: توزیع احتمال اختلاف هزینه چرخه عمر پره در دو حالت بازرسی چشمی و پایش آنلاین SHM

اثر پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت SHM برای برج‌های یک مزرعه بادی فراساحلی در [۱۴۲] ارائه شده است. در این مطالعه سناریوهای مختلفی از نظر تعداد توربین‌های مجهز شده به سیستم SHM در مزرعه بادی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نهایی نشان داد که اضافه هزینه ناشی از پیاده‌سازی تجهیزات SHM بین ۰.۱ الی ۱.۴ میلیون یورو (کمتر از ۰.۱ ٪ سرمایه اولیه) است که منجر به ۰.۲ الی ۱.۵ ٪ کاهش در هزینه‌های کلی بهره‌برداری و نگهداری برج توربین در طول عمر خود می‌شود. این کاهش هزینه عمدتا ناشی از کاهش تعداد بازرسی‌های غیرضروری (بخصوص در اوایل عمر)، کاهش هزینه و مدت زمان تعمیرات به دلیل آشکارسازی آسیب‌ها در مراحل اولیه خود و جلوگیری از شکست‌های شدید (با هزینه تعمیرات بالا) می‌باشد. همچنین ارزش پیاده‌سازی SHM در مزرعه تحت مطالعه بین ۱.۹۳ الی ۱۸.۱۱ میلیون یورو (بر اساس تحلیل حساسیت در سناریوهای مختلف) تخمین زده شده است. نتایج همچنین نشان داد که افزایش تعداد توربین‌های مجهز به سیستم SHM در مزرعه موجب کاهش بیشتر در هزینه بهره‌برداری و نگهداری برج‌ها می‌شود که این کاهش، به میزان قابل توجهی بیشتر از هزینه پیاده‌سازی SHM در مزرعه می‌باشد. [۱۴۲]

۱-۳-۳-٤- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در حوزه انتقال برق

در مورد پست‌ها و دکل‌های انتقال برق، مطالعه تحقیقاتی انجام شده در آمریکا (بصورت پایلوت) در زمینه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین با هدف شناسایی نفوذ خارجی به محوطه پست (برای دزدی یا خرابکاری) و خطرات حاصل از عوامل محیطی منطقه (شامل آتش سوزی)، نشان‌دهنده اقتصادی بودن استفاده از سیستم مذکور بجای سایر گزینه‌های حفاظت از پست در برابر خطرات مورد نظر می‌باشد. [۴۹] دو دلیل عمده برای توجیه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین در خطوط انتقال، شامل کاهش هزینه‌های نگهداری خط بواسطه حذف بازرسی‌های دوره‌ای غیر ضروری و افزایش قابلیت اطمینان هشدار و اعلام مخاطرات؛ و افزایش قابلیت انتقال بار از خط موجود بدون افزایش سازه‌ها و تجهیزات (با پایش و کنترل پارامترهای محدود کننده انتقال بار)، می‌باشند. [۴۷] ارزیابی اقتصادی تقریبی که در مرجع [۴۶] ارائه شده، نشان‌دهنده این است که هزینه‌های نصب

سیستم پایش به میزان کافی در دکل‌های انتقال در مقابل خسارات حاصل از خاموشی‌هایی که با این سیستم قابل جلوگیری هستند، ناچیز بوده و بنابراین استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین کاملاً اقتصادی است. [۴۶] و [۴۷]

مطالعه انجام شده در پژوهشگاه نیرو در محدوده دو شرکت برق منطقه‌ای، حاکی از آن است که با انجام پایش سلامت و تعمیرات پیشگیرانه دکل‌های انتقال، متوسط سالانه خسارات حاصل از خرابی دکل‌ها را می‌توان تا میزان ۷۰ درصد کاهش داد. همچنین با انجام مقاوم‌سازی و مهار تجهیزات آسیب‌پذیر نیز، متوسط خسارات سالانه حاصل از خرابی‌های ناشی از زلزله در پست‌های انتقال و فوق‌توزیع تا میزان ۳۵ درصد قابل کاهش می‌باشند. [۱۰۱]

۱-۳-۳-۵- ارزش اقتصادی اطلاعات حاصل از پایش سلامت سازه‌ها

بطور کلی پایش سلامت و ارزیابی عملکرد سازه‌ها اطلاعاتی در خصوص حالت و وضعیت واقعی سازه و عملکرد آن را به تصمیم‌گیران (مدیران، مالکان، ذینفعان و ...) ارائه می‌کند. به عبارت دیگر، نتیجه و خروجی حاصل از اجرای فرآیند پایش سلامت و ارزیابی عملکرد سازه‌ها، اطلاعات است. این اطلاعات برای کمک به تصمیم‌گیری صحیح و بهینه در خصوص اقدامات آتی مرتبط با بهره‌برداری و نگهداری سازه (از قبیل انجام تعمیرات و مقاوم‌سازی، ادامه بهره‌برداری، اسقاط و تخریب سازه و ...) کاربرد خواهد داشت. بدیهی است که حصول اطلاعات مربوط به وضعیت و عملکرد سازه با استفاده از پایش سلامت، دارای هزینه است که بسته به سطح پیچیدگی فرآیند پایش (شامل بازرسی چشمی تا ابزارگذاری‌های پیشرفته در SHM) مقادیر متفاوتی خواهد داشت. بطور کلی هرچه سطح پایش سلامت پیشرفته‌تر شود، هزینه اولیه آن بالاتر بوده و از طرف دیگر، اطلاعات کاملتر و قابل اعتمادتری (دارای عدم قطعیت کمتر) از وضعیت و عملکرد سازه بدست می‌دهد که منجر به اتخاذ تصمیمات بهتری خواهد شد. بنابراین مشخص است که اطلاعات حاصله دارای ارزش خواهد بود.

در سال‌های اخیر، مبحث محاسبه ارزش اطلاعات[1] (VoI) به عنوان روشی برای کمّی کردن منافع اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی پایش سلامت و ارزیابی عملکرد سازه‌ها و بررسی توجیه اقتصادی آن، در ادبیات فنی و تحقیقاتی مطرح شده است. ارزش اطلاعات حاصل از پایش سلامت بر اساس تفاوت پی‌آمدهای اقتصادی (ریسک احتمالی) حاصل از تصمیم گیری در دو حالت با و بدون اطلاعات پایش سلامت می‌باشد. به عبارت دیگر ارزش اطلاعات به میزان خسارات حاصل از تصمیمات غلطی است که اطلاعات مذکور از آن ممانعت می‌کند. اگر مقدار ارزش اطلاعات از هزینه اکتساب آن اطلاعات (هزینه اجرای پایش سلامت) بیشتر باشد، انجام پایش سلامت دارای توجیه اقتصادی خواهد بود. محاسبه ارزش اطلاعات در حالت کامل آن بر اساس تحلیل‌های احتمالاتی با استفاده از روش‌های بروزرسانی بیزین انجام می‌شود. در این راستا، چهارچوب‌ها و روش‌های تحلیلی مختلفی با سطوح پیچیدگی مختلف برای محاسبه ارزش اطلاعات حاصل از پایش سلامت توسعه داده شده‌اند که به عنوان نمونه می‌توان به [۷۸] الی [۸۶] مراجعه نمود.

زونتا و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی ارزش اطلاعات (VoI) (اثر پایش بر تصمیم‌گیری) پرداختند. VoI مبلغی است که مدیر در هر بار مشورت با SHM پس‌انداز می‌کند یا به بیان دیگر، حداکثر هزینه‌ای است که او حاضر است جهت کسب اطلاعات (نصب سیستم SHM) پرداخت نماید. یکی از نتایج این تحقیق، وابستگی ارزش

[1] - Value of information

اطلاعات SHM به سه نوع پارامتر است: (۱) زیان‌های مورد انتظار، (۲) توانایی سیستم SHM در شناسایی انواع آسیب و (۳) وضعیت پیشین سازه. یکی از دلایل عدم استفاده از SHM بر روی سازه‌های واقعی، عدم درک ارزش اطلاعات حاصل از آن است، به طوری که بیشتر مدیران، سرمایه خود را به جای راه‌اندازی سیستم پایش سلامت سازه، صرف تعمیر و نگهداری آن می‌کنند و تصمیماتی مبتنی بر تجربه یا احساس، اتخاذ می‌نمایند. در این تحقیق، برای حل این مشکل، چارچوبی منطقی جهت ارزیابی اثر SHM بر تصمیم‌گیری ارائه شده است. در انتها نتیجه شد که تا زمانی که ارزش چرخه عمر سیستم[1] مثبت است، تجهیز سازه به سیستم پایش سلامت، اقتصادیست. [۸۴] جیوردانو و همکاران (۲۰۲۰)، چارچوبی برای ارزیابی مزایای نصب سیستم پایش به عنوان ابزاری پشتیبان برای تصمیم‌گیری جهت مدیریت بحران آبشستگی پایه پل‌ها[2] ارائه داده‌اند. این چارچوب مبتنی بر VoI از تئوری تصمیم‌گیری بیزی[3] است که در آن، احتمالات وقوع خرابی و خسارات مالی حاصله بر اساس اطلاعات حاصل از سیستم پایش سلامت و با استفاده از تئوری بیز، به‌روزرسانی می‌شوند. VoI حداکثر هزینه‌ای است که مالک پل برای کسب اطلاعات از SHM متحمل می‌شود؛ سیستم SHM تنها زمانی باید نصب شود که VoI متناظر با آن از هزینه خود سیستم بیشتر شود. VoI همچنین هزینه ذخیره شده در هر بار تصمیم‌گیری با مشورت سیستم SHM می‌باشد. [۱۳۵]

تحلیل ارزش اطلاعات برای انتخاب بهترین سیستم پایش سلامت (از بازرسی چشمی تا پایش سنسوری SHM) برای سازه مورد نظر نیز کاربرد دارد. در واقع این تحلیل به عنوان ابزاری جهت تصمیم‌گیری در خصوص انجام یا عدم انجام پایش سلامت و همچنین انتخاب بهترین استراتژی و رویکرد برای انجام پایش، برای یک سازه مشخص کاربرد خواهد داشت.

۱-۳-٤- دلایل توجیه‌پذیری از بعد سیاسی اجتماعی

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، قطع خدمت‌رسانی صنعت برق به هر دلیل (شامل وقوع خرابی در سازه‌ها) دارای پی‌آمدهای گوناگونی در سطوح مختلف تأثیر بر جامعه است. پی‌آمدهای اجتماعی قطع برق نظیر توقف و اخلال در فعالیت‌های جاری و روزمره افراد و گروه‌ها، منجر به بروز ناهنجاری و نارضایتی در جامعه می‌گردد. به عنوان مثال در خلال بروز پدیده هجوم ریزگردها در سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان، با قطع آب و برق کل استان به حالت نیمه تعطیل درآمد. از نخستین ساعت‌های بامداد شنبه، ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ خورشیدی، آب و برق در اغلب شهرهای بزرگ خوزستان قطع شد و مراکز آموزشی و اداره‌ها تعطیل شدند[۸۸]. گردوغبار شدید و رطوبت زیاد علت این وضعیت اعلام شد. در پی آن، جمعی از مردم اهواز در اعتراض به شرایط سخت و روزهای بحرانی اخیر خوزستان در اهواز تجمع کردند. (شکل ۹۶-۱) در این تجمع مردم با بیان شعارهایی و در دست داشتن پلاکاردهای اعتراضی، اعتراض خود را به وضعیت قطعی آب و برق، نبود مدیریت مناسب در شرایط آلودگی

[1] system life-cycle value
[2] - scoured bridges
[3] - Bayesian decision theory

هوا و در شرایط بحرانی خوزستان و عملکرد ضعیف رئیس سازمان محیط زیست در رسیدگی به موضوع ریزگردها و بحث انتقال آب، اعلام و خواستار رسیدگی سریع به این موضوعات شدند [۸۹].



شکل ۹۶-۱: تجمع مردم خوزستان بدلیل قطعی برق

همچنین گسترش قطع برق در ابعاد بزرگ استانی یا ملی (بلاک اوت) می‌تواند دارای پی آمدهای زیان بار سیاسی نیز باشد. بر این اساس، قطع خدمت‌رسانی شبکه برق می‌تواند منجر به ایجاد یا تشدید شرایط بحرانی در بخش‌های مختلف جامعه شده و از سوی دیگر، حفظ و تداوم برق‌رسانی بخصوص پس از وقوع حوادث طبیعی، می‌تواند به بازتوانی روانی افراد جامعه جهت مقابله بهتر با شرایط بحرانی کمک شایانی نماید. از این منظر، کلیه اقداماتی که در راستای حفظ پیوستگی کارکرد شبکه برق بوده و به تداوم خدمت‌رسانی آن کمک نماید (از جمله سیستم پایش سلامت سازه‌ها)، می‌تواند در زمره اقدامات پیشگیرانه مدیریت بحران لحاظ و توجیه گردد.

خسارات جانی به مردم و پرسنل شبکه نیز از عوامل ایجاد استرس و ناامنی روانی در جامعه است. بیشتر خسارات جانی رخداده در گذشته مربوط به سقوط پایه‌های توزیع فرسوده بوده که باعث صدمه به پرسنل شبکه برق شده‌اند. به عنوان نمونه در شرکت توزیع استان سمنان در سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۷۹، ۲۴.۵ درصد (تعداد ۱۱ مورد) از حوادث رخداده برای پرسنل شرکت مربوط به سقوط از پایه‌ها بوده که عامل سقوط در ۳ مورد (معادل ۲۷.۳ درصد)، فرسودگی پایه‌ها و تجهیزات بوده است. [۸۷] به عنوان نمونه‌ای دیگر می‌توان به کشته شدن کارگر شرکت توزیع در اثر سقوط پایه توزیع ناشی از باد شدید در زاهدان اشاره نمود. (شکل ۹۷-۱)



شکل ۹۷-۱: سقوط تیر برق بر اثر وزش باد در زاهدان و کشته شدن یکی از پرسنل

از طرف دیگر، در راستای مقاصد کلان صنعت برق در افق ۱۴۰۴ که ایران را سرآمد کشورهای منطقه در ارائه برق پاک و پایا و مطمئن در نظر می‌گیرد [۹۰]، و همچنین اراده کلی صنعت برق برای صادرات برق به کشورهای همسایه بطور مطمئن و پایدار، جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس‌دهی صنعت برق بدلیل وقوع انواع خرابی‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. توسعه صادرات برق ایران به سایر کشورها با حفظ کیفیت و پایایی مناسب و قابل قبول، می‌تواند منجر به افزایش قدرت اقتصادی و به تبع آن قدرت سیاسی کشور شده و جایگاه آنرا در عرصه بین‌المللی و منطقه‌ای تقویت نماید. از آنجا که فناوری پایش سلامت سازه‌ها بطور کلی در راستای افزایش قابلیت اطمینان تولید برق و رساندن آن به مصرف کننده بوده و احتمال قطع سرویس‌دهی شبکه برق در اثر خرابی‌های سازه‌ای را کاهش می‌دهد، سبب کاهش پی‌آمدهای اجتماعی و سیاسی ناشی از قطع برق شده و از این لحاظ، توجیه پذیر خواهد بود.

از دیدگاهی دیگر، بخش‌هایی از صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) ممکن است به سبب تحریم‌های اعمالی از سوی کشورهای صنعتی دچار مشکلاتی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات شوند. پیش بینی مخاطرات و جلوگیری از آسیب‌های حاصله می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید و بهره‌برداری بهینه از امکانات و تجهیزات موجود و نیاز کمتر به قطعات وارداتی و کاهش مسائل مربوط به آن در صنعت برق کشور، گردد.

۱-۳-۵- دلایل توجیه‌پذیری از بعد زیست‌محیطی

وقوع خرابی در برخی از انواع سازه‌ها می‌تواند مستقیماً دارای پی‌آمدهای زیست محیطی نیز بوده و سبب ایجاد یا انتشار انواع آلودگی‌ها در محیط زیست گردد. در مورد سازه‌های صنعت برق می‌توان پوسته محافظ رآکتور در

نیروگاه‌های هسته‌ای و یا مخازن سوخت در نیروگاه‌های حرارتی را نام برد که خرابی آنها می‌تواند سبب انتشار مواد آلاینده رادیواکتیو یا شیمیایی شده و دارای پی‌آمدهای زیان بار زیست محیطی باشد. همچنین خرابی‌های سازه‌ای در اجزای نیروگاه‌ها ممکن است منجر به حوادث ثانویه نظیر آتش‌سوزی یا انفجار شود که علاوه بر سایر پی‌آمدها و خسارات حاصله، منجر به آلودگی زیست محیطی نیز خواهند شد. بر این اساس، هر سیستمی که در راستای جلوگیری یا کاهش آسیب‌های سازه‌ای عمل کند (شامل سیستم پایش سلامت سازه)، بطور غیرمستقیم در حفاظت از محیط زیست نیز نقش خواهد داشت.

۱-۳-٦- دلایل توجیه‌پذیری از بعد قانونی

توجیه‌پذیری قانونی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، بر اساس بررسی و مطالعه اسناد ملی بالادستی صورت می‌گیرد. این بررسی با هدف تعیین میزان مطابقت، تأثیرپذیری و همراستایی کلی توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، با اهداف و سیاست‌های کلان کشور انجام می‌گیرد. در این راستا می‌توان به اسناد بالادستی به شرح زیر اشاره نمود:

۱-۳-٦-۱- قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه کشور

در مجموعه برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران مصوب اسفند سال ۱۳۸۹ هجری شمسی، موارد زیر در ارتباط با توسعه علم و فناوری در کشور و صنعت برق مورد توجه قرار گرفته است:

- حمایت مالی از پژوهش‌های تقاضا محور مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی، پژوهشی و فناوری و حوزه‌های علمیه در موارد ناظر به حل مشکلات موجود کشور.
- حمایت‌های قانونی لازم در راستای تشویق طرف‌های خارجی قراردادهای بین‌المللی و سرمایه‌گذاری خارجی برای انتقال دانش فنی و بخشی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه مربوط به داخل کشور و انجام آن با مشارکت شرکت‌های داخلی.
- حمایت مالی از ایجاد و توسعه بورس ایده و بازار فناوری به منظور استفاده از ظرفیت‌های علمی در جهت پاسخگویی به نیاز بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات.
- حمایت مالی از پایان نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی در راستای ارتقاء بهره‌وری و حل مشکلات کشور.
- به منظور زمینه‌سازی برای تربیت نیروی انسانی متخصص و متعهد، دانش مدار، خلاق و کارآفرین، منطبق با نیازهای نهضت نرم‌افزاری، با هدف توسعه کمی و کیفی دولت مجاز است هزینه سرانه تربیت نیروی انسانی متخصص مورد تقاضای کشور بر اساس هزینه‌های آموزشی و هزینه‌های خدمات پژوهشی، تحقیقاتی و فناوری مورد حمایت را در چهارچوب بودجه‌ریزی عملیاتی برای هر دانشگاه و مؤسسه آموزشی، تحقیقاتی و فناوری دولتی محاسبه و به طور سالانه تأمین کند.
- دولت مکلف است به منظور گسترش شایستگی حرفه ای از طریق افزایش دانش و مهارت با نگرش به انجام کار واقعی در محیط، اصلاح هرم تحصیلی نیروی کار و ارتقاء و توانمندسازی سرمایه‌های انسانی، کاهش فاصله سطح شایستگی نیروی کار کشور با سطح استاندارد جهانی و ایجاد فرصت‌های جدید شغلی و حرفه ای برای جولانان و ارتقاء جایگاه آموزش‌های فنی و حرفه‌ای برای نظام آموزش فنی و

حرفه ای و علمی – کاربردی کشور اعم از رسمی، غیر رسمی و سازمان نایافته، ظرف یکسال از تاریخ تصویب این قانون در محورهای زیر سازوکارهای لازم را تهیه و با پیش‌بینی الزامات مناسب اجراء کند:

- فراهم سازی ارتقاء مهارت در کشور از طریق اعطاء تسهیلات مالی با نرخ ترجیحی و تأمین فضاهای فیزیکی و کالبدی با شرایط سهل و زمینه سازی حضور فعال و مؤثر بخش غیر دولتی در توسعه آموزشهای رسمی و غیر رسمی مهارتی و علمی – کاربردی کشور.
- هماهنگی در سیاست‌گذاری و مدیریت در برنامه‌ریزی آموزش‌های فنی و حرفه‌ای کشور به عنوان یک نظام منسجم و پویا متناسب با نیاز کشور.
- نیازسنجی و برآورد نیروی انسانی کاردانی مورد نیاز و صدور مجوز لازم و حمایت به منظور تأسیس و توسعه مراکز آموزش دوره های کاردانی در بخش خصوصی و تعاونی و ایجاد ظرفیت‌های مورد نیاز تا سال چهارم برنامه.

⇦ به منظور تنوع در عرضه انرژی کشور، بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف و توسعه تولید همزمان برق و حرارت، شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعه وزارت نیرو موظفند:

- وزارت نیرو مجاز است در طول برنامه نسبت به افزایش توان تولیدی برق تا بیست و پنج هزار مگاوات ازطریق سرمایه‌گذاری بخش‌های عمومی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا منابع داخلی شرکت‌های تابعه و یا به صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری از جمله ساخت ،بهره‌برداری و تصرف و ساخت، بهره‌برداری و انتقال اقدام نماید.
- به منظور اعمال صرفه جویی، تشویق و حمایت از مصر ف کنندگان در راستای منطقی کردن و اصلاح الگوی مصرف انرژی و برق ،حفظ ذخایر انرژی کشور و حفاظت از محیط زیست به وزارتخانه‌های نیرو، نفت و صنایع و معادن اجازه داده می‌شود بر اساس دستورالعملی که حداکثر تا پایان سال اول برنامه به تصویب شورای اقتصاد می‌رسد نسبت به اعمال مشوق‌های مالی جهت رعایت الگوی مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی، تولید محصولات کم مصرف و با استاندارد بالا اقدام نمایند. منابع مالی مورد نیاز اجرای این ماده از محل وجوه حاصل از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه ها، منابع داخلی شرکت‌های تابعه وزارتخانه‌های نفت، نیرو و صنایع و معادن و یا فروش نیروگاه‌ها و سایر دارایی ها از جمله اموال منقول و غیر منقول، سهام و سهم‌الشرکه وزارت نیرو و سایر شرکت‌های تابعه و وابسته و بنگاه‌ها در قالب بودجه سنواتی تأمین می‌شود.

⇦ طرح جامع صیانت از نیروگاه‌های هسته‌ای توسط سازمان انرژی اتمی با همکاری وزارت کشور، وزارت امور خارجه، معاونت و سایر دستگاه‌های ذیربط حداکثر تا پایان سال اول برنامه تهیه و به تصویب هیئت وزیران می‌رسد.

⇦ الزامات، مقررات و مصوبات نظام ایمنی هسته‌ای کشور که توسط مرکز نظام ایمنی سازمان انرژی اتمی ایران در زمینه فناوری هسته‌ای و پرتوی ابلاغ می شود، برای کلیه دستگاه‌های اجرایی و اشخاص حقیقی و حقوقی غیردولتی مرتبط، لازم‌الاجراء است.

به منظور ایجاد زیرساخت‌های تولید تجهیزات نیروگاه‌های بادی و خورشیدی و توسعه کاربرد انرژی‌های پاک و افزایش سهم تولید این نوع انرژی‌ها در سبد تولید انرژی کشور، دولت مجاز است با حمایت از بخش‌های

خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد.

۱-۳-۶-۲- سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور

در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران که در آذر سال ۱۳۸۲ هجری شمسی ابلاغ شد، در راستای چشم‌انداز افق، به موارد زیر اشاره شده که می‌تواند به توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حوزه دانش فنی مورد نیاز، مربوط باشد:

- سازماندهی و بسیج امکانات و ظرفیت های کشور درجهت افزایش سهم کشور در تولیدات علمی جهان از طریق:
  - تقویت نهضت نرم‌افزاری و ترویج پژوهش
  - کسب فناوری، به ویژه فناوری‌های نو شامل: ریزفناوری و فناوری‌های زیستی، زیست محیطی، هوافضا و هسته‌ای.
  - حفاظت از محیط زیست و احیای منابع طبیعی

۱-۳-۶-۳- سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو

طی سال‌های اخیر طرح تدوین این سند در دستور کار این وزارتخانه قرار گرفته است. تحقق آرمان و اهداف سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران، انسجام‌بخشی به برنامه‌ها و فعالیت‌ها و مستندسازی نگاه به افق‌های دوردست صنعت آب و برق از اهداف تدوین این سند به شمار می‌روند. اسناد خروجی این طرح به عنوان سند بالادستی مجموعه اجزای وزارت نیرو در نظر گرفته شده و با توجه به ابلاغ توسط وزیر محترم نیرو مبنای کلیهٔ سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های صنعت آب و برق قرار می‌گیرد.

مجموعهٔ حاضر برنامهٔ راهبردی وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ را مشخص نموده و مشتمل بر اسناد مأموریت، چشم‌انداز، ارزش‌ها و راهبردهای وزارت نیرو و بخش‌های پنجگانه‌ی «آب و آبفا»، «برق و انرژی»، «آموزش، پژوهش و فناوری» و «پشتیبانی صنعت آب و برق» است. این مجموعه نتیجه مشارکت ارزشمند حدود ۲۸۰ نفر از مدیران، صاحب نظران، خبرگان و کارشناسان ارشد صنعت آب و برق در قالب انجام فعالیت‌های پشتیبانی و حضور فعال در جلسات کمیته‌های تخصصی، کمیته راهبری و هماهنگی و شورای عالی طرح است. این اسناد با شناخت فرصت‌ها و تهدیدهای در پیشروی صنعت آب و برق به دست آمده و افق حرکتی آینده‌ی وزارت نیرو را تعیین نموده و نگاه بلندمدت را در تمامی سطوح این وزارتخانه نهادینه می‌نمایند.

مطابق این سند، بخش‌هایی از مأموریت وزارت نیرو که می‌تواند با مباحث نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها مرتبط گردد، به شرح زیر می‌باشد:

- وزارت نیرو با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط‌زیست، علاوه بر توسعه و ارتقای بهره‌وری و کیفیت ارائه خدمات در سطح ملی، بازار صنعت آب و برق کشور را به سطح جهانی، به ویژه کشورهای منطقه گسترش می‌دهد.
- وزارت نیرو رشد پایدار بخش آب و برق کشور را با ایجاد تعادل بین منابع و مصارف، ارتقای بهره‌وری و مشارکت منابع انسانی به عنوان ارزشمندترین سرمایه محقق می‌سازد.

- در بخش برق و انرژی: وزارت نیرو در این بخش با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند.
- وزارت نیرو در بخش آموزش، پژوهش و فناوری عهده‌دار ارتقای دانش و مهارت‌های منابع انسانی، توسعه پژوهش و فناوری، افزایش آگاهی‌های عمومی و خلاقیت و نوآوری در راستای تأمین نیازهای صنعت آب و برق است.
- بخش آموزش، پژوهش و فناوری با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت و تکیه بر منابع انسانی توانمند و متعهد به عنوان اصلی‌ترین سرمایه و با توسعه و به‌کارگیری روش‌های نوین در فعالیت‌های علمی، نظام مدیریت دانش و تعامل شبکه‌ای با نهادهای فعال در صنعت آب و برق، به‌ویژه در حوزه‌های فنی، مدیریتی و اقتصادی، در راستای توسعه پایدار اقدام می‌نماید.
- بخش پشتیبانی صنعت آب و برق با بهره‌گیری از دانش و فناوری‌های روز دنیا عهده‌دار مدیریت تأمین و توسعه بازار کالاها، تجهیزات، خدمات مشاوره‌ای و پیمانکاری در این صنعت می‌باشد.

در این راستا، راهبردهای وزارت نیرو در بخش‌های مختلف تدوین و ارائه شده که از میان آنها، می‌توان به بندهای زیر که به نوعی مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها می باشند، اشاره نمود:

۷-۲- افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها

۷-۴- ارتقاء توانمندی در تولید برق از انرژی‌های نو وتجدیدپذیر

۷-۵- سازگاری زیست‌محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق

۱۰-۲- گسترش پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای و ارتقاء سطح تحقیق و توسعه

۱۰-۷- شناسایی فناوری‌های نوین و انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های دارای مزیت نسبی

۱۰-۸- ارتقاء نظام آموزش‌های عمومی، تخصصی و مدیریتی

۱۰-۹- توسعه شبکه خبرگان، نخبگان و متخصصین

۱۱-۱- ظرفیت‌سازی، آموزش و توسعه توانمندی‌های منابع انسانی

<u>در بخش برق و انرژی:</u>

۵-۳- شناسایی، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست

۵-۴- افزایش سطح تعامل بخش برق و انرژی با مراکز علمی و تحقیقاتی داخلی و خارجی توانمند و نهادینه‌سازی آن

۷-۴- استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا

۷-۵- مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی

۸-۳- ارتقاء و توسعهٔ نظام یادگیری فردی و سازمانی، با رویکرد مستندسازی و انتقال دانش و تجارب صنعت برق و استقرار و توسعهٔ نظام مدیریت دانش

۸-۴- ارتقاء و توسعهٔ نظام جذب، توانمندسازی و نگه‌داشت منابع انسانی متناسب با اهداف صنعت برق

۹-۱- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیت‌های مربوط به تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی در کشور

در بخش آموزش، پژوهش و فناوری:

ح) استقرار و ارتقاء نهاد و نظام سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و راهبری مؤثر آموزش، پژوهش و فناوری صنعت آب و برق و ایفای نقش مؤثر در مراجع مرتبط

۸- به‌هنگام‌سازی آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های جدید

۱۸- توسعه شبکه خبرگان، نخبگان و متخصصین (حقیقی و حقوقی)

در بخش پشتیبانی صنعت آب و برق:

۱۰- حمایت از انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نو مورد نیاز و به‌کارگیری فناوری‌های دارای مزیت نسبی بالا

در حوزهٔ مدیریت بحران و پدافند غیرعامل:

نهادینه‌سازی و اجرای اصول و ضوابط پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در صنعت آب و برق به منظور افزایش بازدارندگی، تداوم ارایهٔ خدمات در شرایط اضطراری، کاهش آسیب‌پذیری و ارتقاء پایداری در کلیهٔ تأسیسات و فرآیندهای صنعت با تأکید بر:

- شناسایی و طبقه‌بندی تأسیسات و فرآیندهای حیاتی، حساس و مهم و آسیب‌پذیر و تدوین و اجرای برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت
- انجام پژوهش‌های مورد نیاز در جهت دستیابی به راهکارهای جدید کم‌هزینه، مؤثر و عملیاتی در عرصهٔ پدافند غیرعامل

۱-۳-٦-٤- برنامه وزارت نیرو در دولت دهم

برنامه وزارت نیرو در دولت دهم با شعار "کاهش هزینه‌ها، سرعت در اجرا، شفاف‌سازی و بهره‌وری" منشور و نقشه راهی است که در سال ۱۳۸۹ با الهام و بر اساس سند چشم انداز وزارت نیرو (به عنوان عالی‌ترین سند پویای وزارتخانه) تدوین شده است. این سند به ارائه بیانیه‌های مأموریت، چشم‌انداز و ارزش‌های وزارت نیرو در بخش‌های آب و آبفا، برق و انرژی، تحقیقات و منابع انسانی، پشتیبانی صنعت و سایر حوزه‌های فرعی پرداخته و رئوس برخی سیاست‌ها و فعالیت‌های محوری وزارت نیرو در دولت دهم را بیان می‌کند. مواردی از این سند که می‌توانند به حوزه‌های نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت مربوط گردند به شرح زیر می‌باشند:

۱. رئوس برنامه های بخش برق و انرژی:

- افزایش قابلیت اعتماد شبکه با اصلاح سیستم‌های حفاظتی
- کاهش خروج اضطراری واحدهای تولید برق و عناصر شبکه
- کاهش خروج اضطراری واحدهای برقابی
- تجهیز اسکادران واحد هوایی شرکت توانیر با نصب تجهیزات و دستگاه‌های اسکنر و ترموویژن جهت تهیه نقشه خطوط هوایی و عیب یابی خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع

۱-۳-٦-٥- مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور

مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور در افق زمانی ۱۴۰۴ هجری شمسی، طی نامه شماره ۹۱/۴۷۵۵۸/۳۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ وزیر نیرو (با موضوع ابلاغ مقاصد و اهداف فناورانه صنعت برق)

ابلاغ گردیده است. بر اساس سند مذکور، استقرار و بکارگیری سیستم نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را می‌توان در راستای هدف فناورانه افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب از مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان ابلاغ شده صنعت برق منظور نمود.

۱-۳-٦-٦- آرمان صنعت برق

آرمان صنعت برق با هدف ترسیم وضعیت مطلوب، انجام کار واقعی در سازمان و توانمندسازی و تجهیز مدیران به روش‌های علمی با مشارکت جمعی از خبرگان و مدیران ارشد وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴ تدوین و ارائه شده است. در این سند، ابعاد اجرایی صنعت برق در ۸ بعد شامل مدیریت، نیروی انسانی، مشتریان، فنی، نظام اطلاعات، محیط زیست، اقتصادی و مالی و ایمنی طبقه‌بندی شده و برای هریک از ابعاد مذکور، شاخص‌هایی تعریف شده و استراتژی‌های نیل به آرمان مطلوب در آن شاخص‌ها ارائه شده است. در میان ابعاد فوق، ابعاد فنی و ایمنی ارتباط بیشتری به مباحث نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت داشته و در ادامه ارائه شده‌اند.

۱. بعد فنی: بعد فنی شامل وجوه مختلفی به شرح زیر است:
- مطالعه، طراحی و برنامه‌ریزی سیستم
- استانداردهای برق
- توسعه و اصلاح شبکه‌های برق
- بهره‌برداری از سیستم قدرت و مدیریت شبکه

در تعریف شاخص‌های فنی صنعت برق دقت بیشتری لازم است تا این شاخص‌ها به کلیه وجوه فوق حساس باشند. بر این اساس، شاخص‌ها، بسترهای سازمانی و استرانژی‌های بعد فنی آرمان صنعت برق به شرح جدول ۵-۱ تعیین شده‌اند.

۲. بعد ایمنی: بعد ایمنی شامل وجوه مختلفی به شرح زیر است:
- ایمنی افراد در صنعت برق
- ایمنی تأسیسات و تجهیزات در صنعت برق
- ایمنی مواد و محصولات

شاخص‌ها، بسترهای سازمانی و استرانژی‌های بعد ایمنی آرمان صنعت برق به شرح جدول ۶-۱ تعیین شده‌اند.

جدول ۵-۱: جدول بسترهای سازمانی و استراتژی‌های بعد فنی آرمان صنعت برق

شاخصها	بسترهای سازمانی	استراتژیها
در دسترس بودن برق در طول یکسال	مدیریت مالی صنعت برق	۱- تأمین منابع مالی لازم برای سرمایه‌گذاری در زمینه‌های توسعه و بهینه‌سازی شبکه‌های انتقال وتوزیع نیروی برق ۲- جلب مشارکت بخش خصوصی در توسعه و بهره‌برداری از شبکه های برق
	مدیریت مصرف برق	اصلاح الگوهای مصرف انرژی برق
	سیستم اطلاعات	استقرار سیستمهای اطلاعات برای سنجش دقیق و مستمر انرژیهای توزیع نشده
	فن‌آوری	۱- استفاده از سیستم‌های جدید اتوماسیون و دیسپاچینگ در تولید و انتقال و توزیع برای کاهش اشتباهات انسانی و زمان عملیات و خاموشی های برق ۲- جایگزینی تجهیزات پیشرفته با تجهیزات قدیمی در شبکه‌های برق برای افزایش قدرت مانور بهره‌برداری و پایداری سیستم ۳- توسعه و بهینه‌سازی شبکه‌های انتقال و توزیع نیروی برق
	سیستم‌های مدیریت	۱- ارتقای سیستمهای مدیریت منابع انسانی در کلیه ارکان واحدهای بهره‌برداری ۲- ارتقای سیستم‌های مدیریتی با رویکرد علمی در بهره‌برداری از شبکه‌های برق
ذخیره تولید برق کشور	بخش خصوصی	۱- جلب مشارکت بخش خصوصی در زمینه احداث و بهره‌برداری نیروگاه‌های برق ۲- خرید تضمین‌شده برق تولیدی توسط بخش خصوصی
	منابع مالی دولت	جلب منابع مالی لازم برای احداث نیروگاه توسط شرکتهای برق مطابق برنامه پنج‌ساله توسعه
	بهره‌برداری و نگهداری تولید	۱- بهبود شاخص آمادگی توان تولیدی واحدهای تولیدی در حال بهره‌برداری ۲- اصلاح سیستمهای نگهداری و بهره‌برداری از سیستم تولید برق کشور ۳- بهبود برنامه‌های تعمیرات پیش‌گیرانه سیستم تولید برق کشور
	سیستم‌های مدیریت	۱- اصلاح رفتار و بهبود سیستم مدیریت بار کشور. ۲- ارتقای مهارت های مدیریتی در گستره شرکتهای مدیریت تولید برق ۳- اصلاح سیستمهای آموزش بهره‌برداری و نگهداری نیروگاهها

جدول ۶-۱: جدول بسترهای سازمانی و استراتژی‌های بعد ایمنی آرمان صنعت برق

ردیف	شاخص	بسترهای سازمانی	استراتژیها
۱	ایمنی افراد	کارکنان	۱- شناسایی و ثبت کلیه عوامل خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- توسعه و بروز نمودن قوانین ایمنی، دستورالعملها، بخشنامه ها و استانداردها و تنظیم روشی برای توسعه هشدارهای ایمنی در محیط کار و برخورد قاطع با خاطیان ۳- توسعه آموزش های کاربردی ایمنی ٤- توسعه نظارت مستمر مسئولین ایمنی از واحدهای اجرائی (ساختار افسر ایمنی) ۵- ارتقاء سطح ساختار و سطح دانش پرسنل اتفاقات و عملیات با محوریت توسعه عملیات خط گرم.
		پیمانکاران	۱- شناسایی و ثبت کلیه عوامل خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- توسعه و بروز نمودن قوانین ایمنی، دستورالعملها، بخشنامه ها و استانداردها و تنظیم روشی برای تنظیم قراردادهای فی ما بین و توسعه هشدارهای ایمنی در محیط کار و برخورد قاطع با خاطیان ۳- توسعه آموزش های کاربردی ایمنی ٤- توسعه نظارت مستمر مسئولین ایمنی از واحدهای اجرائی (ساختار افسر ایمنی)
		مشترکین و مردم	۱- شناسایی و ثبت کلیه عوامل خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- توسعه و بروز نمودن قوانین ایمنی، دستورالعملها، بخشنامه ها و استانداردها و تنظیم روشی برای توسعه هشدارهای ایمنی در محیط کار و برخورد قاطع با خاطیان ۳- اطلاع رسانی و فرهنگ سازی موثر از خطرات احتمالی برق و وظایف مردم در این خصوص ٤- اطلاع رسانی در خصوص ضرورت حفظ حریم برق و خطرات ناشی از عدم رعایت آن و کنترل بر رعایت توسط مردم
۲	ایمنی تاسیسات	تجهیزات برق	۱- شناسایی و ثبت کلیه عوامل خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- توسعه برنامه سرویس و نگهداری پیشگیرانه ۳- بازنگری استانداردها وبه روز نمودن آنها با توجه به تغییرات وتوسعه وپیشرفت های انجام شده و نظارت بر استفاده از تجهیزات استاندارد

		تجهیزات مشترکین	۱- شناسایی و ثبت کلیه موارد خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- تشکیل جلسات مشترک با سازمان نظام مهندسی ، صنایع، استانداردها و ..... بمنظور بکارگیری تمهیدات ایمنی درساخت تجهیزات برقی خانگی وهمچنین تدوین استانداردهای اجباری ساختمانها و نظارت بر حسن اجرا ۳- تدوین و ابلاغ دستورالعمل برای ضرورت وجود مولدهای اضطراری آماده به کار در ساختمانها و محلهای حساس و کنترل مستمر توسط مسئولین ایمنی شرکها
۳	ایمنی مواد و محصول	شبکه	برنامه ریزی جهت جلوگیری از توسعه حوادث
		مدیریت بحران	۱- شناسایی و ثبت کلیه موارد خطر و بررسی و تعیین راه حلهائی جهت کاهش و حذف خطرات ۲- بروز رسانی نظام نامه بحران و آموزش مدیریت بحران و انجام ماتورهای لازم و تجهیز ستادهای بحران

۱-۳-۶-۷- سیاست‌های کلی ابلاغی توسط مقام معظم رهبری در بخش پدافند غیرعامل

سیاست‌های کلی نظام در ارتباط با ایجاد و توسعه پدافند غیر عامل در بخش‌های مختلف کشور در اسفند ۱۳۸۹ تهیه و ابلاغ شدند. نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق را می‌توان در راستای بندهای زیر از سیاست‌های مذکور منظور نمود:

- بند ۱: تأکید بر پدافند غیرعامل که عبارت است از مجموعه اقدامات غیرمسلحانه که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقاء پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن می‌گردد.
- بند ۴: تهیه و اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل (با رعایت اصل هزینه – فایده) در مورد مراکز، اماکن و تاسیسات حائز اهمیت (نظامی و غیرنظامی) موجود و در دست اجراء براساس اولویت‌بندی و امکانات حداکثر تا پایان برنامه ششم و تامین اعتبار مورد نیاز.
- بند ۱۰: حمایت لازم از توسعه فناوری و صنایع مرتبط مورد نیاز کشور در پدافند غیرعامل با تاکید بر طراحی و تولید داخلی.

۱-۳-۶-۸- سیاست‌های کلی تولید ملی، حمایت از کار و سرمایه ایرانی

سیاست‌های کلی تولید ملی, حمایت از کار و سرمایه ایرانی در اسفند ماه ۱۳۹۱ هجری شمسی توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردیدند. بندهای زیر از سیاست‌های کلی مذکور را می‌توان به مباحث نگهداری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مرتبط دانست:

- بند ۱: بالا بردن قدرت رقابت و افزایش بهره‌وری عوامل تولید با:
  - کاهش هزینه ها و بهبود کیفیت تولید
  - بهینه‌سازی تعامل عوامل تولید
- بند ۲: هدایت و تقویت تحقیق و توسعه و نوآوری‌ها و زیربناهای آنها و بهره گیری از آنها، با هدف:
  - ارتقاء کیفی و افزایش کمّی تولید ملّی

- بالا بردن درجه ساخت داخل تا محصول نهایی

۱-۳-۶-۹- سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری

با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص‌های مقاومت اقتصادی و دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز بیست‌ساله، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی با رویکردی جهادی، انعطاف پذیر، فرصت ساز، مولد، درون‌زا، پیشرو و برون‌گرا، در بهمن سال ۱۳۹۲ هجری شمسی توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردید.

در جلسه شورای عالی اقتصاد ۹ تیر ۱۳۹۳ در خصوص برنامه‌های وزارت نیرو برای تحقق اقتصاد مقاومتی، اعلام شد که بندهای ۳، ۸ و ۹ از سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی مربوط به وزارت نیرو است. برخی اهداف و سیاست‌های این وزارتخانه برای تحقق بخشیدن به این سیاست‌ها در حوزه‌ی برق که در این جلسه اعلام شد و می‌تواند با ضرورت توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ارتباط داشته باشد بدین شرح است:

- ⇦ افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف
- ⇦ توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه
- ⇦ پایداری و بهبود کیفیت و کمیت خدمات آب و برق در بخش‌های مختلف مصرف

۱-۳-۶-۱۰-سند "اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری مصوب کمیسیون‌های تخصصی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری" مصوبه‌ی سال ۱۳۹۰

شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری در راستای انجام وظایف قانونی و با هدف بهره‌گیری حداکثری از توان علمی و دانش تخصصی صاحبنظران و خبرگان دانشگاهی و دستگاه‌های اجرایی کشور در حوزه‌های مختلف، اقدام به تشکیل ۱۱ کمیسیون تخصصی در زمینه‌های موضوعی نموده است که هرکدام از آنها بر اساس وظایف قانونی شورا در حوزه تخصصی مرتبط فعالیت می‌کنند. کمیسیون‌های تخصصی شورای عالی با بررسی و مطالعه حوزه های تخصصی مربوطه اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری و طرح‌های کلان ملی را تعیین کرده‌اند. با توجه به اسناد قانونی مذکور (جزء ۱ بند م ماده ۲۲۴ قانون برنامه پنجم توسعه، جزء الف بند ۱۰۸ قانون بودجه سال ۱۳۹۰ کشور) اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری کمیسیون‌های تخصصی مربوطه، برای استفاده دستگاه‌های مشمول اسناد قانونی مذکور، در این سند ارائه شده است.

مطابق اولویت‌های کمیسیون تخصصی انرژی، بند ۹، بایستی "فناوری‌های نوین و کارای شبکه‌های انتقال و توزیع برق" در دستور کار قرار گیرد که می‌توان بر این اساس، توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها را که در راستای نگهداری بهینه شبکه برق است، توجیه نمود.

علاوه بر آن در جدول سایر اولویت‌های تحقیقاتی کشور در این سند، بایستی اولویت‌های زیر در دستور کار قرار گیرند:

- ⇦ "استفاده از فناوری‌های جدید و انتقال تکنولوژی"
- ⇦ "دستیابی به روش‌ها و فناوری‌های نوین جهانی (انتقال فناوری و دانش فنی به کشور) و همگام سازی با روند سریع پیشرفت جهانی"
- ⇦ "به‌روزسازی آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های جدید"

⇦ "انتقال فناوری و دانش فنی به کشور در عرصه‌هایی که هنوز نیاز به ورود فناوری خارجی می‌باشد"
⇦ "ارتقا و انتقال دانش فنی در بخش طراحی و مهندسی"

بر اساس این اولویت‌ها، توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق، از آن‌جا که با موضوعیت انتقال دانش در این حوزه ارتباط مستقیم داشته و در عین حال، دانش فنی و فناوریِ مربوط به بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های شبکه برق را ارتقاء خواهد بخشید؛ توجیه قانونی خواهد داشت.

۱-۳-۶-۱۱-مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی ایران

مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی ایران با عنوان "مراقبت و نگهداری از ساختمان‌ها" توسط کمیته تدوین مقررات ملی ساختمانی ایران در وزارت راه و شهرسازی تهیه شده و ویرایش نخست آن در سال ۱۳۹۲ ابلاغ گردیده است. در مقدمه این مبحث عنوان شده که "ساختمان یک سرمایه ملی است و عدم کنترل‌های لازم پس از ساخت آن، خسارت‌های جبران ناپذیری بر اقتصاد هر کشور بر جای می‌گذارد. اجزای ساختمان شامل بخش های مختلف معماری، سازه، تأسیسات برقی و تأسیسات مکانیکی در طول عمر مفید خود، بر اثر عوامل ناشی از شرایط جوی و خطرات طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان، قصور در نگهداری، بهره‌برداری نامناسب، عدم کنترل و بازرسی‌های ادواری از شرایط بهره‌برداری تأسیسات برقی و مکانیکی و پایداری قطعات نما و سایر اجزای الحاقی ساختمان، عدم کنترل شرایط پی، خاک زیر شالوده و دیوارهای بناهایی که در مجاورت ساختمان‌های در حال ساخت یا تجدید بنا هستند، ممکن است دچار فرسودگی زودرس و از دست دادن عملکرد صحیح خود از نظر ایمنی و بهداشت شوند. از اینرو برای نگهداری از ساختمان و اجزای آن نیاز به تدوین و ترویج ضوابط و مقرراتی است تا بر اساس آن، اشخاص ذیصلاحی که در این مبحث تعین شده‌اند، بتوانند عملکرد صحیح ساختمان را در طول عمر مفید آن کنترل نموده و در صورت نیاز اقدام به تعمیر یا تقویت اجزای آسیب دیده نمایند."

حوزه مورد نظر در مبحث مذکور، ساختمان‌های متعارف شهری بوده و رویکرد مورد نظر برای نگهداری ساختمان‌ها نیز، بازرسی‌های دوره‌ای و ارزیابی غیرمخرب است که توسط شهرداری‌ها انجام می‌پذیرد.

بدیهی است که با توجه به ضرورت تشخیص داده شده برای مراقبت و نگهداری از ساختمان‌های متعارف و عمومی که منجر به تدوین و ابلاغ مبحث ۲۲ شده، ضرورت پرداختن به مبحث نگهداری از سازه‌های خاص صنعت برق که به مراتب دارای اهمیت بالاتری بوده و خسارات آنها دارای پی‌آمدها و تبعات زیان بارتری است، بیش از پیش آشکار می‌گردد.

۱-۳-۶-۱۲-سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه (ابلاغی توسط مقام معظم رهبری – مصوب ۱۳۸۴/۰۲/۰۳)

سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه از سوی مقام معظم رهبری در تاریخ ۱۳۸۴/۰۲/۰۳ مصوب و ابلاغ گردیده است:

۱- افزایش و گسترش آموزش و آگاهی و فرهنگ ایمنی و آماده‌سازی مسئولان و مردم برای رویارویی با عوارض ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه به ویژه خطر زلزله و پدیده‌های جوی و اقلیمی
۲- گسترش و تقویت مطالعات علمی و پژوهشی و حمایت از مراکز موجود به منظور شناسایی و کاستن از خطرات اینگونه حوادث با اولویت خطر زلزله

۳- ایجاد مدیریت واحد با تعیین رئیس‌جمهور برای آمادگی دائمی و اقدام مؤثر و فرماندهی در دوره بحران:

۳-۱- ایجاد نظام مدیریت جامع اطلاعات به کمک شبکه‌های اطلاعاتی مراکز علمی – پژوهشی و سازمان های اجرایی مسئول به منظور هشدار به موقع و اطلاع رسانی دقیق و بهنگام در زمان وقوع حادثه

۳-۲- تقویت آمادگی‌ها و امکانات لازم برای اجرای سریع و مؤثر عملیات جستجو و نجات در ساعات اولیه، امداد و اسکان موقت آسیب‌دیدگان، تنظیم سیاست‌های تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی و سازماندهی کمک های داخلی و خارجی در زمینه‌های فوق

۳-۳- در اختیار گرفتن کلیه امکانات و توانمندی‌های مورد نیاز اعم از دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی و نیروهای مسلح در طول زمان بحران

٤- تدوین برنامه‌های جامع علمی به منظور بازتوانی روانی و اجتماعی آسیب دیدگان و بازسازی اصولی و فنی مناطق آسیب‌دیده

٥- گسترش نظامات مؤثر جبران خسارات نظیر انواع بیمه‌ها، حمایت‌های مالی و تشویقی، تسهیلات ویژه و صندوق-های حمایتی

٦- پیشگیری و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله در شهرها و روستاها و افزایش ضریب ایمنی در ساخت و سازهای جدید از طریق:

٦-۱- مکان‌یابی و مناسب‌سازی کاربری‌ها در مراکز جمعیتی شهری و روستایی و تأسیسات حساس و مهم متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در کشور

٦-۲- بهبود مدیریت و نظارت بر ساخت و ساز با بکارگیری نیروهای متخصص و تربیت نیروی کار ماهر در کلیه سطوح و تقویت نظام مهندسی و تشکل‌های فنی و حرفه ای و استفاده از تجربه‌های موفق کشورهای پیشرفته زلزله خیز

٦-۳- ممنوعیت و جلوگیری از ساخت و سازهای غیرفنی و نا امن در برابر زلزله و الزامی کردن بیمه و استفاده از کلیه استانداردها و مقررات مربوط به طرح و اجرا

٦-٤- استانداردسازی مصالح پایه و اصلی سازه‌ای و الزامی کردن استفاده از مصالح استاندارد با کیفیت و مقاوم و ترویج و تشویق فناوری‌های نوین و پایدار و ساخت سازه های سبک

٦-٥- تهیه و تصویب قوانین و مقررات لازم برای جرم و تخلف شناختن ساخت و سازهای غیرفنی

۷- کاهش آسیب پذیری وضعیت موجود کشور در برابر زلزله با محوریت حفظ جان انسان‌ها از طریق:

۷-۱- تدوین و اصلاح طرح‌های توسعه و عمران شهری و روستایی متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در مناطق مختلف کشور

۷-۲- ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های دولتی، عمومی و مهم، شریان‌های حیاتی و تأسیسات زیربنایی و بازسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده حداکثر تا مدت ۱۰ سال

۷-۳- ارائه تسهیلات ویژه و حمایت‌های تشویقی (بیمه و نظایر آن) به منظور ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی، خدماتی و تولیدی غیردولتی

۸- شناسایی پدیده‌های جوی و اقلیمی و نحوه پدیدار شدن خطرات و ارزیابی تأثیر و میزان آسیب آنها از طریق تهیه اطلس ملی پدیده‌های طبیعی، ایجاد نظم بهم پیوسته ملی پالایش و بهبود نظام‌های هشدار سریع و پیش‌آگاهی بلند مدت با استفاده از فناوری‌های پیشرفته

۹- تنظیم برنامه های توسعه ملی به گونه‌ای که در همه فعالیت‌های آن در همه سطوح، رویکرد و سازگاری با اقلیم‌ها ملاحظه و نهادینه شود. بنابراین اقدامات ذیل باید انجام گیرد:

- شناسایی شرایط اقلیمی و لحاظ نمودن آن به عنوان یکی از محورهای اساسی آمایش سرزمین
- تهیه، تدوین و ساماندهی نظام های جامع مدیریت بلایای جوی و اقلیمی
- شناسایی تغییر اقلیم و آثار پیامدهای آن در پهنه سرزمین و اتخاذ راهکارهای مناسب

۱-۳-۶-۱۳-نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو

نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو با هدف تحقق، استقرار و سازماندهی نظام جامع و یکپارچه مدیریت ریسک، پیش‌گیری و کاهش خطرپذیری ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه در سطوح سازمانی وزارت نیرو برای نیل به ایمنی و توسعه پایدار و پیشرفت تدوین شده است.

اهداف مد نظر این نظامنامه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- تامین پایدار آب و برق به منظور خدمت‌رسانی بی وقفه، مطمئن، ایمن و موثر به مشترکین

۲- تاب‌آوری، کنترل و کاهش ریسک و آسیب‌پذیری، ایمن‌سازی و بهسازی تاسیسات وشریان‌های حیاتی شبکه‌های آب، فاضلاب و برق در برابر سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه (مانند حوادث جوی شامل سیل و طوفان و آتش سوزی و ...)

۳- افزایش بهره وری، استحصال فرصت‌های ممکن و توانمندسازی در چارچوب سیستم مدیریتی استاندارد و یکپارچه‌سازی آن با سایر نظام‌های مدیریتی سازمانی

۴- استانداردسازی، فرهنگ‌سازی و نهادینه کردن فرایند تصمیم‌سازی مبتنی بر ریسک‌های محتمل با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی

بر پایه مواد مندرج در این نظامنامه و در جهت نیل به اهداف مد نظر، به طور مشخص و در بند ۳-۴ صفحه ۴ این نظامنامه ذکر شده است که:

تمامی سطوح سازمانی وزارت نیرو موظفند جهت مدیریت خطرپذیری (ریسک) سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه اقدامات زیر را انجام دهند:

- **توسعه، طراحی و پیاده‌سازی مدیریت خطرپذیری (ریسک) با رویکرد کاهش آسیب‌پذیری تاسیسات تامین و شبکه‌های انتقال و توزیع برای استمرار در ارائه خدمات.**
- **شناسایی و ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک تاسیسات و شبکه‌های توزیع و انتقال آب، فاضلاب، برق و انرژی؛ همچنین اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده برای پاسخگویی به ریسک.**
- پاسخ به ریسک با مقاوم‌سازی یا بهسازی برای پیش‌گیری، کاهش و کنترل ریسک؛ و همچنین جبران خسارات احتمالی با استفاده از بیمه مبتنی بر ریسک.

۱-۳-٦-١٤-جمع‌بندی بررسی اسناد بالادستی

با توجه و بررسی اسناد و مقررات مذکور در این بخش مشخص می‌گردد که مباحث مربوط به نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها بطور مستقیم در اسناد بالادستی (بجز سند نظام نامه مدیریت ریسک وزارت نیرو که صراحتاً به لزوم کاهش آسیب‌پذیری و ریسک تأسیسات و استمرار ارائه خدمات آنها اشاره کرده) مورد اشاره قرار نگرفته است. در این اسناد، مباحث کلی‌تر در خصوص لزوم حفظ ایمنی و قابلیت اطمینان تأمین انرژی بصورت مستمر و پایدار و با کیفیت، عنوان شده‌اند که فرآیندهای نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها کاملاً همسو و همراستا با این اهداف می‌باشند. از طرف دیگر می‌توان اظهار نمود که نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (و کاربرد آن در صنعت برق) مغایرت و تعارضی با هیچیک ار اسناد و مقررات بالادستی و سیاست‌های کلان کشور ندارد. بر این اساس ضرورت پرداختن به مبحث نگهداری و تعمیرات سازه‌ها (بخصوص در سازه‌های با اهمیت مانند صنعت برق) با استفاده از رویکردهای نوین فناورانه که قادر به انجام این مهم بصورت بهینه باشند، روشن می‌گردد.

۱-٤-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش، مبانی سند حاضر در صنعت برق بررسی، تبیین و ارائه شده است. مبانی سند مشخص کننده مفروضات اصلی و بنیادینی است که در رابطه با توسعه فناوری وجود داشته و سایر اجزای سند (چشم‌انداز، اهداف کلان و سیاست‌ها و راهبردها و در نهایت، نقشه راه) بر مبنای آنها استوار گشته و شکل می گیرند. این مبانی و فرضیات بنیادین به عنوان ویژگیهای ذاتی و غیرقابل تغییر فناوری که بطور پیش فرض در چهارچوب ذهنی سیاست‌گذاران قرار داشته و سند راهبردی در شکل‌دهی آنها نقشی ندارد، شناخته می شوند. با توجه به اهمیت و نقش مبانی و مفروضات بنیادین در اتخاذ سیاست‌ها و جهت‌گیری‌های توسعه فناوری، پرداختن به آن‌ها در ابتدای تدوین اسناد ملی فناوری های راهبردی ضروری است. تشریح این مفروضات منجر به شفاف‌سازی تصمیم‌گیری‌ها در طول تدوین سند (کاسته شدن از عدم قطعیت‌ها) در طی گام‌های بعدی می‌شود.

این مبانی و مفروضات بر اساس ویژگی‌های موضوع مورد نظر از دوجنبه کلی "ابعاد و محدوده مطالعات" و "مشخصه‌های اصلی فناوری" در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از جنبه ابعاد و محدوده مطالعات، دو ویژگی سطح تحلیل و افق زمانی تحلیل مورد بررسی قرار گرفت. از لحاظ مشخصه‌های فناوری نیز به ویژگی‌هایی شامل سابقه فناوری، پیچیدگی فناوری، تناسب فناوری، حوزه استفاده فناوری، موقعیت راهبردی فناوری و چرخه عمر فناوری پرداخته شده است.

چکیده و خلاصه‌ای از نتایج مهم مورد بررسی در این گزارش به شرح ذیل می‌باشد:

۱. موضوع اصلی سند حاضر، توسعه و پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق و حوزه‌های فنی مرتبط با آن، بصورت نظام‌مند و با لحاظ رویکردهای علمی و فناوری‌های نوین می‌باشد. در این راستا، حوزه‌های فنی به شرح زیر در این سند مورد نظر قرار دارند:
   - پایش سلامت سازه‌ها (شامل حوزه‌های شناسایی سیستم و ارزیابی وضع موجود سازه‌ها، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های موجود در سازه‌ها، پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها، پایش شرایط و مخاطرات محیطی)

- ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها در برابر بارهای وارده و مخاطرات محیطی
- ارائه راهکارهای رفع یا کاهش آسیب‌ها، جلوگیری از خرابی و تأمین عملکرد مطلوب برای سازه‌ها (مانند تعمیر، بهسازی، مقاومسازی و ...)

۲. ضرورت تدوین این سند در صنعت برق از جنبه‌های ذیل توجیه‌پذیر است:
- از بعد فنی با توجه به لزوم وجود برنامه نگهداری و تعمیر برای سازه‌های صنعت برق با توجه به تجربه خرابی‌ها و خسارات گذشته.
- از بعد اقتصادی با توجه به قابل توجه بودن هزینه خسارات سازه‌ای محتمل نسبت به هزینه‌های نگهداری و تعمیرات با رویکردهای مدرن.
- از بعد سیاسی، اجتماعی و زیست‌محیطی به جهت لزوم کاهش پی‌آمدهای مستقیم و غیرمستقیم حاصل از خرابی سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های مذکور.
- از بعد قانونی با توجه به وجود اهداف کلان در خصوص امنیت انرژی و لزوم تأمین و عرضه انرژی بصورت قابل اطمینان و با کیفیت در اسناد بالادستی و عدم مغایرت محتوای سند حاضر با اسناد مذکور.

۳. سطح تحلیل در این مطالعات از دیدگاه جغرافیایی در سطح ملی و از دیدگاه دیگر، در سطح بخشی (وزارت نیرو) می‌باشد.

۴. افق زمانی مورد نظر در این سند برای نیل به چشم‌انداز و اهداف آن بر اساس اسناد ملی بالادستی و امکان دستیابی به اهداف مورد نظر، افق میان مدت ۱۰ ساله در نظر گرفته شده است.

۵. محدوده و مرزبندی فنی سند از جنبه سازه‌های مورد مطالعه شامل کلیه سازه‌های موجود در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع بوده که فهرست کامل آنها در گزارش ارائه شده است. محدوده سند از جنبه حوزه های فنی تحت پوشش شامل موارد زیر است:
- پایش سلامت سازه‌ها
- ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها
- ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر سازه‌ها

۱-۵-منابع و مراجع فصل اول

[۱]. "روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق-راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم"، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲

[2]. B. Glisic and D. Inaudi. (2007), Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, John Wiley & Sons, Ltd.

[3]. Douglas E. Adams. (2007), Health Monitoring Of Structural Materials and Components Methods with Applications, John Wiley & Sons, Ltd.

[4]. D. Balageas, C.P. Fritzen and A. Güemes (2006), Structural Health Monitoring, ISTE Ltd.

[5]. C.R. Farrar, K. Worden (2013), Structral Health Monitoring A Machine Learning Perspective, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

[6]. S. Beskhyroun, T. Oshimay and S. Mikamiy (2009), Wavelet-based technique for structural damage detection, Structural Control and Health Monitoring, copyright property of the Supergen Wind Energy Published Online: 29 Jan 2009.
[7]. K. Worden and J. Dulieu-Barton, (2004), An overview of intelligent fault detection in systems and structures, Structural Health Monitoring, 3(1), 85-98.
[8]. S.W. Doebling, C.L. Farrar and M.B. Prime, (1998), A summery review of vibration-based damage identification methods, Shock and Vibration Digest, 30(2), 91-105.
[9]. R. Perera, and R. Torres, (2006), Structural damage detection via modal data with genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 132(9), 1491–1501.
[10]. A.M. Raich, and T.R. Liszkai, (2007), Improving the performance of structural damage detection methods using advanced genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 133(3), 449–461.
[11]. Mitchell, J.S. (2007), From vibration measurements to condition based maintenance seventy years of continuous progress. Journal of Sound and Vibration, 41(1), 62–75.
[12]. Merit Enckell. (2011), Lessons Learned in Structural Health Monitoring of Bridges Usin Advanced Sensor Technology.,KTH Architecture and The Built environment, TRITA-BKN. Bulletin 108, ISSN 1103-4270.
[13]. Staszewski, W., Worden, K., Wardle, R. and Tomlinson, G. (2000), Fail-safe sensor distributions for impact detection in composite materials. Smart Materials and Structures, 9(3), 298.
[14]. Worden, K. and Burrows, A. (2001) Optimal sensor placement for fault detection. Engineering Structures, 23(8), 885–901.
[15]. M. Karbhari, F. Ansari (2009), Structral Health Monitoring of Civil Infrastructure Systems, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
[16]. http://www.ishmii.org
[17]. http://www.samco.org/
[18]. (http://www.sfb477.tu-bs.de)
[19]. http://www.shef.ac.uk
[20]. http://www.cowi.dk
[21]. http://www.futurtec.fi
[22]. http://www.smartec.ch
[23]. http://www.fos-s.be
[24]. http://www.geso-online.de
[25]. http://www.omnisens.ch
[26]. http://www.rasisafzar.com/
[27]. http://www.smartsensor.ir/
[28]. L.A. Bisby (2004), An Introduction to Structural Health Monitoring, ISIS Canada,Education Module No 5.
[29]. Global Optoelectronics Industry Market Report and Forecast: Optoelectronics Industry Development Association (OIDA), 2009.
[30]. Shan-Tung Tu, (2009), Life prediction and monitoring of critical industrial equipment, Transferability and Applicability of Current Mechanics Approaches / 13-22.
[31]. Hong-Nan, Ting-Hua, Liang Ren, Dong-Sheng, and Lin-Sheng Huo, (2014), Reviews on innovations and applications in structural health monitoring for infrastructures. Structural Monitoring and Maintenance, Vol. 1, No. 1 (2014) 001-045.

[32]. Bond, L. and Doctor, S., (2007), From NDE to prognostics: a revolution in asset management for Generation IV Nuclear Power Plants. Transactions, SMiRT 19, Toronto. Paper # O-03/3.
[33]. Bond, L., Doctor, S., Jarrell, D. and Bond, J., (2012), Improved Economics Of Nuclear Plant Life Management. Iaea-Cn-155-008ks.
[34]. Varde, P. and Pecht, M., (2012), Role of Prognostics in Support of Integrated Risk-based Engineering in Nuclear Power Plant Safety,International Journal of Prognostics and Health Management, ISSN 2153-2648, 2012 008.
[35]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, JW Hines & BR Upadhyaya (2012), Prognostics and Health Management in Nuclear Power Plants: A Review of Technologies and Applications, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
[36]. Panel Report (2010), DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING SENSOR NETWORK FOR IN SITU DECOMMISSIONED STRUCTURES, Prepared for the U.S. Department of Energy by Savannah River National Laboratory, SRNL-RP-2010-01666
[37]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, & RM Meyer (2011), Advanced Instrumentation, Information, and Control System Technologies: Nondestructive Examination Technologies – FY11 Report, PNNL-20671, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
[38]. P. Faulkner and M. Hassell (2013) Structural Health Monitoring Systems on Offshore Wind Turbines, Strainstall Monitoring, UK.
[39]. K. Smarsly, K.H. Law and D. Hartman (2013) Structural Health Monitoring Of Wind Turbines Observed by Autonomous Software Components- 2nd Level Monitoring,
[40]. M. Hassanzadeh (2011) Cracks in onshore wind power foundations Causes and consequences, Elforsk rapport 11:56.
[41]. J.B. Hassine (2011) Foundation Condition Monitoring, RES Americas ,2011 Wind Turbine Condition Monitoring Workshop.
[42]. R. A. Swartz, J.P. Lynch et al. (2008) Structural Monitoring of Wind Turbines using Wireless Sensor Networks, Proceedings of the ESF-NSF Workshop on Sensor Networks for Civil Infrastructure Systems, Cambridge.
[43]. Integrated Wind Turbine Blade and Tower Health Monitoring and Failure Prognosis. CITRIS (The Center for Information Technology Research in the Interest of Society). www.citris-uc.org
[44]. R. A. Swartz et. al. (2008) Structural Monitoring of Wind Turbines using Wireless Sensor Networks, proceedingsof the ESF-NFS Workshop on sensor Networksfor Civil Infrastructures Systems, Cambridge
[45]. C.J. Crabtree (2010) Survey of Commercially Available Condition Monitoring Systems for Wind Turbines, copyright property of the Supergen Wind Energy Technologies Consortium and Durham University School of Engineering and Computing Sciences.
[46]. L. Skarbek, A. Zak and D. Ambroziak, (2014), Damage Detection Strategies in Structural Health Monitoring of Overhead Power Transmission System, 7th European Workshop on Structural Health Monitoring, July 8-11, La Cite, Nantes, France.
[47]. L. Skarbek, and A. Zak, (2013), Structural Health Monitoring of Overhead Power Transmission Lines, XV International PhD Workshop, 19–22 October 2013.

[48]. C. Scott,, G. Heath, and J. Svoboda, (2006), Vibration Monitoring of Power Distribution Poles2006 Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. INL/CON-05-00997.
[49]. J. Bowman,, And D. Wahl, (2012), Advanced Distributed Sensor Networks for Electric Utilities. Prepared By Science Applications International Corporation for California Energy Commission. Cec-500-2012-069.
[50]. IAEA (International Atomic Energy Agency), (2007), Implementation Strategies And Tools For Condition Based Maintenance At Nuclear Power Plants. Nuclear Power Engineering Section. Iaea-Tecdoc-1551.
[51]. http://www.esm.psu.edu/wiki/research:cjl9:structural_health_monitoring
[52]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., US-China Joint Task Force on Integrated Structural Health Monitoring, (2005).
[53]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., Lynch, J., Sensor Technology Innovation for the Advancement of Structural Health Monitoring: a Strategic Program of US–China Research for the Next Decade, Smart Structures and Systems, Vol. 3, No. 2 (2007), 221-244.
[54]. The European Construction Technology Platform, Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe, The reFINE Roadmap, (2013).
[55]. European Wind Energy Technology Platform, Strategic Research Agenda/ Market Deployment Strategy (SRA/MDS), (2014).
[56]. Sandia National Laboratories, Structural Health and Prognostics Management for Offshore Wind Turbines: An Initial Roadmap, (2012).
[57]. The European Network for Structural Assessment Monitoring and Control (SAMCO), A Vision of structural Assessment Monitoring and Control, Strategic Research Agenda, (2006).
[۵۸]. مهدی دادبود، ایمان معمار، و سمیه رسولی، "صرفه جویی در هزینه‌های تعمیراتی از محل تأخیر روتین‌های پیشگیری و اعمال روش پیشگویانه توسط گروه CM"، دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات – اسفند ۱۳۸۶ – دانشگاه صنعتی شریف
[۵۹]. مهدی بهزاد، محمد علی غریب، و عباس روحانی بسطامی، "نگاهی بر وضعیت مانیتورینگ ارتعاشات در نیروگاه‌های گازی کشور: از گذشته تا حال"، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات– ۱۳۸۴ – تهران
[60]. Sørensen, B.F., Lading, L., Sendrup, P., McGugan, M., Debel, C.P., Kristensen O.J.D., Larsen, G., Hansen, A.M., Rheinländer, J., Rusborg, J., Vestergaard, J.D., Fundamentals for Remote Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades – a Preproject, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002.
[61]. Hansen, L.G., Lading, L., Fundamentals for Remote Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades – a Preproject, "Annex A – Cost-Benefit for Embedded Sensors in Large Wind Turbine Blades," Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002.
[62]. Bamu, P. C., & Zingoni, A. (2005). Damage, deterioration and the long-term structural performance of cooling-tower shells: A survey of developments over the past 50 years. Engineering structures, 27(12), 1794-1800.
[63]. http://www.partsazeco.com/fa/
[64]. http://www.cmservices.ir/fa/
[65]. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/structural-health-monitoring-market-101431220.html

[۶۶]. آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه بخش تولید نیروی برق، سال ۱۳۹۵، دفتر فناوری اطلاعات، ارتباطات و آمار، شرکت مادرتخصصی توانیر

[۶۷]. سند توسعه فناوریهای افزایش عمر نیروگاه های قدیمی کشور، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۵

[68]. Kim, J., Ahn, Y., & Yeo, H. (2016). A comparative study of time-based maintenance and condition-based maintenance for optimal choice of maintenance policy. Structure and Infrastructure Engineering, 12(12), 1525-1536.

[69]. https://www.abc.net.au/news/2015-02-19/collapsed-muja-power-station-tower-cost-244-million/6144182

[70]. Chou, J. S., & Tu, W. T. (2011). Failure analysis and risk management of a collapsed large wind turbine tower. Engineering Failure Analysis, 18(1), 295-313.

[۷۱]. علیرضا رهنورد، "بررسی و تحلیل سوابق و دسته‌بندی مدهای خرابی مؤلفه‌های مختلف شبکه‌های توزیع شهری در ایران و دیگر کشورهای جهان در زلزله‌های گذشته "، پژوهشگاه نیرو،۱۳۸۷

[72]. http://sati.sharif.ir/unit-detail.jsp?id=267

[۷۳]. دستورالعمل نگهداری و تعمیرات خطوط انتقال و فوق توزیع، دفتر فنی و نظارت انتقال، شرکت مادر تخصصی توانیر، مهرماه ۱۳۹۴

[74]. https://barghnews.com/fa/news/38700/

[75]. Li, J., Dackermann, U., & Subhani, M. (2012, November). R&D of NDTs for Timber Utility Poles in Service-Challenges and Applications (Extension for Bridge Sub-Structures and Wharf Structures). In Proceedings of the Workshop on Civil Structural Health Monitoring (CSHM-4), Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung (BAM), Berlin, Germany (pp. 6-8).

[76]. Bandara, S., Rajeev, P., Gad, E., Sriskantharajah, B., & Flatley, I. (2019). Damage detection of in service timber poles using Hilbert-Huang transform. NDT & E International, 107, 102141.

[77]. Nguyen, M., Foliente, G., & Wang, X. M. (2004). State-of-the-practice & challenges in non-destructive evaluation of utility poles in service. In Key Engineering Materials (Vol. 270, pp. 1521-1528). Trans Tech Publications.

[78]. Pozzi, M. and Der Kiureghian, A., 2011, April. Assessing the value of information for long-term structural health monitoring. In Health monitoring of structural and biological systems 2011 (Vol. 7984, p. 79842W). International Society for Optics and Photonics.

[79]. VERZOBIO, A., BOLOGNANI, D., ZONTA, D. and QUIGLEY, J., 2019. Quantifying the benefit of structural health monitoring: Can the value of information be negative?. Structural Health Monitoring 2019.

[80]. Straub, D., Chatzi, E., Bismut, E., Courage, W., Döhler, M., Faber, M.H., Köhler, J., Lombaert, G., Omenzetter, P., Pozzi, M. and Thöns, S., 2017, August. Value of information: A roadmap to quantifying the benefit of structural health monitoring.

[81]. Zonta, D., Glisic, B. and Adriaenssens, S., 2014. Value of information: impact of monitoring on decision-making. Structural Control and Health Monitoring, 21(7), pp.1043-1056.

[82]. Agusta, A., Thöns, S. and Leira, B.J., 2017, June. Value of information-based inspection planning for offshore structures. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 57663, p. V03BT02A035). American Society of Mechanical Engineers.

[83]. Thöns, S., Schneider, R. and Faber, M.H., 2015. Quantification of the value of structural health monitoring information for fatigue deteriorating structural systems. In 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering.

[84]. Pozzi, M., Zonta, D., Wang, W. and Chen, G., 2010, July. A framework for evaluating the impact of structural health monitoring on bridge management. In Proc. 5th Int. Conf. Bridge Maintenance, Safety Manage (p. 161).

[85]. Thöns, S., Faber, M.H. and Val, D.V., 2017, August. On the value of structural health monitoring information for the operation of wind parks. In Proceedings of the Safety, Reliability, Risk, Resilience and Sustainability of Structures and Infrastructure, 12th International Conference on Structural Safety and Reliability, Wien Vienna, Austria (pp. 6-10).

[86]. Memarzadeh, M. and Pozzi, M., 2016. Value of information in sequential decision making: Component inspection, permanent monitoring and system-level scheduling. Reliability Engineering & System Safety, 154, pp.137-151.

[۸۷]. ن .احساسی و ن .نظری" تجزیه و تحلیل حوادث شرکت‌های توزیع نیروی برق و راهکارهای پیشگیری از آن."

[88]. http://tn.ai/1325742

[89]. http://khouzestan.isna.ir/default.aspx?NSID=5&SSLID=46&NID=86391

[۹۰]. سند چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، مجمع تشخیص مصلحت نظام جمهوری اسلامی ایران، تاریخ تصویب ۱۳ آبان ۱۳۸۲

[۹۱]. گزارش‌های مراحل پروژه "شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع"، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹

[۹۲]. "روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو"، شرکت آینده اندیشان افق بهسان، تابستان ۱۳۹۹

[93]. Orai, N., Ichii, K. and Ishii, S., 2015. A trial of simple and easy health monitoring for power poles by using 'ipod'. Science China Technological Sciences, 58(4), pp.712-719.

[94]. Mudiyanselage, S., Rajeev, P., Gad, E., Sriskantharajah, B. and Flatley, I., 2019. Application of stress wave propagation technique for condition assessment of timber poles. Structure and Infrastructure Engineering, 15(9), pp.1234-1246.

[95]. Yu, Y., Dackermann, U., Li, J. and Subhani, M., 2016. Condition assessment of timber utility poles based on a hierarchical data fusion model. Journal of Computing in Civil Engineering, 30(5), p.04016010.

[96]. Subhani, M., Li, J., Samali, B. and Yan, N., 2013. Determination of the embedded lengths of electricity timber poles utilising flexural wave generated from impactí. Australian Journal of Structural Engineering, 14(1), pp.85-96.

[97]. Dackermann, U., Skinner, B. and Li, J., 2014. Guided wave–based condition assessment of in situ timber utility poles using machine learning algorithms. Structural Health Monitoring, 13(4), pp.374-388.

[98]. Ullah, S., Jeong, M. and Lee, W., 2018. Nondestructive inspection of reinforced concrete utility poles with ISOMAP and random forest. Sensors, 18(10), p.3463.

[99]. Yu, Y., Subhani, M., Dackermann, U. and Li, J., 2019. Novel hybrid method based on advanced signal processing and soft computing techniques for condition assessment of timber utility poles. Journal of Aerospace Engineering, 32(4), p.04019032.

[100]. https://www.alamon.com/services/utility-services/

[۱۰۱]. گزارش‌های مراحل پروژه "ارزیابی ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه "، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹

[۱۰۲]. گزارش‌های مراحل پروژه "طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه های نیروگاهی"، پژوهشگاه نیرو و دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۹

[103]. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-gross-electricity-production-by-source-2018

[104]. https://wwindea.org/Worldwide-Wind-Capacity-Reaches-744-Gigawatts/

[105]. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-wind-capacity-additions-in-the-sustainable-development-scenario-2011-2030

[106]. https://isenseco.com

[107]. https://www.strainstall.com/media/case-studies/crackfirst-fatigue-monitoring/

[108]. A. Phillips, “Future Inspection of Overhead Transmission Lines,” EPRI, Technical update-May, 2008.

[109]. H. Niu, X. Li, and W. Zhang, “Capacity assessment of existing corroded overhead power line structures subjected to synoptic winds,” Wind and Structures, vol. 27, no. 5, pp. 325-336, 2018.

[110]. X. Fu, and H.-N. Li, “Uncertainty analysis of the strength capacity and failure path for a transmission tower under a wind load,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 173, pp. 147-155, 2018.

[111]. L. Tian, L. Guo, R. Ma, X. Gai, and W. Wang, “Full-scale tests and numerical simulations of failure mechanism of power transmission towers,” International Journal of Structural Stability and Dynamics, vol. 18, no. 09, pp. 1850109, 2018.

[112]. Y. You, Q. Yu, L. Guo, X. Wang, J. Hu, J. Qian, and H. Zhang, “In-situ monitoring the thermal regime of foundation backfill of a power transmission line tower in permafrost regions on the Qinghai–Tibet Plateau,” Applied Thermal Engineering, vol. 98, pp. 271-279, 2016.

[113]. X. Hui, J. Bian, X. Zhao, and M. Tan, “Vision-based autonomous navigation approach for unmanned aerial vehicle transmission-line inspection,” International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 15, no. 1, pp. 1729881417752821, 2018.

[114]. C. a. Liu, R. Dong, L. Jin, and H. Wu, “Viewpoint Optimization Method for Flying Robot Inspecting Transmission Towers Based on Point Cloud Model,” Chinese Journal of Electronics, vol. 27, no. 5, pp. 976-984, 2018.

[115]. F. Moschas, and S. Stiros, “High accuracy measurement of deflections of an electricity transmission line tower,” Engineering Structures, vol. 80, pp. 418-425, 2014.

[116]. H.-F. Lam, and T. Yin, “Dynamic reduction-based structural damage detection of transmission towers: Practical issues and experimental verification,” Engineering structures, vol. 33, no. 5, pp. 1459-1478, 2011.

[117]. H. M. Chow, H. F. Lam, T. Yin, and S. K. Au, “Optimal sensor configuration of a typical transmission tower for the purpose of structural model updating,” Structural Control and Health Monitoring, vol. 18, no. 3, pp. 305-320, 2011.

[118]. W. X. Liu, L. Lu, and Z. C. Li, “Research Status and Prospect of Transmission Tower Structure Damage Identification,” Applied Mechanics and Materials, vol. 680, pp. 379-382, 2014.
[119]. L. Zhou, H. Cheng, Z. G. Wang, and Y. B. Lei, "Model Experimental Study on Damage Identification for Transmission Tower." pp. 699-703.
[120]. Q. Fei, H. Zhou, X. Han, and J. Wang, “Structural health monitoring oriented stability and dynamic analysis of a long-span transmission tower-line system,” Engineering Failure Analysis, vol. 20, pp. 80-87, 2012.
[121]. Q. Cheng-Zhong, and L. Xu-Wei, “Damage identification for transmission towers based on HHT,” Energy Procedia, vol. 17, pp. 1390-1394, 2012.
[122]. C. C. Liu, S. Y. Hou, W. Q. Li, and Z. W. He, "Fine Damage Identification Method of Transmission Tower Based on Concurrent Multi-Scale Modeling." pp. 374-378.
[123]. B. Raphael, and K. S. Jadhav, “Sensor placement for structural monitoring of transmission line towers,” Frontiers in Built Environment, vol. 1, pp. 24, 2015.
[124]. M. Rajkumar, R. Balagopal, and J. Visuvasam, “DAMAGE DETECTION STUDIES ON TRANSMISSION TOWER PANEL,” International Journal For Technological Research In Engineering, vol. 2, no. 8, pp. 1614-1648, 2015.
[125]. Z. Ling, L. Ying-tao, C. Jin, Y. Chao-shan, and D. Zhi-ping, “Damage location and extent identification of transmission tower combining flexibility matrix and signalterm amplitude vector,” International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 9, no. 10, pp. 345-352, 2016.
[126]. Z. LING, L. YING-TAO, Y. CHAO-SHAN, and C. JIN, “Damage Detection of Transmission Tower Based on Key Member Analysis and Time-Frequency Distribution,” International Journal of Earth Sciences and Engineering, vol. 9, no. 3, pp. 1205-1210, 2016.
[127]. D. Tan, S. Luo, S. Mao, and K. Wang, “The Damage Identification of Power Transmission Tower Using BP-AdaBoost Model,” DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, no. icaenm, 2017/04/24, 2017.
[128]. B. Valeti, and S. Pakzad, "Automated detection of corrosion damage in power transmission lattice towers using image processing." pp. 474-482.
[129]. X. Cheng, J. Dong, X. Han, and Q. Fei, “Structural health monitoring-oriented finite-element model for a large transmission tower,” International Journal of Civil Engineering, vol. 16, no. 1, pp. 79-92, 2018.
[130]. L. Zhao, X. Huang, Y. Zhang, Y. Tian, and Y. Zhao, “A Vibration-Based Structural Health Monitoring System for Transmission Line Towers,” Electronics, vol. 8, no. 5, pp. 515, 2019.
[131]. Y. L. Xu, J. F. Lin, S. Zhan, and F. Y. Wang, “Multistage damage detection of a transmission tower: Numerical investigation and experimental validation,” Structural Control and Health Monitoring, pp. e2366, 2019.
[132]. X. Cheng, and Y. Ge, “An Innovative Structural Health Monitoring System for Large Transmission Towers Based on GPS,” International Journal of Structural Stability and Dynamics, vol. 19, no. 04, pp. 1971002, 2019.
[133]. T.-J. Gan, X. I. N. Yan, X. I. Yang, Y.-N. Geng, X. I. N. Tang, Y. A. Mou, and Z.-Q. Yu, “Transmission Tower Stress Analysis and Online Monitoring Scheme,” DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, no. amee, 2020/01/10, 2020.

[134]. H. Guo, and Z. Wang, “Experimental Study of Transmission Tower Damage Detection Using Time Series Model,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 711, pp. 012069, 2020/01/07, 2020.

[135]. P. F. Giordano, L. J. Prendergast, and M. P. Limongelli, “A framework for assessing the value of information for health monitoring of scoured bridges,” J. Civ. Struct. Health Monit., pp. 1–12, 2020.

[136]. Zhang, H., Bilotti, E. and Peijs, T., 2015. “The use of carbon nanotubes for damage sensing and structural health monitoring in laminated composites: a review”. Nanocomposites, 1(4), pp.167-184.

[137]. Sebastian, J., Schehl, N., Bouchard, M., Boehle, M., Li, L., Lagounov, A. and Lafdi, K., 2014. “Health monitoring of structural composites with embedded carbon nanotube coated glass fiber sensors”. Carbon, 66, pp.191-200.

[138]. Loyola, B.R., Zhao, Y., Loh, K.J. and La Saponara, V., 2012. “The electrical response of carbon nanotube-based thin film sensors subjected to mechanical and environmental effects”. Smart materials and structures, 22(2), p.025010.

[139]. Loyola, B.R., La Saponara, V. and Loh, K.J., 2010. “In situ strain monitoring of fiber-reinforced polymers using embedded piezoresistive nanocomposites. Journal of materials science”, 45(24), pp.6786-6798.

[140]. Loyola, B.R., Briggs, T.M., Arronche, L., Loh, K.J., La Saponara, V., O’Bryan, G. and Skinner, J.L., 2013. “Detection of spatially distributed damage in fiber-reinforced polymer composites. Structural Health Monitoring”, 12(3), pp.225-239.

[141]. Van Dam, J. and Bond, L.J., 2015, March. “Economics of online structural health monitoring of wind turbines: Cost benefit analysis”. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1650, No. 1, pp. 899-908). American Institute of Physics.

[142]. Martinez-Luengo, M. and Shafiee, M., 2019. “Guidelines and cost-benefit analysis of the structural health monitoring implementation in offshore wind turbine support structures”. Energies, 12(6), p.1176.

[۱۴۳]. قیدی شهران، محمدعلی و سمیع زاده، محمود و موسوی ترشیزی، سیدابراهیم، ۱۳۹۵، آنالیز شکست اتصالات پیچی دکل توربین بادی، همایش بین‌المللی افق‌های نوین در علوم پایه و فنی و مهندسی، اسلامشهر، https://civilica.com/doc/616440

[144]. Kim, Y.J., Murison, E. and Mufti, A., 2010, “November. Structural health monitoring: a Canadian perspective”. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering (Vol. 163, No. 4, pp. 185-191). Thomas Telford Ltd.

[145]. Mufti, A.A., Neale, K.W., Shrive, N.G. and Banthia, N., 2007. “Special issue on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS Canada)”. Canadian journal of civil engineering (Print), 34(3).

[146]. Kanda, K., Nakashima, M., Suzuki, Y. and Ogasawara, S., 2021. “q-NAVI: A case of market-based implementation of structural health monitoring in Japan”. Earthquake Spectra, 37(1), pp.160-179.

[147]. Fujino, Y. and Siringoringo, D.M., 2011. “Bridge monitoring in Japan: the needs and strategies”. Structure and Infrastructure Engineering, 7(7-8), pp.597-611.

[148]. Li, J. and Hao, H., 2016. “A review of recent research advances on structural health monitoring in Western Australia”. Structural Monitoring and Maintenance, 3(1), pp.33-49.

[149]. Habel, W.R., 2009. “Structural health monitoring research in Europe: trends and applications”. In Structural health monitoring of civil infrastructure systems (pp. 435-462). Woodhead Publishing.

[150]. Koh, H.M., Kim, S. and Choo, J.F., 2005. “Recent development of bridge health monitoring system in Korea”. Sensing Issues in Civil Structural Health Monitoring, pp.33-42.

[151]. Kim, J.T., Sim, S.H., Cho, S., Yun, C.B. and Min, J., 2016. “Recent R&D activities on structural health monitoring in Korea”. Structural Monitoring and Maintenance, 3(1), pp.91-114.

[۱۵۲]. "دستورالعمل گابیون‌بندی، قیرگونی تیرها و بتن‌ریزی پای تیر"، شماره WI16DS01، شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان، ۱۳۹۳

[۱۵۳]. "دستورالعمل تعیین الزامات، معیارهای فنی و راهنمای حفاظت، ترمیم و مقاوم‌سازی پایه‌های بتنی"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۸

[۱۵۴]. "دستورالعمل مستندسازی و نظارت عالیه بر پروژه‌های مقاوم‌سازی و تعویض پایه‌های بتنی فرسوده"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۶

[۱۵۵]. "دستورالعمل ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای شبکه‌های توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۱

[۱۵۶]. "دستورالعمل ارزیابی و تشخیص صلاحیت تولیدکنندگان پایه‌های بتنی با رویکرد مقاوم‌سازی و بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۵۷]. "راهنمای الزامات واگذاری مطالعات مقاوم‌سازی شبکه‌های توزیع نیروی برق به مهندسین مشاور"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر،۱۳۹۹

[۱۵۸]. "دستورالعمل الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون‌های پایه‌های بتنی پیش‌تنیده گرد با رویکرد مقاوم‌سازی و بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۵۹]. "دستورالعمل انبارش، جابجایی، حمل و نصب پایه‌های بتنی پیش‌تنیده گرد با رویکرد مقاوم‌سازی و بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۰]. "دستورالعمل الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون‌های پایه‌های بتنی مسلح چهارگوش با رویکرد مقاوم‌سازی و بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۱]. "دستورالعمل انبارش، جابجایی، حمل و نصب پایه‌های بتنی مسلح چهارگوش با رویکرد مقاوم‌سازی و بهبود تاب‌آوری شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۲]. "دستورالعمل مقاوم‌سازی پست‌های توزیع برق زمینی"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۳]. "دستورالعمل مقاوم‌سازی پایه‌های بتنی و پست‌های توزیع برق هوایی"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۴]. "دستورالعمل پیاده‌سازی و رویه‌های اجرایی مقاوم‌سازی شبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

[۱۶۵]. "دســـتورالعمل تدوین اطلس جامع آســـیب‌پذیری شـــبکه توزیع برق"، معاونت هماهنگی توزیع، توانیر، ۱۳۹۹

 DOI: 10.30503/nripress.2020.331

فصل دوم

۲- به روزرسانی مطالعات هوشمندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها

۲-۱-مقدمه

با توجه به صرف سرمایه‌های کلان برای ساخت سازه‌ها و زیرساخت‌های کشور و خسارات حاصل از وقوع خرابی‌های محتمل در آنها، لزوم پرداختن به حوزه نگهداری و تعمیرات در سازه‌ها به جهت حفظ عملکرد و بهره‌برداری بهینه از آنها بطور روزافزونی احساس می‌شود. در راستای پاسخگویی به این نیاز در محدوده صنعت برق و با توجه به گستردگی حوزه‌های دانش علمی و فنی و فناوری‌های مرتبط، وجود برنامه‌ای جامع در قالب یک سند راهبردی و نقشه راه برای هماهنگ‌سازی و جهت‌دهی فعالیت‌های مورد نیاز ذینفعان مختلف و افزایش کارایی و اثربخشی آنها، ضروری می‌باشد. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها، راهبردها، اقدامات و برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه فناوری و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند. وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه مورد نیاز برای پیاده‌سازی نگهداری و تعمیرات و توسعه فناوری‌های مورد نیاز آن در سازه‌های صنعت برق و نیل به اهداف آن خواهد شد. موضوع اصلی سند حاضر، توسعه و پیاده‌سازی سیستم نگهداری در سازه‌های صنعت برق بصورت نظام‌مند و ساختاریافته، با لحاظ رویکردهای علمی و مدیریتی نوین و فناوری‌های مدرن مرتبط با آن می‌باشد.

دومین مرحله از تدوین سند راهبردی فناوری پایش سلامت سازه‌ها، تعیین هوشمندی فناوری است. در این مرحله با شناسایی اجزا و کاربردهای فناوری در بستر تحولات آینده، به سوالاتی از قبیل اینکه روند توسعه فناوری مورد نظر در بستر زمان چگونه است و چه گونه‌هایی از آن در آینده گونه غالب خواهد بود و در صورت وقوع تغییرات محیطی، سناریوهای پیشرو برای توسعه فناوری کدامند و سناریویی که باید به عنوان تصویری از آینده انتخاب شود چیست؛ پاسخ داده می‌شود. هوشمندی فناوری به دنبال شناسایی فناوری در مسیر آینده است، به عبارت دیگر، هدف از این مؤلفه روش‌شناسی، درک ابعاد مختلف فناوری نه تنها در زمان حال، بلکه در بسترهای آینده است. بر این اساس، مؤلفه هوشمندی فناوری شامل دو بخش کلی شناسایی فناوری در حال و آینده پژوهی فناوری می‌گردد. خروجی حاصل از این مؤلفه به عنوان ورودی در تعیین ارکان جهت ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از حوزه‌های فناورانه شناسایی شده در این مؤلفه، می‌توان به هدفگذاری و تعیین راهبرد فناوری در مؤلفه ارکان جهت ساز پرداخت. همچنین بینش حاصل از آینده پژوهی بر کلیه اجزای ارکان جهت‌ساز، از منظر داشتن نگاه به آینده (در نظر گیری سناریوهای مختلف، روندهای آتی تحقیق و توسعه و ...) اثرگذار خواهد بود. [۱]

۲-۲-شناسایی ابعاد مورد بحث در حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها

به منظور تدوین ارکان جهت‌ساز، لازم است تا ابتدا ابعاد مورد بحث، کاربردها، اجزاء و زیرسیستم‌های تشکیل دهنده حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها مشخص گردند. به کلیه موارد مذکور، حوزه‌های

فناورانه گفته می‌شود. بنابراین حوزه‌های فناورانه شامل دو مفهوم اصلی زیرفناوری‌ها (اجزا و زیرسیستم‌ها) و کاربردهای فناوری می‌شوند. [۱] در این بخش، ابعاد و حوزه‌های کلی دانش فنی و فناوری‌های مرتبط با مدیریت چرخه عمر سازه‌ها (مباحث نگهداری، پایش سلامت، بهسازی و تعمیرات سازه‌ها) از جنبه‌های فنی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۲-۱- پایش سلامت سازه‌ها

همانطور که در گزارش مرحله اول پروژه عنوان شد، پایش سلامت سازه‌ها به مجموعه‌ای از اقدامات (بصورت پیوسته یا دوره‌ای) پشتیبان در راستای نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه سازه‌ها اطلاق می‌شود که هدف اصلی این اقدامات، شناسایی مشخصات فنی سیستم سازه، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های موضعی موجود در اجزای سازه‌ای و ارزیابی وضعیت سازه و در سطوح پیشرفته‌تر، پیش‌بینی نحوه گسترش آسیب‌ها در آینده تحت شرایط مشخص است. پایش سلامت سازه‌ها با استفاده از رویکردهای مختلف قابل انجام است که هریک از آنها دارای روش‌ها و فناوری‌های مختص به خود و همچنین، دارای نقاط قوت و ضعف نسبت به یکدیگر می‌باشند. رویکردهای مختلف مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها و فناوری‌های مربوط به آنها در فصل سوم این گزارش ارائه شده‌اند.

۲-۲-۱-۱- شناسایی سیستم و ارزیابی وضعیت سازه‌ها

به فرآیند تعیین مشخصات فنی و پارامترهای رفتاری سیستم سازه از جنبه‌های مختلف بطور کلی، شناسایی سیستم سازه[1] اطلاق می‌شود که خروجی آن، یک مدل تحلیلی به روز شده[2] از سازه می‌باشد. در ادبیات فنی عبارت ارزیابی وضعیت[3] نیز برای این مفهوم بکار رفته است. مدل به روز شده سازه دارای موارد استفاده و کاربردهای متنوعی است که از مهمترین آنها می‌توان به تشخیص آسیب و ارزیابی وضعیت سازه[4] و ارزیابی عملکرد سازه تحت بارهای اعمالی (ناشی از شرایط محیطی و عملکردی) در طول عمر آن، اشاره نمود. ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه‌ها به‌خصوص پس از تجربه حوادث (طبیعی یا غیرطبیعی) یکی از کاربردهای مهم و متداول فرآیند شناسایی سازه است.

شناسایی سازه با استفاده از انواع رویکردهای پایش سلامت قابل انجام است که البته دارای سطوح مختلفی از دقت و پیچیدگی هستند. در روش‌های بازدید چشمی و تست غیرمخرب یا مخرب، با مشاهده و اندازه‌گیری ابعاد هندسی اجزای سازه، اندازه‌گیری مشخصات مصالح، مشاهده و اندازه‌گیری آسیب‌های موجود (که قابل مشاهده باشند) و سایر موارد مورد نیاز، نقشه‌های چون‌ساخت[5] سازه تهیه شده و سپس یک مدل به روزشده از آن تهیه می‌شود. در این حالت، تنها ارزیابی عملکرد قابل انجام بوده و آسیب‌های موجود باید قبلاً مشخص شده باشند. در رویکرد SHM، با استفاده از تکنیک‌هایی نظیر تست ارتعاش (محیطی یا اجباری)، مشخصات دینامیکی سازه

[1] - Structural System Identification
[2] - Updated Model
[3] - Condition Assessment
[4] - Condition Assessment of Structure
[5] - As Built

شناسایی شده و با استفاده از روش‌های مختلف به روزرسانی مدل[1]، مدل به روز شده سازه بطور غیرمستقیم تهیه می‌شود که با کمک آن، تشخیص آسیب‌ها و ارزیابی عملکرد سازه قابل انجام می‌باشند. مدل تهیه شده در این رویکرد دارای دقت بالاتری بوده و به سازه واقعی نزدیکتر است، بطوریکه در ادبیات فنی معمولاً عبارت "شناسایی سیستم سازه" تنها به رویکرد اخیر اطلاق می‌شود. [۳۰]

شناسایی شرایط محیطی که سازه در آن قرار گرفته نیز، بخشی از فرآیند پایش سلامت سازه است. شرایط محیطی اطراف سازه (مانند دما، رطوبت، سرعت باد، تابش و ...) در پاسخ سازه و اندازه‌گیری سنسورها (در رویکرد SHM) مؤثر بوده و تحلیل داده‌های سنسورها و تفسیر و نتیجه‌گیری از آنها بدون لحاظ اثر شرایط محیطی، منجر به نتایج غلط از وضعیت سازه خواهد شد. بنابراین اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به شرایط محیطی یک از اجزای مهم در پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد.

۲-۲-۱-۲- آشکارسازی و پیش‌بینی آسیب‌ها

مهمترین هدف پایش سلامت سازه‌ها، شناسایی، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌های[2] موضعی موجود در اجزای مختلف سازه است. در سطوح پیشرفته‌تر پایش سلامت، پیش‌بینی[3] رشد و گسترش آسیب‌ها در طول عمر سازه در آینده نیز مورد نظر بوده و قابل انجام است. روش‌ها و تکنیک‌های بسیار مختلف و متنوعی با سطوح مختلف دقت و سهولت برای تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها بر اساس رویکردهای مختلف پایش سلامت، توسط محققین و دانشمندان ارائه شده [۳۰] که نمونه‌هایی از آنها در فصل سوم این گزارش ارائه شده‌اند.

۲-۲-۲- ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها

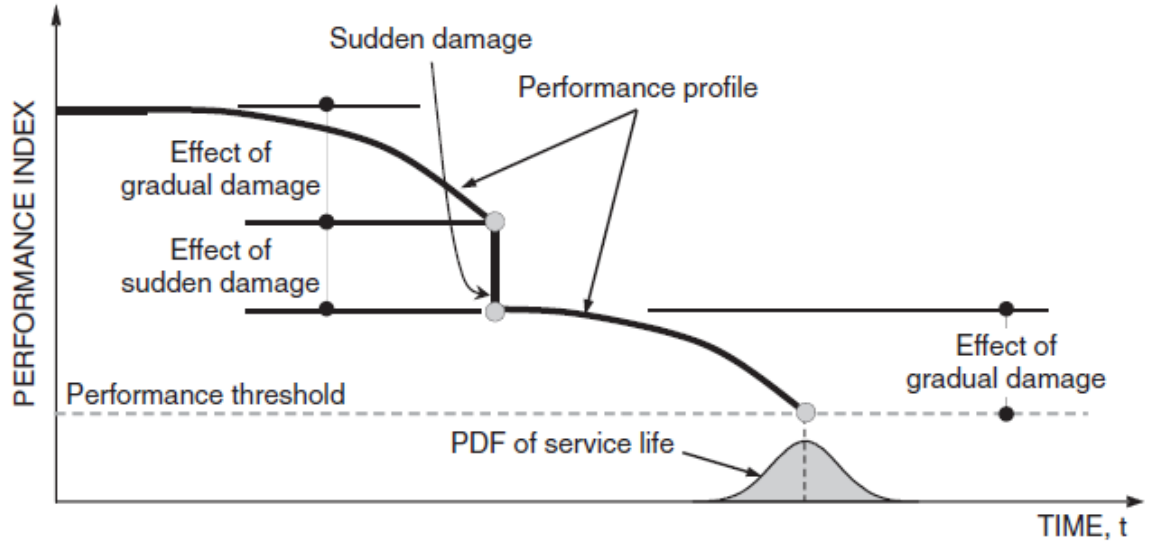
یکی از ابزارهای تحلیلی مهم که در تخمین هزینه‌های نگهداری (و هزینه چرخه عمر) و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی و مدیریت نگهداری و تعمیرات پایه‌ها با هریک از رویکردهای فوق مورد نیاز است، ارزیابی عملکرد سازه در طول دوره بهره‌برداری و تخمین عمر باقیمانده آن است. منظور از عملکرد[4] سازه، نحوه رفتار و کارکرد آن در شرایط مشخص است که با شاخص‌های[5] مختلفی نظیر پاسخ‌های سازه (تغییرمکان، نیرو، تنش و ...)، اندیس‌های آسیب، شاخص‌های قابلیت اعتماد (در زمینه ایمنی و سرویس‌دهی)، شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری[6]، پایداری[7]، مطلوبیت[8] و ... سنجیده و بیان می‌شود. [۴۱] ارزیابی عملکرد سازه در واقع، تعیین و محاسبه شاخص‌های فوق برای سازه تحت شرایط معین است. ارزیابی عملکرد سازه‌ها تحت اثر انواع مخاطرات محیطی (شامل مخاطرات جوی نظیر باد، برف، دما و ...، مخاطرات ژئوتکنیکی نظیر زمین‌لرزه، فرونشست، رانش و ... و مخاطرات انسانی نظیر سرقت، خرابکاری و ...) و الزامات حاصل از شرایط بهره‌برداری و نگهداری انجام می‌گردد. بر

[1] - Model Updating Methods
[2] - Damage Identification, Diagnosys and Detection
[3] - Damage Prognosis
[4] - Performance
[5] - Indicator (Index)
[6] - Resilience
[7] - Sustainability
[8] - Utility

این اســـاس، یکی از پیش نیازهای ارزیابی عملکرد، تحلیل مخاطرات محیطی[1] و در معرض بودن[2] ســـازه‌ها و تأسـیسـات مورد نظر نسـبت به آنها اسـت. روش‌های مختلفی با سـطوح پیچیدگی متفاوت برای تحلیل مخاطرات وجود داشـته و در حال توسـعه هسـتند. بسـته به روش و شـاخص عملکردی مورد نظر، ارزیابی عملکرد سـازه‌ها با استفاده از آئین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، راهنماهای مربوط به ارزیابی وضعیت موجود سازه‌ها انجام می‌شود. [۴۲] در موارد مربوط به شاخص‌های عملکرد احتمالاتی که تعیین آنها نیازمند انجام ارزیابی در مرزهای دانش است، تعیین شاخص‌های عملکردی با استفاده از مقالات علمی و گزارش‌های تحقیقاتی انجام می‌شود. [۴۳ و ۴۴] برای ارزیابی عملکرد سـازه‌ها، مدل تحلیلی به‌روز شـده سـازه به همراه بارهای حاصـل از شـرایط محیطی و عملکردی اعمالی بر سـازه مورد نیاز هسـتند. ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سـازه‌ها پس از انجام فعالیت‌های بازرسـی و پایش سلامت (شناسایی وضعیت، عیب‌یابی و تشخیص آسیب‌ها) و با استفاده از اطلاعات حاصل از آن انجام می‌شود.

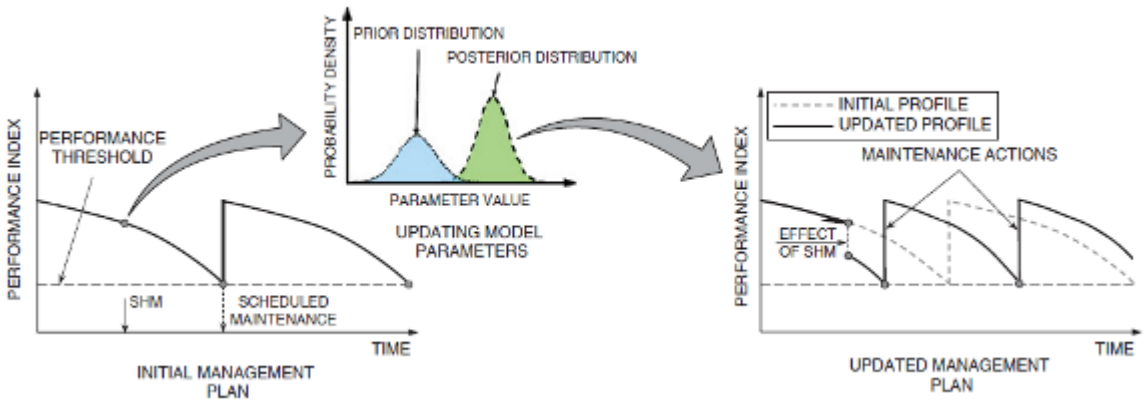
با انجام فرآیند ارزیابی عملکرد سازه‌ها، مشخص می‌شود که سازه در وضعیت فعلی خود (که طی انجام ارزیابی وضعیت تعیین شده است) در شرایط مشخص چه عملکردی خواهد داشت و آیا عملکرد سازه مطلوب و قابل قبول اســـت یا خیر. با انجام ارزیابی عملکرد فعلی ســـازه و پیش‌بینی عملکرد آن در آینده، منحنی عملکرد ســـازه و با اسـتفاده از آن، عمر باقیمانده سـازه‌ها قابل تخمین می‌باشـد. نمونه‌ای از منحنی نوعی عملکرد سـازه[3] در دوره عمر خود، در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. دراین منحنی، اثر آسیب‌های جزئی تدریجی[4] (مانند خوردگی مصالح) و آسـیب‌های ناگهانی[5] (مانند آسـیب‌های ناشـی از حوادث طبیعی) در عملکرد سـازه و همچنین مفهوم طول عمر[6] سـازه (نقطه تلاقی منحنی عملکرد در محور زمان با حد آسـتانه عملکرد[7]) بطور شـماتیک نشـان داده شـده‌اند که با اسـتفاده از روش‌های ارزیابی عملکرد وابسـته در زمان، توزیع احتمال عمر مفید سـازه قابل تعیین می‌باشـد. [۴۵ و ۴۶]

[1] - Environmental Hazards
[2] - Exposure
[3] - Performance Profile
[4] - Gradual Damage
[5] - Sudden Damage
[6] - Service Life
[7] - Performance Threshold



شکل ۱-۲: منحنی عملکرد سازه در دوره عمر و اثر آسیب‌های تدریجی و ناگهانی بر عملکرد [۴۵]

منحنی عملکرد سازه در طول عمر آن، یک ابزار کلیدی و مفید در برنامه‌ریزی بهینه نگهداری و مدیریت چرخه عمر سازه است. این منحنی با گذشت زمان و اکتساب اطلاعات حاصل از انجام پایش سلامت و ارزیابی وضعیت سازه (بصورت پیوسته در زمان یا دوره‌ای) به‌روز می‌شود. با استفاده از منحنی به‌روز شده عملکرد سازه، برنامه مدیریت دوره عمر و نگهداری سازه نیز قابل به‌روز شدن بصورت بهینه می‌باشد. نقش پایش سلامت و ارزیابی وضعیت سازه در به‌روزرسانی منحنی عملکرد و برنامه مدیریت چرخه عمر سازه، بطور شماتیک در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: به‌روزرسانی منحنی عملکرد و برنامه مدیریت نگهداری سازه با استفاده از اطلاعات حاصل از پایش سلامت و ارزیابی وضعیت سازه [۴۵]

۲-۲-۲-۱- شناسایی و پایش شرایط و مخاطرات محیطی

بخش قابل توجهی از آسیب‌های ایجاد شده در سازه‌ها و بارهای وارد بر آنها که می‌تواند باعث خرابی در آنها شود، ناشی از مخاطرات محیطی (اعم از طبیعی و انسانی) می‌باشند. بر این اساس، شناسایی مخاطرات محیطی (از لحاظ ماهیت و پارامترهای مشخص‌کننده شدت آنها) و نحوه اثر آنها بر سازه‌ها، بخش مهمی از فرآیند ارزیابی عملکرد سازه‌ها می‌باشد. شایان ذکر است که مجموعه اقدامات مورد نیاز در راستای شناسایی مخاطرات محیطی و تعیین پارامترهای مورد نیاز آنها، در قالب اسناد راهبردی در گروه سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو در دست تدوین بوده و ازاینرو در گزارش‌های مربوط به سند حاضر، جزئیات مربوط به این موضوعات ارائه نخواهند شد. انواع مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه‌های صنعت برق در جداول زیر ارائه شده‌اند. [۳۱ و ۳۲]

جدول ۱-۲ : فهرست مخاطرات محیطی جوی مؤثر بر صنعت برق

ردیف	گروه اصلی	مخاطره
۱	بارش	باران سنگین، سیلاب، برف سنگین، بهمن، یخ جوی، باران اسیدی، تگرگ، رعد و برق، مه، رطوبت
۲	باد	باد و توفان، توفان گرد و غباری، بوران برف[۱]
۳	آلودگی	آلودگی هوا[۲]، ریزگرد، تابش فرابنفش خورشید (UV)
۴	دما	امواج دمایی[۳]، خشک‌سالی، یخبندان

[۱] بارش برف همراه با باد شدید (توفان برفی هم گفته می‌شود)

[۲] آلودگی‌های حاصل از مواد شیمیایی و صنعتی در هوا

[۳] افزایش یا کاهش دما نسبت به الگوی اقلیمی نرمال منطقه با دوره پایداری حدود چند روز تا چند هفته

جدول ۲-۲ : فهرست مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر صنعت برق

ردیف	گروه اصلی	مخاطره
۱	زلزله	زمین‌لرزه، روانگرایی، گسلش
۲	زمین‌لغزش	ناپایداری شیروانی و زمین‌لغزش، گسترش جانبی
۳	فرونشست زمین	-
۴	خاک‌های خورنده	-
۵	خاک‌های مسئله‌دار	خاک‌های فروریزشی[۱] و متورم شونده، خاک‌های واگرا[۲] یا رس‌های حساس[۳]، خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی، خاک‌های یخزده، رسوبات واریزه‌ای[۴]
۶	فرسایش خاک	-
۷	کارستی شدن[۵]	-

[۱] خاک‌هایی با ساختار لانه زنبوری که در حالت خشک مقاومت برشی مناسبی داشته، اما در اثر جذب رطوبت یا افزایش سطح تنش موثر و یا هر دو عامل دچار شکست ناگهانی ساختار و کاهش شدید مقاومت برشی می‌شوند.

[۲] خاک‌های رسی حاوی املاح نمکی که در اثر جریان آب، نمک موجود در خاک شسته شده و ساختار خاک دچار تضعیف می‌شود.

[۳] خاک‌های رسی که در اثر اعمال بارگذاری یا دست‌خوردگی دچار کاهش شدید مقاومت برشی می‌شوند.

[۴] حرکت توده عظیمی از مصالح خاکی مستقر بر شیب دامنه‌ها که در اثر اشباع شدن، تحت اثر وزن خود حرکت کرده و خرابی‌های عظیم ایجاد می‌کنند.

[۵] در نوعی از سنگ‌ها با منشأ آهکی در اثر جریان آب، آهک دچار تضعیف شده و با آب حمل می‌شود و حفراتی با حجم قابل توجه را در ساختار سنگ برجا می‌گذارد.

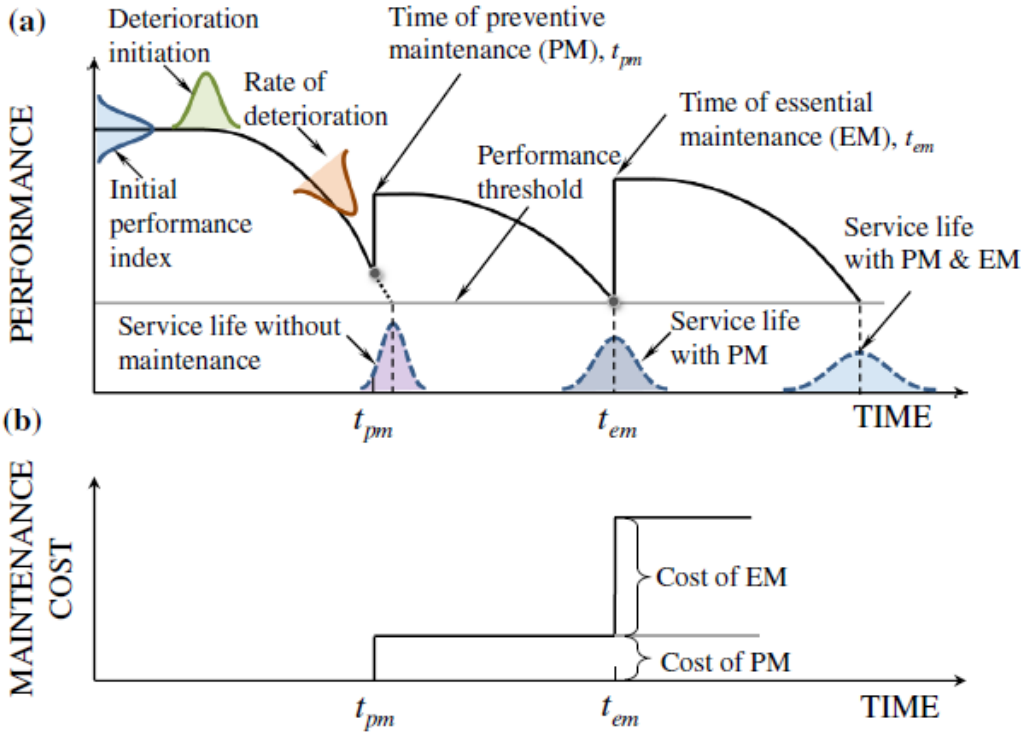
۲-۲-۳- ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر سازه‌ها

بنا به دلایل مختلف، احتمال عدم تأمین عملکرد مطلوب توسط سازه‌ها وجود دارد. مهمترین دلایل عدم عملکرد مطلوب سازه‌ها شامل ایجاد آسیب‌های تدریجی و ناگهانی در آنها ناشی از عوامل مختلف (که در گزارش مرحله اول عنوان شده‌اند)، ، خطا و اشتباه در طراحی سازه، خطا و اشتباه در ساخت و نصب سازه، تغییرات و اشتباهات در شرایط کاربری و بهره‌برداری از سازه، تغییرات در شرایط و مخاطرات محیطی (تغییر در خود مخاطرات بواسطه فعالیت‌های طبیعی یا انسانی و یا تغییر در شناخت مخاطرات)، و تغییر در معیارهای مورد استفاده برای تعریف مطلوبیت عملکرد (تغییر آئین نامه‌ها و استانداردهای سازه‌ای) می‌باشند. بر این اساس، در طول عمر سازه ممکن است نیاز به انجام اقداماتی در راستای تأمین عملکرد مطلوب آن به وجود آید. ساده‌ترین اقدام برای حفظ و بهبود عملکرد سازه، رفع عیوب و آسیب‌های موجود در اعضای آن است که همان ترمیم و تعمیر اجزای سازه است. اقدامات دیگری نیز برای تأمین عملکرد مطلوب سازه قابل انجام هستند که به دو رویکرد کلی اقدامات فنی (تعمیر، بهسازی، مقاوم‌سازی، تخریب و نوسازی در انتهای عمر سازه، ...) و مدیریتی (تغییر کاربری سازه، ...) تقسیم می‌شوند. جزئیات اجرایی اقدامات فوق بسیار متنوع بوده و در مراجع مختلف ارائه شده‌اند. [۴۹-۴۷] همچنین روش‌های ترمیم و بهسازی سازه‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین (مانند استفاده از مواد نانوساختار، بتن خودترمیم، مواد کامپوزیت پلیمری و ...) نیز در سال‌های اخیر توسعه پیدا کرده است. [۵۰ و ۵۱]

تصمیم‌گیری در مورد انتخاب رویکرد و اقدام مناسب و تعیین اولویت‌ها نیز، از مسائل مطرح در این زمینه بوده و از موضوعات مهم در استراتژی‌های نوین مدیریت نگهداری و تعمیرات می‌باشد. مبنای انتخاب، تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی نیز، میزان تولنایی رویکرد و روش در بهبود شاخص‌های عملکرد (مانند قابلیت اعتماد، ریسک و تاب‌آوری سیستم) با صرف کمترین هزینه است. روش‌های نوین تصمیم گیری و برنامه ریزی اقدامات نگهداری نیز بر مبنای بهینه سازی هزینه کل چرخه عمر سازه و با استفاده از منحنی عملکرد، در ادبیات فنی ارائه شده‌اند. [۴۵ و ۵۲] مفهوم تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات سازه با استفاده از منحنی عملکرد دوره عمر آن، بصورت شماتیک در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در این شکل، منحنی عملکرد و عمر بهره‌برداری[1] سازه در حالات بدون نگهداری و تعمیرات، با نگهداری پیشگیرانه[2] (PM) و با مجموعه نگهداری پیشگیرانه و اساسی[3] (EM) بطور شماتیک نشان داده شده است. با توجه به وجود عدم قطعیت‌ها، منحنی عملکرد و عمر سازه دارای توزیع احتمال بوده که به همراه میانگین آنها، در شکل نشان داده شده‌اند. بر این اساس، انجام هریک از این اقدامات نگهداری باعث بالا رفتن منحنی عملکرد و افزایش عمر مفید سازه خواهد شد. به طور کلی ، نگهداری و

[1] - Service Life
[2] - Preventive Maintenance
[3] - Essential Maintenance

تعمیرات پیشگیرانه برای بهبود مختصر عملکرد یا به تعویق انداختن روند زوال مصالح سازه انجام می‌شود تا عملکرد سازه بالاتر از سطح آستانه[1] مورد نیاز قرار گیرد. نمونه‌هایی از اقدامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه شامل تعویض قطعات کوچک، وصله بتن، ترمیم ترک‌ها، تمیزکردن و رنگ‌آمیزی قطعات نمایان است. از طرف دیگر، نگهداری و تعمیرات اساسی معمولاً یک اقدام مبتنی بر ارزیابی عملکرد است. همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، هنگامی که سطح عملکرد سازه به آستانه از پیش تعیین‌شده می‌رسد، تعمیر و نگهداری اساسی اعمال می‌شود. اقدامات نگهداری اساسی معمولا منجر به ارتقاء قابل توجه عملکرد نسبت به اقدامات نگهداری پیشگیرانه می‌شود و در عین حال، هزینه آنها نیز بیشتر است. مقاومسازی و جایگزینی اجزای سازه، نمونه‌هایی از اقدامات نگهداری اساسی هستند. با برآورد عمر سازه و لحاظ هزینه‌های مورد نیاز برای اقدامات نگهداری پیشگیرانه و اساسی، می‌توان زمان مناسب و بهینه برای انجام اقدامات نگهداری را نیز با استفاده از منحنی عملکرد تخمین زد.



شکل ۳-۲: برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات و اثر آنها بر منحنی عملکرد و افزایش عمر سازه [۵۲]

.همچنین می‌توان طول عمر اقتصادی سازه (مدت زمانی که بهره‌برداری و نگهداری سازه با توجه به هزینه‌های آن به صرفه است) را تعیین نموده و بر این اساس، زمان بهینه و مناسب را برای تخریب[2] و اسقاط آن مشخص نمود.

[1] - Performance Threshold
[2] - Demolition

۲-۲-٤- رویکردها و استراتژی‌های نوین نگهداری و تعمیرات

یکی از مهمترین مباحث مطرح در حوزه نگهداری و تعمیرات، برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با هدف کاهش و کمینه‌سازی هزینه‌های آن می‌باشد. البته هدف جامع‌تر در این خصوص، کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر است که بخشی از آن به هزینه‌های نگهداری و تعمیرات مربوط می‌شود. با پیشرفت دانش و ابزارهای نوین مدیریت و تصمیم‌گیری مانند مفاهیم قابلیت اعتماد و ریسک از یک سو و پیشرفت فناوری‌های انجام محاسبات پیچیده از سوی دیگر، رویکردها و استراتژی‌های نوینی برای نگهداری و تعمیرات، با هدف مدیریت بهینه فعالیت‌های مختلف نگهداری و تعمیر با بیشترین اثربخشی و کمترین هزینه، تدوین و ارائه شده‌اند. از معروفترین این رویکردها می‌توان به نگهداری بر مبنای قابلیت اطمینان[1]، نگهداری بر اساس ریسک[2]، نگهداری بهره‌ور فراگیر[3]، سیستم مدیریت نگهداری نرم افزاری[4] و رویکردهای مبتنی بر مدیریت دارائی‌های فیزیکی[5] اشاره نمود. عمده رویکردهای فوق برای برنامه‌ریزی بهینه نگهداری و تعمیرات در کل یک سامانه (مثلا شبکه توزیع و کلیه تجهیزات و دارائی‌های آن) بکار می‌روند و بر اساس ایجاد یک تعادل بهینه میان هزینه‌های فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با هزینه خسارات حاصل از عدم انجام آنها، تجهیزات و دارائی‌های شبکه توزیع را اولویت‌بندی کرده و راهکارهای بهینه برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را در اختیار مدیران و مالکان دارائی‌ها قرار می‌دهند. مهمترین تفاوت رویکردهای مختلف نیز در شاخص‌های هدف برای بهینه‌سازی و جزئیات محاسباتی و روش‌های تحلیلی مورد استفاده در آنها است. با توجه به اینکه سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (نیروگاه‌ها، خطوط و پست‌های انتقال و توزیع و ...) نیز از جمله دارائی‌های فیزیکی محسوب می‌شوند، رویکردهای مذکور که تاکنون عمدتاً در مورد تجهیزات گران‌قیمت صنعت کاربرد یافته‌اند، در خصوص سازه‌ها نیز (بصورت جداگانه و یا بصورت یکپارچه و به همراه تجهیزات) قابلیت پیاده‌سازی دارند. مفاهیم و جزئیات این رویکردها در مراجع مربوطه ارائه شده‌اند و از ذکر آنها در این گزارش اجتناب می‌گردد. [۳۳]

[1] - Reliability Centered Maintenance (RCM)
[2] - Risk Based Maintenance (RBM)
[3] - Total Productive Maintenance (TPM)
[4] - Computerized maintenance management system (CMMS)
[5] - Physical Asset Management (PAM)

۲-۳-شناسایی اجزا، زیرسیستم‌ها و فناوری‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها و راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها

از آنجا که مباحث و فناوری‌های مربوط به پایش سلامت سازه‌ها با رویکردهای مختلف آن، در این سند بطور خاص مورد توجه قرار داشته و توسعه دانش فنی و پیاده‌سازی آن (بخصوص با رویکرد SHM که به دلیل پیشرفته بودن، نیاز به انجام تحقیقات و توسعه و تدوین دانش فنی نیز دارد) در سازه‌های صنعت برق مورد نظر می‌باشد، در این بخش از گزارش به معرفی و بررسی انواع فناوری‌ها و روش‌های پایش سلامت سازه (با سه رویکرد اصلی بازدید و بازرسی[1] VI، آزمون‌های غیرمخرب[2] NDT و پایش سلامت سازه[3] SHM) و اجزای اصلی آنها پرداخته شده است. در ادامه بخش نیز، تعدادی از راهکارهای موجود برای تعمیر اجزای سازه‌ای آسیب دیده (بخصوص در سازه‌های بتنی مسلح) و مقاومسازی کلی سازه‌ها معرفی شده‌اند.

۲-۳-۱- انواع، روش‌ها و فناوری‌های مختلف بازدید و بازرسی

ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش برای پایش وضعیت سازه‌ها و سایر تجهیزات، بازدید و بازرسی بصری است که البته در حال حاضر، فناوری‌های پیشرفته تصویربرداری و پردازش تصاویر هم به کمک این رویکرد آمده و باعث افزایش دقت و کمتر شدن خطاهای آن شده است. بر این اساس، روش‌های مختلف پایش وضعیت که بطور کلی در ذیل این رویکرد قرار دارند، برحسب فناوری‌های مختلف مورد استفاده در آنها به شرح زیر می‌باشند.

۲-۳-۱-۱- بازدید چشمی

این روش پایه‌ای‌ترین، ابتدایی‌ترین و معمولاً ساده‌ترین روش آزمون کنترل کیفیت و پایش سازه‌ها تجهیزات می‌باشد که بطور مستقیم توسط نیروهای انسانی انجام می‌شود. در این روش مسئول بازدیدکننده می‌بایست بصورت دوره‌ای و زمان‌بندی شده، اجزای مختلف سازه‌ای و وجود عیوب و آسیب‌های مشخص و تعریف شده برای آنها را بطور بصری چک و ثبت کند. این روش علیرغم سادگی دارای محدودیت‌ها و اشکالاتی است که مهمترین آنها، لزوم قابل مشاهده بودن و در معرض دید بودن عیوب (عیوب سطحی) و وابستگی به تجربه، مهارت و دانش فرد بازدیدکننده برای قضاوت در مورد عیوب هستند. اگر بازدید چشمی با هدف شناسایی سازه انجام شود، شامل اندازه‌گیری سایز و ابعاد اجزای سازه‌ای و مشخصات مصالح نیز خواهد بود و در این راستا در صورت لزوم، باید عملیات سونداژ جهت آشکارسازی اجزای سازه‌ای پنهان نیز صورت گیرد.

در حال حاضر در صنعت برق، تنها در خطوط انتقال و توزیع، بازدید چشمی بصورت دوره‌ای (بازدیدهای پیمایشی و صعودی) برای بررسی وضعیت و تشخیص عیوب تجهیزات (شامل دکل‌ها) انجام شده و برای آن، دستورالعمل وجود دارد. برای انجام بازدیدها در مواردی که فاصله زیاد است، از دوربین‌های چشمی صحرایی نیز استفاده می‌شود. طبق بررسی‌های انجام شده، در نیروگاه‌های حرارتی برنامه مشخص و مدونی برای بازدید چشمی

[1] -Visual Inspection
[2] - Nondestructive Test
[3] - Structural Health Monitoring

دوره‌ای از اجرای سازه‌ای وجود نداشته و آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای موجود، تنها پس از مشاهده شدن بصورت اتفاقی، رفع و تعمیر می‌شوند.

۲-۳-۱-۲- روش‌های تصویربرداری، دورسنجی (RS) و پردازش تصاویر

برای تعیین وضعیت اجزای سازه‌ای و تشخیص عیوب و آسیب‌های آنها، به جای بازدید چشمی می‌توان از تصاویر ثبت شده توسط دوربین استفاده نموده و با فرستادن تصاویر به رایانه و با اعمال روش‌ها و الگوریتم‌های پردازش تصاویر و تشخیص الگوها[1]، عیوب موجود توسط نرم‌افزارهای رایانه‌ای تشخیص داده شوند. تصویربرداری می‌تواند از فواصل نزدیک (توسط نیروی انسانی، روبات‌های مخصوص، بالگرد و یا پهباد) و یا فواصل دور (تصاویر ماهواره‌ای دورسنجی[2] RS به همراه سنسورهای مربوطه) انجام شده و تصاویر تهیه شده با روش‌های مخصوص به خود، پردازش شوند. [۵۳ و ۵۴] روش SCANSITES که در سال ۱۹۹۰ برای پایش آسیب‌ها در برج‌های خنک‌کننده هلر ایجاد شد، نمونه‌ای از روش‌های پایش وضعیت سازه با تصویربرداری می‌باشد. این روش با اتصال به یک پایگاه داده که مانند GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) در زمان واقعی عمل می‌کند، نقشه آسیب‌های سازه را تولید می‌کند. روش سورتینگ که مخصوصاً در کنترل کیفیت پیچ‌ها از آن استفاده می‌شود نیز، مثالی از روش کنترل بصری توسط رایانه می‌باشد. [۵۵]

به طور معمول از دو نوع تصویربرداری استفاده می‌شود: تصاویر رنگی و تصاویر حرارتی (ترموویژن).

پردازش تصاویر رنگی نیاز به پردازنده و تجهیزات قویتری دارد و اغلب نیاز است از چند زاویه تصویربرداری شود که همین مورد هم پردازش را سنگین‌تر می‌کند؛ البته این تصاویر اطلاعات بسیار دقیقی در اختیار اپراتور قرار می‌دهند. با پردازش درست می‌توان به عنوان مثال دقیقا طول و شکل و موقعیت ترک‌خوردگی مقره‌های خطوط هوایی انتقال را استخراج کرد و با توجه به آستانه‌هایی که برای آن تعریف می‌شود، در مواقع لزوم، با دقت بسیار بالایی هشدار دهد (شکل ۴-۲).

[1] - Pattern Recognition
[2] - Remote Sensing



شکل ۴-۲: استفاده از پردازش تصاویر رنگی در تشخیص ترک‌خوردگی مقره (نقاط قرمز ترک‌خوردگی دارند)

نقاط گرم در تجهیزات الکتریکی اغلب در اثر شـــل بودن، اکســـید و خوردگی اتصـــالات، عدم تقارن فازها و همچنین خرابی عایق ســیم‌پیچ‌ها بوجود می‌آید که تمامی این موارد را می‌توان با اســتفاده از دوربین‌های حرارتی (ترموویژن) در اندازه‌گیری درجه حرارت تجهیزاتی چون خطوط هوایی انتقال انرژی، سرکابل‌ها، ترانسفورماتورها و فیوزها، کابل‌ها، تجهیزات تابلوهای برق و کلیه تجهیزات شـبکه انتقال برق اعم از پسـت‌های زمینی، هوایی و غیره آشکار نموده و آن‌ها را قبل از اینکه منجر به اتفاقات مخرب در سیستم برق گردد، برطرف نمود. این نوع تصاویر با اینکه اطلاعاتی به دقت تصاویر رنگی در اختیار اپراتور قرار نمی‌دهند اما با توجه به اینکه در این روش تصویربرداری در زوایای مختلف مورد نیاز نیسـت و دوربین ترموویژن هم تجهیز خیلی گران قیمتی نیسـت، هزینه پیاده‌سـازی کمتری دارد. [۱۰۲]

روش LiDAR[1] نیز نمونه‌ای از این دسته روش‌ها بوده و ابزاری است که به صورت سه‌بعدی و دقیق از خرابی نقشـه‌برداری می‌کند و براسـاس کدنویسـی زاویه‌ای و یک ابزار اندازه‌گیری مسـافت از راه دور الکترونیکی می‌باشـد. [۵۵] از این روش برای نقشـه برداری هوایی از سـازه ها و تأسـیسـات نیز اسـتفاده میشـود. اسـکن لیزری هوایی از طریق یک هواپیما انجام می‌شـود که تجهیزات مربوطه شـامل فرسـتنده، گیرنده، GPS و غیره در آن نصـب شـده اسـت. اشـعه لیزر از فرسـتنده متصـل به هواپیما به صـورت موج پالسـی منتشـر شـده و باند نسـبتا عریضـی را جارو می‌کند. در صورت برخورد موج به سطح زمین یا به سایر مستحدثات موجود از جمله خط انتقال (سیم‌ها و برج‌ها و غیره)، ریل راه آهن، جاده‌ها، وسـایط نقلیه، سـاختمانها، سـطح زمین و غیره، آنها به راحتی توسـط این تکنولوژی قابل رویت بوده و فرآیند عکس برداری سـه بعدی، تصـویر کامل و بسـیار دقیقی از محیط پیرامون خطوط انتقال را ارائه می‌کند. از طریق تاخیر زمانی موج رفت و موج برگشـت نیز ارتفاع عوارض تعیین می‌شـود. یکی از کاربردهای نقشـه‌برداری هوایی با تکنولوژی LiDAR، تهیه نقشـه وضـع موجود خطوط انتقال هوایی جهت تعیین تغییرات ایجاد شده در خطوط و حریم آنها در طی زمان بهره‌برداری می‌باشد.

[1] - Light Detection and Ranging

عمل بازیابی، شناسایی و تشخیص عوارض از فاصله دور، علم و هنر سنجش از دور یا دورکاوی نامیده می‌شود. این فن‌آوری شامل اندازه‌گیری و ثبت انرژی بازتابی یا منتشر شده الکترومغناطیسی از سطح زمین، توسط سنجنده[1] نصب شده بر روی هواپیما و یا ماهواره، و ربط دادن اندازه‌های بدست آمده به ماهیت و پراکندگی مواد سطح زمین است. علم و هنر سنجش از دور یا دست‌یابی به اطلاعات از راه دور، امکان پردازش و تفسیر عکس‌ها و تصاویری را که از دور با هواپیما یا ماهواره از مناطق مختلف زمین برداشت می‌شوند را فراهم ساخته، و مارا قادر می‌سازد به اطلاعات مناسب و قابل اعتماد در کمترین زمان و با حداقل هزینه دست یابیم؛ بعلاوه، در دوره‌های زمانی مختلف از تغییرات در پدیده‌های مورد نظر آگاهی یافته و اطلاعات را به روز و بهنگام نماییم. فن‌آوری سنجش از دور با توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های ویژه در کاربردهای گوناگون، هر روزه در حال پیشرفت بوده و ابزار مناسبی را برای اجرای مطالعات فراهم آورده است. بسیاری از مطالعات بر پایه استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور اجرا می‌گردند. امروزه تکنولوژی سنجش از دور نقش بسیار مهمی در مطالعات زمین‌شناسی، پایش‌های زیست‌محیطی، اکتشاف منابع آب‌های زیرزمینی و مدیریت سوانح طبیعی برعهده دارد. از کاربردهای سنجش از دور می‌توان به کاربرد در هواشناسی، منابع آب (آلودگی، کمیت، رطوبت، مطالعات برف، و ...)، تهیه نقشه کاربری اراضی، ارزیابی روند تغییرات در پدیده‌های مختلف، اندازه گیری پارامترهای کیفی و کمی پوشش گیاهی، و بررسی این تحلیل‌ها در کابردهای موثر مدیریت بحران مانند مدیریت سیل اشاره نمود.

یکی از کاربردهای دورسنجی، تعیین میزان و وضعیت فرونشست زمین در طی زمان است. بدین منظور از روش تداخل‌سنجی راداری بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. مزیت مهم این روش، امکان انجام اندازه‌گیری در سطح وسیع و بدون نیاز به کار میدانی است. پیدایش و پیشرفت فناوری سنجش از دور رادار، امکان اندازه‌گیری جابجایی‌های بسیار کوچک سطح زمین را که در میدان‌های تحت برداشت سیال‌های زیرزمینی رخ می‌دهند، فراهم آورده است. این روش با مقایسه فازهای دو تصویر راداری که از یک منطقه در دو زمان مختلف اخذ شده‌اند، قادر به تعیین میزان جابجایی قائم در سطح زمین در آن بازه زمانی می‌باشد. فاز اخذ شده از یک عارضه بر روی سطح زمین متناسب با فاصله آن تا سنجنده راداری است. در این تکنیک تصاویر مختلط راداری که حاوی مقادیر فاز و دامنه موج برگشتی از عارضه به سمت سنجنده هستند با یکدیگر ترکیب شده و تصویری به نام اینترفروگرام[2] تولید می‌کنند. اینترفروگرام تصویری است که اختلاف فاز دو تصویر اخذ شده در دو زمان مختلف از نظر هندسی به طور دقیق بر روی هم منطبق گشته‌اند، حاصل می‌شود. تغییرات فاصله میان زمین و تصویربردار راداری در راستای خط دید ماهواره می‌تواند با دقتی در حد کسری از طول موج رادار اندازه‌گیری شود. رفتارسنجی پدیده تغییر شکل نیازمند بررسی زمانی پدیده موردنظر است، بنابراین می بایست چندین تصویر در بازه‌های زمانی متفاوت از آن منطقه در دسترس بوده و چندین تداخل نگاشت بین بازه‌های زمانی متفاوت برای محاسبه نرخ تغییرشکل در محاسبات وارد گردد. [۵۴، ۱۰۳ و ۱۰۴]

۲-۳-۱-۳- روش‌های پایش هندسی سازه‌ها

[1]- Sensor
[2] - Interferogram

در این دسته از روش‌ها، مشخصاتی از سازه (عموماً نشست‌ها و جابجایی‌های نقاط مشخصی از سازه و نقاط مرجع) با استفاده از ابزارهایی نظیر دوربین‌های نقشه‌برداری و شبکه میکروژئودزی بصورت پیوسته (و یا دوره‌ای) اندازه‌گیری و ثبت شده و تغییرات آنها در طول زمان رصد و پایش می‌شوند. [۵۶] خروجی سیستم پایش هندسی، اندازه‌گیری و مشاهدات تکراری از تغییرشکل‌های سازه درطول زمان است که در راستای رفتارسنجی سازه اطلاعات مفیدی را حاصل می‌نماید. در صورتی که تغییرشکل‌های برآورد شده توسط این سیستم دارای روند غیرعادی و بحرانی شود، می‌تواند نشانه‌ای از بروز آسیب و یا خرابی در سازه باشد. روش‌های مختلفی برای پایش هندسی سازه‌ها وجود دارند که می‌توانند بصورت تکی و یا در تلفیق با یکدیگر (یا در تلفیق با سایر روش‌های پایش سلامت سازه) استفاده شوند. مهمترین این روش‌ها عبارتند از:

- ترازیابی دقیق[1]: با استفاده از این روش، تغییرمکان‌های قائم (نشست سازه و فرونشست زمین) با استفاده از دوربین‌های مخصوص ترازیابی قابل اندازه‌گیری هستند. ترازیابی (یا تعیین اختلاف ارتفاع بین دو یا چندین نقطه نسبت به هم یا نسبت به یک سطح مبنای معین) با استفاده از دستگاه‌های مختلف و با روش‌های گوناگون صورت می‌گیرد. ترازیابی دقیق یکی از قدیمی‌ترین و با دقت‌ترین ابزارهای ژئودتیکی لندازه‌گیری تغییرشکل ارتفاعی است. این شیوه ترازیابی که با استفاده از دوربین‌های ترازیاب ویژه انجام می‌شود، از جمله متداول‌ترین روش‌ها در اجرای طرح‌های عمرانی می‌باشد. اجرای پروژه‌هایی نظیر تهیه پروفیل‌های طولی مسیر رودخانه‌ها، راه‌ها، خطوط انتقال نیرو، و ... نیازمند کار ترازیابی می‌باشند. علاوه بر این از این روش در اجرای شبکه‌های ترازیابی سراسری کشوری و ایجاد نقاط پایه (کنترل زمینی) برای تبدیل عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای به نقشه استفاده می‌گردد. از معایب روش ترازیابی دقیق این است که اجرای آن بسیار زمانبر و پرهزینه می‌باشد.
- اندازه‌گیری تغییرمکان با سنسور GPS: با استفاده از نصب سنسورهای مناسب، تغییرشکل‌های استاتیکی و دینامیکی سازه‌ها با سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) قابل اندازه‌گیری هستند. هزینه این روش در حال حاضر برای کاربردهای گسترده در سازه‌ها، نسبت به سایر روش‌های پایش بالا است. [۱۰۵]
- استفاده از ارتعاش سنج لیزری داپلر (LDV): در این روش یک ارتعاش سنج لیزری به طور مداوم یک پرتو لیزر را به هدف می‌فرستد و پرتوی منعکس شده از سطح آن را دریافت می‌کند. اگر جسم در حال حرکت باشد باعث تغییر فرکانس و تغییر فاز بین پرتوهای فرستاده شده و منعکس شده می‌شود. با تشخیص این تغییر فرکانس (اصل داپلر) می‌توان سرعت جسم متحرک را پیدا کرد. پس از اطمینان از کیفیت پرتو لیزر منعکس شده، ارتعاش سنج لیزری می تواند ارتعاش سازه را با دقت بسیار بالا (در سطح میکرون) اندازه‌گیری کند. تکنیک‌های اندازه‌گیری نوری نیازی به نصب سنسور در سازه ندارند. بنابراین هیچگونه آماده سازی مانند نصب کابل برای انتقال نیرو یا انتقال داده در داخل سازه مورد نیاز نیست، بلکه چندین نشانگر بازتابنده باید روی سازه نصب یا نقاشی شود. روش ارتعاش سنج لیزر داپلر رزولوشن مکانی بالایی دارد که در سایر روش‌ها تنها با استفاده از تعداد زیادی سنسور می‌توان به آن دست یافت. این نیز یک

[1] - Precise leveling

روش غیرتماسی است، که اجرای آن را آسان می‌کند. این روش نیز دارای هزینه نسبتاً بالایی است که استفاده از آن را در کاربردهای عملی محدود می‌کند. [۱۰۶]

- روش تداخل‌سنجی راداری: در این روش با بهره‌گیری از اطلاعات فاز سیگنال مایکروویو برگشتی می‌توان جابجایی های کوچک سازه‌هایی که در نمای مخروطی جبهه موج قرار دارند را اندازه‌گیری نمود. مهمترین مزیت این روش، دقت بالا، وضوح بالا و همچنین توانایی آن در تشخیص ارتعاش کلی سازه است. [۱۰۷]
- روش فوتوگرامتری: این روش نیز یک روش اندازه‌گیری نوری است که غیرتماسی (بی نیاز از نصب سنسور) و بی‌سیم بوده و با پیچیدگی و هزینه نسبی کم قابل اجرا است. فتوگرامتری هنر اندازه‌گیری و تفسیر از روی تصاویری است که از یک جسم یا منطقه اخذ شده است. بعبارتی دیگر می‌توان بیان کرد که فتوگرامتری راهی است برای تهیه نقشه و یا مدل سه‌بعدی با استفاده از تصاویر دیجیتال یا آنالوگ. بنابه فاصله دوربین تصویربرداری تا جسم، می‌توان فتوگرامتری را به شاخه‌های فتوگرامتری فضایی، هوایی، زمینی (بردکوتاه) و همچنین برد ریز تقسیم‌بندی نمود. فتوگرامتری برد کوتاه شاخه‌ای از علم فتوگرامتری است که هدف آن اندازه‌گیری و تعیین موقعیت از روی تصاویری است که شخص با استفاده از دوربین‌های دیجیتال متداول از جسم گرفته و آنها را پردازش می‌کند. با وجود اینکه فتوگرامتری برد کوتاه در حوزه مهندسی عمران بویژه جابجایی‌سنجی سازه‌های بزرگ خیلی متداول نشده است، اما پروژه‌های موفق اجرا شده در این زمینه گویای پتانسیل بالای این روش در این حوزه می‌باشد. امروزه با در دسترس بودن دوربین‌های پیشرفته رقومی ارزان قیمت، امکان اخذ و پردازش نرم‌افزاری تصاویر رقومی، و در کل کم هزینه و آسانتر شدن پیاده‌سازی سیستم‌های فتوگرامتری، امکان بکارگیری بیش از پیش تکنیک‌های فتوگرامتری برد کوتاه بعنوان جایگزینی برای روش‌های سنتی رفتارسنجی سازه‌ها با مقیاس بزرگ، توجیه بیشتری یافته است.
- استفاده از اسکنر لیزری: اسکنر لیزری از پیشرفته‌ترین و دقیق‌ترین تجهیزات نقشه‌برداری بر مبنای اندازه‌گیری ابر نقاط با لیزر می‌باشد. ابر نقاط مجموعه‌ای از نقاط است که در فضای سه‌بعدی مشخصات سطحی یک شئ را توصیف می‌کنند. اسکنر لیزری حاوی لیزر بدون چشم است که با سرعت بالایی می‌چرخد. با برخورد پرتو لیزر به سطح جامد، موقعیت نسبت به اسکنر به عنوان یک مختصات (نقطه) ثبت می‌شود. میلیون‌ها نقطه از این نقاط، یک تصویر دیجیتالی بسیار دقیق را تشکیل می‌دهند. پس از جمع‌آوری، اسکنر از تصاویر رنگی استفاده می‌کند که برای رنگ‌آمیزی اسکن استفاده می‌شود و نمایش واقع‌بینانه سه‌بعدی از سازه در اختیار قرار می‌دهد.
- روش میکروژئودزی: میکروژئودزی مجموعه اقداماتی است که بوسیله ابزاردقیق جهت رفتارسنجی و بررسی حرکات یک سازه بزرگ مانند سد، با دقت بسیار زیاد و با استفاده از مشاهدات و محاسبات ژئودتیک و با هدف آشکار سازی جابجائی‌های آن انجام می‌شود. با استفاده از این روش، مطالعه و تعیین تغییرشکل و جابجائی سازه‌های عظیم مانند سدها و یا حرکات پوسته زمین در اطراف گسل‌ها و مکان‌هائی که از نظر زمین‌شناسی احتمال جابجائی و تغییرشکل برای آنها وجود دارد؛ امکان‌پذیر می‌شود. در این روش، شبکه‌ای از نقاط بر روی بدنه و محیط اطراف سازه ایجاد و از طریق مشاهدات ژئودتیکی (عمدتا طول، زاویه و مختصات نقاط مشخصی از سازه) در مقاطع زمانی مختلف، رفتار سازه مورد پایش واقع می‌گردد. اینگونه مشاهدات امکان کنترل تغییر شکل بیرونی سازه را مهیا می‌سازند. شبکه میکروژئودزی یک شکل هندسی

متشکل از حداقل سه نقطه زمینی (نقاط کنترل زمینی) می‌باشد که این نقاط از طریق مشاهدات ژئودتیک با یکدیگر در ارتباط هستند.

۲-۳-۲- انواع، روش‌ها و فناوری‌های مختلف آزمون‌های غیرمخرب

تست غیرمخرب[1] (NDT) شامل یک گروه گسترده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل به منظور بررسی خواص مواد، اجزا، محصولات ، جوش و یا سایر اجزای یک سیستم بدون ایجاد آسیب را پوشش می‌دهد. تست غیرمخرب ابزاری معمول مورد استفاده در مهندسی پزشکی قانونی، مهندسی مکانیک، مهندسی برق، مهندسی عمران، مهندسی سیستم، مهندسی هوا و فضا و برنامه‌های کاربردی پزشکی است. اصطلاحات آزمون غیرمخرب[2] (NDE) و بازرسی غیرمخرب[3] (NDI) و ارزیابی غیرمخرب[4] (NDE) همگی توصیفی برای تست غیرمخرب می‌باشند. روش‌های تست غیرمخرب NDT طوری طراحی شده‌اند تا با استانداردهای صنعتی، قراردادهای دولتی، نیازهای نظامی و با نیازهای مشتری مطابقت داشته باشد. هیچ روش واحدی برای تشخیص عیوب و اندازه‌گیری کافی نخواهد بود و هر یک از روش‌ها دارای مزایا و معایب در مقایسه با روش‌های دیگر هستند. گاهی لازم است از روش‌های مختلف تست غیرمخرب به صورت ترکیبی استفاده کرد تا تشخیص درست حاصل شود.

در یک دسته‌بندی کلی، روش‌های تست غیرمخرب را می‌توان به دو دسته شامل تست‌های مخصوص شناسایی مشخصات سازه و تست‌های مخصوص تشخیص آسیب تقسیم‌بندی کرد. تست‌های غیرمخرب مخصوص شناسایی مشخصات سازه برای کلیه سازه‌ها با هدف تهیه نقشه‌های ازبیلت و تعیین مشخصات آنها باید انجام شود. اما تست‌های مخصوص تشخیص خرابی، برای تعیین دقیق مشخصات آسیب‌های موضعی و تنها در سازه‌هایی که طبق نتایج بازرسی چشمی یا پایش SHM الزامی تشخیص داده شود انجام می‌شود.

در ادامه متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در آزمون‌های غیرمخرب معرفی می‌شوند.

۲-۳-۲-۱- آزمون انتشار امواج صوتی (Acoustic Emission - AE)

وقتی که ماده‌ای جامد تحت تنش می‌باشد، عیوب موجود در آن باعث ایجاد امواج صوتی با بسامد بالا می‌گردند. این امواج در ماده منتشر شده و می‌توان توسط حسگرهای خاصی آن‌ها را دریافت کرد و با تجزیه و تحلیل این امواج می‌توان نوع عیب، مکان و شدت آن را تعیین نمود. تست نشرآوایی (آکوستیک امیشن) یک روش نوین در زمینه تست‌های غیرمخرب است. از این روش می‌توان برای تشخیص و موقعیت‌یابی عیوب مختلف در سازه‌های تحت بار و اجزای آن‌ها استفاده کرد. تخلیه سریع انرژی از یک منبع متمرکز در درون جسم باعث ایجاد امواج الاستیک گذرا و انتشار آن‌ها در ماده می‌شود. این پدیده را آکوستیک امیشن می‌نامند. با توجه به انتشار امواج از منبع تا سطح ماده، می‌توان آن‌ها را توسط سنسورهایی ثبت کرد و از این طریق اطلاعاتی در مورد وجود و محل منبع انتشار امواج به دست آورد. این امواج می‌توانند فرکانس‌هایی تا چند MHz داشته باشند. برای

[1] - Non Destructive Test
[2] - Non Destructive Experiment
[3] - Non Destructive Inspection
[4] - Non Destructive Evaluation

شنیدن صدای مواد و شکست سازه‌ها از سنسورهای التراسونیک در محدوده ۲۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز استفاده می‌شود و فرکانس‌های متداول در این روش در محدوده ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوهرتز هستند. دستگاه‌های مورد استفاده با توجه به نوع کاربردشان می‌توانند به صورت یک دستگاه کوچک قابل حمل تا یک دستگاه بزرگ ده‌ها کاناله باشند. یک سنسور منفرد به همراه ابزارهای وابسته برای کسب و اندازه‌گیری سیگنال‌های آکوستیک امیشن تشکیل یک کانال آکوستیک امیشن را می‌دهد. از سیستم چندکاناله برای اهدافی نظیر موقعیت یابی منابع یا آزمون نواحی که برای یک سنسور منفرد خیلی بزرگ است استفاده می‌شود. اجزایی که در تمامی دستگاه‌ها برای دریافت سیگنال وجود دارد عبارتند از: سنسور، پیش تقویت‌کننده، فیلتر و تقویت‌کننده.

۲-۳-۲-۲- آزمون رادیوگرافی (Radiography Testing - RT)

آزمون رادیوگرافی به استفاده از امواج گاما و ایکس، که قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد را دارا می‌باشند، برای بررسی مواد و تشخیص عیوب محصولات گفته می‌شود. در این روش اشعه ایکس یا رادیواکتیو به سمت قطعه هدایت می‌شود و پس از عبور از قطعه بر روی فیلم منعکس می‌شود. ضخامت و مشخصه‌های داخلی باعث می‌شوند نقاطی در فیلم تاریکتر یا روشن‌تر دیده شوند.

۲-۳-۲-۳- آزمون ذرات مغناطیسی (Magnetized Testing - MT)

در این روش ذرات آهن بر روی ماده‌ای با خاصیت آهنربایی ریخته می‌شود و میدان مغناطیسی در آن القا می‌شود. در صورت وجود خراش یا ترکی بر روی سطح یا در نزدیکی سطح، در محل عیب قطب‌های مغناطیسی تشکیل می‌شود یا میدان مغناطیسی در آن ناحیه دچار اعوجاج می‌گردد. این قطب‌های مغناطیسی باعث جذب ذرات آهن می‌شوند. در نتیجه وجود عیب را می‌توان از تجمع ذرات آهن تشخیص داد.

۲-۳-۲-٤- آزمون فراصوت (Ultrasonic Testing - UT)

در این روش امواج فراصوت با بسامد بالا و با دامنه کم به داخل قطعه فرستاده می‌شوند. این امواج پس از برخورد به هر گسستگی بازتابیده می‌شوند و قسمتی از این امواج به سمت حسگر رفته و حسگر آن را دریافت می‌کند. از روی دامنه و زمان بازگشت این امواج می‌توان به مشخصه‌های این گسستگی پی برد. از کاربردهای این روش می‌توان به اندازه‌گیری ضخامت و تشخیص عیوب موجود در قطعات نام برد.

۲-۳-۲-٥- آزمون مایعات نافذ (Liquid Penetrant Testing - PT)

در این روش سطح قطعه با مایعی رنگی قابل مشاهده یا فلورسنت پوشیده می‌شود. پس از مدتی این مایع در درون شکاف‌ها و حفره‌های سطحی قطعه نفوذ می‌کند. پس از آن مایع از سطح جسم زدوده می‌شود و ماده ظاهر کننده به روی سطح پاشیده می‌شود. اختلاف روشنایی مایع نافذ و ظاهرکننده باعث می‌شود که عیوب سطحی به راحتی مشاهده شوند.

این تست برای ظاهرسازی عیوبی به کار می‌رود که به سطح راه داشته باشد وبر روی اکثر مواد از هر جنس که باشد می‌توان استفاده نمود در ضمن زبری سطح مورد آزمایش باید در حد مناسب باشد. در این روش ابتدا باید سطح را از چربی وآلودگی تمیز کرد سپس مایع نافذ را بر روی سطح پاشیده و پس از حداقل مدت پنج دقیقه که

مایع نافذ به درون عیب نفوذ کرد، سطح را تمیز کرده و ماده ظاهر ساز را بر روی سطح می‌پاشیم که این ماده معمولاً سفید رنگ است اگر عیبی در سطح وجود داشته باشد اثر آن بر روی سطح مشخص می‌گردد.

۲-۳-۲-۶- آزمون الکترومغناطیس (Electromagnetic Testing - ET)

در این روش با استفاده از یک میدان مغناطیسی متغیر در یک ماده رسانا جریان الکتریکی گردابی القا می‌شود و این جریان الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. وجود گسستگی‌هایی مانند ترک در ماده باعث ایجاد وقفه در این جریان می‌شود و بدین طریق می‌توان به وجود چنین عیبی پی برد. در ضمن مواد مختلف دارای رسانایی الکتریکی نفوذپذیری متفاوتی هستند؛ بنابراین می‌توان بعضی از مواد را با این روش رده‌بندی نمود. به این روش، آزمون جریان گردابی[1] هم گفته می‌شود.

۲-۳-۲-۷- آزمون نشتی (Leak Testing - LT)

روش‌های مختلفی برای تشخیص نشتی در مخازن تحت فشار و مانند آن، استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: گوشی‌های الکتریکی، گیج فشار، گاز یا مانع نافذ، دیود هالوژن، طیف‌سنجی جرمی و همین‌طور تست حباب صابون.

۲-۳-۲-۸- آزمون ترموگرافی یا مادون قرمز (Infrared Testing - IRT)

یکی از این روش‌های مراقبت وضعیت و پیش‌بینی عیوب ماشین آلات مکانیکی و الکتریکی بهره‌گیری از آنالیزهای حرارتی می‌باشد زیرا عملکرد هر دستگاه همواره با انتشار گرما همراه است و معمولاً هر ایراد مکانیکی و الکتریکی در تجهیزات با افزایش یا کاهش دما بروز می‌نماید. گرمای منتشر شده از سطح بیرونی اجسام به صورت تشعشعات مادون قرمز که توسط چشم انسان قابل رویت نیستند آزاد می‌گردد. اما این تشعشات را می‌توان از طریق دوربین‌های ترموگرافی که پیشرفته‌ترین و کامل‌ترین تجهیزات در زمینه آنالیز حرارتی محسوب می‌شوند، مشاهده نمود.

از آنالیزهای حرارتی می‌توان جهت شناسائی و تشخیص عیوبی مانند اتصالات الکتریکی نامناسب، شل بودن قطعات و تجهیزات، تغییرات متالورژی، بار بیش از حد، خنک‌کاری نامناسب، ولتاژ نامناسب، اتصال و رسانائی نامناسب، کثیف بودن تجهیزات، وجود آلودگی محیطی، اکسیده شدن اتصالات، ظرفیت نامناسب، خوردگی و فرسایش خارجی، عدم هم محوری و ارتعاشات بیش از حد و بسیاری عیوب دیگر را که در نهایت باعث معیوب شدن قطعات و تجهیزات می‌گردند، استفاده نمود.

۲-۳-۲-۹- آزمون نشت شار مغناطیسی (Magnetic Flux Leakage - MFL)

تصویربرداری مغناطیسی از سطوح فلزی توسط حسگرهای میدان مغناطیسی یک تکنیک پر کاربرد در تست غیرمخرب سطح برای تشخیص وجود نقص در نمونه‌های فلزی است. در میان تکنیک‌های تصویربرداری مغناطیسی، روش تست نشت شار مغناطیسی یک روش پرکاربرد در تست غیرمخرب سطوح فلزی فرومغناطیسی همانند لوله‌های انتقال و مخازن ذخیره نفت و گاز است. در این روش نمونه فرومغناطیس توسط آهنربای دایمی یا

[1] - Eddy Current (EC)

یک سیم پیچ تا نزدیکی ناحیه اشباع مغناطیده می‌شود. وجود هر گونه ناپیوستگی در ماده مانند ترک، موجب تغییر موضعی شار نشتی در محل ترک می‌شود. توزیع و شدت شار نشتی اطلاعات مفیدی درباره موقعیت و ابعاد ترک با خود به همراه دارد. این شار نشتی توسط یک حسگر مغناطیسی قابل اندازه‌گیری است. خواص حسگر مغناطیسی بر توانایی سیستم تست در تشخیص ترک‌ها و خوردگی‌ها با ابعاد مختلف بسیار مؤثر است.

۲-۳-۲-۱۰-آزمون‌های تعیین مقاومت و کیفیت بتن

با توجه به اینکه بتن یکی از پرکاربردترین مصالح مورد استفاده در سازه‌ها بوده که در مواجهه با شرایط محیطی دچار آسیب‌های مختلفی می‌شود، آزمون‌های متعددی برای سنجش مقاومت و کیفیت بتن‌های مسلح توسعه داده شده‌اند. هریک از آزمون‌های بتن برای تعیین یک یا چند ویژگی مشخصه مقاومت، کیفیت و دوام بتن طراحی شده و دارای سهولت، محدوده اعتبار و دقت خاص خود می‌باشد. آزمون‌های غیرمخرب برای شناسایی وضع موجود و تعیین مقاومت بتن شامل چکش اشمیت بتن، بیرون کشیدگی[1]، تعیین مقاومت سطحی بتن[2]، نمونه‌گیری و تعیین مقاومت کششی میلگرد و فولاد، اسکن میلگرد در بتن می‌باشند. آزمون‌های تعیین کیفیت و پتانسیل خوردگی در بتن و میلگردها نیز شامل تست اولتراسونیک بتن، جذب آب بتن، نیم پیل بتن، تعیین عمق کربناسیون بتن، تعیین پروفیل کلر و سولفات بتن، مقاوت الکتریکی بتن می‌باشند.

۲-۳-۲-۱۱-آزمون‌های نیمه‌مخرب تعیین مقاومت مصالح

آزمون‌های نیمه‌مخرب بطور کلی به آزمون‌هایی اطلاق می‌شوند که برای تعیین برخی از ویژگی‌های مصالح سازه‌ها (مانند مقاومت)، بر روی نمونه‌های مصالح اخذ شده از اجزای مختلف سازه‌های موجود، انجام می‌گردند. به عنوان نمونه‌هایی از این نوع آزمون‌ها به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

۲-۳-۲-۱۱-۱- آزمون تعیین مقاومت فولاد

این آزمون همانند آزمون استاندارد کشش نمونه فولادی برای تعیین منحنی تنش-کرنش و مشخصات مکانیکی فولاد است که روی نمونه‌های اخذ شده از اعضای فولادی سازه‌های موجود انجام می‌شود. تهیه نمونه‌ها طبق ضوابط استاندارد و با ترمیم عضو پس از نمونه‌گیری انجام شده و انجام آزمون هم طبق استانداردهای موجود (استاندارد ملی فولاد ایران و یا استاندارد ASTM) صورت می‌گیرد.

۲-۳-۲-۱۱-۲- آزمون‌های مغزه‌گیری بتن

این آزمون‌ها مربوط به روش‌هایی هستند که برای تعیین ویژگی‌های بتن در محل سازه موجود، مستلزم استخراج نمونه از بتن است. نمونه‌برداری بیشتر به شکل مغزه[3] کنده شده از بتن انجام می‌شود که می‌توان در آزمایشگاه برای آزمون مقاومت و سایر آزمون‌های فیزیکی و نیز در تحلیل بصری، پتروگرافیکی و شیمیایی از آن استفاده کرد. برخی آزمون‌های شیمیایی را می‌توان روی نمونه‌های سوراخ شده و پودرشده کوچک‌تر انجام داد که مستقیما از سازه گرفته می‌شود لذا آسیب بسیار کمی را موجب می‌شود، اما خطر آلودگی نمونه افزایش یافته و

[1] - Pull Out
[2] - Pull Off
[3] - core

ممکن اســـت دقت کاهش یلبد. همان طور که در مورد روش‌های نیمه مخرب صـــدق می‌کند، تعمیر خســـارت نمونه‌برداری ضـــروری خواهد بود. ماهیت تجهیزات آزمون از ابزار دســـتی ارزان ســـاده گرفته تا اقلام گران بســـیار تخصصی پیچیده است که احتمالا نیازمند آماده‌سازی گسترده یا احتیاط ایمنی است که تنها زمانی به کار خواهد رفت که ابداً هیچ جایگزینی وجود نداشـته باشـد. آزمون مغزه موثق‌ترین ارزیابی از مقاومت در محل را ارائه می‌کند اما بیشترین خسارت را وارد می‌کند و گران و سرعت آن کند است. این آزمون اغلب ضروری قلمداد می‌شود و اگر برای ایجاد مبنای کالیبراســیون در روش‌های غیرمخرب و نیمه‌مخرب به کار رود که می‌توان بعداً به طور گســترده از آن استفاده کرد، ارزش آن‌ها افزایش خواهد یافت. [۵۷]

در جدول ذیل، مقایسه‌ای کیفی بین تعدادی از آزمون‌های غیرمخرب ارائه شده است:

جدول ۳-۲ : مقایسه روش‌های تست غیرمخرب

آزمون غیرمخرب	کاربردها	معایب و محدودیت‌ها
مایعات نافذ	مواد غیر متخلخل برای بازرسی جوش، لحیم، مواد ریخته‌گری شده، مواد آهنگری شده، قطعات آلومینیومی، دیسک و پره‌های توربین، چرخ‌دنده	نیاز به دسترسی به سطح مورد آزمایش عیوب حتماً باید در سطح، شکستگی ایجاد کرده باشند. ممکن است سطح نیاز به تمیزکاری داشته باشد عیوب ترک مانند که بسیار باریک هستند، خصوصاً زمانی که تحت تأثیر نیرویی قرار گیرند که موجب بسته شدن آن‌ها گردد و همچنین عیوب بسیار کم عمق به سختی قابل تشخیص هستند. عمق عیب قابل اندازه‌گیری نیست.
ذرات مغناطیسی	مواد دارای خاصیت آهنربایی عیوبی سطحی و عیوب نزدیک به سطح با این روش قابل تشخیص می‌باشند. قابل استفاده برای جوش، لوله، میله‌ها، مواد ریخته‌گری، مواد آهنگری، مواد اکستروژن شده، قطعات موتور، محورها و دنده‌ها	تشخیص عیوب تحت تأثیر عواملی مانند شدت میدان و جهت آن می‌باشد. نیاز به سطحی تمیز و نسبتاً هموار نیاز به بست نگهدارنده برای دستگاه ایجادکننده میدان قطعه مورد آزمایش باید قبل از آزمون غیرآهنربایی شود که انجام این کار برای بعضی از قطعات و مواد دشوار است. عمق عیوب را نمی‌توان اندازه گرفت.
فراصوت	مواد فلزی و غیر فلزی و کامپوزیت‌ها عیوب سطحی و غیر سطحی قابل استفاده برای جوش، اتصالات، میله‌ها، مواد ریخته‌گری، مواد آهنگری، قطعات موتور و هواپیما، اجزای ساختمانی، بتن، و همچنین به صورت گسترده‌ای برای تشخیص	عموماً تماسی است، گاهی به صورت مستقیم و گاه بواسطه محیط واسط نیاز به حسگرهای متفاوت برای کاربردهای مختلف؛ عموماً به لحاظ بازه فرکانسی حساسیت تابعی از فرکانس مورد استفاده‌است و بعضی از مواد به خاطر ساختارشان باعث پخش شدن قابل ملاحظه امواج فراصوت می‌گردند. امواج

	عیوب مخازن تحت فشار و لوله‌های انتقال نفت و گاز همچنین برای تعیین ضخامت و خواص مواد برای پایش فرسودگی	بازگشتی از این گونه امواج عموماً به سختی از نویز قابل تمیز است. اعمال این روش برای قطعات بسیار نازک دشوار است.
رادیوگرافی نوترونی	مواد فلزی و غیر فلزی و کامپوزیت‌ها پایروتکنیک، رزین‌ها، پلاستیک‌ها، سازه‌های لانه زنبوری، مواد رادیواکتیو، مواد دارای چگالی زیاد و مواد حاوی هیدروژن	باید قطعه مورد آزمون بین منبع ساطع‌کننده اشعه و دریافت‌کننده آن قرار گیرد. اندازه راکتور تولیدکننده اشعه بسیار بزرگ است. موازی قرار دادن اجزای آزمایش دشوار می‌باشد. خطرات تشعشع ترک‌ها باید به موازات اشعه‌ها قرار گیرند تا قابل تشخیص باشند. کاهش حساسیت با افزایش ضخامت قطعه
رادیوگرافی اشعه ایکس	مواد فلزی و غیر فلزی و کامپوزیت‌ها برای تمامی اشکال و فرمها به کار می‌رود؛ ریخته‌گری، جوش، قطعات الکترونیکی، صنایع هوایی، دریایی و خودروسازی	باید به هر دو وجه قطعه دسترسی داشت. نتایج آزمون تا حد زیادی وابسته به تعیین فاصله کانونی، ولتاژ و زمان قرارگیری در معرض تشعشع است. خطرات تشعشع ترک‌ها باید به موازات اشعه‌ها قرار گیرند تا قابل تشخیص باشند. کاهش حساسیت با افزایش ضخامت قطعه
رادیوگرافی گاما	عموماً برای مواد ضخیم و با چگالی بالا استفاده می‌شود. برای تمامی اشکال و فرمها به کار می‌رود؛ ریخته‌گری، جوش، قطعات الکترونیکی، صنایع هوایی، دریایی و خودروسازی معمولاً در جایی استفاده می‌شود که به علت ضخامت زیاد نمی‌توان از اشعه x استفاده کرد.	باید به هر دو وجه قطعه دسترسی داشت. حساسیت این روش به اندازه اشعه x نیست. خطرات تشعشع ترک‌ها باید به موازات اشعه‌ها قرار گیرند تا قابل تشخیص باشند. کاهش حساسیت با افزایش ضخامت قطعه
الکترومغناطیس	فلزات، آلیاژها و مواد هادی الکتریسیته برای رده‌بندی (Sorting) مواد عیوب سطحی و نزدیک به سطح با این روش قابل تشخیص می‌باشند. قابل استفاده برای لوله، سیم، یاتاقان، ریل، آبکاری الکتریکی غیر فلزی، قطعات هواپیما، دیسک و پره‌های توربین، محور اتومبیل	نیاز به حسگرهای متفاوت برای کاربردهای مختلف علی‌رغم آنکه حسگرهای این روش غیر تماسی هستند اما می‌بایست حسگر در مجاورت قطعه در فاصله بسیار نزدیکی از آن قرار گیرد. نفوذ کم (معمولاً حدود ۵ میلی‌متر)
نشت شار مغناطیسی	فلزات، آلیاژها و مواد مغناطیسی تشخیص ترک‌های میکرومتری عیوب سطحی و عمقی با این روش قابل تشخیص می‌باشند.	قابل استفاده در مواد مغناطیسی

	قابل استفاده برای لوله، مخزن، سیم، یاتاقان، ریل، آبکاری الکتریکی غیر فلزی، قطعات هواپیما، دیسک و پره‌های توربین، محور اتومبیل	

۲-۳-۳- اجزا، زیرسیستم‌ها و مراحل فرآیند پایش سلامت سازه‌ها

در این بخش به معرفی اجزای اصلی و کلیدی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (با استفاده از سنسورها) از دو دیدگاه فرآیندی (مراحل فرآیند اجرا) و تجهیزات (سخت افزارهای مورد نیاز) پرداخته شده است. با توجه به اینکه پایش سلامت در این سند، عمدتاً با دیدگاه فرآیندی (حوزه‌های مربوط به دانش علمی و فنی مورد نیاز) مورد نظر می‌باشد، شناخت اجزای فناوری بر این اساس، بیشتر مورد نظر می‌باشد.

همانطور که قبلاً عنوان شد، سیستم پایش سلامت سازه (SHM) بخشی از سیستم کلی مدیریت نگهداری از سازه (با رویکرد پیشگیرانه) بوده ولیکن دارای کاربردهایی فراتر از این نیز می‌باشد. هدف کلی پایش سلامت سازه (SHM) تشخیص و شناسایی حالت سازه و اجزای آن از نظر وجود یا عدم وجود آسیب‌های موضعی در آنها و همچنین، شناسایی ویژگی‌های فنی سازه در شرایط واقعی آن در طول عمر سازه است. این حالت، با گذشت عمر سازه به دلیل استفاده و یا تاثیر محیط و حوادث تصادفی قابل تغییر است. در پایش سلامت سازه آسیب یا خرابی به صورت تغییر دائمی در حالت مکانیکی ماده سازه و یا اجزاء آن که بر کارکرد سازه تاثیر می‌گذارد، تعریف می‌شود. پایش سلامت سازه به منظور تشخیص و ارزیابی آسیب و پیش بینی عملکرد آینده و عمر مفید باقیمانده سازه صورت می‌گیرد. اگر تنها کاربرد اول یعنی تشخیص آسیب را در نظر بگیریم می‌توان پایش سلامت سازه را راه دقیق و پیشرفته‌ای برای ارزیابی غیرمخرب برآورد کرد. تفاوت اصلی رویکرد SHM با رویکردهای بازرسی و تست غیرمخرب در این است که ارزیابی وضعیت و تشخیص آسیب در رویکرد SHM بر اساس بررسی رفتار و پاسخ‌های کلی سازه انجام می‌شود، درحالیکه در دو رویکرد دیگر، آسیب باید مستقیماً مشاهده شود و سپس مشخصات آن با استفاده از تست‌های مناسب تعیین گردد.

طبق تعریف هانگ نان لی و همکاران پایش سلامت سازه‌ها به استفاده از اندازه‌گیری منظم و مداوم و در محل پارامترهای سازه‌ای کلیدی و محیطی تحت شرایط عملکرد، به‌منظور هشدار شرایط غیر نرمال یا اتفاقاتی که در شرف رخداد هستند برای اجتناب از تلفات اشاره دارد. این تعریف ماهیت هشدار دهندگی پیشرفته SHM را بیان می‌کند[۲۸]. نگهداری زمان‌بندی‌شده و بازرسی‌های دوره‌ای تنها آگاهی محدودی از شرایط سازه‌ای را ارائه می‌دهند و این روش‌ها به خاطر نیروی کار زیاد و زمان‌بر بودن پرهزینه هستند، بنابراین اساس پایش سلامت سازه‌ای توسعه سیستم‌های خودکار برای پایش مداوم، بازرسی و تشخیص آسیب سازه‌ها و یا حداقل مشارکت نیروی انسانی می‌باشد[۲۹].

فرآیند اجرایی پایش سلامت سازه‌ها بطور کلی روند و روال ثابت و دقیقی نداشته و ریز فعالیت‌های آن بسته به نوع سازه مورد نظر و خرابی‌های مربوطه، متفاوت است. فهرستی از فعالیت‌های اصلی مورد نیاز در یک پروژه پایش سلامت سازه (بطور کلی) در جدول ۴-۲ ارائه شده است. [۲]

جدول ۴-۲ : ساختار فعالیت‌های اصلی و کلیدی در پایش سلامت سازه‌ها

فعالیت‌های خاتمه پایش	مدیریت داده‌ها	نگهداری سیستم پایش	نصب سیستم پایش	استراتژی پایش
• قطع پایش • برچیدن سیستم پایش • انبار کردن تجهیزات پایش	• انجام اندازه‌گیری‌ها • ذخیره‌سازی داده‌ها • تامین دسترسی به داده‌ها • مشاهدات • خروج داده‌ها • تفسیر • تحلیل داده‌ها • بکارگیری داده‌ها	• تأمین برق • تأمین خطوط ارتباطی • پیاده‌سازی برنامه نگهداری ابزارها • تعمیر و جایگزینی ابزارها	• نصب سنسورها • نصب ادوات جانبی (کابل‌ها، و ...) • نصب ابزارهای قرائت داده‌ها • نصب نرم‌افزارها • نصب رابط کاربر	• اهداف پایش • انتخاب پارامترها • انتخاب سیستم پایش • طراحی شبکه سنسور • برنامه‌ریزی پایش • برنامه استفاده از داده‌ها • برآورد هزینه‌ها

با توجه به جدول فوق، می‌توان روال عمومی فرآیند پایش سلامت در انواع سازه‌ها را متشکل از سه مرحله کلی‌تر بصورت زیر در نظر گرفت:

۱- طراحی[1] سیستم پایش

۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز[2]

۳- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها[3]

هریک از مراحل فوق مشتمل بر جزئیات و زیربخش‌های مختلفی است که نوع و نحوه اجرای آن در سازه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. پس از انجام مرحله سوم (تفسیر داده‌ها) و مشخص شدن وضعیت سلامت یا عدم سلامت سازه، تصمیم سازی[4] نسبت به اقدامات بعدی صورت می‌گیرد.

شایان ذکر است که در ستون انتهایی جدول ۴-۲ فعالیت‌های مربوط به انتهای فرآیند پایش سلامت (قطع پایش، بازکردن تجهیزات پایش و ذخیره سازی آنها) عنوان شده که این فعالیت‌ها مربوط به فرآیند پایش سلامت موقت می‌باشند. دوره زمانی اجرای پایش سلامت آنلاین در سازه‌ها می‌تواند دربرگیرنده کل عمر بهره برداری سازه (پایش دائم) یا بخشی از آن (پایش موقت) باشد. در شرایطی ممکن است هدف از اجرای سیستم پایش، بررسی وضعیت سازه در یک دوره زمانی محدود (مثلاً چند ماه یا چند سال) باشد که در این صورت، سیستم پایش موقت مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه برای بررسی وضعیت آسیب‌های سازه پس از اعمال بارهای نسبتاً

[1] - Design
[2] - Data Acquisition
[3] - Data Process, Analysis and Interpretation
[4] - Decision Making

شدید (مثل زلزله یا طوفان) از سیستم پایش موقت استفاده می شود. این سیستم تا حدی مابین سیستم پایش دائم و ارزیابی غیرمخرب قرار می‌گیرد. تجهیزات مورد استفاده در سیستم‌های پایش موقت بصورت قابل حمل (پرتابل) بوده و پس از نصب روی سازه و استفاده در دوره زمانی مورد نظر، برداشته می شوند.

در ادامه این بخش، هریک از مراحل سه گانه فرآیند پایش سلامت بصورت کلی شرح داده شده‌اند.

۲-۳-۳-۱- طراحی سیستم پایش سلامت سازه

اولین مرحله برای اجرا و بکارگیری یک سیستم پایش سلامت برای یک سازه مورد نظر، طراحی سیستم پایش و اجزای آن می‌باشد. طراحی سیستم پایش سلامت بطور کلی شامل مراحل زیر است که می‌تواند در سازه‌های مختلف تغییر کرده و متفاوت باشد:

- تعیین اهداف پایش
- شناسایی سازه و آسیب‌های محتمل آن
- ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی و محدودیت‌های موجود
- مدلسازی سازه و تحلیل رفتار آن
- تعیین پارامترهای حساس به آسیب (پارامترهای تشخیصی)
- تعیین پارامترهای مورد نیاز برای اندازه‌گیری
- تعیین و انتخاب روش و الگوریتم‌های پایش و تشخیص آسیب
- تعیین نوع، تعداد و مکان سنسورها (طراحی شبکه سنسورها)
- طراحی شبکه جمع‌آوری، ثبت، انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها و تعیین سخت‌افزارهای مورد نیاز
- طراحی برنامه بهره‌برداری و نگهداری از سیستم پایش

طراحی سیستم پایش سلامت سازه نیازمند انجام سعی و خطا، تکرار و رفت و برگشت در انجام برخی یا تمام مراحل فوق می‌باشد. در ادامه در رابطه با آیتم‌های فوق، توضیحات تکمیلی ارائه شده است.

۲-۳-۳-۱-۱- تعیین اهداف پایش سازه

در ابتدای طراحی سیستم پایش سلامت برای یک سازه مشخص، باید هدف یا اهداف مورد نظر از پایش سازه، حتی‌الامکان بصورت دقیق و شفاف مشخص گردند. اهداف مورد نظر از پایش بسته به عواملی نظیر نوع سازه، نوع آسیب‌ها و خرابی‌های محتمل در سازه، اهمیت سازه و پی آمدهای خرابی‌ها، دانش فنی در دسترس، مسائل اقتصادی و ... متفاوت باشند. بطور کلی می‌توان اهداف پایش را در سه دسته کلی شامل جلوگیری از وقوع آسیب[1]، تشخیص آسیب[2] (حتی الامکان در مراحل اولیه) و پیش‌بینی آسیب[3] (پیش‌بینی وقوع یا روند رشد و تخمین عمر مفید یا باقیمانده) منظور نمود.

[1] - Damage Prevention
[2] - Damage Diagnosis
[3] - Damage Prognosis

پایش سلامت ممکن است در مورد سازه‌های در دست طراحی یا اجرا نیز بکار برده شود. در اینصورت اهداف و طراحی سیستم پایش می‌تواند متفاوت با حالتی باشد که برای یک سازه ساخته شده موجود، در نظر گرفته شود. در حالت طراحی سیستم پایش برای سازه‌های در دست ساخت، دسترسی‌ها به اجزای داخلی سازه‌ها میسر بوده و می توان از سیستم‌های سنسور مدفون در داخل اجزای سازه‌ای (مثلاً سنسورهای داخل بتن یا متصل به میلگردها) استفاده نموده و رفتار سازه را بصورت دقیق‌تری مورد پایش قرار داد. به این حالت در اصطلاح، پایش درون سازه‌ای نیز اطلاق می‌گردد.

۲-۳-۳-۱-۲- شناسایی سازه و آسیب‌های محتمل آن

علاوه بر تعیین اهداف پایش، سازه و اجزای آن نیز باید مورد شناسایی دقیق قرار گیرد. اگر سازه موجود باشد، فرآیند شناسایی وضع موجود[1] باید انجام گردد. شناسایی وضع موجود سازه با استفاده از بازدید چشمی، تست‌های غیرمخرب شناسایی و بررسی مدارک و مستندات طراحی و ساخت (از قبیل مشخصات عمومی مانند متراژ و تعداد طبقات و سیستم باربر سازه، دفترچه محاسبات، گزارش مطالعات ساختگاه، مستندات بارهای وارده شامل مشخصات فنی تجهیزات، نقشه های طراحی، سوابق عملکرد سازه و مشکلات پیش آمده، سوابق نگهداری و تعمیرات) انجام می‌شود. همچنین باید انواع مودهای خرابی و آسیب‌های محتمل در سازه و پی آمدهای احتمالی آنها نیز مورد بررسی و شناسایی قرار گیرند. شناسایی مودهای محتمل آسیب و خرابی، بر اساس بررسی وضعیت مخاطرات مؤثر بر سازه به همراه سوابق و تجربیات حاصل از خرابی‌های گذشته در سازه‌های مشابه صورت گرفته و یا با آن، صحت‌سنجی می‌گردد.

۲-۳-۳-۱-۳- ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی سازه و محدودیت‌های موجود

سازه‌های مختلف بسته به کاربری خود تحت شرایط مختلفی از لحاظ عملکرد و محیط اطراف قرار دارند. سازه‌های صنعتی در حین عملکرد خود تحت شرایط محیطی و عملکردی مرتبط با فرآیند صنعتی مربوطه قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه سازه‌های موجود در صنعت برق در معرض شرایطی نظیر رطوبت، حرارت، ارتعاش، میدان‌های الکترومغناطیسی شدید و ... قرار دارند. توجه به این شرایط و شناسایی دقیق آنها برای طراحی یک سیستم پایش مناسب ضروری است که به این روند در اصطلاح، ارزیابی عملیاتی[2] نیز اطلاق می‌شود. برای شناسایی شرایط محیطی اطراف سازه ممکن است نیاز به نصب سنسورهای مناسب (مانند سنسورهای اندازه‌گیری دما، سرعت باد، رطوبت، نشست زمین و ...) وجود داشته باشد.

فرآیند ارزیابی عملیاتی تلاش می‌کند تا به پرسش‌های زیر در ارتباط با مسئله پایش سلامت سازه مورد نظر پاسخ دهد:

توجیه و دلیل استفاده از سیستم پایش سلامت برای سازه مورد نظر از لحاظ مسائل ایمنی یا اقتصادی چیست؟

شرایط عملکردی و محیطی که سازه و سیستم پایش باید تحت آن شرایط کار کنند، به چه صورت می باشند؟

[1] - As Built
[2] - Operational Evaluation

محدودیت‌های موجود در نصب سیستم پایش و داده‌برداری از سازه چیستند؟

باانجام این فرآیند سعی می‌شود تا عوامل محیطی و عملکردی تأثیرگذار در پارامترهای تشخیص آسیب و نحوه تأثیر آنها شناسایی شده تا بتوان ارتباط یکنواخت و معنی‌داری میان پارامترها و آسیب‌ها برقرار نمود. انجام این روند و پاسخ به سوالات فوق در حالاتی که سیستم پایش برای یک سازه موجود طراحی می‌شود با حالاتیکه برای یک سازه جدید و هنوز ساخته نشده طراحی می‌شود، ممکن است متفاوت باشد. به عنوان مثال، محدودیت‌ها و دسترسی به اجزای سازه برای نصب یک نوع سنسور خاص، در شرایط سازه موجود و سازه ساخته نشده متفاوت خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه احتمال وجود آسیب‌های موضعی در سازه‌های جدید به مراتب کمتر از سازه‌های موجود است، بکارگیری سیستم‌های پایش سلامت در آنها نیاز به توجیه قویتری (نسبت به سازه‌های موجود) دارد.

۲-۳-۳-۱-٤- مدلسازی و تحلیل رفتار سازه

مدل‌ها تبدیل داده‌های خام به اطلاعاتی درباره سلامت مصالح و اجزاء سازه را ممکن می‌سازند. برای تخمین بارگذاری، تشخیص آسیب، ارزیابی عملکرد و پیش‌بینی عملکرد آینده سیستم، مدل‌ها نقش اساسی را ایفا می‌کنند. به عنوان مثال بدون مدل‌هایی که بر پایه اصول فیزیک و مکانیک ساخته شده‌اند، لازم است تا داده‌های پاسخ برای هر نوع آسیب در سطوح متفاوت آسیب‌ها به منظور اندازه‌گیری سطح آسیب، تعیین شوند. در صورت استفاده از مدل‌ها، وضعیت آسیب می‌تواند با استفاده از تعداد اندکی گروه داده مربوطه تعیین شود.

مدل‌ها می‌توانند شامل مدل‌های تحلیلی، عددی و تجربی باشند که می‌توان با استفاده از آنها به بررسی پاسخ اجزاء و اعضا سیستم به بارهای وارده و تشخیص و ارزیابی مکانیزم‌های آسیب پرداخت و آنها را با استفاده از داده‌های حاصل از سیستم SHM به‌روز کرد که به این فرآیند، به‌روزرسانی مدل[1] نیز اطلاق می‌شود. از مدل به‌روز شده سازه که حداکثر انطباق با وضعیت واقعی سازه را دارد، برای تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه استفاده می‌شود. توضیحات بیشتر در خصوص به‌روزرسانی مدل سازه بر اساس داده‌های SHM در بخش‌های بعدی این گزارش ارائه شده است. با توجه به اهمیت سیستم و شناختی که از عملکرد آن وجود دارد می‌توان هریک از انواع مدل‌های مذکور را برای مدلسازی انتخاب کرد. همچنین با قضاوت مهندسی و ارزیابی دقت مورد نیاز در مدلسازی می‌توان از نرم‌افزارهای مناسب برای مدلسازی استفاده کرد. تعداد مدل‌های مورد نیاز برای بررسی یک سیستم نیز با در نظر گرفتن اهمیت و پیچیدگی سیستم با قضاوت مهندسی تعیین می‌شود. گاهی یک مدل برای بررسی سیستم کفایت می‌کند و گاهی نیز برای بررسی‌های دقیقتر و تعیین وضعیت سلامت سازه، مدل‌های بیشتری مورد نیاز است.

تهیه و ساخت مدل‌ها از جمله مدل‌های بارگذاری و آسیب که خود نیز می‌توانند شامل مدل‌های استاتیکی و دینامیکی باشند و همچنین تفسیر اطلاعات و پارامترهای بدست آمده از آنها نظیر ترکیب مدل‌ها، بررسی مکانیزم‌های آسیب، صحت‌سنجی مدل‌ها، تعیین متغیرهای تشخیص بارها و آسیب، تعیین سناریوهای بارگذاری

[1] - Model Updating

آینده و پیش‌بینی عملکرد آینده سیستم باید توسط متخصصانی صورت گیرد که دانش و توانایی لازم را داشته باشند. که پایه این دانش می‌تواند مهندسی سازه، مکانیک و آشنایی با اصول جبر خطی و تکنولوژی SHM باشد.

- **مدلسازی سازه و اجزاء**

با استفاده از مدلسازی اجزاء سیستم و مدل‌های بارگذاری اجزاء می‌توان حساسیت اعضای سیستم به بارها و نحوه پاسخ آنها، پارامترهای مؤثر بر پاسخ و رفتار سازه را تعیین کرد. این مدل‌ها می‌توانند شامل مدل‌های استاتیکی و دینامیکی باشند. همچنین با استفاده از مدل‌ها می‌توان پاسخ‌ها را در سایر نقاط سازه که مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌شوند، محاسبه کرد.

بطور کلی مدل‌ها را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم کرد:

۱- مدل‌های رفتاری بر اساس اصول اولیه[1]

۲- مدل‌های داده‌محور[2] و آماری

تبدیل داده‌های خام به اطلاعاتی درباره سلامت مصالح و اجزا از طریق مدل‌ها انجام می‌شود. اطلاعاتی که از این روش‌ها بدست می‌آید، اطلاعات معنی‌دارتر فیزیکی را درباره بارگذاری و آسیب ارائه می‌دهند. مواردی وجود دارد که در آن پایش سلامت سازه باید بیشتر بر اساس مدل‌های بر پایه اصول اولیه صورت گیرد. اصول اولیه مورد نظر در این نوع مدل‌ها شامل اصول و قوانین فیزیک، مکانیک جامدات[3] و دینامیک سازه‌ها (تئوری ارتعاشات[4]) می‌باشند. مدل‌های استاتیکی سازه‌ها عمدتاً بر مبنای اصول مکانیک جامدات، توسعه داده می‌شوند. مدل‌های دینامیکی نیز عمدتاً بر مبنای تئوری ارتعاشات و انتشار موج[5] می‌باشند. بر اساس فاکتورهایی نظیر نوع و سیستم باربر سازه، نوع بارهای وارده، حالات محتمل آسیب و روش مورد نظر برای پایش سلامت، هریک از انواع مدل‌های استاتیکی یا دینامیکی برای مدلسازی و تحلیل رفتار سازه قابل استفاده می‌باشند. مدل‌های بر اساس اصول اولیه در شرایطی استفاده می‌شود که کاربر دانش قبلی از بارگذاری و حالات محتمل آسیب داشته باشد. اگر مدلی برای بررسی اثر ترک خوردگی تولید شده باشد و در آن هیچ مکانیزمی برای مدلسازی خوردگی دیده نشده باشد، آنگاه در صورت وجود خوردگی مدلی که برای ترک خوردگی ایجاد شده است آسیب وارده را نادرست تعیین می‌کند. بنابراین در این موارد باید بر داده‌های بدست آمده خیلی بیشتر از مدل فیزیکی اولیه اعتماد شود. به عبارت دیگر مواردی وجود دارد که در آن پایش سلامت باید بیشتر براساس مدل‌های بر پایه اصول اولیه صورت گیرد و مواردی دیگری نیز وجود دارد که پایش سلامت باید بیشتر بر اساس داده‌های بدست آمده (مدل‌های داده‌محور) صورت گیرد. در مدل‌های داده‌محور، اطلاعات مورد نیاز پایش سلامت سازه بطور مستقیم از داده‌های ثبت شده استخراج می‌شوند. انواع مدل‌های آماری، مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی[6]، یادگیری ماشین[7] و مدل‌های تشخیص الگو[8] نمونه‌هایی از مدل‌های داده‌محور هستند. در این نوع از مدل‌ها، ویژگی‌هایی از سازه که حساس به

[1] - First Principles
[2] - Data-Driven
[3] - Solid Mechanics
[4] - Vibration Theory
[5] - Wave Propagation
[6] - Artificial Neural Network
[7] - Machine Learning
[8] - Pattern Recognition

آسیب‌های موضعی هستند از داده‌های ثبت شده توسط سنسورها استخراج شده و با بررسی و پایش تغییرات آنها در طی زمان بهره‌برداری، وضعیت آسیب‌های سازه تعیین می‌شود. استفاده از مدل‌های داده‌محور هنگامی که درک درستی از بارگذاری و آسیب قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها در دسترس نباشد، مفید است. معمولاً هنگام تعیین الگوریتم پایش سلامت سازه (SHM) ترکیبی از داده‌های حاصله و روش‌های بر پایه اصول فیزیکی موثرترین روش‌ها هستند.

یکی از انواع مدل‌های براساس اصول اولیه، مدل‌های ارتعاشی اجزاء هستند. این مدل‌های دینامیکی برای پایش سلامت مفید هستند زیرا بطور پیوسته پاسخ اجزای سازه‌ای با و یا بدون آسیب را به بارهای حاصل از محیط عملیاتی سازه، تعیین می‌کنند. مدل‌های دینامیکی معمولاً برای آنالیز چگونگی ارتعاش یا نوسان اجزاء سازه‌ای استفاده می‌شوند. ویژگی‌های اصلی ارتعاشی سازه‌ها شامل فرکانس‌های طبیعی[1] و اشکال مودی[2] (فرم‌های هندسی ارتعاش) سازه هستند که از آنالیز مودال سازه بدست می‌آیند. این پارامترها بر اثر آسیب‌های موضعی وارده تغییر می‌کنند و وسیله‌ای برای تشخیص آسیب را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال داده‌های ارتعاشی با استفاده از این مدل‌ها برای تشخیص بارهای ضربه و آسیب‌های مکانیکی به صورت اکسیداسیون (تغییر در جرم) و یا کاهش پیش بارگذاری در اتصالات پیچی (تغییر در سختی)، آنالیز و بررسی می‌شوند. [۳]

- **مدلسازی آسیب**

یکی از چالش‌های بزرگ پایش سلامت سازه‌های عمرانی، طراحی دقیق مدل آسیب می‌باشد. در سازه‌های متعارف مکانیکی و هوافضا، عموماً آسیب از نقطه نظر محل اتفاق و علائم آن به خوبی تعریف شده و شناخته شده است. به این ترتیب، در سازه‌هایی از قبیل ماشین‌ها و هواپیماها، محل و تعداد بهینه سنسورهای مورد نیاز برای تشخیص آسیب و صدمه را به راحتی می‌توان تشخیص داد ولی این مطلب برای سازه‌های عمرانی صادق نیست. در صورت نبودن مدل مشخص آسیب برای سازه، تعیین تعداد بهینه و محل مناسب نصب سنسورها از چالش‌های اصلی پایش سلامت سازه‌های عمرانی می‌باشد، [۱۹].

بطور کلی، مدل آسیب یک ابزار ریاضی است که برای تحلیل پاسخ سازه در شرایط وجود آسیب استفاده می‌شود. به عبارت دیگر ترکیب مدل سازه به همراه مدل آسیب، امکان تحلیل و بررسی رفتار سازه‌های دارای آسیب را فراهم می‌کنند. با توجه به وجود انواع آسیب‌های سازه‌ای، مدل‌های مختلفی نیز برای لحاظ تأثیر آنها بر رفتار سازه‌ها وجود دارند. نمونه‌هایی از رویکردهای مورد استفاده در مدلسازی آسیب‌ها در جدول ۵-۲ ارائه شده‌اند. از مدلسازی آسیب برای تشخیص آسیب‌ها (تشخیص وجود آسیب و تعیین محل و شدت آن بصورت کمی) و ارزیابی عملکرد سازه در شرایط واقعی خود (شرایط آسیب‌دیده) استفاده می‌شود. همچنین با استفاده از این مدل‌ها، پارامترهای مناسب برای تشخیص آسیب‌های مختلف و نیز نحوه تأثیر آسیب بر پارامترهای اندازه‌گیری شده مشخص می‌شود.

[1] - Natural Frequency
[2] - Mode Shape

جدول ۵-۲ : : نمونه‌هایی از رویکردهای مورد استفاده در مدلسازی آسیب‌های سازه‌ای

مثال‌هایی از حالات آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای	رویکردهای مدلسازی آسیب
افت پیش بارگذاری در اتصالات	کاهش سختی محوری عضو
ترک خوردن مواد همگن	کاهش سطح مقطع یا ممان اینرسی عضو، کاهش سختی‌های محوری و خمشی عضو
کمانش	کاهش سختی محوری عضو
خوردگی/ اکسیداسیون	کاهش جرم و سطح مقطع عضو، کاهش سختی‌های محوری و خمشی عضو
تغییرات ریز ساختاری (جوش) ترک‌های ریز	کاهش موضعی (در محل آسیب) سختی محوری و خمشی

مدل‌ها در مدلسازی آسیب به دو گروه مدل‌های استاتیکی و دینامیکی طبقه‌بندی می‌شوند. در مدل‌های استاتیکی آسیب، تغییرات مشخصات آسیب (محل و شدت) در طی زمان لحاظ نشده و مشخصات آسیب بصورت ثابت (غیروابسته به زمان) در نظر گرفته می‌شوند. از مدل‌های استاتیکی برای تحلیل سازه‌های آسیب دیده در شرایطی استفاده می‌شود که آسیب مورد نظر ذاتاً پیشرونده (در طی زمان) نبوده و یا تحلیل اثر پیشروندگی آن در رفتار سازه، مد نظر نباشد. مدل‌های استاتیکی آسیب عمدتاً شامل مدل‌های هندسی (تغییر در سطح مقطع، ممان اینرسی و سایر مشخصات هندسی اعضای سازه) و مدل‌های پارامترهای مصالح (تغییر در مدول‌ها، چگالی، جرم و ...) می‌باشند. موارد مذکور در جدول ۵-۲ نمونه‌هایی از مدل‌های استاتیکی آسیب هستند. اگر مشخصات آسیب در طی زمان گسترش یافته و پیشرونده باشند و تحلیل اثر رشد زمانی آسیب در رفتار سازه (به عبارت دیگر، پیش‌بینی رفتار سازه آسیب‌دیده در آینده و یا تخمین عمر باقیمانده آن) مورد نظر باشد، باید از مدل‌های دینامیکی آسیب استفاده شود. در مدل‌های دینامیکی، معیارهایی برای تعیین شروع آسیب و نحوه (نرخ) رشد آن در زمان تعریف شده و بر اساس تحقیقات نظری و آزمایشگاهی، کالیبره شده‌اند. به عنوان نمونه‌هایی از مدل‌های دینامیکی آسیب، مدل‌های رشد ترک‌های خستگی، مدل‌های خزش و مدل‌های از دست دادن مصالح را می‌توان نام برد. [۳]

۲-۳-۳-۱-۵- تعیین پارامترهای مورد نیاز برای پایش سلامت سازه

برای انجام پایش سلامت سازه‌ها، باید شاخص‌های کمی و پارامترهایی که بیانگر رفتار سازه هستند، انتخاب و تعیین شوند تا با پایش مقادیر و نحوه تغییرات آنها در طی زمان بهره‌برداری، وضعیت سازه مورد ارزیابی قرار گرفته و نسبت به اقدامات اصلاحی مورد نیاز، تصمیم‌گیری شود. پارامترهای متعددی وجود دارند که شاخصی از رفتار اعضای سازه‌ای بوده و می‌توانند برای پایش سلامت سازه استفاده گردند. یک دسته از این پارامترها، پارامترهایی هستند که مقادیرشان به آسیب سازه حساس بوده و می‌توانند برای تشخیص آسیب استفاده شوند. به این دسته از پارامترها، بطور کلی پارامترهای حساس به آسیب[1] یا پارامترهای تشخیص آسیب اطلاق می‌شود. در

[1] - Damage Sensitive Parameters

جدول ۶-۲ نمونه‌های متداول از آسیب‌ها و برخی از پارامترهایی که برای تشخیص هر یک از آنها قابل استفاده هستند، به عنوان نمونه معرفی شده است. در این جدول، پارامترهای ستون دوم اندازه‌گیری یا محاسبه شده و با بررسی نحوه تغییرات آنها در طول بهره‌برداری، آسیب‌های ذکر شده در ستون اول تشخیص داده می‌شوند. از دیگر پارامترهای حساس به آسیب می‌توان فرکانس‌های طبیعی[1] ارتعاش سازه، ویژگی‌های مودال شامل خمیدگی اشکال مودی[2]، انرژی کرنشی مودال[3] و نرمی مودال[4]، میرایی و ضرایب تبدیل موجک[5] را نام برد که در روش‌های پایش مبتنی بر ارتعاش کاربرد دارند.

جدول ۶-۲ : نمونه‌های متداولی از آسیب‌های سازه و پارامترهای قابل استفاده برای تشخیص آنها

	نوع آسیب	پارامترهای تشخیص آسیب
آسیب در مصالح	نقص‌های میکرو سازه‌ای مانند: حفره‌ها، جابجایی‌ها و جداشدن‌ها، وجود سرباره یا مواد دیگر در جوش	جرم، چگالی، تراکم، مقاومت الکتریکی، میرایی
	خوردگی یا اکسید شدن	سطح مقطع عرضی، ممان اینرسی، میرایی، مقاومت الکتریکی، سختی، جرم، چگالی
	نیتراته شدن	
	فرسایش (سوراخ شدن، خرد شدن، ساییده شدن)	
	ورقه ورقه شدن	سختی، میرایی، مقاومت الکتریکی
	تسلیم مصالح فلزی / خزش	مدول سختی، سختی خمشی، سطح مقطع، ممان اینرسی، فرکانس طبیعی، میرایی
	تنش‌های پسماند	مدول سختی، سختی خمشی، کرنش
	ترک خوردن (خستگی، لایه لایه شدن)	مدول سختی، مدول برشی، سطح مقطع عرضی، سختی خمشی، فرکانس طبیعی، میرایی، بررسی موج برگشتی در تست انتشار موج
آسیب در اجزاء سازه‌ای	خطاهای اجرا (ترک جوش، پیش بارگذاری در پیچ‌ها، پرچ شکسته)	شکل ظاهری، تراکم، لقی و لغزش، مقاومت الکتریکی
	آسیب‌های چسبندگی (لایه لایه شدن، جدا شدن)	سختی خمشی، میرایی، مقاومت الکتریکی
	تغییر فواصل (درزها، تغییر شکلها)	شکل ظاهری، کرنش، سختی
	ناپایداری (کمانش، کمانش ترمومکانیکال)	کرنش، سختی، هندسه (سطح مقطع، ممان اینرسی، انحنا)
	ارتعاش و تشدید	فرکانس طبیعی، میرایی

برخی از پارامترهای حساس به آسیب (مانند تغییرمکان و شتاب) را می‌توان مستقیماً با نصب سنسورهای مناسب بر سازه اندازه‌گیری نمود. برخی دیگر از پارامترهای حساس به آسیب (مانند فرکانس طبیعی) بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبوده و باید با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌های ریاضی مناسب و اندازه‌گیری پارامترهای دیگر، محاسبه شوند. به عنوان مثال، فرکانس طبیعی سازه با استفاده از اعمال تبدیل فوریه بر شتاب اندازه‌گیری شده (توسط سنسورهای نصب شده بر سازه)، قابل محاسبه می‌باشد. بر این اساس، دسته دیگری از پارامترها وجود دارند که بطور مستقیم توسط سنسورها اندازه‌گیری شده و برای محاسبه پارامترهای حساس به آسیب، استفاده

[1] - Natural Frequencies
[2] - Mode Shape Curvature
[3] - Modal Strain Energy
[4] - Modal Flexibility
[5] - Wavelet Coefficients

می‌شوند. به این دسته از پارامترها، پارامترهای اندازه‌گیری[1] نیز گفته می‌شود. در جدول ۷-۲ مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای که در جدول ۶-۲ ذکر شده بودند به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری آنها ارائه شده است. برای پایش سلامت سازه، باید هردو دسته پارامترهای حساس به آسیب و پارامترهای مورد نیاز اندازه‌گیری تعیین شوند. تعیین پارامترهای مناسب با توجه به نوع سازه، شرایط عملکردی، بارهای وارده و مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه و نوع آسیب‌های محتمل بر سازه تعیین و انتخاب می‌شود. همچنین انتخاب پارامترهای مناسب برای پایش و انتخاب روش پایش سلامت باهم مرتبط بوده و باید بصورت یکپارچه و باهم انجام شوند.

جدول ۷-۲ : مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری

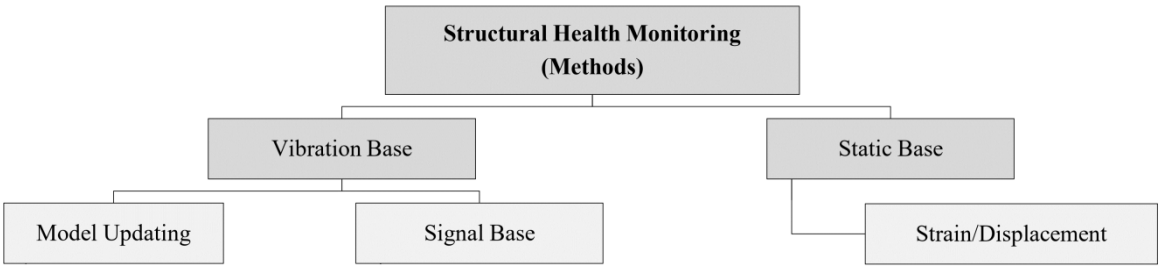
مثال‌هایی از حالات آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای	پارامترهای مناسب اندازه‌گیری
۱- افت پیش بارگذاری در اتصالات، شل شدن مفاصل (مثلا در توربین بادی)	تغییر مکان
۲- ترک خوردن مواد همگن ترک لایه‌ای در مواد لایه‌ای (کامپوزیت) ۳- تغییر شکل پلاستیک یا نفوذ خوردگی یا فرسایش در مواد همگن	تغییر مکان، شتاب، کرنش، جرم
۴-لایه‌لایه شدن (Delaminating)، شکستگی، جدایش (Debonding)	تغییر مکان، شتاب
۵- خزش /کمانش	تغییر مکان، کرنش، شتاب
۶- خوردگی/ اکسیداسیون	تغییر مکان، کرنش
۷- جدا شدن لایه‌ها، شکست لایه‌ها	
۸- ترک‌های ماتریسی	
۹- تغییرات ریز ساختاری (جوش) ترک‌های ریز	تغییر مکان، شتاب، دما

۲-۳-۳-۱-۶- تعیین و انتخاب روش و الگوریتم‌های ریاضی پایش سلامت

یکی از موارد بسیار مهم در طراحی سیستم پایش سلامت برای یک سازه مورد نظر، انتخاب استراتژی کلی و روش مناسب برای پایش آن می‌باشد. بطور کلی روش‌های مختلفی برای انجام پایش و تشخیص آسیب در سازه‌ها توسط متخصصین و محققین مختلف ابداع و ارائه شده و در حال حاضر نیز، این موضوع به عنوان یک آیتم تحقیقاتی در دنیا مطرح می‌باشد. هر یک از روش‌های معرفی شده برای پایش سلامت سازه‌ها دارای قابلیت‌ها، محدودیت‌ها و توانمندی‌های خاص خود بوده و از ابزارها، پارامترها و الگوریتم‌های خاص خود برای تشخیص آسیب‌ها استفاده می نماید. انتخاب روش مناسب برای پایش سلامت وابسته به نوع سازه، شرایط عملکردی، نوع بارهای وارده و مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه، نوع آسیب‌های محتمل و هدف پایش می‌باشد. روش‌های کلی برای پایش سلامت با رویکرد SHM بصورت نشان داده شده در شکل ۵-۲ دسته‌بندی می‌شوند. مطابق این شکل، روش‌های پایش سلامت به دو دسته کلی روش‌های استاتیکی و روش‌های دینامیکی (مبتنی بر ارتعاش[2]) تقسیم می‌شوند. در روش‌های استاتیکی، پایش سازه با استفاده از پارامترهای غیروابسته به زمان مانند دما، تغییر شکل‌های استاتیکی و یا تنش‌های اعضای سازه انجام می‌شود. به عنوان نمونه، با اندازه‌گیری کرنش یا جابجایی

[1] - Measurment Parameters
[2] - Vibration based

سازه تحت یک بار استاتیکی بزرگ و مشخص و با بهره‌گیری از به‌روزرسانی مدل المان محدود[1] سازه، تغییرات سختی و ظرفیت تحمل بار سازه را بررسی و پایش می‌نمایند. روش‌های پایش دینامیکی که مبتنی بر ارتعاش هستند، تغییرات خصوصیات ارتعاشی سازه (مانند فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی) و سیگنال‌های ثبت شده را نشانگر خسارت و آسیب در سازه می‌دانند. در حقیقت آسیب موضعی، خصوصیات فیزیکی سازه (سختی/ جرم) را تغییر می‌دهد که این امر خود سبب تغییر در مشخصات ارتعاشی و سیگنال‌های برداشت شده از سازه می‌شود. بنابراین با اندازه‌گیری و محاسبه خصوصیات ارتعاشی سازه و بررسی تغییرات آنها و یا با به‌روزرسانی مدل المان محدود سازه، وضعیت سازه ارزیابی و پایش می‌شود.



شکل ۵-۲: دسته‌بندی روش‌های مرسوم در پایش سلامت SHM

از منظر دیگر، روش‌های پایش سلامت سازه به دو روش آنلاین یا لحظه‌ای و آفلاین یا دوره‌ای دسته‌بندی می‌شود. در روش آنلاین، داده‌ها بصورت مداوم جمع‌آوری و در اختیار کاربر قرار می‌گیرند. این روش قابلیت برداشت و انتقال بی وقفه و پیوسته داده‌ها را دارد. در روش آفلاین، داده‌ها بصورت دوره‌ای ثبت و جمع‌آوری می‌شوند و دیتالاگرها حافظه محدودی برای ذخیره اطلاعات داشته و براساس بازه زمانی مورد نظر، داده‌ها را در خود ذخیره می‌کنند. بسته به اهمیت سازه‌ها، اندازه‌گیری و ثبت این داده‌ها می‌تواند به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و یا حتی در زمان‌های طولانی‌تر صورت بگیرد. در این روش، امکان دسترسی در زمان واقعی به داده‌ها وجود ندارد. از جمله انواع روش‌های ارائه شده برای پایش سلامت سازه‌های مختلف با رویکرد SHM، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- **روش‌های پایش سلامت مبتنی بر ارتعاش**

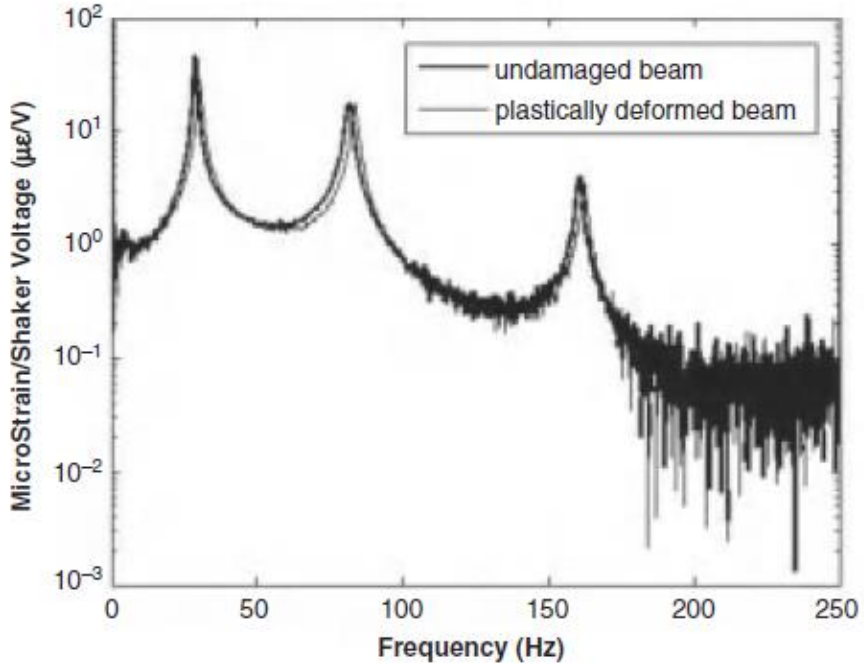
یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای پایش سلامت در سازه‌ها، روش‌های براساس ارتعاش[2] می‌باشند. بنیان این روش‌ها بر این واقعیت استوار است که برخی از پارامترها و ویژگی‌های ذاتی مرتبط با ارتعاش سازه‌ها، در اثر وقوع آسیب در اعضای سازه دچار تغییرات شده و با رصد و پایش این تغییرات، می‌توان آسیب وارده را شناسایی نمود. از این روش بطور گسترده در پایش وضعیت (CM) تجهیزات و ماشین‌آلات دوار و مرتعش در صنایع مختلف استفاده می‌شود. در این روش با محاسبه پارامترهای حساس به آسیب (فرکانس‌های طبیعی ارتعاش سازه، پارامترهای اطلاعات مودال شامل خمیدگی اشکال مودی، انرژی کرنشی مودال و نرمی مودال، میرایی و ضرایب

[1] - Model Updating
[2] - Vibration Based Methods

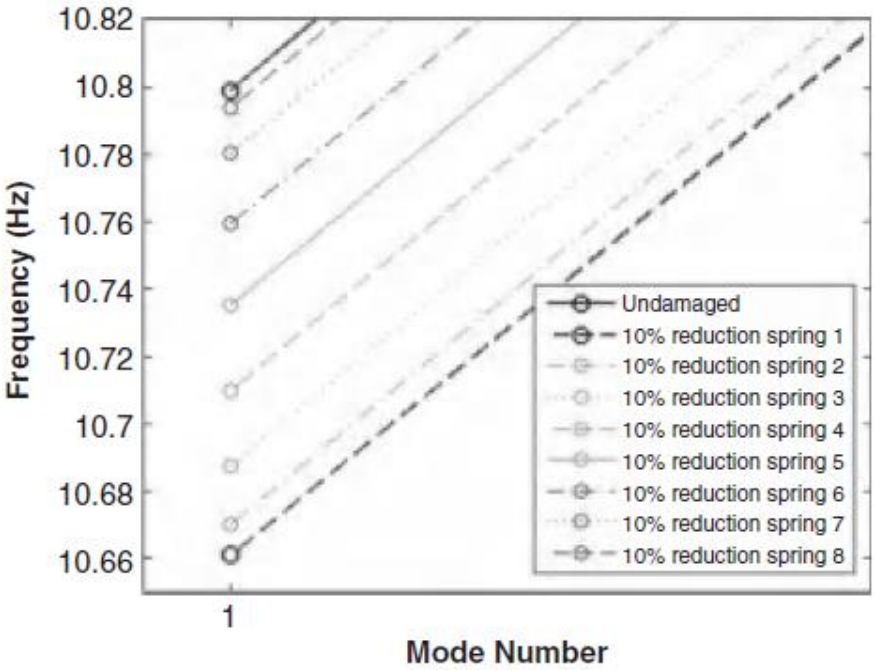
تبدیل موجک) با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای مناسب سازه (عمدتاً شتاب ناشی از ارتعاشات محیطی یا محرک‌های مرتعش) و اعمال تبدیلات و الگوریتم‌های ریاضی در فرآیند آنالیز داده‌ها، می‌توان وجود آسیب و محل و میزان آن (با الگوریتم‌های پیشرفته‌تر) را تعیین نمود. شکل ۶-۲ و شکل ۷-۲ نمونه‌هایی از تغییرات فرکانس‌های ارتعاشی سازه در اثر وقوع آسیب را نشان می‌دهند.

در این روش‌ها، شناسایی دقیق پارامترهای ارتعاشی سازه از جمله ملزومات اساسی می‌باشد که طی فرآیند شناسایی سیستم[1] انجام می‌شود. شناسایی سیستم، فرآیندی است که طی آن پارامترهای مشخصه یک سیستم دینامیکی بر اساس اطلاعات حاصل از آزمایش‌های تجربی تخمین زده می‌شود. الگوریتم‌های بسیار متنوع و مختلفی جهت شناسایی سیستم سازه با استفاده از داده‌های سنسورها توسط محققین ارائه شده است. پس از شناسایی سیستم و تعیین پارامترهای واقعی ارتعاشی سازه، وضعیت سازه به لحاظ وجود آسیب و تعیین مشخصات آن، با استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی قابل انجام می‌باشد که یکی از متداولترین این روش‌ها، به‌روزرسانی مدل[2] سازه است. هدف از به‌روزرسانی مدل، به حداقل رساندن اختلافات بین پارامترهای پیش‌بینی شده توسط مدل المان محدود و پارامترهای واقعی حاصل از شناسایی سیستم سازه است. با توجه به اینکه تغییر در مشخصات فیزیکی سازه موجب تغییر در پاسخ‌های آنها می‌گردد، ایده کلی روش‌های به‌روزرسانی جهت تشخیص آسیب بر این اساس استوار است. استفاده از این روش برای تشخیص سلامت و یا تعیین محل و شدت آسیب در سازه‌ها به این گونه است که پارامترهای مدل سازه‌ای نظیر جرم، سختی، میرایی، حداکثر دریفت یا جابه‌جایی سازه و یا پاسخ سازه به یک بار مشخص و مواردی از این دست، با روش‌های بهینه‌سازی طوری تغییر داده می‌شوند که پاسخ حاصل از مدلسازی سازه به پارامترهای پاسخ دینامیکی حاصل شده از سازه واقعی همگرا شود. در نهایت با مقایسه مدل همگرا شده به سازه واقعی (مدل به‌روزشده) و مقایسه آن با مدل سازه سالم، مشخصات آسیب‌ها قابل تعیین می‌باشند.

[1] - System Identification
[2] - Model Updating



شکل ۶-۲: فرکانس‌های ارتعاش طبیعی سیستم در دوحالت سالم و دارای خرابی (تغییرشکل پلاستیک)



شکل ۷-۲: تغییرات فرکانس طبیعی اول سیستم نسبت به میزان خرابی (کاهش سختی فنر)

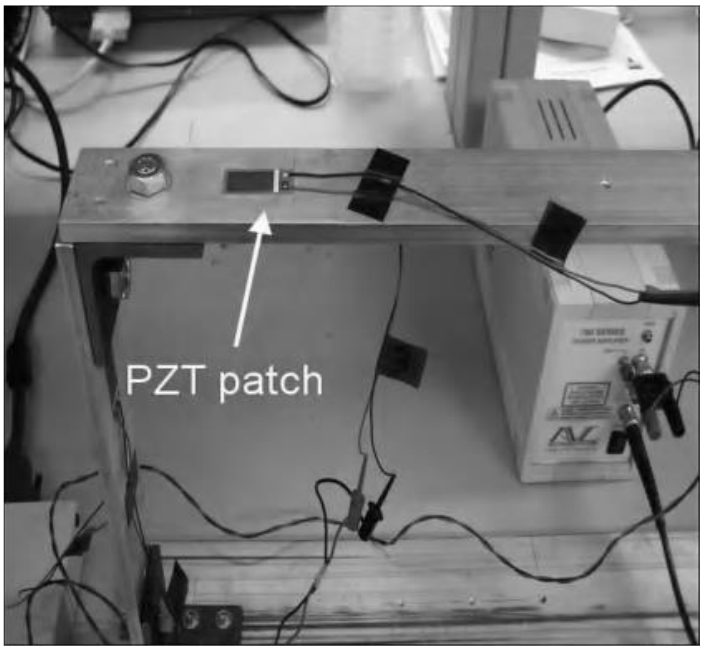
- **روش‌های پایش سلامت مبتنی بر انتشار موج**

در برخی از اعضای سازه‌ای می‌توان آسیب‌هایی نظیر ترک و لایه ای شده مصالح و خوردگی را با روش انتشار موج[1] شناسایی نمود. مبنای این روش، انتشار امواج هدایت‌شده[2] در جسم سازه در بخش‌های مورد نظر و بررسی تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های موج برگشتی آن می‌باشد. از جمله تکنیک‌های مورد استفاده در این روش که مورد استفاده زیادی هم در صنعت دارند، می‌توان به انتشار امواج صوتی[3] (AE) و امواج لمب[4] اشاره نمود. در روش AE انرژی بصورت امواج هدایت شونده الاستیک در جسم مورد نظر آزاد شده و پس از انتشار در جسم، باعث ارتعاش سطوح جسم شده و توسط سنسورهای پیزوالکتریک ثبت شده و به عنوان سیگنال AE شناخته می‌شود. سیگنال‌های AE در اثر وجود ترک یا آسیب‌های دیگر در مسیر انتشار خود دچار تغییراتی می‌شوند که با بررسی و تفسیر این تغییرات، وجود و ویژگی‌های آسیب تشخیص داده می‌شود. برخی مراجع این روش را در رده تست‌های غیرمخرب دانسته‌اند.

- **روش پایش سلامت مبتنی بر امپدانس**

اصل اساسی در این روش، رصد امپدانس الکترومکانیکی سازه است که با حضور آسیب، تغییر کرده است. در این روش از سنسورهای پیزوالکتریک PZT[5]، هم به عنوان محرک (اعمال کننده تحریک) و هم به عنوان سنسور استفاده می‌شود. (شکل ۸-۲) تحریک فرکانس بالا (بالاتر از ۳۰ کیلوهرتز) توسط یک محرک پیزوالکتریک به سطح عضو سازه‌ای اعمال شده و امپدانس سازه با اندازه‌گیری جریان و ولتاژ در سنسور پیزوالکتریک تعیین می‌شود. تغییرات امپدانس الکترومکانیکی نشان دهنده تغییر در سازه است که می‌تواند ناشی از وجود آسیب در آن باشد. این روش با استفاده از ویژگی‌های کوپلینگ الکترومکانیکی مواد پیزوالکتریک، توسعه داده شده است. با توجه به نیاز این روش به سنسور PZT با سایز کوچک، استفاده از آن برای پایش سلامت و تشخیص آسیب در سازه‌ها، به راحتی امکان‌پذیر است. کارکرد این روش در فرکانس های بالا است که آن را در شناسایی مراحل اولیه آسیب توانمند ساخته و توسط شرایط کار عادی، ارتعاشات، تغییر در ساختار و ... تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. در چنین فرکانس‌های بالا، طول موج تحریک کوچک است و به اندازه کافی حساس است تا تغییرات جزئی در سازه را تشخیص دهد. علاوه بر این، سیگنال‌های با فرکانس بالا برای تولید یک تحریک امپدانس مفید در سازه، به ولتاژ بسیار کم (کمتر از ۱ ولت) نیاز دارند. این روش پایش سلامت با موفقیت در انواع سازه‌های سبک استفاده شده است. با این حال، کارآیی این تکنیک برای سازه‌های بزرگ نیاز به بررسی و تحقیقات بیشتر دارد. [۵ و ۹۹]

[1] - Wane Propagatioin
[2] - Guided Wave
[3] - Acoustic Emission
[4] - Lamb Wave
[5] - Piezoelectric patches made of lead Zirconate Titanate

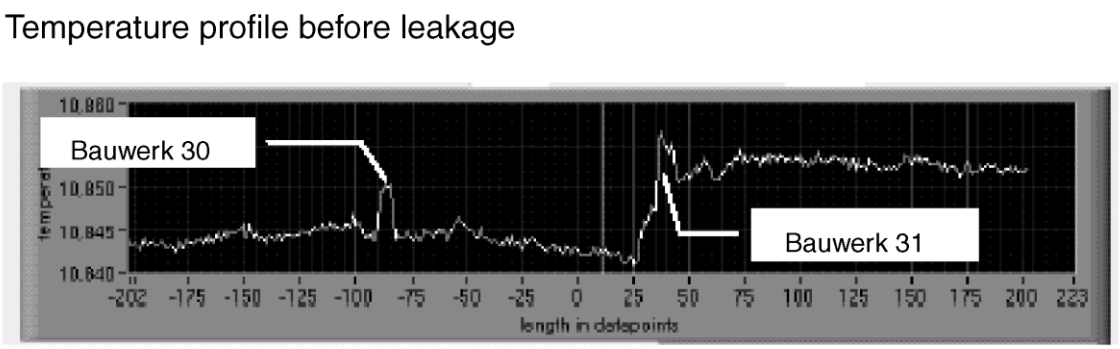


شکل ۸-۲: تشخیص آسیب در یک اتصال پیچی در مقیاس آزمایشگاهی با روش مبتنی بر امپدانس

- **روش پایش سلامت مبتنی بر تغییرات دما**

برخی از آسیب‌های موجود در سیستم‌های سازه‌ای را می‌توان با بررسی تغییرات دما آشکار نمود. نمونه بارز این حالت مربوط به تشخیص و آشکارسازی نشت در خطوط لوله انتقال مایعات (نفت) و گاز است. نشت در خطوط لوله مایعات باعث ایجاد یک نقطه داغ[1] و در خطوط لوله گازها باعث ایجاد یک نقطه سرد[2] در محل نشت می‌شود. با اندازه‌گیری و رصد تغییرات دما در طول خطوط لوله می‌توان وجود نشت و محل آنرا شناسایی نمود. نمونه‌های از این روش پایش در شکل ۹-۲ نشان داده شده است. نقاط مشخص شده در پروفیل دمای طول لوله در شکل، نقاط داغ (با دمای بالای موضعی) هستند که در اثر وقوع نشت ایجاد شده‌اند.

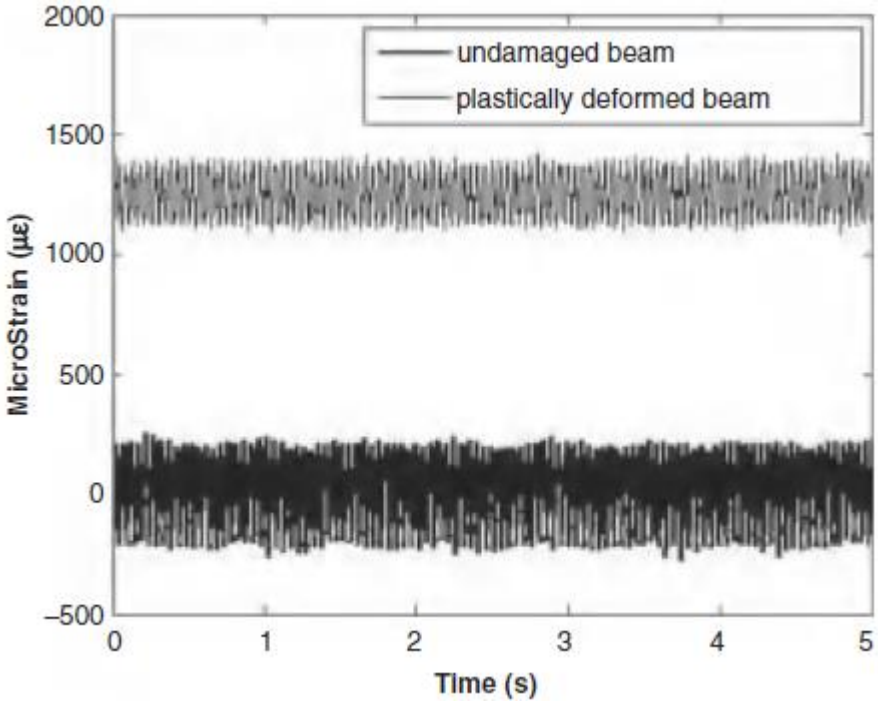
[1] - Hot Spot
[2] - Cold Spot



شکل ۹-۲: مشخص شدن محل نشت در خطوط لوله با پایش تغییرات دما

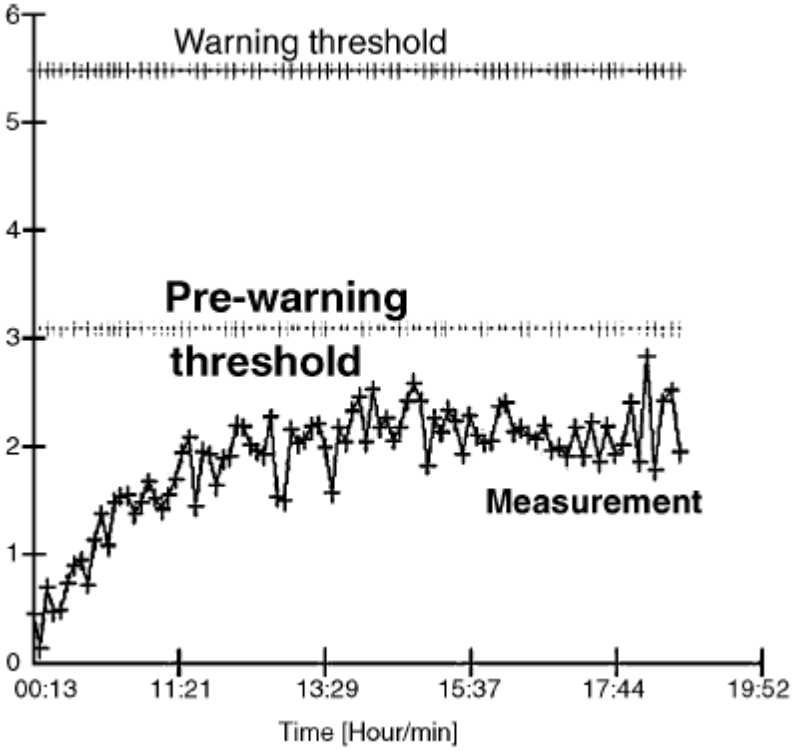
- **روش پایش سلامت مبتنی بر خواص مکانیکی**

ساده‌ترین تکنیک برای پایش یک سازه، اندازه‌گیری و رصد پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی و عملکردی آن است که در دسته روش‌های استاتیکی پایش سلامت سازه قرار می‌گیرد. این خواص که شامل تغییرمکان، کرنش، تنش و ... در بخش‌های بحرانی و حساس اعضای سازه است، مستقیماً با وضعیت عملکرد و مودهای خرابی سازه مرتبط بوده و با اندازه‌گیری آنها در طول زمان بهره‌برداری و بررسی تغییرات مقادیر آنها، می‌توان وقوع برخی از خرابی‌ها و آسیب‌ها را تشخیص داد. به عنوان نمونه در شکل ۱۰-۲، تغییر در تاریخچه کرنش اندازه‌گیری شده در یک تیر فولادی در حالت سالم و دارای آسیب (بصورت ایجاد تغییرشکل پلاستیک) نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۲: تغییر در تاریخچه کرنش در اثر خرابی (تغییرشکل پلاستیک)

یک کارکرد دیگر این روش پایش سلامت، جلوگیری از وقوع خرابی‌هایی است که شناخته شده بوده و بتوان آنها را با پارامترهای مکانیکی (مانند کرنش یا تغییرمکان) مرتبط نمود. به عبارت دیگر با مشخص نمودن و تعریف حدود مجاز برای مقادیر پارامترهای مکانیکی و عملکردی بر اساس معیارهای پذیرش کارکرد و معیارهای خرابی، رسیدن پارامترهای مذکور به مقادیر مجاز تعریف شده، توسط سیستم پایش آنلاین رصد و اعلام می‌گردد. نمونه‌ای از این سیستم در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است. در سیستم شکل زیر، تغییرمکان در یک نقطه بحرانی اندازه‌گیری شده و در صورت رسیدن به حدود مجاز تعریف شده، اخطارهایی توسط سیستم اعلام می‌شود.



شکل ۱۱-۲: تعریف محدوده‌های هشدار بر اساس اندازه‌گیری تغییرمکان

۲-۳-۳-۱-۷- طراحی شبکه سنسورها و سایر تجهیزات سخت‌افزاری

تعیین نوع، ویژگی‌ها، تعداد و محل نصب سنسورها برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر، یکی از مهمترین بخش‌های طراحی یک سیستم پایش سلامت سازه با رویکرد SHM است که با عنوان کلی طراحی شبکه سنسورها[1] شناخته می‌شود. انواع سنسورهای متداول در پایش سلامت سازه‌ها در بخش‌های بعدی این گزارش معرفی شده‌اند. تصمیم‌گیری در مورد تعداد و محل سنسورها باید به گونه‌ای باشد که بین مزایای اقتصادی سیستم مطلوب سنسورها و سیستم قابل اطمینانی که تاحدودی با سیستم مطلوب فاصله دارد تعادل برقرار سازد. در سیستم سنتی سنسورهای SHM تقریباً به طور انحصاری از روش‌هایی که سنسورهای نسبتاً کمی که معمولاً در یک شبکه تقریباً یکنواخت توزیع می شدند، استفاده می‌شد. در این حالت نگرانی اصلی این است که اگر یکی از سنسورها از کار بیافتد ممکن است سیستم دیگر برای تشخیص آسیب مناسب نباشد. با پیشرفت تکنولوژی MEMS[2] امکان افزایش حسگرها به صورت اقتصادی فراهم شده که نیاز به سیستم بهینه سنسورها را کاهش داده است.

بطور شهودی سنسورها باید نزدیک به محل‌های آسیب مورد انتظار قرار داشته باشند. با این حال، با توجه به تعداد پاسخ‌هایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند مواردی وجود دارد که ممکن است آسیب در آنها بیشتر در

[1] - Design of Sensor Network
[2]- Microelectromechanical Systems

مکان‌های دیگری رخ دهد. به عنوان مثال اگر ترک در انتهای گیردار تیره طره‌ای اتفاق افتد، سنسور شتاب‌سنج واقع در انتهای آزاد تیر که شتاب عمود بر محور تیر را اندازه می‌گیرد حساسیت بیشتری نسبت به آسیب تا شتاب‌سنج تعبیه شده در انتهای گیردار دارد. در مقابل کرنش‌سنج نزدیک به ترک در انتهای گیردار که تغییر شکل را در جهت طولی اندازه می‌گیرد حساسیت بیشتری نسبت به این آسیب تا کرنش‌سنجی که در انتهای آزاد تعبیه شده است، دارد. بنابراین تعیین روش شناسایی و مشاهده نوع آسیب مورد انتظار و اثرات معنی‌دار آنها بر روی ویژگی‌هایی که از مقادیر اندازه‌گیری شده در مکان‌های مبدل‌های انتخاب شده بدست می‌آیند، بسیار مهم است. با استفاده از تئوری کنترل به خوبی شناخته شده است که مشاهده یک سیستم اساساً بستگی به مکان سنسورها و ویژگی‌های مورد نظری دارد که باید استخراج شوند. به عنوان مثال اگر بخواهیم فرکانس تشدید یافته دوم سازه‌ای را اندازه بگیریم و از این متغیر به عنوان پارامتری برای تشخیص آسیب استفاده کنیم، نصب سنسور در نقطه مود دوم منجر به شکست چنین الگوریتمی می‌شود. مسائل مربوط به یکپارچه‌سازی محاسبات مشاهده‌پذیری آسیب موضعی[1] و تاثیر آن بر رفتارهای سازه با طراحی سیستم سنسورها، تاکنون در مطالعات SHM مورد توجه نبوده‌اند. با این حال مطالعاتی هستند [۱۰۰ و ۱۰۱] که از الگوریتم‌های ژنتیکی و یا شبکه‌های عصبی برای بهینه‌سازی بودجه مختص سنسورها، براساس معیارهای مشاهده‌پذیری آسیب، استفاده کرده‌اند. مراجع قبل از این دو، بهینه‌سازی شبکه مطمئن سنسورها را اینگونه مطرح می‌کردند که اگر در شبکه سنسورها یک سنسور از کار بیفتد باقی سنسورها به گونه‌ای عمل کنند که شبکه کلی هنوز قابلیت عملکرد درست و مناسب را داشته باشد. [۵] برای انتخاب مناسب نوع و نحوه قرارگیری سنسورها، محیط داده‌ها[2] نیز باید شناسایی شود. شرایط محیطی هم بر روی مشخصات آسیب‌ها تأثیر دارند و هم در انتخاب نوع و مشخصات داده‌هایی که باید اندازه‌گیری شوند، اثر می‌گذارند. به عنوان نمونه‌هایی از عوامل محیطی مرتبط با داده‌ها که در انتخاب سنسورها باید مورد توجه قرار گیرند، می‌توان به محدوده دامنه و فرکانس بارها و پاسخ‌ها، طبیعت داده‌ها (مثلاً استاتیکی یا دینامیکی)، محدوده دمای محیطی و عملکردی و وجود امواج صوتی و الکترومغناطیسی در محیط را نام برد. [۳]

همانگونه که ذکر شد روش‌های علمی مشخص و سیستماتیکی برای طراحی شبکه سنسورها وجود ندارد. البته مطالعات تحقیقاتی بر اساس الگوریتم‌های ژنتیکی و شبکه‌های عصبی برای طراحی بهینه سیستم سنسورها بر اساس معیارهای آسیب صورت گرفته است. اما بطور کلی شبکه سنسورها با توجه به قضاوت مهندسی بر مبنای شناخت رفتار سازه‌ای و عملکردی سازه طراحی می‌شوند. بنابراین یک متخصص SHM با توجه به شناختی که از رفتار، بارگذاری و تنش‌های موجود در سازه دارد می‌تولند از این الگوها و ترکیب آنها و همچنین انواع مختلف سنسورها برای طراحی مناسب شبکه سنسورها استفاده کند. همچنین تاکنون مطالعات گسترده‌ای برای سیستم پایش SHM در مورد سازه‌های مختلف نظیر پل‌ها، توربین‌ها، سدها، اجزاء ساختمان‌ها، تونل‌ها و شبکه لوله‌ها و ... صورت گرفته است که می‌توان از شبکه سنسورهای استفاده شده در آنها الگوبرداری کرد. بنابراین طراحی شبکه سنسورها باید با شناخت کامل و قضاوت درست مهندسی درباره اثرات معنی‌دار ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده توسط

[1] - Local Damage Observability
[2] - Data Environment

سنسورها صورت گیرد. تعداد سنسورهای مورد استفاده نیز باید برای نظارت بر عملکرد و سلامت سازه کافی باشند و با قضاوت و توجیه مهندسی می‌توان تعداد آنها را بهینه کرد. البته همانطور که ذکر شد با پیشرفت تکنولوژی MEMS امکان افزایش حسگرها به صورت اقتصادی فراهم شده که نیاز به سیستم بهینه سنسورها را کاهش داده است. همچنین با استفاده از سنسورهای الیاف طویل فیبر نوری (که انتظار می‌رود در آینده نزدیک تبدیل به تکنولوژی اصلی سنسورهای سیستم SHM شوند) نیز می‌توان پایش پیوسته و یکپارچه‌ای بر سازه داشت.

طراحی شبکه سنسورها باید توسط متخصصانی صورت گیرد که دانش کلی مهندسی سازه، مکانیک و شناختی از انواع سنسورها و مزایا، معایب آنها را داشته باشند. تاکنون سیستم سنسوری منحصراً به منظور پایش سلامت سازه‌ها رشد نیافته است. همچنین بیشتر تحقیقاتی که تاکنون در ارتباط با تکنولوژی پایش سلامت انجام گرفته‌است به طور کلی یا به بحث سخت‌افزاری مسأله که توسعه و پیشرفت سنسورهای مورد نیاز است می‌پردازد و یا به بخش نرم‌افزاری بررسی داده‌ها[1] می‌پردازد، [۲۰]. تحقیقات اندکی تاکنون توأمان به این دو مبحث سخت‌افزاری و نرم‌افزاری اختصاص یافته‌است، بنابر این توسعه تکنولوژی پایش سلامت سازه‌ها بایستی با در نظر گرفتن تمامی جوانب به‌طور همزمان انجام گیرد.

سیستم پایش سلامت سازه SHM علاوه بر سنسورها دارای تجهیزات سخت‌افزاری دیگری نیز می‌باشد که بسته به نوع سنسورهای مورد استفاده و روش منتخب برای پایش سلامت، باید طراحی و تعیین شوند. سایر بخش‌های سخت‌افزاری شامل کابل‌ها، واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs)، اتاق کنترل، کامپیوترهای سرور و سایر تجهیزات حفاظتی و تأمین انرژی مورد نیاز سیستم است که در بخش ۵-۳-۳-۲- این گزارش معرفی و ارائه شده‌اند.

۲-۳-۳-۱-۸- طراحی برنامه بهره‌برداری و نگهداری از سیستم پایش

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان شد، سیستم پایش شامل مجموعه‌ای از تجهیزات و ابزارها (سنسورها، محرک‌ها، سیستم‌های پردازنده داده‌ها و ...) است که در بخش ۵-۳-۳-۲- این گزارش معرفی و ارائه شده‌اند. خود این تجهیزات نیز بر حسب نوع و جنس آنها، در معرض خرابی بوده و نیازمند بازرسی و نگهداری می‌باشند. جهت حصول اطمینان از صحت کارکرد سیستم پایش لازم است که در مرحله طراحی، برنامه‌ای برای نگهداری از تجهیزات پایش و ارزیابی صحت عملکرد آنها پیش‌بینی و تهیه شود. ارزیابی صحت عملکرد تجهیزات سیستم پایش از دو جنبه سلامت خود تجهیز و صحت نصب و کارکرد آن باید مورد توجه قرار گیرد. از آنجا که اغلب سازه‌های متعارف عمرانی برای کارکرد در بازه‌ی زمانی حداقل ۲۵ تا ۵۰ سال طراحی می‌شوند، تجهیزاتی که برای پایش پیوسته و آنلاین سلامت سازه استفاده می‌شود باید عملکرد قابل اطمینانی در طول عمری مشابه طول عمر سازه‌ی اصلی داشته باشند. بنابر این یکی از چالش‌های پایش سلامت سازه‌ها، اطمینان از عملکرد صحیح و بدون خطای سنسورها و جلوگیری از اثر خستگی، ساییدگی و فرسایش روی تجهیزات (بخصوص سنسورها) و همچنین کالیبراسیون تجهیزات به‌کار رفته در طول عمر سازه است. علاوه بر اطمینان از صحت عملکرد تجهیزات پایش سلامت و بهینه‌سازی بهره‌برداری و نگهداری از آنها، مبحث امنیت اطلاعات (بخصوص در سیستم‌های انتقال

[1] - Data Interrogation

بی‌سیم داده‌ها) نیز بسیار مهم است. بعبارت دیگر باید احتمال اخلال در صحت اطلاعات ارسالی که می‌تواند منجر به قضاوت و تصمیمات نادرستی در ارتباط با وضعیت سلامت سازه‌ها گردد، به حداقل ممکن برسد.

۲-۳-۳-۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز

پس از طراحی سیستم پایش و مشخص شدن نوع، تعداد، محل و سایر مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز، سیستم طرح شده باید بر روی سازه نصب و راه‌اندازی شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرد. نصب و راه اندازی بطور کلی فعالیت‌های زیر را در بر می‌گیرد:

- تهیه و نصب سنسورها در محل‌های مشخص شده روی سازه
- استقرار تجهیزات جمع‌آوری و انتقال داده‌ها در محل‌های مشخص شده
- نصب اتصالات مورد نیاز میان سنسورها و سایر تجهیزات (کابل‌ها یا سیستم‌های بی سیم)
- نصب و راه‌اندازی نرم‌افزارهای مورد نیاز
- تست و کالیبراسیون سیستم گردآوری داده‌ها
- اجرای برنامه نگهداری و کالیبراسیون سیستم پایش بطور دوره‌ای

پس از نصب سنسورها، سایر تجهیزات اندازه‌گیری باید در محل‌های مربوط به خود (که می‌تواند در مجاورت سازه یا در مکانی دیگر باشد) مستقر شده و اتصال میان آنها با سنسورها جهت انتقال سیگنال‌های اندازه‌گیری شده، برقرار گردد. سنسورهای تهیه شده باید دارای تأییدیه های لازم از آزمایشگاه‌های معتبر بر اساس استانداردهای مربوطه بوده و دقت اندازه‌گیری و کالیبراسیون آنها نیز مورد نظر قرار گیرد. روش‌های مختلفی برای نصب سنسورها روی اعضای سازه‌ای وجود دارد (مانند استفاده از پیچ، انواع چسب‌ها و روش‌های مغناطیسی) که هریک دارای معایب و مزایای مختص به خود بوده و در جدول ۸-۲ ارائه شده‌اند. هریک از روش‌های نصب، محدودیت‌هایی برای اندازه‌گیری ایجاد می‌کنند که می‌بایست مورد نظر قرار گیرند.

جدول ۸-۲ : روش های مختلف نصب سنسورها به همراه مزایا و معایب آنها

روش (ابزار) نصب	محدوده فرکانسی (هرتز)	مزایای اصلی	معایب اصلی
دستی	20-1000	سرعت نصب	کیفیت ضعیف اندازه گیری برای پریودهای طولانی
بتونه	0-200	سهولت نصب، تنظیم مناسب راستا	محدوده فرکانسی کم، مشکلات ناشی از خزش
موم	0-2000	سهولت کاربرد	محدودیت ناشی از دما، وابستگی محدوده فرکانسی به ضخامت موم، محدودیت در تنظیم راستا
چسب	0-2000	سرعت نصب، تنظیم مناسب راستا	حساسیت به دما
مغناطیس	0-2000	سرعت نصب	نیاز به مواد مغناطیسی، محدودیت در تنظیم راستا، نیاز به آماده‌سازی سطح، مشکل در برابر تحریکات ضربه‌ای
لایه (فیلم) چسبنده	0-2000	سرعت نصب	محدودیت در تنظیم راستا، نیاز به سطح صاف

زمان زیاد عمل‌آوری	نصب در سطوح ناصاف، تنظیم مناسب راستا	0-5000	سیمان اپوکسی
زمان متوسط عمل‌آوری، ترد و شکننده	نصب در سطوح ناصاف، تنظیم مناسب راستا	0-5000	سیمان دندان
صعوبت نصب، نیاز به ضربه و متەزدن	دقت بالا در تنظیم راستا	0-10000	میخ و گل‌میخ

فارغ از روش انتخاب شده برای نصب سنسورها، نکات اساسی زیر (طبق شکل ۱۲-۲) باید در فرآیند نصب مورد توجه دقیق قرار گیرند: [۳]

۱. دوام[1] سنسورها در برابر شرایط محیطی برای حفظ کیفیت و دقت اندازه‌گیری با گذشت زمان:

- مقاومت در برابر شوک
- نصب در جلو یا پشت قطعه (سنسورهای نصب شده در وجوه مخفی، دوام بهتری دارند)
- مدفون کردن (مدفون کردن سنسور سبب افزایش دوام می‌شود)
- نصب با چسب یا گل‌میخ (شکل ۱۲-۲ a) (دوام گل‌میخ بهتر است ولی ممکن است در برخی حالات باعث خطای اندازه‌گیری شود)
- مقاومت کششی و برشی

۲. پایداری[2] سنسورها در برابر نیروها و عوامل محیطی و عدم تغییر مشخصات سنسور در طی زمان:
حساسیت به شرایط محیطی (دما، رطوبت)

- نصب در سطح صاف یا خمیده (شکل ۱۲-۲ b) (عدم انطباق سطح سنسور با سطح قطعه باعث ایجاد خطا می‌شود)
- خم‌شدن اعضای انعطاف پذیر
- کرنش در سطح عضو

۳. راستای[3] نصب و قرارگیری سنسورها برای اندازه‌گیری صحیح داده‌های مورد نظر:

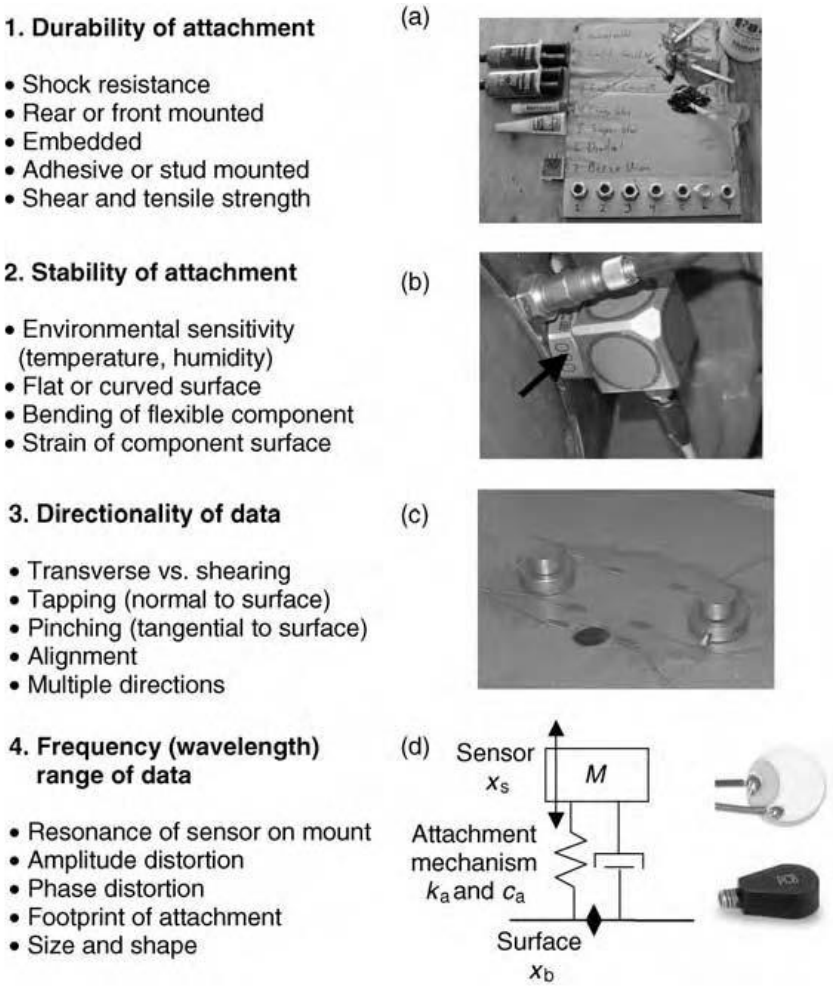
- جهت عمود (راستای محوری) یا برشی
- ضربه زدن (راستای داده در جهت عمود بر صفحه است) (شکل ۱۲-۲ c)
- فشرده شدن (راستای داده در جهت مماس بر صفحه است)
- تنظیم راستای سنسور
- اندازه‌گیری چندجهته

۴. محدوده فرکانسی[4] داده‌ها:

- تشدید (رزونانس) سنسور نصب شده با ارتعاش قطعه (شکل ۱۲-۲ d) باعث ایجاد خطا می‌شود.

[1] - Durability
[2] - Stability
[3] - Directionality
[4] - Frequency Range

- اعوجاج در دامنه پاسخ (در فرکانس‌های نزدیک به فرکانس تشدید سنسور و میرایی کم، دامنه پاسخ اندازه‌گیری شده بزرگتر از واقع خواهد بود)
- اعوجاج در زاویه فاز پاسخ (در فرکانس‌های نزدیک به فرکانس تشدید سنسور و میرایی زیاد، پاسخ نسبت به واقع با تأخیر فاز، اندازه‌گیری خواهد شد)
- آثار نصب (ردپای[1]) سنسور (که هرچه بزرگتر باشد، برای اندازه‌گیری داده‌های با فرکانس بالاتر ایجاد خطا می‌کند)
- سایز و شکل سنسور (اندازه بزرگ سنسور باعث خطا در اندازه‌گیری داده‌های با فرکانس بالا می‌شود)



شکل ۱۲-۲: نکات و الزامات قابل توجه در فرآیند نصب سنسورها

[1] - Footprint

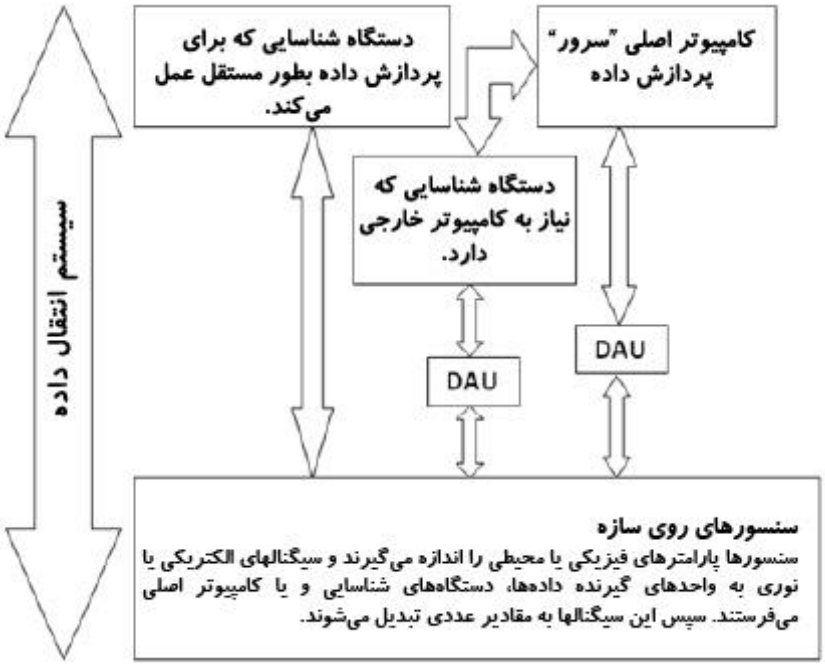
کمیت‌های اندازه‌گیری شده توسط سنسورها بصورت سیگنال‌های خام به تجهیزات جمع‌آوری داده‌ها[1] (گزارش‌گیر[2]، واحد گیرنده داده‌ها[3]، دستگاه شناسایی[4] و ...) ارسال شده و پس از تبدیل به داده‌های مهندسی، به کامپیوترها و تجهیزات پردازش داده‌ها جهت پردازش و آنالیزهای بعدی ارسال می‌شوند. شایان ذکر است که برخی از تجهیزات گردآوری داده‌ها (و حتی برخی از سنسورهای نوین) نیز توان انجام پردازش‌های ساده و اولیه روی داده‌ها را دارند. داده‌های حاصل از سنسورها می‌توانند بصورت سیگنال‌های آنالوگ (پیوسته در زمان) یا دیجیتال (گسسته در زمان) نمونه‌گیری و تولید شوند. داده‌های دیجیتال به دلیل محدودیت‌های خود خطاهای بیشتری در فرآیند اکتساب داده‌ها وارد می‌کنند ولی با توجه به سهولت بیشتر در پردازش آنها، نسبت به داده‌های آنالوگ ترجیح داده می‌شوند. در صورت استفاده از سیگنال‌های آنالوگ، یک فرآیند پردازش اضافی جهت تبدیل این سیگنال‌ها به داده‌های دیجیتال با استفاده از مبدل‌های مربوطه، باید صورت گیرد.

داده‌های خام حاصل از اندازه‌گیری‌ها بسته به هدف و روش انتخاب شده برای پایش، باید مدیریت گردد. مدیریت داده‌ها شامل فعالیت‌هایی نظیر پردازش‌های مقدماتی، انتقال، ذخیره‌سازی و بازیابی می‌شود که هریک از اینها نیازمند تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص خود می‌باشند.

یکی از نکات مهم و قابل توجه در مبحث اکتساب داده‌ها، اطمینان از صحت آنها از طریق به حداقل رساندن انواع خطاهای محتمل وارد شده در فرآیند اکتساب داده‌ها است. تغییرپذیری[5] و خطاهای اندازه‌گیری بر پردازش و آنالیز داده‌ها تاثیر می‌گذارد که خود منجر به ایجاد عدم‌قطعیت[6] و نادرستی در اطلاعات پایش سلامت سازه می‌شود. این عدم قطعیت‌ها باید مشخص[7] شده و آثار آنها در بخش پردازش و تفسیر داده‌ها با استفاده از مدل‌های احتمالاتی لحاظ شوند. تغییرپذیری و خطاها می‌توانند اندازه‌گیری‌هایی را که برای پایش سلامت استفاده می‌شوند تحریف کنند. در فرآیند اندازه‌گیری باید تا حد امکان اثرات تغییرپذیری داده‌های خام قبل از آنالیز آنها کاهش داده شود. اندازه‌گیری‌های متناوب برای تعیین و تشخیص تغییرات سلامت اجزاء باید صورت گیرد. اندازه‌گیری‌هایی که برای تشخیص بارگذاری و خرابی استفاده می‌شوند معمولاً به صورت غیرمستقیم انجام می‌شوند. به عبارت دیگر سنسورهای زیادی برای اندازه‌گیری مستقیم بارها و خرابی طراحی نشده‌اند (سنسورهای خوردگی یکی از انواع اندک سنسورهایی هستند که خرابی را به طور مستقیم اندازه می‌گیرند). در عوض سنسورهای کرنش، شتاب و انواع دیگر سنسورها، متغیرهایی را که می‌توان برای استنتاج اطلاعات بارگذاری و آسیب از آنها استفاده کرد را اندازه می‌گیرند. اندازه‌گیری می‌تواند به صورت آفلاین و یا آنلاین صورت گیرد. در روش آنلاین اطلاعات لازم از چندین سنسور بصورت همزمان و در زمان واقعی دریافت و ذخیره می‌شود. دیتالاگرهای آنلاین وابسته به حافظه داخلی نبوده و اطلاعات را بصورت دائم به سرور منتقل می‌کنند. در این روش داده‌ها بصورت مداوم جمع‌آوری و در اختیار کاربر قرار می‌گیرند. این روش قابلیت برداشت و انتقال بی‌وقفه و پیوسته داده‌ها را دارد. روش پایش آفلاین اصطلاحاً یک روش پایش سطح پایین و مناسب سازه‌های با اهمیت

[1] - Data Acquisition System
[2] - Data Logger
[3] - Reading Unit
[4] - Interrogator
[5] - Variability
[6] - Uncertainty
[7] -Characterize

پایین برای برداشت اطلاعاتی است که بصورت لحظه‌ای موردنیاز نیستند. در این روش، از زمان شروع به کار سازه، اطلاعات به صورت دوره‌ای ثبت می‌شود. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط دیتالاگرهای آفلاین لحظه‌ای نبوده و مربوط به روزهای گذشته هستند. روش‌های پایش سلامت در حالت ایده‌آل از اندازه‌گیری‌های آنلاین که بصورت زمان واقعی[1] و یا نزدیک به زمان واقعی عملکرد اجزاء انجام می‌شوند، استفاده می‌کنند. اندازه‌گیری‌های آنلاین (و همچنین آفلاین) دارای مشکل تغییرپذیری ناشی از محیط اندازه‌گیری و خطاها در کانال اندازه‌گیری هستند. کانال اندازه‌گیری شامل تمام سخت‌افزارها و سیستم‌های دریافت داده‌هاست که برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. [۳] در شکل ۱۳-۲ روش‌های مختلف انتقال سیگنال از سنسورها برای پردازش داده‌ها در سیستم گیرنده داده‌ها ارائه شده است.



شکل ۱۳-۲: فلوچارت سیستم گیرنده داده‌ها با حالات مختلف انتقال و پردازش سیگنال از سنسورها به بخش پردازش داده‌ها

۲-۳-۳-۳- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها

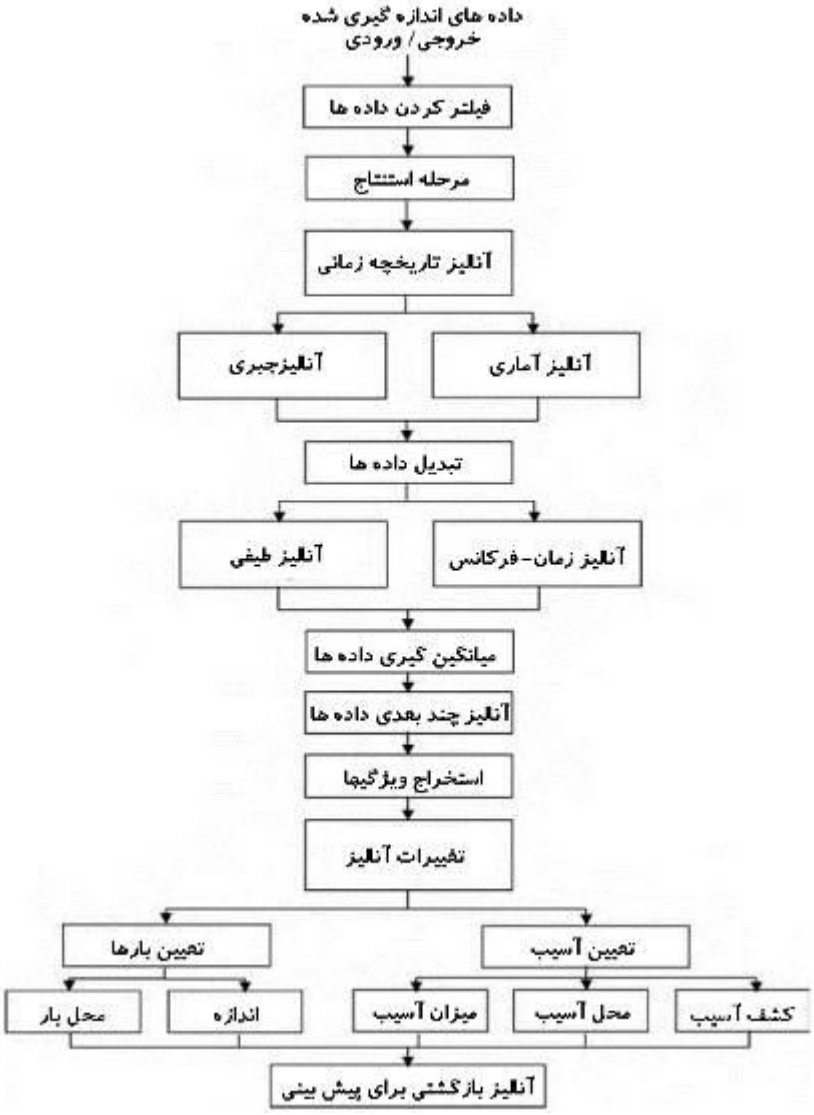
در مرحله آنالیز، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و پردازش شده و بررسی ویژگی‌ها، الگوها و تغییرات آنها، پاسخ‌های مورد نیاز در کلیه نقاط سازه محاسبه شده و هدف مورد نظر از پایش (تشخیص یا پیش‌بینی خرابی) محقق می‌گردد. با مقایسه اطلاعات و پاسخ‌های بدست آمده با الگوهای پاسخ در سازه سالم (و یا با الگوریتم‌های دیگر)، وقوع آسیب در سازه تشخیص داده می‌شود. همانطور که در شکل ۴۹-۲ مشاهده می‌شود، ورودی‌های این بخش داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سیستم حسگرها است و خروجی آن تعیین وجود یا عدم وجود، مکان و

[1] - Real Time

میزان بارها و آسیب در سازه است که نهایتاً با استفاده از آنها عملکرد آینده سیستم پیش بینی می‌شود. در پایان این مراحل، بارگذاری و آسیب تشخیص داده می‌شود و سپس رشد خرابی پیش‌بینی می‌شود. [۳]

در فرآیند آنالیز داده‌ها، باید به حداقل رساندن خطاهای اطلاعات مانیتورینگ سلامت، مورد نظر قرار داشته باشد. خطاها در داده‌های اندازه‌گیری شده از طریق پروسه آنالیز داده‌ها پخش می‌شوند. منظور از پخش خطاها در پروسه آنالیز سعی در به حداقل رساندن خطاها در مراحل مختلف آنالیز است اما همانطور که در زیر مجموعه‌های این بخش مشاهده خواهید کرد در بعضی مراحل خطاهای اجتناب ناپذیری وارد پروسه آنالیز می‌شوند. بنابراین استفاده از اصطلاح پخش خطا در اینجا مناسب‌تر از کاهش خطا است. مراحل و چارچوب آنالیز داده‌ها در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است. در شکل مذکور تمام مراحل آنالیز داده‌ها به طور کلی ارائه شده است. انتخاب اینکه در پردازش و آنالیز داده‌ها از کدام نوع آنالیز استفاده شود و یا بخشی از مراحل ذکر شده حذف و یا خلاصه شود به نظر و قضاوت مهندسی متخصص SHM در هر پروژه بنا بر وسعت، اهمیت و شناختی که از سازه دارند بستگی دارد. [۳]

در ادامه نیز توضیحاتی در مورد مهمترین روندهای آنالیز و تفسیر داده‌ها که در فرآیند پایش سلامت سازه‌ها استفاده می شوند، ارائه شده است.



شکل ۱۴-۲: فلوچارت آنالیز داده‌ها برای پایش سلامت سازه (SHM) [۳]

۲-۳-۳-۱- پردازش و تمیز کردن داده‌ها

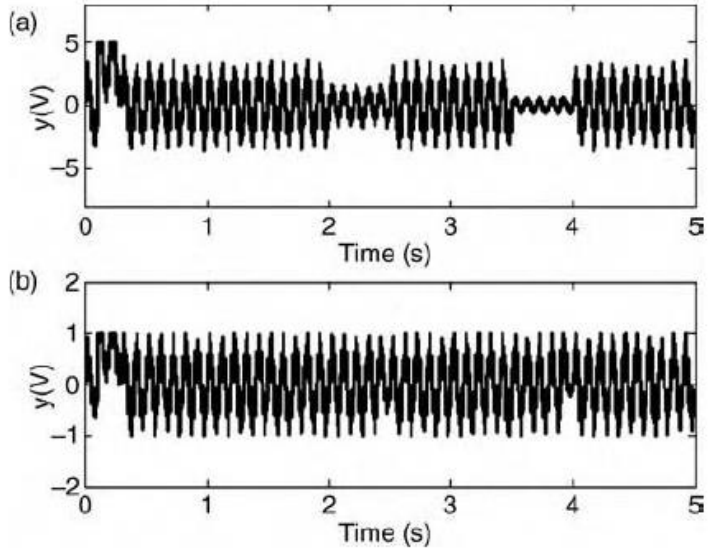
هدف از پردازش داده‌ها، آماده سازی و حصول داده‌های قابل اطمینان برای انجام تفسیر و آنالیزهای مورد نیاز در تشخیص و پیش‌بینی خرابی است. اقدامات متداول پردازش داده‌ها شامل فعالیت‌هایی نظیر نرمالایز کردن[1]، تمیز کردن[2]، کاهش[3] و یکپارچه کردن[4] داده‌ها می باشند. به مجموعه اقدامات فوق بطور کلی، پردازش سیگنال[5] نیز اطلاق می‌شود. نرمالایز کردن داده‌ها به منظور حذف تأثیرات حاصل از شرایط محیطی و عملکردی سازه بر

[1] - Normalization
[2] - Cleansing
[3] - Reduction
[4] - Fusion
[5] - Signal Proccesing

داده‌های اندازه‌گیری شـــده، صـــورت می‌گیرد. فرآیند تمیز کردن به فعالیت‌های نظیر فیلتر کردن، حذف داده‌های پرت و نامتعارف، ترمیم داده‌های از دســـت رفته، حذف نویزها و ... اطلاق می‌شـــود. کاهش داده‌ها نیز عبارت از کاهش حجم آنها بوده و به منظور ایجاد سهولت در انجام تفسیرها و محاسبات بعدی، با استفاده از روش‌هایی نظیر میانگین‌گیری[1] و ... انجام می‌گیرد. یکپارچه‌کردن داده‌ها نیز به فرآیند یکی کردن داده‌های حاصـــل از آرایه سنسورهای مختلف اطلاق می‌شود. برخی از سنسورهای جدید، خود توان انجام برخی از پردازش‌های ساده را دارند. [۴]

یک فیلتر هرگونه تابع وزنی اســـت که بر روی بخش خاصـــی از داده‌ها متمرکز می‌شـــود و یا بخش دیگری از داده‌ها را در نظر نمی‌گیرد. به عنوان نمونه در شـــکل ۱۵-۲(a) دامنه ســـیگنال در حدود زمان ۰/۲ ثانیه به حد اشباع 5V رسیده که این اشباع شدگی ناشی از محدودیت‌های مبدل آنالوگ به دیجیتال بوده اســـت. ازاینرو یک فیلتر ســـاده به این رکورد داده‌ها اعمال شـــده تا داده‌های واقع در بازه زمانی صـــفر تا ۰/۵ ثانیه حذف شوند. همچنین دو بخش با دامنه کم (به دلیل خطای اندازه‌گیری) نیز در این سیگنال فیلتر شده و سپس، دامنه پاسخ‌ها به مقدار ماکزیمم خود نرمالایز شده‌اند که سیگنال حاصله در شکل ۱۵-۲(b) ارائه شده است. فیلتر انواع مختلفی به شرح زیر دارد:

- فیلتر زمانی: مثلاً بلوک خاصی از داده‌های نامطلوب را حذف می‌کنند.
- فیلتر از نقطه نظر فرکانسی: توابع وزنی هستند که به دامنه و فاز داده‌های آنالوگ و دیجیتال اعمال می‌شوند و داده‌های با فرکانس خاص را مشخص می‌کنند.
- فیلتر سه بعدی (فضایی): تابعی که داده‌ها را از نظر اندازه‌های متفاوت براساس قواعدی که گروه خاصی از داده‌ها را مشخص می‌کند، وزن می‌دهد.



شکل ۱۵-۲: a :) تاریخچه زمانی با اضافه بارگذاری و بخش‌های مختلفی از پاسخ سازه با دامنه کم b) داده‌های فیلتر و نرمالایز شده به حداکثردامنه پاسخ [۳]

[1] - Averaging

فیلتر و نرمالایز کردن داده‌ها قابلیت پردازش داده‌ها را بهبود می‌بخشد. با این کار داده‌هایی که به نحوی نامطلوب هستند با نظر و قضاوت مهندسی متخصص حذف می‌شوند. به عنوان مثال در آنالیز داده‌ها برای پایش سلامت معمولاً داشتن دامنه ثابت برای داده‌های اندازه‌گیری در تشخیص آسیب و اهداف دیگر مناسب‌تر است. [۳]

۲-۳-۳-۳-۲- شناسایی بارها

در روش‌های تعیین بارها[1] برای تخمین بارهای خارجی و داخلی از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود. برای نظارت بر سلامت سازه (SHM) نیروهای داخلی باید تخمین‌زده شوند، زیرا این نیروها منجر به آغاز و رشد آسیب می‌شوند. تعیین نیروهای خارجی نیز در پایش سلامت سازه مفید است زیرا اطلاعات درباره این بارها معمولاً کاربران را قادر خواهد ساخت تا تصمیم درستی راجع به عضو سازه‌ای بگیرند. مدل‌های متعدد فیزیکی و یا بر پایه داده‌ها برای تشخیص بارها استفاده می‌شود. اما کلی‌ترین روش تشخیص بارها ارتباط بارهای نامشخص به متغیرهای پاسخی است که قابل اندازه‌گیری است. در موارد نادری بارها بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. معمولاً بارها بصورت غیرمستقیم و با استفاده از پاسخ اندازه‌گیری شده و بعضی از مدل‌ها تخمین‌زده می‌شوند.

تخمین خطاها: یکی از مسائل اساسی در شناسایی و تعیین بارها خطاهای مدل و اندازه‌گیری است که منجر به ایجاد خطا در تخمین بارها می‌شود. برای کاهش این خطاها اندازه‌گیری‌های تشخیصی با استفاده از داده‌ها و سنسورهای متعدد انجام می‌شود.

بهینه‌سازی الگوریتم‌های تعیین بارها: الگوریتم مورد استفاده برای تعیین بارها بستگی به نوع بار و اندازه‌گیری‌های موجود دارد. الگوریتم‌ها ترکیبی از عملیات ریاضی و قیودی بر پایه فرضیات درباره بارگذاری هستند. همانند تمام مسائل معکوس که متغیر نامشخص با استفاده از متغیرهای مشخص تعیین می‌شوند، الگوریتم‌های تخمین بارگذاری باید برای تامین نتایج دقیق و یکتا[2] بطور مناسبی بهینه‌سازی شده باشند. بهینه‌سازی الگوریتم تخمین بارها بستگی به طبیعت بار مورد نظر و روش اندازه‌گیری مورد استفاده برای تخمین آن دارد. به عنوان مثال برای شناسایی بارهای متمرکز وارده بر یک تیر بارگذاری شده در چندین نقطه، اندازه‌گیری تغییرمکان و شیب در نقاط اعمال بارها باید انجام شود. روش جایگزین برای کاهش تعداد نقاط اندازه‌گیری، استفاده از روش‌های تکراری[3] در ترکیب با دانش پیشین[4] درباره بارگذاری و جزء مورد بررسی است. مثالی از این روش برای تخمین بار ضربه‌ای وارد بر یک سیلندر کامپوزیتی، تنها با استفاده از اندزه‌گیری پاسخ شتاب در انتهای سیلندر، در [۳] ارائه شده است.

۲-۳-۳-۳-۳- استخراج ویژگی‌ها

[1] - Load Identification
[2] - Unique
[3] - Iterative Methods
[4] - Priori Knowledge

پس از آنالیز داده‌های خام، پارامترهای مهمی که استخراج می‌شوند تحت عنوان ویژگی‌های[1] سازه شناخته می‌شوند که می‌توان با استفاده از آنها درباره طبیعت بارگذاری و آسیب در عضو نتیجه‌گیری کرد. استخراج ویژگی[2] عبارت است از عملیات شناسایی خصوصیات حساس به آسیب در سازه و استخراج آنها از داده‌های پاسخ دینامیکی اندازه‌گیری شده که این امکان را به کاربر می‌دهد تا سازه را آسیب دیده و یا سالم معرفی کند. عموماً روش‌های استخراج ویژگی شامل مراحل مقایسه داده و یا ترکیب داده می‌شوند. از آنجا که ویژگی‌های مستخرج شده از پاسخ‌های سازه از طریق انجام عملیاتی ساده بر روی تاریخچه زمانی پاسخ، حاصل می‌شوند و نیازی به فرضیات مدل فیزیکی نیست، به این روش‌ها مبتنی بر داده می‌گویند. در یک کلام، اساس این روش‌ها این است که "بگذارید داده‌ها خودشان صحبت کنند". استخراج ویژگی‌ها به روش‌های متعددی صورت می‌گیرد. انتخاب هر یک از این روش‌ها، بستگی به نوع سازه موجود و تجهیزات در دسترس دارد. هر کدام از روش‌ها با توجه به کارایی‌ها و شرایط خاص خود، در علوم مهندسی مختلف محبوبیت پیدا کرده است. بدیهی است که هر یک از روش‌ها مزایا و معایب مختص خود را دارد. این محدودیت‌ها گاهاً در بطن تئوری روش مشخص است و گاهاً هنگام برداشت خروجی‌ها از روش، کاربر متوجه این محدودیت‌ها می‌گردد. بنابراین توصیه می‌گردد علاوه بر توجه به تئوری و ریاضیات روش، خروجی‌های به دست آمده توسط مبناها و منابع و روش‌های دیگر کنترل گردد و صرفاً به خروجی به دست آمده از یک روش اتکا نگردد.

دو روش اصلی استخراج ویژگی‌ها وجود دارد:

۱- روش‌های بر پایه مدل‌ها، که به نوعی از مدل‌ها برای تخمین پارامترها استفاده می‌کنند که سپس پردازش می‌شوند و از آنها به عنوان ویژگی‌های سازه استفاده می‌شود. بطور کلی ویژگی‌هایی که از این روش‌ها بدست می‌آید، اطلاعات معنی‌دارتر فیزیکی درباره بارگذاری و آسیب را تامین می‌کنند. به هر حال این ویژگی‌ها در کاربردهایی که کاربر دانش قبلی از بارگذاری و آسیب داشته باشد مناسب‌تر هستند.

۲- روش‌های بر پایه سیگنال‌ها که ویژگی‌ها را بطور مستقیم از سیگنال‌ها بدون اعمال هیچگونه عملیات جبری بر داده‌ها استخراج می‌کند. این روش هنگامی که درک درستی از بارگذاری و آسیب قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها در دسترس نباشد مفید است.

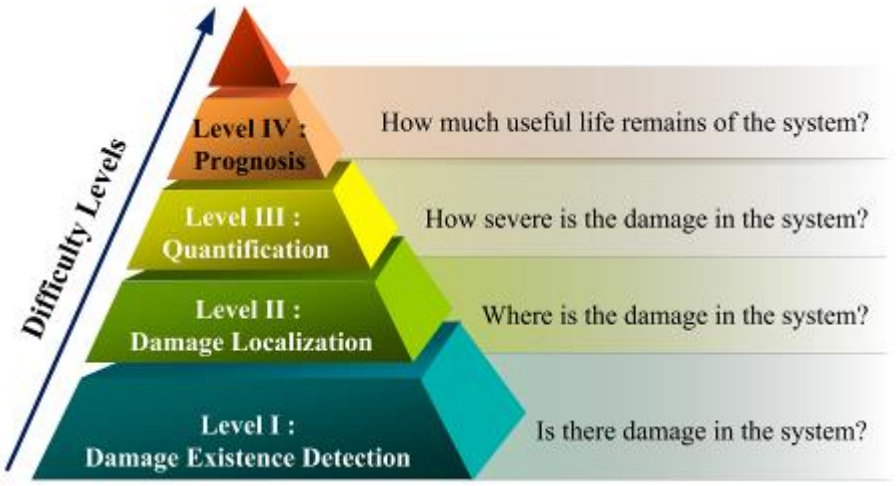
۲-۳-۳-۳-٤- تشخیص و شناسایی آسیب

این بخش شامل مراحل به شرح زیر است:

- کشف و آشکارسازی آسیب (Damage Detection)
- تعیین محل آسیب (Damage Localization)
- تعیین میزان آسیب (Damage Quantification)
- پیش‌بینی گسترش آسیب و تخمین عمر باقیمانده (Damage Prognosis)

[1] - Features
[2] - Feature Extraction

بسته به اینکه سیستم پایش سلامت شامل کدامیک از مراحل فوق باشد، سطوح مختلفی را میتوان برای آن تعریف نمود. سطح ۱ که شامل تنها مرحله اول است، ساده‌ترین سطح و سطحی که شامل تمام مراحل فوق است، پیچیده‌ترین سطح پایش سلامت است. (شکل ۱۶-۲)



شکل ۱۶-۲: سطوح مختلف پایش سلامت سازه (SHM)

- **آشکارسازی آسیب**

گاهی طبیعت آسیب به صورت موضعی، همانند ترک‌خوردگی، است که تشخیص خرابی را در محدوده‌ای از عضو با حسگرهای محدود مشکل می‌سازد. در موارد دیگری نیز آسیب به صورت سرتاسری است مانند اکسید شدن که مناطق وسیعتری از عضو را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بعضی از انواع آسیب باعث تغییرات خطی در پاسخ عضو می‌شود و فرم‌های دیگر منجر به تغییرات غیرخطی می‌شوند. هر دو این تغییرات باید برای تشخیص آسیب در نظر گرفته شوند. در برخی کاربردهای آشکارسازی[1] آسیب هنگامیکه عضو سازه‌ای خارج از چرخه بهره‌برداری باشد راحت‌تر است. مثالی از این حالت می‌تواند دیسک‌ها در مورد توربین‌های گازی باشد. در کاربردهای دیگری نیز امکان دارد آسیب از روی داده‌های اندازه‌گیری شده هنگام بارگذاری عضو قابل مشاهده تر باشد. محدوده مشخص شده برای تشخیص رفتار جزء سالم یا ناسالم در الگوریتم تشخیص آسیب، حداقل میزان آسیب قابل تشخیص را تعیین می‌کند. در این محدوده‌ها هم محدودیت‌های فیزیکی برای تشخیص آسیب‌های کوچک و هم محدودیت‌های اندازه‌گیری به دلیل ارتعاشات که می‌تواند وجود آسیب را پوشش دهد، باید در نظر گرفته شود. این محدودیت‌ها با یکدیگر احتمال تشخیص آسیب را تعیین می‌کنند.

روش‌های تشخیص وجود آسیب در سازه‌ها را می‌توان در دو دسته کلی به شرح زیر قرار داد:

۱- روش‌های مبتنی بر مدل: روش‌های شناسایی سیستم‌های سازه‌ای[2] و به‌روزرسانی مدل[3]

[1] - Detection
[2] - Structural System Identification
[3] - Model Updating

۲- روش‌های مبتنی بر داده: روش‌های تشخیص الگوها[1]

در هریک از دسته روش‌های فوق، الگوریتم‌ها و تکنیک‌های مختلفی با استفاده از پارامترهای گوناگون، برای شناسایی آسیب‌های مختلف قابل استفاده می‌باشند که در ادامه، توضیحات مختصری در مورد هریک از آنها ارائه شده‌اند.

روش‌های مبتنی بر مدل، از مدل ریاضی سازه استفاده می‌کنند. در این روش‌ها، وضعیت سلامت سازه با مقایسه رفتار واقعی سازه (حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی) و رفتار مورد انتظار از سازه (حاصل از مدل ریاضی سازه) تخمین زده می‌شود. این روش‌ها، قابلیت تشخیص مکان، شدت و توسعه (پیش‌بینی) آسیب را دارند. همچنین، به طور کلی کاربر را ملزم به داشتن دانشی عمیق از رفتار سازه می‌کنند و معمولاً شامل یک مدل دقیق المان محدود متناسب با وضعیت سالم سازه می‌باشند. در واقع، تطبیق یک مدل اجزای محدود (یا یک مدل تحلیلی) به داده‌های برداشت شده از تعداد محدودی سنسور در یک سیستم SHM، کار ساده‌ای نیست. برای دستیابی به این هدف، بسیاری از پارامترهای فیزیکی باید از طریق روند بهینه‌سازی تنظیم شوند. علاوه بر این، تلاش انسانی/ محاسباتی قابل توجهی مورد نیاز می‌باشد (برای به‌روزرسانی مدل المان محدود). همچنین، محدودیت در انتخاب پارامترهای به‌روزرسانی به دلیل شرایط نامساعد[2] مساله چالش برانگیز است. زیرا که با پیچیده شدن سازه، به پارامترهای به‌روزرسانی بیشتری نیاز می‌شود که در صورت محدودیت تعداد آنها، عملکرد روش در تشخیص آسیب کاهش می‌یابد. در روش‌های شناسایی سیستم‌های سازه‌ای، برخی از مشخصات ذاتی سازه نظیر جرم و سختی و ... که مجهول هستند، با استفاده از داده‌های پاسخی اندازه‌گیری شده و توسط الگوریتم‌های آنالیز معکوس[3]، تعیین شده و بر اساس آن، مشخصات سازه شناسایی می‌شود. با انجام فرآیند شناسایی سازه در طول زمان و بررسی تغییرات ایجاد شده می‌توان آسیب‌های ایجاد شده را تشخیص داد. شناسایی سیستم، فرآیندی است که طی آن پارامترهای حاکم بر یک سیستم دینامیکی بر اساس اطلاعات حاصل از آزمایش‌های تجربی تخمین زده می‌شوند. امروزه شناسایی سیستم بر اساس آنالیزهای دینامیکی تجربی به دانشی فراگیر با هدف تعیین مشخصات دینامیکی سازه‌های مهندسی تبدیل شده و کاربردهای متنوعی از این مسئله در مهندسی عمران، برق، مکانیک و هوا فضا مورد توجه قرار گرفته است. چنانچه سیستم مورد نظر یک سیستم سازه‌ای باشد و داده‌های تحریک-پاسخ سازه به عنوان اطلاعات ورودی-خروجی سیستم تلقی شوند، در این صورت پارامتر حاکم بر سیستم شامل ماتریس‌های جرم، سختی و میرایی و همچنین پارامترهای مودال شامل فرکانس‌های طبیعی، نسبت‌های میرایی و اشکال مودی سازه خواهند بود. روش‌های شناسایی سیستم سازه‌ای را می‌توان به دو دسته کلاسیک و غیرکلاسیک تقسیم‌بندی نمود. روش‌های شناسایی کلاسیک عمدتاً در حوزه‌های زمان یا فرکانس صورت می‌گیرند و روش‌های غیرکلاسیک مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری می‌باشند. روش‌ها و الگوریتم‌های کلاسیک و غیرکلاسیک مختلفی جهت شناسایی پارامترهای فیزیکی و مودال سازه توسط محققین ارائه شده است که مهم‌ترین آنها در جدول ۹-۲ ارائه شده‌اند. بررسی صحت و یا سلامت و شناسایی آسیب در سازه از دو مرحله تشکیل شده است. مرحله اول شامل استخراج خصوصیات دینامیکی سازه یا همان شناسایی

[1] - Pattern Recognition
[2] - Ill-condition
[3] - Inverse Analysiss

سیستم است. در دومین مرحله ارتباط بین خصوصیات دینامیکی یافته شده و ویژگی‌ها در دو حالت مختلف بررسی و مقایسه می‌شود. با فرض یکی از حالت‌های سازه به عنوان حالت اولیه یا آسیب ندیده، حالت‌های دیگر و در فاصله‌های زمانی مختلف با آن مقایسه می‌شود. با تفسیر تغییرات سازه می‌توان محل‌ها و شدت‌های نسبی آسیب را تعیین نمود. یکی از رویکردهای متداول برای تشخیص آسیب‌های سازه‌ها پس از انجام شناسایی سیستم، به‌روزرسانی مدل اجزای محدود سازه است. روش‌های مبتنی بر به‌روزرسانی مدل در واقع یک نوع مسئله بهینه‌یابی است. استفاده از این رویکرد برای تشخیص سلامت سازه‌ها و یا تعیین محل و شدت آسیب در سازه به این گونه است که پارامترهای مدل سازه‌ای نظیر جرم، سختی و میرایی، با روش‌های بهینه‌سازی طوری تغییر داده می‌شوند تا پاسخ حاصل از مدلسازی سازه به پاسخ دینامیکی ثبت شده از سازه واقعی همگرا شود یا اینکه مشخصات دینامیکی مدل سازه به مشخصات شناسایی شده سازه واقعی همگرا شود. در نهایت با مقایسه مدل همگرا (به‌روز) شده به سازه واقعی و مقایسه آن با سازه سالم، که خود نیز می‌تواند از پیش در دست باشد و یا نیازمند یک تحلیل به‌روزرسانی دیگر باشد، تشخیص آسیب انجام می‌شود. روش‌های به‌روزرسانی مدل را می‌توان به دو نوع کلی روش‌های به‌روزرسانی مدل قطعی و روش‌های احتمالاتی طبقه‌بندی کرد. از آنجا که می‌توان با استفاده از داده‌های SHM، هر تغییر در ویژگی سازه را مورد بررسی قرار داد، از این داده‌ها می‌توان برای به‌روزرسانی پارامترهای مدل استفاده کرد. هدف از به روزرسانی مدل، به حداقل رساندن اختلافات بین پیش‌بینی‌های مدل المان محدود و مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری یا محاسبه شده در سازه واقعی است. با توجه به اینکه تغییر در مشخصات فیزیکی سازه موجب تغییر در پاسخ‌های آنها می‌گردد، ایده کلی روش‌های به‌روزرسانی جهت تشخیص آسیب بر این اساس استوار است. در واقع طی روندی معکوس می‌توان با استفاده از پاسخ‌ها به جزئیات تغییرات فیزیکی مدل که به عنوان خرابی شناخته می‌شود پی برد. بنابراین پاسخ‌های ثبت شده از سازه آسیب دیده تابعی از خرابی ایجاد شده در سازه می‌باشند. یعنی هر آسیب ایجاد شده یک پاسخ منحصر بفرد ایجاد می‌کند که با داشتن پاسخ می‌توان آسیبی را که منجر به پاسخ منحصر به فرد شده است؛ جستجو کرد. روش‌های مختلفی برای به‌روزرسانی مدل سازه توسط محققین ابداع و ارائه شده که مهم‌ترین آنها در جدول ۹-۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۹-۲ : روش‌های مختلف شناسایی سیستم و به‌روزرسانی مدل اجزای محدود سازه

روش	هدف
الگوریتم تحقق سیستم ویژه (EAR)	شناسایی سیستم سازه
فیلتر مشاهده‌گر کالمن	
الگوریتم تحقق تعمیم‌یافته (GRA)	
تکنیک تحریک طبیعی	
مدل ARMA	
شناسایی زیرفضای تصادفی (SSI)	
تجزیه دامنه فرکانسی (FDD)	
تحلیل مودال عملیاتی (OMA)	
تحلیل مودال تجربی (EMA)	
الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی	به‌روزرسانی مدل اجزای محدود سازه

به حداقل رساندن باقیمانده	
به‌روزرسانی احتمالاتی بیزین	
روش‌های مبتنی بر تحلیل حساسیت	
دستکاری مدل دامنه خطا	
Enhanced Cross-Model Cross-Mode	

روش‌های مبتنی بر داده، بجای مدل فیزیکی سازه، مبتنی بر داده‌های آماری هستند. این روش‌ها، برای تشخیص مکان آسیب مناسب‌تر هستند (با تحلیل داده‌های برداشت شده) ولی قابلیت تخمین شدت آسیب را ندارند. روش‌های تشخیص الگو اساساً مبتنی بر پردازش سیگنال و بررسی الگوهای موجود در سیگنال‌ها و مقایسه الگوهای شرایط سالم و آسیب دیده، می باشند. الگوریتم‌های تشخیص شروع آسیب با استفاده از اطلاعات قبلی درباره نحوه پاسخی که عضو سالم به محرک‌های فعال و یا عملی می‌دهد، تنظیم می‌شوند. ساخت مدل آماری با استفاده از یکی از دو روش یادگیری با نظارت (ناظر[1]) و یادگیری بدون نظارت[2] انجام می‌شود. در برخی روش‌های تشخیص آسیب، اساس اندازه‌گیری‌ها بر پایه انبوهی از داده‌های بدست آمده از اعضای سالم مشابه با عضو مورد بررسی که برای تنظیم الگوریتم تشخیص آسیب استفاده شده است، می‌باشد. به این روش‌ها، روش‌های ناظر می‌گویند زیرا همواره مقایسه پیوسته‌ای بین داده‌های جدید حاصله و داده‌های بدست آمده از یک و یا چندین عضو سالم انجام می‌شود. به عنوان مثال برخی تکنیک‌های آماری از تغییرات متغیرهای آماری در پاسخ‌های تاریخچه زمانی اندازه‌گیری شده قبل و بعد از آسیب برای تشخیص وجود آسیب استفاده می‌کنند. همچنین در برخی موارد از روش‌های ناظر برای تشخیص آسیب از مشاهدات تغییرات در پارامترهای مدل زمانی گسسته[3] و بازیابی پیش‌بینی نیروها استفاده می‌شود. روش‌های ناظر نیازمند اندازه‌گیری داده‌ها در عضو قبل از آسیب دیدن آن هستند. با این حال اگر عضو قبل از نصب سخت افزار اندازه‌گیری سیستم SHM آسیب دیده باشد، آنگاه الگوریتم‌های نظارت بر سلامت تنها می‌توانند پیشرفت آسیب موجود را تشخیص دهند. یادگیری ناظر اشاره به روش‌های کلاسبندی مانند ماشین بردار پشتیبان[4] (SVM) و شبکه‌های عصبی دارد. در یادگیری با نظارت زمانی امکان ساخت مدل آماری وجود دارد که ویژگی‌های حساس به آسیب[5] (DSFs) دو حالت سالم و آسیب دیده موجود باشند. در روش‌های دیگر تشخیص آسیب، رفتار عضو سالم با استفاده از فرضیات فیزیکی درباره اینکه پاسخ یک عضو سالم چگونه باید باشد، تنظیم می‌شود. این روش‌ها به نام روش‌های غیرناظر شناخته می‌شوند، زیرا از فرضیات اولیه درباره سالم بودن و یا ناسالم بودن عضو استفاده می‌کنند. این روش‌ها مخصوصاً در مواردی مفید و مناسب هستند که پایش یا مانیتورینگ سلامت سازه بر روی اعضایی انجام می‌شود که قبلاً نصب شده و مدتی از زمان عملکرد آنها می‌گذرد و حداقل آسیب‌هایی در آنها رخ داده است. آسیب‌ها با استفاده از روش‌های غیر ناظر در صورت فقدان داده‌های سالم که بتوان داده‌های جدید را با آنها مقایسه کرد، قابل تشخیص هستند. به عنوان مثل اگر فرض شود که یک عضو در حالت سالم و قبل از

[1] - Supervised
[2] - Unsupervised
[3] - Discrete Time Model
[4] - Support Vector Machine
[5] - Damage Sensitive Features

بدست آمدن هر گونه اطلاعات اندازه‌گیری شده باید رفتار خطی داشته باشد و نتایج داده‌های اندازه‌گیری پاسخ‌های هارمونیک غیر خطی را نشان دهند، نشانه‌ای از وجود آسیب در عضو است. در روش‌های مبتنی بر داده، قسمتی که بیشترین توجه را به خود جلب کرده و بیشترین تحقیقات را متوجه خود ساخته است، استخراج ویژگی‌ها است. بسیاری از روش‌های داده محور در ادبیات فنی، نیازمند دوره‌های طولانی آموزشی، به عنوان خط مبنا می‌باشند که در طی آن فرض می‌شود سازه در وضعیت سالم قرار دارد، یعنی بر اساس روش‌های یادگیری با نظارت آماری[1] هستند. چنین فرضی همیشه درست یا حتی ممکن نیست. از یک طرف، بیشتر عملیات SHM روی سازه‌های مسن انجام می‌شود، که ممکن است در حال حاضر تغییرات سازه‌ای را تحمل کرده و یا حتی آسیب دیده باشند. از طرف دیگر، ممکن است از سازه‌های تازه ساخته شده، مجموعه داده کافی جهت ایجاد مبنای سالم، موجود نباشد. تشخیص آسیب، روشی برای تفکیک انحرافات قابل توجه یک سازه از شرایط مبنای اولیه آن است.

از جنبه دیگر، روش‌های تشخیص آسیب در سازه‌ها به دو دسته روش‌های استاتیکی و روش‌های دینامیکی تقسیم می‌گردد. در روش‌های استاتیکی با تکیه بر اندازه‌گیری کرنش و جابجایی سازه تحت اثر بارهای استاتیکی مشخص و استفاده از مدل المان محدود به روزشده، اقدام به تعیین تغییرات در تغییرشکل‌ها، سختی و ظرفیت مقطع حمل بار سازه‌ها می‌نمایند. این گونه روش‌ها به صورت گسترده‌ای برای نظارت و ارزیابی سلامت پل ها استفاده می‌شود. از معایب روش‌های غیر مخرب استاتیکی می‌توان به مواردی چون نیاز به حجم انبوه از داده‌های اندازه‌گیری شده، نیاز به مدل المان محدود به روز شده با مشخصات دقیق مصالح، نیاز به تست بار استاتیکی که موجب ایجاد توقف در سرویس دهی سازه می‌شود، اشاره کرد. از این رو امروزه روش‌های دینامیکی بیشتر مورد توجه قرار دارند. روش‌های دینامیکی مبتنی بر بررسی تغییرات مشخصات ارتعاشی (دینامیکی) سیستم سازه هستند. اساس تئوری این روش، در این حقیقت نهفته است که خرابی و آسیب موجب تغییرات در مشخصات دینامیکی سازه می شوند. این روش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- روش‌های بر پایه سیگنال: با به کارگیری رویکردهای مناسب پردازش سیگنال اقدام به شناسایی خرابی می‌کنند.
- روش‌های بر پایه مودال: این روش‌ها بر اساس مشخصه‌های مودال از جمله فرکانس‌های سازه، نسبت میرایی و ویژگی‌های شکل‌های مدی می‌باشند. از آنجا که مشخصه‌های مودال نسبت به تغییرات در سازه حساس می‌باشند، دارای قابلیت آشکارسازی خیلی ساده برای به کارگیری هستند.

- **مکان‌یابی آسیب**

برای مکان‌یابی[2] آسیب باید آنالیز چند بعدی (فضایی) انجام شود. روش‌های متفاوتی از جمله: انتشار موج با استفاده از طیف نگاره[3]، انحنای شکل مودها و ... برای مکان‌یابی آسیب وجود دارد که تمام این تکنیک‌ها از داده‌های بیش از یک مکان فضایی برای مکان‌یابی استفاده می‌کنند. از نقطه نظر سیستمی مکان‌یابی آسیب تشخیص این است که آسیب در چه عضوی رخ داده و از نقطه نظر عضو تشخیص این که آسیب در چه نقطه‌ای از عضو رخ داده است. مکان‌یابی آسیب در مواردی که پیش‌بینی رشد آسیب مد نظر است بسیار مهم است. مکان

[1] supervised statistical learning
[2] - Localization
[3] - Spectrogram

آسیب موجود بخش اعظمی از نیروهای خارجی و داخلی که اندازه و گسترش آسیب را افزایش می‌دهند، تعیین می‌کند. مثلاً برای تشخیص اینکه ترک‌خوردگی در تیر چقدر سریع پیشرفت می‌کند مکان آن باید مشخص شود.

- **تعیین میزان آسیب**

منظور از تعیین میزان[1] آسیب تخمین پارامتر معنادار فیزیکی است که سطح آسیب را مشخص کند. برای تعیین میزان آسیب، همواره باید ابتدا نوع آسیب طبقه‌بندی شود تا سطح آسیب با استفاده از مدلسازی ارزیابی شود. چون اغلب طبیعت آسیب غیرخطی است. وجود تغییرات غیرخطی در تعیین میزان آسیب می‌تواند مفید باشد. با ارزیابی تغییرات به صورت پاسخ غیرخطی می‌توان سطح خرابی را اندازه گرفت.

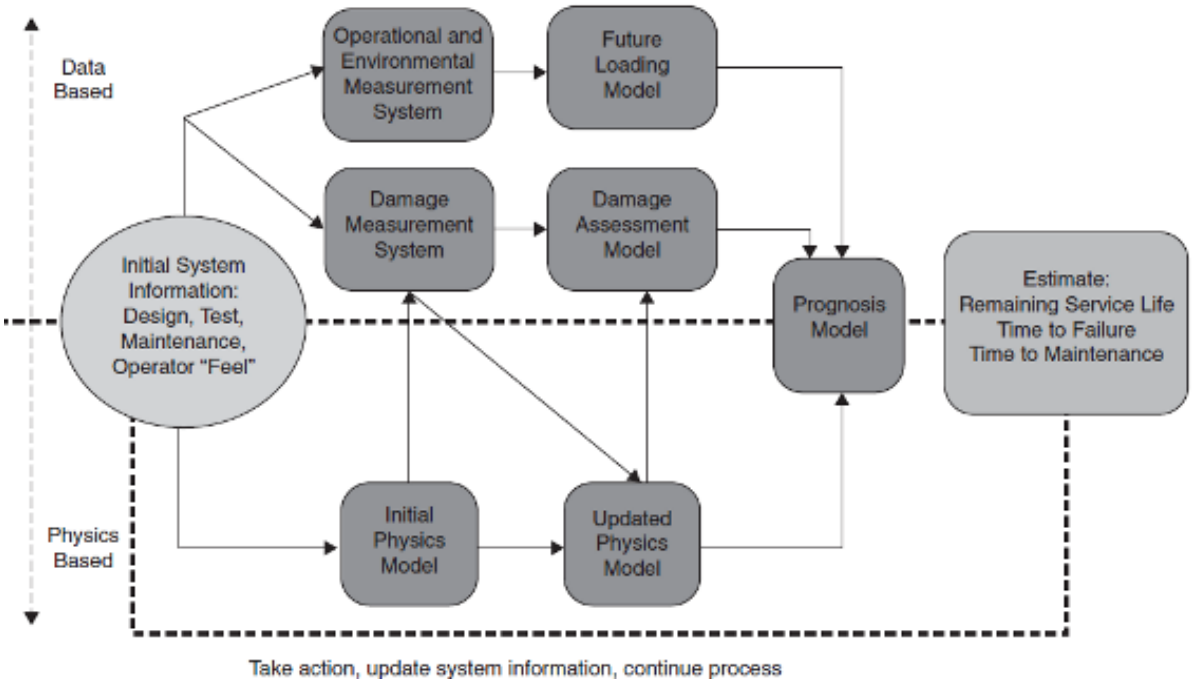
۲-۳-۳-٤- پیش‌بینی آسیب و تخمین عمر باقیمانده

بطور کلی پیش‌بینی آسیب[2] با هدف تخمین عمر مفید باقیمانده تجهیزات و سازه‌ها انجام می‌شود. روند تخمین عمر باقیمانده سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از دانش پیش‌بینی آسیب شامل فعالیت‌هایی نظیر تعریف کمّی خرابی سیستم، ارزیابی وضعیت آسیب‌های فعلی سیستم، تخمین روند رشد آسیب‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی مناسب و مبتنی بر تخمین بارگذاری و شرایط محیطی آینده سیستم و ارزیابی عملکرد سازه آسیب‌دیده در طی زمان آینده می‌باشد. پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها نیازمند اطلاعات ورودی گسترده‌ای از قبیل وضعیت عملکرد و بارهای محیطی در گذشته، حال و تخمین آینده، آسیب‌های موجود (توسط سیستم پایش سلامت)، فرضیات اولیه طراحی، تست‌ها و فرایند تعمیر و نگهداری انجام شده، می‌باشد. فرآیند پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها اساساً دارای طبیعت آماری می‌باشد. فرآیند پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها علاوه بر تخمین عمر مفید باقیمانده، در پیش‌بینی عملکرد سازه تحت بارها و شرایط فوق‌العاده (مانند زلزله) نیز قابل استفاده می‌باشد. [۵]

فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب و اجزای اصلی آن در شکل ۱۷-۲ نشان داده شده است. در این شکل، فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در دو بخش کلی مبتنی بر مدل فیزیکی[3] و مبتنی بر داده[4]، تقسیم‌بندی و ارائه شده است. این فرایند با جمع‌آوری اطلاعات اولیه سیستم[5] از جمله آزمایش‌ها و تحلیل‌هایی که در طی روند طراحی سازه انجام شده و همچنین اطلاعات در دسترس مربوط به فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، آغاز می‌شود. این اطلاعات برای توسعه مدل‌های اولیه عددی مبتنی بر فیزیک برای سازه و همچنین توسعه و طراحی سیستم اندازه‌گیری برای تشخیص آسیب و پایش شرایط عملیاتی و محیطی استفاده می‌شود. از مدل‌های مبتنی بر فیزیک برای تعیین ویژگی‌های لازم برای سیستم اندازه‌گیری نیز استفاده می‌شود. در ادامه فرآیند و با اکتساب داده‌ها از سیستم‌های اندازه‌گیری، از آنها برای اعتبارسنجی و به‌روزرسانی مدل‌های مبتنی بر فیزیک استفاده می‌شود. همچنین از داده‌های سنسورهای محیطی برای توسعه مدل‌های مبتنی بر داده، که غالباً ماهیت احتمالی دارند، استفاده می‌شود که بارهای محتمل وارد بر سازه در آینده را پیش‌بینی می‌کنند. خروجی‌های حاصل از مدل بارگذاری آینده، فرآیند SHM (تشخیص آسیب) و مدل مبتنی بر فیزیک به‌روزشده، همگی به یک مدل

[1] - Quantification
[2] - Damage Prognosis (Prediction)
[3] - Physics Based
[4] - Data Based
[5] - Initial System Information

پیش‌بینی‌کننده[1] وارد می‌شوند که روند انتشار آسیب و عمر باقیمانده سازه را به عنوان تابعی از زمان ادامه بهره‌برداری سازه، تخمین می‌زند. یک نکته کلیدی که در شکل ۱۷-۲ نشان داده شده، این است که مدل‌های مختلفی باید در فرآیند پیش‌بینی آسیب استفاده شوند و همچنین، بخش‌های مبتنی بر داده و مدل فیزیکی کاملا مستقل از هم نبوده و برای اخذ بهترین نتیجه، باید به همراه هم بکار روند. این ترکیب از مدل‌های فیزیکی و مبتنی بر داده، اصلی‌ترین وجه تمایز سیستم دارای قابلیت پیش‌بینی آسیب از سیستم ساده SHM است: قابلیت به‌روزرسانی پیش‌بینی عمر باقیمانده بر اساس داده‌های جدید و تغییر در وضعیت آسیب سیستم. در نهایت، فرآیند ارائه شده بصورت تکراری (با تکیه بر ارزیابی آسیب جدید و اعتبارسنجی دقت پیش‌بینی گذشته برای بهبود پیش‌بینی‌های آینده انجام می‌شود.



شکل ۱۷-۲: فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها [۵]

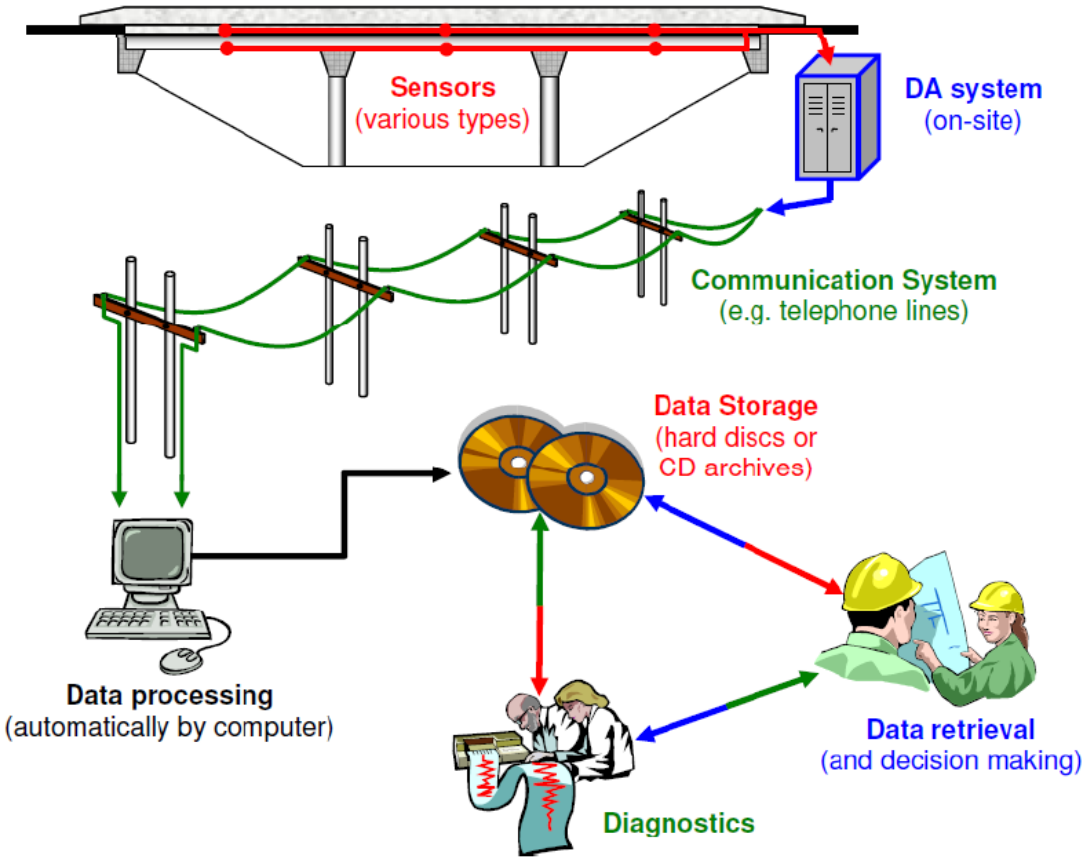
هر نوع اطلاعات بارگذاری و آسیب برای پایش سلامت سازه مفید است. این نوع اطلاعات به عنوان راهنمای بازرسی، نگهداری، محاسبه‌ای، کاربردی و بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما به منظور پیش‌بینی عملکرد آینده سازه، اطلاعات بارگذاری و آسیب با استفاده از اطلاعات دیگری که وابسته به عملکرد جزء هستند باید ترکیب شوند. مدل‌های بازگشتی عموماً برای ایجاد این روابط که برای پیش‌بینی استفاده می‌شود، بکار می‌روند. مدل‌های رگرسیون (بازگشتی) برای پایش سلامت سازه (SHM) از مدل‌های پارامتریک برای ارتباط دادن یک و یا چند متغیر که به عملکرد جزءها تاثیر دارند، استفاده می‌کنند. معمولاً از دو نوع مدل‌های بازگشتی استفاده

[1] - Prognosis Model

می‌شود. یک نوع از این مدل‌ها رشد آسیب با چند پارامتر را توضیح می‌دهد که برای پیش‌بینی سطح آسیب در آینده مفید هستند. نوع دوم مدل‌های بازگشتی توضیح می‌دهند که چگونه عملکرد یک جزء وابسته به یک و یا چند پارامتر است که برای پیش‌بینی اینکه آیا عضو در آینده عملکردی در سطح قابل قبولی خواهد داشت یا خیر و همچنین تخمین عمر مفید باقیمانده سیستم مفید است. مدل‌های بازگشتی می‌توانند با استفاده از روش‌های بر پایه اصول فیزیکی و یا برپایه داده‌ها تعریف شوند. بطور کلی روش‌های بر پایه اصول فیزیکی هنگامیکه اطلاعات زیادی درباره مکانیزم خرابی خاصی و یا بارگذاری خاص مد نظر است استفاده می‌شوند. مدل‌های فیزیکی برای گسترش مدل‌های بازگشتی براساس مفاهیم فیزیکی استفاده می‌شوند. برعکس روش‌های بر پایه داده‌ها منحصراً بر پایه استفاده از داده‌های آزمایشگاهی است که داده‌های مرتبط با آسیب یا بارگذاری را به داده‌های عملکردی مرتبط می‌سازند، این مدل‌ها در مواردی که طبیعت آسیب و یا معیار عملکرد نامشخص است استفاده می‌شوند.

۲-۳-۳-۵- تجهیزات سخت‌افزاری مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها

سیستم پایش سلامت سازه‌ها (SHM) شامل مجموعه‌ای از سنسورها، در صورت امکان مواد هوشمند، تجهیزات ارسال داده‌ها، تجهیزات محاسباتی و پردازش داخلی سازه‌ها است. شکل ۱۸-۲ اجزای اصلی یک سیستم پایش سلامت سازه (در اینجا پل) را نشان میدهد: [۱۴]



شکل ۱۸-۲: اجزای اصلی سیستم پایش سلامت سازه

سیستم‌های تجاری SHM موجود شامل بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. بخش‌های سخت افزاری شامل سنسورها، کابل‌ها، واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs)، کامپیوترهای سرور و سایر تجهیزات حفاظتی و انتقال نیرو سیستم است. بخش نرم‌افزاری شامل سیستم‌های تبدیل داده‌های آنالوگ به دیجیتال، نرم‌افزارهای نظارت بر کنترل و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA)، پیش پردازش و پردازش اتوماتیک داده‌ها مانند تراکم، تبدیل و نگهداری مجموعه داده‌های دریافت شده، که با استفاده از الگوریتم‌های خاص پردازش و آنالیز طراحی شده‌اند، نرم‌افزار بایگانی، تهیه نسخه پشتیبان بصورت دوره‌ای، ذخیره مداوم داده‌ها، نرم‌افزارهای هماهنگ‌سازی آنلاین داده‌ها همچنین انتقال داده‌ها از طریق شبکه برای سیستم‌های بیسیم می‌باشد.

در جدول ۱۰-۲ اجزای اصلی سخت‌افزاری تشکیل دهنده یک سیستم SHM و نقش هریک از آنها به اختصار توضیح داده شده است.

جدول ۱۰-۲ : اجزاء اصلی سخت‌افزاری سیستم SHM و نقش آنها

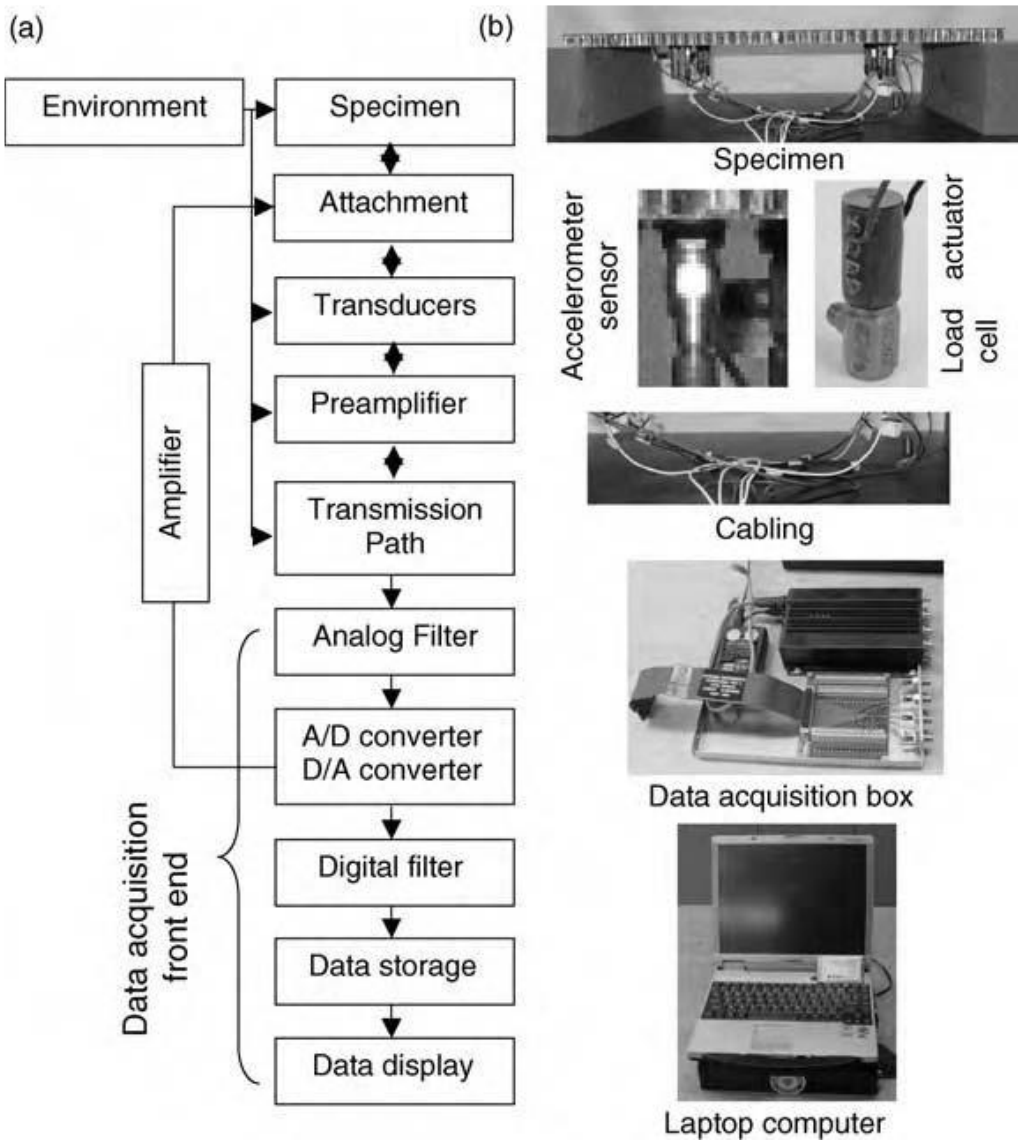
اجزاء اصلی سیستم SHM		نقش جزء در سیستم
سیستم حسگر	شبکه سنسورها	- شامل سنسورهای دائمی نصب شده و گاهی مجموعه‌ای از سنسورهای پرتابل است. - سنسور نوعی مبدل است که مشخصات فیزیکی را به سیگنال‌های الکتریکی یا نوری مربوطه تبدیل می‌کند. این سیگنال به سیگنال دیجیتالی تبدیل می‌شود که بعداً پردازش می‌شود.
سیستم گیرنده داده‌ها (DAS[1])	سنسورها	- سنسورها سیگنال‌های الکتریکی یا نوری را که به مقادیر عددی دیجیتالی تبدیل شده‌اند و قابل پردازش بوسیله کامپیوتر هستند، می‌فرستند.
	واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs[2])	- واحدهای گیرنده داده‌ها DAUs سرورهای محلی هستند که در مکان‌های مشخصی روی سازه قرار گرفته‌اند که سنسورها می‌توانند به آنها متصل شوند. داده‌های بدست آمده از شبکه سنسورها به واحدهای گیرنده داده‌ها منتقل می‌شود. - هر DAU می‌تواند به ابزار همگام سازی زمانی[3] مجهز شود همچنین می‌تواند در صورت نیاز چند وسیله پردازش و نگهداری داده‌ها داشته باشد. - این واحدها باید در مکانی ایمن و مطمئن نگهداری شوند.
	دستگاه شناسایی[4]	- دستگاه رایج شناسایی داده‌ها وسیله‌ای الکتریکی است که داده‌ها را ضبط می‌کند: سیگنال دریافتی از سنسور پردازش شده و به واحدهای مهندسی تبدیل می‌شود که بر روی نمایشگر برای نمایش اندازه‌گیری‌ها قابل روئیت است. - برخی دستگاه های شناسایی واسط داخلی دارند و به طور جداگانه قابل استفاده هستند در حالیکه برخی دیگر به کامپیوتر خارجی و استفاده از نرم افزار برای فعال

[1] - Data Acquisition System
[2] - Data Acquisition Units
[3] - Time synchronisation device
[4] - Interrogator

اجزاء اصلی سیستم SHM		نقش جزء در سیستم
		کردن دستگاه شناسایی و همینطور نمایش، نگهداری و آنالیز داده‌های جمع آوری شده نیاز دارند. - سنسورها می‌توانند از طریق DAUs و یا مستقیما به دستگاه شناسایی متصل شوند.
	کامپیوتر اصلی / سرور	- این کامپیوتر وظیفه پردازش داده‌ها را بر عهده دارد.
اتاق کنترل		- سیستم‌های SHM کوچک فاقد اتاق کنترل هستند و از طریق اتصال با پهنای باد وسیع از دفتر اصلی فعال می‌شوند. - سیستم‌های SHM بزرگتر اتاق کنترل دارند که نظارت بر کنترل و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA[1]) معمولا در آن قرار می‌گیرد. سیستم SCADA معمولا شامل تمام سیستم‌های عملیاتی است. - اتاق کنترل می‌تواند روی سازه و یا در مکانی با فاصله از سازه اصلی قرار گیرند. - نمایشگر اصلی اتاق کنترل باید قابلیت انتقال سریع و آسان داده‌ها بین توابع را دارا باشد.
سیم کشی		- کابل‌های مناسب انتقال و اتصال از سنسورها به دستگاه شناسایی هنگام استفاده از فیبرهای نوری بسیار اهمیت دارد. - انتخاب کابل‌ها بسیار چالش برانگیز و نیازمند تفکر است زیرا استفاده از کابلهای نامناسب می‌تواند عملکرد کل سیستم را به خطر اندازد.
مسائل دیگر		نظیر نگهدارنده های سنسورها، انتقال نیرو حین ساخت و بهره برداری، حفاظت فیزیکی از سنسورها و واحدهای گیرنده داده‌ها، منابع انرژی برای تجهیزات (Power Supply)

بسته به هدف و روش پایش سلامت و پارامترهای مورد نظر برای اندازه‌گیری که در مرحله طراحی مشخص شده‌اند، تجهیزات مختلفی را می توان برای انجام فرآیند پایش سلامت در نظر گرفت. شکل ۱۹-۲ یک نمونه از تجهیزات سخت‌افزاری برای پایش سلامت را در یک مدل سازه آزمایشگاهی نشان می‌دهد. [۳]

[1] - Supervisory Control and Data Aquision

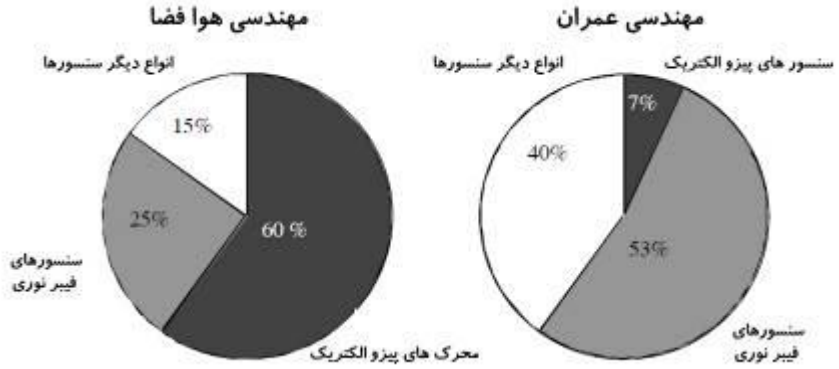


شکل ۱۹-۲: تجهیزات مورد استفاده در نمونه‌ای ساده از یک سیستم پایش سلامت سازه

سیستم‌های نرم‌افزاری متعددی توسط کمپانی‌هایی که به طور تخصصی در حوزه SHM فعالیت می‌کنند معرفی شده است. بسیاری از این سیستم‌ها به صورت مداوم به روز شده‌اند و با پیشرفت تکنولوژی در حورزه سنسورها و الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای پردازش داده‌ها هماهنگ شده‌اند. امروزه فعالیت‌های تحقیقاتی- دانشگاهی و صنعتی-تجاری بر روی سیستم‌های نرم‌افزاری و همچنین سخت‌افزاری SHM به موازات یکدیگر پیش می‌روند. حتی برخی کمپانی‌ها خدمات کل سیستم SHM شامل طراحی، نصب و اجرا را به صورت مجموعه سیستم SHM ارائه می‌کنند.

۲-۳-۳-۵-۱- انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها

نوع سنسورهای استفاده شده برای SHM ارتباط تنگاتنگی با نوع سازه مورد بررسی دارد. در شکل ۲۰-۲ انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده در دو حوزه کاربردی عمران و هوانوردی، براساس آمار و اطلاعات اولین و دومین کار گروه SHM در 1997-1999 در دانشگاه استنفورد را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰-۲: انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده برای SHM با توجه به نوع کاربرد: مقایسه بین مهندسی عمران و هوافضا

همانطور که در شکل فوق (سمت راست) مشخص است، در ۵۳ درصد از سازه‌های عمرانی دارای سیستم پایش سلامت، از سنسورهای فیبرنوری و در حدود ۷ درصد از سنسورهای پیزوالکتریک و در ۴۰ درصد نیز، از سایر انواع سنسورها استفاده شده است. علاوه بر تنوع سنسورها حتی در دسته‌های مشخص شده، روش‌های بازرسی و نظارت متعدد و متنوعی وجود دارد همچنین برای هر سنسور نیز روش‌های متعددی وجود دارد که براساس نوع استفاده از سنسور و یا نوع تشخیص ویژگی‌های آسیب متفاوت هستند. بنابراین با توجه مطالب ذکرشده تقسیم‌بندی روش‌های SHM کار آسانی نیست. روش‌های SHM را می‌توان با توجه به کاربرد، نوع مصالح و سازه‌ها و انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده در آنها تقسیم بندی کرد که در این میان تقسیم بندی بر اساس نوع سنسورهای به کار رفته درسیستم در بیشتر مراجع ترجیح داده شده است. پیشرفت سنسورها و تکنولوژی‌های پردازش داده‌ها فواید و مزایای بازرسی آنلاین را به کلاس جدیدی از سازه‌ها مانند پل‌ها، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی گسترش داده است. با استفاده از پیشرفت‌های تکنولوژی اطلاعات (IT) و ارتباطات امروزه امکان تجهیز پل‌های کوچک بطور مقرون به صرفه و انتقال داده‌ها به پایگاه مرکزی در هر نقطه از جهان وجود دارد. در جدول ۲-۱۱ نمونه‌هایی از انواع مختلف سنسورها و پارامتر اندازه‌گیری و کاربردهای آنها ارائه شده است.

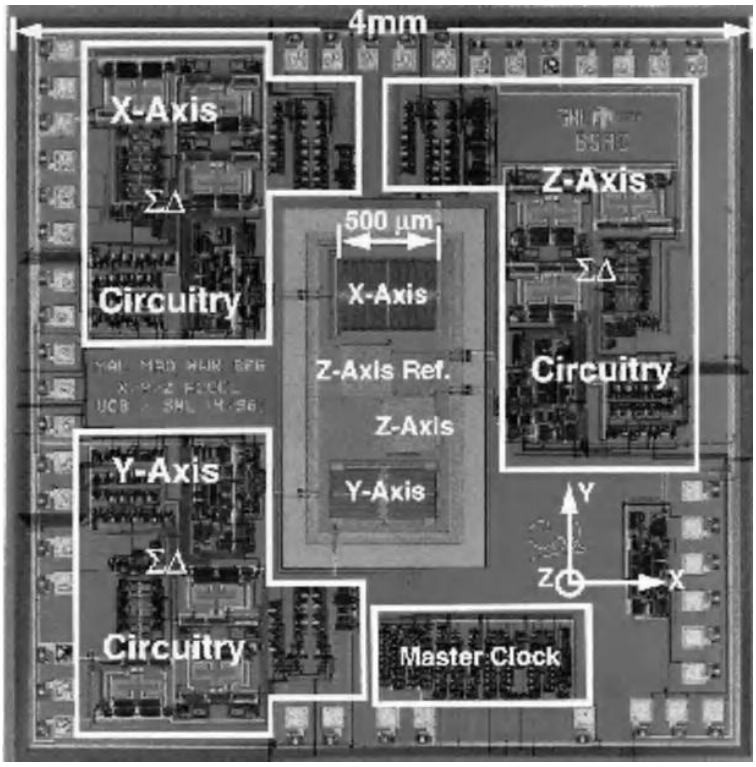
در دو دهه اخیر، سنسورهای فیبرنوری از تحقیقات آزمایشگاهی به کاربردهای واقعی در صنعت راه پیدا کرده‌اند. صدها پروژه اطمینان و دوام این تکنولوژی را در بیشتر کاربردهای حساس با موفقیت به اثبات رسانده‌اند. سنسورهای فیبرنوری دیگر با تکنولوژی‌های خیلی بالا تولید نمی‌شوند اما امروزه در اکثر کاتالوگ‌های تولیدکنندگان سیستم‌های تجهیزات متداول وجود دارند. علاوه بر مزایای جایگزینی سنسورهای متداول با معادل فیبرنوری آنها، مشخص است که انواع جدید سنسورهای فیبر نوری برای فعالیت‌های جدید بازرسی و پایش قابل

استفاده هستند. به ویژه اثبات شده است که سنسورهای فیبرنوری در اندازه‌های بلند و توزیع شده[1] برای پایش سازه‌های عمرانی، ژئوتکنیکال و سازه‌های گازی و نفتی ایده‌آل هستند. این نوع سنسورها امکان نظارت و بازرسی کلی سازه‌های بزرگ را با تعداد سنسورها و اتصالات کمتری تامین می‌کنند و نیز امکانات جدیدی (از قبیل قابلیت کار در شرایط محیطی سخت و دشوار و دمای بالا، قابلیت نصب در داخل و بیرون اعضای سازه بدون ایجاد اخلال در رفتار آن، قابلیت اندازه‌گیری یک پارامتر بطور پیوسته در طول فیبر تا چندین ده کیلومتر، قابلیت اندازه‌گیری و تعیین نحوه توزیع پارامترها در توپولوژی دلخواه مثلا یک خط، منحنی یا سطح، تأثیرناپذیری از میدان‌های مغناطیسی، مقاومت در برابر خوردگی و فرسایش، مقاومت در برابر انفجار) را فراهم می‌کند؛ اما نیازمند دیدگاه تازه طراحی و اجرای سیستم پایش و پردازش و تحلیل داده‌های بدست آمده، هستند. در اشکال زیر نمونه‌های از انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها نشان داده شده‌اند.

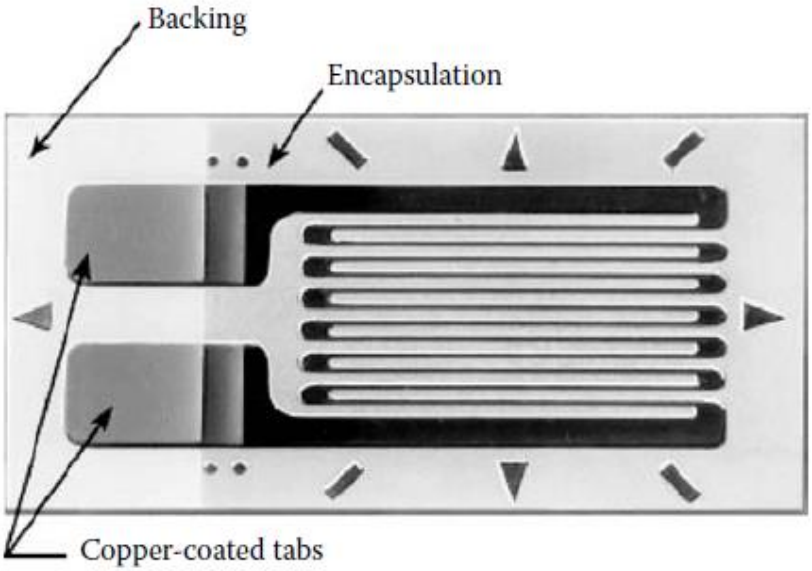


شکل ۲۱-۲: نمونه یک شتاب سنج دومحوری ADXL

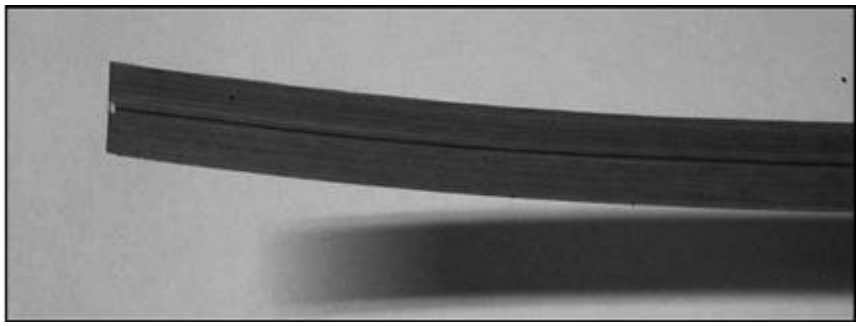
[1] - Distributed



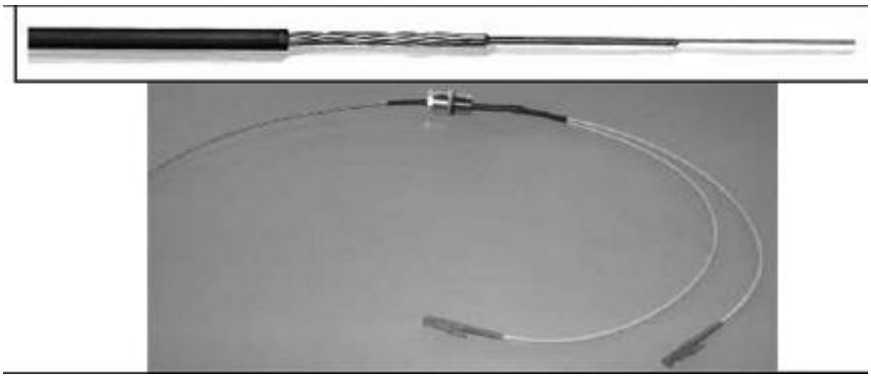
شکل ۲۲-۲: نمونه یک شتاب سنج سه محوری MEMS



شکل ۲۳-۲: نمونه یک کرنش سنج مقاومتی



شکل ۲۴-۲: نمونه یک کرنش سنج فیبرنوری



شکل ۲۵-۲: نمونه یک دما سنج فیبرنوری



شکل ۲۶-۲: نمونه یک سنسور دوران

پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک تکنولوژی استفاده از سنسورهای فیبرنوری تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های SHM شود. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها رو به کاهش است.

جدول ۱۱-۲ : انواع رایج سنسورها، نوع و کاربردهای آنها

پارامتر اندازه‌گیری	نوع سنسور	کاربردهای عملی
تغییر مکان	القایی، خازنی، ژیروسکوپ، مغناطیسی، نوری، الترا سونیک (فرا صوت)، امواج صوتی	تشخیص ترک، اندازه‌گیری میزان خوردگی، اندازه‌گیری فواصل و درزها، هم ترازی، سلامت جوش، میزان تغییرشکلها و جابجایی‌ها، بررسی پوسیدگی و سایش.
شتاب	خازنی، MEMS، پیزوالکتریک، پیزو مقاومتی	اندازه‌گیری پاسخ لرزه‌ای و شتاب، نظارت بر ارتعاشات، اندازه‌گیری ضربه و برخورد.
کرنش	پیزو مقاومتی، نوری	اندازه‌گیری کرنش و تغییر شکلهای خمشی، برشی و پیچشی.
نیرو	پیزو مقاومتی، نوری	اندازه‌گیری نیروهای ضربه، نظارت بر بارهای ترافیکی.
حرارت	صوتی، نوری، ترمو مقاومتی، ترمو الکتریکی	اندازه‌گیری دما، دمای احتراق، دمای خنک کننده‌ها، نظارت بر عملیات حرارتی و نظارت بر دمای توربین‌ها.
فشار	پیزو مقاومتی	اندازه‌گیری فشار محفظه احتراق، اندازه گیری فشار موتورها.

۲-۳-٤- راهکارهای تعمیر آسیب‌ها و مقاومسازی سازه‌ها

با توجه به وجود حالات گوناگون آسیب و ضعف در اجزای سازه‌ای انواع مختلف سازه‌ها (بخصوص در سازه‌های بتنی)، روش‌ها و فناوری‌های گسترده‌ای نیز برای اجرای ترمیم و مقاومسازی آنها ابداع و توسعه داده شده و این حوزه هنوز در دست توسعه و پیشرفت است. برخی از این روش‌ها ابتکاری بوده و برای موارد خاص ارائه شده‌اند و برخی دیگر بصورت عمومی و استاندارد ارائه شده‌اند. اغلب روش‌های ارائه شده (تاکنون یا در آینده) برای انواع سازه‌ها، برای سازه‌های صنعت برق نیز (با لحاظ ویژگی‌های خاص آنها) قابل استفاده و پیاده‌سازی می‌باشند. یک موضوع مهم در این حوزه، نحوه ارزیابی کفایت سازه‌های تعمیر یا مقاومسازی شده است که در این خصوص علاوه بر روش‌های تحلیلی، انجام آزمون‌های نوعی بر این نوع از سازه‌ها (برای تعیین کفایت یک روش یا مصالح برای تعمیر و مقاومسازی) نیز می‌تواند مورد نظر قرار گیرد که در اینصورت، رویه این آزمون‌ها و معیارهای پذیرش در آنها باید تدوین و توسعه داده شده و در قالب دستورالعمل ارائه شوند.

مباحث مرتبط با اجرای تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها را می‌توان در دو بخش شامل مصالح مورد استفاده (بطور خاص برای سازه‌های بتنی) و روش‌های اجرایی ارائه نمود که در ادامه، به این دو بخش پرداخته شده است.

۲-۳-٤-۱- مصالح نوین برای تعمیر سازه‌های بتنی

به دلیل ماهیت بتن و وقوع انواع مختلفی از آسیب‌ها در اجزای سازه‌های بتنی، انجام عملیات تعمیر و ترمیم در سازه‌های بتنی امری رایج و ناگریز می‌باشد. نیاز به ترمیم می‌تواند به دلایل مختلفی ایجاد شود. از جمله ترمیم بتن به علت مشکلات طراحی، ترمیم بتن به علت مشکلات ساخت و بهره‌برداری و آسیب‌های ایجاد شده در اثر شرایط و حوادث محیطی. روش‌های بسیار متنوع و گوناگونی برای این کار ابداع و توسعه داده شده‌اند که به عنوان نمونه می‌توان به ترمیم بتن به روش شاتکریت، ترمیم بتن به روش تزریق رزین پلی‌یورتان و اپوکسی، ترمیم بتن به روش پوشش‌های ترمیمی، ترمیم بتن به روش ساب سطوح بتنی، ترمیم بتن به روش ملات‌های سیمانی و پلیمری، ترمیم بتن به روش ملات و چسب پلی‌یورتان و اپوکسی و ... اشاره نمود. پروسه کامل ترمیم شامل بررسی و تشخیص علت عیوب، آماده‌سازی سطح، تخریب و حذف نقاط پوک و سست، اجرای لایه‌های محافظت و ممانعت از خوردگی آرماتورها، اجرای پرایمرهای واسط چسبندگی و نهایتاً پر کردن نواحی معیوب با ملات‌های ترمیمی مناسب بسته به عمق تخریب خواهد بود. راهنماها و استانداردهای مختلفی برای تعمیر سازه‌های بتنی در دنیا تدوین شده‌اند که از شاخص‌ترین آنها می‌توان به مجموعه راهنماهای مؤسسه ACI (به عنوان نمونه شامل ACI 224.1R-07 ؛ ACI 546.3R-06 ؛ ACI 549-1R-93 و ACI 562-19) اشاره نمود. اصل مهم در انتخاب مواد تعمیری شباهت آن از نظر خواص با بتن اصلی است. شباهت در سنگدانه و شباهت در سیمان می‌تواند کمک موثری در این راستا باشد. نزدیک بودن مدول الاستیسیته و ضریب انبساط حرارتی نیز از جمله نکات مهم است. [۷۶]

در تعمیر سازه‌های بتنی با دو حالت مواجه هستیم: حالت اول: بخش موجود عضو توانایی تحمل بارهای وارد شده را دارد و تعمیر تنها با هدف پوشش دادن انجام می‌شود. حالت دوم: بتن تعمیری جدید بایستی بخشی از بارهای وارد شده را تحمل کند. مشخصات بتن تعمیری به صورت کلی در هریک از حالات فوق به شرح زیر است:

۵. حالت اول: از بتن تعمیری انتظار مشارکت در مقاومت وجود ندارد.

در این حالت بتن تعمیری بایستی چسبندگی مناسبی با محل اجرا داشته باشد و در برابر تنش‌های کششی که می‌توانند در محل اتصال ترک ایجاد کنند مقاومت نماید. همچنین ضریب انبساط حرارتی بتن تعمیری باید تا حد امکان به بتن موجود نزدیک باشد. در چنین شرایطی اتصال مناسبی بین بتن جدید و قدیم ایجاد می‌شود.

۶. حالت دوم: بتن تعمیری باید بخشی از نیروهای وارد شده به عضو بتنی را تحمل کند.

در این حالت علاوه بر آنچه که در حالت اول بیان شد بتن تعمیری باید مدول الاستیسیته تقریباً برابر با بتن قدیمی، خزش بسیار کم در فشار و جمع‌شدگی بسیار کم در خشک‌شدن[1] داشته باشد.

علاوه بر آنچه ذکر شد، بتن تعمیری هر اندازه با کیفیت و دوام بالاتری باشد اهداف تعمیر را بهتر برآورده می‌نماید. برای دستیابی به مصالح تعمیری با جمع‌شدگی کم رعایت موارد زیر راهگشاست:

- استفاده از مخلوط‌هایی با حداکثر سنگدانه ممکن
- استفاده از سنگدانه‌های تمیز، محکم و سالم
- استفاده از حداقل آب ممکن در مخلوط

[1] - Drying Shrinkage

- عمل‌آوری مناسب پس از اجرای تعمیر
- استفاده از حداقل سیمان ممکن در طرح اختلاط

فهرستی از انواع مصالح قابل استفاده در ترمیم و تعمیر پایه‌های بتنی به شرح زیر است:

- ملات‌های (یا بتن) خودترمیم شونده
- ملات‌های اپوکسی
- ملات‌های پرکننده با دوام بالا
- ملات سیمان یا بتن حاوی افزودنی‌های کاهنده آب و حباب هوا ساز[1]
- بتن ساخته شده با مخلوط دوده سیلیس و سیمان پرتلند و حاوی افزودنی‌های کاهنده آب و حباب هوا ساز
- بتن اصلاح شده با لاتکس[2]
- بتن جبران‌کننده جمع‌شدگی
- ملات (یا بتن) اصلاح شده با پلیمر
- بتن ساخته شده با سیمان حاوی فسفات منیزیم
- بتن با سنگدانه پیش گذاشته شده[3]
- مواد بازدارنده خوردگی از نوع آلی و بر پایه امینه کربوکسیلات (MCI)
- فروسیمان

۲-۳-٤-۲- روش‌های تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها

با توجه به تنوع حالات خرابی در سازه‌ها، متناسباً روش‌های بسیار متنوع و مختلفی نیز برای تعمیر و مقاومسازی آنها ابداع و ارائه شده است. عمدتاً عبارت تعمیر و ترمیم به رفع آسیب‌های موجود در سازه و رساندن وضعیت آن به حالت آسیب ندیده مربوط می‌شود. ولیکن مقاومسازی عموماً به افزایش مقاومت سازه نسبت به حالت اول آن (که می‌تواند دارای آسیب باشد یا نباشد) مربوط می‌شود. با این وجود روش‌های اجرایی مشترکی می‌توانند برای هردو منظور (تعمیر و مقاومسازی اجزای سازه‌ای) استفاده شوند. تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها شامل روسازه و پی بوده و برای هریک از آنها، راهکارها و روش‌های مختلفی وجود دارد.

شاخص‌ترین روش‌های قابل استفاده برای تعمیر و مقاومسازی اجزای سازه‌ای به شرح زیر می‌باشند:

- جایگزینی و یا پرکردن بخش‌های آسیب‌دیده اجزای بتنی با مصالح ترمیمی (مذکور در بخش قبل)
- استفاده از پوشش‌های FRP
- استفاده از تسمه‌های فولادی
- استفاده از ژاکت بتنی یا فولادی

[1] - Water reducer and air entrainer admixtures

[2] حاوی مخلوط سیمان پرتلند و لاتکس به عنوان افزودنی

[3] – Preplaced Aggreate Concrete

- تزریق و یا دوخت ترک‌ها
- فناوری‌های نوین مقاومسازی لرزه‌ای (ادوات جاذب انرژی و جداسازها)

یکی از روش‌هایی که در سالیان اخیر برای تعمیر و مقاومسازی سازه‌ها (بخصوص اجزای بتنی) متداول شده و بکارگیری آن بطور روزافزونی در حال گسترش است، استفاده از پوشش‌های کامپوزیتی FRP[1] (بصورت ورقه، تسمه یا نوار و ...) می‌باشد. سیستم FRP بدین صورت تعریف می‌شود که الیاف و رزین‌ها برای ساخت چند لایه مرکب مورد استفاده قرار می‌گیرند، به نحوی که رزین‌های مصرفی (رزین اپوکسی) به منظور چسباندن چند لایه مرکب به سطح بتن زیرین و پوشش‌ها به منظور محافظت مصالح ترکیب شده استفاده می‌شوند. تکنیک‌های استفاده از الیاف FRP به عنوان مسلح‌کننده خارجی به منظور ترمیم و بهسازی آسیب‌های موجود در اعضای بتنی (ترک خوردگی، یخزدگی، کرمو بودن بتن در اثر اجرای نادرست، خوردگی میلگردها در اثر عوامل خورنده و فرسایش و...) به دلیل خصوصیات منحصربفرد این الیاف ازجمله مقاومت بالا، سبکی، مقاومت شیمیایی، سهولت و سرعت اجرا و هزینه‌های کم در مقاومسازی و احیاء سازه‌ها، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. از پوشش‌های FRP می‌توان برای افزایش مقاومت خمشی، برشی و محوری و افزایش شکل‌پذیری در مقاومسازی اعضای بتنی و نیز برای افزایش مقاومت در برابر عوامل محیطی مثل خوردگی، تغییر دما، خستگی و ... استفاده نمود. همچنین از این پوشش‌ها برای تعمیر یا مقاومسازی سازه‌های کامپوزیتی نیز می‌توان استفاده نمود. مطالعات و تحقیقات گسترده ای در خصوص مقاومسازی سازه ها با FRP در دنیا و ایران انجام شده اند. جزئیات و الزامات مقاومسازی سازه های بتنی با پوششهای FRP در نشریه شماره ۳۴۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه شده است.

استفاده از تسلیح با تسمه فولادی زیر سطحی و یا خارجی یکی از روش‌های متداول تقویت سازه‌ای بتن است. تسلیح زیر سطحی با ایجاد شیار روی سطح بتن و نصب میلگرد یا تسمه با چسب مخصوص و پوشاندن آن در صورت لزوم با ملات ترمیمی انجام می‌شود. در حالت تسلیح روی سطح نیز فقط تسمه فولادی با چسب مخصوص و در صورت عدم کفایت انتقال برش توسط چسب، با اضافه نمودن بولت‌های برشگیر نصب می‌شود. [۷۷]

ژاکت فولادی و ژاکت بتنی روش‌های مقاومسازی هستند که در هر دو آنها از ساز و کار مشابهی استفاده می‌شود. با این حال این دو روش در نحوه طراحی، اجرا و موارد دیگری با هم تفاوت دارند. معمولا برای مقاومسازی، ژاکت‌های فلزی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا محدودیت‌های اجرایی آنها (از جمله راحتی اتصال آنها به سازه موجود) کمتر است. یکی از روش‌های مقاومسازی ساختمان‌های بتنی استفاده از پوشش (ژاکت) بتنی در پیرامون المان‌های مختلف از قبیل دیوار برشی، ستون و تیر می‌باشد. ژاکت بتنی یک روکش برای عضو بتنی است که از میلگردهای فولادی و بتن تشکیل شده است. ژاکت بتنی اطراف المان اصلی را پوشش داده و مشابه به ژاکت فولادی از طریق افزایش سطح مقطع و همچنین ایجاد تنش سه محوره در المان اصلی به تحمل تنش بیشتر کمک می‌کنند. با توجه به این که ژاکت بتنی معمولا ابعاد بزرگی دارد، استفاده از آن دارای محدودیت‌هایی است. برای اجرای ژاکت بتنی ابتدا شبکه‌ای از میلگردها را بر روی عضو قدیمی آرماتوربندی می‌کنند و سپس بعد از قالب‌بندی آن را بتن‌ریزی می‌کنند. ژاکت بتنی مقاومت خمشی و برشی ستون را افزایش می‌دهد و افزایش شکل‌پذیری ستون در این حالت کاملاً مشهود است. از جمله مهمترین مشکلات ژاکت بتنی که

[1] - Fiber Reinforced Polymers

باعث کاربرد کمتر آن می‌شود می‌توان به بزرگ بودن اندازه مقطع مورد استفاده، دشواری‌های اجرایی از جمله مشکل اتصال به مقطع موجود و ... اشاره کرد. ژاکت فلزی یا ژاکت فولادی نیز یکی از روش‌های مقاومسازی است که به کمک آن می‌توان المان‌های سازه‌ای مورد نظر را تقویت نمود. اجزای این ژاکت فولادی که المان اصلی را در بر می‌گیرد، با کمک عملیات جوشکاری، پیچ و مهره و یا در تکنولوژی‌های جدید با کمک چسب‌های مخصوص به هم اتصال می‌یابند. ژاکت ایجاد شده علاوه بر آن که سطح مقطع را افزایش داده و قسمتی از بار المان را تحمل می‌کند، از طریق محصورسازی المان اصلی و ایجاد ظرفیت باربری بیشتر از طریق ایجاد تنش سه محوره به افزایش ظرفیت المان کمک می‌کند. بسته به نوع المان، میزان مقاومسازی مورد نظر و دیگر شرایط سازه، طراحی ژاکت فولادی باید به گونه‌ای باشد که از طریق ساز و کارهای ایجاد شده سازه برای تحمل بار مورد انتظار مقاومسازی شود. مقاومسازی با ژاکت فولادی معمولا نسبت به مقاوم سازی با الیاف frp هزینه بیشتری دارد. اجرای ژاکت فلزی می‌تواند به روش‌های مختلفی صورت گیرد. اساسا مدل واحدی برای اجرای آن و ارائه جزئیات آن وجود ندارد و با توجه به طراحی انجام شده بر اساس نیازهای سازه، اجرای آن می تواند متفاوت باشد. با این وجود تمام این روش‌ها براساس محصور کردن المان میانی با کمک اجزای فلزی عمل می‌کنند. برای اجرای ژاکت فولادی بر روی سازه بتنی معمولا در چهار وجه المان، پلیت‌هایی و یا در چهارگوشه آن چهار نبشی قرار می‌دهند. ضخامت پلیت‌ها و یا ضخامت نبشی‌ها با توجه به میزان بار انتخاب می‌شود. طول پلیت‌ها و نبشی‌ها نیز بر اساس بار وارده مشخص می‌شود و ممکن است به صورت سرتاسری بوده و یا فواصلی در میان آنها در نظر گرفته شود. سپس این نبشی‌ها و یا پلیت‌ها با روش مناسب از جمله جوش و یا پیچ و با بهره‌گیری از المان واسط مناسب به هم اتصال می‌یابند. در اکثر روش‌های ژاکت فلزی معمولا ژاکت فلزی و المان بتنی اتصالی با هم ندارند. اگرچه امکان ایجاد این اتصال به روش‌های مختلفی از جمله کاشت میلگرد وجود دارد. با این حال در روش‌های نوین امکان ایجاد اتصال میان ژاکت و المان بتنی با کمک رزین ایجاد شده است. البته این روش در سازه‌های متداول کاربرد چندانی ندارد و برای جبران عدم اتصال معمولا ژاکت با مقاومت بالاتری در نظر گرفته می‌شود. یکی از مهمترین مشکلات ژاکت فولادی هزینه اجرای نسبتا بالای آن است. محدودیت‌های اجرایی نیز از جمله مشکلات دیگر آن است. مشکلاتی مانند کار در طبقات و ارتفاعات بالا که با توجه به این که جوشکاری یکی از اجزای این فرآیند محسوب می‌شود، می‌تواند با مشکلاتی همراه باشد. [۷۸ و ۷۹]

تزریق ترک‌ها در بتن با مواد پایه اپوکسی انجام می‌گردد. دوخت ترک‌ها می‌تواند بروش بخیه‌زنی[1] که در دستورالعمل‌های ACI 224-1R-07 جزییات آن موجود می‌باشد، صورت پذیرد. [۷۷]

جزئیات اجرایی روش‌های مختلف مقاومسازی اجزای سازه‌ای در [۸۰] ارائه شده است.

از روش‌های نوین مقاومسازی سازه‌ها در برابر زلزله نیز می‌توان به استفاده از ادوات جاذب انرژی (میراگرها[2]) و جداسازهای لرزه‌ای[3] اشاره نمود که عمدتا برای مقاومسازی سازه‌های موجود در پست‌های انتقال استفاده شده‌اند.

در ادامه، تصاویری از روش‌های مختلف تعمیر و مقاومسازی ارائه شده‌اند.

[1] - Stitching
[2] - Dampers
[3] - Seismic Isolators



شکل ۲-۲۷: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با FRP [۸۱]



شکل ۲-۲۸: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با ژاکت بتنی [۸۲]



شکل ۲-۲۹: مقاومسازی تیر و ستون بتنی با ژاکت فولادی [۸۳]



شکل ۲-۳۰: مقاومسازی قسمت مدفون و فونداسیون پایه چوبی با بتن [۸۴]



شکل ۲-۳۱: مقاومسازی پایه توزیع با FRP [۸۵]



شکل ۲-۳۲: مقاومسازی پایه توزیع با FRP [۸۶]



شکل ۲-۳۳: مقاومسازی و تقویت موقت پایه چوبی توزیع با ژاکت فولادی موقت (ماژولار) [۸۷]



شکل ۲-۳۴: استفاده از میراگرهای اصطکاکی برای کنترل ارتعاشات تجهیزات پست برق با ولتاژ بالا-شیلی



شکل ۲-۳۵: استفاده از میراگر فلزی برای مقاومسازی لرزه‌ای تجهیزات پست انتقال در نیشابور (پژوهشگاه نیرو)



شکل ۲-۳۶: مقاومسازی ترانسفورماتور قدرت ۴۶۰ کیلوولت با استفاده از جداساز پاندول اصطکاکی-ونکوور [۸۸]

۲-۳-٤-۳- راهکارهای جایگزینی، اسقاط و بازیافت سازه‌ها

سازه‌های صنعت برق نیز همانند سایر سازه‌ها در انتهای عمر خود باید برداشته شده و در صورت نیاز و بر اساس برنامه‌ریزی صورت گرفته، با سازه‌های جدید جایگزین[1] شوند. زمان انتهای عمر پایه و اسقاط آن بر اساس معیارهای مختلفی (مانند انتهای عمر اقتصادی، انتهای عمر عملکردی، فرسودگی قابل توجه و شکست در اثر حوادث) قابل تعیین بوده و موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه نگهداری با هدف کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر

[1] - Replace

است. یکی از مهمترین موضوعات مطرح در این خصوص، امحاء[1] سازه‌ها و یا استفاده مجدد از آنها (بازیافت[2]) با هدف ایجاد کمترین آسیب زیست‌محیطی و کمترین هزینه است. مسلماً بازیافت سازه‌ها یا مصالح آنها نسبت به امحاء ترجیح داشته و تلاش‌های مطالعاتی و اجرایی متعددی در نقاط مختلف دنیا در این راستا انجام شده که عمده آنها مربوط به پایه‌های چوبی توزیع (با توجه به قدیمی‌تر بودن، رایج بودن بیشتر آنها در بسیاری از نقاط دنیا و قابلیت بهتر بازیافت) می‌باشد. نمونه‌هایی از بازیافت پایه‌های چوبی در آمریکا و کانادا برای استفاده از آنها در سایر کاربردهای چوب (مانند ساختمان‌های چوبی، حصارهای چوبی، محوطه‌سازی، تولید مالچ، استفاده به‌عنوان پایه‌های توزیع کوتاهتر، سوخت نیروگاه‌های زیست‌توده و ...) در [۸۹] و [۹۰] ارائه شده‌اند. مرجع [۹۱] نیز پروتکل‌های تدوین شده جهت امحاء و بازیافت پایه‌های چوبی در انگلستان را ارائه کرده است.

بازیافت بتن نیز با توجه به فراوانی نسبتا بالای آسیب‌ها و زوال آن و نیاز به جایگزینی و نوسازی اعضای بتنی، یکی از دغدغه های مهم در صنایع مربوطه (بخصوص صنعت ساختمان) است. بتن بازیافتی بتنی است که در واقع از تخریب ساختمان‌ها و زیرساخت‌های قدیمی، اصلاح و نوسازی آن به دست می‌آید. این فرایند به دلیل بهره‌وری و کارایی آن محبوبیت زیادی یافته است. بعلاوه این روش مزایای بسیار دیگری هم دارد که آن را به گزینه‌ای بسیار جذاب برای ساخت‌وسازهای سازگار با محیط‌زیست بدل نموده است. با توجه به آمار نگران‌کننده بالا و رشد روز افزون زباله‌های ساختمانی و همچنین عواملی نظیر رشد زیرساخت کشورها و همچنین کاهش دسترسی به فضای اولیه تولید مصالح سنگی و نگرانی‌های زیست‌محیطی موجبات افزایش راهکارهای بازیافت بتن علی‌الخصوص مصالح بتنی و سیمانی بیشتر گردیده و لزوم استفاده از بازیافت مصالح با کمترین هزینه و بیشترین بهره‌وری را پررنگ‌تر خواهد کرد. در این راستا دو رویکرد برای بازیافت بتن وجود دارد. رویکرد اول بدین شکل است که باقی‌مانده‌های بتن به تجهیزات بازیافت‌کننده دائمی حمل گردیده که معمولا با کاهش هزینه حمل و نقل برای شکستن و الک کردن همراه است و رویکرد دیگر شکستن و الک کردن در محل‌های تخریب است که سنگدانه‌ها به محض اینکه پردازش می‌شوند، بازچرخانی می‌شود. بازیافت در محل‌های تخریب حمل و نقل مصالح سنگی را کاهش می‌دهد که به موجب آن، کاهش هزینه حمل و نقل، انرژی، فرسودگی جاده‌ها و تجهیزات را نیز فراهم خواهد آورد. مهمترین مواردی که در یک چرخه بازیافت مد نظر قرار می‌گیرد، پایین آمدن هزینه‌ها و کیفیت مواد بازیافتی بوده که در صورت عدم دستیابی به این موارد، رشد زباله‌ها بیشتر و بیشتر خواهد شد و تمایلی به بازیافت صورت نخواهد پذیرفت.

بتن‌های بازیافتی موارد کاربرد مختلفی دارند. قسمت‌های ریزتر بتن‌های بازیافت شده را می‌توان به‌عنوان شن استفاده کرد. لایه زیر-اساس متشکل از این دانه‌ها را در پایین‌ترین لایه در راه‌سازی می‌توان بکار برد به‌طوری‌که روی آن بتن تازه و یا آسفالت ریخته شود. بتن بازیافتی می‌تواند به‌عنوان یک مصالح مهم در ساختمان‌سازی بکار گرفته شود، البته به شرطی که به‌درستی خرد شود و عاری از مواد ناخواسته و مازاد و یا آلودگی و ناخالصی باشد. تهیه و تولید سیمان جدید از سنگ‌های سیمانی تولیدشده توسط سنگ‌شکن‌ها، بسیار ساده و آسان است. همچنین می‌توان توری‌های سیمی را با سنگ‌های بتنی خردشده پر کرد و از آن‌ها به‌عنوان دیوارهای حائل

[1] - Disposal
[2] - Recycle

استفاده کرد. استفاده از سنگدانه‌های بازیافت شده در بتن امکان‌سنجی نوینی را برای بازچرخانی مواد در صنعت ساختمان‌سازی به وجود آورده است. به کار بردن سنگدانه‌های بازیافتی راه حل خوبی برای مشکل مواد دور ریز می‌باشد. استفاده از این سنگدانه‌ها و بالطبع مواد جایگزین سنگدانه‌ها راهکار مفید و اقتصادی و سازگار با محیط زیست می‌باشد که نیازمند دانش بازیافت بتن می‌باشد. سنگدانه‌هایی که از قطعات سنگی تهیه می‌شود، ممکن است به صورت طبیعی یا پس از پروسه مکانیکی مثل شکستن، شستن، سایزبندی استفاده شود. سنگدانه‌های طبیعی از شن و ماسه و خرده سنگ تشکیل شده است. سنگدانه‌های بازیافت شده به طور عمده از بتن شکسته شده و رویه آسفالتی شکسته شده تشکیل می‌شود. سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت و ساز بیش از ۸۰٪ بازار کل سنگدانه را در بردارد و به طور عمده در کارهای جاده‌سازی، سنگریزی، بتن‌ریزی و آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سال ۱۹۵۸ تا ۱۹۹۸ آمریکایی‌ها استفاده از سنگدانه‌ها را در ساخت و ساز ۷۰ تا ۷۳٪ میزان مصالح کل مواد خامشان استفاده کرده‌اند. بیشتر سنگدانه بازیافت شده از بتن بعنوان اساس جاده استفاده می‌شود. مابقی برای مخلوط‌های جدید بتن، مخلوط‌های گرم آسفالتی، سنگریزی، تولیدات کم ارزش برای خاکریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بازیافت نخاله‌های بتن برای استفاده دوباره از مصالح سنگی بعنوان سنگدانه در بتن تازه انجام می‌شود که نسبت به بتن تازه، استحکام و مقاومت در برابر ضربه کمتر، وزن مخصوص و جذب مقدار آب بیشتر را دارا می‌باشد. با روش‌های سنتی، قطعات بزرگ بتن به قطعات کوچک‌تری به نام کلوخه‌های بتنی تبدیل می‌شوند. این کلوخه‌ها غالباً به‌عنوان مصالح لایه اساس در ساخت جاده‌ها بکار می‌روند. توسعه دانش استفاده از سنگ‌شکن‌های هوشمند، به‌عنوان تکنیکی کاربردی برای بازیابی دانه‌های ماسه، شن و سیمان از این کلوخه‌های بتنی می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. سنگ‌شکن‌های سنتی که برای خرد کردن قلوه‌سنگ‌های بتنی بکار می‌روند و یا همان بتن خردکن‌های سنتی، دستگاه‌هایی عظیم‌الجثه‌اند. این دستگاه‌ها، دانه‌های شن و ماسه را هم می‌شکنند. درحالی‌که بتن خردکن‌های هوشمند، صرفاً بخش‌های سیمانی از قلوه‌سنگ بتنی را خرد می‌کنند و لذا دانه‌های شن و ماسه آسیبی نمی‌بینند. سنگ‌شکن هوشمند نه‌تنها چرخه تولید بتن را به‌صورت یک زنجیره حفظ می‌کنند، دانه‌های شن و ماسه را نیز در حد شکل اولیه خود جداسازی می‌نمایند. درهرحال مهم‌ترین نکته این است که تمام بخش سیمانی به‌صورت تمیز و عاری از آلودگی و مواد ناخالص، همراه با دانه‌های ماسه به‌صورت بهینه‌ای بازیابی می‌شود. این یک پیشرفت بسیار مثبت در زمینه ساخت‌وساز محسوب می‌شود چراکه در این روش، نه‌تنها انرژی الکتریکی کمتری مصرف می‌شود بلکه مقرون‌به‌صرفه نیز هست. استحکام بتن با سنگدانه‌های بازیافتی در مقایسه با بتن تازه حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کمتر است. اما با طرح اختلاط‌های مناسب می‌توان نتایج قابل قبولی بدست آورد. این ترکیب نیاز به مقدار کمی بالاتر از سیمان و یا استفاده از مواد افزودنی برای کاهش آب دارد. بتن بازیافتی را می‌توان به عنوان بتن‌های غیر مسلح، پرکننده‌ها وهمچنین بتن‌های غلطکی استفاده کرد. [۹۲] و [۹۳]

در [۹۴] نیز ضمن معرفی بتن بازیافتی و مصالح قابل بازیافت برای تولید این نوع بتن، به بررسی یک روش تولید بتن بازیافتی از بتن‌های بازگشتی پرداخته شده که این روش ضمن کاهش هزینه‌ها مزایای بسیاری از دیدگاه اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی دارد. در مرجع [۹۵] یک فرآیند شیمیایی برای بازیافت لجن‌های

بتنی[1] حاصل از بازیافت پایه‌های توزیع ارائه شده است. علاوه بر بازیافت مصالح، قطعه بتنی را نیز می‌توان مجددا استفاده نمود. در این راستا، یک روش ابتکاری مبنی بر برش ۳ متر انتهایی پایه‌های بتنی مستعمل ۱۲ متری و استفاده مجدد از آن به عنوان پایه ۹ متری در [۹۶] ارائه شده است. بر اساس مباحث عنوان شده و با توجه به ناگزیری از جایگزینی و اسقاط پایه‌های فرسوده در انتهای عمر آنها، به نظر می‌رسد که روش‌ها و فناوری‌های مرتبط با بازیافت پایه‌ها (بخصوص پایه‌های بتنی) در راستای کاهش هزینه چرخه عمر و کاهش آثار مخرب زیست محیطی، در آینده بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

تخریب[2] و جمع‌آوری سازه‌ها در انتهای عمر خود نیز یکی از مسائل مطرح در مهندسی سازه است که در سایر کشورهای توسعه یافته مورد توجه بوده و به دلیل جوان بودن نسبی سازه‌ها، در کشور ایران تا کنون (بجز در مورد ساختمان‌های قدیمی با مصالح بنایی و غیرمهندسی) مورد توجه و نیاز قرار نداشته است. انتظار می‌رود در سال‌های آتی با افزایش سن سازه‌های صنعت برق (بخصوص در نیروگاه‌های حرارتی) موضوع تخریب مهندسی شده آنها و کنترل تبعات و آوارهای حاصله (با توجه به اینکه عمدتاً با راهکارهای انفجار کنترل شده انجام می‌شود) بیشتر مطرح گردد.



شکل ۲-۳۷: مراحل تخریب یک برج خنک‌کن نیروگاهی در چین با انفجار کنترل شده [۹۷]

[1] - Concrete Sludge
[2] - Demolish

۲-۳-٤-٤- راهکارهای مقابله با سرقت نبشی در دکل‌های مشبک انتقال نیرو

سرقت نبشی از دکل‌های انتقال برق یکی از چالش‌های صنعت برق است که امنیت و قابلیت اطمینان خطوط انتقال نیروی کشور را تحت تاثیر قرار داده و باعث وارد آمدن خسارات مالی فراوانی به شرکت‌های برق منطقه‌ای شده است. اقدام به سرقت نبشی‌ها و باز کردن پیچ و مهره‌ها از محل‌های حساس دکل‌های فشار قوی موجب تضعیف عملکرد سازه دکل شده و می‌تواند موجب سقوط دکل و حتی دکل‌های مجاور گردد. به عنوان نمونه در آبان ماه ۱۳۹۹ در اثر سرقت نبشی، ۱۰ دکل خط ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه گدار – اهواز ۲ و خط ۲۳۰ کیلوولت نیروگاه شهید مدحج (زرگان) – اهواز سقوط کردند که موجب خسارات فراوانی گردید.

مسائل و مشکلات ناشی از نبشی دزدی را می‌توان به طور خلاصه در بخش‌های زیر دسته‌بندی نمود:

- کاهش قابلیت اطمینان خطوط انتقال نیرو
- قطعی برق بر اثر سقوط دکل‌های انتقال نیرو و در نتیجه مشکلات مالی، امنیتی و اجتماعی
- خسارات مالی فراوان ناشی از ساخت مجدد و برپایی دکل
- خسارت‌های متفرقه (جانی از ناشی فوت انسان، هزینه‌های غیر مستقیم خاموشی و ...)

با توجه به مشکلات و خسارات مستقیم و غیر مستقیمی که پدیده سرقت نبشی به شبکه برق کشورها از جمله ایران تحمیل می‌کند، تا کنون روش‌ها و ابداعاتی برای جلوگیری از سرقت نبشی در سطح کشور و دنیا توسعه پیدا کرده است. به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استفاده از مصالح نوین برای اعضای در معرض سرقت دکل: در این دسته از روش‌ها هدف این است که المان‌هایی از دکل که بیش‌تر در معرض سرقت قرار دارند با مصالح دیگر که ارزش سرقت آنها پایین‌تر باشد جایگزین گردد. در این زمینه می‌توان به استفاده از نبشی‌هایی با مصالح غیر فولادی مانند نبشی کامپوزیتی در قسمت‌های تحتانی دکل به عنوان جایگزین نبشی‌های فرعی فلزی اشاره کرد که مطالعاتی در سطح دنیا برای بررسی عملکرد سازه‌ای آنها و نیز نحوه اتصال آنها به اعضای اصلی دکل انجام شده است. در نمونه‌ای از این مطالعات که توسط رامیرز و همکاران (۲۰۱۵) در مکزیک انجام شده است، امکانسنجی جایگزینی اعضای فلزی دکل مشبک با اعضای کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که نبشی‌های فرعی که طولی بین ۰.۵ تا ۳ متر دارند را می‌توان با اعضای کامپوزیتی جایگزین نمود. به علاوه نتایج آزمایشگاهی این تحقیق نشان می‌دهد که برای اتصال اعضای کامپوزیتی نمی‌توان از روش پیچ کردن آنها به اعضای اصلی استفاده نمود؛ چراکه سوراخ نمودن این اعضا سبب کاهش قابل ملاحظه خصوصیات مکانیکی آنها در اطراف سوراخ ها می‌گردد. لازم به ذکر است که دکل‌های تمام کامپوزیت به صورت موفقیت‌آمیز در آمریکا، هند و چین به کارگرفته شده است؛ ولی در زمینه جایگزینی برخی اعضای فلزی دکل با اعضای کامپوزیتی تحقیقات بسیار اندکی صورت پذیرفته است. البته این رویکرد تنها در برابر سرقت می‌تواند مؤثر باشد و در برابر اقدامات خرابکارانه، کارآیی لازم را نخواهد داشت.

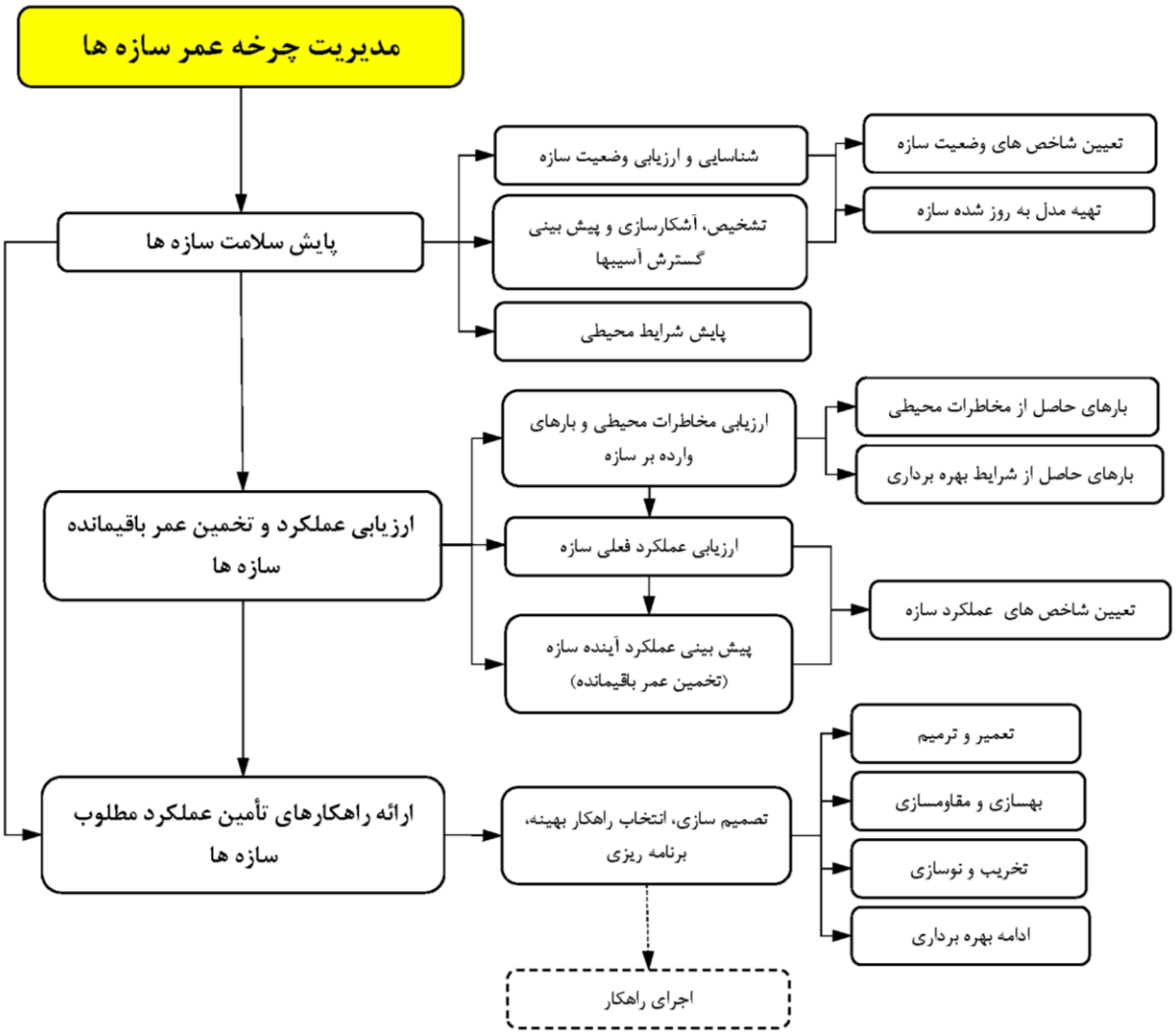
- بررسی توسعه دکل‌های مرکب (هیبریدی): در این روش، امکان‌سنجی ساخت و توسعه دکل‌های مرکب بتنی-فلزی بررسی می‌گردد و برای دکل‌های جدیدالاحداث دارای کاربرد می‌باشد؛ به گونه‌ای که سازه قسمت تحتانی دکل که بیشتر در معرض سرقت قرار دارد از جنس بتن مسلح ساخته شده و به علاوه به گونه‌ای طراحی شود که دسترسی به قسمت فوقانی دکل که از جنس فولاد می‌باشد را محدود نموده و باعث کاهش پتانسیل سرقت اعضای دکل گردد؛ و یا فونداسیون دکل به گونه‌ای طراحی گردد که تا ارتفاع بالایی از سطح زمین قرار گرفته و دسترسی به دکل مشبک فلزی را محدود نماید.
- ساخت یک سازه محافظ اطراف دکل جهت محدود کردن دسترسی و جلوگیری از سرقت نبشی: در این روش یک سازه محافظ مانند میخ کوبی یا فنس‌های فلزی یا دیوارهای بتنی اطراف دکل احداث می شود تا مانعی برای ورود سارقان به محوطه نزدیک دکل و سرقت نبشی گردد.
- استفاده از پیچ و مهره‌های ضد سرقت در سکشن پایینی برج: در این روش تا ارتفاع مشخصی از دکل مثلا تا حدود ۱۰ متر از سطح زمین (که بیش‌تر سرقت اعضای دکل در آن محدوده انجام می‌گردد)، از پیچ و مهره‌های ضد سرقت استفاده می‌گردد. گل این پیچ و مهره یک طرفه (ضد سرقت) به صورت مخروطی و شیب‌دار است و هیچ گونه ابزاری امکان باز کردن این پیچ را ندارد و زاویه شیارها به گونه‌ای طراحی شده که فقط آچار مخصوص این پیچ در جهت سفت شدن پیچ عمل می‌کند و امکان باز شدن پیچ با همین آچار (مبدل) هم وجود ندارد. با وجود برخی مزایای این روش خصوصا از نظر هزینه، دارای این نکته ضعف است که برای موارد و مناطقی که سارقان اقدام به بریدن مستقیم عضو دکل می‌نمایند، کاربردی نمی‌باشد.

راهکارهای فوق بیش‌تر جنبه پیشگیری از سرقت اعضای دکل را دارند. رویکرد دیگر، استفاده از سیستم‌های پایش سلامت سازه (SHM) است که بجای تلاش برای جلوگیری از وقوع سرقت، بیشتر جنبه مقابله با آثار مخرب ناشی از سرقت، بعد از وقوع آن را دارد. در واقع با استفاده از سیستم‌های پایش سلامت سازه، اثر حذف برخی از اعضای دکل بر رفتار کلی آن بررسی شده و با استفاده از روش‌های تشخیص آسیب، وقوع سرقت آشکار می‌شود و قبل از اعمال بارهای حدی و سقوط دکل، نسبت به رفع آسیب‌ها و اصلاح دکل اقدام می‌گردد. نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در این خصوص در گزارش مرحله اول ارائه شده است.

۲-٤-نگاشت (درخت) موضوع نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها

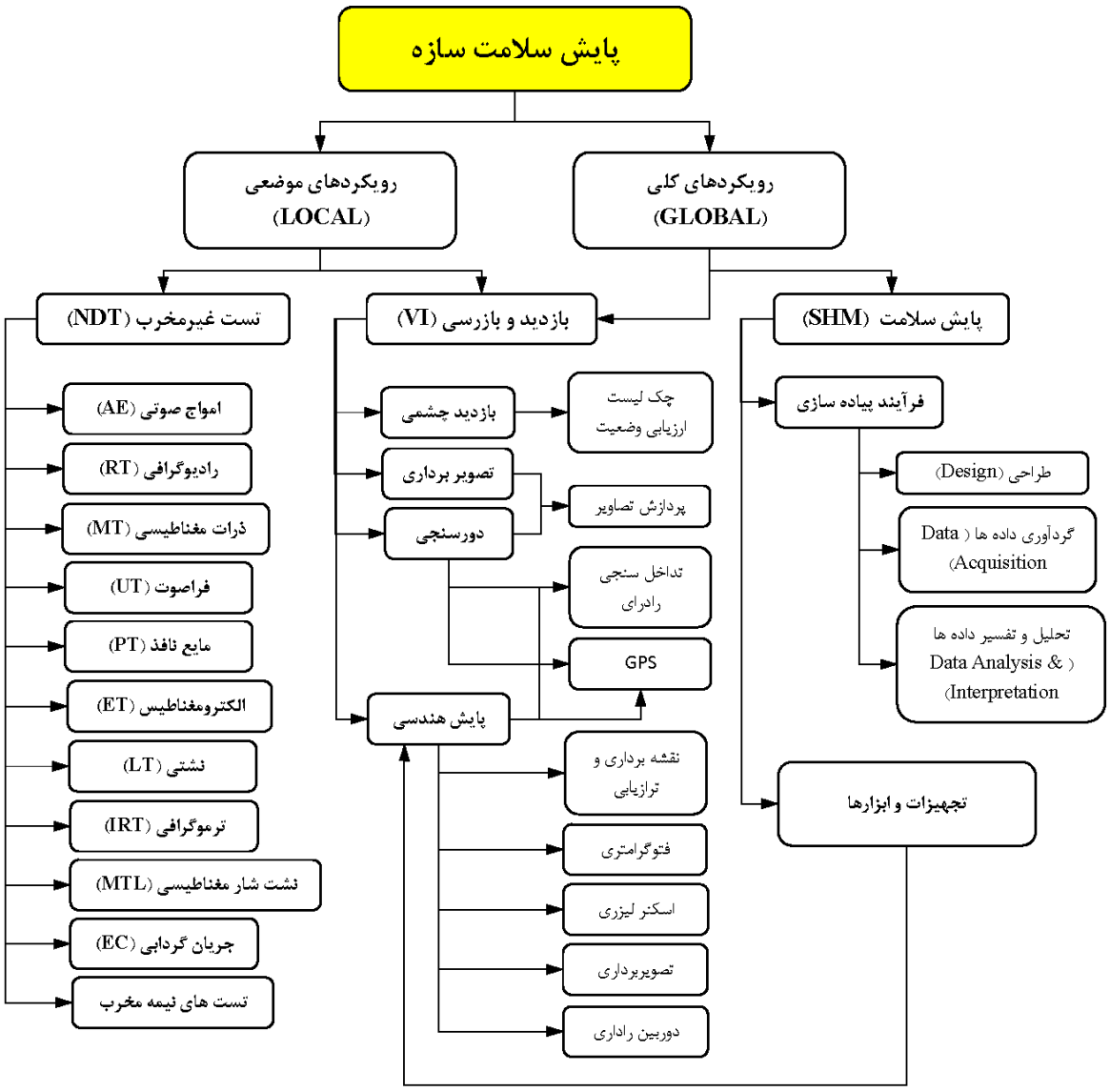
بر اساس مطالعات انجام شده که در بخش قبل ارائه شدند، حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها را می‌توان به هر دو صورت اجزاء (زیرسیستم‌ها) و کاربردها ارائه داد. همچنین حوزه‌های دانشی مرتبط نیز در این بخش مورد نظر قرار می‌گیرند. رویکردهای مختلفی برای شناسایی حوزه‌های فناورانه وجود دارد که از میان آنها، رویکرد تهیه نگاشت (درخت) فناوری برای برنامه‌ریزی فناوری در سطح ملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نگاشت فناوری شامل تعدادی گره و خطوط ارتباطی می‌باشد که هر گره بیانگر یک موضوع، مفهوم، زیرفناوری، کاربرد یا هر نوع اطلاعات دیگر بوده و خطوط ارتباطی بین گره‌ها، نحوه ارتباط آنها با یکدیگر را نشان می‌دهند. یکی از مهمترین کاربردهای نگاشت فناوری، امکان شناسایی و تحلیل و تصمیم‌گیری بر روی فناوری مرتبط با فعالیت‌ها یا فرآیندهای سازمان و همچنین کنترل و ردیابی اثرات فناورانه آنها بر محصولات و خدمات آن می‌باشد. از روش نگاشت فناوری می‌توان در هر دو حالت زیرفناوری و کاربردها استفاده نمود. [۱] برای موضوعات مورد نظر در این سند نیز از این رویکرد استفاده شده و حوزه‌های مرتبط با آن شناسایی شده و در قالب نگاشت یا درخت فناوری در ادامه ارائه شده‌اند.

در شکل ۳۸-۲ نگاشت کلی حوزه‌های فنی مرتبط با موضوع سند ارائه شده است.



شکل ۳۸-۲: نگاشت حوزه‌های فنی مرتبط با نگهداری و تعمیرات سازه‌ها

با توجه به تأکید خاص این سند بر مبحث توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه‌ها، نگاشت این حوزه از منظرهای مختلف (رویکردها، اجزا، فناوری‌ها و روش‌ها و ...) نیز بررسی و ترسیم شده است. برای شناسایی حوزه‌ها و اجزای پایش سلامت سازه‌ها و ترسیم نگاشت آن از روش نگاشت مفهومی استفاده شده است. این روش به ترسیم موضوعات و مفاهیم مرتبط با موضوع مورد نظر از منظرهای مورد علاقه می‌پردازد. نگاشت کلی رویکردهای مختلف پایش سلامت سازه‌ها و اجزای اصلی هریک از آنها در شکل ۳۹-۲ ارائه شده است.



شکل ۳۹-۲: نگاشت رویکردها، اجزا و فناوری‌های پایش سلامت سازه‌ها

در مورد فناوری پایش سلامت با رویکرد SHM، نگاشت یا درخت فناوری از دو منظر کلی شامل "اجزاء فرآیند اجرایی" و "تجهیزات (سخت افزارها) مورد نیاز" آن مورد مطالعه قرار گرفته و ترسیم شده است. اجزاء فرآیند اجرایی SHM به صورت یک زنجیره شامل سه حوزه کلی طراحی[۱]، گردآوری و اکتساب داده‌ها[۲] و آنالیز و تفسیر داده‌ها[۳] تقسیم شده است. خروجی حاصل از سه روند فوق، تشخیص[۴] و یا پیش‌بینی[۵] آسیب‌ها و تهیه مدل

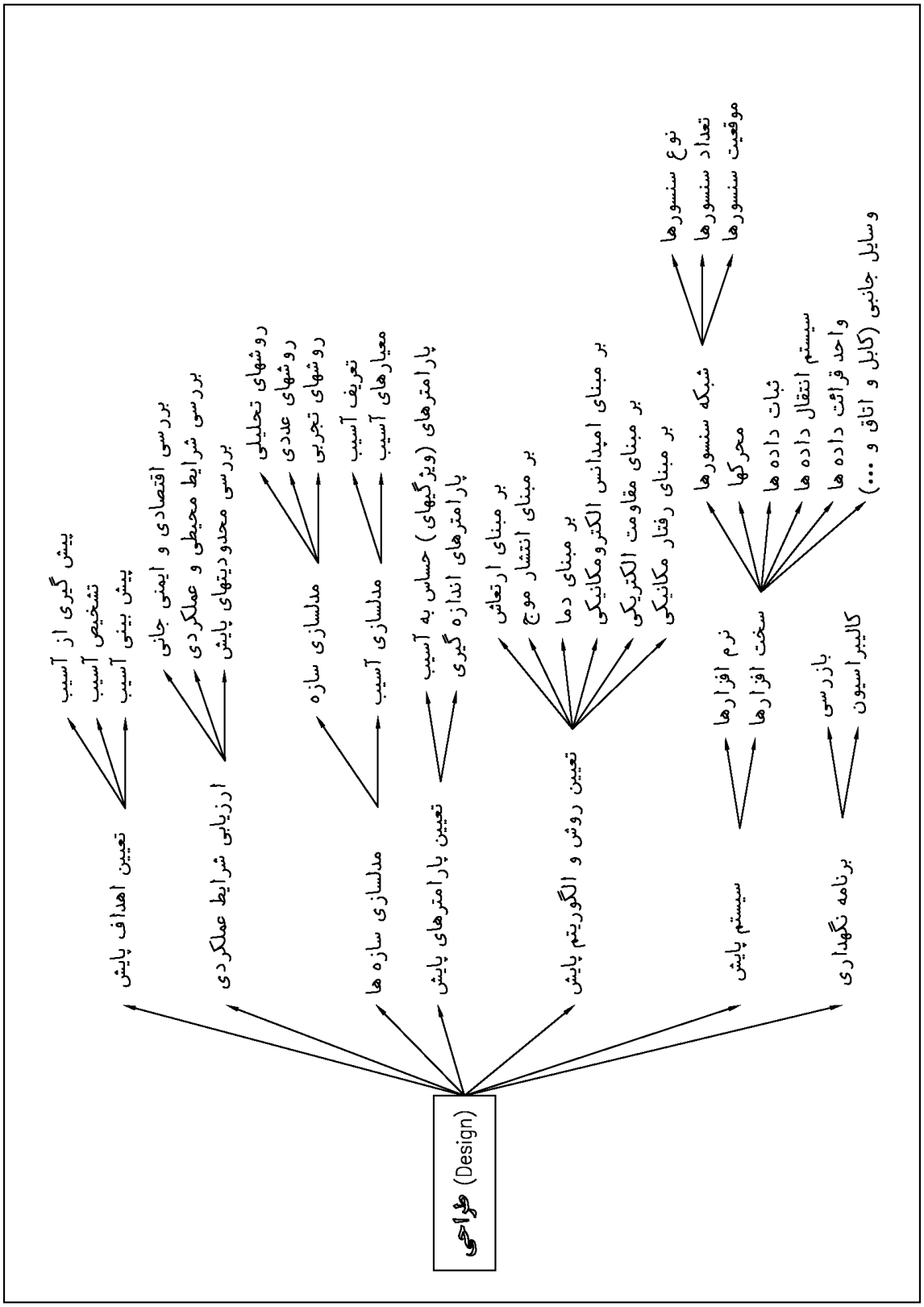
[1] - Design
[2] - Data Acquisition
[3] - Data Analysis and Interpretation
[4] - Diagnosis
[5] - Prognosis

به روزشده از سازه است که در نهایت، از این خروجی برای ارزیابی عملکرد و تصمیم‌سازی[1] جهت برنامه‌ریزی و مدیریت انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات با هدف کاهش اثرات و پی‌آمدهای مختلف آسیب‌ها بصورت بهینه استفاده خواهد شد. در بخش تجهیزات سخت‌افزاری و ابزارها، دانش‌فنی مورد نیاز برای انتخاب، نصب و نحوه بکارگیری آن (و نه تکنولوژی مورد نیاز برای ساخت) مورد نظر می‌باشد.

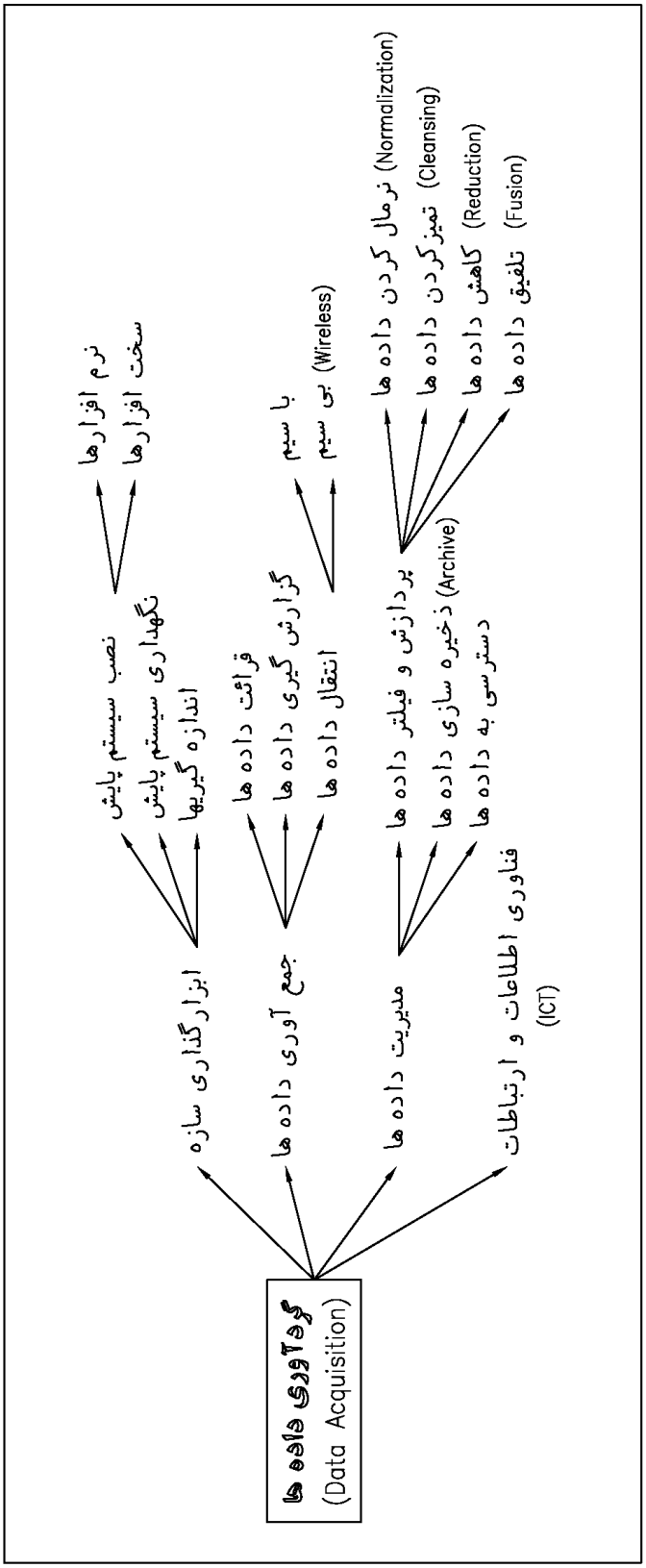
در اشکال ادامه این بخش، ادامه نگاشت‌های مربوط به فرآیند پیاده‌سازی و تجهیزات و ابزارهای پایش سلامت (SHM) (ادامه شکل ۳۹-۲) ارائه شده‌اند.

در انتهای این بخش نیز، نگاشت سامانه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق و سازه‌های آنها ارائه شده است. (شکل ۴۴-۲ در بخش تولید و شکل ۴۵-۲ در بخش‌های انتقال و توزیع) در تدوین راهبردهای سند در مرحله سوم، اولویت‌بندی میان سامانه‌ها و سازه‌ها برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری، بر اساس این نگاشت انجام خواهد شد.

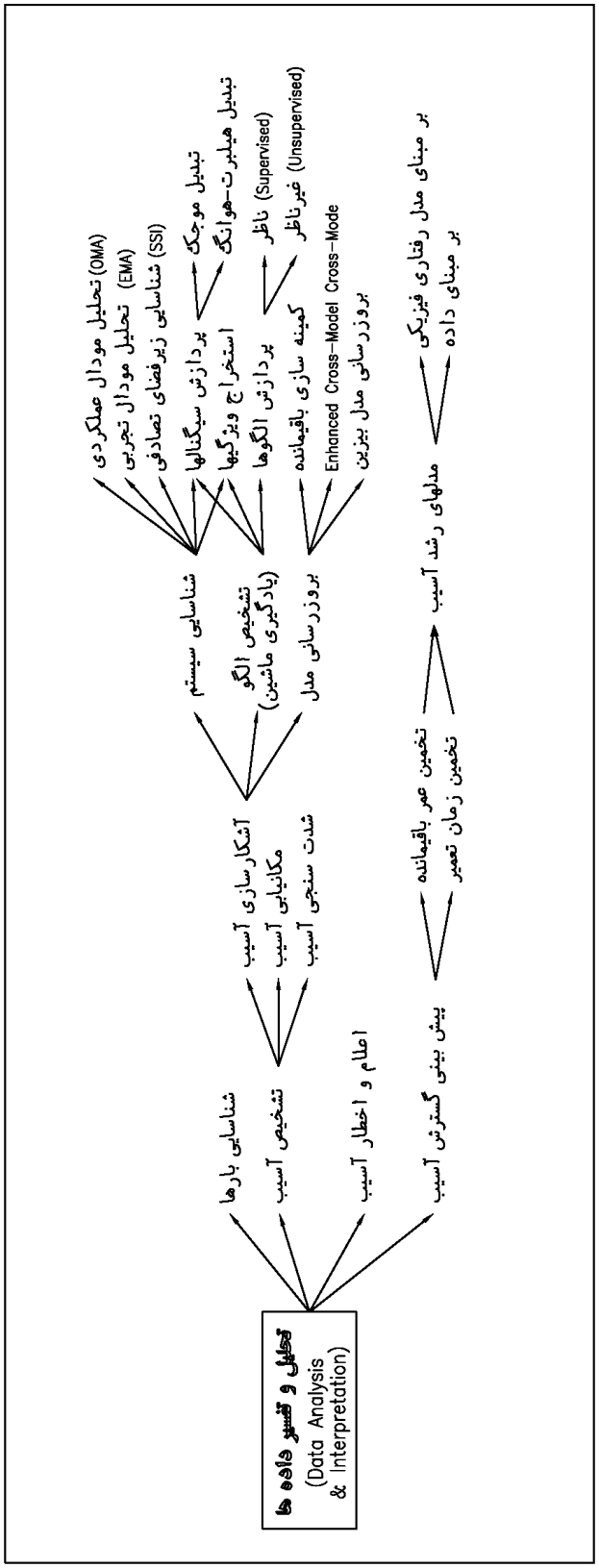
[1] - Decision making



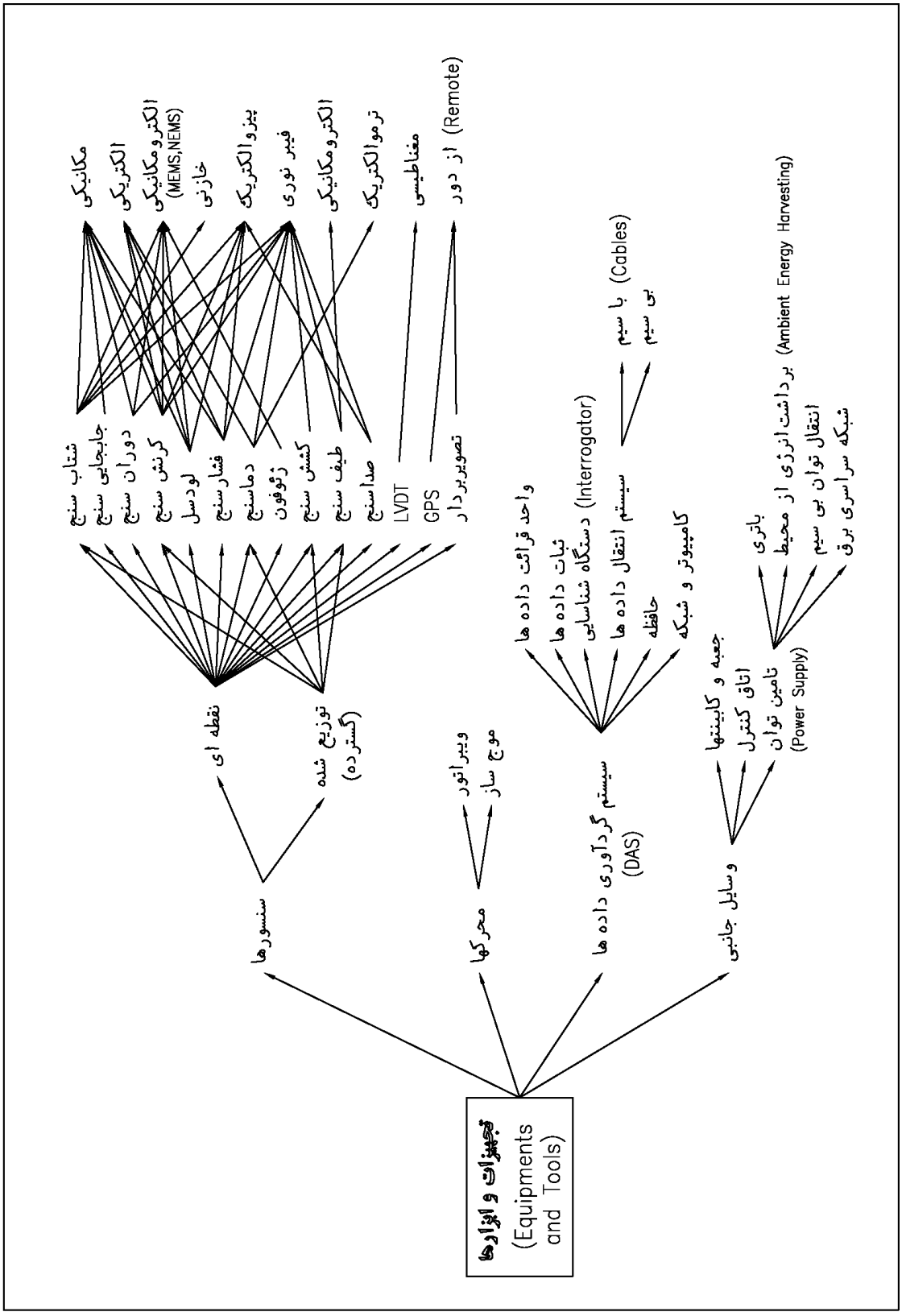
شکل ۴۰-۲: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی)



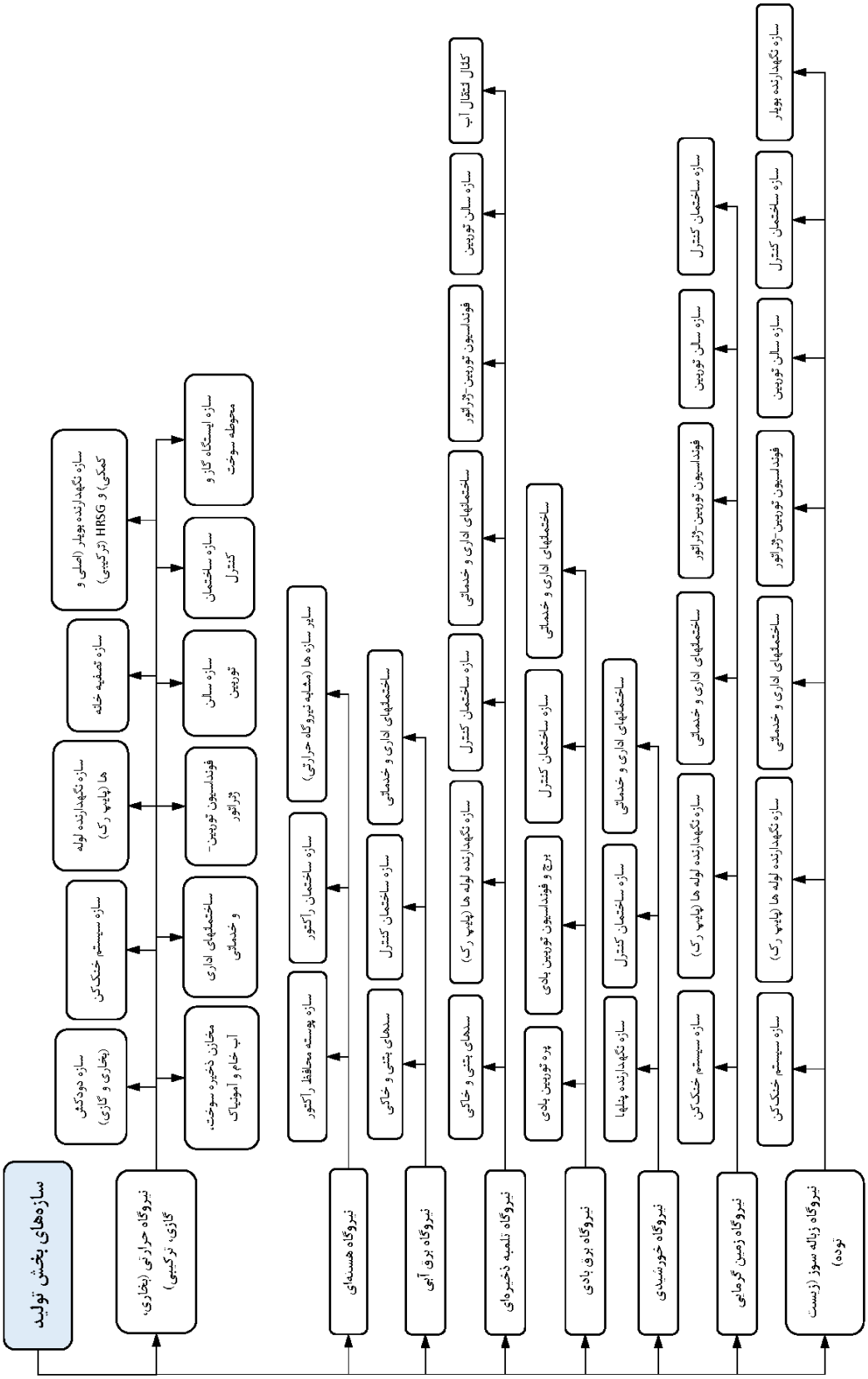
شکل ۴۱-۲: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی) (ادامه)



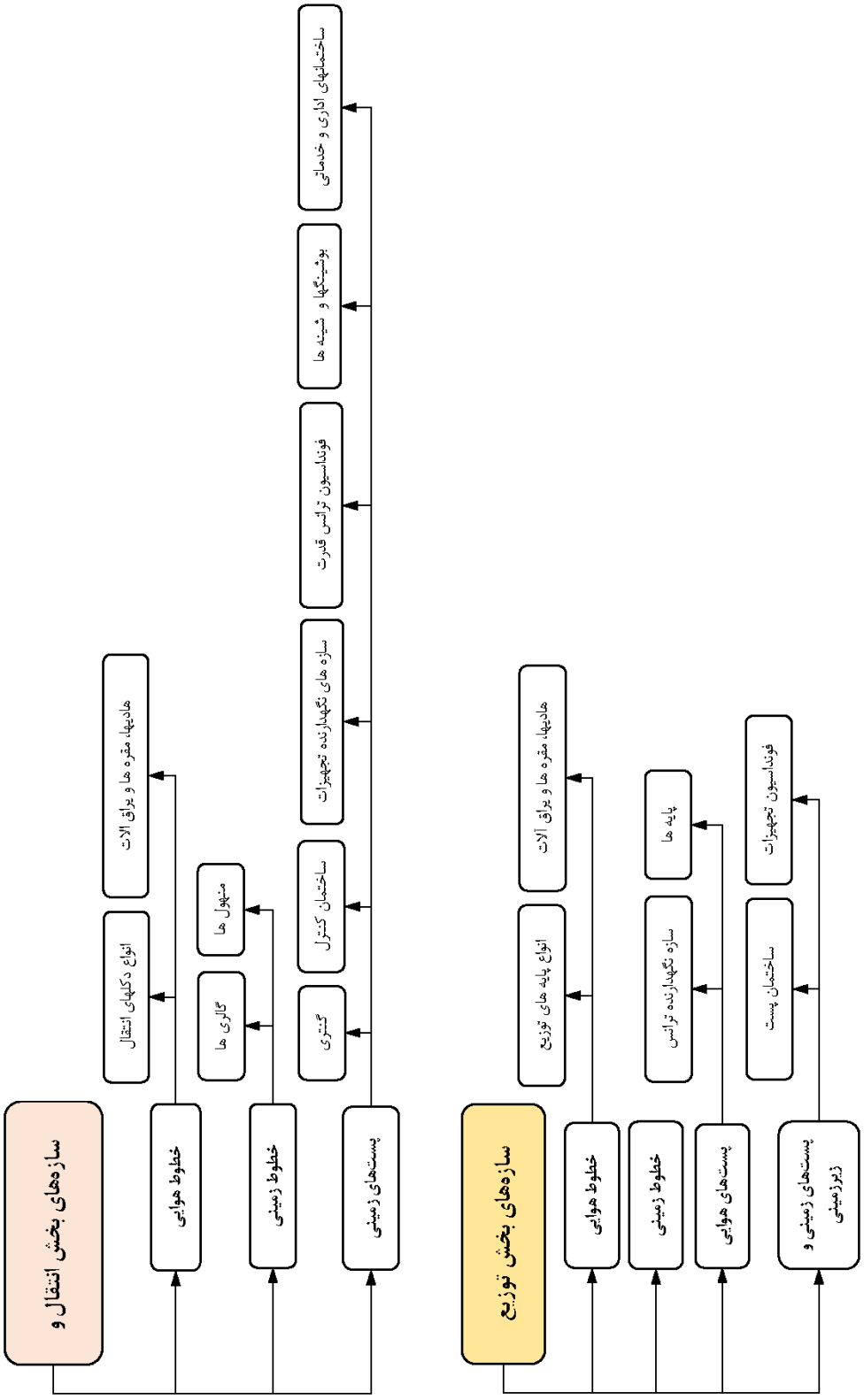
شکل ۴۲-۲: نگاشت فرآیند پیاده‌سازی پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM (حوزه های دانش فنی) (ادامه)



شکل ۴۳-۲: نگاشت تجهیزات و ابزارهای پایش سلامت سازه‌ها با رویکرد SHM



شکل ۴۴-۲: نگاشت سامانه‌های صنعت برق و سازه‌های آنها در بخش تولید برق



شکل ۴۵-۲: نگاشت سامانه‌های صنعت برق و سازه‌های آنها در بخش‌های انتقال و توزیع برق

۲-۵-آینده‌پژوهی حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها

امروزه، تغییرات سریع فناوری، لزوم درک بهتر از "تغییرات" و "آینده" را برای دولت‌ها، کسب و کارها و مردم ایجاب می‌کند. آینده پژوهی دانش و معرفتی است که منجر به باز شدن دید سیاستگذاران نسبت به رویدادها، فرصت‌ها و چالش‌های احتمالی آینده شده و از طریق کاهش ابهامات و تردیدهای فرساینده، توانایی انتخاب‌های هوشمندانه را افزایش می‌دهد. آینده پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع، الگوها و عوامل تغییر و یا ثبات، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای آنها می‌پردازد، [۱].

در ادبیات فنی تعاریف مختلفی برای آینده‌پژوهی ارائه شده که نمونه‌هایی از آن در ادامه عنوان شده‌اند. آینده‌پژوهی، فرآیند تلاش سیستماتیک برای نگاه به آینده بلند مدت علم، تکنولوژی، محیط زیست، اقتصاد و اجتماع می‌باشد که با هدف شناسایی تکنولوژی‌های عام نوظهور و تقویت حوزه‌های تحقیقات استراتژیکی است که احتمالاً بیشترین منافع اقتصادی و اجتماعی را به همراه دارند. (مارتین، ۲۰۰۰) در حقیقت میتوان گفت آینده‌پژوهی، فرآیندی سیستماتیک، مشارکتی و گردآورنده ادراکات آینده است که چشم‌اندازی میان مدت تا بلند مدت را با هدف اتخاذ تصمیم‌های روزآمد و بسیج اقدامات مشترک بنا می‌سازد. (گاوگان، ۲۰۰۱) لوک معتقد است آینده‌پژوهی ابزاری سیستماتیک برای ارزیابی آن دسته از توسعه‌های علمی و تکنولوژیکی است که می‌توانند تأثیرات بسیار شدیدی بر رقابت صنعتی، خلق ثروت و کیفیت زندگی داشته باشند. (لوک، ۱۹۹۶) آینده‌پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع، الگوها و عوامل تغییر و یا ثبات، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای آنها می‌پردازد. آینده‌پژوهی منعکس می‌کند که چگونه از دل تغییرات (یا عدم تغییرات) امروز، واقعیت فردا تولد می‌یابد.

در ادبیات آینده‌پژوهی فناوری، وجود چهار عنصر رویدادها، روندها، تصویرها و اقدام‌ها منجر به پیدایش آینده‌های مختلف می‌شود. رویدادها تمام وقایعی هستند که احتمال وقوع دارند. پیشرفت صنعت برق طی سال‌های آتی، ورود تجهیزات جدید و ناشناخته به این صنعت، از رده خارج شدن سازه‌های متعارف مورد استفاده در این صنعت در آینده، تغییر در میزان توجیه اقتصادی و فنی پایش سلامت در طی تغییرات سیاسی، اقتصادی و صنعتی کشور و دیگر مسائل از این قبیل، رویدادشان محتمل به نظر می‌رسد ولی به طور کامل نمی‌توانند شناخته شوند. با این حال، تشخیص حیطه اصلی آینده و برنامه‌ریزی برای آن تا حدودی امکانپذیر است و این باعث تمرکز بر گرایش‌های آینده می‌شود تا آنچه قرار است در آینده پیش آید تا حدی شناخته شود و برای وقوع آن آمادگی حاصل شود. در اینجاست که مفهوم روندها پدید می‌آید. سه نوع نگاه به روندها وجود دارد:

روندهایی که ادامه زمان گذشته و حال هستند. برای درک این روندها باید اتفاقات گذشته و حال را به درستی فهمید. به عنوان مثال، باید درک درستی از روند و سرعت رشد و پیشرفت در صنعت برق داشته باشیم و با اطلاعات دقیقتر در این زمینه بتوانیم سرعت رشد و مسیر آن در آینده را نیز پیش‌بینی کرده و متناسب با آن برنامه‌ریزی کنیم.

روندهای ادواری که در زمان حاضر احساس نشده‌اند، و مربوط به بعضی اتفاقات در گذشته‌های دورتر می‌شوند. این روندها ممکن است در آینده هم پیش بیایند. به عنوان مثال، شرایط بحرانی که به دلیل پیامدهای طبیعی رخ می‌دهد، و یا حتی تأثیر تحولات سیاسی و اقتصادی بر روی فناوری بایستی که پیش‌بینی شود.

مهمترین قسمت می‌تواند بررسی مسائل جدید و نو ظهوری باشد که در گذشته و حال وجود نداشته و ممکن است در آینده اتفاق بیافتد. طراحی سازه‌های هوشمند، افزایش قابل ملاحظه‌ی عمر سازه‌ها، و کاهش چشمگیرخرابی‌ها می‌توانند از جمله مسائلی باشند که پیامد مستقیم و یا غیر مستقیم فناوری پایش سلامت محسوب بشوند.

سومین و چهارمین عامل تأثیر گذار بر آینده، شامل تصاویری از آینده و اقدام‌هایی بر اساس آن تصاویر است.

۲-۵-۱- روش‌های آینده‌پژوهی

از دیدگاه مدیریت چهار شیوه برای رویارویی با آینده شناسایی می‌شود که عبارتند از: واکنش‌زده، واکنش‌گرا، پیش‌نگرانه و فعال. آینده‌پژوهی مجموعه فعالیت‌های پیش‌نگرانه و فعال در خصوص آینده است. بدلیل اینکه آینده هنوز به وقوع نپیوسته، آینده‌پژوهان ناچارند برخی روش‌ها را که نوعاً با روش‌های علمی و سنتی برای مطالعه امروز و گذشته به کار می‌روند، برای تحلیل برگزینند. روش‌های علمی مربوط به مطالعه امروز و دیروز دارای اطلاعات موجود یا قابل ایجاد هستند در حالی که مطالعات آینده تقریباً از این امکان بی‌بهره است. روش‌های مورد نظر در بحث مطالعات آینده‌پژوهی طیفی از روش‌های کمی تا روش‌های خلاقانه و یا ترکیبی از این دو را در بر می‌گیرد. در عین حال آینده‌پژوهان به بسیاری از گزینه‌های مختلف در آینده ممکن، محتمل یا ارجح باور دارند. بنابراین آینده‌پژوهان نه تنها علاقمند به مطالعه و بررسی آینده محتمل، که از بسط روند گذشته به آینده بدست می‌آید، هستند، بلکه به طراحی گزینه‌هایی برای آینده ارجح و همچنین نشان دادن روش و چگونگی برنامه‌ریزی برای گذار از زمان حال به آینده مورد نظر نیز می‌پردازند. [۹۸] آینده‌پژوهی رشته‌ای چند وجهی قلمداد می‌شود که مشتمل بر حوزه‌های مختلف است و طیف وسیعی از دیدگاه‌های پیرامون آینده‌ی محتمل و مرجع را در بر می‌گیرد. مهمترین روش‌های آینده پژوهی به اختصار عبارتند از [۱]:

- پیش‌بینی
- تجزیه و تحلیل اهداف
- دیده‌بانی
- پایش، تحلیل و برونیابی روندها
- شبیه سازی
- تحلیل تاریخی
- پسنگری
- روش‌های نظر خواهی
- سناریو پردازی
- مطالعات تطبیقی

بنابراین طیف گسترده‌ای از روش‌ها ابداع شده که ذیلاً به بررسی تعداد محدودی از آنها پرداخته شده است: [۹۸]

۲-۵-۱-۱- روش استنتاج روند

این روش به انعکاس روندهای گذشته به آینده در دوره‌های زمانی معین می‌پردازد. در این روش فرض بر این است که آینده تعمیمی از گذشته و حال است. هر چند گاهی اوقات یک اشتباه بسیار آشکار در تحلیل روند به وجود می‌آید و آن استنتاج به صورت خطی است که تعداد کمی متغیر را در محاسبه وارد می‌کنند. یک پیش‌بینی می‌تواند با مشاهده یک متغیر در طول زمان در ویژگی و خصوصیات یک پدیده و انعکاس آن و استنتاج این متغیر در آینده صورت گیرد. در چنین پیش‌بینی تمرکز روی روند بلندمدت است و بنابراین نوسانات کوتاه مدت در نظر گرفته نمی‌شود. در این روش پیش‌بینی‌کننده باید از عوامل مؤثر در ایجاد و تغییر در گذشته مطلع باشد و نسبت به تأثیر این فرآیند روی وضعیت سیستم به همان سبک و شیوه در آینده اطمینان داشته باشد. راهکاری که عمدتاً برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از منحنی رشد است. [۹۸]

۲-۵-۱-۲- روش دلفی

این روش از معروف‌ترین روش‌های آینده‌پژوهی است که دربرگیرنده پرسش‌هایی از کارشناسان به وسیله گردش متوالی یک پرسشنامه است که برای جهت بیان نظراتشان به کار می‌رود. نتیجه هر دور از جمع‌آوری نظرات با استفاده از روش‌های کمی و کیفی تحلیل می‌شود؛ تعداد دفعات گردش پرسشنامه در هر مطالعه به سطح همگرایی و همرایی نظرخواهی بستگی دارد. فرض اولیه از تکنیک مرسوم دلفی این است که همرایی و همنظری بین گروهی از کارشناسان راهنمای بهتری نسبت به وضعیت نظرات منفرد است. در عمل مهمترین مزیت این روش مفهوم کارگروهی کارشناسان است ولی معایبی نیز داردکه به منابع اطلاع کارشناس و حساسیت‌ها و جهتگیری‌های آنان برمی‌گردد. [۹۸]

۲-۵-۱-۳- روش سناریونویسی

این روش، مشتمل بر اطلاعات ساماندهی‌شده و سازمان یافته مربوط به وقایع و رویدادهای ممکن در آینده بر مبنای دیدگاه‌های مختلف از آینده است. این روش علی‌الخصوص برای کمک به درک رویدادهایی که به نظر می‌رسد شامل ترکیبی از اطلاعات نامرتبط به هم باشند مفید است. سناریوها باید به خودی خود تصاویر ثابتی از وقایع ممکن در آینده را ارایه دهند و باید ترکیبی از مؤلفه‌های کمی و کیفی مرتب شده و ترتیب یافته، به عنوان شرط‌های منطقی که گزینه‌های دیگر برای آینده هستند، باشند. بسته به موضوع و شرایط تعداد سناریوها معمولاً محدود به ۲یا ۳ مورد است. مهمترین مزیتی که این روش دارد یکپارچه‌سازی ابهامات و عدم حتمیت‌های موجود در دیدگاه‌های مختلف است. این روش می‌تواند به خوبی احتمالات مختلف در رخدادهای مربوط به آینده را تصریح کند، ولی در عین حال مشکل سناریونویسی که از آن به عنوان محدودیت روش تلقی می‌شود، وابستگی سناریوها به افکار و خط‌مشی تفکرات نویسنده سناریو است. [۹۸]

۲-۵-۱-٤- روش مدل‌سازی

در حال حاضر از روش‌های مدل‌سازی مختلفی در علوم و فنون گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از انواع آنها عبارتند از:

۱. مدل‌های اقتصادسنجی: این مدل‌ها بر مبنای سیستم‌های معادلات رگرسیونی چندگانه بنا نهاده می‌شوند که هر یک از این دستگاه‌ها و سیستم‌ها دربر گیرنده تعدادی متغیر وابسته متقابل هستند.

۲. مدل‌های بازخوردی: این مدل‌ها ابزاری را فراهم می‌کنند که کنش‌های متقابلی که عوامل اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و تکنیکی را به عنوان عوامل پیشرفت در آینده به هم مرتبط می‌کند، نشان دهند. در این مدل‌سازی، مدل‌های کامپیوتری با استفاده از روش‌های ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌های ریاضی می‌توانند روابط بین هر یک از عوامل مرتبط را مشخص کنند. به عنوان مثال، پیشرفت در تکنولوژی منتج به تولیدات بهتر می‌شود. همین امر باعث فروش بیشتر می‌شود. فروش بیشتر عاملی برای تشکیل سرمایه و توسعه و ارتقای فناوری می‌شود. نتایج این روش عموماً کمی است ولی برای نتیجه‌گیری کیفی، بررسی روندها و رویدادها و یا تصمیم‌گیری‌ها نیز به کار می‌روند. این تکنیک عموماً در فرمول‌بندی سیاست‌ها و یا استراتژی‌های سطوح بالا به کار می‌رود. [۹۸]

۲-۵-۱-۵- شبیه‌سازی‌ها و بازی‌ها

در این روش، هدف انتخاب متغیرهای معینی از دنیای واقعی در زمینه‌های مختلف است که قابلیت کاربرد در خلق یک مدل شبیه‌سازی کامپیوتری یا مدل بازی را داشته باشند. در اینگونه مدل‌ها می‌توان چگونگی انجام کنش‌های متقابل متغیرها با یکدیگر را در طول زمان مورد بررسی قرار داده و نمایش داد. با استفاده از این روش می‌توان از انسان یا کامپیوتر یا از هر دوی آنها به عنوان ایفاکننده نقش، بهره جست. در واقع می‌توان با استفاده از بازی "چه می‌شود اگر ..." وضعیت به وجود آمده را شبیه‌سازی کرد و با انتخاب گزینه‌های مختلف و معین نتایج حاصل از آنها را مشاهده کرد. [۴]

در ادامه این بخش، حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها که در حال تحول و پیشرفت بوده و ایجاد تغییر و تحول در آنها در آینده محتمل‌تر می‌باشد و همچنین روند پیشرفت و تحول آنها، با استفاده از بررسی اطلاعات موجود در سایر کشورها در خصوص زمینه‌های تحقیقاتی نوین، معرفی شده‌اند.

۲-۵-۲- روند تحولات آینده در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها

آینده نگهداری سازه‌ها در حوزه‌های مورد نظر در این سند، از دو جنبه کلی می‌تواند بررسی گردد. نخست از جنبه روند تحولات آینده که در حوزه‌های فنی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بطور کلی) روی خواهد داد و از جنبه دیگر، روند تحولات مورد انتظار در صنعت برق که بر نگهداری سازه‌های این حوزه مؤثر است.

در کشورهای در حال توسعه که زیرساخت‌های حیاتی و سازه‌های مربوط به آنها عمدتاً جوان بوده و یا در دست ساخت هستند، تمرکز فعالیت‌های مربوط به سازه‌ها بیشتر بر روی طراحی و ساخت بوده و مباحث مربوط به نگهداری در اولویت قرار ندارند. کما اینکه در کشور ایران نیز مباحث مربوط به نگهداری سازه‌ها (بجز موارد مربوط به زلزله) در حوزه‌های حاکمیتی (قوانین و مقررات) و عملیاتی، جایگاه قابل ملاحظه‌ای ندارند. در زمینه‌های مربوط به نگهداری پیشگیرانه سازه‌ها، تنها حوزه‌ای که در دهه گذشته در کشور بیشتر بدان توجه شده، حوزه ارزیابی، بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله بوده که به دلیل زلزله‌خیز بودن کشور و تجربه خسارات حاصل از آن، بطور خاص مورد توجه قرار گرفته است. ولیکن در سایر حوزه‌های مربوط به نگهداری سازه‌ها و

زیرساخت‌ها، فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات عمدتاً بصورت اصلاحی (تعمیر پس از مشاهده خسارت) صورت می‌گیرد. این در حالی است که در کشورهای توسعه‌یافته که زیرساخت‌های آنها دارای عمر بیشتری بوده و در بسیاری موارد به انتهای عمر طراحی خود رسیده‌اند، نیاز به نگهداری سازه‌ها (در مقایسه با طراحی و ساخت سازه‌های جدید) جهت حفظ عملکرد قابل اطمینان آنها بیشتر احساس شده و در پاسخ به این نیاز، دانش فنی و ابزارهای مورد نیاز آن تدوین شده (حتی در حوزه مهندسی تخریب سازه‌ها) و کاربردی نیز شده است. توسعه دانش فنی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به دنبال رشد تقاضای آن در دهه‌های اخیر در دنیا، و به موازات آن پیشرفت‌های حاصل شده در حوزه‌های فناوری اطلاعات و محاسبات، منجر به توسعه رویکردهای سیستماتیک نگهداری در برخی از سازه‌ها شده که در این خصوص می‌توان به سیستم مدیریت نگهداری پل‌ها[1] (به دلیل عمر و خسارات مشاهده شده بیشتر در آنها) و سیستم مدیریت اطلاعات ساختمان[2] اشاره نمود که اخیراً در کشور ایران نیز مطرح شده و در حال توسعه می‌باشند. با توجه به مطالب فوق، انتظار می‌رود که با گذشت زمان و افزایش عمر سازه‌ها (و نزدیک شدن عمر آنها به حد طراحی ۵۰ سال) در همه صنایع و از جمله در صنعت برق در آینده نه چندان دور، نیاز به برنامه‌ریزی و اجرای فرآیند نگهداری و تعمیرات سازه‌های موجود (در کنار توسعه و ساخت زیرساخت‌های جدید) افزایش یافته و بخش‌های مختلف صنعت برق شاهد رشد تقاضا (با مشاهده و درک تبعات حاصل از آسیب‌ها و خسارات سازه‌ای) در این خصوص باشند. از طرف دیگر، وقوع حوادث طبیعی (سیل و زلزله و ...) و انسانی (سرقت، خرابکاری و ...) و خسارات حاصل از آنها در سازه‌های صنعت برق امری اجتناب ناپذیر بوده و همچون روال گذشته، در آینده نیز شاهد رخداد چنین حوادثی در کشور خواهیم بود. ضمن اینکه روند وقوع و شدت برخی از حوادث ممکن است در آینده دچار تغییرات شده (مانند حوادث ناشی از تغییرات اقلیمی) و یا آثار مخرب آنها در آینده بروز بیشتری پیدا کند (مانند فرونشست و فروچاله‌ها در زمین). بر این اساس، ارزیابی عملکرد و مقاومسازی سازه‌هایی که در طول زمان دچار افت ظرفیت شده و یا اساساً از ابتدا در برابر این حوادث طراحی نشده‌اند نیز همچون گذشته، در آینده نیز مورد نیاز خواهد بود.

از منظر آینده صنعت برق کشور، مطالعات مختلفی انجام شده و سناریوهای گوناگونی برای آینده صنعت برق کشور ترسیم شده و عمدتاً به مسائل مدیریتی و سیاستگزاری در این حوزه (مانند خصوصی سازی، بازار و یارانه برق، تحولات بین‌المللی و تحریم‌ها، کاهش آلاینده‌های محیط زیست، گسترش انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، توسعه فناوری‌های نوین و پایه مانند تولید پراکنده، ذخیره‌سازها، نانو و ...) پرداخته‌اند. [۳۶ و ۳۷] نکته قابل توجه این است که در کلیه سناریوهای قابل تصور برای آینده صنعت برق کشور، نیاز به نگهداری سازه‌ها قابل حذف نبوده و تنها فرم برخورد و پاسخ به این نیاز (مثلاً از جنبه مدل کسب و کار در شرایط خصوصی شدن صنعت) ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد. بر این اساس، در این سند علاوه بر پرداختن به توسعه دانش و مسائل فنی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها، باید به رویکرد پیاده‌سازی آن در صنعت (در قالب مدل مناسب کسب و کار) نیز پرداخته شود که متأثر از تغییرات سیاستگزاری کلان صنعت در آینده خواهد بود.

[1] - Bridge Management System (BMS)
[2] - Building Information Modeling (BIM)

۲-۵-۳- حوزه‌های تحول در پایش سلامت سازه‌ها در آینده

همانطور که در گزارش مرحله اول مشخص گردید، فناوری پایش سلامت سازه‌ها در کلیت خود یک فناوری نسبتاً جوان در مهندسی سازه است. بر این اساس انتظار می‌رود که این فناوری همچنان در حال تغییر و تحول بوده و روش‌ها و ابزارهای نوین در حوزه های مختلف تحقیقاتی و کاربردی مرتبط با آن، تهیه و به جامعه علمی و مهندسی معرفی شوند.

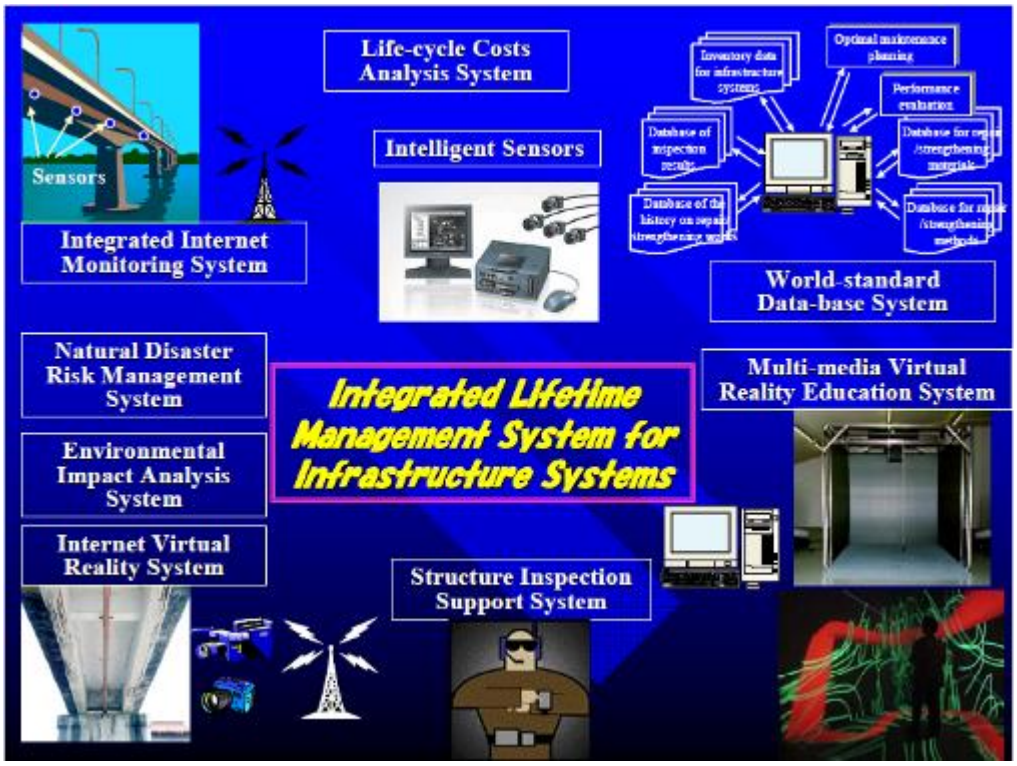
از زمانی‌که انسان به استفاده از ابزار روی آورده است، تشخیص آسیب و یا خطا که با استفاده از تغییرات پاسخ سیستم دینامیکی تعیین می‌شود، به صورت کمی با استفاده از تکنیک‌های صوتی و یا ارتعاشی صورت می‌گرفته است. یکی از اولین موارد استفاده از SHM تست ضربه بوده است که برای تشخیص ترک در چرخ‌های راه آهن در قرن ۱۸ انجام می‌شده است. از حدود دهه ۷۰ میلادی بحث پایش سلامت بصورت آنلاین برای تشخیص وجود آسیب‌ها در اعضای سازه‌ها، در کنار بازرسی و ارزیابی دوره ای غیرمخرب مطرح گردید. جامعه مهندسین عمران از اوایل ۱۹۸۰ مطالعه بر روی ارزیابی آسیب‌های پل‌ها برپایه ارتعاشات را آغاز کرده است. معرفی گسترده یک برنامه سیستماتیک بازرسی بطور مستقیم در مورد فروپاشی آنها در سراسر کشور ایالت متحده امریکا در ۱۹۶۷ در غرب ویرجینیا صورت گرفت. اصلاحات طراحی برای پاسخ لرزه ای پل ها در نتیجه‌ی آسیب های وارد بر این سازه‌ها در زلزله‌ی ۱۹۷۱ سان‌فرانسیسکو، صورت گرفت. از اواخر ۱۹۹۰ سیستم‌های تجاری برای نظارت بر سلامت پل‌ها موجود بوده است اما در بیشتر موارد آنها حداقل ابزار را، بدون قدرت تفکیک مکان برای تشخیص شروع زودرس آسیب محلی فراهم می‌کنند. در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، صنعت نفت ایالات متحده تلاش‌های قابل توجهی جهت ایجاد روش‌های تشخیص خرابی مبتنی بر ارتعاش برای سکوهای نفتی دریایی انجام داد. امروزه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین جهت تشخیص آسیب، در طیف وسیعتری از انواع سازه‌ها از قبیل پل‌ها، سدها، نیروگاه های تولید برق، ساختمان‌های با اهمیت زیاد، خطوط لوله و شریان‌های حیاتی، خطوط انتقال برق، تونل‌ها و ... در سطوح مختلفی (از تحقیقات صرف تا اجرا) مطرح بوده و ابعاد مختلف فنی و تکنیکی مربوط به آن، در حال توسعه می‌باشند.

در حال حاضر، تشخیص وقوع آسیب برای بسیاری از موارد کاربردی در سازه‌ها قابل انجام بوده و کافی است. روند توسعه سیستم پایش سلامت در حوزه های دانش فنی و تکنولوژی‌های سخت‌افزاری به سمتی است که امکان تشخیص وجود آسیب‌ها در مراحل اولیه خود با کمترین میزان خطا و اخطار غیرواقعی[1] میسر شده و علاوه بر آن، قابلیت پیش‌بینی روند رشد آسیب و به تبع آن، تخمین عمر باقیمانده سازه (که بالاترین سطح تکنیکی در پایش سلامت سازه است) نیز مهیا گردد. همچنین توسعه سیستم پایش سلامت در حوزه های دانش فنی و کاربردی و تکنولوژی تجهیزات به عنوان بخشی از سیستم سازه‌های هوشمند و قابل کنترل بصورت خودکار نیز در دنیا مطرح می‌باشد.

با توجه به روند جایگزینی سیستم‌های سنتی تشخیص خرابی با سیستم پایش سلامت در سازه‌ها در دنیا که نمونه‌هایی از آن برای سازه‌های مختلف در گزارش مرحله اول ارائه گردید، می‌توان نتیجه گرفت که دنیا در آینده شاهد استفاده گسترده‌تر و کاربرد تجاری سیستم پایش سلامت در انواع سازه‌ها خواهد بود. در واقع استفاده از

[1] - False Alarm

سیستم پایش سلامت آنلاین در سازه‌ها، امکان مدیریت بهینه دوره عمر آنها را فراهم خواهد نمود. شکل ۴۶-۲، جایگاه پایش سلامت آنلاین در برنامه آینده مدیریت جامع و یکپارچه چرخه عمر سازه‌ها[1] (بطور خاص برای پل‌ها) که در ژاپن تهیه شده، را نشان می‌دهد. مطابق شکل مذکور، اجزای اصلی سیستم جامع مدیریت چرخه عمر سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی شامل سیستم یکپارچه پایش سلامت[2] و بازرسی سازه (ترجیحا مبتنی بر اینترنت)، سیستم مدیریت ریسک بلایای طبیعی[3]، سیستم تحلیل آثار محیطی[4]، سیستم تحلیل هزینه چرخه عمر[5] و ابزارهای مورد نیاز مانند سنسورها و بانک داده‌ها و ابزارهای ارتباطی می‌باشند. سیستم پایش سلامت مبتنی بر اینترنت با استفاده از شبکه‌های ارتباطی و یک وب‌سرور ساخته می‌شود. با استفاده از این سیستم که قادر به انتقال داده‌های در زمان واقعی[6] است، ارزیابی سریع عملکرد و وضعیت سازه، و استفاده و مدیریت بهینه داده‌های اندازه‌گیری و جمع‌آوری شده در هر زمان و مکان، امکان پذیر می‌شود. [۲۶]



شکل ۴۶-۲: اجزای فنی سیستم جامع مدیریت دوره عمر سازه‌ها [۲۶]

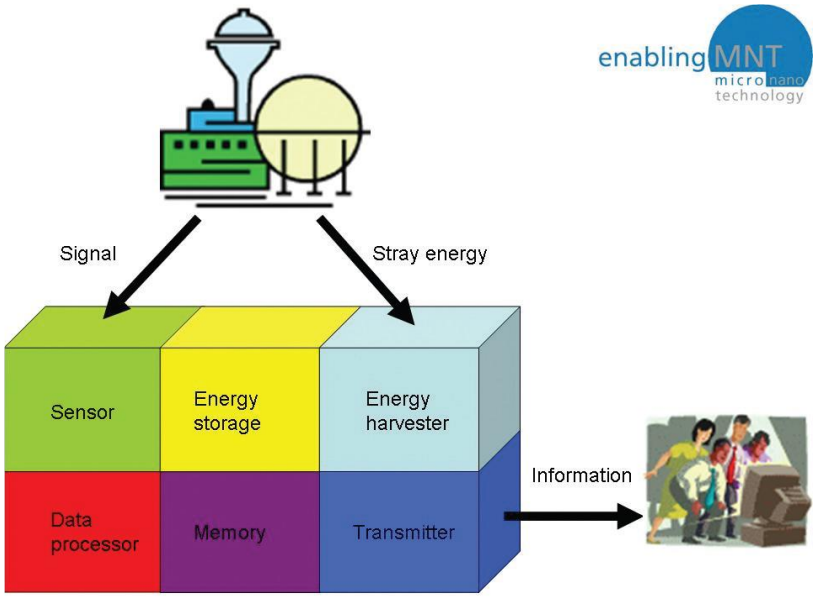
[1] -- Integrated Lifetime Management System
[2] - Integrated Internet Monitoring System
[3] - Natural Disaster Risk Management Syatem
[4] - Environmental Impact Analysis System
[5] - Life-Cycle Cost Analysis System
[6] - Real Time

با توجه به چندرشته‌ای بودن و وجود زیرمجموعه‌های گوناگون و متنوع علمی و فنی در فناوری پایش سلامت سازه‌ها، حوزه‌های مختلفی را در ارتباط با پایش سلامت می‌توان یافت که مشمول تغییر و تحولات قابل توجه در آینده شوند. نمونه‌هایی از این حوزه‌ها در ادامه این بخش ارائه شده‌اند.

۲-۵-۳-۱- سنسورها و فناوری‌های نوین اندازه‌گیری و بازرسی

همانطور که در بخش‌های قبلی گزارش عنوان شد، یکی از مهمترین مؤلفه‌های سیستم پایش سلامت سازه‌ها، اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز می‌باشد که این کار با استفاده از سنسورها انجام می‌شود. استفاده از سنسورها برای اندازه‌گیری، در بسیاری از صنایع متداول بوده و به مراتب قدمتی طولانی تر از پیدایش سیستم پایش سلامت سازه‌ها دارد. سنسورهای ابتدایی عمدتاً مبتنی بر تکنولوژی‌های مکانیکی برای اندازه‌گیری بوده و به تدریج انواع دیگر تکنولوژی‌ها نظیر استفاده از خواص الکتریکی، مقاومتی، مغناطیسی و پیزوالکتریکی برای سنسورها ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفتند. پیشرفت در تکنولوژی سنسورها در راستای ساخت و ارائه سنسورهایی با اندازه کوچکتر، دقت و قابلیت اطمینان بیشتر، قابلیت کارآیی و حفظ دقت اندازه‌گیری در شرایط محیطی مختلف، انجام پردازش محدود داده‌ها و قابلیت ارسال داده‌ها بصورت بی‌سیم می‌باشد. روند کلی توسعه سنسورها به سمت ایجاد بسته‌های مینیاتوری (کوچک شده) یکپارچه سنسور[1] با داشتن ویژگی‌های مذکور (کوچک، ارزان، بی سیم، با قابلیت ذخیره‌سازی و پردازش محدود داده‌ها، مهار و تأمین انرژی مورد نیاز خود) می‌باشد. این سیستم‌های سنسوری با عنوان سنسورهای هوشمند[2] نیز معرفی شده‌اند. شکل ۴۷-۲ نمونه‌ای از ویژگی‌های چنین سیستم‌های سنسوری را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است، سیستم‌های مینیاتوری یکپارچه سنسور شامل بخش‌های سنسور (برای انجام اندازه‌گیری و اکتساب داده)، جذب و ذخیره‌ساز انرژی[3]، پردازشگر داده (برای انجام پردازش‌های اولیه بر داده‌ها و کاهش حجم داده‌ها برای انتقال)، حافظه و انتقال‌دهنده[4] داده‌ها (بی سیم) می‌باشند. کوچک‌سازی[5] در این سیستم‌ها راهی برای دستیابی به کاهش قیمت و کارآیی بیشتر سیستم است. این کار به همراه استفاده از سیستم جذب انرژی، باعث افزایش زمان بین تعویض باتری می‌شود. استفاده از انتقال‌دهنده بی‌سیم و شبکه‌های سنسور، امکان پایش بدون کابل را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه انتقال داده‌ها نیازمند صرف انرژی است، مقدار داده‌های منتقل‌شونده باید تا حد امکان کاهش یابد. ازاینرو بخش پردازشگر داده نیز با هدف کاهش حجم داده‌های منتقل‌شونده، به این سنسورها اضافه شده است. [۲۳]

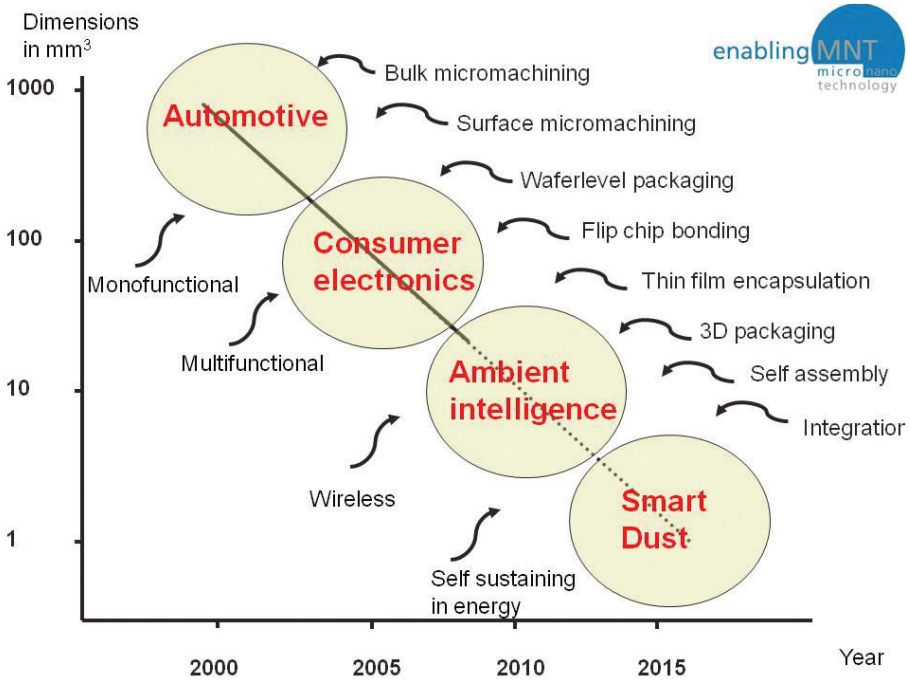
[1] - Miniaturized Integrated Sensor Package
[2] - Smart Sensors
[3] - Energy Harvester and Storage
[4] - Transmitter
[5] - Miniaturization



شکل ۴۷-۲: سیستم‌های یکپارچه سنسورها برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۳]

شکل ۴۸-۲ نیز روند توسعه سنسورهای مذکور را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، روند کلی توسعه سنسورها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و بعد از آن، شامل کوچک‌سازی حجم و ابعاد آنها (از مرتبه ۱۰۰۰ میلیمترمکعب تا مرتبه ۱ میلیمترمکعب) به همراه افزودن قابلیت‌های دیگر نظیر پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها، جذب انرژی از محیط، انتقال بی‌سیم داده و یکپارچه‌سازی مجموعه این قابلیت‌ها در یک بسته کوچک سنسور (تحت عناوین سنسور هوشمند، غبار هوشمند[1] و بسته مینیاتوری یکپارچه سنسور) بوده است. مجموعه قابلیت‌های فوق باعث کاهش کلی قیمت بکارگیری سنسورها و قابلیت نصب و استفاده از آنها در نقاط سخت و غیر قابل دسترس شده است. [۲۳]

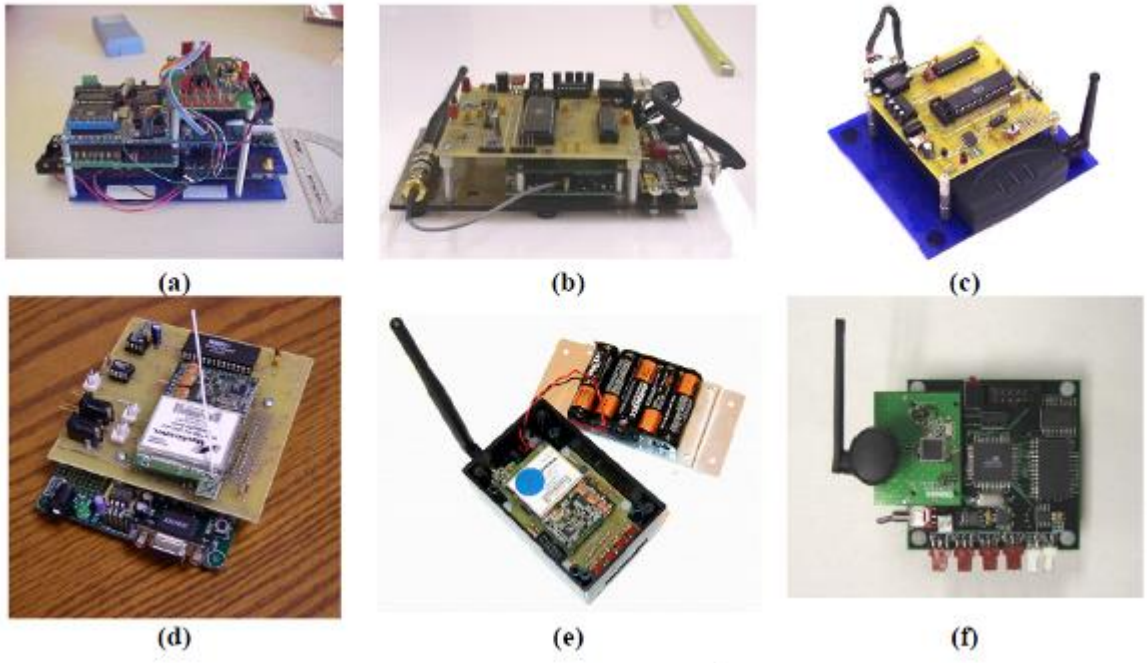
[1] - Smart Dust



شکل ۴۸-۲: روند توسعه سیستم‌های مینیاتوری یکپارچه سنسورها [۲۳]

سنسورهای بی‌سیم برای استفاده در پایش سلامت سازه‌ها، ابتدا توسط Straser و Kiremidjian در سال ۱۹۹۸ میلادی معرفی و ارائه شدند. انگیزه اصلی تمایل به توسعه سنسورهای بی سیم در پایش سازه‌ها، مشکلات اجرایی به همراه هزینه و زمان زیاد لازم برای نصب کابل‌ها بود. به تدریج و با مشاهده مزایای اجرایی و اقتصادی سنسورهای بی سیم، تکنولوژی این سنسورها توسط محققان دیگر توسعه پیدا کرده و منجر به تولید انواع سنسورهای هوشمند با قیمت‌های ارزان‌تر گردید. گونه دیگری از سنسورهای بی سیم با عنوان سنسورهای بی‌سیم فعال[1] در دهه اخیر ارائه شده‌اند که علاوه بر اندازه‌گیری پارامترها، توان اعمال کنش‌هایی بر سازه را نیز (همانند محرک‌ها) دارند. شکل ۴۹-۲ نمونه هایی از انواع سنسورهای بی‌سیم تولید شده در دو دهه اخیر را نشان می‌دهد. [۲۴]

[1] - Active Wireless Sensor



شکل ۴۹-۲: شش نسل از سنسورهای بی سیم تولید شده برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۴]

سنسورهای بی‌سیم هنوز محدودیت‌های زیادی دارند که باعث ایجاد انگیزه در محققان برای توسعه انواع جدیدی از سنسورهای هوشمند شده است. به عنوان مثال ، جمع‌آوری بی‌سیم داده‌ها هنوز سخت، زمان‌بر و مخرب است، چرا که صدها سنسور روی یک سازه بزرگ مقیاس نصب شده‌اند. علاوه بر این، اکتساب داده‌ها به دلیل پیچیدگی انتقال داده‌ها و همگام‌سازی زمان[۱] و مصرف برق، چالش‌برانگیز است. از طرف دیگر به دلیل مسائل و مشکلاتی که سنسورهای تماسی[۲] (که باید بر روی سازه نصب شوند) از هر دو نوع با سیم و بی‌سیم دارند، تمایل به توسعه سنسورهای هوشمند غیرتماسی[۳] نیز رو به افزایش است. برای غلبه بر چالش‌های سنسورهای تماسی، از سه دهه گذشته پیشرفت قابل توجهی در سنسورهای غیرتماسی ایجاد شده است. به‌عنوان نمونه‌هایی از سنسورهای غیرتماسی، می‌توان سنسورهای مبتنی بر سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS)، ارتعاش‌سنج‌های لیزری[۴] و تداخل‌سنجی راداری[۵] را نام برد. با این حال، سیستم مبتنی بر GPS می‌تواند نسبت به نویز الکترومغناطیسی، شرایط محیطی و آب و هوایی بسیار حساس باشد و از طرف دیگر، ابزارهای تداخل‌سنجی و ارتعاش‌سنج لیزری نیز گران هستند و محدودیت‌هایی در شرایط آب و هوایی و حداکثر فاصله اندازه‌گیری مورد نیاز دارند؛ زیرا اندازه‌گیری فاصله بیشتر به نور با شدت بیشتر نیاز دارد. جهت رفع چالش‌های سنسورهای غیرتماسی معمولی، اخیراً انواع دیگری از سنسورهای نسل بعد[۶] بصورت یکپارچه با سیستم‌های پایش بصری و

[1] - Time Synchronization
[2] - Contact-Based Sensors
[3] - Noncontact Smart Sensors
[4] - Noncontact Laser Vibrometers
[5] - Radar Interferometry
[6] - Next-Generation Sensors

متحرک، توسعه داده شده‌اند. به عنوان نمونه‌هایی از این سنسورهای نسل بعد می‌توان به دوربین‌های دیجیتال و پرسرعت[1]، پهپادها[2] (UAVs)، تلفن های هوشمند[3] و سنسورهای موبایل (رباتیک)[4] اشاره نمود. این سنسورها راحت‌تر بوده و امکان نصب سریعتر را فراهم می‌آورند و با استفاده از اطلاعات زمانی و مکانی سازه‌ها با وضوح بالا، اطلاعات قابل اطمینان‌تری را به دست می‌آورند. علاوه بر این، آنها نیاز به نیروی کار کمتری داشته و مقرون به صرفه هستند. [۱۰۸]

در دو دهه اخیر با معرفی و ارائه سنسورهای مبتنی بر تکنولوژی نوری (فیبر نوری) تحولی در سیستم‌های اندازه‌گیری ایجاد گردید. سنسورهای فیبر نوری ابتدا در حدود سال‌های ۱۹۵۰ میلادی در حوزه پزشکی (در دستگاه گاستروسکوپ برای بررسی داخل معده) مورد استفاده قرار گرفتند. اولین مطالعاتی که قابلیت فیبرهای نوری در اندازه‌گیری کرنش‌های مکانیکی را نشان داد، در سال ۱۹۷۸ میلادی انجام شد. به مرور با انجام تحقیقات گسترده توسط فیزیکدان‌ها و ساخت سنسورهای پیشرفته‌تر، کاربرد سنسورهای فیبر نوری در سایر صنایع (بخصوص صنایع مخابرات و هوافضا) نیز وسعت پیدا کرد. در سال ۱۹۸۸ میلادی اولین کاربرد سنسور فیبر نوری برای اندازه‌گیری درصد هوا در بتن تازه توسط اداره فدرال بزرگراه‌های امریکا صورت گرفت. جدول ۱۲-۲، انواع سنسورهای فیبرنوری موجود برای پایش سلامت سازه‌ها در اروپا، به همراه تولیدکنندگان آنها را نشان می‌دهد.

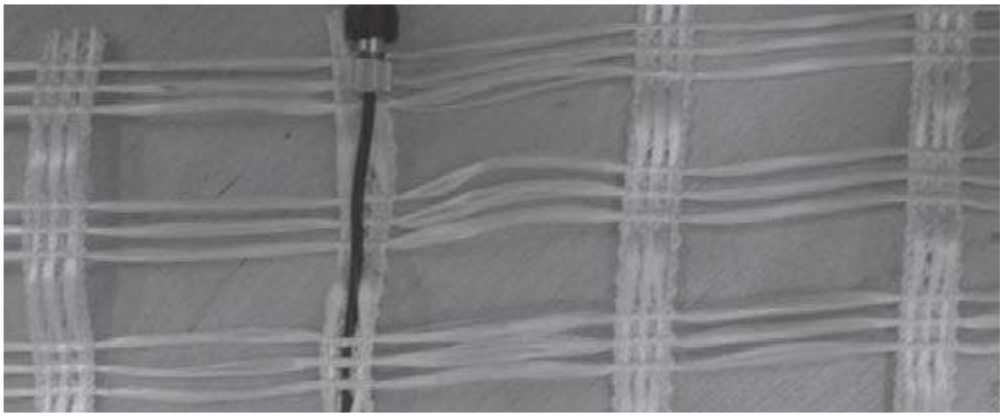
جدول ۱۲-۲ : انواع سنسورهای فیبرنوری در اروپا [۲۵]

شرکت‌ها و گروه‌های فعال در اروپا	*بلوغ*	*پارامتر اندازه‌گیری*	*نوع سنسور*
SMARTEC, IMAC-EPFL	تجاری	تغییرمکان	SOFO
OSMOS	تجاری	تغییرمکان	Microbending
ID-FOS, AOS, LETI, EMPA	تجاری	کرنش، دما، تغییرمکان	Bragg Gratings
BAM	پایلوت میدانی	کرنش	Fabry-Perot
Sensa, GESO	تجاری	دمای توزیع شده	Raman
SMARTEC, Omnisens, MET-EPFL	تجاری	کرنش و دمای توزیع شده	Brillouin

امروزه استفاده از سنسورهای فیبر نوری برای پایش سلامت سازه‌ها متداولتر از سایر انواع سنسورها است. با پیشرفت تکنولوژی ساخت سنسورهای فیبر نوری (به عنوان نمونه تکنولوژی انعکاس سنجی در حوزه زمان[5] در سنسورهای فیبر نوری پلیمری[6] FOP) پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز تکنولوژی استفاده از این سنسورها

[1] - Digital and High-Speed Cameras
[2] - Unmanned Aerial Vehicles
[3] - Smartphones
[4] - Mobile (robotic) Sensors
[5] - Optical Time Domain Reflectometry
[6] - Polymer Optical Fibers

تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها باشد. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها نیز رو به کاهش است. از طرفی با پیشرفت سیستم‌ها و نرم‌افزارهای آنالیز و پردازش داده‌ها سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها همواره در جهت پیشرفت و دقت بیشتر هستند.



شکل ۵۰-۲: استفاده از کرنش سنج FOP در لایه ژئوتکستایل [۱۳]

تکنولوژی‌های نوین همانند نانو تکنولوژی نیز کم‌کم جایگاه خود را در حوزه اندازه‌گیری و سنسورها بدست آورده‌اند. در این راستا، سنسورهای الکترومکانیکی با ابعاد میکرو (MEMS) و نانو (NEMS) برای اندازه‌گیری پارامترها در صنایع مختلف، معرفی و ارائه شده‌اند. بطور کلی کاربرد نانوتکنولوژی در پایش سلامت سازه‌ها در حوزه سنسورهای اندازه‌گیری است که با عبارت کلی نانوسنسورها شناخته می‌شوند. در این حوزه، نانولوله‌های کربنی[1] (CNT) از کاربرد بیشتری بخصوص در مصالح کامپوزیتی برخوردارند. یک کاربرد قابل توجه نانولوله‌های کربنی در مواد کامپوزیت الیافی، توسعه مواد کامپوزیتی چند منظوره با قابلیت استفاده به عنوان سنسور همراه با تقویت مکانیکی اضافی است. این سنسورها از طریق تغییراتی که در رسانایی الکتریکی آنها ناشی از کرنش مکانیکی یا آسیب‌های موضعی ایجاد می‌شوند، قادر به اندازه‌گیری کرنش یا تشخیص وقوع آسیب می‌باشند. نانوسنسورهای ساخته شده از نانولوله‌های کربنی می‌توانند در حین فرآیند تولید مواد کامپوزیتی، در درون لایه‌های این مواد تعبیه شوند و یا اینکه بصورت پوشش در سطح تمام شده مواد قرار داده شوند. [۱۳۶ و ۱۳۷] به عنوان نمونه‌ای از نانوسنسورها، محققان دانشگاه دیویس کالیفرنیا (UC Davis) با استفاده از نانولوله‌های کربنی، پوشش مقاوم و چند منظوره‌ای را ساخته‌اند که می‌توان آن را بر روی هر سطحی اسپری کرد و کرنش‌های بوجود آمده در آن سطح را پایش کرد. این تکنولوژی در ابتدا به صورت لایه‌لایه در داخل اجزای سازه‌ای ساخته شده از مواد کامپوزیتی اجرا می‌شد. با توسعه آن امکان اجرای آن به صورت اسپری بر روی سطوح فراهم شد. این پوشش حساس به کرنش است به این صورت که اگر کشیده و یا فشرده شود مشخصات رسانایی الکتریکی آن بسته به مقدار کرنش، تغییر می‌کند. از این سنسورها برای پایش سلامت سازه‌های با اهمیت نظیر پل‌ها و توربین‌های بادی

[1] - carbon nanotubes

(بخصوص در پره و برج توربین) استفاده می‌شود. همچنین این سیستم این امکان را فراهم می‌آورد که به اپراتور هشدار اولیه‌ای پیش از شکست سازه‌ای داده شود.



شکل ۵۱-۲: استفاده از پوشش نانو لوله‌های کربنی به عنوان سنسور حساس به کرنش

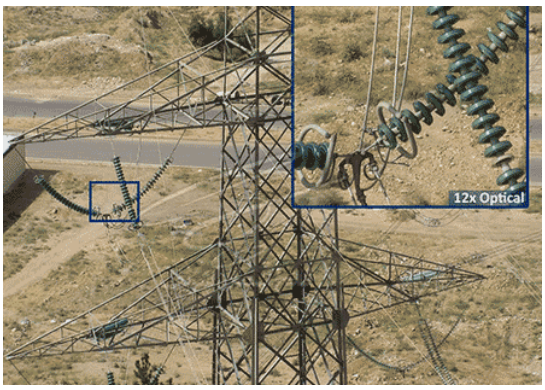
استفاده از ابزارها و فناوری‌های نوین برای انجام بازرسی و تصویربرداری (نظیر انواع روبات‌ها و پهپادها) نیز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و علیرغم اینکه فعالیت‌های تحقیقاتی در خصوص افزایش کارآیی، دقت و سهولت بکارگیری آنها هنوز ادامه دارد، در برخی موارد کاربرد عملی نیز پیدا کرده است. استفاده از پهپادها (UAVs) در بازرسی و عیب‌یابی سازه‌های طویل، مرتفع و یا واقع در مناطق صعب‌العبور (مانند خطوط انتقال و توزیع، توربین‌های بادی، سدها و ...) بصورت روزافزون ادامه داشته و پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز توسعه بیشتری پیدا کند. نمونه‌هایی از بکارگیری پهپادها در بازرسی تأسیسات مختلف صنعت برق در [۳۴]، [۴۰] و [۱۳۹] و اشکال زیر ارائه شده‌اند.



شکل ۵۲-۲: استفاده از پهپاد در بازرسی خطوط انتقال و توزیع



شکل ۵۳-۲: استفاده از پهپاد در بازرسی توربین بادی

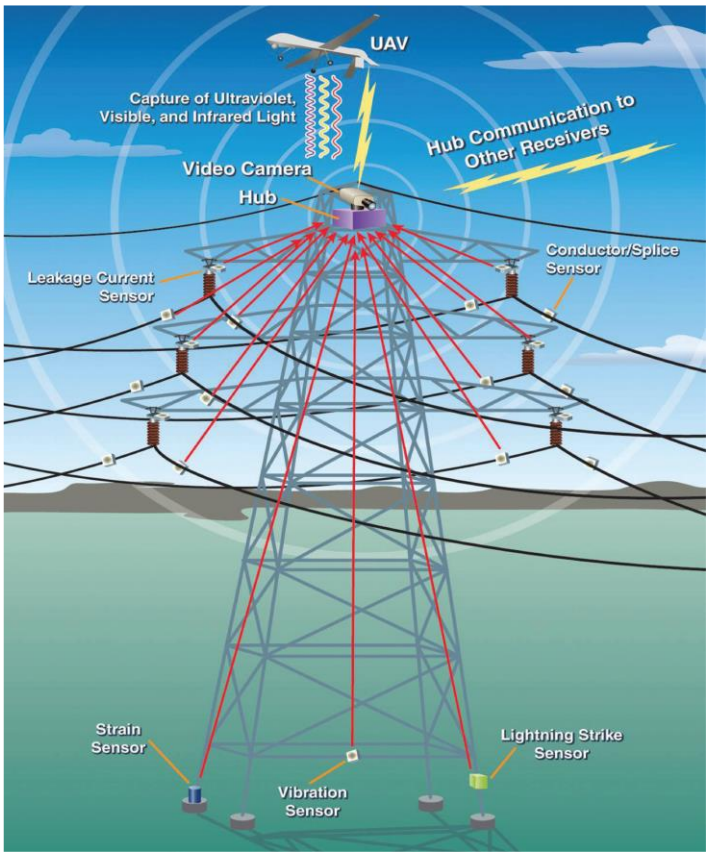


تصویر مقره خط انتقال



عیب پیدا شده در توربین بادی

شکل ۵۴-۲: نمونه‌هایی از تصاویر اخذ شده توسط پهپاد

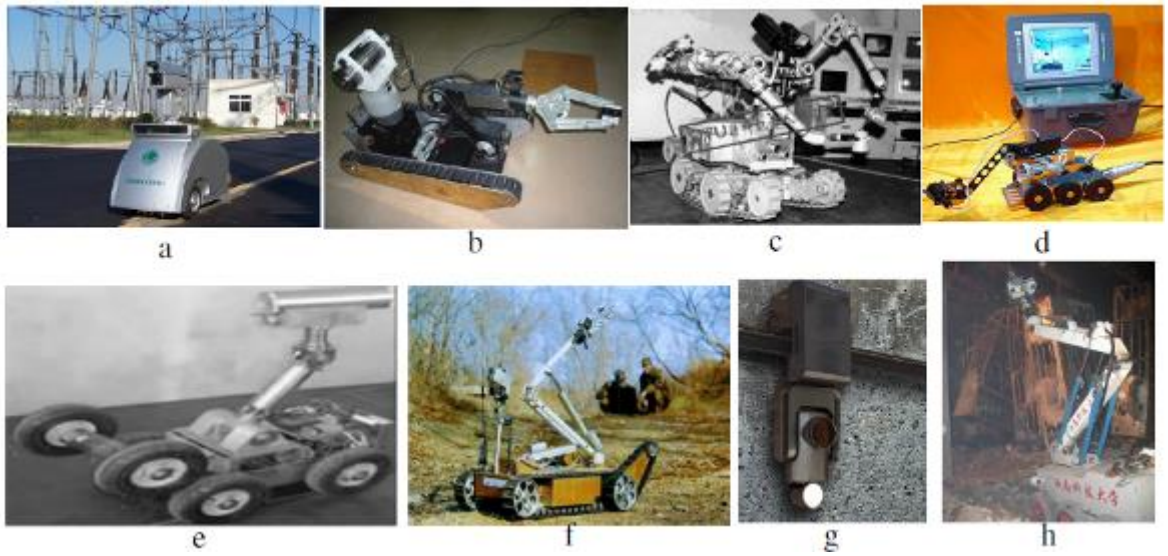


شکل ۵۵-۲: شکل شماتیک پایش یک دکل انتقال با روش‌های مختلف شامل سنسورهای ارتعاش و کرنش‌سنج، دوربین ویدئویی و پهپاد [۱۰۹]

استفاده از روبات‌های بازدید و عیب‌یابی[1] (MIR) نیز در خطوط انتقال و نیروگاه‌ها (عمدتاً نیروگاه‌های هسته‌ای) نیز مورد توجه قرار داشته (شکل ۵۶-۲) و با توجه به اینکه تحقیقات در این زمینه هنوز در جریان است، انتظار رشد بکارگیری آنها در آینده نیز می‌رود. [۳۵] مرور جامعی بر تحقیقات و روندهای حوزه بازرسی خطوط برق با استفاده از روبات‌ها از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ در [۱۱۰] ارائه شده است. بسیاری از محققان، بازرسی روباتیک را با هدف جایگزینی روش‌های خسته‌کننده بازرسی انسانی از نظر ایمنی، سرعت و کارایی پیشنهاد کرده‌اند. سه طبقه‌بندی برای روبات‌های بازرسی[2] (PTLIR) موجود، یعنی روبات‌های صعودی[3]، پرنده[4] و ترکیبی[5] به طور گسترده ارائه شده است. (شکل ۵۷-۲) با این حال، آخرین روند تحقیقات نشان می‌دهد که ترکیبی از روبات‌های صعودی و پرنده در یک ساختار یکپارچه، مؤثرترین روش برای بازرسی خطوط انتقال است. با این وجود، عواملی مانند ظرفیت محدود باتری، محافظت در برابر امواج الکترومغناطیسی، ارتقاء قابلیت عبور از

[1] - Maintenance and Inspection Robot (MIR)
[2] - Power Transmission Line Inspection Robots
[3] - Climbing
[4] - Flying
[5] - Hybrid

موانع در مسیر و کنترل پیشرفته عدم قطعیت‌ها (به عنوان مثال اختلالات ناشی از باد) باید در تحقیق و توسعه آینده این روبات‌ها در نظر گرفته شوند. [۱۱۰]



شکل ۵۶-۲: روبات‌های بازرسی (MIR) مورد استفاده در صنعت برق (چین) [۳۵]



شکل ۵۷-۲: نمونه‌هایی از روبات‌های بازرسی (PTLIR) مورد استفاده در خطوط انتقال [۱۱۰]

امروزه ابزارهای نوین اندازه‌گیری و پایش هندسی تغییرمکان‌ها (استاتیکی و دینامیکی) و فواصل با استفاده از فناوری‌های رادار و لیزر نیز ارائه شده و در حال توسعه‌اند. [۳۸ و ۳۹ و ۱۱۲] (شکل ۵۸-۲) همچنین تصاویر ماهواره‌ای نیز برای شناسایی مخاطرات محیطی (بخصوص در مورد تعیین وضعیت و مشخصات فرونشست زمین در یک منطقه وسیع) بر اساس روش‌های دورسنجی (مانند تداخل‌سنجی رادرای) مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۵۸-۲: پایش ارتعاشات پل فولادی راه‌آهن با استفاده از دوربین راداری IBIS-FS [۳۹]

۲-۵-۳-۲- تحولات در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT)

سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها در آینده با توجه به افزایش قابل توجه حجم سیگنال‌ها و داده‌های نیازمند پردازش در مدت زمان نسبتاً طولانی، متفاوت از سیستم‌های امروزی خواهند بود. بر این اساس نیاز به سیستم‌ها و روش‌های پیشرفته پردازش و مدیریت داده‌ها که قادر به تبدیل حجم بالای داده‌ها به اطلاعات قابل استفاده در فرآیندهای تشخیص آسیب‌ها بوده و درعین حال دارای هزینه نسبتاً بالا هم نباشند، بطور روزافزون افزایش می یابد. از آنجاکه بخش قابل توجهی از فرآیند پایش سلامت سازه‌ها شامل انجام عملیات مختلف روی داده‌های اندازه‌گیری شده بوده و بطور کلی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) قرار می‌گیرد، تحولات آینده در این حوزه (در زمینه های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری) نیز بر مبحث پایش سلامت سازه‌ها تأثیر گذار خواهد بود. یکی از موانع و چالش‌های موجود در راه اجرایی شدن فرآیند پایش سلامت در سازه‌ها، نیاز به انتقال، ذخیره‌سازی، مدیریت، پردازش و تجزیه و تحلیل حجم انبوهی از داده‌های اندازه‌گیری شده در مدت زمان محدود است که این کار در عمل دارای مشکلات اجرایی می‌باشد. جهت‌گیری عمده تحولات در فناوری اطلاعات با هدف پردازش و کار با سرعت بیشتر بر روی داده‌های با حجم بالاتر می‌باشد که نقش مثبتی در اجرایی شدن روند پایش سلامت در سازه‌ها خواهد داشت. در این خصوص می‌توان به تلاش‌های انجام شده در حوزه‌های زیر اشاره نمود:

- توسعه حافظه‌ها با قابلیت ذخیره سازی احجام بالاتر داده‌ها به همراه دسترسی و فراخوانی سریعتر
- انتقال سریع‌تر، ایمن‌تر و قابل اطمینان‌تر داده‌ها (مانند فیبر نوری)
- توسعه فناوری‌های مرتبط با پردازش کلان‌داده‌ها[1]
- انتقال بی‌سیم داده‌ها
- استفاده از شبکه‌های ارتباطی (نظیر اینترنت و شبکه‌های محلی) و ارتقاء توانمندی‌های آنها
- محاسبات و کار بر روی داده‌ها در فضای ابری[2]

بدیهی است که با پیشرفت این حوزه‌ها، انجام محاسبات حجیم‌تر و استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های پچیده‌تر پایش سلامت با سهولت بیشتری امکان پذیر شده و اجرای گسترده و فراگیر این فناوری در سازه‌ها، میسر خواهد شد.

۲-۵-۳-۳- روش‌ها و الگوریتم‌های تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها

همانطور که در بخش‌های قبلی گزارش عنوان شد، تکنیک‌ها و روش‌های بسیار متنوع و گوناگونی برای تشخیص و یافتن وجود آسیب در سازه‌ها معرفی و ابداع شده‌اند. اولین تکنیک‌های تشخیص آسیب در سازه‌ها با الهام از روش‌های موجود پایش وضعیت در تجهیزات دوار، عمدتاً با رویکردهای مبتنی بر بررسی خواص ارتعاشی سازه تدوین شدند. به تدریج و با پیشرفت دانش در سایر زمینه های مرتبط مانند تکنولوژیهای اندازه‌گیری و امکان انجام محاسبات در حجم و لندازه و دقت بالاتر در مدت زمان کوتاهتر، تکنیک‌ها و الگوریتم‌های متعدد و نوین برای تشخیص آسیب نیز توسط محققان معرفی و ارائه گردید.

یکی از زمینه‌های مهم تحقیقات در پایش سلامت سازه‌ها در خصوص تدوین و توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های جدیدتر و کارآتر و یا ارتقاء الگوریتم‌های فعلی برای تشخیص و پیش‌بینی خرابی و آسیب در سازه‌ها می‌باشد. تحول در این زمینه، هم اکنون در دنیا در جریان است و حجم قابل توجه مقالات منتشر شده در این زمینه گواه این امر بوده و مسلماً در آینده نیز شاهد پیشرفت‌هایی در این حوزه‌ها خواهیم بود. بدیهی است که پیشرفت در ارائه روش‌ها و الگوریتم‌های نوین تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها با پیشرفت‌های ایجاد شده در زمینه محاسبات و فناوری اطلاعات در حوزه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به شدت با یکدیگر مرتبط و همبسته می باشند. جهت‌گیری عمده توسعه الگوریتم‌های تشخیص خرابی در راستای قابلیت و توان تشخیص آسیب‌های موجود، در مراحل اولیه تشکیل آنها (با کمترین میزان ممکن وجود آسیب) و با کمترین میزان خطا می‌باشد. همچنین با توجه به پیشرفت در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات و توسعه روش‌های انتقال سریع تر داده‌ها، روند تدوین الگوریتم‌ها و روش‌های تشخیص خودکار آسیب‌های سازه‌ای در زمان واقعی[3] نیز مورد نظر می‌باشد. در این راستا، روش‌های تشخیص و شناسایی خصوصیات مودال سازه‌ها بطور پیوسته و در شرایط عادی عملکرد آنها، نقش مهمی را ایفا می نماید.

[1] - Big Data
[2] - Cloud Computing
[3] - Real Time

یکی دیگر از حوزه هایی که در پایش سلامت سازه‌ها در آینده مورد توجه بیشتر قرار خواهد گرفت، تمرکز بر پارامترهای غیرمکانیکی سازه برای تشخیص آسیب است. به عنوان نمونه می‌توان به اندازه‌گیری و پایش PH در سازه‌های بتنی اشاره نمود که می‌تواند در تشخیص خوردگی مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۵۹-۲)



شکل ۵۹-۲: استفاده از سنسورهای PH در داخل سازه بتنی برای تشخیص خوردگی

تکنیک‌های محاسباتی مبتنی بر هوش مصنوعی (روش‌های داده‌کاوی[1]، تشخیص الگو[2] و یادگیری ماشین[3]) نیز در پایش سلامت سازه‌ها با رویکردهای SHM و پردازش تصاویر (برای تشخیص الگوهای دارای عیوب در تصاویر و یا رکوردهای پاسخ سازه‌ها) بکار می‌روند و پیش‌بینی می‌شود که در آینده، در استفاده کاربردی از این حوزه‌ها در صنعت نیز پیشرفت‌های قابل توجهی ایجاد شود.

۲-۵-۳-٤- پایش سلامت سازه‌ها و سازه‌های هوشمند

پایش سلامت سازه‌ها با هدف اصلی تشخیص وقوع و تعیین مشخصات آسیب‌های موجود در سازه‌ها در مراحل ابتدایی خود و پیش‌بینی روند رشد آنها تا وقوع خرابی کلی انجام می‌شود. انجام این کار در ابتدا بصورت مقطعی و در فواصل زمانی نسبتاً طولانی صورت می‌گرفته که در ادبیات فنی از آن به ارزیابی غیر مخرب (NDE) نام برده می‌شود. از حدود ۴ دهه گذشته تلاش‌هایی برای انجام روند ارزیابی وضعیت سازه‌ها بصورت خودکار و با استفاده از اندازه‌گیری‌های آنلاین و پیوسته مطرح گردید که با عنوان کلی پایش سلامت سازه از آن نام برده می‌شود. بنابراین، وظیفه اصلی سیستم پایش سلامت سازه، تشخیص و اعلام وجود آسیب در سازه و ارائه ویژگی‌های آن

[1]- Data Mining
[2] - Pattern Recognition
[3] - Machine Learning

است. از اواخر دهه ۱۹۸۰ تاکنون مفهوم مواد و سازه‌های هوشمند[1]، کنترل هوشمند (فعال) سازه‌ها[2] و سازه‌های زنده[3] بیشتر و بیشتر در ذهن مهندسان جای گرفته است. مفهوم سازه هوشمند وسیعتر از پایش سلامت بوده و در آن، سیستم کنترل هوشمند علاوه بر تشخیص خودکار آسیب، بصورت خودکار اقدام به رفع آن نیز می‌نماید. به عبارت دیگر در این نوع از سازه‌ها با اضافه شدن سیستم‌های هوشمند، اقداماتی نظیر پایش سلامت، تشخیص و رفع آسیب‌ها و کنترل ارتعاشات سازه تحت بارهای محیطی (مثل باد و زلزله) و بطور کلی، مدیریت نگهداری در چرخه عمر سازه بطور هوشمند و بهینه انجام می‌شود. می‌توان گفت که سیستم پایش سلامت یکی از اجزاء سیستم کلی کنترل هوشمند سازه‌ها در آینده است. این ایده جدید اساساً در حوزه‌های هوانوردی و عمران پدید آمده و در سایر حوزه های مرتبط با ساختمان (نظیر معماری، تأسیسات، انرژی و ...) نیز مطرح شده است. مفهوم مصالح و یا سازه‌های هوشمند (SMS[4]) را می‌توان گامی در انقلاب اساسی وسایل ساخت بشر دانست.

سازه‌های هوشمند به عنوان سازه‌هایی تعریف می‌شوند که می‌توانند رفتار سیستم‌های بیولوژیکی را با توانایی‌های خودسنجی[5] ، خودتطبیقی[6] ، خودتشخیصی[7] ، خودترمیمی[8] و خودتوانی[9] برای انجام عملکرد مورد نظر و حفظ ایمنی و یکپارچگی سازه‌ها در برابر بادهای شدید ، زلزله‌های شدید و سایر رویدادهای شدید در طول زمان بهره‌برداری، تقلید کنند. بنابراین، یک سازه هوشمند قادر خواهد بود هرگونه تغییر در متغیرهای منتخب را حس، اندازه‌گیری، پردازش و تشخیص دهد و با استفاده از انرژی داخلی خود، اقدام مناسب را فرمان دهد. در این راستا، یک سازه هوشمند باید شامل سنسورها، محرک‌ها، وسایل الکترونیکی پردازش سیگنال، رایلنه‌ها، استراتژی‌های کنترل و منبع تأمین توان باشد. برخی از این عناصر ممکن است در قالب مواد هوشمند ساخته شده باشند، که می‌توانند خود را با تغییرات هم در ساختار و هم در محیط سازگار کنند. مطابق شکل ۶۰-۲ سازه‌های هوشمند از چهار زیر سیستم اصلی به شرح زیر تشکیل شده‌اند:

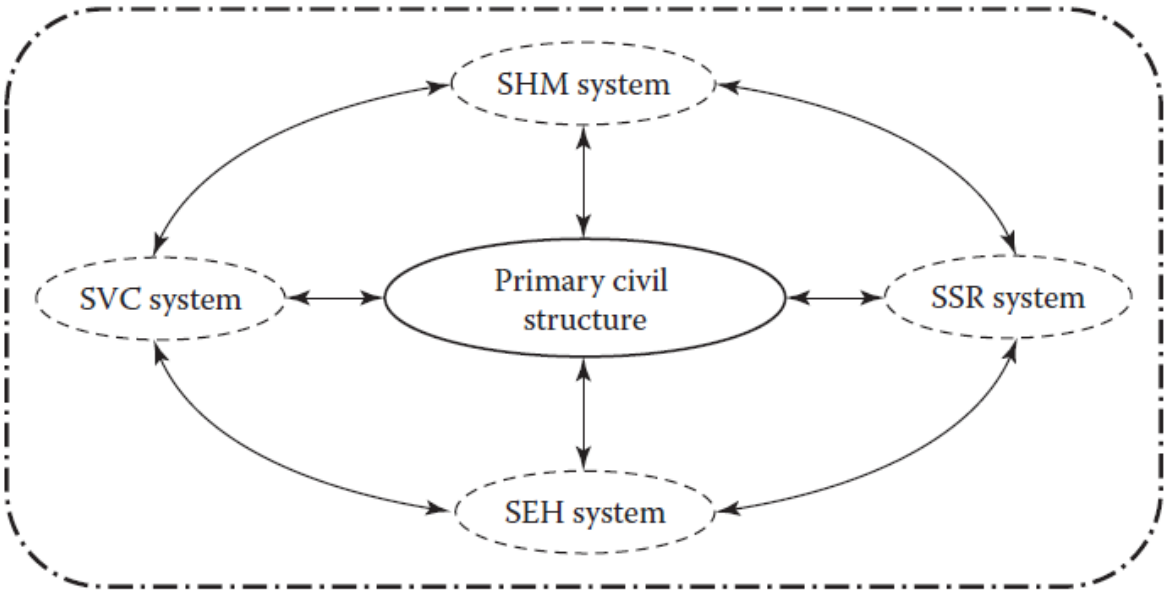
۱. سیستم پایش سلامت[10] (SHM): سیستم SHM قادر است به طور خودکار اطلاعات مربوط به یک سازه را ارزیابی و جمع‌آوری کند، عملکرد سازه را ارزیابی کند، نقص‌ها یا آسیب‌های سازه را تشخیص دهد، طول عمر باقیمانده را پیش‌بینی کرده و برای نگهداری و مدیریت به مراجع تصمیم گیرنده ارجاع دهد.
۲. سیستم کنترل ارتعاشات[11] (SVC): سیستم SVC این توانایی را دارد که تاثیر رویدادهای بالقوه خطرناک مانند تصادف، زلزله یا طوفان را کاهش دهد. پاسخ‌های شدید سازه ناشی از خطرات طبیعی و انسانی را می‌توان با کمک یک سیستم SVC به میزان قابل توجهی کاهش داد.

[1] - Smart Structures
[2] - Active Structural Control
[3] - Alive Structures
[4] - Smart Material/Structure
[5] - Self-Sensing
[6] - Self-Adaptive
[7] - Self-Diagnostic
[8] - Self-Repair
[9] - Self-Powered
[10] - Structural Health Monitoring
[11] - Structural Vibration Contron

۳. سیستم خودترمیمی[1] (SSR): با بروز اشکالات و آسیب‌های سازه، مانند ایجاد ترک در بتن یا خوردگی فولاد، سیستم SSR می تواند توسط سیستم SHM فعال شود تا از گسترش آسیب‌ها جلوگیری کرده و ظرفیت سازه را بازیابی کند.

٤. سیستم تأمین انرژی[2] (SEH): سازه‌های هوشمند می‌توانند مستقل از منابع انرژی خارجی برای انجام عملیات مورد نیاز خود باشند. این ظرفیت تأمین انرژی خودکار را می‌توان با تجهیز سازه به سیستم SEH ، که در آن انواع انرژی مانند انرژی جنبشی، انرژی خورشیدی یا انرژی حرارتی از محیط و سیستم اطراف استخراج و به انرژی الکتریکی قابل استفاده تبدیل می‌شود، پیاده کرد.

شایان ذکر است که در سازه‌های هوشمند، چهار سیستم فوق‌الذکر باید بصورت مرتبط با هم و نه بطور جداگانه کار کنند. به عنوان مثال ، سیگنال‌های به دست آمده از سیستم SHM می‌تواند نه‌تنها برای شناسایی آسیب و ارزیابی عملکرد بلکه همچنین به عنوان بازخورد برای سیستم SVC برای کنترل ارتعاشات استفاده شود. [۱۱۱]



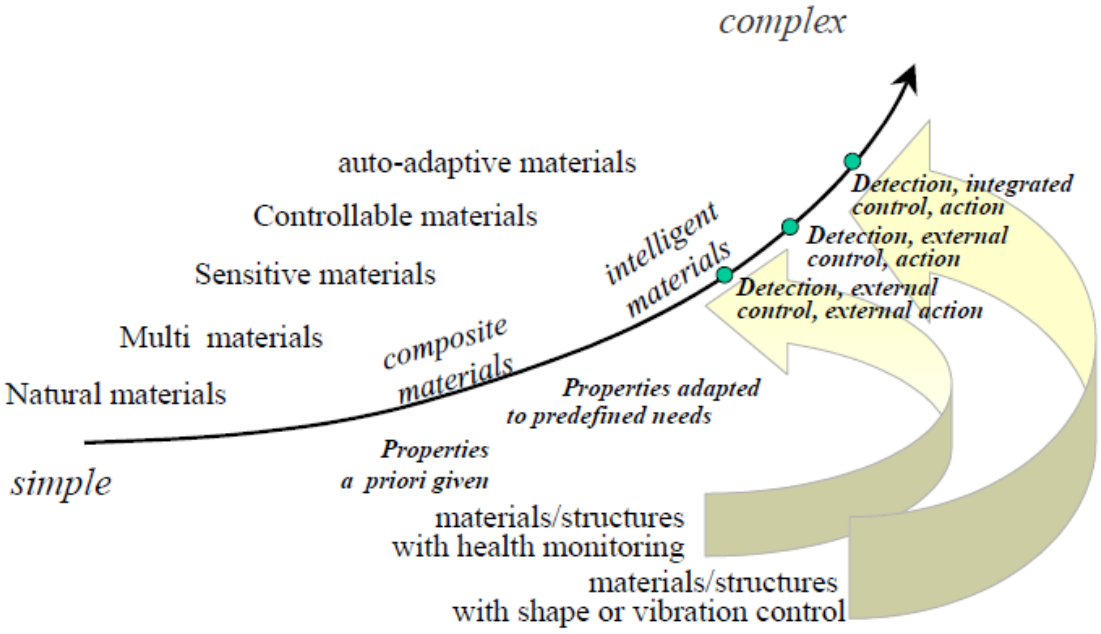
شکل ۶۰-۲: شکل شماتیک اجزای یک سازه هوشمند [۱۱۱]

بخشی از توسعه سازه‌های هوشمند را می‌توان مرتبط با توسعه مواد و مصالح هوشمند دانست. مسیر پیوسته‌ای برای ساخت سازه‌ها از گذشته تاکنون، از ساده به پیچیده وجود داشته (شکل ۶۱-۲) که با استفاده از مصالح همگن[3] و پذیرش ویژگی‌های طبیعی آنها شروع شد و با استفاده از مواد کامپوزیت که ساخت سازه‌هایی با ویژگی‌های سازگار[4] با کاربردهای خاص را ممکن می‌ساخت ادامه پیدا کرد. در حقیقت مواد کامپوزیت هر روزه

[1] - Structural Self-Repairing
[2] - Structural Energy Harvesting
[3] - homogeneous
[4] - Adaptive

بیشتر و بیشتر جایگزین مواد همگن می‌شوند. کامپوزیتهای هوشمند[1] موادی دارای سنسورهای مدفون در داخلشان می باشند که می‌توانند در حین استفاده در سازه‌ها، اطلاعات آنلاین از پارامترهای اندازه‌گیری شده را ارائه کنند. در مقام تشبیه، وجود کامپوزیت‌های هوشمند در سازه‌ها مانند وجود سیستم اعصاب در بدن انسان است. این مواد هم اکنون در صنایع هوافضا کاربرد دارند و انتظار می رود در آیده در سازه‌های عمرانی نیز مورد استفاده قرار گیرند. گام بعدی در روند توسعه مواد هوشمند، مطابقت ویژگی‌های این مواد و سازه‌ها با تغییرات شرایط محیطی است، که مستلزم حساس کردن[2]، کنترل‌پذیری[3] و فعال (سازگار) کردن[4] آنهاست. سطوح مختلف هوشمندی وابسته به وجود یک، دو و یا هر سه این کیفیت‌ها می‌باشد. بنابراین مواد و سازه‌های حساس، کنترل‌پذیر و سازگار، مشخص هستند. به طور کلاسیک سه نوع مواد هوشمند وجود دارد:

۱- مواد هوشمندی که شکل خود را کنترل می‌کنند،
۲- موادی که ارتعاش خود را کنترل می‌کنند،
۳- مواد هوشمندی که سلامت خود را کنترل می‌کنند.



شکل ۶۱-۲: سیر کلی تحول در سازه‌ها و مصالح آنها تا ظهور مصالح و سازه‌های هوشمند [۴]

مشخص است مواد و سازه‌هایی که دارای سیستم SHM هستند حداقل در بازه کوچکی از مواد و سازه‌های هوشمند جای می‌گیرند. تقریباً تمام دستاوردها در این زمینه سعی بر افزایش حساسیت مواد و سازه‌ها با تعبیه

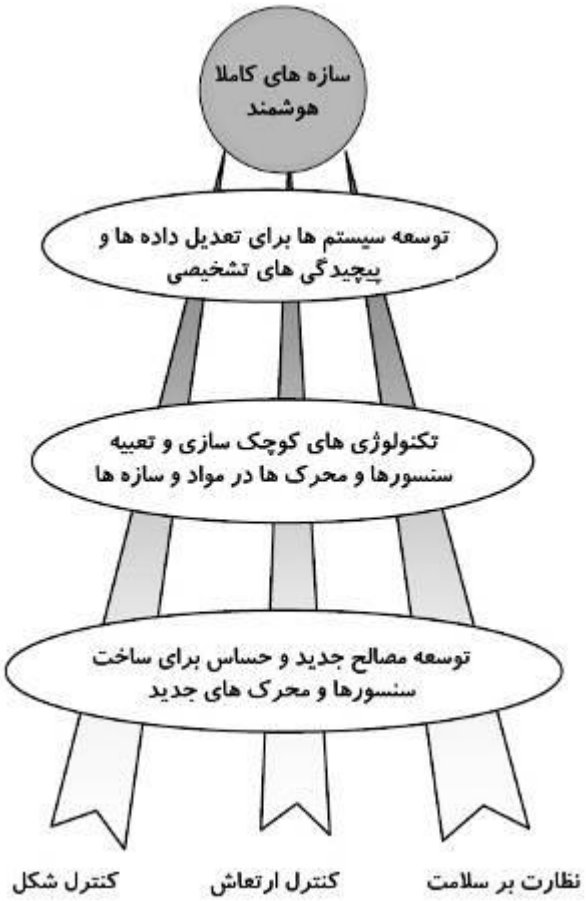
[1] - Smart Composites
[2] - Sensitive Materials
[3] - Controllable Materials
[4] - Auto-adaptive Materials

سنسورهایی در آنها داشته‌اند. گام بعدی به سوی سازه‌های هوشمندتر ساخت مواد و سازه‌هایی با قابلیت تعمیر خود و یا حداقل، کاهش آسیب‌های خود است. برای کاهش آسیب، تعبیه محرک‌هایی ساخته شده از آلیاژهای هوشمند[1] می‌تواند راه‌حلی باشد که به جای کاهش تنش در محدوده تمرکز کرنش، کرنش‌هایی را به سازه تحمیل کند.

در حوزه مهندسی عمران می‌توان به وجود بتن‌های خود ترمیم‌گر[2] (هوشمند) اشاره کرد که شامل فیبرهای شکننده تو خالی هستند که داخل آنها با چسب پرشده است. در مناطقی که ترک رخ می‌دهد با شکستن این فیبرها (رشته‌ها) چسب آزاد شده و آسیب وارده را کاهش می‌دهد. بتن هوشمند شکل‌پذیر قابل ارتجاع خود ترمیم، با اضافه کردن الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس به بتن معمولی به وجود می آید که باعث می شود بتن مقاومت کششی، خمشی، برشی، سایشی و خود ترمیمی آن افزایش یابد. کاربرد الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس در بتن باعث پیوستگی و یکپارچگی عالی آن می شود. نانو ذرات سیلیس، واکنش پوزولانی به کریستال‌های هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)2$ داده و ژل متراکم، یکپارچه و نامحلول هیدروکسید کلسیم سیلیکات $(C-S-H)$ را تشکیل می دهد. نانو سیلیس به علت داشتن سطح ویژه بسیار زیاد مانند هسته عمل کرده و چسبندگی بسیار قوی با سیمان هیدراته تشکیل می دهد و از رشد بیشتر بلورهای هیدروکسید کلسیم جلوگیری نموده و مانند پوزولانها، ترک‌های ریز و منافذ مویین را پر کرده و در نهایت سبب تراکم ساختار سیمان، کاهش نفوذ پذیری، افزایش مقاومت، دوام و عمر مفید سازه‌های بتنی می گردد. در اثر آب و هوا ترک‌های ریز و منافذ مویین بتن، خود ترمیم شده و بتن آسیب دیده استحکام خود را دوباره به دست می‌آورد. [۲۶]

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان پی برد که چرا تا کنون مطالعات SHM معمولاً در کنفرانس‌ها و ژورنال‌هایی وارد شده‌اند که موضوع اصلی آنها سازه‌های هوشمند بوده است.

[1] - Shape memory alloy
[2] - Self-Healing Concrete



شکل ۶۲-۲: مفاهیم مشترک و متمم: SHM، سازه‌های هوشمند کنترل‌کننده شکل و ارتعاش

۲-۶-انجام مطالعات بازار پایش سلامت سازه‌ها در کشور

۲-۶-۱- تجزیه و تحلیل تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان داخلی

با توجه به وسعت شبکه برق اعم از حوزه تولید، انتقال و توزیع و همچنین سابقه کم مباحث مربوط به نگهداری سازه‌های صنعت برق در کشور (با عمری کمتر از دو دهه)، پتانسیل تشکیل بازار بزرگ و تخصصی در این حوزه در کشور وجود دارد. چرا که تاکنون بیشتر فعالیت‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات سازه‌ها بصورت پراکنده و معطوف به اجرای تعمیرات پس از مشاهده آسیب‌های بزرگ و قابل مشاهده انجام گرفته است. در همین راستا تعدادی از شرکت‌ها در زمینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نقش داشته‌اند و یا در آینده می‌توان از ظرفیت آن‌ها در این حوزه استفاده نمود. همچنین توانمندی زیادی در شرکت‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه‌های دیگر همچون سازه‌های صنعتی، تجاری، مسکونی و ... وجود دارد که می‌توان از ظرفیت آن‌ها در زمینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق بهره‌مند شد.

در بررسی بازار پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در کشور می‌توان تولیدکنندگان و تامین‌گنندگان داخلی (بالقوه و بالفعل) را با توجه به حوزه‌های فعالیت این شرکت‌ها و مراکز دسته‌بندی نمود:

- شرکت‌های بهره‌بردار شبکه برق(مصرف کننده)، فعال در شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع
- شرکت‌های نگهداری و تعمیرات در صنعت برق، فعال در شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع
- شرکت‌های مشاور و ساخت سازه‌های صنعت برق، فعال در زمینه سازه‌های شبکه تولید، انتقال و توزیع
- شرکت‌های فعال در زمینه پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها
- شرکت‌های فعال در زمینه مقاوم‌سازی سازه‌ها
- مراکز پژوهشی و دانشگاهی

در جدول زیر تعداد زیادی از شرکت‌های تولیدکننده و تامین‌کننده فناوری‌ها و تجهیزات پایش سلامت سازه‌ها از حیث نقش، حوزه فعالیت، محصول و یا خدمت ارائه شده و میزان سهم آن‌ها در بازار فناوری‌های مربوطه ارائه شده است.

جدول ۱۳-۲ : اسامی شرکت‌های تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان داخلی فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق (بالفعل و بالقوه)

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۱	شرکت مادر تخصصی برق حرارتی	بهره‌بردار (مصرف کننده)	تولید	تولید برق از ۴۳ نیروگاه کشور	شرکت‌های بهره‌بردار در حوزه تولید برق سهم بسیار ناچیزی در پایش سلامت سازه ایفا می‌کنند.
۲	شرکت‌های مدیریت تولید برق خصوصی			تولید برق از ۵۶ نیروگاه کشور	
۳	نیروگاه‌های بادی			تولید برق از ۱۶ نیروگاه بادی کشور	
۴	شرکت‌های برق منطقه‌ای		انتقال	خدمات توسعه و بهینه سازی شبکه انتقال	
۵	توانیر		انتقال/توزیع	خدمات توسعه شبکه انتقال و توزیع	
۶	شرکت‌های توزیع		توزیع	خدمات ایجاد، توسعه و بهینه سازی شبکه و تاسیسات توزیع نیروی برق، بهره برداری، تعمیر و نگهداری شبکه ها و تاسیسات توزیع نیروی برق (متشکل از ۴۰ شرکت)	
۷	شرکت تعمیرات نیروگاهی در صنعت برق	تعمیرات و نگهداری	تولید	خدمات تعمیرات اساسی و تخصصی واحدهای نیروگاهی، بازسازی و ارتقاء ،	شرکت‌های تعمیرات و نگهداری در حوزه تولید برق سهم بسیار ناچیزی در

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
		در صنعت برق		ساخت تجهیزات ، راه اندازی و نگهداری واحدهای نیروگاهی	پایش سلامت سازه‌های این حوزه ایفا می‌کنند.
۸	شرکت بهره-برداری و تعمیرات مپنا			خدمات بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه‌ها ، انجام راه اندازی و تست های کارآیی نیروگاه‌ها، بومی سازی و توسعه تکنولوژی و بکارگیری سیستم‌های نرم افزاری	
۹	متانیر (مهندسی تعمیرات انتقال نیروی تهران)		انتقال	خدمات احداث، نصب، راه اندازی، بهره برداری، نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، بهینه سازی و تعمیرات اساسی شبکه انتقال	بازیگران اصلی حوزه انتقال (محدوده شرکت‌های برق منطقه‌ای): - متانیر-تهران، سیستان، زنجان - آذرخش انتقال نیرو(گروه مهام شرق)-خراسان، سیستان - فن‌آوران انرژی طوس(گروه مهام شرق)-خراسان -شرکت اختر برق اصفهان-اصفهان، زنجان - شرکت تعمیرات نیروی برق آذربایجان- آذربایجان، زنجان - شرکت باختر تولید و انتقال نیروی برق(بتانیر)-باختر - شرکت نیرو پویان-غرب - شرکت پیمان غرب- غرب - شرکت تعمیرات نیروی برق فارس- فارس و سمنان - شرکت ماد نیرو کسری-گیلان و سیستان
۱۰	شرکت آریا نیرو			شرکت مهندسی و بازرگانی در زمینه طراحی و تأمین تجهیزات پست های فشار قوی - تجهیزات تست و آزمایشگاهی	
۱۱	شرکت تعمیرات انتقال برق بوتیا نیرو			انجام عملیات تعمیر و نگهداری تجهیزات خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع، انجام عملیات سرویس، تعمیر وپیشگیرانه و اضطراری پست‌های انتقال و فوق توزیع	
۱۲	شرکت باختر تولید و انتقال نیروی برق(بتانیر)			سرویس و نگهداری شبکه انتقال و فوق توزیع برق باختر، انجام کلیه پروژه های مربوط به احداث ساختمان و تاسیسات تولید و انتقال و توزیع نیرو، راه و ابنیه.	
۱۳	نیرو فراز جنوب شرق			خدمات طراحی، تامین تجهیزات، نصب، تست و راه اندازی پست ها و خطوط	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				انتقال و فوق توزیع نیروی برق، خدمات بهره برداری ، نگهداری و تعمیرات نیروگاهها، پست ها و خطوط لنتقال و فوق توزیع نیروی برق	- شرکت تعمیر و نگهداری انتقال نیروی خوزستان(تنانیر)-خوزستان - شرکت مهندسین برق گیلان زمین-گیلان - شرکت تانش-مازندران - شرکت آرمان نیروی هرمزگان- هرمزگان -شرکت بوتیا نیرو-کرمان، سیستان - شرکت نیرو فراز-سیستان
۱۴	شرکت اختر برق اصفهان			خدمات نگهداری و تعمیرات شبکه انتقال نیروی منطقه مرکزی ایران (اصفهان و چهارمحال و بختیاری)	
۱۵	شرکت تعمیر و نگهداری انتقال نیروی خوزستان(تنانیر)			انواع فعالیت‌های نگهداری و سرویس پیشگیرانه، تست، راه‌اندازی سیستم‌های حفاظت و کنترل انواع پست‌های انتقال و فوق توزیع، طراحی، اجرا و نظارت بر عملیات بهینه‌سازی سیستم‌های حفاظت و کنترل و اندازه‌گیری پست-های انتقال و فوق توزیع، ارئه راه‌حل‌های رفع نواقص پست‌ها، مونتاژو دمونتاژ انواع دکل و غیره	
۱۶	شرکت تانش (تعمیرات انتقال نیروی شمال)			خدمات تعمیر، سرویس ، نگهداری و بهره برداری تجهیزات پست و خطوط انتقال نیرو ، دیسپاچینگ و مخابرات و خدمات طراحی، خدمات مهندسی و اجرای پروژه های خطوط و پستهای انتقال و فوق توزیع ، دیسپاچینگ و مخابرات	
۱۷	شرکت تعمیرات نیروی برق فارس			خدمات طراحی، تامین، نصب، راه اندازی، نگهداری و بهره برداری از	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				نیروگاه ها، شبکه های انتقال و فوق توزیع	
۱۸	شرکت بوتیا نیرو کرمان			خدمات تعمیر و نگهداری تجهیزات خطوط و پست‌های انتقال وفوق توزیع و نیروگاه-های تحت مالکیت برق منطقه‌ای کرمان	
۱۹	شرکت رسانیر جنوب شرق			مشاوره، طراحی، اجرا، ساخت، تعمیر، نگهداری، نصب و تست تجهیزات پست های فشار قوی و خطوط انتقال نیرو	
۲۰	فن‌آوران انرژی طوس			ارائه خدمات پیمانکاری مهندسی، نگهداری و تعمیرات (PM) ، بهره برداری ، بهینه سازی) (RETROFITو توسعه شبکه های انتقال و فوق توزیع برق و تاسیسات صنعتی (مکانیکال و الکتریکال)	
۲۱	شرکت تعمیرات نیروی برق آذربایجان			انجام نگهداری ، تعمیرات ،بهینه سازی و ساخت قطعات مورد نیاز نیروگاهها و تاسیسات انتقال نیروی برق آذربایجان و ارائه خدمات سرویس و نگهداری بیش از ۸۰۰۰ کیلومتر مدار خطوط ۶۳ ، ۱۳۲ ، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت و همچنین بیش از ۱۳۸ پست ۴۰۰ ، ۲۳۰ ، ۱۳۲ و۶۳ کیلو ولت در شمال غرب کشور	
۲۲	گروه مهام شرق			خدمات فنی و مهندسی در زمینه تاسیسات انتقال نیرو	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۲۳	شرکت انرژی گستران نیمروز			اجرای پروژهای تولید، انتقال نیرو (تعمیرات و نگهداری و بهره برداری)	
۲۴	شرکت مهندسی پارس نیرو کیش			خدمات طراحی، مشاوره، تعمیر و نگهداری، مدیریت و اجرای پروژه های صنعتی و تولید، انتقال و توزیع نیرو	
۲۵	شرکت سامان نیرو پاد			خدمات طراحی و تولید دکل های مخابراتی و انتقال نیرو و انواع سازه های فلزی	
۲۶	شرکت ماد نیروکسری			خدمات اجراء ، تعمیر و نگهداری خطوط و پست های انتقال و فوق توزیع	
۲۷	شرکت آذرخش انتقال نیرو			خدمات احداث، بهینه‌سازی و مشاوره در زمینه نگهداری و تعمیر خطوط و پست‌های فشار قوی	
۲۸	شرکت نیرو پویان غرب			طراحی و نصب واجرای شبکه های انتقال و توزیع برق	
۲۹	شرکت مهندسین برق گیلان زمین			خدمات مشاوره و انجام تعمیرات و نگهداری پست‌های برق، در همه سطوح ولتاژی ،طراحی، نصب و راه اندازی پست های فشار قوی، بازسازی و بروز رسانی قسمت های مختلف پست های برق، بازدید و مشاوره در زمینه های تامین برق و حفاظت و اتوماسیون صنایع و پروژه های بزرگ تاسیسات برقی	
۳۰	شرکت پیمان غرب			خدمات تعمیر و نگهداری شبکه انتقال و فوق توزیع (خطوط و پست‌ها)	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۳۱	شرکت تابان قدرت کرمان			پیمانکار طرح و ساخت شبکه انتقال (مهندسی، تأمین و ساخت ((EPC)	
۳۲	شرکت آرمان نیروی هرمزگان			خدمات در زمینه برق و ساختمان	
۳۳	شرکت تعمیر گستر هرمزگان			پیمانکار طرح و ساخت شبکه انتقال (مهندسی، تأمین و ساخت((EPC)	
۳۴	شرکت پارس آیند آب		توزیع		با توجه به ارزان، کوچک و پراکنده بودن سازه‌های توزیع، شرکت‌های تعمیرات و نگهداری در حوزه تولید توزیع برق سهم بسیار ناچیزی در پایش سلامت سازه ایفا می‌کنند.
۳۵	گروه مپنا (توسعه ۱ و نصب نیرو)	شرکت‌های مشاور و ساخت سازه‌ها	تولید	خدمات مدیریت مهندسی، تامین تجهیزات، نصب و راه اندازی پروژه‌ها در حوزه‌های نیروگاه‌های برق، خطوط انتقال نیرو، ساختمان‌های صنعتی و نیروگاهی، پالایشگاهی، سازه‌های بتنی و فلزی، ساختمان‌های اداری و مسکونی و مجتمع‌های صنعتی	
۳۶	شرکت ماموت سازه		تولید	تولید کننده اسکلت فلزی سنگین و نیمه سنگین در کشور و خاورمیانه، تولید قطعات سنگین فلزی نیروگاهی ، فولاد ، نفت و گاز پتروشیمی ، پل و ساختمانی	
۳۷	شرکت سازه صنعت بادبند		تولید	ساخت سالن‌های توربین گاز و بخار نیروگاه های کلاس F، کیسینگ‌های نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۳۸	شرکت ایستافر		تولید	خدمات طراحی و احداث نیروگاه های حرارتی ، گازی و سیکل ترکیبی، طراحی و احداث سوپر استراکچرهای سنگین بتنی و فولادی	
۳۹	شرکت مشانیر		تولید/انتقال	خدمات مهندسی طراحی، اجرا و توسعه خطوط انتقال نیرو، پست های فشار قوی و شبکه های توزیع	
۴۰	شرکت قدس نیرو		تولید/انتقال	خدمات مشاوره و نظارت کارگاهی نیروگاه‌های بخار، گازی و سیکل ترکیبی ، تهیه استراتژی و متدولوژی نیروگاه های خصوصی، خدمات مهندسی مشاوره و نظارت عالیه احداث پست‌های فشار قوی و انجام پروژه‌های EPC خطوط انتقال نیرو	
۴۱	موننکو ایران		تولید/انتقال	خدمات مشاوره و نظارت تولید و انتقال و توزیع نیرو (نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و بخار ، بهسازی و بازتوانی نیروگاه‌ها ، نیروگاه‌های گازی و تاسیسات، تولیدات پراکنده (شامل انرژی‌های نو))	
۴۲	شرکت مشاور نیرو		تولید/انتقال/توزیع	خدمات مهندسی مرتبط با طراحی، ساخت، بهره‌برداری و بهینه‌سازی نیروگاه‌های گازی، بخاری و سیکل ترکیبی، خدمات مهندسی مرتبط با طراحی، ساخت، بهره برداری و بهینه سازی پست های فشارقوی و فوق توزیع و خطوط انتقال و شبکه توزیع	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۴۳	شرکت تدبیر نیرو		انتقال	طراحی مهندسی و نظارت کارگاهی پستهای فشارقوی و ضعیف در ارتباط با خطوط، کابل، پستها، ساختمانی	
۴۴	هامون نایزه		توزیع	ساخت پایه های برق مخروطی و استوانه‌ای چدنی	
۴۵	شرکت پارت سازه ساینار	شرکت‌های پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها	--	تولید سیستم های مستهلک کننده انرژی زلزله مانند میراگر تدس، سیستم‌های پایش سلامت سازها	
۴۶	شرکت رسیس افزار		--	تأمین کننده تجهیزات و ارائه خدمات پایش سلامت سازه	
۴۷	شرکت آیسنس		--	خدمات پایش سازه ای ویژه ای برای ساختمان ها، پل ها، بناهای تاریخی، سازه های صنعتی و سازه های خاص طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی همه سنسورها و تجهیزات مورد نیاز در سامانه های موقت، کوتاه-مدت، دوره ای و ماندگار پایش سازه ای با استفاده از ماژول های کدنویسی شده و پردازش داده های گردآوری شده	
۴۸	شرکت سازه پایش سلامت (سپاس)		--	خدمات طراحی، ساخت و تامین تجهیزات تست سازه و مطالعه و بررسی رفتار دینامیکی و استاتیکی سازه ها از قبیل فرکانس، میرایی، مودشکل ها، تنش و جابجایی نقاط مختلف سازه تحت اثر بارهای دینامیکی و استاتیکی	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۴۹	شرکت کوشه سازان مانا		--	خدمات پایش سلامت، تعمیر و نگهداری سازه‌ها اعم از تعمیر، نگهداری و مقاوم سازی سازه‌ها را از تشخیص خرابی تا طراحی بهینه و در نهایت اجرای سازه	
۵۰	شرکت ژرف تابان مهر (کلینیک بتن)		--	خدمات آزمایشگاهی ، مهندسی و تعمیراتی سازه های بتنی، شاوره و اجرای مقاوم سازی سازه های بتنی، مشاوره ، ارائه طرح و اجرای ترمیم و بازسازی سازه های بتنی، مشاوره ، ارائه طرح و اجرای حفاظت و آب بندی سازه های بتنی، مشاوره و ارائه انواع آزمایش های غیرمخرب بتن و ارزیابی سازه های بتنی	
۵۱	شرکت لرزه زمین پایش		--	ساخت و تولید تجهیزات پایش لرزه ای	
۵۲	شرکت افزیر		--	خدمات مقاوم‌سازی سازه با مصالح، تجهیزات و فن آوری های نوین و تولید محصولات در زمینه ترمیم، تقویت و مقاوم سازی انواع سازه ها، خطوط لوله و مخازن	
۵۳	شرکت تحقیق و توسعه ایرانیان (تتا)		--	خدمات بازرسی و نگهداری سازه با تمرکز بر توسعه تکنولوژی‌های نوین پایش سلامت سازه و بکارگیری سیستم‌های پیشرفته بازرسی آکوستیک امیشن	
۵۴	شرکت اشیان پی	شرکت‌های مقاومسازی سازه‌ها	--	خدمات آنالیز و بررسی سازه از طریق آزمایش های مربوطه جهت شناخت نقاط ضعف سازه ، ارائه ی مشاوره و طراحی سیستم مقاوم	شرکت‌های مقاوم‌سازی سازه‌ها تا کنون سهمی در بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نداشته و بصورت بالقوه

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				سازی و بازسازی متناسب با وضعیت سازه ی موجود با در نظر گرفتن محدودیت های اجرایی و اقتصادی	توانایی بهره‌گیری در این صنعت را دارند.
۵۵	شرکت آرین تیس		--	طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله – ارزیابی و بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود – اجرای مقاوم سازی ابنیه با روش های نوین – اجرای CFRP، GFRP جهت مقاوم سازی ابنیه بتنی – کاشت میلگرد و رول بولت – اسکن میلگرد ، تست بتن با روش مخرب و غیر مخرب	
۵۶	شرکت آساکو		--	خدمات مشاوره، طراحی و اجرای اصولی مقاوم سازی سازه ها بر مبنای ضوابط در حوزه صنعت برق	
۵۷	شرکت ام . اس . دی کو		--	خدمات مطالعاتی و محاسباتی، مدیریت طرح، نظارت و اجرا در زمینه مهندسی سازه-زلزله، خدمات مطالعات ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود و همچنین خدمات طراحی و اجرای سیستم های مقاوم سازی، ترمیم بتن و تقویت سازه ها، طراحی و اجرای FRPو سیستم های مهار دربتن	
۵۸	شرکت مقاوم سازان پایون		--	خدمات ترمیم و مقاوم سازی سازه های موجود، طراحی و اجرای مقاوم سازی و ترمیم سازه ها در برابر زلزله، افزایش بار، تغییر کاربری،	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				شـرایط مخرب آب و هوایی، خوردگی، حملات تروریستی و دیگر مشکلات سازه ای	
۵۹	شـــرکت مقاوم سازی ساختمان رادیاب		--	خدمات مقاوم سازی بصورت طرح و اجرا(EPC) و بهره-گیری از کامپوزیتهای FRP در تقویت سازه ها (خصوصا تقویت ســـازه های بتنی با (FRP))	
۶۰	شـــرکت طرح و صنعت ساعی		--	خدمات ترمیم و مقاوم سازی ابنیه بتنی	
۶۱	شرکت مقاومساز آذر آبادگان		--	مقاوم سازی ابنیه	
۶۲	شرکت مقاومساز بامداد		--	خـدمـات مقـاوم ســـازی کلاسـیک و نوین ، سـیسـتم هـای اتلاف انرژی و ارزیـابی لرزه ای سـازه های موجود و آســیب دیده از زمین لرزه، خدمات آزمایشات سازه ای	
۶۳	شـــرکت تقویت سازه آریا		--	خدمات مقاوم سـازی:تحلیل آســیب پذیری و ارائه طرح بهســازی مناســب با رعایت مـــوارد فـــنـــی و اقتصـادی، طراحی و تهیه و اجرای الیـاف کـامپوزیـت FRP، تزریق اپوکســـی در ترک هـای موجود در ابنیـه بتنی جهـت ترمیم نمودن ترک و ...	
۶۴	شرکت تکنوپل		--	محصـــولات و راهکـارهـای پیشـــرفتـه مقاوم ســـازی، بهسازی لرزه‌ای و پوشش‌های حفـاظتی برای ســـازه‌هـای مهندسـی در صـنایع مختلف و زیرساخت‌های عمرانی	
۶۵	شرکت سازه کار		--	انجام بهســـازی لرزه ای در رابطـه بـا انواع ســـازه هـای	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				موجود، تاسیسات زیربنایی، شریانات حیاتی، بخش انرژی و تاسیسات، سازه های شناور و ساحلی، خطوط انتقال و توزیع تاسیسات و... نیرو	
۶۶	شرکت آرکا بهسازه آتین		--	خدمات مقاوم‌سازی با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین(FRP، میراگر، ژاکت-های فلزی و بتنی، جرم‌های متمرکز پاندولی و ...)	
۶۷	شرکت سپهر عمران		--	مقاوم سازی ساختمان ، مطابق بر اساس آخرین آیین نامه ها و دستورالعمل های داخلی و خارجی رائه راهکارهای خاص برای مقاوم سازی با الیاف FRP و میلگردFRP ، ایجاد پشت بند و هسته ،حفاظت در برابر خوردگی، تزریق رزین و اپوکسی ،تقویت کلاف و اتصالات، یکپارچه سازی سقف و دیوار، اجرای دیوار برشی و طراحی و ساخت سازه های بتنی و...	
۶۸	شرکت همگون		--	طراحی و انجام خدمات مرحله اول و دوم و سوم مدیریت طرح طرح و اجرا مهندسی ارزش معماری داخلی پدافند غیرعامل، مقاوم سازی ساختمان به روش استفاده از دیوار برشی، اضافه کردن بادبند، تقویت ستون، مقاوم سازی تیر های بتن، تقویت با مواد الیافی پلیمری و ...	
۶۹	شرکت هیراد		--	مقاوم سازی ساختمانهابا استفاده از میراگر یا دمپر، با	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				استفاده از بادبندهای کمانش تاب، با استفاده از جداگرهای لرزه ای، با استفاده از از ژاکت های فلزی و بتنی، مقاوم سازی سازه ها با FRP	
۷۰	شرکت سهاسازه		--	طراحی و ساخت و نصب سازه های فلزی جوشی و پیچ ومهره ای جهت سازه-های مسکونی و تجاری و صنعتی و مدل های مختلف سوله سازی ، تهیه و ساخت المان های مقاوم سازی، ارائه خدمات فنی و مهندسی با بهره گیری از فن آوری های نوین و دانش فنی و تخصصی	
۷۱	شرکت مارین سازه		--	خدمات تخصصی و اجرایی مقاوم سازی و تقویت سازه-های صنعتی با استفاده از الیاف‌های FRP، میراگرها (Damper)و جداگرهای لرزه ای، ترمیم موضعی با ملات های ترمیمی منبسط شونده، ژاکت های فلزی و بتنی و کاشت آرماتور و راد	
۷۲	شرکت ژئوسازه		--	خدمات مقاوم سازی سازه‌ها با روش‌های FRP ، با اضافه نمودن دیوار برشی و یا مقاوم سازی سازه‌ها ،ا با اضافه نمودن بادبند فلزی، با استفاده از میراگر یا دمپر، با استفاده از جرم‌های متمرکز پاندولی، با استفاده از از ژاکت‌های فلزی و بتنی،با استفاده از بادبندهای کمانش تاب، با استفاده از جداگرهای لرزه‌ای	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
۷۳	شرکت اسپو		--	طراحی، ساخت و اجرا ابنیه، تاسیسات الکتریکی و مکانیکی، مقاوم سازی سازه‌ها	
۷۴	شرکت مشاور نیروی آذربایجان (منا)		--	ارئه خدمات مهندسی در رابطه با مقاوم سازی- بازسازی- بهینه سازی- تأمین و نگهداری ساختمانها و تاسیسات صنعتی، ارائه خدمات مطالعات لرزه خیزی، لرزه و زمین ساختی و ...	
۷۵	شرکت پایاژیک		--	خدمات ترمیم و مقاوم سازی ابنیه بتنی	
۷۶	شرکت کهن کارآزما		--	خدمات مهندسی در زمینه طراحی سازه های صنعتی (سوله) و ساختمانی، طراحی و اجرای بهسازی لرزه ای سازه ها، طراحی و اجرای مقاوم سازی ساختمان، طراحی و نصب FRP ، کاشت میلگرد در بتن، ترمیم بتن آسیب دیده	
۷۷	شرکت خاوران سازه البرز		--	خدمات در زمینه طراحی و مقاوم سازی ساختمان های صنعتی،خاص و ساختمان های بلند مرتبه، تقویت لرزه‌ای، مقاوم سازی خطوط انتقال، برج‌های خنک کننده، مقاوم‌سازی ساپورت و فوندسیون تجهیزات، مقاوم‌سازی و کنترل ارتعاش تجهیزات	
۷۸	شرکت ایران خاک		--	دمات مهندسی ژئوتکنیک پروژه های نفت و گاز ، سدها ، پل ها، مسیر خطوط لوله، نیروگاهها، پالایشگاهها و	

ردیف	نام شرکت	نقش	حوزه فعالیت (تولید/انتقال/توزیع)	نام محصول/ خدمات	سهم شرکت در بازار فناوری
				اسکله‌ها و بهبود خاک و مقاوم سازی ساختمان و ...	
۷۹	شرکت برش بتن تهران		--	انواع خدمات مقاوم‌سازه‌ای سازه‌ای همچون مقاوم سازی و بهسازی برش بتن مسلح توسط والسا و کرگیری کاشت انکر شیمیایی و نصب انکر مکانیکی، نصب انکر مکانیکی	
۸۰	پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله	مراکز پژوهشی و دانشگاهی	--	انواع خدمات تحقیقاتی تستهای مهندسی حوزه سازه	مراکز پژوهشی و دانشگاهی تا کنون سهمی در بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نداشته و بصورت بالقوه توانایی بهره‌گیری در این صنعت را دارند.
۸۱	جهاد های دانشگاهی		--		
۸۲	مرکز تحقیقات بتن (متب)		--		
۸۳	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی		--		
۸۴	مرکز یکپارچگی سازه (دانشگاه امیرکبیر)		--		
۸۵	پژوهشکده بهره‌وری صنعت نفت (دانشگاه خواجه نصیر)		--		

۲-۶-۲- بررسی محیط کلان

در این بخش از گزارش تاثیر دولت، قوانین و مقررات، مسائل سیاسی و اقتصادی بر بازار فناوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. قوانین تبیین شده تاثیرگذار بر بازار فناوری پایش سلامت سازه اعم از تجهیزات مورد استفاده و خدمات مهندسی مورد نیاز این حوزه عبارتند از:

"قانون حداکثر استفاده از توان تولیدی و خدماتی کشور و حمایت از کالای ایرانی"

این قانون در تاریخ ۱۳۹۸/۰۲/۱۵ و در راستای اجرای اصل یکصد و بیست و سوم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران برای حداکثر استفاده از توان تولیدی و خدماتی در تامین نیازهای کشور و تقویت آن‌ها در امر صادرات تصویب شد[۵۸]:

- ماده ۵ : به منظور حمایت از کالا و خدمات تولیدی کشور، پیمانکاران داخلی و تعمیق ساخت داخل در کشور از تاریخ لازم‌الاجرا شدن این قانون، ارجاع کار توسط دستگاه‌های موضوع ماده (۲) این قانون صرفا به موسسات و شرکت‌های ایرانی ثبت شده در فهرست توانمندی‌های مندرج در سامانه ماده (۴) این قانون مجاز است. در غیر این صورت و نیاز به استفاده از مشارکت ایرانی-خارجی (با سهم شرکت ایرانی حداقل پنجاه و یک درصد(۵۱٪)) ارجاع کار با پیشنهاد بالاترین مقام دستگاه اجرایی و تصویب هیات نظارت موضوع ماده (۱۹) این قانون مجاز خواهد بود. در موارد خاص که ارجاع کار به شرکت‌های ایرانی و مشارکت ایرانی-خارجی (با سهم شرکت ایرانی حداقل ۵۱٪) میسر نباشد، با پیشنهاد بالاترین مقام دستگاه موضوع ماده (۲) این قانون با ارائه مستندات لازم پس از تصویب در شورای اقتصاد، ارجاع کار به مشارکت ایرانی-خارجی (با سهم شرکت ایرانی کمتر از ۵۱٪) و یا شرکت خارجی بلامانع خواهد بود[۵۸].
- ماده ۱۶: وزارت صنعت و معدن و تجارت موظف است ثبت سفارش کالاهای مصرفی و مصرفی با دوام خارجی دارای مشابه ایرانی را که با کیفیت مناسب و به میزان کافی تولید شده باشد تا پایان مدت قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران ممنوع نموده و یا بر اساس ماده (۲۲) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور از موانع تعرفه‌ای و فنی جهت مدیریت واردات استفاده کند[۵۸].

تصویب نامه درخصوص ممنوعیت خرید کالاهای خارجی (اعم از کالای ساخته شده، قطعات، ملزومات، تجهیزات و غیره تحت هر عنوان) دارای تولید مشابه داخلی

هیأت وزیران در جلسه ۱۳۹۳/۲/۳ به پیشنهاد شماره ۶۰/۲۷۸۴۴۰ مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۶ وزارت صنعت، معدن و تجارت و به استناد اصل یکصد و سی و هشتم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران تصویب کرد[۵۹]:

- خرید کالاهای خارجی (اعم از کالای ساخته شده، قطعات، ملزومات، تجهیزات و غیره تحت هر عنوان) دارای تولید مشابه داخلی، مندرج در فهرست پیوست که تأیید شده به مهر دفتر هیأت دولت است، توسط تمامی دستگاه های دولتی (موضوع مواد (۲)، (۳)، (۴) و (۵) قانون محاسبات عمومی کشور ـ مصوب ۱۳۶۶ـــ و ماده (۵) قانون مدیریت خدمات کشوری، مصوب ۱۳۸۶ـــ و موارد مستثنی در ماده (۱۱۷) قانون مدیریت خدمات کشوری) و سایر دستگاه ها، نهادها و عناوین مشابهی که به نحوی از بودجه عمومی یا دولتی استفاده می کنند، در صورت انجام هزینه از محل وجوه دریافتی از بودجه عمومی یا دولتی بابت خرید این نوع کالاها به صورت مستقیم یا از طریق پیمانکاران تملک دارایی های سرمایه ای، ممنوع بوده و ذی حسابان دستگاه های اجرایی یا عناوین مشابه مکلفند از پرداخت اعتبار خرید کالاهای یاد شده به صورت مستقیم یا اسناد مندرج در صورت وضعیت های ارسالی از سوی پیمانکاران خودداری نمایند[۵۹].

- در مواردی که کالای مشابه داخلی از نظر کیفیت، قیمت و یا حجم تولید قابل توجیه نباشد و یا سایر موارد اجتناب ناپذیر، با پیشنهاد بالاترین مقام دستگاه اجرایی ذی ربط و تأیید وزرای عضو کمیسیون اقتصاد، خرید کالای یاد شده مجاز خواهد بود[۵۹].

قانون و تصویب‌نامه نامبرده به خوبی تاثیر قوانین و مقررات را بر بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق کشور بیان می‌نمایند. این قوانین و مقررات تا حد امکان بازار داخلی را برای تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان داخلی حفظ نموده و سعی بر تقویت آن‌ها در امر صادرات تجهیزات کالا و خدمات دارند[۵۹].

قانون برگزاری مناقصات

قانون برگزاری مناقصات در جلسه مورخ۱۳۸۳/۱/۲۵ در مجلس شورای اسلامی و در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۳ با اصلاحاتی در مجمع تشخیص مصلحت نظام به منظور تعیین روش و مراحل برگزاری مناقصات به تصویب رسیده است و کلیه قوای سه‌گانه نظام موظف به رعایت آن هستند. مطابق بند "د" ماده ۲۰ این قانون با عنوان ماده ارزیابی مالی و تعیین برنده ذکر شده است که "در مناقصات بین‌المللی، مناقصه‌گران داخلی به مناقصه‌گران خارجی ترجیح دارند و نحوه ترجیح مناقصه‌گران داخلی در استاد مناقصه مربوطه قید خواهد شد. مناقصاتی که رعایت این قاعده به مصلحت نباشد، باید از سوی شورای اقتصاد تایید شود"[۶۰]. مسئله دیگری که باید به آن توجه نمود، نقش سیاست بویژه تحریم‌های ظالمانه بر گسترش انواع فناوری‌ها در کشور ایران، همچون فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق(بخصوص در زمینه نقل و انتقالات مالی خرید فناوری و نه خرید فناوری) است که ضرورت ایجاد بسترهای مناسب جهت تولید دانش فنی متناسب با شرایط و نیازهای کشور را ایجاب می‌نماید.

۲-۶-۳- بررسی تقاضا و مشتریان/بهره‌برداران

در این بخش بر اساس آمار و اطلاعات موجود به تحلیل وضعیت بازار فناوری‌ها در شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع برق می‌پردازیم. در کشور ما ۳ شرکت مادر تخصصی در حوزه برق اعم از " شرکت سهامی مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران-توانیر"، " شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی" و " شرکت مادر تخصصی مدیریت ساخت و تهیه کالای آب و برق-ساتکاب" و ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای و ۴۰ شرکت توزیع نیروی برق و ۳۷ شرکت مدیریت تولید برق (اعم از بخش دولتی و خصوصی) وجود دارد که بازار مطلوبی برای فناوری‌های مربوط به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق هستند. در ادامه با بررسی آمار تفصیلی صنعت برق به تفکیک هر حوزه تولید، انتقال و توزیع به تحلیل بازار موجود برای فناوری‌ها در سطح کشور می‌پردازیم.

۲-۶-۳-۱- روند گذشته و آینده حجم بازار

از آنجایی که بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق در برگیرنده تمام سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو می‌باشد، در ادامه این بخش روند تغییرات هر یک از بخش‌های نامبرده به تفکیک مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۶-۳-۱-۱- حوزه تولید

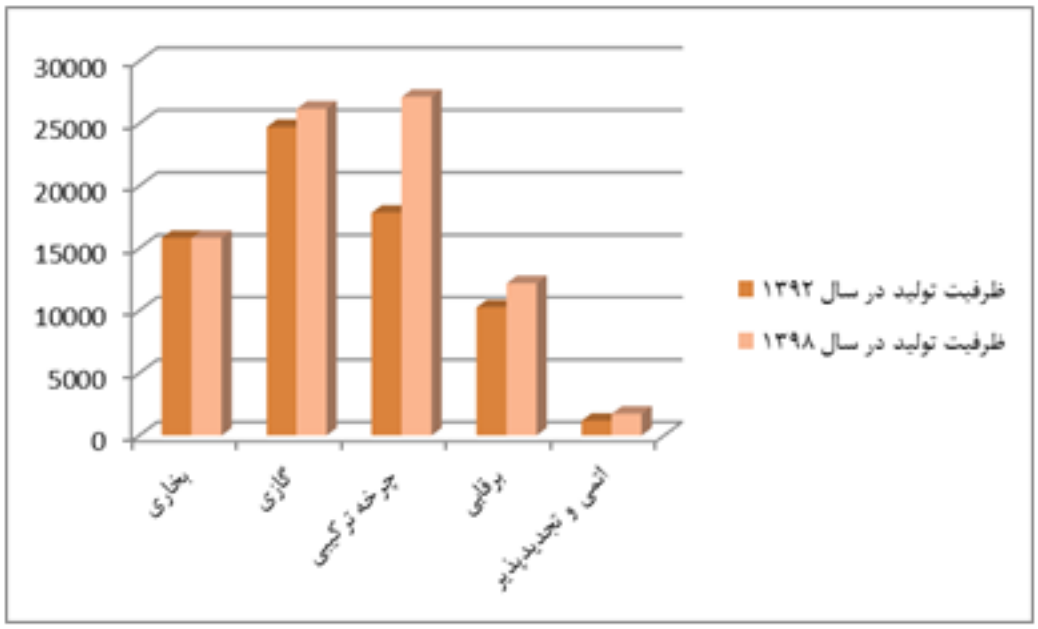
در بخش تولید برق (نیروگاه‌های حرارتی و تجدید پذیر)، تاکنون فعالیت سازمان یافته‌ای در خصوص نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها انجام نشده و تنها تعمیرات اضطراری و موردی در صورت وقوع خرابی و یا آسیب جدی در

سازه‌ها انجام می‌گردد که دارای بازار مشخصی نیست. البته با توجه به تعداد واحد نیروگاهی موجود در کشور اعم از دولتی، خصوصی و صنایع بزرگ (در حدود ۱۰۲ واحد نیروگاه بخاری، ۵۳۳ واحد نیروگاه گازی و ۱۸۵ واحد نیروگاه چرخه ترکیبی طبق آمار سال ۱۳۹۸) و میزان متوسط رشد سالانه ظرفیت و رشد ظرفیت از سال ۱۳۹۰ تا کنون و پیش‌بینی آینده (۲۰ ساله) صنعت برق در حوزه تولید هر یک از انواع نیروگاه‌ها در کشور میتوان به حجم بازار در شرایط فعلی، روند گذشته و آینده پی برد. جدول زیر خلاصه‌ای از وضعیت کمی نیروگاه‌های کشور و میزان درصد رشد سالانه ظرفیت هر یک از آن‌ها را به تفکیک ارائه می‌نماید. با توجه به این جدول ظرفیت نیروگاه‌های گازی، چرخه ترکیبی، برقابی و تجدید پذیر رو به افزایش است که بیانگر بزرگتر شدن بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سال‌های آتی دارد [۶۱ و ۶۲].

جدول ۱۴-۲ : وضعیت کمی تعداد و ظرفیت نیروگاه‌ها در بخش تولید نیروی برق در سطح کشور

شرح		تعداد واحدهای نیروگاهی			۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۲	درصد رشد سال ۹۸ به ۹۷
		وزارت نیرو	صنایع بزرگ	بخش خصوصی				
بخاری	مگاوات	۵۴	۲۳	۲۵	۱۵۸۲۹	۱۵۸۲۹	۱۵۸۳۰	۰/۰
گازی		۱۲۱	۶۲	۳۵۰	۲۶۱۸۰	۲۵۵۵۲	۲۴۷۱۵	۲/۵
چرخه ترکیبی		۳۸	۰	۱۴۷	۲۷۱۲۹	۲۴۹۹۵	۱۷۸۵۰	۸/۵
برقابی		۱۵۵	۰	۰	۱۲۱۹۲	۱۲۰۲۶	۱۰۲۶۵	۱/۴
اتمی و تجدید پذیر		۱۷۴	۰	۱۸۱	۱۷۳۶	۱۶۲۶	۱۱۸۱	۶/۸

نمودار زیر روند رو به رشد ظرفیت تولید نیرو در انواع نیروگاه‌های کشور را از سال ۱۳۹۲ تا پایان سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. بیشترین رشد در حوزه تولید مرتبط به نیروگاه‌های چرخه ترکیبی بوده و نیروگاه‌های گازی، برقابی و اتمی رشد کمتری را تجربه نموده‌اند. ظرفیت تولید نیروگاه‌های بخاری نیز در این سال‌ها تغییری نکرده است [۶۱ و ۶۲].



شکل ۶۳-۲: نمودار تغییرات ظرفیت تولید نیروی برق در نیروگاه‌های کشور در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸

در مطالعه ای که در زمینه توسعه تولید انرژی الکتریکی کشور در افق سی ساله با در نظر گرفتن کلیه حامل‌های انرژی و محدودیت‌ها و چالش‌های موجود در تامین سوخت نیروگاه‌های فسیلی و ملاحظات زیست محیطی و غیره در سناریوهای مختلف (یک سناریو مرجع و ۶ سناریو دیگر) انجام شده است، ظرفیت بهینه فناوری‌های مختلف تولید برق در پایان سال ۱۴۱۸ به اختصار بصورت زیر است[۶۳]:

در کلیه سناریوها، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی بیشترین سهم را در توسعه ظرفیت تولید برق به خود اختصاص می‌دهند، بصورتیکه در سناریو مرجع مجموع ظرفیت این نیروگاه‌ها برابر ۹۸۱۱۴ (معادل ۵۶/۵ درصد کل ظرفیت نصب شده) می‌باشد. این در سناریویی که در آن نرخ رشد بالای قیمت سوخت های فسیلی لحاظ شده است در حدود ۹۰۷۶۰ مگاوات است.

ظرفیت کل نیروگاه‌های برقابی در همه سناریوها ثابت و برابر حداکثر پتانسیل نیروگاه‌های برقابی کشور معادل ۱۸۹۵۵ مگاوات (حدود ۱۱ درصد ظرفیت کل نصب شده) می‌باشد.

ظرفیت نیروگاه‌های بادی در همه سناریوها ثابت و با توجه به پتانسیل انرژی باد کشور و نیز محدودیت ظرفیت نصب سالانه آن‌ها، مجموعا ۱۱۰۰۰ مگاوات (معادل ۶/۳ درصد از ظرفیت کل) تعیین گردیده است.

ظرفیت کل پیشنهادی برای توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در سناریو مرجع ۵۶۰۰ مگاوات است که این میزان در سناریویی که شرایط بسیار سخت بین المللی در آن لحاظ شده به میزان ۱۰۰۰ مگاوات محدود می‌گردد. سقف توسعه این نیروگاه‌ها در سناریویی با شرایط کاملا هموار بین‌المللی و پایین بودن هزینه سرمایه‌گذاری برابر ۲۲۸۵۰ مگاوات خواهد بود.

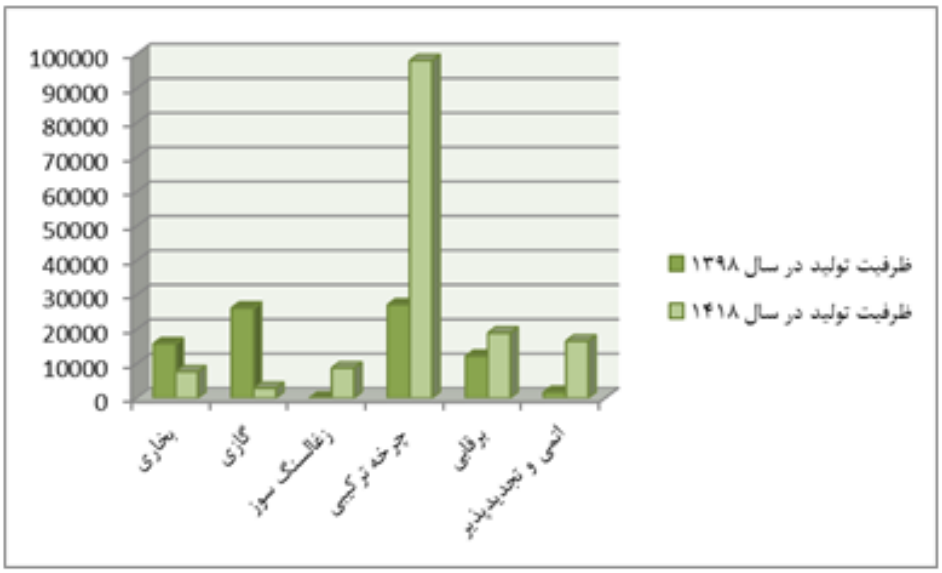
ظرفیت کل نیروگاه‌های بخار در پایان ۱۴۱۸ و در سناریو مرجع (با احتساب نیروگاه‌های بخار با جذب CO_2) به ظرفیت ۷۶۸۰ مگاوات کاهش می‌یابد که علل اصلی این امر بازنشستگی نیروگاه‌های بخار موجود و بالاتر بودن قیمت تمام شده برق این نیروگاه‌ها نسبت به سایر گزینه‌های موجود می‌باشد. در شرایط سخت بین‌المللی بدلیل

عدم امکان استفاده از فناوری‌های پیشرفته با راندمان بالا، ظرفیت کل پیشنهادی نیروگاه‌های بخار تا سقف ۱۵۳۶۰ نگاوات افزایش می‌یابد.

در سناریو مرجع ظرفیت کل نیروگاه‌های گازی بزرگ برابر ۲۹۲۰ مگاوات پیش‌بینی شده است که این نیروگاه‌ها عمدتا جهت تامین بار پیک شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

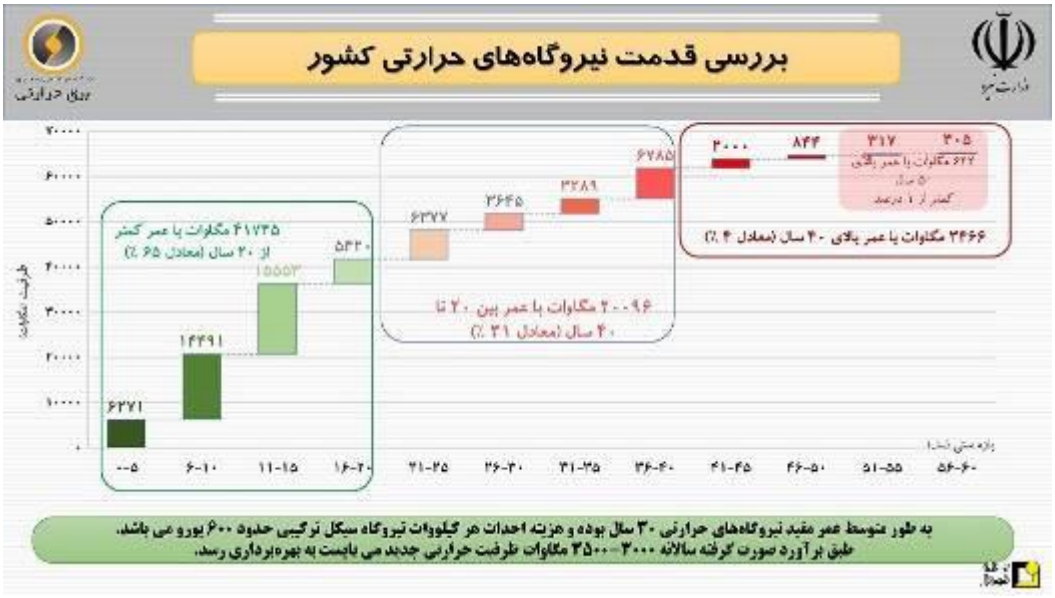
ظرفیت نیروگاه‌های زغال سوز در سناریو مرجع ۵/۱ درصد کل ظرفیت (معادل ۸۷۸۰ مگاوات) را به خود اختصاص می‌دهند. که ایم میزان در سناریویی که نرخ رشد بالای قیمت سوخت در آن دیده شده تا میزان ۱۳۴۵۰ مگاوات افزایش می‌یابد.

شکل ۶۴-۲ میزان ظرفیت نیروگاه‌های برق در پایان سال ۱۳۹۸ و سال ۱۴۱۸ (مطابق سناریو مرجع) را نشان می‌دهد. این به خوبی روند تغییرات حوزه تولید نیروی برق در ۲۰ سال آینده و به تبع آن تغییرات بازار پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در حوزه تولید را نشان می‌دهد. حجم بازار در بخش تولید برق در نیروگاه‌های بخاری و گازی در حال کوچک شدن و در حوزه نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، برقابی، ذغال‌سنگ‌سوز و اتمی و تجدید پذیر در حال توسعه و افزایش است و بیشترین افزایش در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی (افزایش ۲۶۱ درصدی) پیش‌بینی می‌گردد[۶۳].



شکل ۶۴-۲: نمودار پیش‌بینی روند تغییرات نیروگاه‌های کشور تا پایان سال ۱۴۱۸ (مطابق سناریو مرجع) [۶۳]

لازم به ذکر است افزایش حجم بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های حوزه تولید رابطه مستقیمی با افزایش سن این تاسیسات نیز دارد. با توجه به میانگین سنی نیروگاه‌های موجود (نیروگاه‌های حرارتی) که در شکل ۶۵-۲ نشان داده شده‌است، در حدود ۳۵ درصد از توان تولیدی نیروگاه‌های حرارتی، در نیروگاه‌های با عمر بیش از ۲۰ سال که عمدتا بخاری هستند، تولید می‌شود. لذا انتظار می‌رود که در آینده نیاز به پایش سلامت، نگهداری و تعمیرات سازه‌های نیروگاهی با روندی رو به رشدی مواجه شده و حتی منجر به تشکیل بازار اختصاصی نیز گردد[۶۴].



شکل ۶۵-۲: میانگین سنی نیروگاه‌های حرارتی کشور[۶۴]

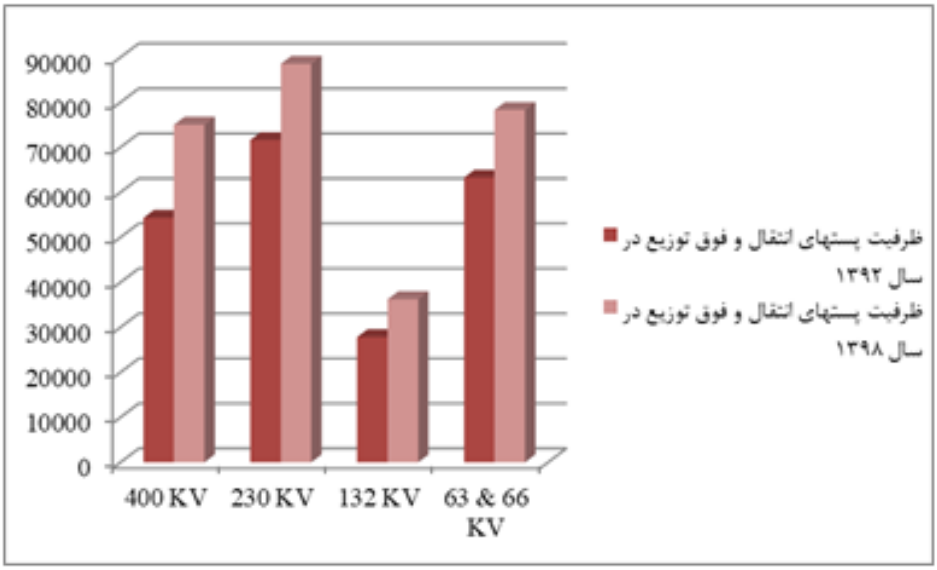
۲-۶-۳-۱-۲- حوزه انتقال

بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق در حوزه انتقال و فوق توزیع نیز متناسب با ابعاد این شبکه تغییر می‌کند. جدول ۱۵-۲ و جدول ۱۶-۲ خلاصه وضعیت بخش انتقال صنعت برق را در سال ۱۳۹۸ به تفکیک پست‌ها و خطوط نشان می‌دهند. درصد رشد خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع بیانگر توسعه یافتن شبکه انتقال و توزیع و در نتیجه آن بزرگتر شدن بازار فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق در این حوزه می‌باشند. اگرچه برخی فعالیت‌های نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها بطور سنتی (با انجام بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات اصلاحی) و بر اساس دستورالعمل‌های محلی و یا ابلاغ شده از طرف شرکت توانیر توسط شرکت‌های نگهداری و تعمیرات خطوط و پست‌ها(که متولی انجام و نگهداری و تعمیرات کلیه اجزای خطوط و پست‌ها اعم از سازه‌ها و تجهیزات برقی هستند) انجام می‌شود، اما تاکنون بازار تخصصی که صرفا در برگیرنده فعالیت‌های پایش سلامت سازه‌های انتقال و فوق توزیع باشد شکل نگرفته است. بدیهی است که با توسعه یافتن شبکه و افزایش میانگین عمر سازه‌های آن و همچنین تغییرات اقلیمی، پدیده فرونشست زمین و غیره که در سال‌های اخیر مشاهده شده است لزوم تشکیل بازار تخصصی در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق بیش از پیش احساس می‌گردد [۶۵ و ۶۶].

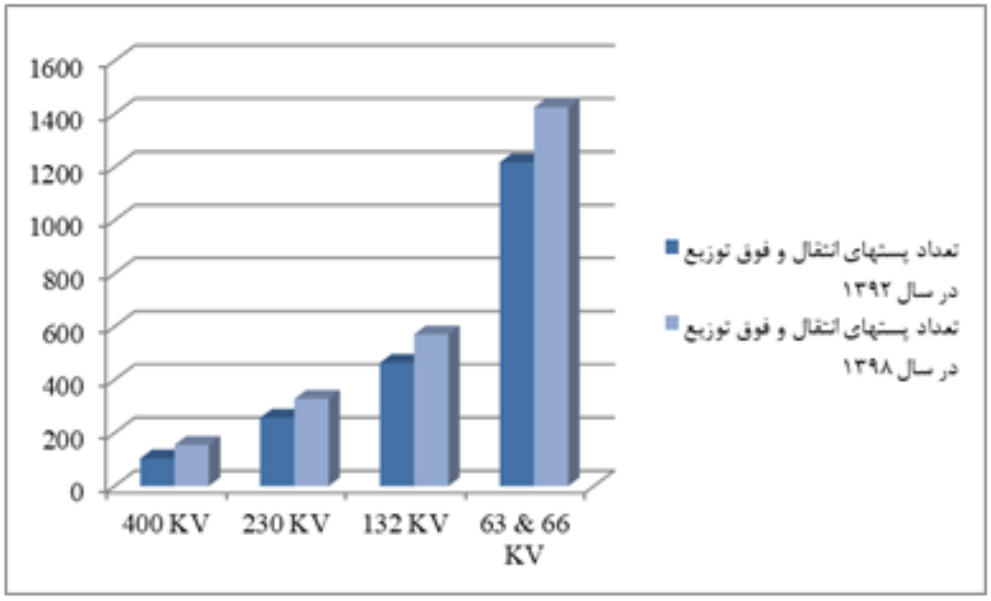
جدول ۱۵-۲ : وضعیت کمی پست‌های انتقال و فوق توزیع در بخش انتقال نیروی برق در سطح کشور

شرح	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۲	درصد رشد سالانه	درصد رشد

			انتقال و فوق توزیع	بلافصل نیروگاهی	انتقال و فوق توزیع	بلافصل نیروگاهی	انتقال و فوق توزیع	پست‌های انتقال و فوق توزیع (۹۸-۹۷)	سالانه پست‌های بلافصل نیروگاهی (۹۸-۹۷)
ظرفیت پست‌های انتقال و فوق توزیع	۴۰۰ کیلوولتی	مگاولت آمپر	۷۵۰۰۸	۴۳۸۴۲	۶۸۷۶۳	۴۲۹۱۷	۵۴۳۰۳	۳۵۴۹۷	۹/۱	۲/۲
	۲۳۰ کیلوولتی		۸۸۵۳۵	۴۰۶۴۱	۸۵۷۲۱	۳۹۷۱۶	۷۱۶۰۵	۳۷۱۴۴	۳/۳	۲/۳
	۱۳۲ کیلوولتی		۳۶۲۲۷	۴۷۸۳	۳۵۲۷۸	۴۵۷۳	۲۷۸۳۸	۴۸۷۱	۲/۷	۴/۶
	۶۶ و ۶۳ کیلوولتی		۷۸۳۰۶	۳۱۰۶	۷۵۸۴۴	۳۱۰۶	۶۳۲۷۰	۲۳۱۶	۳/۲	۰/۰
تعداد پست‌های انتقال و فوق توزیع	۴۰۰ کیلوولتی	عدد	۱۵۵	۳۹	۱۴۴	۳۸	۱۰۴	۲۸	۷/۶	۲/۶
	۲۳۰ کیلوولتی		۳۲۸	۵۴	۳۲۰	۵۱	۲۵۷	۴۴	۲/۵	۵/۹
	۱۳۲ کیلوولتی		۵۷۱	۱۶	۵۵۶	۱۵	۴۶۴	۱۶	۲/۷	۶/۷
	۶۶ و ۶۳ کیلوولتی		۱۴۲۵	۲۲	۱۳۹۷	۲۲	۱۲۱۸	۱۷	۲/۰	۰/۰



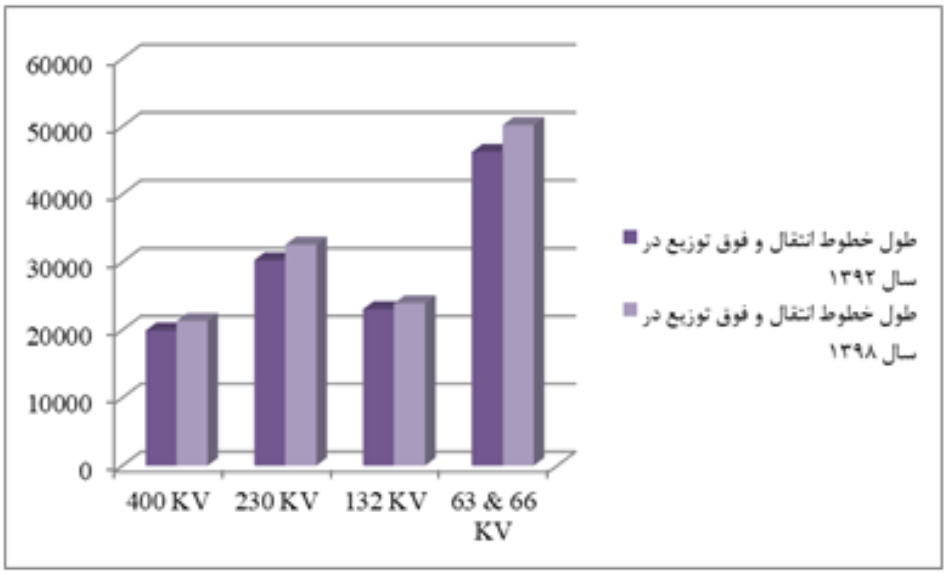
شکل ۶۶-۲: نمودار تغییرات ظرفیت پست‌های انتقال و فوق توزیع در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶]



شکل ۶۷-۲: نمودار تغییرات تعداد پست‌های انتقال و فوق توزیع در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶]

جدول ۱۶-۲ : وضعیت کمی خطوط انتقال و فوق توزیع در بخش انتقال نیروی برق در سطح کشور

شرح				۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۲	درصد رشد سالانه (۹۸-۹۷)
خطوط انتقال و فوق توزیع	۴۰۰ کیلوولتی	هوایی	کیلومترمدار	۲۱۳۲۹	۲۰۸۹۳	۱۹۹۱۵	۲/۱
		زمینی					
		جمع		۲۱۳۲۹	۲۰۸۹۳	۱۹۹۱۵	۲/۱
	۲۳۰ کیلوولتی	هوایی	کیلومترمدار	۳۲۴۹۸	۳۲۳۳۳	۳۰۲۳۳	۰/۵
		زمینی		۷۳	۷۸	۶۷	-۵/۹
		جمع		۳۲۵۷۱	۳۲۴۱۱	۳۰۳۰۰	۰/۵
	۱۳۲ کیلوولتی	هوایی	کیلومترمدار	۲۳۸۵۸	۲۳۷۴۰	۲۳۰۰۶	۰/۵
		زمینی		۸۱	۸۱	۵۸	۰/۰
		جمع		۲۳۹۳۹	۲۳۸۲۱	۲۳۰۶۴	۰/۵
	۶۶ و ۶۳ کیلوولتی	هوایی	کیلومترمدار	۴۸۴۹۴	۴۷۸۶۵	۴۴۷۸۴	۱/۳
		زمینی		۱۷۱۱	۱۶۵۸	۱۴۵۶	۳/۲
		جمع		۵۰۲۰۵	۴۹۵۲۴	۴۶۲۴۰	۱/۴



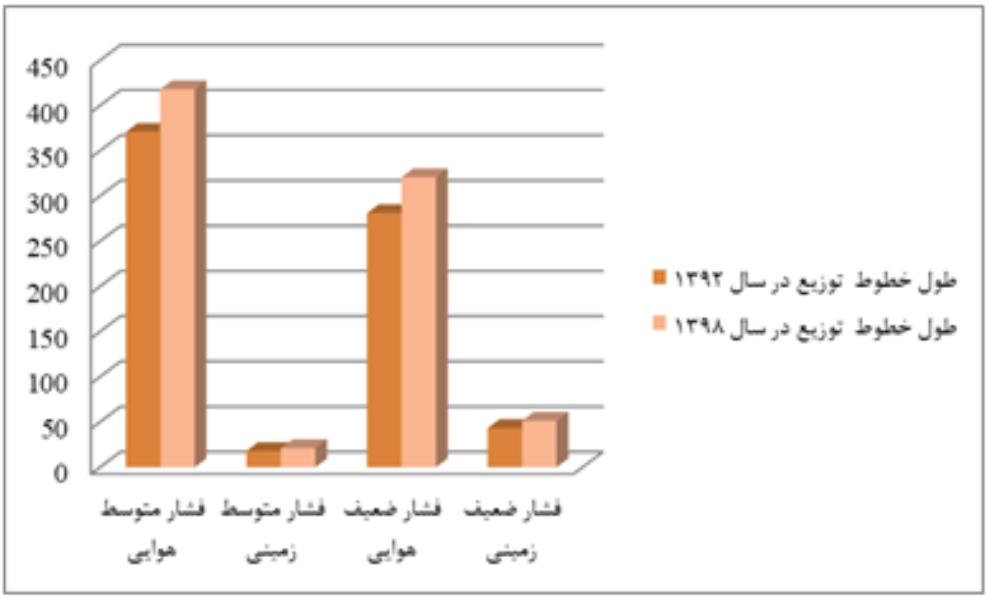
شکل ۶۸-۲: نمودار تغییرات طول خطوط انتقال و فوق توزیع در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۵ و ۶۶]

۲-۶-۳-۱-۳- حوزه توزیع

خطوط توزیع برق از تجهیزات اساسی شبکه‌های توزیع هستند. برای بررسی میزان توسعه شبکه‌های توزیع کشور در حوزه خطوط در سال‌های اخیر آمار سال‌های ۹۷ و ۹۸ و همچنین آمار سال ۹۲ در جدول ۱۷-۲ ارائه شده است. با استناد به آمار این جدول مشخص است که رشد قابل توجهی در خطوط توزیع بین سال‌های ۹۲ و ۹۸ رخ داده است. در شبکه‌های فشار متوسط در مجموع(هوایی و زمینی) در حدود ۵۰/۵ هزار کیلومتر به طول خطوط شبکه توزیع در طی ۶ سال اضافه شده است. همچنین در شبکه‌های فشار ضعیف این افزایش در حدود ۴۷/۱ هزار کیلومترمی‌باشد. شکل ۶۹-۲ تغییرات کمی خطوط هوایی و زمینی مورد استفاده در بخش توزیع را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد [۶۷ و ۶۸].

جدول ۱۷-۲ : وضعیت کمی خطوط هوایی و زمینی مورد استفاده در بخش توزیع در سطح کشور

شرح	هزار کیلومتر			درصد رشد سال ۹۸ نسبت به ۹۷
	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۲	
فشار متوسط هوایی	۴۱۸/۱	۴۱۱/۳	۳۷۰/۸	۱/۷
فشار متوسط زمینی	۲۱/۲	۲۰/۸	۱۸/۰	۲/۰
جمع شبکه فشار متوسط	۴۳۹/۳	۴۳۲/۱	۳۸۸/۸	۱/۷
فشار ضعیف هوایی	۳۲۰/۸	۳۱۵/۱	۲۸۱/۸	۱/۸
فشار ضعیف زمینی	۵۱/۵	۵۰/۶	۴۳/۳	۱/۷
جمع شبکه فشار ضعیف	۳۷۲/۳	۳۶۵/۷	۳۲۵/۲	۱/۸

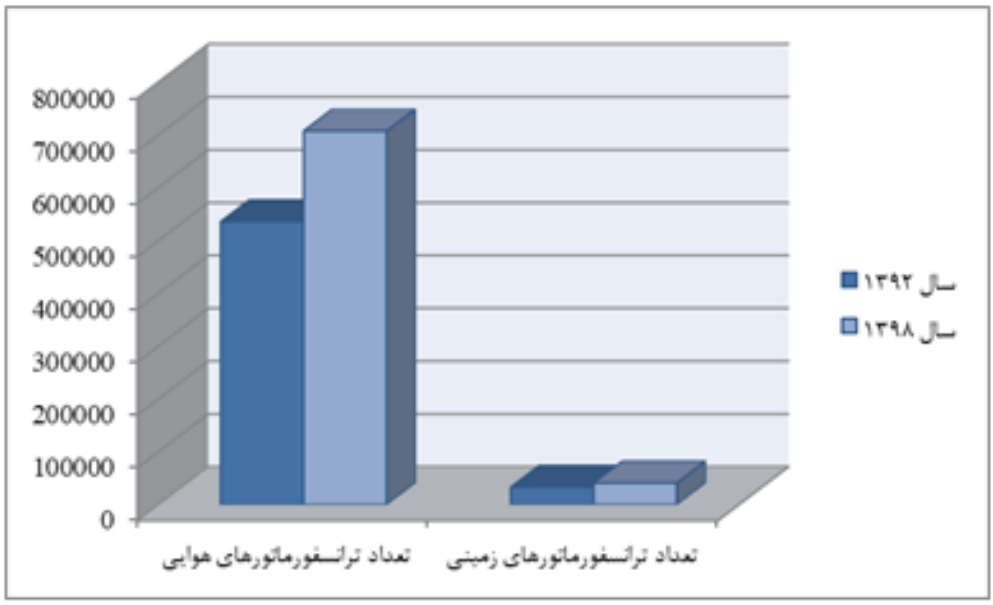


شکل ۶۹-۲: نمودار تغییرات طول خطوط توزیع در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۷ و ۶۸]

یکی دیگر از حوزه‌های اصلی در شبکه توزیع برق، پست‌های توزیع می‌باشد. در ارتباط با پست‌های توزیع فارغ از فناوری پست (زمینی، هوایی و ...) بخش اصلی پست ترانسفورماتور توزیع می‌باشد. لذا روند تغییرات تعداد پست‌های توزیع را می‌توان از روند تغییرات تعداد ترانسفورماتورهای توزیع دریافت. در جدول ۱۸-۲ آمار کمی ترانس‌های توزیع مورد استفاده در شبکه توزیع تحت کنترل وزارت نیرو آمده است. شکل ۷۰-۲ نیز افزایش تعداد پست‌های توزیع و در نتیجه آن روند افزایش سازه‌های مورد نیاز پست‌های توزیع را نشان می‌دهد که بیانگر بازار بزرگ و در حال رشدی برای فناوری‌های این حوزه می‌باشد.

جدول ۱۸-۲ : وضعیت کمی ترانسفورماتورهای مورد استفاده در بخش توزیع در سطح کشور

شرح		تغییر در سال ۹۸	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۲	درصد رشد سال ۹۸ به ۹۷
تعداد ترانسفورماتورهای هوایی	دستگاه	۲۱۸۴۵	۷۰۶۶۸۳	۶۸۴۸۳۸	۵۳۵۱۲۱	۳/۲
تعداد ترانسفورماتورهای زمینی		۵۲۸	۴۰۶۵۸	۴۰۱۳۰	۳۲۹۱۴	۱/۳
جمع تعداد ترانسفورماتورهای شبکه توزیع		۲۲۳۷۳	۷۴۷۳۴۱	۷۲۴۹۶۸	۵۶۸۰۳۵	۳/۱
ظرفیت ترانسفورماتورهای هوایی	مگاولت-آمپر	۲۶۱۳	۹۸۵۷۷	۹۵۹۶۴	۷۵۹۱۰	۲/۷
ظرفیت ترانسفورماتورهای زمینی		۳۴۸	۲۹۸۰۳	۲۹۴۵۵	۲۴۴۵۹	۱/۲
جمع ظرفیت ترانسفورماتورهای شبکه توزیع		۲۹۶۱	۱۲۸۳۸۰	۱۲۵۴۱۹	۱۰۰۳۶۸	۲/۴



شکل ۷۰-۲: نمودار تغییرات تعداد پست‌های توزیع (زمینی و هوایی) در پایان سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸ [۶۷ و ۶۸]

۲-۶-۳-۲- کشش تقاضا

با توجه به اینکه مصرف‌کنندگان اصلی فناوری‌های پایش سازه‌های صنعت برق، شرکت‌های مادر تخصصی در حوزه برق، شرکت‌های برق منطقه‌ای و شرکت‌های توزیع می‌باشند و از آنجایی که تا کنون فعالیت‌های زیادی در زمینه پایش وضعیت سازه‌های صنعت برق انجام نشده‌است در این قسمت در جدول ۱۹-۲، اولویت‌های تحقیقاتی این شرکت‌ها در زمینه‌های دستیابی و بهره‌برداری از فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق ارائه شده و از آن بعنوان معیاری در زمینه کشش تقاضا در زمینه این فناوری‌ها استفاده شده‌است [۶۹ و ۷۰].

جدول ۱۹-۲ : اولویت‌های تحقیقاتی شرکت مادر تخصصی برق حرارتی، شرکت‌های برق منطقه ای و توزیع نیروی برق در زمینه توسعه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

ردیف	نام شرکت	عنوان فعالیت	نوع پژوهش	سال
۱	شرکت مادر تخصصی برق حرارتی- نیروگاه لوشان	ریشه‌یابی علل ارتعاشات فونداسیون توربین بخار واحد دو و ارائه راه حل و اجرای پروژه جهت کاهش آن	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۲	برق منطقه‌ای آذربایجان	ارزیابی ریسک پذیری و مطالعات پهنه بندی خطوط و پستهای انتقال منطقه شمالغرب کشور	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۳	برق منطقه‌ای خوزستان	ارزیابی آسیب پذیری و پایش سلامت سازه دکل-های انتقال نیرو و تخمین طول عمر	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹

ردیف	نام شرکت	عنوان فعالیت	نوع پژوهش	سال
۴	شرکت برق منطقه‌ای غرب	مطالعه و بررسی فنی اثر ژئوتکنیکی ساختگاه بر رفتار لرزه ای سازه و تجهیزات پست های انتقال و فوق توزیع حوزه برق غرب و تعیین میزان تأثیر و تهیه و ارائه دستورالعمل انتخاب زمین پست ها و طراحی پست های جدید	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۵		مطالعه و بررسی تاب‌آوری شبکه‌های انتقال و فوق توزیع برق غرب در برابر عوامل و حوادث طبیعی و تعیین پهنه مناطق خطر و آسیب‌پذیر و ارائه راهکارهای لازم	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۸
۶	برق منطقه‌ای زنجان	تخمین عمر باقیمانده سازه های شبکه انتقال نیروی برق منطقهای زنجان و ارائه راهکارهای افزایش عمر و برنامه مدیریت تعمیرات و نگهداری آنها	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۷	برق منطقه‌ای هرمزگان	بررسی و تحلیل مخاطرات طبیعی شبکه انتقال برق و تهیه اطلس مخاطرات شبکه	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۸	توانیر	مانیتورینگ سازه‌های خطوط ۳	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۹		شناسایی، پایش و مانیتورینگ میزان گسترش فرونشست زمین و تاثیر ان بر سازه های انتقال	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۰	شرکت برق منطقه‌ای فارس	ارزیابی تاب آوری شبکه‌های الکتریکی در شرکت برق منطقه‌ای فارس در هنگام وقوع بالای طبیعی و ارائه استراتژی‌های بهبود	اولویت تحقیقاتی	1398
۱۱	برق منطقه‌ای اصفهان	پایش سلامت سازه‌های ساختمانی پست‌های انتقال برق شامل بتنی، فولادی و سازه‌های سبک	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۲	برق منطقه‌ای مازندران	ارزیابی آسیب پذیری و پایش سلامت سازه دکل‌های انتقال نیرو در استان مازندران و بررسی موردی علل وقوع خرابی و نقص سازه ای در دکل های انتقال نیرو	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۳	شرکت برق منطقه‌ای باختر	طراحی و ساخت سیستم هوشمند جهت جلوگیری از سرقت اجزای دکل‌های فشارقوی	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۴	شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ	ارائه راهکار مناسب جهت بهبود تاب آوری در بحران زلزله در تاسیسات برقی ، ساختمانهای عملیاتی و زیرساختهای مخابراتی توزیع برق تهران بزرگ	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۵	شرکت توزیع نیروی برق شمال استان کرمان	ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شبکه توزیع برق شهرستان کرمان و تعیین اولویت محافظت از تجهیزات شبکه توزیع بر اساس شاخص های حیاتی جهت افزایش تاب آوری بعد از وقوع زلزله	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۶	شرکت توزیع نیروی برق استان ایلام	بررسی تاب آوری مکانیکی و الکتریکی تجهیزات شبکه توزیع نیروی برق استان ایلام در برابر حوادث طبیعی	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹

ردیف	نام شرکت	عنوان فعالیت	نوع پژوهش	سال
۱۷	شرکت توزیع نیروی برق اردبیل	ارائه راهکاری برای افزایش تاب آوری شبکه توزیع استان اردبیل با توجه به اقلیم استان اردبیل	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۸	شرکت توزیع غرب استان مازندران	تدوین استراتژی و نقشه راه افزایش تاب آوری شبکه توزیع غرب مازندران با رویکرد مدیریت منابع	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۱۹	شرکت توزیع نیروی برق استان کردستان	مطالعات آسیب‌پذیری و تاب آوری شبکه توزیع استان کردستان (در شهرستانهای دشت مانند) در مقابل وزش باد و زلزله در شرایط بحران	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹
۲۰	شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان	برنامه‌ریزی پیشگیرانه جهت توسعه شبکه‌های توزیع الکتریکی در برابر حوادث با احتمال کم و شدت زیاد در منطقه نمونه شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان (منطقه پیشنهادی: رودبار جنوب و عنبر آباد)	اولویت تحقیقاتی	۱۳۹۹

۲-۷-بررسی و تحلیل قابلیت‌های پژوهشگاه نیرو

در معماری کنونی صنعت برق کشور که بر پایه توانایی‌های بازیگران این عرصه و استفاده بهینه از ظرفیت‌های علمی و پژوهشی کشور طراحی شده است، وظیفه سیاستگذاری و راهبری کلان بر عهده معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو است. راهبری میانی و نظارت عالیه توسط شرکت‌های مادر تخصصی صورت می‌گیرد و مسئولیت مدیریت و جریان‌سازی پژوهش نیز با توجه به در اختیار داشتن ظرفیت‌های مناسب سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و همچنین دارا بودن نیروی انسانی متخصص و با تجربه بیش از ۱۳۰ شاخه تخصصی به پژوهشگاه نیرو سپرده شده است. استراتژی مدیریت و جریان‌سازی پژوهش که طی سال‌های اخیر در پژوهشگاه نیرو آغاز شده است، با طی کردن رشدی مناسب به تدریج در قالب زیست‌بوم پژوهش، فناوری و نوآوری صنعت برق تجلی پیدا خواهد کرد.

۲-۷-۱- دانش

به منظور اکتساب و توسعه فناوری و در پی آن تجاری‌سازی فناوری‌های دارای اولویت، می‌بایست بر اساس توانمندی‌های داخلی فعلی و بالقوه در آینده اقدام نمود. بر این اساس در حوزه دانش می‌بایست دانش موجود و بالقوه داخل پژوهشگاه مورد بررسی قرار گیرد تا روشن شود که در نهایت پژوهشگاه چه نقشی می‌تواند در حوزه دانشی ایفا نماید یا برای ایفای آن نقش می‌بایست چه دانشی را کسب نماید. در این بخش فعالیت‌هایی را مرور می‌کنیم که در پژوهشگاه نیرو در قالب طرح‌ها و پروژه‌های پژوهشی در زمینه ارزیابی، مقاوم‌سازی، بهبود عملکرد انواع سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع نیروی برق انجام شده و یا در دست اجرا می‌باشد.

جدول ۲۰-۲ : فعالیت پژوهشگاه نیرو در قالب طرح‌ها و پروژه‌های پژوهشی مرتبط با این سند از ابتدا تاکنون

ردیف	عنوان	سال	واحد مجری	نوع پژوهش
۱	ارائه راهکارهای طراحی و بهسازی شبکه توزیع در برابر زلزله	۱۳۹۱	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۲	تهیه و تدوین راهنمای فنی پایش وضعیت شبکه‌های توزیع	در دست اجرا	گروه برنامه ریزی و بهره‌برداری در سیستم‌های قدرت	پروژه
۳	مطالعه و بررسی روش های نوین برقراری امنیت فیزیکی خطوط برق و استخراج پارامترهای مهم با توجه به شرایط اقلیمی و فنی در سطوح انتقال و فوق توزیع شبکه برق ایران	۱۳۹۸	گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات	پروژه
۴	تعیین قابلیت اطمینان سازه های خطوط انتقال	۱۳۸۴	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۵	تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم سازی سازه ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه ای	در دست اجرا	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۶	بهبود عملکرد سازه های صنعت برق با شناسایی، به کارگیری و توسعه مواد نانو ساختار	در دست اجرا	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۷	شناسایی راهکارها و فناوری های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع	در دست اجرا	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۸	بکارگیری فناوری های نوین آزمایشگاهی برای ارزیابی عملکرد سازه های صنعت برق	در دست اجرا	گروه سازه‌های صنعت برق	پروژه
۹	توسعه و بهره برداری آزمایشگاه های سازه های انتقال	در دست اجرا	طرح توسعه و بهره برداری آزمایشگاه های سازه های انتقال	طرح
۱۰	ارزیابی ریسک های موجود در سازه های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه	در دست اجرا	سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت سازه های صنعت برق	پروژه
۱۱	تدوین دانش فنی و پیاده سازی سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه های تولید برق	در دست اجرا	طرح تدوین دانش فنی و پیاده سازی سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه های تولید برق	طرح
۱۲	طراحی چارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه های نیروگاهی	در دست اجرا	طرح تدوین دانش فنی و پیاده سازی سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه های تولید برق	زیرپروژه

۱۳	بررسی مطالعات تاب آوری و نحوه ی ارزیابی آن در شبکه انتقال و فوق توزیع برق ایران در مواجه با حوادث طبیعی	در دست اجرا	گروه برنامه ریزی و بهره‌برداری در سیستم‌های قدرت	پروژه

در ادامه به منظور بیان توانمندی پژوهشگاه در حوزه دانش، به خلق مفهوم محصول، توانمندی طراحی، تعداد مقالات و پتنت‌های ثبت شده توسط اعضای گروه‌هایی از پژوهشگاه نیرو که می‌توانند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نقش داشته باشند مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بدیهی است که میزان ارتباط و همکاری حوزه فناوری‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌های صنعت برق با همه گروه‌های پژوهشی یکسان نمی‌باشد.

در جدول ۲۱-۲ توانمندی‌های ۱۵ گروه پژوهشی پژوهشگاه نیرو در زمینه ارائه مقالات مجلات تخصصی، مقالات همایش‌های خارجی، کتاب و ثبت اختراع نشان داده شده‌است.

جدول ۲۱-۲ : جدول توانمندی‌های گروه‌های پژوهشی پژوهشگاه نیرو در حوزه خلق دانش

ردیف	نام گروه‌های پژوهشی مرتبط	فعالیت‌های علمی			
		مقالات مجلات تخصصی (ISC/ISI/علمی-پژوهشی)	مقالات همایش-های داخلی و خارجی	کتاب	اختراع
۱	سازه‌های صنعت برق	۱۱۴	۱۶۶	۶	-
۲	مطالعات فشار قوی	۵۳	۱۲۵	۱	۱۶
۳	تجهیزات خط و پست	۱۳	۵۴	۴	-
۴	برنامه‌ریزی و بهره‌برداری در سیستم‌های قدرت	۷۶	۳۴۵	۵	۱
۵	پایش و کنترل نیروگاه‌ها	۷	۳۱	۱	-
۶	الکترونیک و ابزار دقیق	۲۵	۹۲	۴	۱
۷	فناوری اطلاعات و ارتباطات	۶۱	۲۰۳	۲۹	۴
۸	سامانه‌های کنترل هوشمند	۴۰	۵۵	۳	-
۹	انرژی‌های تجدیدپذیر	۱۳۴	۲۴۸	۱۱	۵
۱۰	مدیریت انرژی	۲۶	۷۱	-	-
۱۱	محیط زیست	۱۰۱	۹۵	۱	۳
۱۲	شیمی و فرآیند	۱۹۵	۱۷۰	۲	۹
۱۳	مواد غیر فلزی	۱۳۴	۳۸۲	۱۱	۲۶
۱۴	اقتصاد برق و انرژی	۱۲	۲۶	۲	-
۱۵	مدیریت و علوم اجتماعی	۱۳	۲۹	۳	-

با توجه به اطلاعات جدول فوق تاکنون ۱۰۰۴ مقاله معتبر مجلات تخصصی(ISI، ISC و علمی-پژوهشی)، ۲۰۹۲ مقاله همایش‌های داخلی و خارجی و ۸۳ کتاب توسط اعضای گروه‌های پژوهشی نامبرده منتشر شده و ۶۵ اختراع نیز به ثبت رسیده است.

۲-۷-۲- نیروی انسانی

در این بخش توانایی پژوهشگاه نیرو از منظر نیروی انسانی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا بر اساس توانمندی نیروی انسانی موجود بتوان نقش پژوهشگاه نیرو در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق را تعریف نمود. با توجه به ارتباط علمی مستقیم و یا غیر مستقیم (و حتی ناهمسان) ۱۵ گروه پژوهشی با حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، توانمندی نیروی انسانی این گروه‌ها از منظر تعداد و رتبه علمی و همچنین عضویت در هیئت علمی پژوهشگاه نیرو مورد بررسی قرار گرفته و به تفکیک در جدول ۲۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۲۲-۲ : جدول توانمندی‌های گروه‌های پژوهشی پژوهشگاه نیرو از منظر نیروی انسانی

ردیف	نام حوزه تخصصی	نام گروه یا گروه‌های پژوهشی مرتبط	تعداد و رتبه علمی اعضای گروه				
			پسا دکتری	دکتری	کارشناسی ارشد	کارشناسی	هیئت علمی پژوهشگاه نیرو
۱	سازه‌های صنعت برق	سازه‌های صنعت برق	--	۶	۲	--	۵
۲	مطالعات شبکه‌های فشار قوی	مطالعات فشار قوی	۱	۲	۸	۳	۳
۳		تجهیزات خط و پست	۱	۳	۲	--	۳
۴	برنامه‌ریزی و بهره-برداری در سیستم-های قدرت	برنامه‌ریزی و بهره‌برداری در سیستم‌های قدرت	--	۸	۶	۱	۵
۵	الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق	پایش و کنترل نیروگاه‌ها	--	۲	۶	۲	--
۶		الکترونیک و ابزار دقیق	۱	--	۱۰	۲	۲
۷	فناوری اطلاعات، ارتباطات، اتوماسیون و راهبری شبکه برق	فناوری اطلاعات و ارتباطات	--	۸	۱۲	۳	۶
۸		سامانه‌های کنترل هوشمند	--	۲	۳	--	۱
۹	انرژی و محیط زیست	انرژی‌های تجدیدپذیر	--	۱۰	۱۰	--	۷
۱۰		مدیریت انرژی	۱	۲	۳	--	۲
۱۱		محیط زیست	۱	۳	۴	۳	۳
۱۲	شیمی و مواد	شیمی و فرآیند	۳	۵	۵	۲	۵
۱۳		مواد غیر فلزی	۱	۷	۴	۱	۵

۱۴	برنامه‌ریزی کلان و علوم اقتصادی و مالی	اقتصاد برق و انرژی	--	۱	۲	۱	۱
۱۵	علوم مدیریت، علوم اجتماعی و حقوق	مدیریت و علوم اجتماعی	--	۴	۱	--	۳

۲-۷-۳- تجهیزات و سخت افزارها

در این بخش به منظور بیان توانمندی پژوهشگاه از منظر تجهیزات و سخت‌افزارهای مورد نیاز جهت اکتساب و توسعه فناوری‌های مربوط به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، به امکلنات و تجهیزات تحقیقاتی برای توسعه‌های آتی، دسترسی به تکنولوژی تولید و توان کاربرد تجهیزات تولیدی پرداخته شده است.

از میان ۳۰ آزمایشگاه تحقیقاتی و مرجع که با هدف حمایت از تحقیقات کاربردی و تجاری سازی نتایج آن توسط پژوهشگاه نیرو تجهیز و راه‌اندازی شده‌است، می‌توان از قابلیت‌های ۱۲ آزمایشگاه به طور مستقیم و غیر مستقیم در حوزه فناوری‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌های صنعت برق استفاده نمود. اسامی این آزمایشگاه‌ها و امکانات و تجهیزات تحقیقاتی و همچنین دامنه فعالیت آن‌ها در جدول ۲۳-۲ بیان شده است.

جدول ۲۳-۲ : جدول توانمندی‌های پژوهشگاه نیرو از منظر تجهیزات و سخت افزار

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
۱	آزمایشگاه مرجع سازه-های انتقال نیرو	• امکان تست همزمان دو دکل • سیستم تمام خودکار با امکان اعمال نیرو به کلیه خطوط به طور همزمان • مجهز به سیستم کامپیوتری کنترل مرکزی آزمون (System Monitoring) • دارای بیش از ۵۰ عدد لودسل بسیار دقیق از نوع HBM تا ظرفیت ۵۰ تن • تنها آزمایشگاه در دنیا که مجهز به سیستم کنترل مضاعف نیروها جهت اطمینان از صحت و کیفیت آزمون می‌باشد • دارای بیش از ۳۰ خط اعمال نیرو بصورت وینچ های تا ظرفیت ۱۰ تن که توسط سیستم مرکزی کنترل می‌گردند (با این وینچ‌ها امکان اعمال نیرو تا ۶۰ تن در هر نقطه میسر می‌باشد)	این آزمایشگاه امکان بررسی پایداری دکل‌های نمونه مورد استفاده در خطوط انتقال نیرو، تحت بارهای محاسباتی مورد انتظار در شرایط واقعی را فراهم می‌سازد .بارهای محاسباتی در شرایط مختلف، به صورت نیروهای کششی قائم، طولی و عرضی به نقاط مختلف دکل اعمال می‌گردند (نقاط آویز سیم‌های هادی و سیم محافظ هوایی و نقاطی روی تنه دکل).

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
		• کلیه وینچ‌ها دارای سیستم دور متغیر می‌باشند که از ورود هرگونه ضربه به دکل جلوگیری می‌نمایند • مجهز به دستگاه کشش یونیورسال مدرن با ظرفیت ۶۰ تن • امکان قرائت تغییرمکانهای دکل در هر دو راستای عرضی و طولی • مجهز به سیستم خودکار هواشناسی که کلیه اطلاعات هواشناسی را به کامپیوتر مرکزی ارسال می‌نماید	
۲	آزمایشگاه پایه‌های شبکه توزیع و روشنایی	• بستر و تجهیزات آزمون مکانیکی پایه‌های شبکه توزیع • بستر و تجهیزات آزمون مکانیکی پایه‌های روشنایی • آزمایشگاه مقاومت مصالح • تجهیزات پرتابل آزمون مکانیکی پایه‌های شبکه توزیع • ممیزی کارگاه‌های تولیدی پایه‌ها	• انجام آزمون پایه‌های بتنی • در محل آزمایشگاه: ظرفیت آزمون تیر با حداکثر ارتفاع ۱۵ متر و قدرت اسمی ۱۲۰۰ کیلوگرم نیرو • ادر محل کارگاه تیرهای بتنی • آزمایش پایه‌های روشنایی • آزمون مکانیکی بصورت افقی: پایه با حداکثر ارتفاع ۲۰ متر • آزمون مکانیکی بصورت قائم: پایه با حداکثر ارتفاع ۸۰ متر • انجام آزمایشات مقاومت مصالح بر روی مصالح سازنده پایه‌ها
۳	آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک	• آنالیز کننده چهار کاناله • شیکر الکترومکانیکی • دستگاه آزمون ریگ بالانس • دستگاه آزمون ریگ بالانس • شبیه ساز عیوب مکانیکس در ماشین‌های دوار • مجموعه سنسورهای ارتعاشی، نیروسنج دینامیکی، میکروفون، چکش مودال • دوربین آکوستیکی	• آنالیز ارتعاشات • آنالیز مودال و تعیین فرکانس طبیعی • آنالیز آکوستیک • تعیین فرکانس‌های طبیعی قطعات و اجزای مکانیکی • آنالیز مودال تجربی • تعیین توزیع صوتی و منابع صوت با استفاده از دوربین صوتی • تحلیل مودال حین کارکرد(OMA) • تعیین تغییر شکل حین کارکرد(ODS) • بالانس تجهیزات دوار

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
			• انجام آزمون‌های ارتعاشی یراق آلات خطوط انتقال نیرو
۴	آزمایشگاه عملکرد نیروگاه	• ترنسمیتر اختلاف فشار • ترنسمیتر اختلاف فشار • ترنسمیتر فشار • کنتور سه فاز • کنتور سه فاز • فلو متر التراسونیک • Data Acquisition/switch unit(Agilent) • Data Logger(SIGNATROL) • Data Logger(SIGNATROL) • دستگاه اندازه گیری فشار محیط وارتفاع • دستگاه اندازه گیری و ثبات دما و رطوبت محیط • Working Type K thermocouple • Working Pt100 • منبع تغذیه دیجیتالی • منبع تغذیه ۲۴(v) • Caliper • نقاله (ورنیه ای)	انجام آزمون عملکرد و تحلیل نتایج واحدهای نیروگاهی شامل: • نیروگاه‌های گازی • نیروگاه‌های بخار کلاسیک و اجزای مختلف آن شامل توربین بخار، بویلر، هیترها و ... • نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و اجزای مختلف آن شامل توربین گاز، توربین بخار، بویلر بازیاب حرارتی و... • انجام تنظیمات TETC واحدهای گازی • تحلیل عملکرد و عیب یابی واحدهای نیروگاهی
۵	آزمایشگاه مرجع فشار قوی	• DATA LOGGER • IMPULSE GENERATOR • MEASURING BRIDGE • POWER FREQUENCY TRANSFORMER • POWER FREQUENCY TRANSFORMER • PARTIAL DISCHARGE METER • MEGOHMMETER • OVEN • ARTIFICIAL RAIN GENERATOR • CABLE TEST SYSTEM • SEMIAUTOMATIC DIELECTRIC TEST SET • Impulse voltage generator • منبع تغذیه ۳ فاز تست ترانس • دستگاه اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ • دستگاه اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانس	• تعیین ولتاژ پایداری ضربه صاعقه • تعیین ولتاژ پایداری فرکانس قدرت خشک • اندازه گیری استقامت عایقی • اندازه گیری ضریب تلفات عایقی • اندازه گیری ظرفیت خازنی • ندازه گیری ضریب نفوذپذیری الکتریکی (عدد دی الکتریک) • اندازه گیری مقاومت ویژه حجمی • اندازه گیری مقاومت عایقی • آزمونهای جریان بالا تا سقف ۵ کیلو آمپر • اندازه گیری تخلیه جزئی • آزمون‌های جاری ترانس‌های توزیع • آزمون‌های کرونا وRTV • آزمون الکترومکانیکال مقره‌های سرامیکی

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
			• آزمون ترمومکانیکال مقره‌ها
۶	آزمایشگاه مرجع مه نمکی	• SALT FOG SYSTEM • CLEAN FOG SYSTEM • TRACKING WHEEL SYSTEM • OVEN • LEAKAGE CURRENT ANALYZER • CONDUCTIVITY METER	• آزمونهای Aging (پیرسازی) مقره‌های پلیمری • آزمونهای فرسایش UV • انجام و اجرای سناریوهای مختلف آزمون بر روی تجهیزات اعم از استاندارد و غیر استاندارد • آزمون مه نمکی • آزمون برآورد سطح آلودگی مقره آلوده • آزمون تراکینگ ویل
۷	کارگاه ساخت	• دستگاه فرز • دستگاه تراش • دستگاه دریل • دستگاه جوش • اره • ابزار آلات • دستگاه خم ورق	• ساخت قطعات و مجموعه‌ها • ساخت قالب و مجموعه‌های صنعتی • ساخت قطعات نیروگاهی • ساخت قطعات داخلی شیرهای کنترلی • ساخت قطعات داخلی نازل توربین‌های GEF9 • ساخت قطعات داخلی نازل توربین‌های میتسوبیشی • ساخت قطعات ولو تریستور
۸	آزمایشگاه مرجع یراق آلات الکتریکی	• دستگاه کشش افقی ۳ ، ۳۰ و ۳۰۰ تن • دستگاه سالت اسپری • دستگاه شرایط محیطی • دستگاه ولتاژ دی الکتریک • دستگاه پیرشدگی الکتریکی • دستگاه سختی سنجی لاستیکهاو پلاستیکها • دستگاه ضخامت سنجی • دستگاه آون • کولیس دیجیتال • گشتاور سنج دیجیتال • میکرو اهم متر • ترموکوپل • فریزر • باسکول	انجام آزمونهای مختلف به منظور انتخاب یراق آلات مناسب جهت خطوط انتقال و توزیع نیرو، تعیین مقاومت خوردگی و اکسیداسیون یراق آلات مورد استفاده در صنعت برق از طریق انجام آزمونهای مختلف، تعیین مشخصات فنی یراق‌آلات، کنترل کیفیت یراق آلات فلزی و غیر فلزی خریداری شده از خارج و یا ساخت داخل، پیشنهاد فناوری ساخت یراق آلات با توجه به امکانات داخل کشور، کنترل کیفیت مواد اولیه مورد استفاده جهت ساخت یراق آلات بررسی علل زوال و تخریب یراق‌آلات ازطریق انجام آزمایشهای مخرب و غیر مخرب بر روی نمونه‌های یراق آلات، قابلیت انجام آزمون‌های یراق آلات فشار ضعیف ، فشار متوسط و فشار قوی طبق استانداردهای بین‌المللی و ملی و

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
		• دستگاه ضربه • سشوار صنعتی • ترازوی دیجیتال	آزمون‌های یراق آلات کابل خودنگهدار و هادی روکش‌دار خطوط نیرو برطبق استانداردهای BS EN وIEC, ASTM : بررسی‌های ابعادی، کشش در دمای محیط، کشش در دمای بالا و پایین، لغزش، مقاومت عایقی در هوا، مقاومت عایقی در آب، خوردگی در محیط، نمکی ، اسیدی ، بازی (سالت اسپری) ، شرایط محیطی(UV) ، دما و رطوبت)، ضربه در دمای پایین، مونتاژ در دمای پایین، عدم نفوذ آب، گشتاور پیچ، عملکرد پیچ سر بر، ضخامت سنجی، یکنواختی و چسبندگی پوشش گالوانیزه، بارگواه پیچ و مهره، کشش پیچ، پیرشدگی الکتریکی، سختی سنجی فلزات، هدایت الکتریکی، سختی سنجی لاستیک‌ها و پلاستیک‌ها
۹	آزمایشگاه مرجع لینک‌های مخابراتی	• Network Analyzer • OTDR • Optical Measuring kit • Ethernet Tester • CD Analyzer • LANTIME Server • PASSIVE SIMULATOR • Optical Transmission System • Access System • Tele Protection System • Ethernet to E1 Converter • 64K TO E1 Convertor • Variable Attenuator • Industrial PC • Industrial Switch • Gateway • Protocol Tester • Control Relay • LANTIME Server • Line Differential Relay • Optical to Electrical Convertor • Process Level Simulator	• انجام شبیه سازی ارتباطات مخابرات نوری صنعت برق کشور در لایه انتقال و فوق توزیع و انجام آزمون‌های کارایی متناسب با نیازمندی‌های صنعت برق کشور • دارای پایلوت شبیه‌ساز شبکه مخابرات نوری بخش انتقال صنعت برق کشور • دارای پایلوت ارتباط مخابراتی داخل پست DCSمبتنی بر IEC61850 و ارتباط مخابراتی با مرکز کنترل اسکادا • امکان طراحی انواع آزمون‌های مخابراتی مورد درخواست و انجام آن بر روی پایلوت پایلوت شبیه‌ساز شبکه مخابرات نوری بخش انتقال صنعت برق کشور • امکان طراحی انواع آزمون‌های ارتباطی مورد درخواست و انجام آن بر روی پایلوت پایلوت شبیه‌ساز ارتباط مخابراتی داخل پست DCS

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
			مبتنی بر IEC61850 و ارتباط مخابراتی با مرکز کنترل اسکادا • امکان انجام انواع آزمون‌های تطابق تجهیزات مخابراتی بر روی پایلوت شبیه‌ساز شبکه مخابرات نوری بخش انتقال صنعت برق کشور • انجام آزمون بر روی محصولات مخابرات نوری ساخت داخل به منظور بررسی انطباق با استانداردها در مراحل طراحی و ساخت • ارائه خدمات مشاوره فنی جهت بکارگیری تکنولوژی های نوین مبتنی بر مخابرات نوری در صنعت برق کشور با بررسی الزامات صنعتی مورد نیاز
۱۰	آزمایشگاه مرجع رنگ و پوشش	• دستگاههای تعیین مشخصات فیزیکی رنگ تر (مانند دستگاههای اندازه‌گیری دانسیته، نقطه اشتعال، ضخامت، (... • دستگاههای تعیین مشخصات فیزیکی و مقاومت مکانیکی رنگ خشک (مانند دستگاههای اندازه‌گیری چسبندگی، سختی، مقاومت خمشی، (... • دستگاههای بررسی مقاومت شیمیایی و محیطی رنگ و پوشش (مانند دستگاههای تعیین مقاومت در محیط گازSO_2، تعیین مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش و ...)	آزمایشهای لازم به منظور کنترل کیفیت انواع رنگهای محیط‌های صنعتی، دریائی، شیمیائی، ترافیکی و ... مطابق استانداردهای بین‌المللی (ISO,BS,DIN,ASTM)و ... و استانداردهای ملی ایران (به شرح زیر می‌باشد: • آزمونهای تعیین مشخصه‌های فیزیکی رنگ (سلامت ظاهری – درجه ته‌نشینی – دانه‌بندی- قدرت پوشش - قدرت گسترش رنگ – ویسکوزیته – دانسیته – درصد حجمی مواد جامد - درصد وزنی مواد جامد - ضخامت فیلم رنگ – نقطه اشتعال – زمان خشک شدن رنگ و ...) • آزمونهای تعیین مشخصه‌های مکانیکی رنگ (چسبندگی – مقاومت در برابر ضربه –مقاومت در برابر سایش – مقاومت در برابر خمش – شویش – جامی شدن – سختی) • آزمونهای شیمیائی و محیطی رنگها و سایر پوششها (تعیین مقاومت در محیط با رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد - تعیین مقاومت در محیط مه نمکی – غوطه‌وری در محیطهای شیمیائی مختلف – تعیین مقاومت در محیط با تابش اشعه

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
			ماوراء بنفش – تعیین مقاومت حرارتی – تعیین مقاومت در محیط خورندهSO_2) • ارزیابی کارشناسی انواع رنگهای صنعتی، ترافیکی، دریائی و نسوز • تعیین و انتخاب رنگها و پوششهای مناسب جهت کاربردهای مختلف
۱۱	آزمایشگاه مرجع سیم و کابل	--	قابلیت انجام آزمون‌های کابل‌های فشار ضعیف معمول، آزمون‌های غیرالکتریکی کابل‌های قدرت فشار متوسط و فشار قوی (طبق استانداردهای بین‌المللی و ملی) و آزمون‌های هادی‌های هوایی خطوط نیرو (طبق استانداردهایEN ، ASTM و IEC) را دارا بوده و به منظور انجام آزمون‌های الکتریکی کابل‌های قدرت با ولتاژ نامی بالاتر از یک کیلوولت، استفاده از امکانات آزمایشگاه فشار قوی پژوهشگاه نیرو پیش‌بینی گردیده است.
۱۲	آزمایشگاه مرجع کالیبراسیون	• Documenting Process Calibrator • Multi Calibrator • True Temperature Meter • Temperature Calibration Bath • Reference Temperature Calibration Bath • Dry Block Temperature Calibrator • Calibration Furnace • PRT • Thermocouple Type S 1600 with cold junction • Thermocouple Type S 1600 • Thermocouple type S • Mini TPW Cell • SPRT • Multi Data Acquisition • Working thermocouple • Working Pt100 • FIELD Communicator • Reference MultiMeter • MultiProduct Calibrator • Reference Decade Resistor • Reference Capacitance Decade Box • Pressure/Vacuum Hand Pump • Vacuum hand pump • Pressure Test Gauge • Pressure Calibrator	**کمیت دما:** کالیبراسیون انواع حسگر، دماسنج و ترنسمیتر مرجع و صنعتی ترموکوپلی و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون، با توانایی پشتیبانی پروتکل حسگرهای هوشمند، کالیبراسیون انواع حسگر، دماسنج و ترنسمیتر مرجع و صنعتی مقاومت پلاتینی و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون، با توانایی پشتیبانی پروتکل حسگرهای هوشمند، بررسی میانی دماسنج‌های مقاومت پلاتینی، کالیبراسیون انواع حسگر، دماسنج و ترنسمیتر مرجع و صنعتی ترمیستوری و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون ، کالیبراسیون انواع دماسنج عقربه‌ای شامل دوفلزی (Bi-metallic) و انواع سیستم پرشده (Filled system)و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون، کالیبراسیون انواع دماسنج مایع در شیشه مرجع، معمولی، صنعتی، طبی و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون،

ردیف	نام آزمایشگاه	امکانات و تجهیزات تحقیقاتی	دامنه فعالیت آزمایشگاه
		• Pressure Module • Liquid to Liquid Separator • Portable Humidity-Temperature Meter. • Data Logger	**کمیت فشار:** کالیبراسیون انواع گیج‌های فشار، اختلاف فشار، خلاء ویا ترکیبی عقربه‌ای یا الکتریکی (گیج ویا مطلق) مرجع و صنعتی و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون (در محل آزمایشگاه) و انواع صنعتی همراه با ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون (در سایت مشتری) (در گستره ۱- تا ۷۰۰ بار)، کالیبراسیون انواع ترنسمیتر و ترنسدیوسر فشار، اختلاف فشار، خلاء ویا ترکیبی (گیج ویا مطلق) و ارایه معادله و نمودار کالیبراسیون، با توانایی پشتیبانی پروتکل حسگرهای هوشمند

۲-۷-٤- از منظر سازمانی

به منظور بررسی قابلیت‌های پژوهشگاه نیرو از منظر سازمان‌افزار، توجه به قابلیت پژوهشگاه در میزان حمایت از تجاری‌سازی اعم از سیاست‌ها و قوانین حاکم بر پژوهشگاه، اختیارات دفتر تجاری‌سازی، ساختارهای انگیزشی و پاداش، ارتباطات و فعالیت‌های شبکه‌سازی و ریسک‌پذیری و توانایی مدیریت تغییرات الزامی می‌باشد.

۲-۷-٤-۱- اختیارات و فعالیت‌های دفتر تجاری‌سازی

دفتر تجاری سازی و اکتساب فناوری پژوهشگاه نیرو هم سو با برنامه‌های توسعه ملی و اقتصاد مقاومتی در جهت اهداف نهایی انجام تحقیقات کاربردی برای کمک به رفع مشکلات و تنگناها وارتقاء فناوری در صنعت، کاهش یا قطع وابستگی‌ها، توسعه کسب و کارهای فناورانه، تامین نیازهای داخلی صنعت، کمک به اقتصاد مقاومتی (با تاکید بر ۵ محور - عدالت بنیانی (همه مردم)،- دانش بنیانی (مبتنی بردانش)،- مردمی بودن (استفاده از امکانات بخش خصوصی)،- درونزا (استفاده از ظرفیت های داخل کشور)،- برونگرا (با نگاه به صادرات و اکتساب فناوری)، بومی سازی فناوری، بالا بردن سطح تولیدات داخلی، کمک به رشد اقتصاد ملی و توسعه نظام اشتغال کشور، توسعه صادرات و نهایتا تبدیل زنجیره ایده تا صادرات فعال می‌باشد. لذا در راستای این اهداف سه محور اصلی در این دفتر تعریف شده است که عبارتند از[۷۱]:

- تجاری سازی نتایج تحقیقات
- اکتساب و بومی سازی فناوری
- مالکیت فکری (مادی و معنوی)

دفتر تجاری‌سازی نتایج تحقیقات

با توجه به اینکه پژوهشگاه نیرو تاکنون تعداد زیادی از پروژه‌های تحقیقاتی را بر اساس نیازهای این صنعت به انجام رسانده است؛ دفتر تجاری‌سازی نتایج تحقیقات پژوهشگاه نیرو براساس تکالیف و مسئولیتهای خود، کار واگذاری دانش فنی تولید صنعتی نمونه‌های تحقیقاتی به بخش صنعت را از سال ۱۳۷۸ در پژوهشگاه نیرو آغاز نموده‌است. در ذیل به برخی از اهم اقدامات صورت گرفته در این خصوص اشاره می‌گردد:

- واگذاری امتیاز دانش فنی نمونه تحقیقاتی برای تولید صنعتی: در راستای تحقق اهداف توسعه اقتصادی، بالا بردن سطح تولیدات داخلی، کمک به رشد اقتصاد ملی، همچنین بهره‌برداری از نتایج طرح‌های پژوهشی، تعدادی از پروژه‌های تحقیقاتی که در پژوهشگاه نیرو به ساخت نمونه محصول منجر شده‌اند با همکاری بخش خصوصی به تولید صنعتی رسیده و خط تولید آنها راه‌اندازی شده است. از جمله این طرح‌ها که در گروه سازه به ساخت نمونه محصول منجر شده اند می‌توان به "ساخت دکل‌های موقت برای خطوط انتقال نیرو" اشاره نمود.
- محصولاتی که در مرحله انتقال دانش فنی قرار دارند.
- مشارکت در تحقیقات و واگذاری امتیاز دانش فنی تولید همزمان: در راستای توسعه فناوری‌های موردنیاز صنعت برق و انرژی و به‌منظور افزایش سهم و مشارکت بخش خصوصی در تحقیقات متناسب با نیاز این صنعت و واگذاری امتیاز دانش فنی به‌صورت همزمان، انجام تعدادی از پروژه‌های تحقیقاتی که منجر به ساخت نمونه محصول می‌شوند با مشارکت و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی فعال شده و امتیاز دانش فنی تولید صنعتی آنها همزمان با انجام مراحل تحقیقاتی در دو سال گذشته واگذار شده‌اند. از جمله فعالیت‌های تحقیقات کاربردی که متناسب با نیاز صنعت در حوزه سازه‌های صنعت برق انجام شده است می‌توان به "طراحی، ساخت و آزمون دکل HST 400Kv مشبکک تک مداره آویزی خطوط انتقال نیرو با پروفیل‌های سرد نورد شده(Cold Formed)" اشاره نمود که بخش تحقیقاتی خاتمه یافته و در مرحله راه‌اندازی خط تولید می‌باشد.
- محصولات آماده واگذاری امتیاز دانش فنی برای تولید صنعتی: پژوهشگاه نیرو به‌منظور تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و با هدف رشد و پیشرفت اقتصادی، کاهش وابستگی و جلوگیری از خروج غیرضروری ارز و استفاده از نتایج تحقیقات در امر توسعه صنعت برق، دانش فنی تعدادی از پروژه‌های تحقیقاتی خاتمه‌یافته خود را که به ساخت یک نمونه محصول منجر شده‌اند، برای واگذاری به منظور تولید صنعتی به صنایع مرتبط واگذار می‌نماید.

دفتر اکتساب و بومی‌سازی فناوری

نقش پژوهشگاه نیرو در فرایند اکتساب فناوری مدیریت طرح بوده و در حقیقت ارتباط معنا دار بین صاحب فناوری و محل جذب توسط این پژوهشگاه برقرار می‌شود. اهم فعالیت‌های پیش‌بینی شده برای پژوهشگاه نیرو در قالب مدیریت طرح عبارتند از: خدمات تدوین روش انتقال فناوری، شناسایی طرح ها و تعیین اولویت اجرای آن ها، اخذ تایید سرمایه گذاری از مراجع ذی ربط و حصول اطمینان از تامین اعتبارات مورد نیاز، خدمات برنامه ریزی و کنترل طرح، خدمات ارجاع کار، خدمات هماهنگی و مدیریت اجرای قراردادها، خدمات برآورد، کنترل پرداخت ها، امور حقوقی و قراردادها، تدوین و تصویب مشخصات، برآوردها و برنامه ریزی های اولیه، خدمات

تجاری سازی نتایج تحقیقات، خدمات جذب سرمایه گذاری داخلی و خارجی، خدمات صادرات و تعاملات بین المللی، خدمات مالکیت فکری، خدمات جلب مشارکت و حمایت بخش دولتی و خصوصی ، تهیه و ارائه لیست مشاوران انتقال فناوری، صاحبان فناوری و متقاضیان فناوری برای درج در Vendor List مربوطه(داخلی و خارجی) می‌باشد.

دفتر مالکیت فکری(مادی-معنوی)

پژوهشگاه نیرو از سال‌های پیش در راستای اهداف تجاری سازی و حفظ حقوق پژوهشگران و عملیاتی نمودن موضوع ثبت اختراع اقدام به امکان سنجی و انجام مراحل ثبت اختراع (در داخل کشور) نمود. برخی از اهم فعالیت‌های مرتبط این دفتر عبارتند از تدوین چارچوب‌ها و مقررات بر اساس اسناد بالادستی، اخذ تاییدیه‌های سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی برای پروژه‌های تحقیقاتی پژوهشگاه نیرو، ارائه مشاوره در زمینه امور مربوط به دارایی‌های فکری، ثبت اختراع (محصول، نرم افزار) دستاوردهای تحقیقاتی پژوهشگاه (داخلی، خارجی)، ارائه پیشنهادات تشویقی و حمایت از مخترعین، برگزاری سمینارها، هم‌اندیشی‌ها و دوره‌های آموزشی در خصوص مبحث مالکیت فکری وچالشهای مرتبط، انجام امور مربوط به داوری و کارشناسی پرونده‌های ثبت اختراع ارجاع شده از طرف اداره ثبت اختراع به پژوهشگاه نیرو، تهیه گزارشات و پیشنهادات مربوط به حوزه مالکیت فکری و ارائه راهکارهای پیشنهادی به مقامات کشوری بر اساس برنامه‌های توسعه کشور، تهیه و تصویب آیین نامه‌ها و مقررات داخلی پژوهشگاه در حوزه مالکیت فکری و ارائه پیشنهادات درخصوص بهبود و ارتقاء نقش مالکیت فکری در اجرای سیاستهای اقتصاد مقاومتی اشاره نمود.

همچنین فعالیت‌های پیش‌بینی شده این دفتر برای بهره‌برداری عملی از اختراعات ثبت شده عبارتند از بررسی امکان ورود اختراعات به بازار دارایی فکری، بررسی قابلیت تجاری‌سازی گواهینامه‌های ثبت اختراع، راه اندازی کسب و کارهای فناوری براساس اختراعات ثبت شده و راه اندازی واحدهای R&D در شرکتهای عضور سندیکای برق براساس اختراعات ثبت شده می‌باشد.

از جمله فعالیت‌های انجام شده دفتر مالکیت معنوی در حوزه سازه صنعت برق می‌توان به دریافت گواهینامه ثبت اختراع "دکل موقت انتقال نیرو ۴۰۰ کیلوولت طرح تک پایه ۴۵ درجه- اداره ثبت اختراع- سال ۱۳۹۳" و گواهینامه تاییدیه طرح از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران و جشنواره خوارزمی با عنوان " دکل‌های اضطراری خطوط انتقال- سازمان پژوهش‌های علمی-صنعتی ایران- ۸۵" اشاره نمود.

۲-۷-٤-۲- سیاست‌ها و قوانین حاکم بر پژوهشگاه

به منظور بررسی سیاست‌های حاکم بر پژوهشگاه نیرو در زمینه تجاری‌سازی میتوان به دستورالعمل‌ها و نظام‌نامه‌های زیر اشاره نمود:

رویه و راهنمای تجاری‌سازی نتایج تحقیقات شرکت‌های برق

این سند به عنوان راهنمای داخلی فرآیند تجاری‌سازی نتایج تحقیقات شرکت‌های برق به منظور شفاف‌سازی خط مشی و رویکرد مورد انتظار از واحدهای پژوهشگاه نیرو که مسئولیت اجرای فرآیند را به عهده دارند و با هدف تبیین وظایف و مسئولیت‌های هر واحد تهیه شده‌است. دامنه کاربرد این سند، تجاری‌سازی محصولاتی است که از

سوی شرکت برق به پژوهشگاه نیرو معرفی و به مراکز توسعه فناوری تخصیص یافته است[۷۲]. مطابق این آنچه در این سند تبیین شده است، سیاست پژوهشگاه نیرو برای دست‌یابی به این هدف فوق، بکارگیری حداکثر تلاش واحدهای زیر مجموعه در ارائه مشاوره علمی-فنی-تجاری و ارائه راهنمایی‌های لازم به منظور بهره‌گیری از حداکثر امکانات و تسهیلات ممکن و موجود در کشور برای بهره‌برداری تجاری از محصول(شکل‌گیری کسب و کار فناورانه در پاسخ به نیاز بازار و ساخت و تولید محصول) یا کاربرد غیر تجاری آن (به عنوان پایه‌ای برای تحقیقات تکمیلی، پژوهش‌های جدید یا ادغام در سایر محصولات) می‌باشد[۷۲].

روش اجرایی تجاری‌سازی نتایج پروژه‌های تحقیقاتی شرکت‌های برق

این دستورالعمل در اجرای ابلاغیه وزیر محترم نیرو به شماره ۹۴/۱۰۴۴۲/۵۰/۱۰۰ به تاریخ ۱۳۹۴/۰۱/۱۶ با موضوع "نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو" و با هدف استفاده از ظرفیت‌های موجود در شرکت‌ها و نهادهای تابع وزارت نیرو به منظور کاربردی کردن نتایج تحقیقات شرکت‌های برق از طریق اعطای "امتیاز بهره‌برداری از دانش فنی" پروژه‌های تحقیقاتی خاتمه یافته به کارفرمایی ایشان با تاکید بر دستیابی به نتایج زیر است که روش‌های اجرای آن در این دستورالعمل تشریح شده است[۷۳]:

- تکمیل چرخه تحقیقات از ایده تا بازار در شرکت‌های برق و جهت‌دهی و اولویت‌بندی تحقیقات به سوی کاربردی شدن و توجه به نیازهای کشور
- حفاظت از حقوق مالکیت فکری(مادی و معنوی) شرکت‌های برق و محققان همکار ایشان، امکان برخورداری از منافع مادی و معنوی نتایج تحقیقات توسط شرکت‌های برق و محققان و ایجاد انگیزه برای پژوهشگاران همکار در پروژه‌های تحقیقاتی شرکت‌های برق
- برخورداری صنعت از محصولات نوآورانه و فناورانه
- پوشش ریسک فرآیند تجاری‌سازی و ایجاد مدل مالی به منظور عدم تحمیل هزینه‌های اضافه به شرکت‌های برق
- حمایت از اشتغال و تولید ملی و حصول اطمینان از انتقال اثربخش فناوری و ایجاد توانمندی توسعه در شرکت‌های سازنده ایرانی
- در این سند برای پژوهشگاه نیرو به عنوان مجری فرآیند تجاری‌سازی وظایفی در نظر گرفته شده است. این وظایف تبیین شده عبارتند از:
- تهیه پیش‌نویس توافق‌نامه در صورت اعلام کتبی شرکت برق مبنی بر تمایل به تجاری‌سازی بر اساس فرآیند
- همکاری با شرکت برق در انتخاب محصولات
- تسهیل ثبت حقوق مالکیت فکری محصولات برگزیده در صورت درخواست شرکت برق
- ارزش‌گذاری دانش فنی و تهیه بسته تجاری‌سازی
- شناسایی سازندگان بالقوه و طراحی اسناد لازم به منظور ارزیابی ایشان پس از دریافت فرم اعلام نیاز به محصول
- استعلام از شرکت برق در خصوص شرایط اختصاصی قرارداد لیسانس

- استعلام از شرکت برق در خصوص شرایط اختصاصی قرارداد محقق با پژوهشگاه
- انعقاد قرارداد با محقق
- ارزیابی و انتخاب و انعقاد قرارداد با سازنده
- استفاده از خدمات بسته حمایتی در صورت لزوم به حمایت از سازنده
- نظارت بر عملکرد محقق بر اساس قرارداد پشتیبانی
- نظارت بر روند راه‌اندازی خط تولید و اخذ مجوزهای لازم توسط سازنده بر اساس قرارداد لیسانس
- صدور مجوز بهره‌برداری تجاری از محصول بعد از ارائه تاییدیه‌های کیفی محصول توسط سازنده
- نظارت بر روند تولید و فروش محصول توسط سازنده در طول قرارداد لیسانس
- پیگیری دریافت عواید حاصل از فروش و تسهیم آن در صورت پرداخت سازنده مطابق توافق‌نامه

نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو

این نظام‌نامه به منظور ایجاد هماهنگی‌های لازم در امور پژوهش و فناوری وزارت نیرو و با اهدافی همچون تجهیز صنعت آب و برق به فناوری‌های برتر و پیشرفته، توسعه همکاری‌های همه‌جانبه با نهادهای علمی، فنی و صنعتی کشور و جهان، تقویت رویکرد یادگیری فناوری، توسعه درون‌زا و ارتقای توان فناوری داخلی صنعت آب و برق، حمایت از مخترعان، مبتکران و نوآوران و غیره تدوین شده‌است[۷۴]. مطابق این نظام‌نامه سطوح مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو در چهار سطح تبیین شده‌است که پژوهشگاه نیرو بعنوان یکی از مراکز پژوهشی این وزارتخانه در سطوح حاکمیتی و سیاستگذاری کلان، مدیریت پژوهش و اجرای پژوهش و فناوری ایفای نقش می‌نماید. از جمله وظایفی که بر اساس این نظام‌نامه به مجریان پروژه‌های پژوهش و فناوری (سطح ۱) از جمله پژوهشگاه نیرو محول شده است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود[۷۴]:

- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان و با ریسک بالای صنعت آب و برق
- اکتساب فناوری‌های نوین در زمینه صنعت آب و برق
- تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و به‌کارگیری در صنعت آب و برق
- طراحی و توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز جهت ایجاد مراکز و شرکت‌های نوآور در حوزه صنعت آب و برق
- ایجاد و توسعه شبکه فناوری میان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و قطب‌های علمی-پژوهشی داخل و خارج کشور در حوزه صنعت آب و برق

۲-۷-٤-۳- ساختارهای انگیزشی و پاداش پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو با هدف جهت‌دهی امکانات و توانمندی‌های موجود در کشور به سوی برطرف شدن مشکلات و اقتضائات توسعه و پیشرفت کشور و رفع نیازهای واقعی شرکت‌های فعّال در تولید و ارائه‌ی محصولات و خدمات دانش‌بنیان و نوآورانه در صنعت برق و انرژی، و حمایت هوشمندانه و هدفدار از نوآوری‌های متناسب با اولویت‌ها و مزیت‌های نسبی کشور، مجموعه‌ای از اقدامات حمایتی را «از فاز ایده‌پردازی و مسأله‌یابی گرفته تا فاز آزمون ایده

و تحقیق و توسعه‌ی محصولات، و سپس تولید صنعتی و تجاری‌سازی محصول در بازارهای داخلی و صادرات» در نظر گرفته است.

جداول ذیل شرحی از اقدامات حمایتی، اهداف و نحوه حمایت پژوهشگاه نیرو از تمامی محصولات و خدمات دانش‌بنیان و نوآورانه صنعت برق شامل فناوری‌های حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نشان می‌دهد[۷۵].

جدول ۲۴-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه مسئله‌یابی و توسعه ایده محصولات و خدمات دانش‌بنیان و نوآورانه در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق[۷۵]

اقدامات حمایتی در حوزه مسئله یابی و توسعه ایده			
ردیف	اقدام حمایتی	هدف	نحوه حمایت پژوهشگاه نیرو
۱	آیین‌نامه ترویج و آموزش	ارتقای توانمندی‌های علمی پژوهشگران حمایت از فعالیت‌های ترویجی، آموزشی و اثر بخشی کارگاه‌های علمی-تخصصی تقویت ارتباط دفتر تجاری‌سازی و اکتساب فناوری با موسسات، مراکز پژوهشی و آموزشی	ایجاد امکان استفاده رایگان از کارگاه‌های آموزشی ارائه شده توسط پژوهشگاه و یا سازمان‌های مورد توافق پوشش حداکثر ۵۰٪ هزینه کارگاه‌های آموزشی اختصاصی حوزه تحقیق و توسعه، تجاری‌سازی و مالکیت فکری درخواست شده
۲	آیین‌نامه آگاه-سازی تغییرات فناوری و بازار	آگاه‌سازی شرکت‌ها و کمک به بهبود استراتژی‌های تحقیقاتی و تجاری آن‌ها از طریق ارائه تسهیلاتی برای عرضه‌کنندگان و متقاضیان گزارش مرتبط با پایش و پژوهش روند توسعه‌ی فنوری‌ها در جهان و شناسایی فرصت‌ها، محصولات و رقبای جدید و ارزیابی و تحلیل بازار صنعت برق و انرژی	انجام و اعلام نتیجه برای عموم گزارش‌های رصد در سطح صنعت-که مجموعه‌ای از محصولات یا فن‌آوری‌ها را در بر می‌گیرد- با درخواست شرکت متقاضی و تصویب کمیسیون اجرای گزارش‌های اختصاصی رصد فن‌آوری مورد نیاز متقاضی طبق الگوی «تحقیقات مشترک» پژوهشگاه
۳	آیین‌نامه تامین پژوهشگر	به کارگیری فارغ‌التحصیلان دانشگاهی، متخصصان و پژوهشگران در فعالیت‌های تحقیقاتی شرکت و پروژه‌های کم ریسک از قبیل بهینه‌سازی و بهبود، شناسایی فرصت‌ها و موضوعات نوآورانه(تخصیص پژوهشگر و تامین بخشی از هزینه‌های ایشان)	تامین پژوهشگر بر اساس پیشنهاد متقاضی و ارزیابی پروژه تامین پژوهشگر توسط پژوهشگاه

جدول ۲۵-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه تحقیق و توسعه محصولات و خدمات دانش‌بنیان و نوآورانه در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق[۷۵]

اقدامات حمایتی در حوزه تحقیق و توسعه			
ردیف	اقدام حمایتی	هدف	نحوه حمایت پژوهشگاه نیرو
۱	آیین‌نامه خدمات آزمایشگاهی	پیش‌برد و گسترش تحقیق و پژوهش بر مبنای توان داخلی کاهش هزینه‌های آزمایشگاهی بخش صنعت	انجام خدمات آزمایشگاهی کم هزینه برای پروژه‌های تحقیق و توسعه از طریق ارائه تسهیلات از محل اعتبارات تا سقف ۴۰٪ از هزینه‌های مرتبط با خدمات آزمایشگاهی

		تسهیل دسترسی بخش صنعت به آزمایشگاه‌های مرجع و ارائه آزمایشگاه‌های آزاد	سرمایه‌گذاری در تجهیز و توسعه آزمایشگاه‌های مرجع مشترک مطابق آیین‌نامه‌های «تامین مالی» و یا «مشارکت در تحقیقات»
۲	آیین‌نامه حمایت از تحقیقات، همکاری پژوهشی مشترک با بخش خصوصی	حمایت از واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های بخش خصوصی از طریق همکاری مشترک پژوهشگاه در تحقیقات تحقق اهداف اقتصاد مقاومتی توسعه فضای کسب و کار در حوزه برق و انرژی جلب مشارکت و افزایش نقش بخش خصوصی در انجام تحقیقات و توسعه	پوشش تا ۵۰٪ هزینه مستقیم عملیاتی بدون بالاسری پروژه‌هایی که: دارای توجیه فنی و اقتصادی و قابلیت برگشت سرمایه باشند. و یا پروژه‌هایی که دلایل فنی و اقتصادی که منجر به تمایز پروژه نسبت به نمونه‌های مشابه داخلی موجود و یا در دست توسعه باشد.
۳	آیین‌نامه حمایت از تحقیقات، پوشش ریسک تحقیقات	حمایت از تحقیق و توسعه محصولات دانش‌بنیان و فن‌آورانه از طریق پوشش ریسک در قالب پروژه‌های پرریسک و نوآورانه	ارزیابی پروژه(به منظور تحلیل ریسک) و تیم تحقیقاتی معرفی شده(واحد R&D و یا پیمانکار شرکت) و متناسب با نتیجه پروژه: در صورتی که نتیجه مطلوب باشد مبلغی به عنوان کاربهای پوشش ریسک به پژوهشگاه پرداخت می‌شود. در صورتی که نتیجه مطلوب نباشد، پژوهشگاه تا سقف ۵۰٪ هزینه‌های مستقیم تحقیقاتی را(در صورت احراز صحت اقدامات انجام گرفته و تایید ناظر) جبران می‌نماید و دانش فنی در اختیار پژوهشگاه قرار می‌گیرد و منافع بعدی متعلق به دو طرف خواهد بود.

جدول ۲۶-۲ : اقدامات حمایتی پژوهشگاه نیرو در زمینه تجاری‌سازی محصولات و خدمات دانش‌بنیان و نوآورانه در پایش سلامت سازه‌های صنعت برق[۷۵]

اقدامات حمایتی در حوزه تجاری‌سازی محصولات و خدمات دانش بنیان و فناورانه			
ردیف	اقدام حمایتی	هدف	نحوه حمایت پژوهشگاه نیرو
۱	آیین‌نامه استاندارد سازی	حضور بهتر محصولات و خدمات تحت حمایت در بازارهای داخلی و بن‌الکللی و صحه‌گذاری بر عملکرد و کارآیی آن-ها	تهیه، تدوین و تصویب استاندارد بنا به درخواست متقاضی مبنی بر عدم وجود استاندارد متناسب با محصول داخلی تولید شده تاییدیه محصولات نوآورانه در صورت پذیرش درخواست متقاضی برای تجاری‌سازی محصول فناورانه که دارای خط تولید صنعتی می‌باشد و مشارکت در تامین هزینه‌های مورد نیاز برای صدور گواهی کیفیت محصول تا سقف ۵۰٪

۲	آیین‌نامه تامین مالی	حمایت از محصولات دانش‌بنیان و فن‌آورانه از طریق ارائه تسهیلات در قالب سرمایه‌گذاری خطرپذیر، تامین سرمایه در گردش و سرمایه ثابت و ضمانت‌نامه	ارائه تسهیلات برای استقرار شرکت، ساخت و تولید محصول اعم از وام، کمک‌های مالی و اعتباری برای تامین سرمایه در گردش و ثابت سرمایه‌گذاری خطرپذیر در طرح‌های تجاری متقاضی و تصویب شده در کمیسیون و مشارکت در سود و زیان بر حسب میزان سرمایه‌گذاری ارائه ضمانت‌نامه برای طرح‌های تجاری متقاضی تصویب شده در کمیسیون پژوهشگاه نیرو
۳	آیین‌نامه بازارسازی	تحریک تقاضا و توسعه بازار و بازاریابی برای محصولات و خدمات دانش‌بنیان و فنآورانه از طریق ارائه تسهیلات و پوشش ریسک برای متقاضیان خرید محصولات و خدمات مورد نظر	ارائه تسهیلات پرداخت لیزینگ به خریداران محصولات فناورانه(این حمایت از طریق صندوق پژوهش و نوآوری صنعت برق و انرژی انجام می-شود) پوشش ریسک محصولات نوآورانه از طریق انعقاد قرارداد پوشش ریسک این محصولات دارای گواهینامه تضمین کیفیت، جهت تعهد به جبران خسارت متحمل ناشی از نصب و استفاده از این محصولات دانش‌بنیان برای خریدار فراهم‌سازی خرید یکپارچه‌ی محصولات نوآورانه شرکت‌های دانش‌بنیان به شرط تایید کیفیت توسط پژوهشگاه نیرو از طریق انعقاد قرارداد ساخت میزان معینی از محصولات و خدمات شرکت و تضمین خرید محصولات و خدمات توسط بهره‌برداران
۴	آیین‌نامه حمایت از صادرات	توسعه بازار صادراتی محصولات و خدمات دانش‌بنیان و فنآورانه	تامین تسهیلات توسط پژوهشگاه نیرو(بعنوان سرمایه‌گذار) تا سقف ۵۰٪ از هزینه‌های خدماتی زیر: مشاوره و ساماندهی تیم‌های بازاریابی صادراتی از طریق ارائه خدمات مشاوره‌ای و سازمانی به تیم-های بازاریابی صادراتی در زمینه قوانین تجارت، بازاریابی بین‌المللی و فرآیندهای صادرات محصولات دانش‌بنیان و فناورانه اخذ تاییدیه محصولات در بازارهای هدف اعم از ثبت پتنت، اخذ گواهینامه‌ها و تاییدیه‌های بین-المللی تسهیلات شرکت در نمایشگاه‌های بین‌المللی

۲-۷-٤-٤- ارتباطات و فعالیت‌های شبکه‌سازی

به منظور بررسی قابلیت‌های پژوهشگاه نیرو از منظر ارتباطات و شبکه سازی می‌توان به فعالیت‌های انجام گرفته توسط رؤسای پژوهشگاه (مدیر پیشین و فعلی)، رؤسای پژوهشکده‌های تولید، انتقال و توزیع اشاره نمود. از فعالیت‌های انجام شده در زمان ریاست پیشین پژوهشگاه نیرو می‌توان به تلاش زیاد برای بهبود سازوکارهای داخلی و همچنین بهبود ارتباطات پژوهشگاه با دانشگاه‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان اشاره نمود که تعدادی از این فعالیت‌های انجام شده به دلیل محدودیت در بودجه در نظر گرفته شده ناکام ماند. از سوی دیگر از دیدگاه بازیگرانی بیرونی (شرکت‌های مادر تخصصی و غیره)، بدلیل عدم آشنایی با تحولات انجام گرفته در پژوهشگاه نیرو و عدم اطمینان به پیشرفت‌های حاصل شده در این حوزه، همکاری‌های لازم برای پیاده‌سازی طرح‌ها و پروژه‌ها و ایده‌های مربوطه با روندی کند همراه بود. در همین راستا تلاش‌های گسترده‌ای نیز توسط رؤسای پژوهشکده‌ها به منظور شبکه‌سازی، اعتمادسازی و سرعت‌بخشی به روند همکاری‌های مابین پژوهشگاه نیرو و بازیگران دیگر انجام گرفت. با توجه به تلاش‌های انجام شده، در حوزه انتقال بهبود روابط و شبکه سازی مناسب حاصل شد و هم‌اکنون ارتباط خوبی فی‌مابین پژوهشگاه نیرو و توانیر در این حوزه وجود دارد و تکمیل اطلاعات شبکه متخصصین میسر بوده و تکمیل اطلاعات شبکه تولیدکنندگان نیازمند زمان بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به قابلیت‌های بالقوه در زمینه ارتقاء سطح ارتباطات و توسعه همکاری‌ها با بازیگران دیگر، تلاش‌ها برای شبکه‌سازی و ارتباطات بیشتر در حوزه‌های تولید و توزیع نیز با بازیگران بیرونی (به ترتیب با شرکت مادر تخصصی برق حرارتی و توانیر) ادامه دارد. لازم به ذکر است که فعالیت‌های شبکه‌سازی و ارتباطات اعم از ایجاد شبکه متخصصین در حوزه‌های مختلف، استفاده و تعامل اثر بخش با دانشگاه‌ها، مراکز آموزشی و پژوهشی و شرکت‌های فناور و دانش‌بنیان و فرآهم‌سازی زیرساخت‌های توسعه فناوری صنعت برق و انرژی و غیره در زمان مدیریت جدید پژوهشگاه نیرو نیز ادامه‌دارد. تلاش‌های زیادی نیز در سند پایش سلامت پایش سلامت سازه‌های برق برای ایجاد ارتباطات مستقیم با شرکت‌های مادر تخصصی، طراحی فرآیندها و سازوکارهای همکاری و اعتمادسازی، تدوین دستورالعمل‌های مربوطه و غیره انجام گرفت.

بخش‌های دیگر پژوهشگاه نیز (همچون معاونت توسعه منابع انسانی) با انجام فعالیت‌های موثری نظیر برنامه‌ریزی مناسب، در بهبود روابط و ارتباطات حوزه سند پایش سلامت سازه‌های برق موثر بودند. از سوی دیگر بدلیل پراکندگی و محدودیت فعالیت‌های انجام‌شده در بخش‌های مختلف پژوهشگاه نیرو در زمینه شبکه‌سازی، همچنان کمبود اطلاعات جامع از متخصصین و صاحبنظران در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق محسوس بوده و جمع‌آوری و تکمیل اطلاعات مربوطه الزامی می‌باشد.

۲-۷-٤-٥- دسترسی به منابع مالی

در بررسی توانمندی‌های پژوهشگاه نیرو از منظر دسترسی به منابع مالی، می‌توان به منابع مالی مورد نیاز برای فعالیت‌های مدیریتی و منابع مورد نیاز برای اجرا و اقدامات مرتبط با پیاده‌سازی سند در سال ۱۳۹۹ و سال ۱۴۰۰ اشاره نمود. منابع مالی مورد نیاز برای فعالیت‌های اجرا و پیاده‌سازی اقدامات سند (مبلغ مصوب ۸ میلیارد تومان در سال ۱۳۹۹ در حوزه انتقال و مبلغ برآورد شده ۱۰ میلیارد تومان در سال ۱۴۰۰در حوزه تولید، انتقال و توزیع) توسط شرکت‌های مادر تخصصی تامین می‌گردد و بخشی از منابع مالی نیز برای تامین قراردادهای امانی

توسط پژوهشگاه تامین می‌شود (در حدود ۱ میلیارد تومان). لازم به ذکر است که مشارکت پژوهشگاه در زمینه تامین مالی پروژه‌ها با دو شرط اتفاق می‌افتد:

- در صورت حضور مشارکت‌کننده خصوصی و تامین بخشی از هزینه‌های پروژه توسط ایشان که پژوهشگاه نیز بخش دیگری از هزینه‌ها را در قالب قرارداد امانی متقبل می‌گردد.
- در صورت حضور مشارکت‌کننده خصوصی و تامین همه هزینه‌ها توسط ایشان که پژوهشگاه نیز ریسک تامین بازار برای محصولات مورد تایید را تقبل می‌نماید.

با توجه به شرایط اقتصادی کشور در سال‌های اخیر و مشکلات موجود بر سر راه شرکت‌ها و موسسات بخش خصوصی فعال در حوزه سازه‌های صنعت برق، میزان مشارکت این فعالان در زمینه تحقیقات و توسعه، کسب دانش فنی و تجاری‌سازی محصولات مربوطه بسیار کم می‌باشد. لذا فعلا بهره‌گیری از منابع مالی بخش خصوصی بسیار ناچیز بوده و بیشتر بودجه مورد نیاز توسط شرکت‌های مادر تخصصی تامین می‌گردد. در سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نیز تاکنون تامین منابع مالی مورد نیاز سند از سوی شرکت‌های خصوصی پیش‌بینی نشده و در صورت تمایل به همکاری فی‌مابین، این امر امکان‌پذیر می‌باشد. جدول ۲۷-۲ خلاصه ای از بودجه مورد نیاز برای تامین هزینه‌های مدیریتی و پیاده‌سازی سند را در دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ نشان می‌دهد.

جدول ۲۷-۲ : خلاصه ای از بودجه مورد نیاز برای تامین هزینه‌های مدیریتی و پیاده‌سازی سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

محل مصرف		برآورد سالیانه اعتبارات		توضیحات
		۱۳۹۹	۱۴۰۰	
بودجه بخش مدیریتی سند	میلیون تومان	۲۰۰ الی ۲۵۰	۲۵۰ الی ۳۰۰	• بودجه برآورد شده برای اجرا و پیاده‌سازی اقدامات سند در سال ۱۳۹۹ به رقم ۸ میلیارد تومان برای فعالیت‌های توسعه‌ای در حوزه انتقال، مصوب است. • بودجه برآورد شده برای اجرا و پیاده‌سازی اقدامات سند در سال ۱۴۰۰، به منظور فعالیت‌های توسعه‌ای در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع بوده و هنوز به تصویب نرسیده‌است.
بودجه اجرا و پیاده-سازی سند		۸۰۰۰	۱۰۰۰۰	

۲-۸-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در بخش اول این گزارش، ابعاد مورد نظر در خصوص نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس آن، نگاشت موضوع ترسیم و ارائه گردید. سپس در بخش بعد، حوزه و روند تحولات قابل انتظار مرتبط با موضوعات مورد نظر در آینده، بررسی و ارائه شدند.

چکیده و خلاصه‌ای از نتایج مهم مورد بررسی در این گزارش به شرح ذیل می‌باشد:

۱. اجزا و حوزه‌های مختلف مرتبط با نگهداری سازه‌ها به شرح زیر بوده که در این گزارش بطور مختصر معرفی و بصورت نگاشت، ترسیم و ارائه شدند:
   - پایش سلامت سازه‌ها (شامل زیرحوزه‌های شناسایی و ارزیابی وضعیت، تشخیص و آشکارسازی آسیب‌ها، پیش‌بینی آسیب‌ها)
   - ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌ها در برابر بارهای وارده و مخاطرات محیطی
   - ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب و افزایش عمر سازه‌ها (مانند تعمیر، بهسازی، مقاومسازی و ...)
۲. رویکردهای مختلف عملیاتی پایش سلامت سازه‌ها و فناوری‌های مربوطه در سه دسته کلی به شرح زیر معرفی و بصورت نگاشت، ترسیم و ارائه شدند:
   - بازدید و بازرسی بصری (VI) از دیدگاه فناوری‌های مختلف آن.
   - تستهای غیرمخرب (NDT) از دیدگاه روش‌ها و فناوری‌های مختلف آن.
   - پایش سلامت (SHM) از دیدگاه فرآیند اجرایی، دانش فنی و تجهیزات مورد نیاز.
۳. انواع سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) تعیین و بصورت نگاشت، ترسیم و ارائه شدند.
۴. تحولات محتمل در آینده که در نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها تأثیرگذار هستند، در حوزه‌های زیر مورد بررسی قرار گرفتند:
   - وضعیت آینده نگهداری سازه‌ها بطور کلی و در صنعت برق از دیدگاه افزایش رشد تقاضا در آینده صنعت.
   - حوزه‌های تحول در فناوری‌های اندازه‌گیری (سنسورها) و ابزارهای بازرسی.
   - حوزه‌های تحول در فناوری اطلاعات و ارتباطات و محاسبات.
   - حوزه‌های تحول در دانش فنی و الگوریتم‌های پایش سلامت و تشخیص آسیب.
   - حوزه‌های تحول در زمینه هوشمندسازی سازه‌ها.
۵. به منظور ایجاد توانایی مدیریت توسعه فناوری، مطالعاتی در زمینه بازار فعلی و روند توسعه بازار در آینده، حجم بازار، بازیگران اصلی، مشتریان فناوری و گرایش‌ها و وقایع محیطی تاثیرگذار بر بازار فناوری مورد بررسی قرار گرفتند.
۶. به منظور اکتساب و توسعه فناوری و تجاری‌سازی فناوری‌های دارای اولویت، قابلیت‌های پژوهشگاه از منظر دانش، انسان‌افزار، سخت افزار و سازمان‌افزار و مالی در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۹-منابع و مراجع فصل دوم

[۱]. "روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق-راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم"، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲

[2]. B. Glisic and D. Inaudi. (2007), Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, John Wiley & Sons, Ltd.

[3]. Douglas E. Adams. (2007), Health Monitoring Of Structural Materials and Components Methods with Applications, John Wiley & Sons, Ltd.

[4]. D. Balageas, C.P. Fritzen and A. Güemes (2006), Structural Health Monitoring, ISTE Ltd.

[5]. C.R. Farrar, K. Worden (2013), Structral Health Monitoring A Machine Learning Perspective, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

[6]. S. Beskhyroun, T. Oshimay and S. Mikamiy (2009), Wavelet-based technique for structural damage detection, Structural Control and Health Monitoring, copyright property of the Supergen Wind Energy Published Online: 29 Jan 2009.

[7]. K. Worden and J. Dulieu-Barton, (2004), An overview of intelligent fault detection in systems and structures, Structural Health Monitoring, 3(1), 85-98.

[8]. S.W. Doebling, C.L. Farrar and M.B. Prime, (1998), A summery review of vibration-based damage identification methods, Shock and Vibration Digest, 30(2), 91-105.

[9]. R. Perera, and R. Torres, (2006), Structural damage detection via modal data with genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 132(9), 1491–1501.

[10]. A.M. Raich, and T.R. Liszkai, (2007), Improving the performance of structural damage detection methods using advanced genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 133(3), 449–461.

[11]. Mitchell, J.S. (2007), From vibration measurements to condition based maintenance seventy years of continuous progress. Journal of Sound and Vibration, 41(1), 62–75.

[12]. Staszewski, W., Worden, K., Wardle, R. and Tomlinson, G. (2000), Fail-safe sensor distributions for impact detection in composite materials. Smart Materials and Structures, (3), 298.

[13]. Worden, K. and Burrows, A. (2001) Optimal sensor placement for fault detection. Engineering Structures, 23(8), 885–901.

[14]. M. Karbhari, F. Ansari (2009), Structral Health Monitoring of Civil Infrastructure Systems, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

[15]. L.A. Bisby (2004), An Introduction to Structural Health Monitoring, ISIS Canada, Education Module No 5.

[16]. Global Optoelectronics Industry Market Report and Forecast: Optoelectronics Industry Development Association (OIDA), 2009.

[17]. Shan-Tung Tu, (2009), Life prediction and monitoring of critical industrial equipment, Transferability and Applicability of Current Mechanics Approaches, 13-22.

[18]. Hong-Nan, Ting-Hua, Liang Ren, Dong-Sheng, and Lin-Sheng Huo, (2014), Reviews on innovations and applications in structural health monitoring

for infrastructures. Structural Monitoring and Maintenance, Vol. 1, No. 1 (2014) 001-045.

[19]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, JW Hines & BR Upadhyaya (2012), Prognostics and Health Management in Nuclear Power Plants: A Review of Technologies and Applications, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352

[20]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., US-China Joint Task Force on Integrated Structural Health Monitoring, (2005).

[21]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., Lynch, J., Sensor Technology Innovation for the Advancement of Structural Health Monitoring: a Strategic Program of US-China Research for the Next Decade, Smart Structures and Systems, Vol. 3, No. 2 (2007), 221-244.

[22]. The European Construction Technology Platform, Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe, The reFINE Roadmap, (2013).

[23]. Neylon, S., Richardson, A., & Van Heeren, H., Expert Workshops in Microsystems for Structural Health Monitoring: NEXUS Report (2008).

[24]. Swartz, R., Zimmerman, A., & Lynch, J., STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM WITH THE LATEST INFORMATION TECHNOLOGIES: Proceedings of 5th Infrastructure & Environmental Management Symposium, Yamaguchi, Japan, (2007).

[25]. Inaudi, D., State of the Art in Fiber Optic SensingTechnology and EU Structural Health Monitoring Projects: Presented at the First International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructures, (2003).

[26]. Miamoto, A., IT-Based Bridge Health Monitoring, The 23rd International Thechnical Conference on Circuit/Systems, Computers and Comunication (ITC-CSCC 2008).

[۲۷]. علی معظمی، "بتن هوشمند"، نشریه عمران، مقاوم‌سازی و بهسازی شماره ۱۶

[28]. fib-bulletin 22, 2003, Monitiriing and safety evaluation of existing structure, CEBFIP.

[29]. ISIS Canada, Guidlines for structural Health Monitoring, Design Manual no.2, 2001.

[30]. Ettouney, M.M. and Alampalli, S., 2011. Infrastructure health in civil engineering: Theory and components, Vol. 1.

[۳۱]. مجموعه گزارش‌های پروژه " تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در کشور "، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶

[۳۲]. مجموعه گزارش‌های پروژه " تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در کشور "، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶

[۳۳]. مجموعه گزارش‌های پروژه "تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های نوین بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌ها"، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۴

[۳۴]. رئیسی، محمدتقی، اقتدارپور، نوید و توکلی، مهدی، (۱۳۹۶)، "بازرسی خطوط انتقال با استفاده از سیستم‌های عمود پرواز (مطالعه موردی شرکت برق منطقه‌ای فارس)"، سی و دومین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، پژوهشگاه نیرو، مقاله F-17-PTL-1997

[35]. Zhao, F., Ma, Y., & Sun, Y. (2017). Application and standardization trend of maintenance and inspection robot (MIR) in nuclear power station. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, (ismii).

[۳۶]. رازینی, صالح؛ سید مسعود مقدس تفرشی و سید محمد تقی بطحایی، ۱۳۹۰، "سناریونگاری با هدف آینده‌پژوهی در صنعت تولید برق ایران"، هشتمین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، https://www.civilica.com/Paper-NEC08-NEC08_028.html

[۳۷]. ۱۳۹۰، "آینده‌پژوهی و صنعت برق ایران"، هشتمین همایش ملی انرژی، تهران، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، https://www.civilica.com/Paper-NEC08-NEC08_037.html

[38]. Pieraccini, M. (2013). Monitoring of civil infrastructures by interferometric radar: A review. The Scientific World Journal, 2013.

[39]. www.idscorporation.com

[40]. Pagnano, A., Höpf, M., & Teti, R. (2013). A roadmap for automated power line inspection. Maintenance and repair. Procedia Cirp, 12, 234-239.

[41]. Ghosn, M., Dueñas-Osorio, L., Frangopol, D. M., McAllister, T. P., Bocchini, P., Manuel, L., ... & Akiyama, M. (2016). Performance indicators for structural systems and infrastructure networks. Journal of Structural Engineering, 142(9), F4016003.

[42]. Pekelnicky, R., Engineers, S. D., Chris Poland, S. E., & Engineers, N. D. (2012). ASCE 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit Rehabilitation of Existing Buildings. Proceedings of the SEAOC.

[43]. Hamburger, R. O., Rojahn, C., Heintz, J., & Mahoney, M. (2012, September). FEMA P58: Next-generation building seismic performance assessment methodology. In 15th World Conference on Earthquake Engineering (Vol. 10, No. 10).

[44]. Yang, T. Y., Moehle, J., Stojadinovic, B., & Der Kiureghian, A. (2009). Seismic performance evaluation of facilities: methodology and implementation. Journal of Structural Engineering, 135(10), 1146-1154.

[45]. Frangopol, D. M., & Soliman, M. (2016). Life-cycle of structural systems: recent achievements and future directions. Structure and infrastructure engineering, 12(1), 1-20.

[46]. Enright, M. P., & Frangopol, D. M. (1998). Service-life prediction of deteriorating concrete bridges. Journal of Structural engineering, 124(3), 309-317.

[۴۷]. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، "راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی"، نشریه شماره ۵۲۴، ۱۳۸۹

[۴۸]. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، "راهنمای ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای سامانه برق رسانی"، نشریه شماره ۶۰۷، ۱۳۹۱

[۴۹]. شرکت توانیر، "دستورالعمل ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای شبکه‌های توزیع برق"، ۱۳۹۱

[۵۰]. کالوندی, سید محسن، ۱۳۸۷، کاربرد ذرات نانو در بهسازی و ترمیم سازه های بتنی، سومین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران، تبریز، مرکز ملی مقاوم سازی ایران، دانشگاه تبریز، https://www.civilica.com/Paper-INRC03-INRC03_191.html

[۵۱]. زارعیان, محمدسجاد و رضا مرشد، ۱۳۹۰، بتن خودترمیم شونده، سومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران، https://www.civilica.com/Paper-NCCICI03-NCCICI03_053.html

[52]. Frangopol, D. M., Dong, Y., & Sabatino, S. (2017). Bridge life-cycle performance and cost: analysis, prediction, optimisation and decision-making. Structure and Infrastructure Engineering, 13(10), 1239-1257.

[53]. https://isa.ir/content/2650/

[۵۴]. روزبان, علی؛ علی اسماعیلی و مهدی معتق، ۱۳۹۵، بررسی فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) و با به کارگیری تصاویر سنجنده SENTINEL ، دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، https://www.civilica.com/Paper-NCEGIT02-NCEGIT02_101.html

[55]. Piot, S., & Lancon, H. (2012, July). New Tools for the Monitoring of Cooling Towers. In 6th European Workshop on Structural Health Monitoring-Tu (Vol. 4).

[۵۶]. معتمدی خیاوی, سعید و خسرو نظام خیاوی، ۱۳۹۱، نقش مهندسی ژئودزی و GPS در بررسی میزان جابجایی سازه‌های بزرگ، همایش منطقه‌ای عمران و بحران آب و انرژی، مشکین شهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشکین شهر، https://www.civilica.com/Paper-MESHKINCIVIL01-MESHKINCIVIL01_059.html

[۵۷]. تست و آزمایش های غیرمخرب بتن، کلینیک بتن ایران: https://www.clinicbeton.com/

[۵۸]. "قانون حداکثر استفاده از توان تولیدی و خدماتی کشور و حمایت از کالای ایرانی"، مصوب مجلس شورای اسلامی، ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۲.

[۵۹]. "تصویب نامه درخصوص ممنوعیت خرید کالاهای خارجی (اعم از کالای ساخته شده، قطعات، ملزومات، تجهیزات و غیره تحت هر عنوان) دارای تولید مشابه داخلی"، مصوب هیأت وزیران در جلسه ۱۳۹۳/۲/۳.

[۶۰]. "قانون برگزاری مناقصات"، مصوب مجلس شورای اسلامی، ۲۵ فروردین ۱۳۸۳.

[۶۱]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران تولید نیروی برق سال ۱۳۹۲"، شرکت مادر تخصصی توانیر، خرداد ۱۳۹۳.

[۶۲]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران تولید نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، تیر ۱۳۹۹.

[۶۳]. گزارش تخصصی " تدوین استراتژی توسعه تولید انرژی الکتریکی کشور در افق سی ساله با در نظر گرفتن کلیه حاملهای انرژی"، پژوهشکده تولید نیرو، پژوهشگاه نیرو، آبان ۱۳۹۲.

[64]. https://barghnews.com/fa/news/39721/

[۶۵]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران انتقال نیروی برق سال ۱۳۹۲"، شرکت مادر تخصصی توانیر، مرداد ۱۳۹۳.

[۶۶]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران انتقال نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، مهر ۱۳۹۹.

[۶۷]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران توزیع نیروی برق سال ۱۳۹۲"، شرکت مادر تخصصی توانیر، شهریور ۱۳۹۳.

[۶۸]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران توزیع نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، شهریور ۱۳۹۹.

[69]. https://www.tpph.ir/Pages/Amar/A_Pazhohesh.aspx
[70]. https://satab.nri.ac.ir/Page681448.aspx?NR=1952
[71]. https://www.nri.ac.ir/Technology/commer_tech#6685391

[۷۲]. "دستورالعمل تجاری‌سازی نتایج تحقیقات شرکت‌های برق"، دفتر تجاری‌سازی و اکتساب فناوری، پژوهشگاه نیرو، ۱۴ مرداد ۱۳۹۹.

[۷۳]. "روش اجرایی تجاری‌سازی نتایج پروژه‌های تحقیقاتی شرکت‌های برق"، دفتر تجاری‌سازی و اکتساب فناوری، معاونت فناوری پژوهشگاه نیرو، ۱۶ مهر ۱۳۹۷.

[۷۴]. "نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو"، دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری، معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو، فروردین ۱۳۹۴.

[75]. https://www.nri.ac.ir/Technology/commer_tech#6685390
[76]. https://clinicbeton.com/Page/1034/Concrete-repair
[77]. https://www.afzir.com/knowledge/strengthening
[78]. https://www.radyab.co/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%88%D9%85-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%B3%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D9%85%D8%A7%D9%86-%D8%A8%D8%A7-%DA%98%D8%A7%DA%A9%D8%AA-%D8%A8%D8%AA%D9%86%DB%8C/
[79]. https://hiltiran.com/%DA%98%D8%A7%DA%A9%D8%AA-%D9%81%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%AF%DB%8C

[۸۰]. راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی، ۱۳۸۹، نشریه شماره ۵۲۴، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور)

[81]. https://www.ariantiss.com/fa/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%88%D9%85-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%D9%87-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%A8%D8%AA%D9%86%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%AF%D9%87-%D8%A7%D8%B2-frp
[82]. https://www.ariantiss.com/fa/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%88%D9%85-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D9%81%D8%A7%D8%AF%D9%87-%D8%A7%D8%B2-%DA%98%D8%A7%DA%A9%D8%AA-%D8%A8%D8%AA%D9%86%DB%8C
[83]. https://www.ariantiss.com/fa/%DA%98%D8%A7%DA%A9%D8%AA-%D9%81%D9%84%D8%B2%DB%8C-
[84]. https://www.alphafoundations.com/foundation-repair/foundation-services.html
[85]. https://www.quakewrap.com/utility-poles.php
[86]. https://princetonkeynes.com/facilities/composite-infrastructure-solutions/
[87]. https://precisemachineworks.com/downloads/pdf-files/pmw_catalog.pdf

[88]. Oikonomou, K., Constantinou, M. C., Reinhorn, A. M., & Kempner Jr, L. (2016). Seismic isolation of high voltage electrical power transformers. MCEER Techincal Report MCEER-16, 6.

[89]. https://www.nssccorp.com/recover/utility-pole-recycling/

[90]. https://invrecovery.org/utility-pole-recycling-saving-money-and-helping-the-environment-4/

[91]. Protocols for recycling redundant utility poles and bridge timbers in New South Wales, (2011), Office of Environment and Heritage NSW, Department of Premier and Cabinet and Timber Development Association, Website: www.environment.nsw.gov.au

[92]. https://civil808.com/article/24231/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D9%87-%D8%AA%D8%AD%D9%84%DB%8C%D9%84%DB%8C-%D8%A8%D8%AA%D9%86-%D8%A8%D8%A7%D8%B2%DB%8C%D8%A7%D9%81%D8%AA%DB%8C%D8%8C-%D8%B1%D9%88%D8%B4-%E2%80%8C%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%A8%D8%A7%D8%B2%DB%8C%D8%A7%D9%81%D8%AA%D8%8C-%DA%A9%D8%A7%D8%B1%D8%A8%D8%B1%D8%AF%D9%87%D8%A7-%D9%88-%D9%85%D8%B2%D8%A7%DB%8C%D8%A7

[93]. http://halajan.blogfa.com/post/13

[۹۴]. قاســـمی نژاد راییني، رویا،۱۳۹۶، "بتن بازیافتی و بررســـی یک روش بازیافت بتن"، دومین کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و طراحی شهری، https://civilica.com/doc/679813

[95]. Iizuka, A., Yanagisawa, Y. and Yamasaki, A., (2009), Development of a New Recycling Process for Concrete Sludge Generated from Concrete Pole Plant. AIChE, Nashville, TN, USA.

[۹۶]. پارسـایی رابری، ابراهیم، ۱۳۹۸،"امکانسـنجی و تعیین معیار برش 3 متر آسـیب دیده از انتهای پایه‌های بتنی چهارگوش مسـتعمل 12 متری و اسـتفاده مجدد بعنوان پایه 9 متری در شـبکه توزیع برق"، بیسـت و چهارمین کنفرانس بین‌المللی شبکه‌های توزیع نیروی برق، خرم آباد

[97]. Tao, T. J., Liu, L. S., Chi, E. A., & Zhao, M. S. (2017). Prediction of Collapse Area of Construction Materials for Cooling Tower with Different Cut Height Due to the Blasting Demolition. In Key Engineering Materials (Vol. 723, pp. 801-806). Trans Tech Publications Ltd.

[۹۸]. "آشنایی با مبانی آینده‌پژوهی"، مرکز آموزش و پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری

[99]. Inman, D.J., Farrar, C.R., Junior, V.L. and Junior, V.S. eds., (2005). Damage prognosis: for aerospace, civil and mechanical systems. John Wiley & Sons., p.275.

[100]. Staszewski, W., Worden, K., Wardle, R. and Tomlinson, G. (2000), Fail-safe sensor distributions for impact detection in composite materials. Smart Materials and Structures, 9(3), 298.

[101]. Worden, K. and Burrows, A. (2001), Optimal sensor placement for fault detection. Engineering Structures, 23(8), 885–901.

[102]. "Automatin Inspection and Maintanance for Power Overhead Lines," http://grec.ir//var/files/abranj/nazarkhahi/111.pdf, 2017].

[۱۰۳]. شیخ احمدی، سیده پریسا و معتق، مهدی و اکبری، بهمن،۱۳۹۵، بررسی پدیده‌ی فرونشست زمین در دشت همدان با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری تصاویر ماهواره‌ای، هشتمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، تهران، https://civilica.com/doc/560048

[۱۰۴]. حمیدی، رضوانه و صفری، حجت اله و روستایی، مهاسا و امینی، آرش،۱۳۹۸، تعیین میزان فرونشست زمین با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری در دشت گرگان، نخستین همایش ملی دوسالانه زمین شناسی کوهزاد البرز و دریای خزر،گرگان، https://civilica.com/doc/964221

[105]. M. R. Kaloop, E. Elbeltagi, J. W. Hu, and A. Elrefai, (2017), "Recent Advances of Structures Monitoring and Evaluation Using GPS-Time Series Monitoring Systems : A Review,", doi: 10.3390/ijgi6120382.

[106]. M. Ozbek and D. J. Rixen, (2013), "Operational modal analysis of a 2.5 MW wind turbine using optical measurement techniques and strain gauges," Wind Energy, vol. 16, no. 3, pp. 367–381, Apr., doi: 10.1002/we.1493.

[107]. M. Pieraccini, (2013), "Monitoring of civil infrastructures by interferometric radar: A review," Sci. World J., vol. 2013, , doi: 10.1155/2013/786961.

[108]. Sony, S., Laventure, S. and Sadhu, A., (2019), "A literature review of next-generation smart sensing technology in structural health monitoring", Structural Control and Health Monitoring, 26(3), p.e2321.

[109]. Phillips, A., 2008. Future Inspection of Overhead Transmission Lines. Electric Power Research Institute (EPRI): Palo Alto, CA, USA.

[110]. Alhassan, A.B., Zhang, X., Shen, H. and Xu, H., (2020), "Power transmission line inspection robots: A review, trends and challenges for future research", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 118, p.105862.

[111]. Xu, Y. L., & He, J. (2017). "Smart civil structures", CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 9781498743990 (ebook)

[112]. Owerko, T., & Kuras, P. (2019). Effective processing of radar data for bridge damage detection. Shock and Vibration, 2019.

 DOI: 10.30503/nripress.2020.331

فصل سوم

۳- به‌روزرسانی ارکان جهت ساز در سطح ملی و تدوین ارکان جهت ساز در سطح پژوهشگاه نیرو

۳-۱-به‌روزرسانی چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی

در این بخش، بازبینی و به‌روزرسانی چشم‌انداز سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ارائه شده است. در این بازبینی، مفاهیم اصلی و متدلوژی بکار رفته در تدوین چشم‌انداز سند اولیه مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس اطلاعات و ملاحظات جدید، به روز شده است.

سومین مرحله از تدوین سند راهبردی توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، تدوین ارکان جهت‌ساز سند می‌باشد. تدوین ارکان جهت‌ساز به منظور شکل‌دهی به آینده‌ای مطلوب و مورد انتظار صورت می‌گیرد. شکل‌دهی آینده مطلوب، هم به معنی ایجاد یک تصویر از این آینده و هم به معنی تعیین مسیر و چگونگی دستیابی به آن است. بنابراین مأموریت این مرحله را می‌توان ترسیم آینده مطلوب از طریق ترسیم چشم‌انداز و تدوین اهداف کلان و نیز تعیین مسیر رسیدن به این آینده از طریق راهبردها و سیاست‌ها تعریف نمود. همانطور که از نام این مرحله پیدا است، پیاده‌سازی مؤلفه‌های آن در یک مورد عملیاتی به تعیین جهت‌گیری‌های کلان توسعه فناوری می‌انجامد. تعیین اهداف خرد، اقدامات و سیاست‌های خرد در قالب جهت‌گیری‌های خرد در مرحله بعدی صورت می‌گیرد.

به طور کلی چشم‌انداز[1] بیانگر افق و جایگاه مطلوب، آرمانی و رقابتی برای سازمان، صنعت یا تکنولوژی است. چشم‌انداز همواره امیدها و اهداف آرمانی سازمان را نشان می‌دهد و یادآوری می‌کند که جهت حرکت به کدام سو ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر چشم‌انداز آینده‌ای است واقع‌گرایانه، محقق‌الوقوع و جذاب که کلید رهبری حرکت به سوی اهداف است. بر این اساس در خصوص موضوع سند، چشم‌انداز شامل جایگاه مطلوب کشور در موضوع سند خواهد بود. اهمیت چشم‌انداز از ابعاد گوناگونی قابل بررسی است، با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که چشم‌انداز دو کارکرد اصلی دارد: نخست از به بیراهه کشیده شدن فعالیت‌ها جلوگیری کرده و دوم اینکه همواره امید را برای نیل به اهداف تعیین شده تقویت می‌نماید. انواع آینده که در چشم‌انداز به آن پرداخته می‌شود، در سه دسته، طبقه‌بندی می‌شود: آینده ممکن، آینده محتمل و آینده مطلوب.

- **آینده ممکن:** شامل تمامی آینده‌هایی است که می‌تواند اتفاق بیفتد. مهم نیست که این آینده‌ها تا چه حد احتمال وقوع داشته باشند و یا حتی دست‌نیافتنی باشند.
- **آینده‌های محتمل:** آنچه به احتمال بسیار زیاد در آینده به وقوع خواهدپیوست.
- **آینده‌های مطلوب:** آن رویداد آتی که بیشترین مطلوبیت و ارجحیت را دارد.

هدف از این بخش، تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. بیانیه اولیه چشم‌انداز باید مبتنی بر مطالعات صورت گرفته (خصوصاً چشم‌انداز سایر کشورها) و اسناد بالادستی (خصوصاً اسناد راهبردی صنعت برق) تدوین گردد. با توجه به اینکه تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز نیازمند

[1] - Vision

شناخت اساس و چهارچوب نظری تدوین چشم‌انداز و ملاحظات کلی تدوین چشم‌انداز می‌باشد در ابتدا به بررسی چارچوب نظری و ملاحظات کلی تدوین و تبیین چشم‌انداز پرداخته می‌شود. پس از آن با تجزیه و تحلیل مطالعات انجام شده و اسناد بالادستی، به تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز پرداخته خواهد شد.

۳-۱-۱- چهارچوب نظری در خصوص تدوین و تبیین بیانیه چشم‌انداز

همان طور که اشاره شد یکی از گام‌های اساسی در تدوین برنامه راهبردی، تدوین چشم‌انداز است. در حقیقت، می‌بایست مقصد نهایی در یک افق زمانی مشخص تعیین گردد. با تهیه چنین تصویری از آینده، فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان، فرابخشی و بخشی دارای یک هدف واحد و آن رسیدن به چشم‌انداز تعیین شده می‌باشد.

در این بخش از گزارش به بررسی مبانی نظری در انتخاب یک چشم‌انداز مناسب و همچنین بررسی الزامات آن پرداخته شده است. بر این اساس در این بخش ابتدا تعاریف و ویژگی‌های چشم‌انداز از منابع علمی مختلف ارائه و سپس متدولوژی‌های تدوین چشم‌انداز معرفی شده است.

۳-۱-۱-۱- تعریف چشم‌انداز

واژه چشم‌انداز در زبان فارسی به معنی تصوری است که از آینده در نظر انسان مجسم می‌شود. در مطالعات انجام گرفته، تعاریف مختلفی از چشم‌انداز وجود دارد که برخی از مهم‌ترین آن‌ها به شرح ذیل ارائه می‌شود[۱]:

- آینده واقع‌گرایانه، قابل تحقق و جذاب
- بیان صریح سرنوشتی که باید به سوی آن حرکت کرد
- هنر دیدن نادیدنی‌ها
- چشم‌انداز یک عامل کلیدی در رهبری و یک جنبش ذهنی از شناخته‌ها به ناشناخته‌ها است که رهبران اثربخش را قادر می‌سازد، با در کنار هم قرار دادن حقایق، آرزوها، ایده‌آل‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها، آینده‌ای جذاب برای خود خلق کنند.
- چشم‌انداز عبارت است از تصویر مطلوب و آرمان قابل دستیابی جامعه در یک افق زمانی معین بلندمدت که متناسب با مبانی ارزشی و آرمان‌های نظام و مردم تعیین می‌گردد.
- چشم‌انداز به عنوان تصویر آینده‌ای که در جستجوی خلق آن هستیم معرفی شده، که هر چه این تصویر از نظر جزئیات غنی‌تر باشد، جالب‌توجه‌تر خواهد بود.
- چشم‌انداز علاوه بر این که برانگیزاننده، هدایتگر و جهت‌دهنده اداره جامعه و همچنین الهام‌بخش، وحدت‌آفرین و قابل فهم برای همه اقشار می‌باشد، باید از ویژگی‌های آینده‌نگری، واقع‌گرایی، ارزش‌گرایی و جامع‌نگری برخوردار بوده و نسبت به وضع موجود، چالش اساسی داشته باشد تا بتوان عزم ملی را جهت تحقق آن فراهم آورد.
- چشم‌انداز هر مجموعه اگر به صورت دقیق، جامع و آینده‌نگرانه تعریف شده باشد، می‌تواند مسیر حرکت را همواره هدفمند و جهت‌دار نماید. آگاهی کامل ذینفعان به چشم‌انداز، می‌تولند آن‌ها را در تصمیمات کلیدی یاری دهد. البته چشم‌انداز می‌تواند در طی زمان تکمیل گردد.

- چشم‌انداز آمیزه‌ای از ارزش و داوری‌های مبتنی بر ایدئولوژی و واقعیت‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی می‌باشد. طبق این دیدگاه، هر ایدئولوژی، ترسیم‌کننده یک چشم‌انداز است، لذا در مقام برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری باید ایدئولوژی واحدی حاکم باشد تا چشم‌انداز واحدی شکل بگیرد.
- چشم‌انداز، ارائه‌دهنده یک تصویر مطلوب، آرمانی و قابل دستیابی است که مانند چراغی در افق بلندمدت، فرآوری سازمان و ذی‌نفعانش قرار دارد و واجد ویژگی‌های جامع‌نگری، آینده‌نگری، ارزش‌گرایی و واقع‌گرایی می‌باشد.
- چشم‌انداز عبارت است از تصویر مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در افق زمانی معین بلندمدت، که متناسب با مبانی ارزشی ذی‌نفعان تعیین می‌گردد.

۳-۱-۱-۲- ویژگی‌های یک چشم‌انداز مطلوب

در تعاریف اشاره شده ویژگی‌های مختلفی برای چشم‌انداز مطلوب بیان شده‌است که در این بخش برخی از مهم‌ترین ویژگی چشم‌انداز مطلوب ارائه می‌گردد. ویژگی‌هایی که چشم‌انداز مطلوب باید دارای آن‌ها باشد عبارتنداز [۱]:

- قابل دستیابی در زمان مورد نظر و کمیت‌پذیر
- برآیند آثار ناشی از مزیت‌ها (مؤلفه‌های قوت و فرصت) از یک طرف و رافع چالش‌ها (نقاط ضعف و تهدید)
- جامع، تحول‌گرا، آینده‌نگر و پویا
- دارای افق زمانی معین
- بلندپروازانه و در عین حال منحصر به فرد
- برانگیزاننده مشارکت همگانی و مشوق حرکت
- پیونددهنده حال و آینده به همدیگر (یعنی در عین آنکه باید واقع‌گرایانه باشد، مطابق با آرمان‌ها نیز باشد)
- اطمینان‌بخش و توجه‌برانگیز برای ذینفعان
- دارای حس مالکیت و تعلق و تقویت‌کننده این حس در ذینفعان
- تعیین‌کننده مسیر حرکت و به وجود آورنده هدفی منسجم (در این خصوص چشم‌انداز باید تصویری ممکن از اهداف مطلوب را دارا باشد)
- تداوم‌بخش به برنامه‌ریزی و اجرا آن‌ها
- نشان‌دهنده فرصت‌های موجود و راه بهره‌جویی از این فرصت‌ها

این در حالی است که در سیستم‌ها و سازمان‌هایی با مقیاس‌های کوچک‌تر ویژگی‌های زیر را نیز باید برای چشم‌انداز متصور شد:

- ایجادکننده رضایت شغلی، تعهد، علاقه و غرور در کارکنان و انرژی‌دهنده به آن‌ها و در حوزه سازمانی اثرگذار و معنی بخش به جوانب مختلف زندگی
- مشوق یادگیری

- مشخص‌کننده مخاطب
- مشخص‌کننده استاندارد برتر
- کوتاه و دقیق
- مرتبط با تمام ذینفعان مرتبط

۳-۱-۱-۳- ضرورت تدوین چشم‌انداز

از دیگر مواردی که باید در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز در نظر گرفته شود، درک و بیان ضرورت و اهمیت تدوین چشم‌انداز می‌باشد. همان طور که اشاره شد ضرورت اصلی تدوین چشم‌انداز تعیین افق، جایگاه و موقعیت مطلوب است که با تعیین آن از منحرف شدن از مسیر اصلی جلوگیری شده و امید فعالیت در مجموعه ذینفعان مدنظر تقویت می‌شود. علائم نیاز به چشم‌انداز عبارتند از:

- وجود شواهدی مبنی بر اختلال و عدم شفافیت نسبت به هدف
- عدم شفافیت آینده
- ظهور رقبای جدید
- عدم انطباق روند توسعه با روندهای کلان ملی و بین المللی
- ناهماهنگی بین ذینفعان
- تنوع و تعدد ذینفعان مرتبط با مسئله توسعه
- پیچیدگی‌های روند و ماهیت توسعه
- ضعف در منابع کلان مورد نیاز
- عدم تخصیص صحیح اولویت‌ها
- ضعف یا فقدان نهادهای تخصصی مرتبط با موضوع

لازم به یادآوری است که بروز این علائم احتمالاً دارای یکی از معانی زیر خواهد بود:

- بخش و یا کلیت مفهوم چشم‌انداز فعلی به خوبی منتقل نشده است.
- بخش و یا کلیت مفهوم چشم‌انداز فعلی به خوبی درک نشده است.
- بخش و یا کل چشم‌انداز فعلی برای افراد ترغیب‌کننده و الهام‌بخش نیست.

لذا باید جهت‌دهی جدید و نوینی تعریف و تنظیم گردد و از این رو برخورداری از یک چشم‌انداز مؤثر، جامع و کارآمد حائز اهمیت خواهد شد.

۳-۱-۱-٤- انواع چشم‌اندازها

برخی از مزایا و ابعاد قدرت چشم‌انداز در شکل ۱-۳ ارائه شده است. اکثر چشم‌اندازها به بیان جمله‌ای کیفی و کلی پرداخته‌اند. با این وجود، می‌توان چشم‌انداز را به چهار نوع دسته‌بندی نمود[۱]:

الف- چشم‌انداز کمّی

چشم‌اندازی است که در آن شاخص‌های کمّی برای آینده مطلوب بیان شده و سپس هر یک از این شاخص‌ها عددگذاری می‌شوند. چشم‌اندازهای کمّی می‌توانند از نوع عددی (به عنوان مثال، میزان تولید در افق زمانی چشم‌انداز) و یا از نوع درصدی (درصد سهم تولید در کشور یا منطقه در افق زمانی چشم‌انداز) باشند.

ب- چشم‌انداز کیفی

بر خلاف چشم‌انداز کمّی، در این چشم‌انداز به بیان جملاتی کیفی و عاری از اعداد و ارقام پرداخته می‌شود. این نوع چشم‌انداز، شاخص‌های کیفی را برای نشان دادن آینده مطلوب به کار می‌برند.

پ- چشم‌انداز رتبه‌ای

در چشم‌انداز رتبه‌ای، جایگاه کشور، سازمان یا بخش بین دیگران به عنوان ملاک بیان آینده مطلوب در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال، ممکن است کشور یا سازمانی در بیانیه چشم‌انداز خود اعلام نماید که قصد دارد در بین رقبا جایگاه سوم را دارا باشد.



شکل ۱-۳- بررسی ابعاد قدرت و مزایای چشم‌انداز

ت- چشم‌انداز مقایسه‌ای

در چشم‌انداز مقایسه‌ای، جایگاه آینده در مقایسه با رقبای اصلی ترسیم می‌شود و ملاک پیشرفت و توسعه برتری نسبت به یک رقیب خاص اعلام شده است.

البته باید توجه داشت که چشم‌اندازهای رتبه‌ای و مقایسه‌ای تا حدی زیرمجموعه چشم‌اندازهای کمّی و کیفی هستند و از این روی چشم‌انداز در دو دسته کلی کیفی و کمّی قابل طبقه‌بندی خواهند بود.

پس از شناسایی مبانی پایه، ضرورت‌های خلق چشم‌انداز و معرفی انواع آن نوبت به شناخت روش‌های تبیین چشم‌انداز می‌رسد، از این رو در ادامه به بررسی روش‌های مختلف تبیین چشم‌انداز پرداخته شده است.

۳-۱-۱-۵- روش‌های تبیین بیانیه چشم‌انداز

فرایند تدوین چشم‌انداز دارای پیچیدگی و سختی وصف‌ناپذیری است، از این رو روش‌های بسیار متنوعی توسط محققان مختلف برای تدوین بیانیه چشم‌انداز پیشنهاد شده است. به دلیل پیچیدگی موجود در این فرآیند، می‌توان گفت که هیچ کدام از روش‌های موجود کامل نیست و به همین دلیل در اکثر موارد برای تدوین بیانیه چشم‌انداز باید از ترکیب چند روش استفاده نمود. از این رو در ادامه برخی از مهم‌ترین روش‌های تدوین و خلق چشم‌انداز ارائه شده است.

۱- **روش ۵ چرا:** کالینز و پوراس در سال ۱۹۹۶ طی مقاله‌ای در مجله «بررسی‌های بازرگانی هاروارد» توصیه کردند که با این پرسش کار را آغاز کنید که «چرا این کالاها و خدماتی را که ما تولید می‌کنیم مهم هستند؟» این سؤال را ۵ بار تکرار کنید تا به هدف بنیادین خود پی ببرید.

۲- **روش استوارت:** توماس استوارت قالبی را طراحی کرده که تدوین چشم‌انداز را برای هر جامعه‌ای تسهیل می‌نماید:

۱- جایگاه جامعه (رهبر، پیشرو، جهانی،...)
۲- کالا و خدمات (نوآور، ارزان، متنوع، باکیفیت،...)
۳- مشتریان و ذی‌نفعان (بازار جهانی، خلق ارزشی به ذینفعان،...)
۴- صنعت

۳- **روش برت نی‌نوس:** برت نی‌نوس روش نسبتاً پیچیده ولی جامع‌تری را برای تدوین چشم‌انداز معرفی کرده است که این روش شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- وضعیت فعلی جامعه، کسب و کار و نحوه فعالیت
۲- تعیین مرزهای چشم‌انداز (شناسایی ذینفعان و نیازهای آنان)
۳- تعیین جایگاه جامعه در محیط آتی
۴- ارزیابی و انتخاب چشم‌انداز نهایی

۴- **روش کیگلی:** به زعم کیگلی، چشم‌انداز رهبر، بر درک گذشته و حال دلالت دارد و مهم‌تر از آن، نقشه‌راهی برای آینده ارائه می‌کند و به افراد راهکارهایی در جهت عمل و عکس‌العمل برای تحقق آینده مطلوب عرضه می‌دارد. باید توجه داشت که پس از تبیین هر یک از ارکان چشم‌انداز، کیگلی در فرآیندی با نام فرآیند برنامه‌ریزی رایزنی رهبری، نحوه تدوین چشم‌انداز را در گام‌های زیر خلاصه می‌کند:

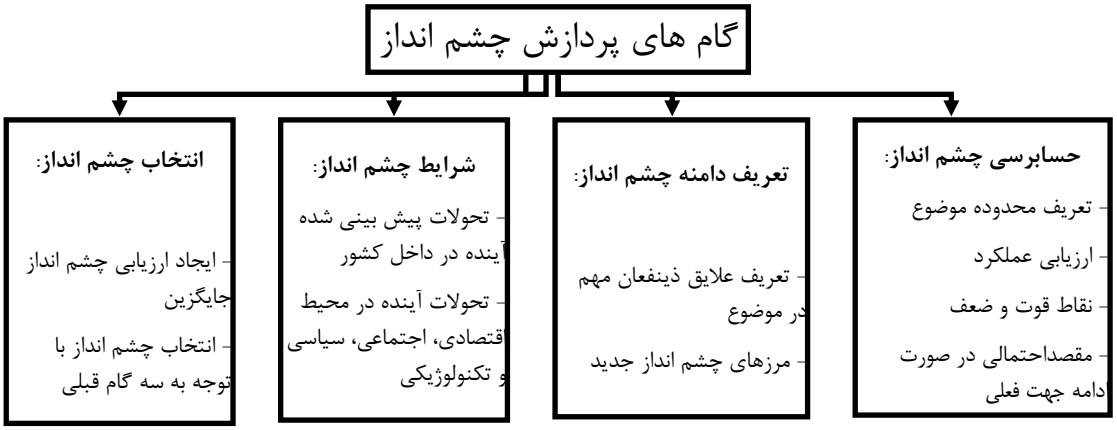
۱- انتخاب افراد شرکت‌کننده در تدوین چشم‌انداز
۲- تدارک جلسه آشنایی مختصری برای تمام افراد گروه مرکزی
۳- تهیه و ارسال پرسشنامه برای هر یک از اعضا و گروه های مرتبط
۴- مصاحبه با افرادی که این شیوه را ترجیح می‌دهند.
۵- جمع‌آوری پاسخ‌ها و دسته‌بندی پاسخ‌های مشابه

۶- خلاصه کردن نتایج
۷- آماده‌سازی و ارسال داده‌ها برای اعضای گروه مرکزی

۵- روش لاتام: در این شیوه هشت گام معرفی شده که به شرح زیر می‌باشند:

۱- گام اول: جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بنیادین
۲- گام دوم: طوفان ذهنی
۳- گام سوم: حذف اضافات
٤- گام چهارم: تدوین سند اولیه
۵- گام پنجم: تصحیح بیانیه
٦- گام ششم: آزمون معیارها
۷- گام هفتم: کسب تأیید یا تصحیح
۸- گام هشتم: ابلاغ چشم‌انداز

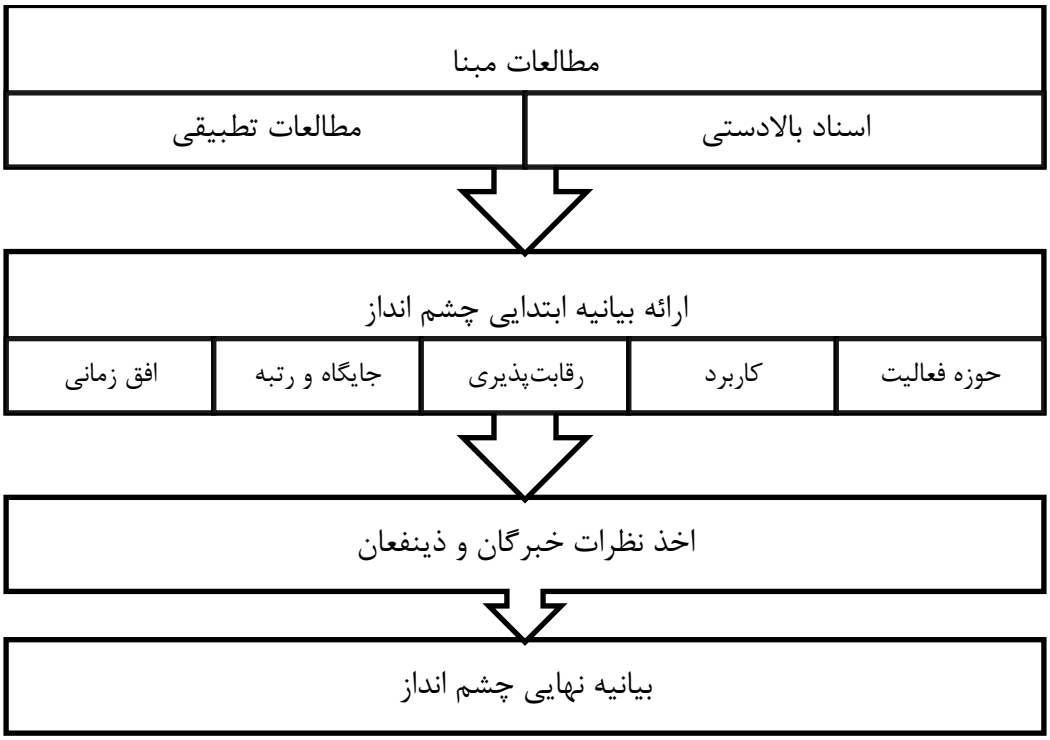
این در حالی است که چشم‌انداز به هر روشی که انتخاب و خلق گردد باید مبتنی بر گام‌های خلق آن و مطابق با رویکرد ارائه شده در شکل ۲-۳ پردازش و ارائه شود. در این شکل گام‌های پردازش چشم‌انداز به طور خلاصه ذکر شده است:



شکل ۲-۳- گام‌های پردازش یک چشم‌انداز مطلوب

۳-۱-۲- فرایند تدوین چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به روش منتخب

با توجه به مطالب ذکر شـــده در رابطه با تعریف، ویژگی‌ها و روش‌های چشـــم‌انداز و جمع‌بندی این مطالب می‌توان به انتخاب یک روش پیشـنهادی ترکیبی برای تدوین چشـم‌انداز پرداخت. برای تدوین چشـم‌انداز بر اسـاس فلوچارت ارائه شده در شکل ۳-۳ عمل می‌شود که به همین صورت نیز، برای بازبینی چشم‌انداز عمل شده است.



شکل ۳-۳- مدل اجرایی خلق چشم‌انداز

از این رو بر اساس روش منتخب گام‌های خلق یک چشم‌انداز به شرح زیر می‌باشد:

در مرحله اول به بررسی مطالعات تطبیقی و اسناد بالادستی پرداخته شده و با استفاده از این بررسی‌ها یک دید کلی نسبت به فضای صنعت و یا سیستم مدنظر به دست می‌آید. در مرحله دوم باید ویژگی‌های اساسی ذکر شده در یک بیانیه اولیه مطلوب لحاظ شود. در مرحله سوم، با توجه به مطالعات انجام شده و دید به دست آمده از مرحله قبل، به تدوین بیانیه ابتدایی از چشم‌انداز پرداخته می‌شود. در مرحله چهارم که در شکل ۳-۳ از آن تحت عنوان برگزاری پنل ذینفعان یاد شده است، چشم‌انداز اولیه با ذینفعان و خبرگان در میان گذاشته می‌شود. در این مرحله پس از دریافت و بررسی نظرات خبرگان در صورت لزوم تغییراتی در بیانیه اولیه چشم‌انداز داده می‌شود. با استفاده از تکنیک‌هایی مانند طوفان ذهنی بیانیه چشم‌انداز که مورد قبول تمام ذینفعان اصلی باشد نهایی و تدوین می‌شود.

لازم به یادآوری است که چشم‌انداز تدوین شده باید مورد ارزیابی قرار گیرد تا کارایی آن اثبات شود. برای اثبات کارایی چشم‌انداز، بیانیه نهایی چشم‌انداز تدوین شده از لحاظ دارا بودن صفات و ویژگی‌های ضروری چشم‌انداز بررسی و سنجیده می‌شود و در صورتی که صفات و ویژگی‌های ذکر شده را دارا باشد چشم‌انداز از کارایی خوبی برخوردار خواهد بود. بر اساس کلیت اجمالی بیان شده از روش منتخب تدوین چشم‌انداز در ادامه مطابق با گام‌های بیان شده به بررسی اسناد بالادستی و مطالعات تطبیقی پرداخته می‌شود.

۳-۱-۲-۱- نتایج حاصل از بررسی اسناد بالادستی

همان طور که اشاره شد یکی از مهم‌ترین مراحل در تدوین سند راهبردی تبیین چشم‌انداز است. یکی از منابع اصلی برای تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز اسناد بالادستی مرتبط با حوزه مدنظر می‌باشند. با توجه به متنوع بودن ارگان‌های قانون‌گذار، اسناد بالادستی متعددی در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بررسی شده‌اند که لیست این اسناد در جدول ۱-۳ ارائه شده است. در اکثر اسناد بررسی شده سیاست‌های کلی کشور مشخص شده و به طور خاص به موضوع پایش سلامت در سازه‌های برق اشاره نشده است. با مطالعه قوانین و سیاست‌های مرتبط، با توجه به پتانسیل‌های موجود در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های برق، ویژگی‌های قابل تصور برای چشم‌انداز پیشنهادی را می‌توان برداشت کرد. ویژگی و مواردی که با توجه به اسناد بالادستی می‌توانند در بیانیه چشم‌انداز در نظر گرفته شوند، در جدول ۲-۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۱-۳- عناوین سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب بررسی شده

ردیف	قانون	مرجع صادرکننده	تاریخ تصویب
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۸۲
۲	آرمان صنعت برق	وزارت نیرو	۱۳۸۴
۳	برنامه وزارت نیرو در دولت دهم	وزارت نیرو	۱۳۸۹
۴	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران	مجلس شورای اسلامی	۱۳۹۰
۵	سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو	وزارت نیرو	۱۳۹۰
۶	مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور	وزیر نیرو	۱۳۹۱
۷	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۹۲
۸	سیاست‌های کلی نظام در زمینه علم و فناوری	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۹۳
۹	نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو	وزارت نیرو	۱۳۹۴

جدول ۲-۳- ویژگی‌های موجود در اسناد بالادستی مرتبط پایش سلامت

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به صنعت برق	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی در افق ۱۴۰۴ [۲]	• توسعه‌یافته • برخوردار از دانش پیشرفته • متکی بر تولید ملی • بهره‌مند از محیط زیست مطلوب • دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی	بومی‌سازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در افق ۱۴۰۴
			بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های برق با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به صنعت برق	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۲	سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو [۳]	وزارت نیرو با **ارتقاء بهره‌وری** و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، **سازگار با محیط‌زیست** و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در **رفاه اجتماعی** و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، **افزایش خوداتکایی** و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند	• ارتقاء بهره‌وری از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • افزایش رفاه اجتماعی از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • افزایش خوداتکایی از طریق بومی‌سازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
		افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها	افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در نیروگاه‌ها
		ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق	ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۳	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران [۴]	بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف	بهینه‌سازی تولید و ممانعت از کاهش تولید با بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۴	مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور [۵]	افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب	افزایش امنیت انرژی و پایایی شبکه با به کارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۵	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی [۶]	افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف	افزایش بهره‌وری برق در تولید, انتقال و توزیع با به کارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
		توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه	تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه از طریق توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق از جمله بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۶	سیاست‌های کلی نظام در بخش علم و فناوری [۷]	• ارتقاء جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام. • دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاستگذاری و برنامه ریزی ویژه	دستیابی به فناوریهای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به صنعت برق	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۷	آرمان صنعت برق	• اصلاح سیستمهای نگهداری و بهره برداری از سیستم تولید برق کشور • بهبود برنامه های تعمیرات پیشگیرانه سیستم تولید برق کشور • توسعه و بهینه سازی شبکه های انتقال و توزیع برق • شناسایی و ثبت کانونهای خطر و بررسی و تعیین راه حلهایی جهت کاهش و حذف خطرات • توسعه برنامه سرویس و نگهداری پیشگیرانه • برنامه ریزی جهت جلوگیری از توسعه حوادث	• پیاده سازی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه در سازه های صنعت برق از طریق بکارگیری پایش سلامت سازه • شناسایی مخاطرات و کاهش آثار آنها از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق
۸	برنامه وزارت نیرو در دولت دهم	• افزایش قابلیت اعتماد شبکه با اصلاح سیستم‌های حفاظتی • کاهش خروج اضطراری واحدهای تولید برق و عناصر شبکه • کاهش خروج اضطراری واحدهای برقابی • تجهیز اسکادران واحد هوایی شرکت توانیر با نصب تجهیزات و دستگاه‌های اسکنر و ترموویژن جهت تهیه نقشه خطوط هوایی و عیب یابی خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع	• افزایش پایایی شبکه از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • کاهش خروج واحدهای نیروگاهی از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌ها • دستیابی به فناوریهای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۹	نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو	• تامین پایدار آب و برق به منظور خدمت‌رسانی بی وقفه، مطمئن، ایمن و موثر به مشترکین • تاب‌آوری، کنترل و کاهش ریسک و آسیب‌پذیری، ایمن‌سازی و بهسازی تاسیسات وشریان‌های حیاتی شبکه‌های آب، فاضلاب و برق در برابر سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه (مانند حوادث جوی شامل سیل و طوفان و آتش سوزی و ...) • افزایش بهره وری، استحصال فرصت‌های ممکن و توانمندسازی در چارچوب سیستم مدیریتی استاندارد و یکپارچه‌سازی آن با سایر نظام‌های مدیریتی سازمانی • استانداردسازی، فرهنگ‌سازی و نهادینه کردن فرایند تصمیم‌سازی مبتنی بر ریسک‌های محتمل با بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی	• افزایش ایمنی، پایداری و پایایی شبکه از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • افزایش تاب آوری و کاهش ریسک (خسارات) شبکه در برابر سوانح طبیعی از طریق بکارگیری سیستم پایش سلامت و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق

۳-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در

کشورهای مختلف

همان طور که در بررسی چهارچوب نظری تبیین بیانیه چشم‌انداز و فرآیند منتخب تدوین چشم‌انداز اشاره شد، بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در سایر کشورها منبع مناسبی است که می‌توان از آن در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز استفاده کرد. در ادامه با توجه به محدود بودن اسناد مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سایر کشورها، از اسناد مرتبط با این حوزه نظیر اسناد موجود در حوزه ارزیابی غیرمخرب و همچنین نقشه‌راه شرکت‌ها و تیم‌های تحقیقاتی فعال در حوزه فناوری پایش سلامت استفاده شده است. در این مرحله پس از بحث و بررسی های انجام شده، مدل توسعه مفهومی مطالعات تطبیقی در این حوزه مشخص شد. این مدل در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- مدل توسعه مفهومی ارزیابی چشم‌انداز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سایر کشورها

پس از جستجو بر اساس مدل شکل ۴-۳ و با توجه به اینکه سندی بطور خاص در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق یافت نشد، جستجو بر اساس سطوح پایین‌تر صورت گرفت که با توجه به محدودیت منابع، چشم‌انداز تعدادی از موسسات و سازمان‌های مرتبط مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه ابتدا توضیحاتی از هر کدام از مؤسسات و سازمان‌ها آورده شده و بیانیه چشم‌انداز آنها نیز در جدول ۳-۳ آمده است.

۳-۱-۳-۱- سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP)

نقشه‌راهی برای تحقیقات در زیر ساخت شبکه‌های ارتباطی آینده در اروپا توسط سازمان تکنولوژی ساخت اروپا[1] تدوین شده است که به تحقیقات در ارتباط با توسعه و نوآوری در زیر ساخت شبکه حمل و نقل می‌پردازد. چشم‌انداز این سند در سال ۲۰۳۰، تأمین حمل و نقل روان و با کیفیت شهری و بین شهری توسط نسل جدیدی

[1] - European Construction Technology Platform

از شبکه‌های ارتباطی و زیر ساخت‌ها می‌باشد. در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها، اهمیت بسیاری دارد. [۸]

۳-۱-۳-۲- سازمان انرژی باد اروپا (EWEA)

در برنامه استراتژیکی که در سال ۲۰۱۴ برای پیشرفت تکنولوژی استفاده از انرژی باد در اروپا توسط سازمان انرژی باد اروپا (EWEA[1]) برای افقی تا سال ۲۰۳۰ نوشته شده است، تحقیقات در جهت توسعه پایش سلامت سازه‌های مرتبط با این نوع انرژی به عنوان قسمتی از طرح توسعه انرژی در نظر گرفته شده است.

انرژی حاصل از باد داخل دریا[2] نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی پاک و تجدیدپذیر در آمریکا ایفا می‌کند. اما از آنجا که هزینه تعمیر و نگهداری این نوع توربین‌ها بسیار بالا می‌باشد، به برنامه‌ی جامعی جهت پایش سلامت این سازه‌ها نیاز است. به این منظور در سال ۲۰۱۲ نقشه راهی برای مدیریت پایش سلامت و تشخیص خرابی توربین‌های بادی داخل دریا توسط Sandia National Laboratories تحت نظر اداره امنیت هسته‌ای ملی وزارت انرژی آمریکا[3] تدوین شده است. در این برنامه استراتژیک تأکید شده است که یک سیستم پایش سلامت موفق قادر خواهد بود بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری را حذف کند و یا کاهش دهد. [۹]

۳-۱-۳-۳- شبکه اروپایی ارزیابی، پایش و کنترل سازه‌ها (SAMCO)

SAMCO، شبکه اروپایی پایش، کنترل و ارزیابی سازه‌ها[4] متشکل از نمایندگانی از ذینفعان اروپایی و جهانی است که در این حوزه‌ها فعالیت می‌کنند. یک وظیفه چالش برانگیز برای این شبکه، تعریف یک چشم‌انداز بلند پروازانه و در عین حال واقع بینانه برای بهبود یک سیستم هوشمند یکپارچه برای سال ۲۰۱۰ بوده است. یکی از مأموریت‌های اصلی SAMCO تدوین دستور کار استراتژیک تحقیقات[5] است که اولویت‌ها و نقشه‌راه‌ها را مشخص کرده و به عنوان مرجعی برای تعریف برنامه‌های تحقیقاتی آینده عمل کند. SAMCO همه ذینفعان درگیر در پایش، کنترل و ارزیابی سازه‌ها را برای تعیین فعالیت‌های تحقیقاتی لازم برای آینده بهتر گرد هم آورده است. سند و نقشه راه SAMCO، بر رقابت‌پذیری و پایداری صنعت اروپا، سیستم‌های حمل و نقل، تامین انرژی و مدیریت امنیت، متمرکز خواهد بود. این فرایند در تحقق هدف اتحادیه برای تبدیل شدن به رقابتی‌ترین و پویاترین اقتصاد دانش‌بنیان در جهان که قادر به رشد اقتصادی پایدار با مشاغل بیشتر و بهتر و انسجام اجتماعی بیشتر است، مشارکت می‌کند. در این راستا، چشم انداز SAMCO در افق ۲۰۲۰ و بعد از آن بصورت زیر تعریف شده است: [۲۰]

[1]- The European Wind Energy Association
[2]- Offshore wind energy
[3]- The U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration
[4]- european network for Structural Assessment Monitoring and Control
[5] - Strategic Research Agenda

انتظار می‌رود پایش، کنترل و ارزیابی سازه‌ها در سال ۲۰۲۰، نقش محوری در همه جنبه‌های زیرساخت‌های پایدار[1] ایفا کند. فناوری‌های مرتبط به طور قابل ملاحظه‌ای از مفهوم فعلی "کاربردهای منفرد[2]" به الگوهای جدیدی به شرح زیر، گسترش می‌یابند:

"زیرساخت‌های اروپا توسط محیطی که قادر به مدیریت کاربرپسند[3]، ایمن[4]، امن[5] و اقتصادی سیستم‌های زیرساخت حیاتی است، بصورت پایدار نگهداری می‌شود."

۳-۱-۳-٤- سازمان جهانی هواشناسی (WMO)

چشم‌انداز سازمان جهانی هواشناسی[6] (WMO)، ارائه رهبری و تخصص در سطح جهانی و همکاری‌های بین‌المللی برای ارائه و استفاده از خدمات با کیفیت و معتبر آب و هوایی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و خدمات مرتبط با آن، برای بهبود زندگی جوامع همه ملل است. سهم موفق WMO و خدمات ملی هواشناسی و هیدرولوژیکی[7] (NMHSs) و اعضای آن در کاهش خطر بلایا[8] (DRR)، سازگاری با تغییرات آب و هوایی[9] (CCA) و افزایش تاب‌آوری، بر اساس هماهنگی و مشارکت بین اعضای آنها، شرکا و جوامع خاص با هدف کاهش خطرات و آثار بلایای ناشی از خطرات هواشناسی، آب و هوایی و هیدرولوژیکی در سطح محلی و جهانی، می‌باشد. DRR مجموعه ای از فعالیت‌هاست که تحت عنوان مدیریت ریسک بلایا[10] (DRM) نیز شناخته می‌شود و نیاز به تخصص چندرشته‌ای دارد که شامل بازیگران متعددی می‌شود و در صورت اجرا به ارزیابی، اجتناب و کاهش و انتقال ریسک و آثار سوء بلایا همراه با افزایش تاب‌آوری کمک می‌کند. نقشه راه سازمان جهانی هواشناسی برای کاهش ریسک بلایا، با مشورت اعضا و با همکاری کمیسیون‌های فنی و انجمن‌های منطقه‌ای، به درخواست شورای اجرایی WMO در سال ۲۰۱۷ تهیه شده است. چشم‌انداز تعریف شده در این نقشه راه به شرح زیر است: [۲۱]

سازمان جهانی هواشناسی و خدمات ملی هواشناسی و هیدرولوژیکی (NMHS) اعضای آن به عنوان یک سازوکار پشتیبانی معتبر و مؤثر در کاهش ریسک مخاطرات آب و هوایی، اقلیمی و آبی در سطح ملی، منطقه‌ای و جهانی شناخته می‌شوند. این اعضا قادر به ارائه خدمات زیر خواهند بود:

- طراحی و تولید مشترک همراه با سایر اعضا و شرکای ارائه‌دهنده خدمات کاربر محور که از اقدامات مدیریت ریسک در بخش‌های مختلف و در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی پشتیبانی می‌کنند.
- دسترسی کامل به داده‌های آسیب‌ها و مخاطرات محیطی جهت استانداردسازی نظام اطلاعاتی مخاطرات، به منظور مشارکت در توسعه سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار ریسک-مبنای[11] مخاطرات

[1] - Sustainable Infrastructure
[2] - Individual Application
[3] - User Friendly
[4] - Safe
[5] - Secure
[6] - World Meteorological Organization
[7] - National Meteorological and Hydrological Services
[8] - Disaster Risk Reduction
[9] - Climate Change Adaptation
[10] - Disaster Risk Management
[11] - Risk-based Forecast and Warning System

- پیشرفت و بکارگیری علوم (طبیعی و اجتماعی) و فناوری برای حمایت و توسعه محصولات و خدماتی برای کاهش ریسک بلایا
- حفظ عملکرد بخش‌های اصلی خود، بخصوص بعد از مواجهه با بلایای طبیعی

۳-۱-۳-۵- مؤسسه تحقیقات مهندسی زلزله (EERI)

هدف کلی مؤسسه تحقیقات مهندسی زلزله آمریکا[1] (EERI) کاهش ریسک زلزله از طریق پیشرفت در علوم و کاربردهای مهندسی زلزله، ارتقاء درک آثار زلزله بر ابعاد مختلف فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جوامع و توسعه معیارها و سازوکارهای مؤثر در کاهش آثار مخرب زلزله است. چشم انداز این مؤسسه به صورت زیر تعریف شده است:

جهانی که در آن، پتانسیل خسارات حاصل از زلزله بطور کامل و همه‌جانبه درک شده و اقدامات عقلانی و محتاطانه‌ای برای رفع این ریسک‌ها انجام شده است. [۲۲]

۳-۱-۳-۶- برنامه ملی کاهش خطر زلزله (NEHRP)

برنامه ملی کاهش خطرات زلزله[2] (NEHRP) توسط کنگره ایالات متحده پس از تصویب قانون کاهش خطرات زلزله در سال ۱۹۷۷ (قانون عمومی شماره 124-95) تأسیس شد. در زمان ایجاد این برنامه، هدف اعلام شده کنگره از آن "کاهش خطرات جان و مال ناشی از زلزله‌های آینده در ایالات متحده از طریق ایجاد و حفظ برنامه کاهش خطرات زلزله موثر" تعریف شده بود. در زمان تأسیس NEHRP، کنگره تشخیص داده بود که می‌توان تلفات ناشی از زلزله را از طریق بهبود روش‌ها و شیوه‌های طراحی و ساخت، کنترل کاربری زمین و بازسازی، تکنیک‌های پیش‌بینی و سیستم‌های هشدار اولیه، هماهنگی برنامه‌های آمادگی اضطراری و برنامه‌های آموزش و مشارکت عمومی کاهش داد. از زمان تأسیس NEHRP، این برنامه به یک برنامه بلند مدت ملی فدرال برای کاهش خطرات جان و مال در ایالات متحده که ناشی از زلزله است، تبدیل شده است. در حالی که تغییرات در جزئیات برنامه در برخی از حوزه‌ها رخ داده است، چهار هدف اصلی NEHRP به شرح زیر بدون تغییر باقی مانده‌اند:

- تدوین شیوه‌ها و سیاست‌های مؤثر برای کاهش تلفات زلزله و تسریع در اجرای آنها.
- بهبود تکنیک‌های کاهش آسیب‌پذیری زلزله در تاسیسات و سیستم‌ها.
- بهبود شناسایی خطرات زلزله و روش‌های ارزیابی خطر و استفاده از آنها.
- بهبود درک زلزله و اثرات آن بر ابعاد مختلف جامعه.

در طرح استراتژیک تهیه شده برای این برنامه، چشم‌انداز برای کشور آمریکا بصورت زیر تعریف شده است:
ملتی که آمادگی و توانایی مقاومت، واکنش و بازیابی سریع در برابر زلزله و پیامدهای ناشی از آن را دارد. [۲۳]

[1] - Earthquake Engineering Research Institute
[2] - National Earthquake Hazards Reduction Program

۳-۱-۳-۷- آژانس فدرال مدیریت بحران (FEMA)

آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا[1] (FEMA) به طور رسمی در سال ۱۹۷۹ با دستور اجرایی توسط رئیس جمهور جیمی کارتر ایجاد شد. در ۱ مارس ۲۰۰۳ ، FEMA بخشی از وزارت امنیت داخلی شد. برنامه راهبردی FEMA چارچوبی برای حمایت از ایالات متحده قبل، حین و پس از بلایا و بهبود عملکرد آژانس در ماموریت اساسی خود در کمک به مردم را فراهم می‌کند. چشم‌انداز تعریف شده در این برنامه راهبرد بصورت "یک ملت آماده و تاب آور" است. [۲۴]

جدول ۳-۳- بیانیه چشم‌انداز سایر کشورها در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت در سازه‌ها

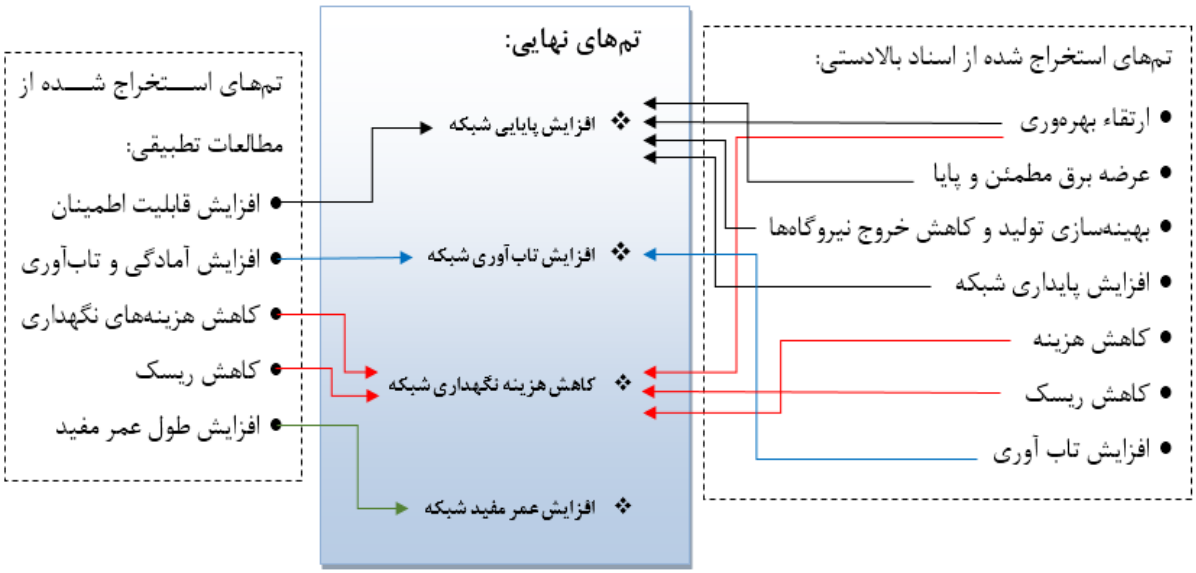
ردیف	نام سازمان/مؤسسه و کشور	افق چشم‌انداز	سال تدوین چشم‌انداز	محتوای بیانیه چشم‌انداز	حوزه‌های راهبردی مورد توجه در چشم‌انداز تعریف شده (اهداف و ارزش‌های مورد توجه در چشم‌انداز)
۱	سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (**ECTP**)	۲۰۳۰	۲۰۱۳	در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها در نظر گرفته شده است.	• کاهش هزینه‌های نگهداری • افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان
۲	سازمان انرژی باد اروپا (EWEA)	۲۰۳۰	۲۰۱۴	استفاده از سیستم پایش سلامت به منظور حذف یا کاهش بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری	کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری
۳	شبکه SAMCO اروپا	۲۰۲۰	۲۰۰۶	با استفاده از سیستم پایش، کنترل و ارزیابی سازه‌ها و توسعه تکنولوژی‌های مربوطه، زیرساخت‌های اروپا توسط محیطی که قادر به مدیریت کاربرپسند، ایمن، امن و اقتصادی سیستم‌های زیرساخت حیاتی است، بصورت پایدار نگهداری می‌شود.	• پایداری زیرساخت‌ها • مدیریت نگهداری کاربرپسند، ایمن، امن و اقتصادی
۴	سازمان جهانی هواشناسی (WMO)	۲۰۳۰	۲۰۱۷	سازمان جهانی هواشناسی و خدمات ملی هواشناسی و هیدرولوژیکی (**NMHS**) اعضای آن به عنوان یک سازوکار پشتیبانی معتبر و مؤثر در کاهش ریسک مخاطرات آب و هوایی، اقلیمی و آبی در سطح ملی، منطقه ای و جهانی شناخته میشوند.	کاهش ریسک مخاطرات طبیعی

[1] - Federal Emergency Management Agency

ردیف	نام سازمان/مؤسسه و کشور	افق چشم‌انداز	سال تدوین چشم‌انداز	محتوای بیانیه چشم‌انداز	حوزه‌های راهبردی مورد توجه در چشم‌انداز تعریف شده (اهداف و ارزش‌های مورد توجه در چشم‌انداز)
۵	مؤسسه تحقیقاتی مهندسی زلزله آمریکا (EERI)	-	۲۰۱۵	جهانی که در آن، پتانسیل خسارات حاصل از زلزله بطور کامل و همه‌جانبه درک شده و اقدامات عقلانی و محتاطانه‌ای برای رفع این ریسک‌ها انجام شده است.	• افزایش درک عمومی نسبت به آثار زلزله • کاهش ریسک زلزله
۶	برنامه ملی کاهش خطر زلزله (NEHRP)- آمریکا	-	۲۰۲۰	ملتی که آمادگی و توانایی مقاومت، واکنش و بازیابی سریع در برابر زلزله و پیامدهای ناشی از آن را دارد.	افزایش مقاومت، آمادگی و تاب‌آوری جامعه در برابر زلزله
۷	آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا (FEMA)	۲۰۲۲	۲۰۱۷	یک ملت آماده و تاب‌آور	افزایش آمادگی و تاب‌آوری جامعه در برابر زلزله

۳-۱-٤- ارائه بیانیه اولیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

پس از بررسی‌های صورت گرفته بر روی اسناد بالادستی و ابعاد چشم‌اندازی اسناد سایر کشورها، ویژگی‌ها و زمینه‌های مهم برای تدوین بیانیه چشم‌انداز مشخص شد. این زمینه‌ها و روش استخراج آنها در شکل ۵-۳ آمده است:



شکل ۵-۳- زمینه‌های استخراج شده برای چشم‌انداز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

از آنجایی که هر سند تدوین شده در کشور باید در راستای سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور باشد، با جمع‌بندی ویژگی‌های استنتاج شده از بررسی اسناد مختلف، مشخص می‌گردد که بیانیه چشم‌انداز باید شامل مفاهیم و ارزش‌های زیر باشد:

۱. توسعه فناوری با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و کاهش وابستگی اقتصادی به سایر کشورها
۲. توسعه فناوری با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی
۳. توسعه فناوری با تأکید بر برقراری عدالت و رفاه اجتماعی
٤. توسعه فناوری با تاکید بر تربیت نیروی انسانی متخصص و استفاده از نیروی انسانی بومی

موارد فوق در بازبینی چشم‌انداز سند مورد لحاظ قرار گرفتند.

در ادامه به منظور یادآوری، ابتدا بیانیه اولیه و نهایی چشم‌انداز تدوین شده در سند اولیه آورده شده و سپس، بازبینی انجام شده در آنها، ارائه شده‌اند.

بیانیه اولیه چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های برق در سند اولیه به شرح زیر است:

> با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ در راستای تحقق سند چشم‌انداز بیست ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،
>
> **شناسایی مشخصات آسیب‌ها و کاهش آثار آنها را در سازه‌های تولید، انتقال و توزیع، در حداقل زمان ممکن و با کمترین خطا با بکارگیری سیستم پایش سلامت در این سازه‌ها و در راستای کمک به افزایش پایایی و کاهش X% هزینه نگهداری شبکه برق دنبال می‌کند**

بیانیه فوق برای تعدادی از خبرگان ارسال شد که نظرات ایشان در جدول ۴-۳ آمده است.

جدول ۴-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز

نام خبره	سمت	نظرات
دکتر علیپور	مدیر دفتر فنی انتقال-شرکت توانیر	تایید تم‌های "افزایش پایایی" و " کاهش هزینه نگهداری شبکه برق" و پیشنهاد اضافه کردن "افزایش بهره‌وری و طول عمر" به تم‌های چشم‌انداز و همچنین پیشنهاد در نظر گرفتن راهکارهای اصلاحی و پیشگیرانه در طراحی و مواد در چشم‌انداز علاوه بر بحث شناسایی و پایش مشکلات و عیوب سازه
دکتر فلاح	عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان	تایید "افزایش پایایی" و " کاهش هزینه نگهداری شبکه برق" و پیشنهاد اضافه کردن "کاهش آثار آسیب‌ها" به تم‌های چشم‌انداز

بر اساس نظرات خبرگان و مباحث عنوان شده در جلسات کمیته راهبری سند اولیه، بیانیه نهایی چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سند اولیه به شکل زیر ارائه گردید:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ در راستای تحقق سند چشم‌انداز بیست ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

شناسایی مشخصات آسیب‌ها و ارائه راهکارهای کاهش آثار آنها در کمترین زمان و با بیشترین دقت ممکن، با استقرار سیستم پایش سلامت سازه در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور به منظور کمک به افزایش پایایی، حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه برق دنبال می‌کند.

به منظور بازبینی در چشم‌انداز فوق، بر اساس نتایج مطالعات تکمیلی (که ماحصل آنها در شکل ۵-۳ ارائه شده) و همچنین با توجه به بازنگری‌های صورت گرفته در مراحل پیشین، تغییراتی در چشم‌انداز سند منظور گردید که اهم آنها به شرح زیر است:

- با توجه به محدودسازی حوزه کاربرد سند به بخش وزارت نیرو، عبارت "جمهوری اسلامی ایران" به "وزارت نیرو" تغییر یافت.
- افق زمانی سند به مدت ۱۰ سال از زمان شروع پروژه‌های اصلی آن (سال ۱۴۰۰) منظور گردید.
- تم‌های افزایش تاب‌آوری و افزایش عمر مفید به چشم انداز اضافه شدند.
- عبارت "راهکارهای کاهش آثار آسیب‌ها" به "راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب" که دربردارنده مفاهیم جامع‌تری در حوزه‌های فنی تحت پوشش سند است، تغییر یافت.
- عبارت "افزایش پایایی" به حفظ پایایی تغییر یافت.

بر این اساس، بیانیه اولیه چشم‌انداز پیشنهادی بازنگری شده به شرح زیر تدوین گردید:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، وزارت نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق سند چشم‌انداز خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

در حوزه شناسایی مشخصات آسیب‌ها و ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب سازه‌های صنعت برق در کمترین زمان و با بیشترین دقت ممکن، با پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌ها در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور به منظور کمک به حفظ پایایی، حفظ کیفیت و تاب آوری، افزایش عمر و کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه برق؛ توانمند خواهد بود.

۳-۱-۵- اصلاح بیانیه چشم‌انداز بر اساس نظرات خبرگان و ارائه بیانیه نهایی

جهت استفاده از نظرات خبرگان در بازنگری چشم‌انداز سند پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، بیانیه فوق به تعداری از خبرگان ارسال شد که نظرات ایشان در جدول ۵-۳ ارائه شده است.

جدول ۵-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز بازنگری شده

نام خبره	سمت	نظرات
مهندس رهنورد	مجری سند پایش سلامت سازه های صنعت برق	عبارت "حفظ پایایی" به "نیل به پایایی مطلوب" تغییر یابد.
مهندس فرضعلی‌زاده	معاون پژوهشکده انتقال	عبارت "حفظ کیفیت" حذف شده و "کمک به افزایش تاب‌آوری" اضافه شود. همچنین چشم‌انداز با "با پیاده‌سازی نتایج سند در کشور" آغاز شده و با حذف مورد مشابه در خط دوم، کوتاه‌تر شود.
مهندس آسایش	رئیس پژوهشکده تولید	بجای عبارت "شناسایی مشخصات آسیبها" عبارت "پایش وضعیت" بکار رود. همچنین به توسعه فناوریهای نوین اشاره شود.
مهندس فتحی	معاون پژوهشکده توزیع	--
دکتر موسوی	مشاور عالی فناوری در بازنگری اسناد	حتی الامکان چشم انداز در ارتباط با آثار (Impact) حاصل از سند، بصورت کمی و قابل سنجش ارائه شود. توانمند بودن، معیار قابل سنجشی نیست.

بر اساس اعمال نظرات خبرگان، بیانیه نهایی چشم‌انداز بازنگری شده به شرح زیر تدوین گردید:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، وزارت نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق سند چشم‌انداز خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی؛ و با توسعه و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

حوزه پایش وضعیت و سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب آنها را، به منظور کمک به نیل به پایایی مطلوب، کمک به افزایش تاب‌آوری و عمر مفید سازه‌ها، و کاهش حداقل ۵ درصد در هزینه‌های نگهداری سازه‌ها؛ در کشور پیاده‌سازی خواهد نمود.

در بیانیه چشم‌انداز فوق، ارکان مختلف به شرح زیر بیان شده‌اند:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، وزارت نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق سند چشم‌انداز خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی؛ و با توسعه و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

حوزه پایش وضعیت و سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب آنها را، به منظور کمک به نیل به پایایی مطلوب، کمک به افزایش تاب‌آوری و عمر مفید سازه‌ها، و کاهش حداقل ۵ درصد در هزینه‌های نگهداری سازه‌ها؛ در کشور پیاده‌سازی خواهد نمود.

- افق زمانی
- سطح فعالیت
- حوزه‌های فنی
- نتایج (آثار) کلی مبتنی بر اهداف اسناد بالادستی
- حوزه کاربرد

به منظور تبیین بهتر عبارات کلیدی مورد استفاده در چشم‌انداز توضیحات مربوط به هریک از آن‌ها در ادامه ارائه شده است:

⇦ پایایی شبکه برق: بیانگر سطح احتمال تأمین بار مشترکین در چهارچوب استانداردهای مرتبط و به میزان مورد تقاضا می‌باشد. به عبارت دیگر، به شبکه برقی که توانایی تأمین برق کافی و ایمن برای مصرف کنندگان را داشته باشد، شبکه برق پایا گویند .

- تاب‌آوری: توانایی یک سیستم در معرض مخاطرات برای مقاومت، جذب، تطبیق و بازیابی اثرات خطر بصورت به‌موقع و کارآمد، از طریق حفظ، تعمیر و بازسازی ساختارهای اصلی آن است.
- عمر مفید سازه: مدت زمانی که سازه دارای عملکرد مطلوب خود بوده و سطح ایمنی آن مطابق با استانداردهای مربوطه باشد.
- هزینه نگهداری سازه: هزینه‌های نگهداری سازه‌های صنعت برق شامل هزینه‌های تعمیرات اصلاحی (ناشی از وقوع خرابی)، هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از خرابی و هزینه‌های اقدامات پیشگیرانه (جهت جلوگیری از وقوع خسارت و خرابی) می‌باشند. مبانی انتخاب مقدار کمّی ۵ درصد برای کاهش هزینه‌های نگهداری سازه‌ها، در بخش بعد (اهداف کلان) ارائه شده است.

۳-۲-به‌روزرسانی اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی

در ادامه، روند تدوین اهداف ارائه شده و بر اساس روند تشریح شده، اهداف کلان توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بازبینی و ارائه شده‌اند. اهداف در برنامه‌های توسعه یک فناوری بیانگر مقاصد و یا خواسته‌های مطلوب حاصل از توسعه فناوری می‌باشند، که این اهداف از طریق انجام اقدامات پیشنهادی محقق می‌شوند. اگرچه اهداف ممکن است در سطوح مختلفی قابل تعریف باشند، اما در سند راهبردی لازم است صرفاً اهداف اساسی معرفی شوند. اهداف اساسی به اهدافی گفته می‌شود که بر جهت‌گیری‌های اصلی فعالیت‌های حوزه سند تأثیرگذار هستند.

۳-۲-۱- چارچوب نظری تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

یکی از گام‌های اساسی در تعیین جهت‌گیری‌های کلان یک برنامه راهبردی، تدوین اهداف توسعه، در راستای چشم‌انداز تعریف شده است. این هدف‌گذاری در سطح کلان به‌منظور شفاف نمودن مسیر نیل به چشم‌انداز انجام می‌گیرد. در حقیقت اهداف مذکور، پاسخگوی یک سؤال اساسی است با عنوان "به منظور رسیدن به چشم‌انداز در افق زمانی تعیین شده، به چه مقاصدی باید دست یافت؟". با تعیین این اهداف در مسیر دستیابی به چشم‌انداز، کنش‌گران دخیل در نظام توسعه فناوری، اهدافی بلندمدتی را دنبال می‌کنند و در نتیجه، برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و فعالیت‌های خود را براساس آن به‌صورت دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر انجام دهند [۱].

در روش‌شناسی پیشنهادی، تدوین اهداف با دو رویکرد بالا-به-پایین و پایین-به-بالا صورت می‌پذیرد. رویکرد بالا-به-پایین رویکردی هدف محور است که به دنبال ترسیم یک آینده مطلوب برای توسعه صنعت است. در طرف

مقابل، رویکرد پایین-به-بالا نگاهی مسئله‌محور[1] به توسعه صنعت دارد. با استفاده از این رویکرد ترکیبی، از یک طرف هم‌راستایی اهداف با چشم‌اندازهای کلان ملی و سایر ارکان جهت‌ساز بالادستی حفظ شده، و از طرف دیگر، تمام مسایل و مشکلات موجود در مسیر توسعه صنعت نیز مورد هدف تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در این بخش، فرآیند تدوین اهداف کلان با نگاهی بالا-به-پایین صورت می‌گیرد. این اهداف در راستای چشم‌انداز و با تعریف حوزه‌های اهداف مشخص می‌شوند. علاوه بر حوزه‌های هدف که بیان کننده ابعاد اهداف هستند، کیفیت و ویژگی‌های این اهداف باید تعیین شود. به منظور تعیین کردن حوزه‌ها و ویژگی‌های ضروری هدف، به بررسی مدل‌های هدف‌گذاری پرداخته شده است.

۳-۲-۱-۱- حوزه‌های اهداف تعیین شده

در منابع برنامه‌ریزی راهبردی، مطالعات مختلفی با موضوعیت تدوین حوزه‌های اهداف تعیین شده است. در زیر به طور خلاصه به بررسی این مدل‌ها پرداخته می‌شود:

- **حوزه‌های اهداف در مدل کارت امتیازی متوازن [۱۰]**
  - منظر مالی (سودآوری، رشد در آمد، و افزایش بهره‌وری)
  - منظر مشتری (تعین مشتریان مخاطب، تعیین ارزش‌های پیشنهادی بنگاه با توجه به مشتریان)
  - منظر فرآیندهای داخلی (روابط با تأمین کنندگان، تصمیم‌گیری درمورد توسعه محصولات و خدمات جدید، خدمات پس از فروش، و مهندسی مجدد فرایندهای تولید)
  - منظر یادگیری و رشد (رضایت کارکنان، فضای مناسب کاری، دسترسی به سیستم‌های اطلاعاتی لازم، برنامه‌های آموزش کارکنان)
- **حوزه‌های اهداف در مدل پیرس و رابینسون[2] [۱۱]**
  - توجه به مشتری
  - نوآوری
  - بهره‌وری
  - توجه به بخش مالی
  - منابع انسانی
  - لحاظ کردن محیط خارجی
- **حوزه‌های اهداف براساس مدل ترکیبی فیلیپس [۱۲]**
  - بازار (سعی در حفظ سهم بازار فعلی، افزایش صادرات)
  - نوآوری (بالابردن توان نوآوری و طراحی محصول)
  - بهره‌وری (بهبود کیفیت محصولات تولیدی، افزایش بهره‌وری واحدهای تولیدی و خدماتی شرکت)
  - منابع مالی (استفاده بهینه از منابع مالی شرکت و خارج از شرکت برای تأمین اهداف بازار)

[1] - Issue-based
[2] - Pierce & Robinson

- منابع انسانی (ایجاد انگیزه برای ارائه کار بهتر)
- مسئولیت‌های اجتماعی (حفظ محیط زیست و حفظ ایمنی و بهداشت محیط کار)
- منابع اولیه (تلاش برای تأمین مواد اولیه مورد نیاز از داخل کشور)

حوزه‌های اهداف براساس مدل دکتر اعرابی[1] [۱۳]

- سودآوری
- بهره‌وری (ساده‌سازی رویه‌ها و سیستم‌ها برمبنای استانداردهای جهانی)
- موضع رقابتی (ارتقای نقش و جایگاه در اقتصاد ملی، توسعه همکاری‌های بین‌المللی و منطقه‌ای)
- پیشرفت کارکنان (سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی و ظرفیت‌سازی)
- روابط کارکنان
- رهبری فناورانه
- مسئولیت اجتماعی (جلب رضایت، اعتماد و مشارکت خدمت‌گیرندگان)

با درنظر داشتن مدل‌های هدف‌گذاری، می‌توان به معرفی گام‌های ضروری در تدوین اهداف پرداخت. روش پیشنهادی زیر می‌تواند برای تدوین اهداف کلان مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲-۱-۲- دریافت ورودی از نظرات خبرگان همراستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی، هوشمندی فناوری

در ابتدا لازم است تا از نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان توسعه صنعت استفاده شود. این کار با برگزاری پنل‌های خبرگی و بحث گروهی میان متخصصین، در چارچوب نتایج حاصل از هوشمندی فناوری (روندهای رشد و توسعه فناوری در آینده)، تأکید بر مولفه‌های موجود در چشم‌انداز، و در نظر داشتن اصول ارزشی صورت می‌گیرد. در مجموع می‌توان این طور بیان نمود که اهداف ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

۳-۲-۱-۳- تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی

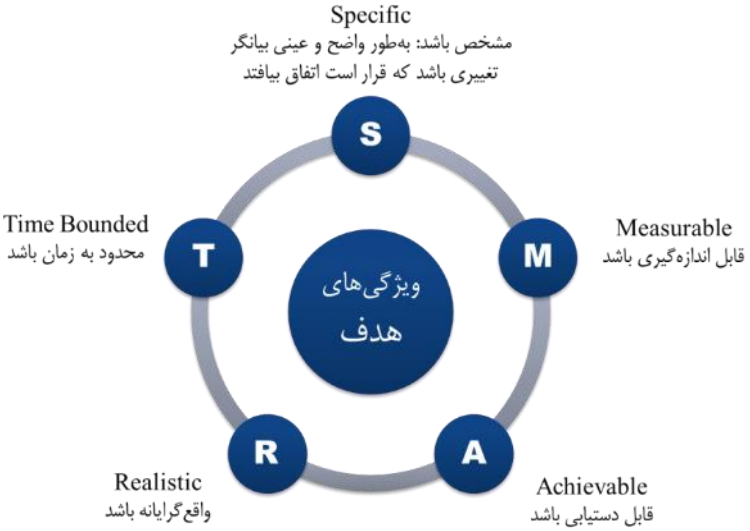
با توجه به نظرات جمع‌آوری شده متخصصین پیرامون اهداف کلان، در این مرحله لازم است تا تحلیل‌گران به پالایش این نتایج با درنظر داشتن دو محور حوزه‌های هدف و ویژگی‌های هدف بپردازند. به عبارت دیگر، تحلیل‌گران نظرات خبرگان را در حوزه‌های هدف دسته‌بندی نموده و با درنظرداشتن ویژگی‌های ضروری، آن‌ها را بازنویسی می‌کنند.

حوزه‌های اهداف به معرفی ابعادی می‌پردازند که لازم است تا به آن‌ها پرداخته شود. اگرچه این حوزه‌ها در هر مورد مطالعاتی دارای تفاوت‌ها و دسته‌بندی‌های مختلفی هستند، اما می‌توان یک حالت عمومی برای این حوزه‌ها ارائه نمود. این دسته‌بندی تنها به منظور سامان‌دهی ذهنی برنامه‌ریزان در تدوین اهداف اسناد راهبردی است و الزامی در پوشش همه‌جانبه آن‌ها در هر مورد مطالعاتی به وجود نمی‌آورد.

[1]- این مدل در مورد تدوین استراتژی گمرک ایران مورد استفاده قرار گرفته است.

اهداف تدوین شده در یک سند ملی باید دارای ویژگی‌های ضروری نیز باشند. این ویژگی‌ها در ادبیات با نام SMART Goals مطرح می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از (شکل ۶-۳)[۱]:

- مشخص باشد[1] (به‌طور واضح و عینی بیان‌کننده تغییری باشد که قرار است اتفاق بیافتد)،
- قابل اندازه‌گیری باشد[2]،
- قابل دستیابی باشد[3]،
- واقع‌گرایانه باشد[4]،
- محدود به زمان باشد[5].



شکل ۶-۳- ویژگی‌های اهداف کلان

۳-۲-۱-٤- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان

اهداف کلان، راهنماهای توسعه در سایر مراحل خواهند بود. بنابراین، اهداف اولیه طراحی شده برای نهایی شدن نیازمند تأیید دوباره افراد متخصص هستند. اجرای این مرحله به کاهش خطای ناشی از بازنویسی و پالایش اهداف توسط تحلیل‌گران کمک می‌کند.

۳-۲-۱-۵- دریافت بازخورد

از آنجا که تدوین گام‌های مختلف سند در یک فرایند تعاملی به وقوع می‌پیوندد، اهداف کلان تدوین شده در بخش ممکن است با تدوین گام‌های بعدی سند دچار تغییر و اصلاح شوند.

[1] - Specific
[2] - Measurable
[3] - Achievable
[4] - Realistic
[5] - Time Bound

۳-۲-۲- فرآیند بازبینی اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

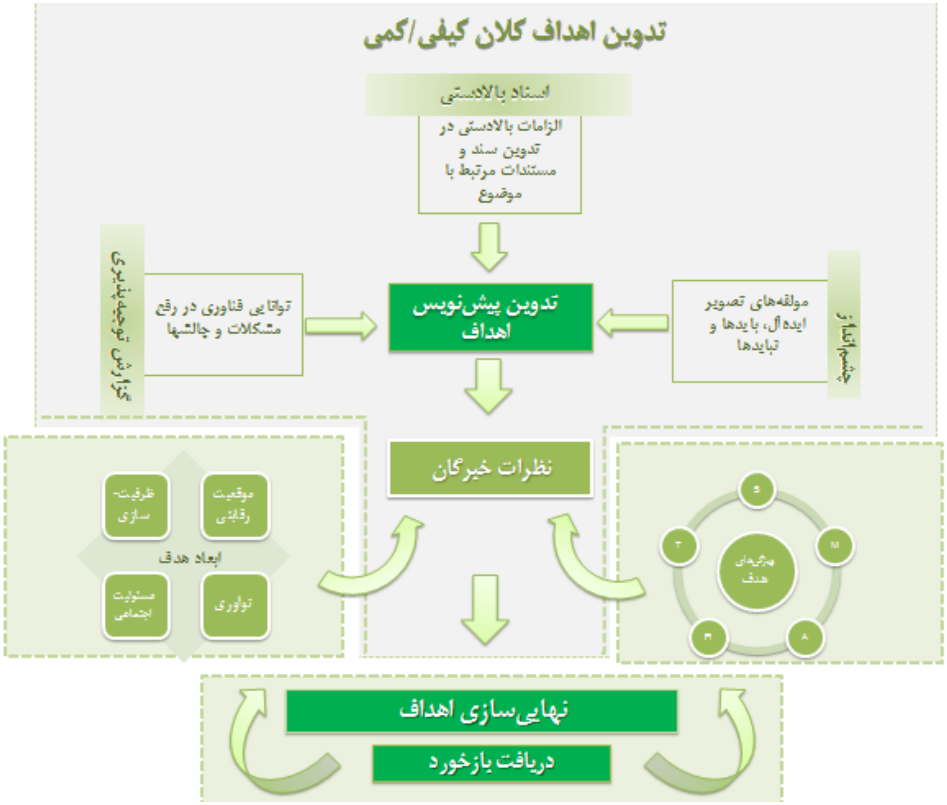
در بازبینی اهداف کلان، همان فرآیند بکار رفته در تدوین اهداف در سند اولیه با لحاظ اطلاعات و مطالعات تکمیلی، استفاده شده که در ادامه توضیح داده شده است. به منظور تدوین اهداف پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، ابتدا به مرور ادبیات و مطالعه تعاریف و مفاهیم مرتبط با اهداف پرداخته می‌شود. نتیجه مرور ادبیات و مطالعات انجام گرفته در بخش‌های قبلی این فصل ارائه شده است. اهم این مباحث عبارت بودند از تعریف اهداف، رابطه چشم‌انداز با اهداف، ویژگی‌های اهداف، حوزه‌های اهداف و ... که به صورت مفصل ارائه‌گشت.

مطابق فرآیند ذکر شده در بخش‌های قبل، در این گزارش به منظور تعیین اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از منابع مختلفی استفاده شد، که عبارتند از:

۱- بیانیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۲- اسناد بالادستی مرتبط با فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۳- گزارش توجیه‌پذیری توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۴- نظرات خبرگان

۳-۲-۲-۱- مراحل تدوین اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مراحل تدوین اهداف کلان برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به طور خلاصه در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. همان گونه که در شکل ۳-۷ مشخص است اهداف فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق کشور باید در جهت رسیدن به چشم‌انداز و در مسیر ماموریت و استراتژی کلان انرژی کشور باشد و از سوی دیگر اهداف با توجه به قابلیت‌های فناوری تعیین گردند. در اینجا لازم است تفاوت بین شاخص‌های چشم‌انداز و اهداف بیان شود. شاخص‌های چشم‌انداز از یکسری عوامل کلی تشکیل شده‌اند که بازه زمانی آن بلند مدت است، در حالیکه اهداف بازه زمانی کوتاه‌تر و نیز ابعاد و سنجه‌های جزئی‌تری نسبت به شاخص‌های چشم‌انداز دارا هستند.



شکل ۷-۳-نحوه تعیین اهداف کلان در سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در ادامه اهداف استخراج شده به عنوان نتایج حاصل از بررسی منابع مختلف ارائه شده است.

۳-۲-۲-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش توجیه‌پذیری

یکی از پارامترهای مهم در تعیین اهداف کلان توسعه فناوری‌های مختلف، توانایی و پتانسیل بکارگیری فناوری در زمینه‌های مختلف است، که با فعال‌سازی و شکوفاسازی پتانسیل‌های فناوری در حوزه‌های مختلف می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت. قابلیت‌ها و پتانسیل‌های بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به طور مفصل در گزارش توجیه‌پذیری توسعه این فناوری‌ها بحث شده و می‌توان گفت که گزارش توجیه‌پذیری یک منبع مناسب برای تعیین توانایی فناوری پایش سلامت و تعیین اهداف برای آینده می‌باشد. اهداف استنباط شده از این گزارش عبارتند از:

۱-کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات مورد نیاز

۲-کاهش هزینه‌های ناشی از خسارات سازه‌ها

۳-کاهش هزینه‌های ناشی از کاهش یا توقف تولید

٤-کاهش هزینه‌های نگهداری خط بواسطه حذف بازرسی‌های دوره‌ای غیر ضروری

٥-افزایش قابلیت انتقال بار از خط موجود بدون افزایش ســازه‌ها و تجهیزات با پایش و کنترل پارامترهای محدود کننده انتقال بار

٦-حفظ کارکرد و جلوگیری از توقف خدمت‌رسانی در صنعت برق
۷-افزایش رفاه اجتماعی با کاهش قطعی‌های برق ناشی از اختلالات در سازه‌های برق
۸-صادرات برق به کشورهای همسایه بطور مطمئن و پایدار با جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس‌دهی صنعت برق بدلیل وقوع انواع خرابی ها
۹-افزایش ایمنی و امنیت در عرضه برق با به حداقل رساندن خسارات و تلفات ناشی از خرابی سازه‌ها

۳-۲-۲-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی چشم‌انداز تدوین شده

با توجه به چشم‌انداز تدوین شده برای پایش سلامت در سازه‌ها، تم‌های اصلی چشم‌انداز، افزایش پایایی، حفظ کیفیت و کاهش هزینه در شبکه برق می‌باشد. لذا برای دستیابی به موارد ذکر شده در چشم‌انداز می‌بایست اهداف بکارگیری پایش سلامت در سازه‌ها را طوری تعریف کرد که امکان دستیابی به موارد ذکر شده در چشم‌انداز را در افق تعیین شده امکان‌پذیر سازد، در این راستا اهداف زیر را می‌توان در راستای چشم‌انداز تعریف کرد:

- ⇦ به حداقل رساندن خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع
- ⇦ به حداقل رساندن قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها
- ⇦ کاهش هزینه‌های نگهداری سازه‌ها
- ⇦ افزایش طول عمر سازه‌ها
- ⇦ افزایش تاب‌آوری سازه‌ها

۳-۲-۲-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی

با توجه به متنوع بودن ارگان‌های قانون‌گذار اسناد بالادستی متعددی در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های برق بررسی شده‌اند که لیست این اسناد در جدول ۱-۳ ارائه شده است. در اکثر اسناد بررسی شده سیاست‌های کلی کشور مشخص شده و به طور خاص به حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق اشاره‌ای نشده است. با مطالعه قوانین و سیاست‌های مرتبط، اهداف قابل استنتاج از این قوانین در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در جدول ۶-۳ تعیین شده‌اند.

جدول ۶-۳- اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی در حوزه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	قانون	بخش مربوط به صنعت برق	اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴	• توسعه‌یافته • برخوردار از دانش پیشرفته • متکی بر تولید ملی • بهره‌مند از محیط زیست مطلوب • دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی	• بومی‌سازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • استفاده از سیستم پایش سلامت جهت جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از خرابی‌های سازه‌های صنعت برق

ردیف	قانون	بخش مربوط به صنعت برق	اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی
۲	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران	بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف	• کاهش خرابی‌های سازه‌ها • افزایش طول عمر سازه‌ها • کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها
۳	سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو	• افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها • ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق	• کاهش خرابی‌های سازه‌ها • کاهش رخداد و حوادث در فعالیت‌های صنعت برق
۴	مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور	افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب	• کاهش خرابی‌های سازه‌ها • افزایش طول عمر سازه‌ها • کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها
۵	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	• افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف • پایداری و بهبود کیفیت و کمیت خدمات آب و برق در بخش‌های مختلف مصرف • توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه	• کاهش خرابی‌های سازه‌ها • افزایش طول عمر سازه‌ها • کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها • دستیابی به زیرساخت‌های نرم و سخت مورد نیاز برای توسعه‌ی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۶	سیاست‌های کلی نظام در زمینه علم و فناوری	• ارتقاء جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام. • دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاستگذاری و برنامه ریزی ویژه	بومی‌سازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۷	آرمان صنعت برق	• اصلاح سیستمهای نگهداری و بهره برداری از سیستم تولید برق کشور • بهبود برنامه‌های تعمیرات پیشگیرانه سیستم تولید برق کشور • توسعه و بهینه‌سازی شبکه های انتقال و توزیع برق • شناسایی و ثبت کانونهای خطر و بررسی و تعیین راه حلهایی جهت کاهش و حذف خطرات • برنامه ریزی جهت جلوگیری از توسعه حوادث	• توسعه و پیاده‌سازی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه • کاهش آثار مخاطرات محیطی بر سازه‌ها و تأسیسات
۸	برنامه وزارت نیرو در دولت دهم	• افزایش قابلیت اعتماد شبکه با اصلاح سیستم‌های حفاظتی • کاهش خروج اضطراری واحدهای تولید برق و عناصر شبکه • کاهش خروج اضطراری واحدهای برقابی • تجهیز اسکادران واحد هوایی شرکت توانیر با نصب تجهیزات و دستگاه‌های اسکنر و ترموویژن جهت تهیه نقشه خطوط هوایی و عیب یابی خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع	• کاهش خروج تأسیسات و قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها • دستیابی به زیرساخت‌های نرم و سخت مورد نیاز برای توسعه‌ی سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	قانون	بخش مربوط به صنعت برق	اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی
۹	نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو	• تحقق، استقرار و سازماندهی نظام جامع و یکپارچه مدیریت ریسک، پیش‌گیری و کاهش خطرپذیری ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه در سطوح سازمانی وزارت نیرو برای نیل به ایمنی و توسعه پایدار و پیشرفت • تامین پایدار آب و برق به منظور خدمت‌رسانی بی وقفه، مطمئن، ایمن و موثر به مشترکین • تاب‌آوری، کنترل و کاهش ریسک و آسیب‌پذیری، ایمن‌سازی و بهسازی تاسیسات وشریان‌های حیاتی شبکه‌های آب، فاضلاب و برق در برابر سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه	• کاهش ریسک (خسارت مالی) سازه‌ها ناشی از سوانح طبیعی • افزایش پایداری و ایمنی سازه‌ها • افزایش تاب‌آوری شبکه برق

۳-۲-۳- اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

پس از بررسی و جمع‌بندی نتایج حاصل از چشم‌انداز، گزارش توجیه‌پذیری و اسناد بالادستی اهداف زیر به عنوان اهداف کلان اولیه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شده‌اند:

۱- به حداقل رساندن خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع
۲- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع
۳- کاهش هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات موردنیاز
۴- کاهش هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از عدم عرضه برق
۵- ارتقای سطح رفاه و امنیت اجتماعی با حداقل رساندن قطعی‌های برق ناشی از خرابی‌های سازه‌ها
۶- به حداقل رساندن رخداد حوادث انسانی ناشی از خرابی سازه‌ها
۷- تامین زیرساخت‌های نرم و سخت پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

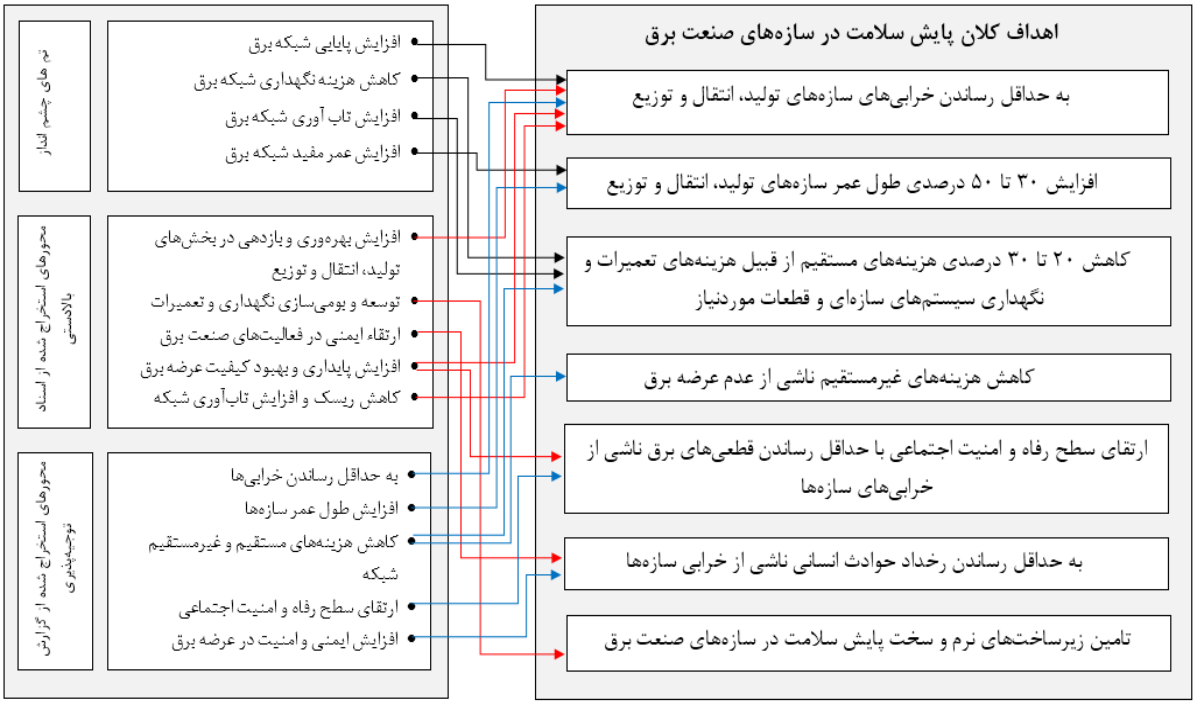
با توجه به اینکه کمی کردن اهداف در صورت امکان، می‌تواند به بررسی پیشرفت سند و ارزیابی میزان تحقق اهداف کمک کند. دو هدف "کاهش هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات موردنیاز" و "افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع" با توجه به مستندات موجود در ادبیات فنی (گزارش مراحل اول و دوم) و تجربیات و نظرات خبرگان، به صورت زیر کمی گشتند:

⇦ افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع
⇦ کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات موردنیاز

مبنای کاهش ۲۰ الی ۳۰ درصدی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات که در هدف دوم عنوان شده، مطالب ارائه شده در بخش توجیه‌پذیری اقتصادی در گزارش مرحله اول از ادبیات فنی است که در ادامه این قسمت نیز تکرار می‌گردند. بر اساس برآوردهای جهانی، با اجرای برنامه‌های پایش وضعیت در تجهیزات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بطور متوسط تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت و این در حالی است که صرفه‌جویی‌های ناشی از

پیشگیری از کاهش یا توقف تولید تا دو برابر این میزان خواهد بود که در این برآورد درنظر گرفته نشده است. [۲۵] یک مؤسسه تحقیقاتی در زمینه انرژی الکتریکی در یک طرح مطالعاتی، هزینه نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های تولید برق را در آمریکای شمالی بررسی کرد. این بررسی تحقیقاتی نشان داد که در صورت استفاده از روش نگهداری اصلاحی، هزینه نگهداری و تعمیر به ازای تولید یک اسب بخار انرژی الکتریکی برابر با ۱۸ دلارخواهد بود. در صورت استفاده از نگهداری پیشگیرانه، این هزینه به ۱۳ دلار برای هر اسب بخار کاهش می‌یابد و استفاده از نگهداری پیش‌بینانه تنها ۹ دلار (۵۰ درصد کاهش) برای هر اسب بخار تولیدی هزینه دارد. [۲۵] مطالعه انجام شده در [۲۶] نیز نشان می‌دهد که در صورت پیاده‌سازی سیستم نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر وضعیت، هزینه‌های نگهداری تجهیزات بسته به شرایط مختلف بین ۲۰ الی ۵۰ درصد قابل کاهش است. همچنین مطالعاتی که در حوزه‌های مختلف انجام شده، میزان کاهش هزینه‌های کلی نگهداری ناشی از پیاده‌سازی رویکردهای نوین (بر اساس ارزیابی وضعیت و بهینه‌سازی نگهداری) را بالغ بر ۳۵ الی ۷۰ درصد در پل‌ها [۲۷ الی ۲۹]، ۶۰ الی ۸۵ درصد در سیستم‌های تأسیساتی [۳۰] و ۳۵ الی ۶۰ درصد در خطوط انتقال [۳۱] برآورد کرده‌اند. میزان افزایش طول عمر نیز با استفاده از نظرات خبرگان منظور شده است. علاوه بر نظرات خبرگان، مطالعات انجام شده نیز نشان‌دهنده قابلیت افزایش عمر به میزان ۴۰ الی ۸۰ درصد در سازه‌های فراساحلی [۳۲ الی ۳۶] و ۵۰ الی ۱۵۰ درصد در پل‌ها [۳۷]، در اثر انجام نگهداری و تعمیرات (نسبت به حالت بدون آن) می‌باشند. بر این اساس، میزان مقادیر کمی عنوان شده در این دو هدف، قابل حصول می‌باشد.

بر این اساس، اهداف اولیه و نحوه ارتباط آنها با بیانیه چشم‌انداز، اسناد بالادستی و گزارش توجیه‌پذیری در شکل ۸-۳ نشان داده شده است.



شکل ۸-۳-نحوه ارتباط اهداف با ورودی‌های تدوین اهداف

در خصوص اهداف کلان، نظرات دریافتی از خبرگان که در سند اولیه کسب شده بود در جدول ۷-۳ آمده است:

جدول ۷-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان سند اولیه

نام خبره	سمت	نظرات
دکتر علیپور	مدیر کل دفتر فنی انتقال-شرکت توانیر	رفرنس اعداد در اهداف مشخص نیست. بعضی از سازه‌ها اساسا مشکل دار است و بحث چند برابر شدن طول عمر آنهاست پس بایستی یک دستورالعمل حداقل‌ها (استاندارد) تعریف شود (یعنی حداقل ۵ سال نیاز به تعمیر در شرایط عادی ندارد) و سپس پروژه بهبود تعریف گردد. در اهداف بایستی یک اشاره به محیط زیست نیز بشود.
دکتر فلاح	عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان	افزایش طول عمر سازه‌ها در نتیجه بکارگیری پایش سلامت سازه امری بدیهی می‌باشد اما مقدار کمی شده آن می‌بایست مورد بازبینی قرار گیرد.

بر اساس نتایج مطالعات تکمیلی و بازنگری‌های صورت گرفته در مراحل پیشین و چشم‌انداز سند و با لحاظ نظرات ارائه شده در جدول ۷-۳، اهداف کلان پیشنهادی بازنگری شده به شرح زیر تدوین شدند:

۱- کاهش متوسط هزینه سالیانه نگهداری سازه‌های تولید، انتقال و توزیع در سطح کشور به میزان حداقل ۵ درصد
۲- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۲۰ الی ۵۰ درصد متناسب با شرایط محیطی
۳- کمک به نیل به پایایی مطلوب شبکه با به حداقل رساندن خرابی سازه‌ها
۴- اکتساب و توسعه دانش فنی و تامین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری جهت پیاده‌سازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های صنعت برق
۵- افزایش توانمندی‌های علمی و فناورانه جامعه علمی و فنی کشور در حوزه پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌ها با تأکید بر توانمندسازی بخش خصوصی؛ و ایجاد و گسترش ظرفیت‌های بکارگیری این توانمندی‌ها در صنعت برق
۶- افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق

درخصوص مبانی تعیین مقدار کمّی کاهش متوسط هزینه نگهداری (۵ درصد) در هدف ۱ همانطور که در ابتدای این بخش عنوان شده، در صورت انجام پایش سلامت و ارزیابی وضعیت و بهینه‌سازی برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، هزینه کلی نگهداری سازه‌ها و تأسیسات در حوزه‌های مختلف، به میزان ۲۰ الی ۷۰ درصد (بسته به شرایط) قابل کاهش است. با توجه به اینکه در افق زمانی سند امکان پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و

مقاومسازی سازه‌های صنعت برق در کل کشور وجود ندارد، بدیهی است که کاهش هزینه به اندازه مقادیر فوق (در سطح کل کشور) ممکن نیست. در اینجا فرض می‌شود که پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت و مقاومسازی در افق زمانی سند، در ۱۰ درصد از سازه‌های صنعت برق کشور (در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) انجام شود. این ۱۰ درصد نیز با انجام مطالعات اولویت‌بندی، از میان سازه‌های فرسوده و یا با سن بالای ۳۰ سال (که در حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد سازه‌های صنعت برق در کشور هستند [۳۸ الی ۴۰]) انتخاب می‌شوند که اثربخشی بیشتری داشته باشد. بر این اساس، اگر حدود پایین بازه کاهش هزینه‌های نگهداری سازه‌ها (۲۰ الی ۳۰ درصد) درنظر گرفته شود، میزان کاهش هزینه نگهداری سازه‌های صنعت برق در کل کشور (با فرض اجرا در ۱۰ درصد آنها) برابر ۵ الی ۱۰ درصد خواهد بود که حد پایین آن (۵ درصد) به عنوان حداقل قابل حصول، هدف‌گذاری شده است. نحوه محاسبه این کاهش هزینه در عمل نیز بدین صورت است که مجموع هزینه نگهداری سازه‌های صنعت برق در کل کشور (شامل هزینه تعمیرات پیشگیرانه، هزینه تعمیرات اصلاحی پس از حوادث و هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از حوادث) در یک بازه زمانی زیاد (مثلاً ۱۰ سال) قبل از سال پایه (سال شروع واقعی سند که می‌تواند ۱۳۹۹ یا ۱۴۰۰ منظور شود) تعیین و متوسط سالانه آن محاسبه می‌شود. به همین ترتیب، محاسبات فوق در انتهای افق زمانی سند نیز انجام می‌شود که مقدار اخیر باید حداقل ۵ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش داشته باشد.

در خصوص مقدار کمّی افزایش عمر سازه‌ها در هدف دوم نیز طبق مطالعات انجام شده در سایر حوزه‌ها (که در ابتدای این بخش ارائه شده‌اند)، عمر سازه‌ها با پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، نگهداری پیشگیرانه و مقاومسازی به میزان ۴۰ الی ۱۵۰ درصد قابل افزایش است. در خصوص سازه‌های صنعت برق در این سند با فرض افزایش عمر به میزان حداقل ۱۰ سال، در سازه‌های واقع در شرایط محیطی ملایم (که عمر طبیعی سازه‌ها حدود ۵۰ سال است) و سخت (که عمر طبیعی سازه‌ها حدود ۲۰ سال است)، به ترتیب ۲۰ و ۵۰ درصد افزایش عمر، قابل حصول است.

جهت استفاده از نظرات خبرگان در بازنگری اهداف کلان سند، موارد فوق به تعداری از خبرگان ارسال شد که نظرات ایشان در جدول ۸-۳ ارائه شده است.

جدول ۸-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان بازنگری شده

نام خبره	سمت	نظرات
مهندس رهنورد	مجری سند پایش سلامت سازه های صنعت برق	اهداف بازنگری شده مورد تأیید هستند.
مهندس فرضعلی زاده	معاون پژوهشکده انتقال	در هدف ۳ تاب آوری هم عنوان شود. هدف شماره ۴ بیشتر از نوع اقدام است و باید کلی‌تر نوشته شود تا به مفهوم هدف کلان نزدیکتر شود.
مهندس آسایش	رئیس پژوهشکده تولید	هدف ۶ به ۱ منتقل شود. در هدف ۵ به توسعه فناوریهای نوین اشاره شود.
مهندس فتحی	معاون پژوهشکده توزیع	--
دکتر موسوی	مشاور عالی فناوری در بازنگری اسناد	آیتم ۶ از جنس "ملاحظات" است و نه هدف و می‌تواند در بخش سیاستهای کلان آورده شود. آیتمهای ۴ و ۵ از جنس هدف نیستند و در بخش راهبردها یا اقدامات آورده شوند. اهداف باید حتی الامکان کمی (SMART) باشند.

بر اساس اعمال نظرات خبرگان، اهداف کلان نهایی در افق زمانی سند به شرح زیر تدوین شدند:

۱- افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق
۲- کاهش متوسط هزینه سالیانه نگهداری سازه‌های تولید، انتقال و توزیع در سطح کل کشور به میزان حداقل ۵ درصد
۳- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۲۰ الی ۵۰ درصد متناسب با شرایط محیطی
٤- کمک به افزایش تاب‌آوری و نیل به پایایی مطلوب شبکه با به حداقل رساندن خرابی سازه‌ها
٥- اکتساب و توسعه دانش فنی و پیاده‌سازی نظام پایش سلامت، نگهداری و مقاوم‌سازی سازه‌ها در ۳۵ واحد نیروگاهی، ۱۰ درصد شبکه انتقال و فوق‌توزیع کشور در شرکت‌های برق منطقه‌ای و ۱۰ درصد شبکه توزیع در شرکت‌های توزیع برق؛ بر حسب اولویت

۳-۳-به‌روزرسانی راهبردهای سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در سطح ملی

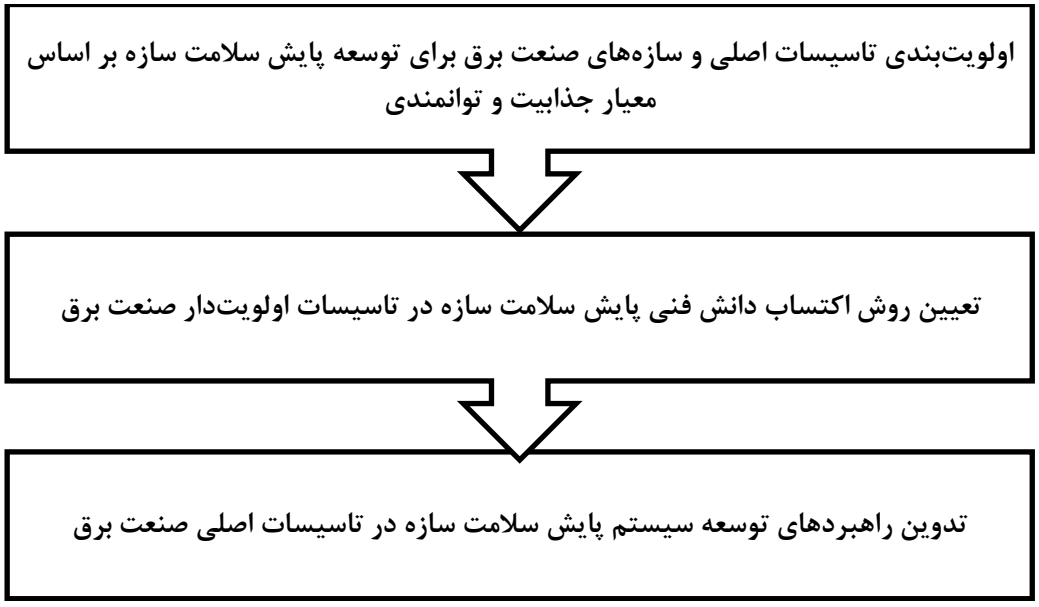
در گام سوم از مرحله سوم بازبینی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، به بازنگری در راهبردها پرداخته می‌شود. راهبردها مجموعه جهت‌گیری‌های اصلی برای دستیابی به اهداف را مشخص می‌کنند. هنگام تدوین ارکان جهت‌ساز در سند اولیه، راهبردهای کلان با تعیین اولویت‌های پیاده‌سازی فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق (با استفاده از تحلیل جذابیت-توانمندی و نظر خبرگان) طراحی شدند. فرض اصلی در تدوین راهبردها این بود که به دلیل تنوع اجزای دانش، روش‌ها و فناوری‌هایی که در حوزه پایش سلامت سازه قرار می‌گیرند و عدم تأکید بر توسعه فناوری‌های خاصی در این حوزه و همچنین عدم وجود تجربه کافی پیاده‌سازی آنها در صنعت برق کشور، اولویت‌بندی در میان انواع روش‌های پایش سلامت در سند انجام نشده و تنها تأسیسات مهم و اولویت‌دار صنعت در این سند مشخص گردیده و انتخاب روش مناسب پایش و فناوری‌های متناسب با آن برای سازه ها یا تأسیسات اولویت‌دار، بر اساس مطالعات امکانسنجی فنی و اقتصادی در پروژه‌های سند انجام گردد. از طرف دیگر، اولویت‌بندی بطور کلی و مستقل از توزیع جغرافیایی تأسیسات صورت گرفته و مقرر شد تا اولویت‌بندی با جزئیات بیشتر (با لحاظ موقعیت قرارگیری تأسیسات در جغرافیای کشور و مخاطرات تهدیدکننده آنها) در پروژه‌ها انجام گردد. بنابراین اولویت‌بندی با استفاده از نظر خبرگان در خصوص جذابیت (میزان نیاز) و توانمندی موجود در کشور در خصوص پیاده‌سازی پایش سلامت سازه در میان تأسیسات مختلف صنعت برق (در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) انجام شده و در ادامه آن برای تأسیسات اولویت‌دار، سبک اکتساب دانش فنی و پیاده‌سازی آن نیز مشخص گردید.

مبانی و مفروضات کلی تعیین راهبردهای سند که در پاراگراف فوق عنوان گردید، کماکان صادق و معتبر بوده و بر این اساس، رویکرد کلی تعیین راهبردها (اولویت‌بندی تأسیسات اصلی صنعت برق و تعیین سبک اکتساب

پیاده‌سازی فناوری‌های پایش سلامت در سازه‌های آنها) در این بازنگری نیازی به تغییر ندارد. معالوصف، اولویت‌های تعیین شده و سبک اکتساب پیشنهاد شده برای آنها، با توجه به بازخورهای حاصل از اجرای سند و نیازهای تشخیص داده شده در تعامل با ذینفعان (بخصوص شرکت‌های مادرتخصصی) و همچنین کسب نظرات مجدد از تعدادی از خبرگان، مجدداً در این مرحله مورد بازنگری قرار گرفته است. علاوه بر این، سازه‌های موجود در سامانه‌های دارای اولویت نیز با استفاده از تحلیل جذابیت-توانمندی اولویت‌بندی شدند که جزئیات آن در بخش‌های بعد ارائه شده است.

از دیدگاه دیگر، با توجه به نظرات اصلاحی مشاور عالی فناوری در بازنگری اسناد، اولویت‌بندی منطقه‌ای در سطح کشور نیز برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها در بخش‌های نیروگاهی و شبکه انتقال و فوق‌توزیع (خطوط و پست‌ها) انجام شد. همچنین با توجه به بازنگری‌های صورت گرفته در مراحل قبلی و تأکید بیشتر بر حوزه شناسایی مخاطرات محیطی و ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر آنها (علاوه بر حوزه پایش سلامت و شناسایی فنی سازه‌ها)، تعیین اولویت‌های حوزه مخاطرات محیطی نیز مورد نیاز خواهد بود که در این بازنگری مورد نظر قرار گرفته و در ادامه این بخش از گزارش، نتایج حاصله ارائه شده‌اند.

در این بخش ابتدا اولویت‌بندی تأسیسات اصلی صنعت برق و سازه‌های آنها برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه در آنها، به همراه اولویت‌بندی منطقه‌ای و اولویت‌بندی مخاطرات مؤثر ارائه می‌شود. سپس روش اکتساب دانش فنی بکارگیری این سیستم در تاسیسات و سازه‌های مختلف ارائه می‌شود. در انتها راهبردهای تدوین شده برای توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ارائه می‌گردد. روال تدوین راهبردها در این سند، در شکل ۹-۳ آمده است.



شکل ۹-۳- مدل مفهمومی تدوین راهبردها

۳-۳-۱- اولویت‌بندی سامانه‌ها و تأسیسات اصلی صنعت برق بر اساس تحلیل

جذابیت-توانمندی

تعیین اولویت‌های توسعه و انتخاب حوزه‌های برگزیده فناوری در قالب راهبرد پورتفولیو به‌انجام می‌رسد. زمانی که انتخاب اولویت‌ها مورد نظر است، روش فناوری‌های حیاتی یا کلیدی، یک رویکرد ارزشمند و مفید جهت ارزیابی حوزه‌های تحقیقاتی و فناوری‌های مختلف به شمار می‌رود. در این روش با اندازه‌گیری میزان اهمیت یا کلیدی بودن هر حوزه، فهرستی از حوزه های مهم و کلیدی فناورانه را برای سرمایه‌گذاری و توسعه مشخص می‌گردد. نوع سؤالاتی که معمولا جهت شناسایی فناوری‌های کلیدی پرسیده می‌شود از این قبیل است:

- حوزه‌های کلیدی فناوری برای توسعه کدامند؟
- فناوری‌های حیاتی که باید به وسیله منابع عمومی حمایت شوند، کدامند؟
- چه معیارهایی باید به منظور انتخاب فناوری‌های حیاتی به کار گرفته شوند؟
- شاخص‌های اندازه‌گیری هر معیار چیست؟
- براساس معیارهای انتخاب شده، فناوری های اولویت‌دار برای توسعه و سرمایه‌گذاری کدامند؟

روش پیشنهادی برای این مولفه حاصل از جمع‌بندی روش‌های مختلف راهبرد ملی و بنگاهی فناوری است. از آنجا که هدف راهبرد پورتفولیو اولویت‌بندی حوزه‌های فناورانه است، باید از روشی استفاده شود که قادر به برآوردن این مولفه باشد. از میان روش‌های مختلف، روش فناوری‌های حیاتی که به انتخاب فناوری های مهم با دو معیار جذابیت و امکان‌پذیری می‌پردازد، به‌عنوان مبنای روش پیشنهادی استفاده می گردد. در این روش پیشنهادی، تعیین فناوری های برگزیده با استفاده از ماتریس دو بعدی جذابیت قابلیت[1] (توانمندی) صورت می‌پذیرد. در این روش، بر اساس دو دسته معیار جذابیت و توانمندی به مقایسه میان گزینه‌های مختلف رقیب پرداخته می‌شود. شاخص جذابیت بیان کننده ابعاد ذاتی گزینه‌هایی است که برای سیاست‌گذار دارای مطلوبیت هستند. در مقابل، شاخص توانمندی به دنبال ارزیابی قابلیت‌های موجود در برگزیدن هر یک از گزینه‌هاست.

بدین منظور در این سند، ابتدا شاخص‌های جذابیت و توانمندی در بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه‌ها در تاسیسات اصلی صنعت برق شناسایی شده و سپس پرسشنامه‌ای (پیوست ۳) برای ارزیابی این شاخص‌ها طراحی شد.. این پرسشنامه در دو سطح تحلیل، تهیه شد. در سطح اول که کلان‌تر می‌باشد، جهت شناسایی تاسیساتی از صنعت برق که بکارگیری سیستم پایش سلامت در آنها از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد، جذابیت و توانمندی بکارگیری پایش سلامت در تأسیسات اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مورد بررسی قرار گرفته‌است. بعد از شناسایی تاسیسات اصلی جهت بکارگیری سیستم پایش سلامت در این تاسیسات، از آنجا که هر کدام از تاسیسات دارای انواع مختلفی از سازه‌ها می‌باشند، در سطح بعدی با طرح پرسش‌هایی، جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه، در سازه‌های این تأسیسات مورد بررسی قرار گرفته است. این پرسشنامه‌ها برای خبرگان و متخصصان هر یک از حوزه‌های فناوری شناسایی شده ارسال شده و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها میزان جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در هر یک از سازه‌ها و تأسیسات را مشخص کرد.

[1]- Bi-dimensional matrix of attractiveness-capability

نتایج به دست آمده وارد ماتریس جذابیت-توانمندی شدند و جایگاه هر یک از سازه‌ها و تأسیسات مشخص شد. در ادامه روند اولویت‌بندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق توضیح داده شده است.

۳-۳-۱-۱- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی

همان‌طور که اشاره شد، جذابیت یک فناوری به ویژگی‌ها و موقعیت آن فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها بر می‌گردد. تعیین موقعیت نسبی جایگاه یک فناوری از سوی متخصصان، میزان جذابیت آن را مشخص خواهد کرد. برای اندازه‌گیری جذابیت توسعه یک فناوری ابتدا باید شاخص‌های مرتبط با آن را شناسایی کرد. نمونه‌ای از شاخص‌های جذابیت موجود در ادبیات عبارتند از:

- تنوع کاربرد فناوری
- هزینه‌های دستیابی به دانش فنی فناوری
- میزان منافع اقتصادی ناشی از به کارگیری فناوری
- میزان اشتغال‌زایی ناشی ازتوسعه فناوری و ...

برای تعیین شاخص‌های مرتبط در این سند، ابتدا مجموعه‌ای از شاخص‌های موجود در ادبیات شناسایی شد و پس از بررسی کارشناسان و خبرگان به تأیید رسید. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های جذابیت یک فناوری میزان کارآمدی آن در برآورده کردن هدف توسعه فناوری است. بنابراین شاخصی که بتواند اهداف مورد نظر از توسعه فناوری پایش سلامت را اندازه‌گیری کند، از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اهداف اصلی بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، کاهش خسارات حاصل از خرابی سازه‌ها است. ازاینرو تاسیساتی برای بکارگیری فناوری پایش سلامت از جذابیت بالاتری برخوردار هستندکه خسارات و پی‌آمدهای ناشی از وقوع خرابی در سازه‌های این تاسیسات، بیشتر و اثرگذارتر باشد. شاخص‌های تعیین شده برای ارزیابی جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات اصلی صنعت برق عبارتند از:

۱- میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق
۲- آسیب‌های احتمالی به محیط زیست در صورت وقوع خرابی کلی در این تأسیسات
۳- اثرات منفی اجتماعی در صورت قطع عملکرد این تأسیسات
٤- میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی
٥- خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد این تأسیسات
٦- هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
۷- میزان فوریت دستیابی کشور ما به فناوری پایش سلامت در این تأسیسات
۸- پتانسیل وقوع خرابی کلی در سازه‌های این تأسیسات که منجر به قطع عملکرد می‌شود

توانمندی یک فناوری به میزان قابلیت دستیابی به آن فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها برمی‌گردد. تعیین موقعیت نسبی توانایی در دستیابی به یک فناوری از سوی متخصصان، میزان توانمندی آن را مشخص خواهد کرد. برای اندازه‌گیری توانمندی توسعه یک فناوری ابتدا باید شاخص‌های مرتبط با آن را شناسایی کرد. نمونه‌ای از شاخص‌های توانمندی موجود در ادبیات عبارتند از:

- وضعیت دسترسی به دانش فنی، مواد اولیه و قطعات مربوط به فناوری
- وضعیت دسترسی به منابع انسانی متخصص برای توسعه فناوری
- وضعیت دسترسی به زیرساخت نرم مورد نیاز برای توسعه فناوری
- هماهنگی ذینفعان و نهادهای مسئول توسعه فناوری و ....

بر اساس بررسی و شناسایی شاخص‌های مرتبط با توانمندی در ادبیات فنی، شاخصهای متناسب با موضوع سند تعیین و پس از بررسی کارشناسان و خبرگان به تأیید رسید. شاخص‌های تعیین شده برای ارزیابی توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در تاسیسات اصلی صنعت برق عبارتند از:

۱- وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در این تأسیسات
۲- وضعیت زیر ساخت‌های نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
۳- وضعیت زیر ساخت‌های سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
٤- وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد (دارای دانش و تجربهٔ کافی) برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
٥- وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه سیستم پایش سلامت سازه در این تاسیسات
٦- وجود قوانین و سیاست های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
۷- وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه ها و سازمان‌های مرتبط را برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تاسیسات

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، جهت تحلیل دقیق‌تر، پرسشنامه‌ای نیز به منظور اولویت‌بندی سازه‌های موجود در تاسیسات اصلی صنعت برق جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در آنها، تهیه گردید. در واقع نتایج این پرسشنامه کمک می‌کند که پس از شناسایی تاسیسات با اولویت، سیستم پایش سلامت را در یک برنامه زمانی مناسب با توجه به نتایج اولویت سازه‌های تاسیسات، در آنها توسعه داد.

۳-۳-۱-۲- ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در تأسیسات و سامانه‌های اصلی صنعت برق

در این بخش به بررسی روش ارزیابی شاخص‌ها پرداخته می شود. روش‌های مختلفی برای ارزیابی وجود دارد (از روش‌های ریاضی محض گرفته تا روش‌های کاملاً کیفی همچون پنل خبرگان) که روش منتخب در این قسمت، استفاده از نظر کارشناسان از طریق ارسال پرسشنامه است.

پرسشنامه طراحی شده حاصل ساعت‌ها تلاش کارشناسان بوده و سعی شده است تا حد ممکن گویا و موجز باشد تا برای فرد پاسخ دهنده خسته‌کننده نباشد. از طرف دیگر سوالات به نحوی طراحی شده است که پاسخ آن‌ها توانایی تفکیک جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در تاسیسات مختلف صنعت برق را داشته باشد. به منظور ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق، پرسشنامه‌ای شامل ۱۵ سوال که ۸ سوال آن مربوط به ارزیابی جذابیت و ۷ سوال مربوط به ارزیابی توانمندی است، طراحی گردید. همچنین به منظور ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در

سازه‌های اصلی این تاسیسات پرسشنامه‌ای شامل ۱۰ سوال (۶ سوال مربوط به ارزیابی جذابیت و ۴ سوال مربوط به ارزیابی توانمندی) طراحی گردید. این پرسشنامه‌ها برای ۳۵ نفر از کارشناسان و خبرگان حوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) ارسال گردید. از پرسشنامه‌های ارسالی، در مجموع ۲۵ پرسشنامه دریافت شد (اسامی و سمت این افراد در جدول ۹-۳ ذکر گردیده است) که نتایج این پرسشنامه‌ها وارد نرم افزار اکسل شد و محاسبات لازم برای ارزیابی انجام شد.

جدول ۹-۳- اسامی و سمت افراد تکمیل کننده پرسشنامه جذابیت- توانمندی

ردیف	اسامی خبرگان	سمت
۱	دکتر لطف‌اللهی	عضو هیأت علمی دانشگاه تبریز
۲	دکتر کرمی محمدی	عضو هیآت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
۳	دکتر جعفری	عضو هیآت علمی گروه سازه پژوهشگاه نیرو و مدیر پروژه
۴	دکتر شاه‌حسینی	عضو هیآت علمی دانشگاه امیرکبیر
۵	مهندس رهنورد	مجری سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق-پژوهشگاه نیرو
۶	مهندس صمدیفام	معاونت بهره‌برداری نیروگاه بعثت
۷	دکتر بحری	مدیر گروه طراحی توربین بادی- پژوهشگاه نیرو
۸	مهندس فرضعلی‌زاده	رئیس پژوهشکده انتقال- پژوهشگاه نیرو
۹	مهندس سربندی‌فراهانی	رئیس مرکز نگهداری و تعمیرات نیروگاها-پژوهشگاه نیرو
۱۰	مهندس قبادی	مدیر دفتر فنی طرحهای انتقال نیرو-سازمان توسعه برق
۱۱	مهندس آسایش	رئیس پژوهشکده تولید- پژوهشگاه نیرو
۱۲	مهندس مرادیان	مدیر عامل-شرکت افق هسته ای
۱۳	مهندس باباجانی	معاونت بهره برداری-نیروگاه شهید سلیمی (نکا)
۱۴	مهندس جاذبی	رئیس گروه طراحی و سازه-توسعه ۱ مپنا
۱۵	مهندس رضایی	کارشناس معاونت بهره برداری-شرکت توزیع تهران بزرگ
۱۶	مهندس قریب	کارشناس سازه-گروه مپنا
۱۷	مهندس فتحی	مدیر گروه طراحی سازه‌های انتقال- شرکت قدس نیرو
۱۸	مهندس میرزالو	مدیر دفتر فنی طرحهای نیروگاهی-سازمان توسعه برق
۱۹	مهندس دوستی‌مهر	کارشناس دفتر فنی انتقال-شرکت برق منطقه ای تهران
۲۰	مهندس حسین پور سلیمانی	کارشناس سازه- نیروگاه رامین اهواز
۲۱	مهندس تقوی منش	کارشناس سازه-شرکت مونتکو ایران
۲۲	مهندس قنبری	معاونت بهره برداری- برق خراسان
۲۳	دکتر علیپور	مدیر کل دفتر فنی انتقال توانیر
۲۴	مهندس خودسیانی	کارشناس دفتر پشتیبانی فنی توزیع-توانیر
۲۵	مهندس بخشنده	کارشناس بهره‌برداری برق منطقه‌ای مازندران

جهت محاسبه نتایج نهایی پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق، با توجه به این که میزان خبرگی افراد پاسخ‌دهنده متفاوت بود ضروری بود تا نظرات ارائه شده در پرسشنامه بر اساس میزان آشنایی پاسخ‌دهندگان با هر کدام از تاسیسات ارزیابی گردد. بنابراین از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا قبل از پاسخ به سوالات میزان سابقه کار یا پژوهش خود را در هر حوزه مشخص کنند. همچنین با توجه به اهمیت متفاوت شاخص‌ها، برای هر یک از سوالات وزنی در نظر گرفته شد.

مبنای تعیین اوزان نسبی برای سوالات جذابیت این است که مهمترین فاکتور مؤثر در جذابیت بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌ها و تأسیسات، میزان درجه نقش و اهمیت سازه برای بهره‌برداران از آن است. میزان اهمیت سازه‌ها و تأسیسات بر اساس عواقب و پی‌آمدهای حاصل از قطع عملکرد و سرویس‌دهی آنها ارزیابی می‌شود. این پی‌آمد ها می‌توانند در حوزه‌های اقتصادی (خسارات مالی)، اجتماعی، سیاسی و امنیتی، زیست‌محیطی و عملکردی (تأثیر بر سایر تأسیسات) دسته‌بندی شوند که متناظر با هریک از اینها، سوالی در نظر گرفته شده است (سوالات ۱ الی ۵). جهت ارزیابی هرچه دقیقتر جذابیت، علاوه بر فاکتور اهمیت سازه دو فاکتور مؤثر دیگر نیز شامل هزینه دستیابی به سیستم (موضوع سوال ۶) و میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها (موضوع سوالات ۷ و ۸) در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به موارد فوق، سوالات مربوط به ارزیابی اهمیت تأسیسات و سازه‌ها مهمتر از سایر سوالات می‌باشند. از طرف دیگر میزان اطمینان به صحت پاسخ‌های ارائه شده به سوالات اهمیت، بالاتر از سایر سوالات است. (بدلیل عدم اطلاع جامع و کافی افراد از وضعیت پتانسیل وقوع خرابی‌ها). بنابراین وزن هریک از سوالات مربوط به اهمیت، کمی بیشتر از وزن سوالات آسیب‌پذیری و هزینه در نظر گرفته شده است. در مورد اوزان نسبی سوالات توانمندی نیز با توجه به اینکه آشنایی با سیستم پایش سلامت سازه‌ها و استفاده از آن در کشور، جدید بوده و هنوز در مراحل ابتدایی تولید دانش فنی قرار دارد، به ترتیب سوالات مربوط به وضعیت دانش فنی و نیروی انسانی دارای بیشترین وزن نسبی و سوالات مربوط به وضعیت امکانات و زیر ساخت‌های مورد نیاز با وزن متوسط و سوالات مربوط به مرحله اجرای آن در عمل (منابع مالی و وضعیت متقاضیان) با وزن نسبی کمتر در نظر گرفته شده‌اند.

با توجه به مطالب فوق، اوزان تعیین شده برای سوالات، در جدول ۱۰-۳ و جدول ۱۱-۳ آمده است.

جدول ۱۰-۳ وزن سوالات جذابیت

ردیف	سوال جذابیت	وزن
۱	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق	۰/۱۵
۲	آسیب‌های احتمالی به محیط زیست را در صورت وقوع خرابی کلی در این تأسیسات	۰/۱۵
۳	اثرات منفی اجتماعی در صورت قطع عملکرد تأسیسات	۰/۱۵
۴	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی	۰/۱۵
۵	خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد تأسیسات	۰/۱۵
۶	هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی سیستم پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۰۵
۷	میزان فوریت دستیابی کشور ما به سیستم پایش سلامت در تأسیسات	۰/۱
۸	پتانسیل وقوع خرابی کلی در سازه‌های این تأسیسات	۰/۱

جدول ۱۱-۳- وزن سوالات توانمندی

ردیف	سوال توانمندی	وزن
۱	وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۲۵
۲	وضعیت زیر ساخت‌های نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۱۵
۳	وضعیت زیر ساخت‌های سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۱۵
۴	وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۲
۵	وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات	۰/۱
۶	قوانین و سیاست های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۰/۰۵
۷	وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه ها و سازمان ها برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات	۰/۱

منطق تعیین امتیاز نهایی جذابیت و توانمندی در یک فناوری نیز به این صورت بوده که در ابتدا از خبرگان خواسته شد به هر سوال امتیازی بین ۱ تا ۱۰ دهند. در ادامه میانگین وزنی جذابیت‌ها و توانمندی‌های ارائه شده توسط خبرگان مختلف برای هر فناوری با لحاظ نمودن ضریب اهمیت هر سوال محاسبه گردید. در مرحله بعد جهت لحاظ نمودن ضریب آشنایی افراد، ضریب آشنایی هر فرد در میانگین وزنی جذابیت و توانمندی هر سوال ضرب شده و در نهایت مجموع به دست آمده از ضرب آشنایی هر خبره در امتیاز نهایی هر فناوری، بر جمع ضرایب آشنایی تقسیم گردید. بدین ترتیب برای هر فناوری عدد بین ۱تا ۱۰ بدست آمد که این اعداد، اعداد جذابیت و توانمندی نهایی بوده که در جدول ۱۲-۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۱۲-۳- جمع‌بندی نتایج جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۳	۴/۹۴
۲	پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۸۰
۳	پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۴	پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۵	پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۶	پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۷	پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۴
۸	پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۴
۹	پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۰	پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲
۱۱	پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۴	۴/۸۱

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱۲	پایش سلامت سازه در پست های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۱۳	پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۱۴	پایش سلامت سازه در پست های فوق توزیع	۴/۳۶	۵/۴۴
۱۵	پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۹۰	۵/۰۵
۱۶	پایش سلامت سازه در پست های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹

۳-۳-۱-۳- تحلیل نتایج

در ابتدا می‌توان میزان جذابیت و توانمندی را تفکیک کرد و نتایج مربوط به بکارگیری فناوری پایش سلامت را در تاسیسات اصلی صنعت برق بر اساس هر یک از این دو معیار مرتب نمود. نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت و توانمندی به ترتیب در جدول ۱۳-۳ و جدول ۱۴-۳ نشان داده شده اند.

جدول ۱۳-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۲	پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۳	۴/۹۴
۳	پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۴	پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۵	پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۷۹
۶	پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۴	۴/۸۱
۷	پایش سلامت سازه در پست های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۸	پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۹	پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۳
۱۰	پایش سلامت سازه در پست های فوق توزیع	۴/۳۶	۵/۴۴
۱۱	پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۹۰	۵/۰۴
۱۲	پایش سلامت سازه در پست های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹
۱۳	پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲
۱۴	پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۱۵	پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۶	پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۵

براساس جدول فوق بکارگیری سیستم پایش سلامت در نیروگاه هسته‌ای، بخاری و برق‌آبی دارای بیشترین جذابیت و در نیروگاه دیزلی، نیروگاه زمین گرمایی و نیروگاه خورشیدی دارای کمترین جذابیت می‌باشد.

جدول ۱۴-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

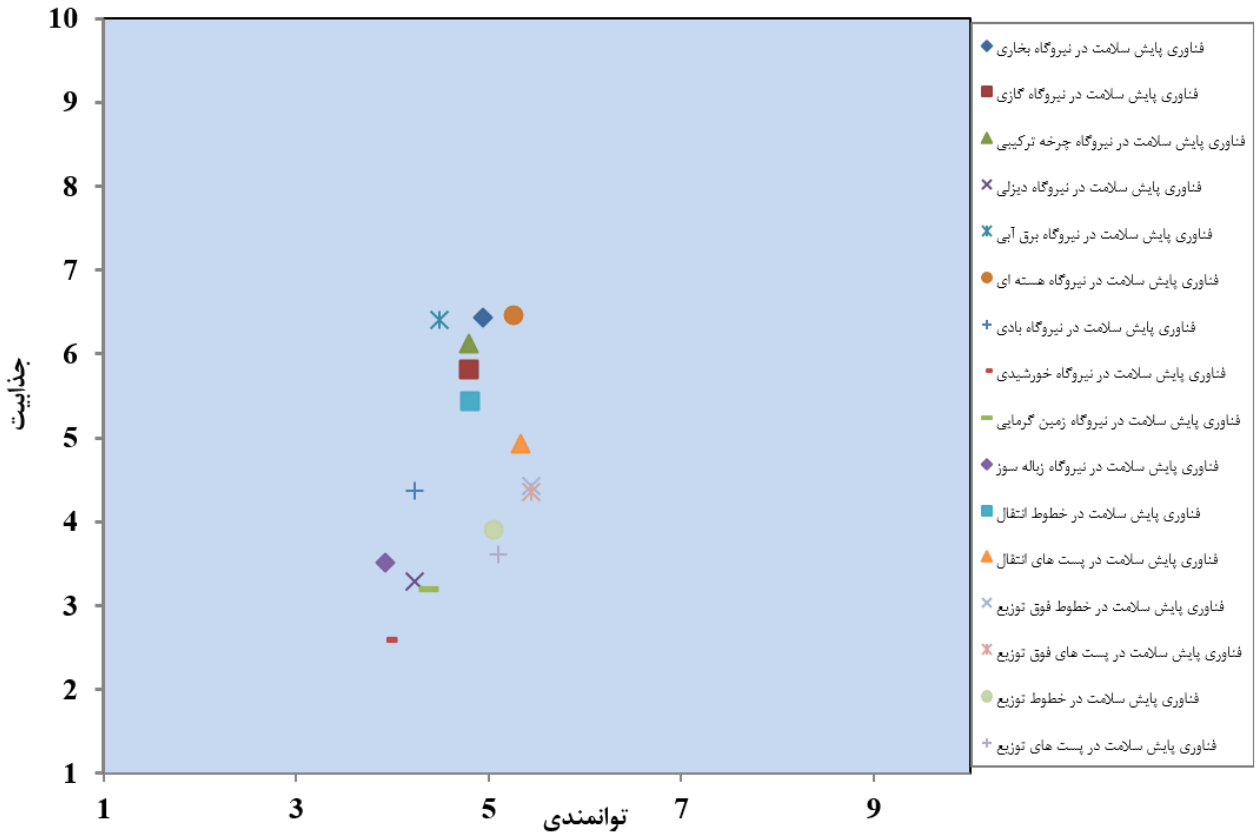
ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۲	پایش سلامت سازه در پست های فوق توزیع	۴/۳۵	۵/۴۴
۳	پایش سلامت سازه در پست های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۴	پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۵	پایش سلامت سازه در پست های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹
۶	پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۸۹	۵/۰۵
۷	پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۲	۴/۹۴
۸	پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۳	۴/۸۱
۹	پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۸۰
۱۰	پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۱۱	پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۱۲	پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۳	پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۴
۱۴	پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۱۵	پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۵
۱۶	پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲

براساس جدول فوق بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع و پست‌های انتقال دارای بیشترین توانمندی و در نیروگاه دیزلی، نیروگاه خورشیدی و نیروگاه زباله‌سوز دارای کمترین توانمندی می‌باشد.

۳-۳-۱-٤- ماتریس جذابیت-توانمندی توسعه پایش سلامت سازه در سامانه‌های اصلی صنعت برق

قسمت اصلی تحلیل نتایج با توجه به متدولوژی، از طریق تعیین جایگاه در ماتریس جذابیت –توانمندی صورت می‌گیرد. همان طورکه از نام این ماتریس نیز مشخص است از دو بعد جذابیت و توانمندی تشکیل شده است.

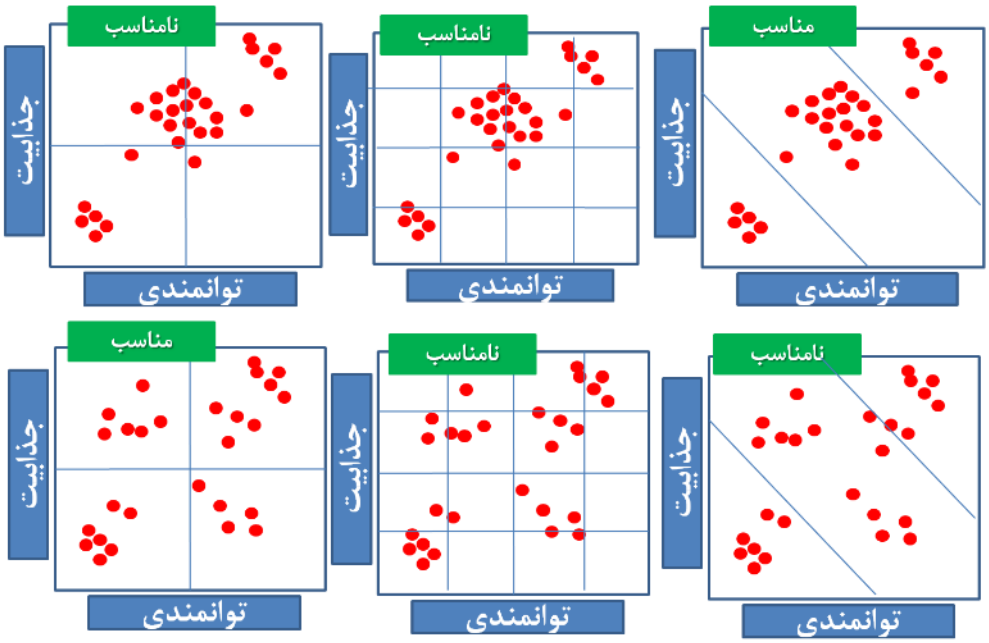
بر اساس معیارهای مطرح شده در ابتدای بخش و جمع بندی نتایج پرسشنامه‌ها هر کدام از ابعاد جذابیت و توانمندی تعیین شده‌اند و کافی است که این مقادیر در ماتریس نمایش داده شوند. ماتریس اولیه‌ای که حاصل می‌شود در شکل ۱۰-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت در تأسیسات صنعت برق

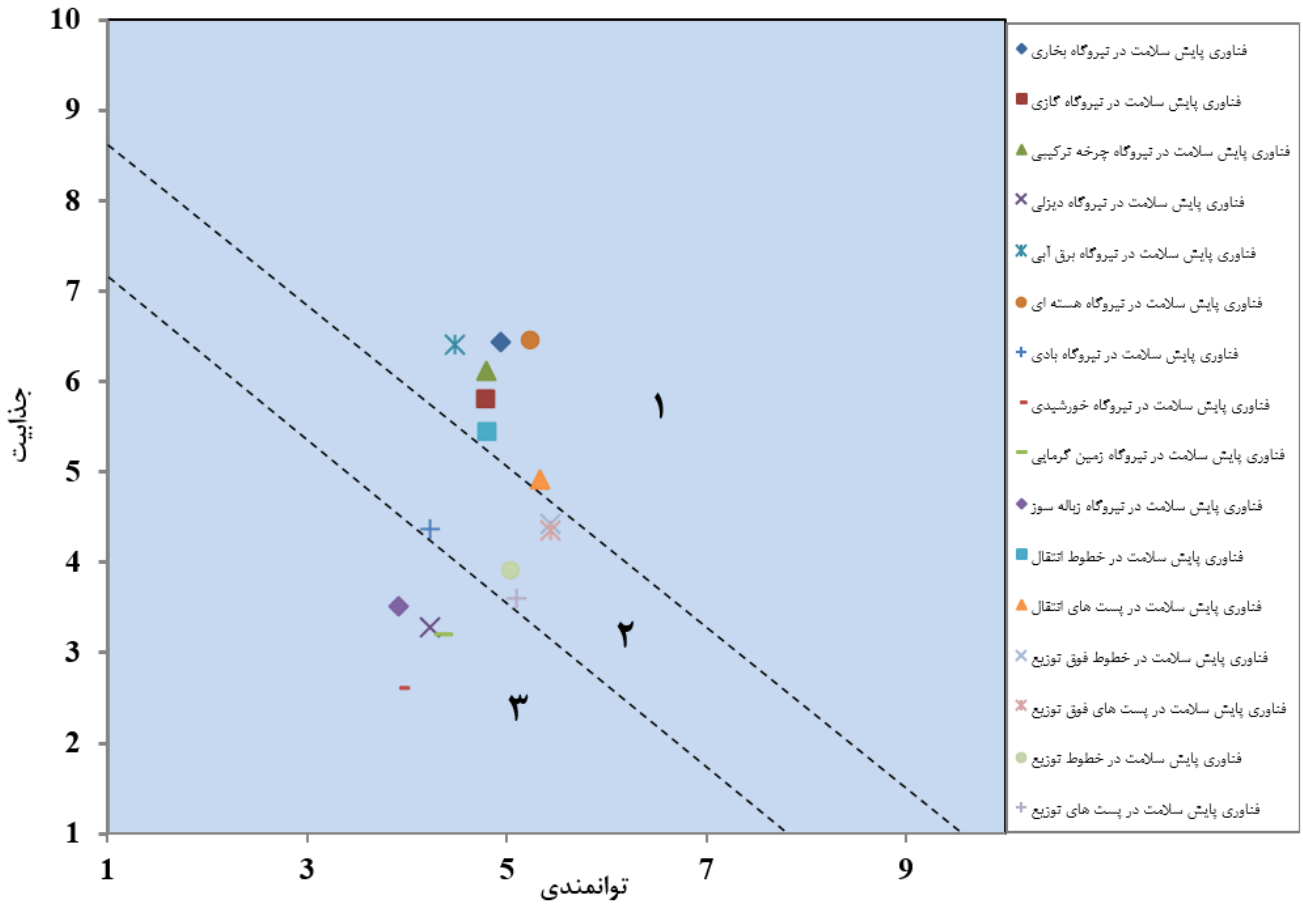
۳-۳-۱-۵- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت-توانمندی

با توجه به ادبیات موضوع، این ماتریس به چند منطقه باید تقسیم شود تا بتوان بر اساس آن، دست به انتخاب زد. این ماتریس، بیانگر جایگاه جذابیت و امکان‌پذیری هر یک از فناوری‌ها است. در این ماتریس برای تقسیم‌بندی می‌توان از تقسیم به سه ناحیه (با استفاده از خطوط شیب دار)، چهار ناحیه، نه ناحیه و شانزده ناحیه استفاده نمود. تعداد و نحوه نواحی در نظر گرفته شده در ماتریس جذابیت-توانمندی وابسته به پارامتر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی می‌باشد. در واقع ناحیه‌بندی در نظر گرفته شده باید به گونه‌ای انجام پذیرد که بتوان دسته فناوری‌ها را از هم تمیز داد، به عبارت دیگر فناوری‌های دارای توانمندی و جذابیت تقریباً یکسان در یک ناحیه قرار گیرند. نحوه صحیح دسته‌بندی با توجه به پراکندگی زیرفناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی در شکل ۱۱-۳ ارائه شده است. در مجموع ترجیح داده می‌شود که از یک سو تا حد امکان تعداد نواحی انتخاب شده در ماتریس کمتر بوده و از سوی دیگر زیرفناوری‌ها بر روی مرزهای نواحی مختلف قرار نگیرند.



شکل ۱۱-۳- اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت و توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس

در این میان با توجه به ماتریس به دست آمده (نحوه پراکندگی فناوری‌ها در سطح ماتریس) و نوع انتخاب در این پروژه از روش تقسیم به سه ناحیه (با استفاده از خطوط شیب‌دار) استفاده شد. شکل ۱۲-۳ تقسیم‌بندی سه ناحیه ای ماتریس جذابیت وتوانمندی را نشان می دهند.



شکل ۱۲-۳- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

در شکل ۱۲-۳، سه ناحیه مشخص شده است. بر این اساس روش اکتساب فناوری‌های هر کدام از ناحیه‌های سه‌گانه به طور کلی به صورت زیر است.

- **توسعه درون‌زا:** این روش به ناحیه یک بر می‌گردد و در این ناحیه، استراتژی انتخابی توسعه درون‌زا است. توسعه درون‌زا یعنی توسعه‌ای که به صورت همه‌جانبه و در داخل کشور باید صورت گیرد و معمولا از تحقیق و توسعه برای کسب یک فناوری شروع می‌شود. در حقیقت هنگامی که یک فناوری از جذابیت بالایی برخوردار است، چنانچه توانمندی دستیابی به آن فناوری نیز از میزان قابل قبولی برخوردار باشد، توسعه‌ی همه جانبه آن در کشور روش اکتساب مناسب آن فناوری خواهد بود.
- **انتقال فناوری:** این استراتژی به فناوری‌های واقع در ناحیه دو بر می‌گردد. به این معنا که فناوری مورد نظر با روش‌های مختلف انتقال فناوری تهیه خواهند شد. انتقال فناوری از طریق روش‌های زیر انجام می‌گردد: تملک شرکتی، ادغام، سرمایه‌گذاری مشترک، اتحاد، تملک فردی، قرارداد تحقیق و توسعه، سرمایه گذاری در تحقیقات، مشارکت با سهام، لیسانس، و کنسرسیوم. (در این طرح طبق فرایند معرفی شده در شکل ۲۱-۳، فناوری‌هایی که در ناحیه‌ی ۲ قرار گرفته‌اند، جهت افزایش دقت

بار دیگر در معرض اظهار نظر خبرگان قرار خواهد گرفت تا مواردی که از توسعه‌ی درون‌زا و خرید خارجی در آن قرار گرفته پالایش شده و موارد انتقال فناوری مشخص گردد.)

- **چشم‌پوشی:** این استراتژی به فناوری‌هایی بر می‌گردد که در ناحیه سه واقع‌شده‌اند. بنابراین از فناوری‌های این دسته باید چشم‌پوشی کرد و در حیطه توسعه فناوری جایی ندارند. زیرا هنگامی که جذابیت یک فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها پایین باشد و همچنین توانمندی دستیابی به آن فناوری نیز کم باشد، در اولویت‌های توسعه فناوری قرار نمی‌گیرد.

در ناحیه اول، سیستم پایش سلامت در نیروگاه هسته‌ای، نیروگاه بخاری، نیروگاه برق‌آبی، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال و پست‌های انتقال قرار گرفته اند. فناوری‌هایی که در این ناحیه قرار می‌گیرند از طریق توسعه درونزا توسعه می‌یابند. در ناحیه دوم، فناوری‌ها از توانمندی و جذابیت نسبتاً بالایی برخوردار هستند و همان‌طور که اشاره شد اگرچه روش اکتساب فناوری‌های مربوط به این ناحیه، انتقال فناوری می‌باشد اما جهت افزایش دقت، فناوری‌های این ناحیه بار دیگر با استفاده از الگوریتم روش اکتساب مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از این الگوریتم در مورد روش اکتساب این فناوری‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. در این ناحیه فناوری پایش سلامت در خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه بادی قرار گرفته‌اند. در نهایت، فناوری‌های موجود در ناحیه سوم از توانمندی پایین و جذابیت نسبتاً پایینی برخوردار هستند که باید از آن‌ها چشم پوشی کرد. فناوری پایش سلامت در نیروگاه خورشیدی، نیروگاه زباله‌سوز، نیروگاه زمین‌گرمایی و نیروگاه دیزلی در این ناحیه قرار گرفته‌اند.

۳-۳-۲- اولویت‌بندی سازه‌های موجود در سامانه‌های اولویت‌دار صنعت برق بر اساس تحلیل جذابیت-توانمندی

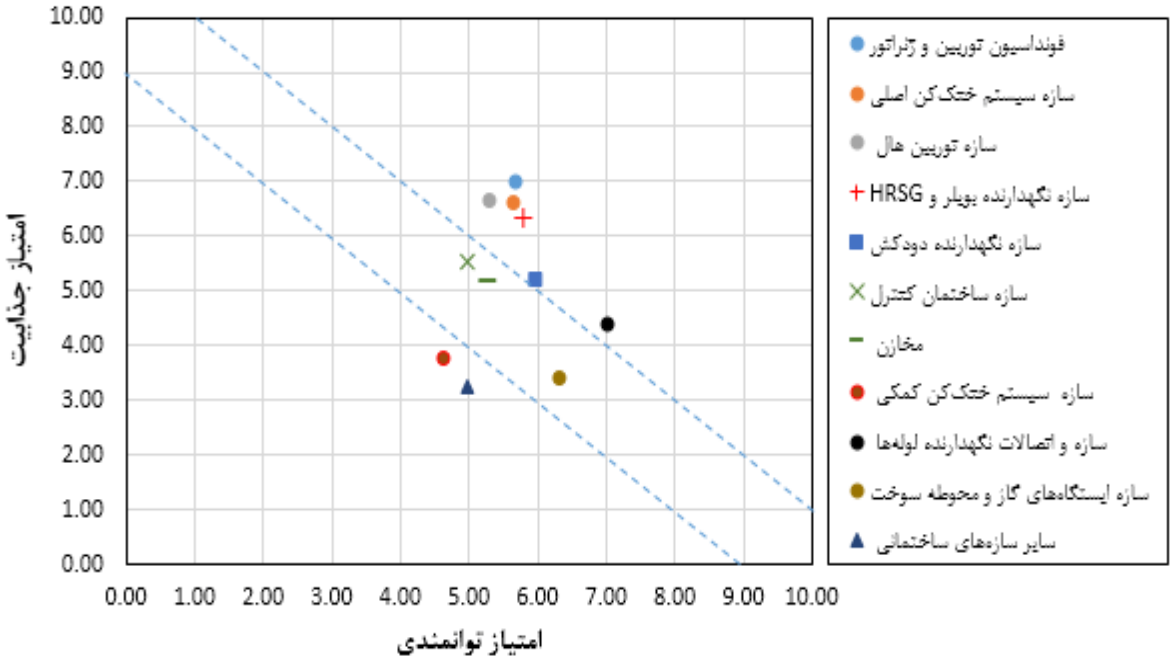
پس از اولویت‌بندی سامانه‌های اصلی صنعت برق، اولویت‌بندی در یک سطح پایینتر که شامل سازه‌های موجود در سامانه‌های اولویت‌دار است نیز، انجام گردید. شاخص‌های جذابیت و توانمندی برای اولویت‌بندی سازه‌های صنعت برق و وزن نسبی آنها، در جدول ۱۵-۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۱۵-۳- شاخص‌های جذابیت و توانمندی در اولویت‌بندی سازه‌ها برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری

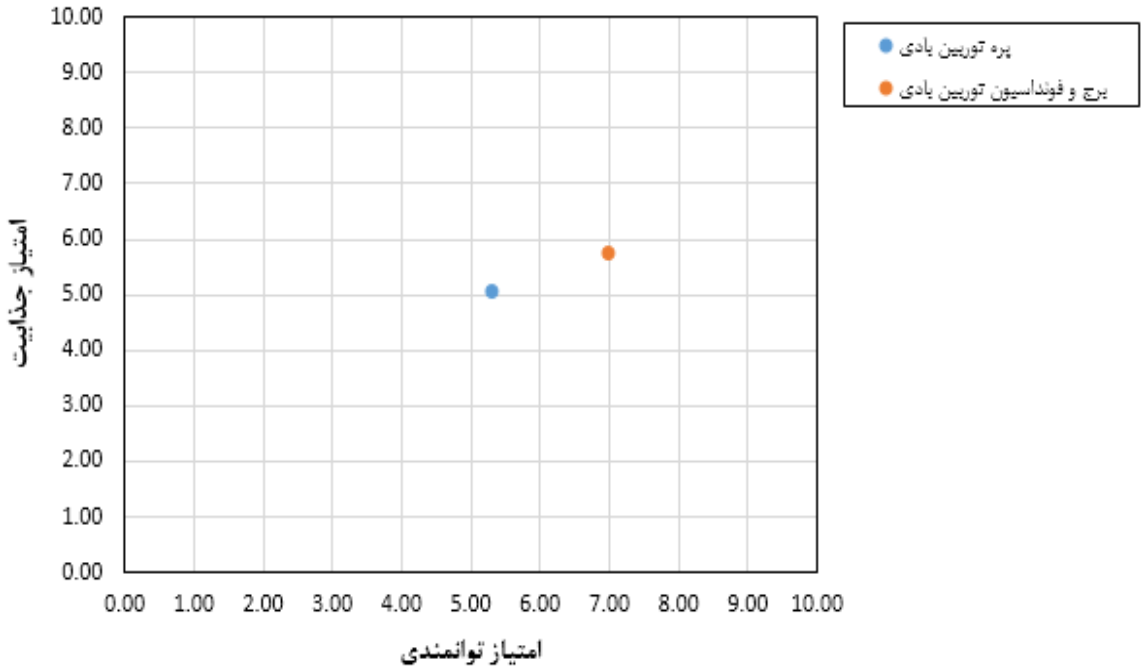
شاخص		وزن نسبی
جذابیت	سوابق وقوع خرابی	1.00
	هزینه‌های خرابی (مستقیم و غیرمستقیم)	1.50
	زمان بازیابی در صورت خرابی	1.50
	خسارات زیست محیطی ناشی از خرابی سازه‌ها	1.50
	خسارت جانی و امنیتی ناشی از خرابی سازه‌ها	1.50
	اخلال در عملکرد سامانه ناشی از خرابی سازه‌ها	1.50
	سهولت دسترسی به سازه برای پایش سلامت	1.00

توانمندی	سادگی رفتاری سازه	1.00
	وجود ابزارهای لازم برای پایش سلامت سازه	0.50
	وجود نیروی انسانی لازم برای پایش سلامت سازه	0.50

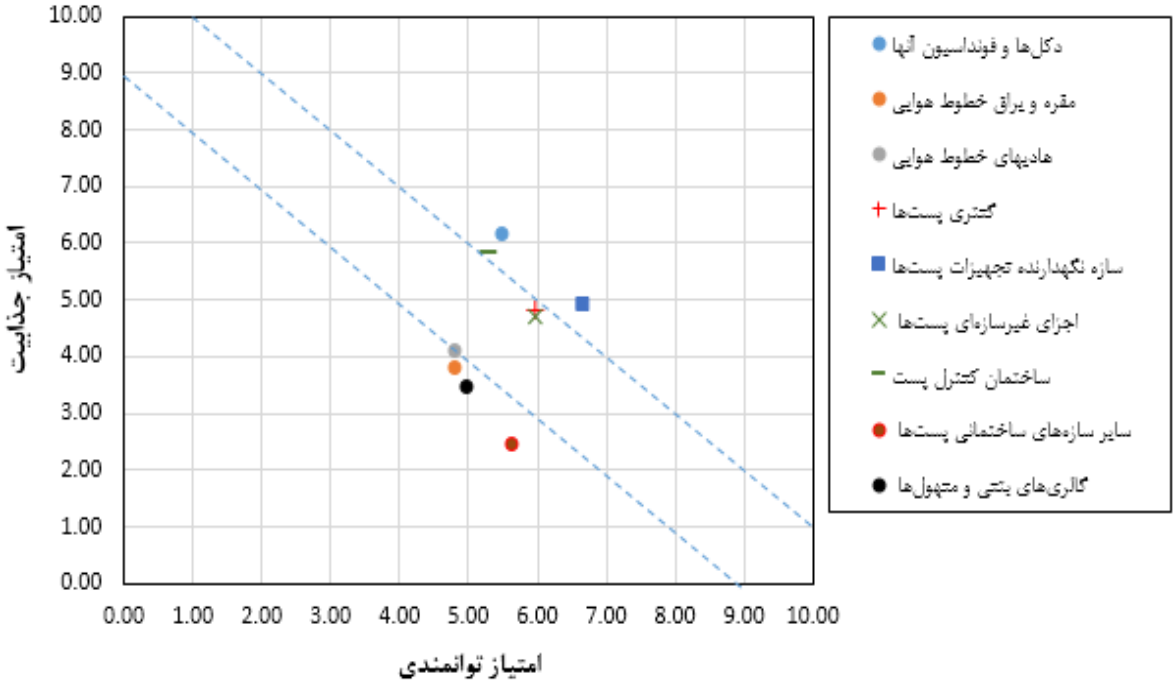
بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی جذابیت و توانمندی، امتیازهای شاخص‌های جذابیت و توانمندی برای سازه‌ها تخصیص داده شده و با محاسبه میانگین وزنی امتیازهای شاخص‌ها، امتیاز نهایی جذابیت و توانمندی سازه‌ها تعیین گردید. نتایج حاصله در قالب ماتریس‌های جذابیت-توانمندی به تفکیک بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در شکل ۱۳-۳ الی شکل ۱۶-۳ ارائه شده‌اند. به منظور تسهیل اولویت‌بندی، ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت-توانمندی با خطوط شیبدار (با توجه به نحوه پراکندگی نقاط) نیز در اشکال مربوطه نشان داده شده است. بر اساس ناحیه‌بندی نمودارها، سازه‌های قرارگرفته در ناحیه اول (ناحیه بالایی خطوط) در اولویت اول پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری قرار داشته و در این سند مورد نظر قرار خواهند داشت. سازه‌های قرار گرفته در ناحیه دوم (بین خطوط شیبدار) در اولویت دوم قرار داشته و برخی از آنها که در اولویت کمتر قرار دارند، از این سند حذف خواهند شد. از سازه‌های قرار گرفته در ناحیه سوم (ناحیه پایین خطوط) نیز در این سند چشم پوشی خواهد شد. نتایج نهایی اولویت‌بندی سازه‌ها که در راهبرد سطح ملی سند منظور شده، در جدول ۱۹-۳ ارائه شده است.



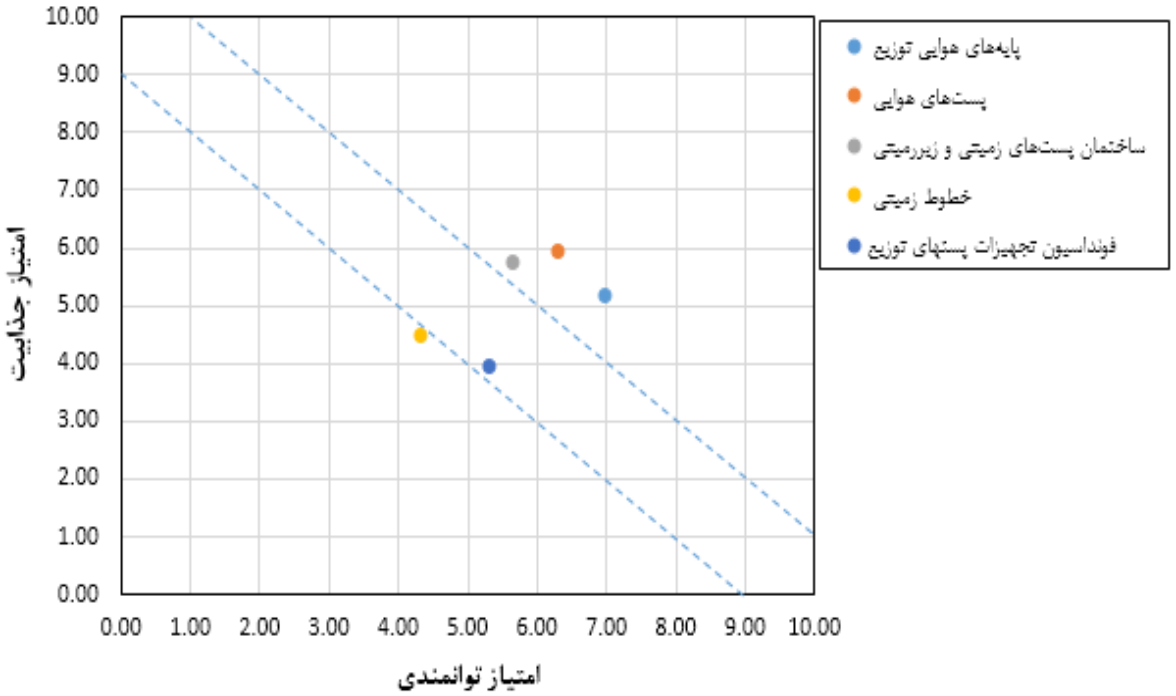
شکل ۱۳-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی



شکل ۱۴-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های نیروگاه‌های بادی



شکل ۱۵-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های بخش انتقال و فوق توزیع



شکل ۱۶-۳- ماتریس جذابیت- توانمندی توسعه و بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های بخش توزیع

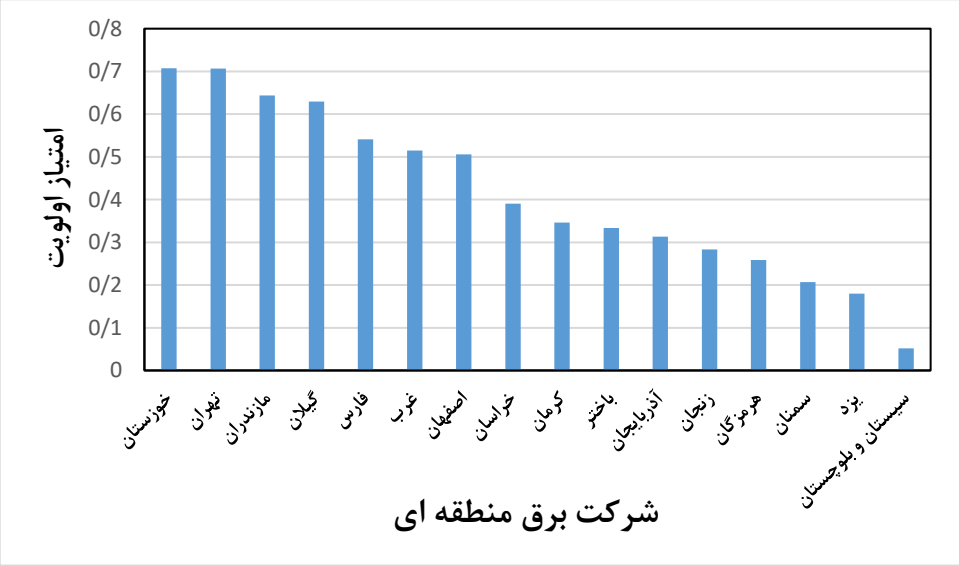
۳-۳-۳- اولویت‌بندی منطقه‌ای سامانه‌های صنعت برق در سطح کشور برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها

علاوه بر نوع سامانه‌ها و سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق، اولویت منطقه‌ای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌های بخش تولید و انتقال نیز در این بخش از گزارش ارائه شده است. بدین منظور، نیروگاه‌های حرارتی موجود در کشور در بخش تولید و شرکت‌های برق منطقه‌ای در بخش انتقال و فوق‌توزیع (به تفکیک برای خطوط و پست‌ها) مورد بررسی قرار گرفته و اولویت‌بندی شده‌اند.

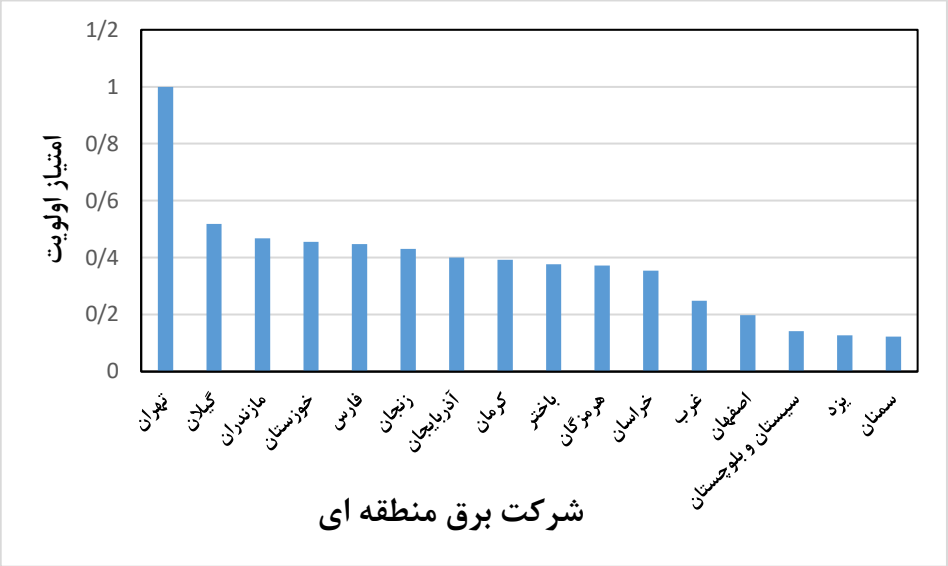
شاخص‌های مورد استفاده برای اولویت‌بندی نیروگاه‌ها با توجه به اطلاعات در دسترس شامل ظرفیت واحد و کل (نماینده اهمیت نیروگاه)، سن نیروگاه یا بخش‌هایی از آن (نماینده میزان آسیب‌پذیری نیروگاه) و میزان نسبی خطر زلزله و فرونشست زمین در محل نیروگاه بر اساس نقشه پهنه‌بندی زلزله و اطلس فرونشست زمین در کشور (نماینده مخاطرات محیطی) می‌باشند. اولویت‌بندی نیروگاه‌ها بر اساس مقادیر امتیازهای تخصیص داده شده (در بازه صفر تا یک) متناسب با شاخص‌های فوق و تلفیق آنها به روش میانگین گیری وزنی و حصول امتیاز کل، به تفکیک برای نیروگاه‌های دولتی و خصوصی انجام شده و نتایج حاصله (امتیاز اولویت برای هریک از نیروگاه‌ها) در شکل ۱۹-۳ و شکل ۲۰-۳ نشان داده شده‌اند. نیروگاه‌های با امتیاز اولویت بزرگتر، دارای اولویت بیشتری برای پایش سلامت و نگهداری سازه‌هایشان می‌باشند.

در اولویت‌بندی برق‌های منطقه‌ای برای پایش سازه‌های خطوط انتقال نیز طی روالی مشابه نیروگاه‌ها، شاخص‌هایی شامل میانگین وزنی سن خطوط در سطوح ولتاژ مختلف (نماینده بخشی از آسیب‌پذیری)، میزان

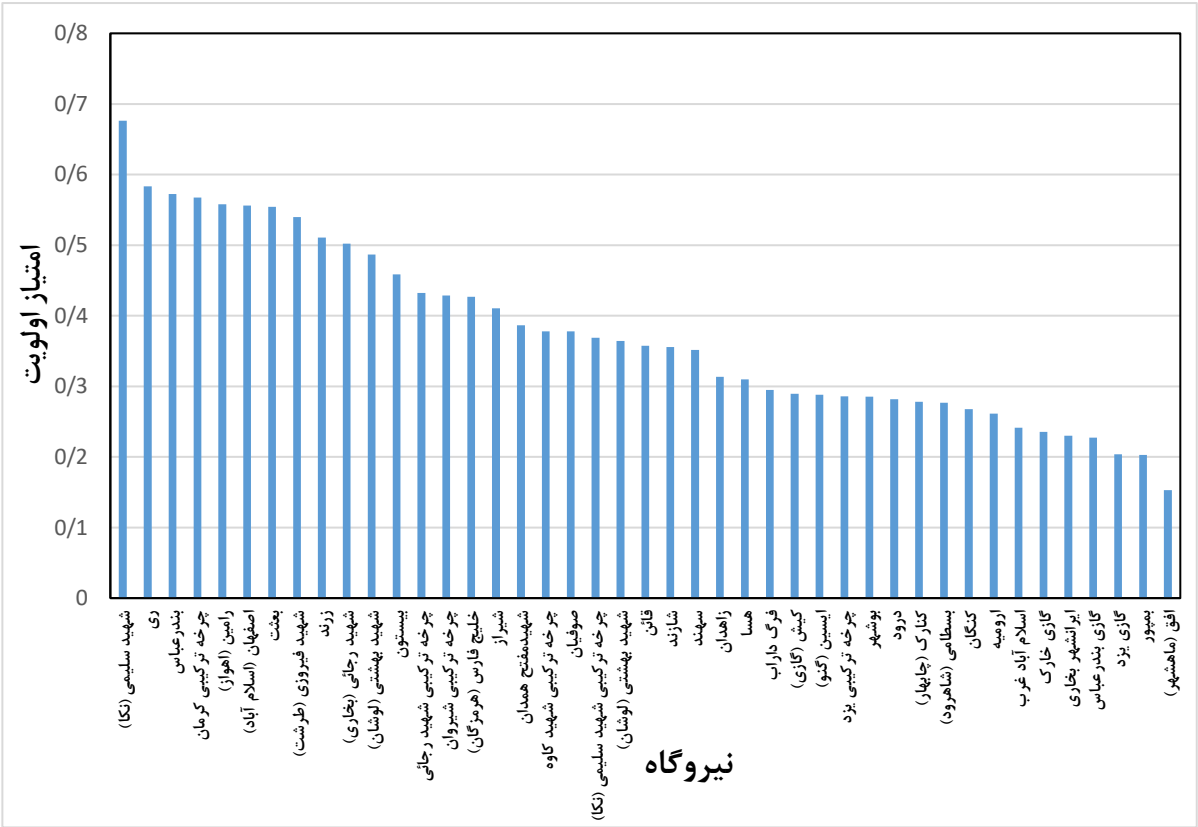
انرژی عبوری سالانه از خطوط برق منطقه‌ای بر حسب مگاوات ساعت در یک سال (نماینده اهمیت برق منطقه‌ای) و میزان فراوانی حوادث رخداده در ۱۰ سال گذشته در دکل‌های انتقال و فوق توزیع (نماینده مخاطرات و آسیب‌پذیری خطوط) مورد استفاده قرار گرفتند. برای سازه‌های پست‌ها نیز شاخص‌هایی شامل تراکم (تعداد در واحد سطح) پست‌ها در سطح برق منطقه‌ای (نماینده آسیب‌پذیری پست‌ها در برابر زلزله)، متوسط لرزه‌خیزی در محدوده برق منطقه‌ای (نماینده خطر نسبی زلزله) و میانگین وزنی ظرفیت پست‌ها در سطوح ولتاژ مختلف (نماینده اهمیت برق منطقه‌ای) مورد استفاده قرار گرفتند. در اینجا نیز میانگین وزنی امتیاز مربوط به هریک از شاخص‌ها (در بازه صفر تا یک) به عنوان امتیاز اولویت برق منطقه‌ای محاسبه و منظور گردید. نتایج حاصله در شکل ۱۷-۳ (اولویت‌بندی برق‌های منطقه‌ای برای پایش سلامت و نگهداری سازه‌های خطوط) و شکل ۱۸-۳ (اولویت‌بندی برق‌های منطقه‌ای برای پایش سلامت و نگهداری سازه‌های پست‌ها) نشان داده شده‌اند.



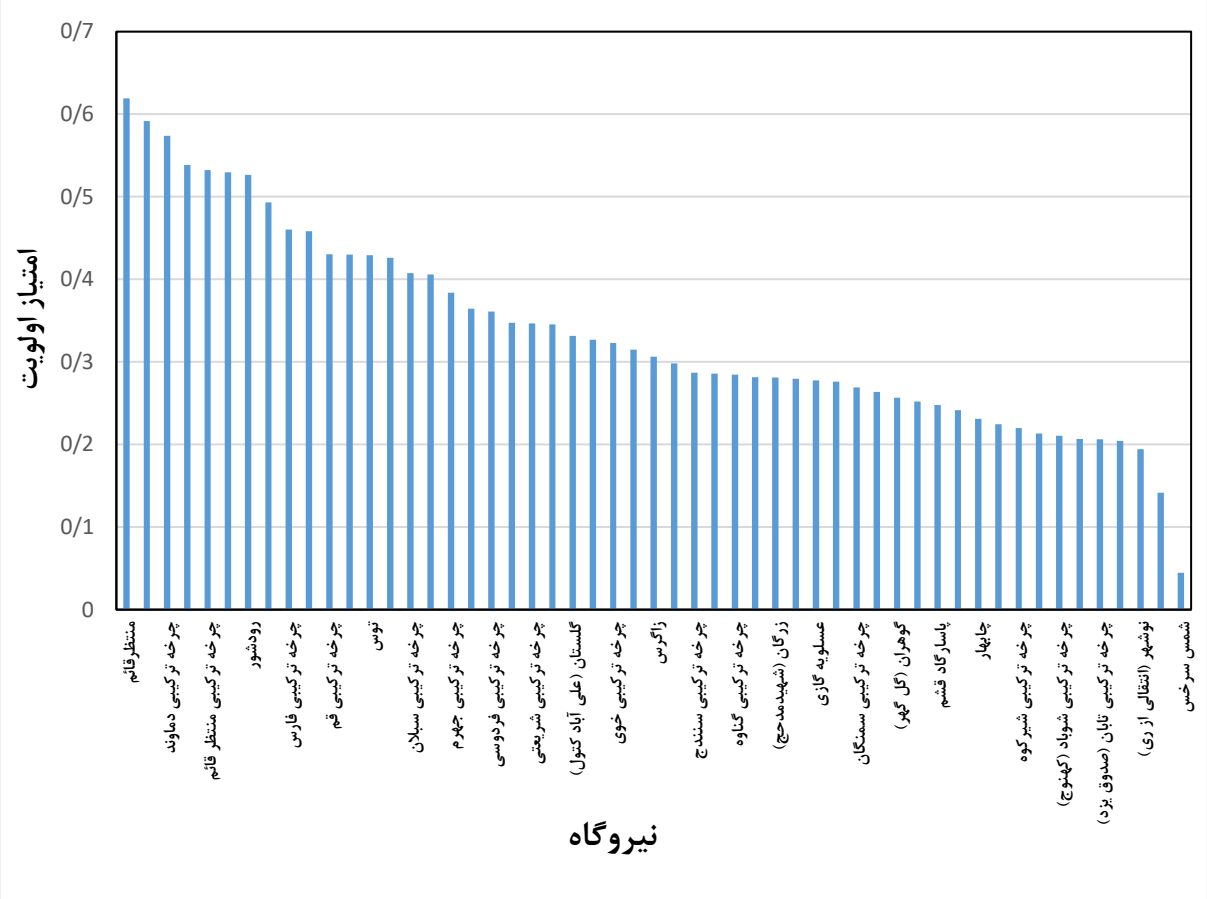
شکل ۱۷-۳- اولویت‌بندی شرکت‌های برق منطقه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های خطوط انتقال و فوق توزیع



شکل ۱۸-۳- اولویت‌بندی شرکت‌های برق منطقه‌ای برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های پست‌های انتقال و فوق توزیع



شکل ۱۹-۳- اولویت نیروگاه‌های دولتی کشور برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها



شکل ۲۰-۳- اولویت نیروگاه‌های خصوصی کشور برای پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها

شایان ذکر است که اولویت‌بندی‌های ارائه شده در این بخش و بخش‌های قبلی بصورت کلی و برای تعیین راهبردها و نقشه راه سند بوده و اولویت‌بندی جامعتر و دقیقتر برای اجرا و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها؛ با لحاظ توزیع جغرافیایی سازه‌ها در کشور، نقش و اهمیت سامانه‌ها در شبکه، مخاطرات مؤثر، سوابق خسارات و خرابی‌ها، وضعیت موجود سازه‌ها براساس استعلام‌ها و بازدیدهای سریع میدانی و ... در پروژه‌های سند منظور خواهد شد.

۳-۳-٤- اولویت‌بندی مخاطرات محیطی برای ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر آنها

مخاطرات محیطی مؤثر بر صنعت برق در دو دسته کلی مخاطرات طبیعی (جوی و زمینی) و انسانی قابل بررسی بوده و فهرستی از مخاطرات طبیعی در گزارش مرحله دوم ارائه شده است. برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها در برابر بارها و آثار ناشی از مخاطرات محیطی، شناخت دقیق ماهیت مخاطرات و پارامترهای بیان کننده شدت و نحوه تأثیر آنها بر سازه‌ها مورد نیاز می‌باشد. ارزیابی عملکرد سازه‌ها می‌تواند در برابر مخاطرات محیطی محتمل

در آینده و یا پس از تجربه یک مخاطره توسط سازه جهت تعیین میزان آسیب‌های وارده و نحوه عملکرد سازه آسیب دیده و تصمیم‌گیری برای انجام اقدامات ایمن‌سازی در هریک از حالات فوق‌الذکر، انجام گردد. با توجه به وسعت و شدت مخاطرات مختلف در کشور و سوابق آسیب‌پذیری و خسارات حاصل از مخاطرات بر بخش‌های مختلف صنعت برق و میزان شدت و وسعت پی‌آمدهای حاصله و با استفاده از نظر خبرگان، مخاطرات طبیعی اولویت‌دار در دو پروژه آینده‌نگاری در گروه سازه مشخص گردیده‌اند. [۱۴ و ۱۵] در این سند با ارجاع به نتایج حاصل از دو پروژه مذکور و همچنین تعامل با شرکت‌های مادرتخصصی و استعلام نیازهای آنها در این حوزه، اولویت‌های مخاطرات محیطی برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق در برابر آنها، تعیین و در جدول ۱۶-۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۱۶-۳- اولویت‌های مخاطرات محیطی جهت ارزیابی عملکرد سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق

بخش	اولویتهای مخاطرات محیطی
تولید	زلزله
	فرونشست زمین، فروچاله و قنات‌ها
	سیلاب
	باد و توفان
	آتش سوزی و انفجار
انتقال و فوق توزیع	فرونشست زمین و فروچاله
	سرقت، خرابکاری و تصادف
	زلزله
	باد و توفان
	سیلاب
توزیع	باد و توفان
	زلزله
	تصادف
	سیلاب

۳-۳-۵- تعیین روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت سازه در صنعت برق

۳-۳-۵-۱- روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

جهت تعیین روش اکتساب فناوری‌های قرار گرفته در ناحیه ۲ ماتریس جذابیت و توانمندی و افزایش دقت در خصوص تعیین راهبرد مربوط به فناوری‌های این ناحیه الگوریتمی طراحی شده است. این الگوریتم از چند شرط و ورودی و تصمیم‌گیری در هر مرحله استفاده می‌کند. با ورود هر فناوری، اولین شرطی که بررسی می‌شود میزان

استراتژیک بودن تاسیسات موردنظر می‌باشد. با توجه به اینکه تاسیسات استراتژیک باشند یا نه، مسیر تعیین روش اکتساب فناوری متفاوت خواهد بود. با توجه به مسیر تعیین شده در بررسی استراتژیک بودن تاسیسات، در گام بعدی برخی از شروط اساسی زیر باید بررسی شوند:

۱- احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات

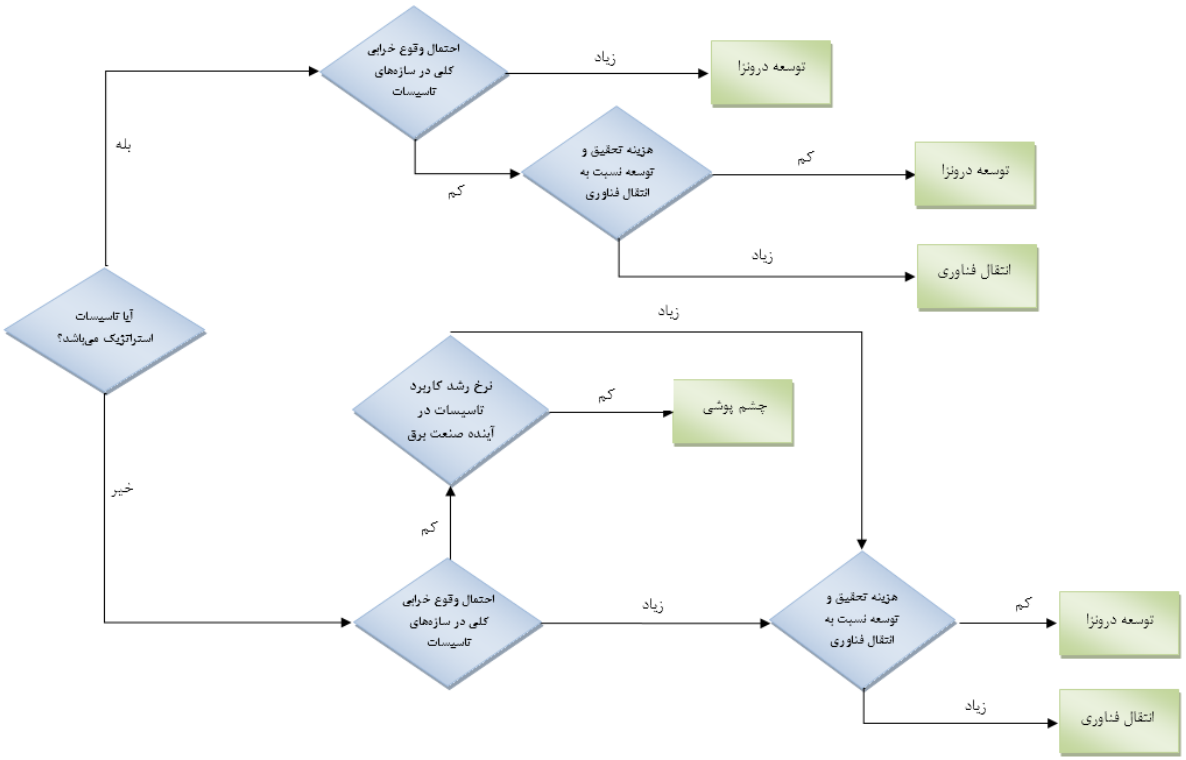
۲- نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق در کشور

۳- هزینه تحقیق و توسعه نسبت به هزینه انتقال فناوری

با توجه به این شروط و برخی شروط دیگر روش اکتساب مشخص می‌گردد. در ادامه مختصری پیرامون این شروط توضیح داده شده است.

- حالت اول، حالتی است تاسیسات استراتژیک بوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز زیاد باشد، در این حالت توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تاسیسات از طریق توسعه درون‌زا صورت می‌پذیرد.
- حالت دوم، حالتی است تاسیسات استراتژیک بوده ولی احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز زیاد نباشد، در این صورت هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد بررسی قرار می‌گیرد، چنانچه هزینه تحقیق و توسعه بالا باشد فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات مورد نظر از طریق انتقال فناوری صورت می‌پذیرد. در غیر این صورت توسعه فناوری پایش سلامت در این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌پذیرد.
- حالت سوم، حالتی است تاسیسات استراتژیک نبوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات زیاد باشد. در این حالت هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در صورت پایین بودن هزینه تحقیق و توسعه، فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌گیرد، در غیر این صورت روش اکتساب انتقال فناوری انتخاب خواهد شد.
- حالت چهارم، حالتی است که تاسیسات استراتژیک نبوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز کم باشد، در این حالت در صورتی‌که نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق کشور زیاد باشد، هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در صورت پایین بودن هزینه تحقیق و توسعه، فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌گیرد، در غیر این صورت روش اکتساب انتقال فناوری انتخاب خواهد شد.
- حالت پنجم، حالتی است که تاسیسات استراتژیک نبوده، احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات کم بوده و نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق کشور نیز زیاد نباشد، در این حالت از بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های این تاسیسات چشم‌پوشی می‌گردد.

تمامی این حالات را می‌توان در فلوچارتی به صورت شکل ۲۱-۳ به نمایش گذاشت.



شکل ۲۱-۳- الگوریتم تعیین روش اکتساب فناوری

با توجه به مسیرهای شکل ۲۱-۳، روش اکتساب پیشنهادی با توجه به ویژگی‌های هر کدام از تاسیسات، در جدول ۱۷-۳ آمده است:

جدول ۱۷-۳- روش اکتساب پیشنهادی برای فناوری‌های ناحیه دوم

تاسیسات	استراتژیک بودن تاسیسات	احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات	نرخ رشد کاربرد در آینده	هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری	روش اکتساب فناوری
خطوط فوق توزیع	بله	زیاد	---	---	توسعه درونزا
پست‌های فوق توزیع	بله	کم	---	کم	توسعه درونزا
خطوط توزیع	بله	زیاد	---	---	توسعه درونزا
پست‌های توزیع	بله	زیاد	---	---	توسعه درونزا
نیروگاه بادی	خیر	کم	زیاد	کم	توسعه درونزا

پس از استخراج نتایج از الگوریتم، روش اکتساب فناوری‌های واقع در ناحیه دوم ماتریس جذابیت و توانمندی نیز مشخص شد. نتایج نهایی مربوط به روش اکتساب فناوری‌ها در جدول ۱۸-۳ ارائه شده است.

جدول ۱۸-۳- روش اکتساب پیشنهادی جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات صنعت برق

ردیف	تأسیسات	ناحیه قرارگیری در ماتریس جذابیت - توانمندی	روش اکتساب پیشنهادی
۱	نیروگاه برق آبی	۱	توسعه درونزا
۲	نیروگاه هسته‌ای	۱	توسعه درونزا
۳	نیروگاه بخاری	۱	توسعه درونزا
۴	نیروگاه چرخه ترکیبی	۱	توسعه درونزا
۵	نیروگاه گازی	۱	توسعه درونزا
۶	خطوط انتقال	۱	توسعه درونزا
۷	پست‌های انتقال	۱	توسعه درونزا
۸	خطوط فوق توزیع	۲	توسعه درونزا
۹	پست‌های فوق توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۰	خطوط توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۱	پست‌های توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۲	نیروگاه بادی	۲	توسعه درونزا
۱۳	نیروگاه دیزلی	۳	چشم‌پوشی
۱۴	نیروگاه زباله‌سوز	۳	چشم‌پوشی
۱۵	نیروگاه زمین‌گرمایی	۳	چشم‌پوشی
۱۶	نیروگاه خورشیدی	۳	چشم‌پوشی

شایان ذکر است که سازه‌های موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای خارج از حوزه اختیار و مسئولیت وزارت نیرو و همچنین سازه نیروگاه‌های برق آبی (سدها) نیز خارج از حوزه کاری بخش برق در وزارت نیرو می‌باشند. بر این اساس و با توجه به نظر تیم فنی، این تأسیسات (نیروگاه‌های برق آبی و هسته‌ای) از چهارچوب این سند حذف شدند.

۳-۳-۵-۲- روش اکتساب دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

بر اساس مطالعات انجام شده در تدوین سند، سبک اکتساب توسعه درونزا برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت در کلیه سازه‌ها و تأسیسات اولویت‌دار صنعت برق پیشنهاد گردید. با توجه به اینکه تجربه مباحث مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها (بخصوص با رویکردهای مدرن‌تر) در کشور به میزان کافی وجود نداشته و برخی از این حوزه‌ها در مرز دانش هستند، در جلسه کمیته راهبری مورخ ۹۶/۸/۱۳ پیشنهاد استفاده از مشاور (دانشگاهی یا شرکتی) خارجی در پروژه‌ها مطرح گردید. بر این اساس، در این مرحله از بازنگری سند، سبک

اکتساب برای تعدادی از اولویت‌های بالاتر تأسیسات و سازه‌ها بصورت همکاری فناورانه (اکتساب دانش و فناوری‌های پشتیبان با کمک و مشاوره شرکت‌های خارجی و بومی سازی آنها در داخل) پیشنهاد می‌گردد. سبک اکتساب نهایی پیشنهادی برای اولویت‌های تعیین شده، در جدول ۱۹-۳ ارائه شده است.

۳-۳-۶- راهبرد کلان بازنگری شده برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

با توجه به مطالب مطرح شده در این بخش، راهبرد کلان بازنگری شده برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه در تأسیسات صنعت برق به شکل زیر ارائه می‌گردد:

اکتساب و توسعه دانش فنی، تامین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سامانه‌ها و سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق (جدول ذیل)، از طریق توسعه درونزا و یا همکاری فناورانه با تکیه بر توان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی و استفاده از مشاوره خارجی و داخلی

جدول ۱۹-۳- اولویت‌بندی تأسیسات و سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق برای توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها و سبک اکتساب آن

بخش	تأسیسات اصلی به ترتیب اولویت (به تفکیک بخشها)	سازه‌ها به ترتیب اولویت	سبک اکتساب
تولید	نیروگاه حرارتی (بخاری، گازی، ترکیبی)	سازه و فونداسیون سیستم خنک‌کن اصلی	همکاری فناورانه
		فونداسیون توربین و ژنراتور (بخاری و گازی)	همکاری فناورانه
		سازه نگهدارنده بویلر و HRSG	توسعه درونزا
		سازه و اتصالات نگهدارنده لوله‌ها (پایپ رک)	توسعه درونزا
		سازه توربین هال (بخاری و گازی)	توسعه درونزا
		مخازن (سوخت، آب خام، آمونیاک و ...)	توسعه درونزا
		سازه نگهدارنده دودکش	توسعه درونزا
		سازه ساختمان کنترل	توسعه درونزا
		سازه ایستگاه‌های گاز و محوطه سوخت	توسعه درونزا
	نیروگاه بادی	برج و فونداسیون توربین بادی	توسعه درونزا
انتقال و فوق‌توزیع	خطوط هوایی	دکل‌ها و فونداسیون آنها	توسعه درونزا
	پست‌ها	ساختمان کنترل	توسعه درونزا
		اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (بوشینگ، تجهیزات و...)	توسعه درونزا
		سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها	توسعه درونزا

بخش	تأسیسات اصلی به ترتیب اولویت (به تفکیک بخشها)	سازه‌ها به ترتیب اولویت	سبک اکتساب
		گنتری پست‌ها	توسعه درونزا
توزیع	خطوط هوایی	پایه‌های توزیع برق	توسعه درونزا
	پست‌ها	پست‌های هوایی توزیع	توسعه درونزا
		ساختمان پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	توسعه درونزا

۳-٤-تدوین ارکان جهت‌ساز سند در سطح پژوهشگاه نیرو

تدوین ارکان جهت‌ساز در مطالعات تدوین نقشه‌های راه توسعه فناوری در پژوهشگاه نیرو نیز باید صورت پذیرد. بدین معنا که از جهتی، پژوهشگاه نیرو یک پژوهشگاه ملی در صنعت برق است و در حوزه تحقیقات و توسعه فناوری یک رسالت ملی را داراست و لازم است تا چشم‌انداز، اهداف، راهبردها و اقدامات ملی در زمینه توسعه فناوری‌های کلیدی صنعت برق را مشخص نماید. از طرف دیگر، یک پژوهشگاه کاربردی در صنعت برق است که بر اساس ماموریت‌های خود می‌بایست نه تنها در مدیریت تحقیقات ایفای نقش نماید، بلکه در حوزه انجام تحقیقات ملی و همچنین توسعه برخی فناوری‌های نوظهور و رفع نیازهای تحقیقاتی صنعت برق تکالیفی را انجام دهد. لذا باید در اکوسیستم فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق نیز نقش و اهداف خود را تبیین نماید. در این بخش ماموریت، چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای توسعه فناوری پژوهشگاه نیرو در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-٤-۱- تدوین ماموریت (نقش و جایگاه) پژوهشگاه نیرو در توسعه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

جایگاه سازمان‌های پژوهش و فناوری به طور کلی و پژوهشگاه نیرو به طور اخص در پیوند بین عرضه و تقاضا است. این سازمان‌ها، یکی از انواع سازمان‌های واسطه‌ای بین عرضه و تقاضا را تشکیل می‌دهند. سازمان‌های پژوهش و فناوری، واسطه‌ای هستند که مسئولیت اصلی آن‌ها مربوط به ایجاد و گسترش فناوری می‌شود. به عبارت دیگر، سازمان‌های پژوهش و فناوری در زنجیره ارزش از ایده تا پدیده اقتصادی در مراحل تحقیقات کاربردی، پایلوت، تجاری سازی و خدمات مشاوره‌ای فنی می‌توانند فعال باشند.

پژوهشگاه نیرو به عنوان یک پژوهشگاه ملی در حوزه صنعت برق، در هر حوزه فناورانه‌ای می‌تواند سه نقش ایفا کند[۱۶].

- نقش ملی-دولتی: در این نقش، نقش سیاست‌پژوهی و حمایت‌های مالی و زیرساختی از توسعه فناوری راهبردی را ایفا خواهد کرد.

- نقش فنی-پژوهشی: در این نقش به عنوان یک سازمان پژوهش و فناوری، نقش توسعه تحقیقات کاربردی خود را ایفا خواهد کرد. پژوهش‌هایی که اساسا ملی است و تنها بر عهده یک ارگان ملی است و یا پژوهش‌هایی که به دلیل ریسک بالا، از عهده بخش خصوصی و سایر دانشگاه‌ها خارج است.
- نقش کارآفرینی: در این نقش، پژوهشگاه به عنوان یک عنصر کارآفرین، به تجاری‌سازی و بازارسازی فناوری‌های خاص و عمدتا نوظهور که شرایط محیطی، گیرنده فناوری، دهنده فناوری مساعدی دارند، اقدام خواهد نمود. در این حالت، بررسی بازار فناوری و شرایط تجاری‌سازی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند.

۳-٤-۱-۱- بررسی قوانین و اسناد بالادستی

در "نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو" که با توجه به اهمیت پژوهش و فناوری در توسعه صنعت آب و برق و لزوم ارتقا و تقویت آن در برنامه‌های توسعه وزارت نیرو و ایجاد هماهنگی‌های لازم در امور سیاست‌گذاری و اجرای پژوهش و فناوری وزارت نیرو تدوین شده است پژوهشگاه نیرو بعنوان یکی از مراکز پژوهشی وزارت نیرو از مجریان پروژه‌های پژوهش و فناوری بوده که زیر مجموعه شورای آموزش، پژوهش و فناوری محسوب می‌گردد[۱۷].

در این نظام‌نامه در تقسیم‌بندی چهارگانه سطوح مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو بیان شده است که در سه سطح زیر نقش پژهشگاه تبیین شده است:

الف- سطح حاکمیتی و سیاستگذاری کلان، نظارت و ارزیابی راهبردی که متناسباً در حیطه وظایف معاونت‌های تحقیقات و منابع انسانی، برق و انرژی، آب و آبفا و شورای آموزش، پژوهش و فناوری وزارت نیرو می‌باشد.

ب- سطح مدیریت پژوهش که متناسباً در حیطه وظایف شرکت‌های مادر تخصصی و مراکز پژوهشی وزارت نیرو می‌باشد.

ج- سطح اجرای پژوهش و فناوری که در حیطه وظایف مراکز پژوهشی وزارت نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌ها و سایر مجریان پژوهش و فناوری می‌باشد.

مطابق این نظام‌نامه ماموریت پژوهشگاه نیرو شامل هر سه نقش ملی-دولتی، فنی-پژوهشی و کارآفرینی می‌باشد.

مطابق آنچه که در "اساس‌نامه پژوهشگاه نیرو " در شورای گسترش آموزش عالی به تصویب رسیده‌است وظایف ده‌گانه‌ای برای پژوهشگاه تبیین شده است. وظایف تعیین شده پژوهشگاه عبارتند از[۱۸]:

- انجام طرح‌های پژوهشی بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای با هدف دستیابی به دانش فنی و مورد نیاز وزارت نیرو به داخل کشور با توجه به اصل توسعه پایدار.
- انجام خدمات کارشناسی و مشاوره علمی و فنی به بخش خصوصی در ارتباط با برنامه‌های تحقیقاتی مورد نظر وزارت نیرو

- بررسی و شناسایی نیازهای گوناگون برنامه‌های تحقیقاتی مورد نظر در زمینه‌های مختلف علمی و تحقیقاتی و بهره‌گیری مطلوب از امکانات در جهت برنامه‌ریزی طرح‌های تحقیقاتی مرتبط و متناسب با نیازهای وزارت نیرو
- انجام فعالیت‌های ضروری در جهت بکارگیری نتایج تحقیقات
- فرآهم آوردن امکانات لازم و متناسب با برنامه‌ها و طرح‌های تحقیقاتی مربوط
- بررسی و شناسایی و رفع نیازهای تحقیقاتی مورد نیاز وزارت نیرو
- ایجاد ارتباط فعال و سازنده با سایر موسسات و جوامع علمی و پژوهشی در داخل و خارج از کشور از طریق برگزاری گردهمایی‌های علمی، مبادله محقق و یا اجرای پروژه‌های تحقیقاتی مشترک جهت دست‌یابی هر چه بیشتر به علوم و تکنولوژی جدید در زمینه‌های مرتبط با اهداف و سیاست‌های پژوهشگاه
- ایجاد ارتباط مطلوب با نیروهای متخصص و مبتکر در مراکز علمی و پژوهشی کشور و فرآهم نمودن امکانات لازم برای آن‌ها در جهت یاری رساندن به تعهدات پژوهشگاه
- بهره‌گیری از آخرین نتایج تحقیقات و پیشرفت‌های علمی به منظور توسعه علمی، اقتصادی و اجتماعی در جهت توسعه اهداف برنامه‌های تحقیقاتی پژوهشگاه
- مطالعه و تحقیق در مورد ساخت و تامین نیازهای بنیادی و فنی انواع نیروگاه‌ها، پست‌ها، خطوط انتقال نیرو و سایر مسائل مرتبط با وزارت نیرو و کارخانجات وابسته به آن

مطابق آنچه که در وظایف ده‌گانه پژوهشگاه بیان شده‌است بیشترین تاکید بر نقش فنی-پژوهشی پژوهشگاه بوده و نقوش ملی-دولتی و کارآفرینی نیز برای آن تبیین شده‌اند.

در "برنامه راهبردی پژوهشگاه نیرو ۱۳۹۹-۱۳۹۴" ماموریت پژوهشگاه نیرو عبارتند از[۱۹]:

- آینده‌نگاری، سیاست‌پژوهی و برنامه‌ریزی فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای صنعت برق و انرژی
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی کلان، بلند مدت و با ریسک بالای صنعت برق و انرژی
- ایجاد، توسعه و اکتساب فنآوری
- حمایت از توسعه فنآوری و نوآوری

مطابق آنچه که بعنوان ماموریت پژوهشگاه نیرو در برنامه راهبردی پژوهشگاه نیرو ۱۳۹۹-۱۳۹۴ بیان شده است اصلی‌ترین نقش پژوهشگاه نیرو، نقش فنی-پژوهشی و نقش ملی-دولتی می‌باشد.

۳-٤-۱-۲- چشم‌انداز و اهداف کشور در حوزه فناورانه پایش سلامت سازه صنعت برق

مطابق "سند چشم‌انداز جمهوری‌اسلامی درافق ۱۴۰۴ هجری شمسی"، ایران کشوری توسعه یافته با جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه، با هویت اسلامی و انقلابی، الهام بخش در جهان اسلام و با تعامل سازنده و موثر در روابط بین الملل تبیین شده است که دارای ویژگی‌های زیر خواهد بود:

- توسعه یافته متناسب با مقتضیات فرهنگی، جغرافیایی و تاریخی خود

- برخوردار از دانش پیشرفته، توانا در تولید علم و فناوری، متکی بر سهم برتر انسانی و سرمایه اجتماعی در تولید ملی
- دست‌یافته به جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی

مطابق آنچه که در این سند تبیین شده است می‌توان هر سه نقش ملی-دولتی، فنی-پژوهشی و کارآفرینی را برای پژوهشگاه نیرو به عنوان یک پژوهشگاه ملی در حوزه فناورانه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق پذیرفت.

مطابق چشم‌انداز "برنامه راهبردی وزارت نیرو سال ۱۴۰۴"، این وزارتخانه با برخورداری از مدیریت دانش‌محور، منابع انسانی کارآمد، ساختاری فراگیر و اثربخش و ظرفیت‌های غنی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری خود اتکاء به گونه‌ای عمل می‌کند تا کشور در مدیریت عرضه و تقاضا و دسترسی عادلانه به برق مطمئن و پایا در جهان پیشرو شناخته شود و بعنوان مرکز راهبری برق در منطقه تثبیت شود. همچنین در بخش آموزش، پژوهش و فناوری با برخورداری از مدیریت دانش‌محور و ظرفیت‌های غنی مغزافزاری، نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و سازمانی و مشارکت مؤثر بخش غیردولتی، در حوزه‌های سرمایه‌های انسانی متخصص و کارآمد و توسعه دانش و فناوری در صنعت آب و برق سرآمد در منطقه خواهد بود. همچنین مطابق این سند وزارت نیرو ماموریت دارد :

- با آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط زیست، علاوه بر توسعه و ارتقاء بهره‌وری و کیفیت ارائه خدمات در سطح ملی، بازار صنعت برق کشور را به سطح جهانی، بویژه کشورهای منطقه گسترش دهد.
- وزارت نیرو در بخش آموزش، پژوهش و فناوری عهده‌دار سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت و تکیه بر منابع انسانی توانمند و متعهد به عنوان اصلی‌ترین سرمایه و با توسعه و به کارگیری روش‌های نوین در فعالیت‌های علمی، نظام مدیریت دانش و تعامل شبکه‌ای با نهادهای فعال صنعت برق، به ویژه در حوزه‌های فنی، مدیریتی و اقتصادی، در راستای توسعه پایدار اقدام نماید.
- وزارت نیرو (بخش پشتیبانی) با بهره‌گیری از دانش و فناوری‌های روز دنیا عهده‌دار مدیریت تامین و توسعه بازار کالاها، تجهیزات، خدمات مشاوره‌ای و پیمانکاری در این صنعت می‌باشد. این بخش با سیاستگذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و نظارت و با ایجاد بستر مناسب برای حضور موثر بخش غیر دولتی، صنعت برق کشور را در راستای تحقق اهداف خود یاری رسانده و فعالیت‌های خود را از گستره ملی به سطح بین‌المللی بویژه بازارهای منطقه‌ای گسترش دهد. این بخش با بهره‌گیری کارآمد از منابع انسانی متعهد و متخصص در بخش‌های دولتی و غیر دولتی مسئولیت خویش را در قبال رشد اقتصادی، توسعه زیرساخت‌ها و کارآفرینی ایفاء می‌نماید.

مطابق آنچه که بعنوان چشم‌انداز و ماموریت وزارت نیرو در برنامه راهبردی این وزارتخانه تا افق سال ۱۴۰۴ بیان شده است و همچنین فعالیت پژوهشگاه نیرو بعنوان یکی از مهم‌ترین مراکز پژوهشی وزارت نیرو و از مجریان پروژه‌های پژوهش و فناوری می‌توان به هر سه نقش ملی-دولتی، فنی- پژوهشی و کارآفرینی پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق دست یافت.

۳-٤-۱-۳- تحلیل اکوسیستم فناورانه

به منظور درک نقش پژوهشگاه نیرو در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق لازم است تا اکوسیستم آن حوزه فناورانه تحلیل گردد. به این معنا که کلیه بازیگران عرصه دولتی، دانشگاهی، صنعت و بازار حوزه پایش سلامت سازه تعیین نقش شده و در نهایت متناسب با شکست سیستمی موجود نقش پژوهشگاه نیرو تعیین می‌گردد.

جدول ۲۰-۳- نقش بازیگران مختلف در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

بازیگران	نقش	ماموریت
دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی	توسعه و انتشار دانش (ارائه خدمات آموزشی و پژوهشی)	فنی-پژوهشی
وزارت نیرو	جهت دهی به سیستم، تامین منابع (سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و تسهیل‌گری)	ملی-دولتی
شرکت مادرتخصصی توانیر	جهت دهی به سیستم، تامین منابع (سیاستگذاری)	ملی-دولتی
شرکت مادرتخصصی برق حرارتی	جهت دهی به سیستم، تامین منابع (سیاستگذاری)	ملی-دولتی
شرکت‌های توزیع	جهت دهی به سیستم (ارائه خدمات صنعتی)	ملی-دولتی
شرکت‌های برق منطقه‌ای	جهت دهی به سیستم (ارائه خدمات صنعتی)	ملی-دولتی
شرکت‌های مدیریت تولید برق	جهت دهی به سیستم (ارائه خدمات صنعتی)	ملی-دولتی
شرکت‌های مهندسی تامین کننده تجهیزات (وارد کننده یا سازنده)	تامین تجهیزات، توسعه دانش (ارائه خدمات صنعتی)	فنی-پژوهشی، کارآفرینی و تجاری‌سازی
شرکت‌های EPC	تامین تجهیزات، توسعه دانش (ارائه خدمات صنعتی)	فنی-پژوهشی، کارآفرینی و تجاری‌سازی

از آنجایی که پژوهشگاه نیرو یک پژوهشگاه ملی و از بازیگران حوزه توسعه و انتشار دانش وزارت نیرو در زمینه سازه‌های صنعت برق محسوب می‌گردد و از توانایی تامین نقش توسعه تحقیقات کاربردی در سطح ملی و انجام پروژه‌های با ریسک بالا برخوردار می‌باشد، لذا می‌توان ماموریت فنی-پژوهشی در حوزه فناورانه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق را برای پژوهشگاه نیرو متصور شد.

از سوی دیگر پژوهشگاه نیرو بعنوان مهمترین مرکز پژوهشی وزارت نیرو بعنوان یک سازمان توسعه‌گرا و با تامین نقش تسهیل‌گری در ابعاد مختلف فناوری، منابع دانشی، مالی و غیره و تامین خدمات آموزشی و پژوهشی می‌تواند نقش سیاست‌گذاری، سیاست‌پژوهی و حمایت‌های مالی و زیرساختی از توسعه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های برق و به عبارتی ماموریت ملی-دولتی را ایفا نماید. همچنین پژوهشگاه نیرو (بویژه معاونت فناوری) با مدیریت تجاری‌سازی و اکتساب فناوری از طریق تحریک تقاضا، بازارسازی، ظرفیت‌سازی در بخش خصوصی و بسترسازی برای تولید محصولات فناورانه در مقیاس تجاری و غیره در اثربخش نمودن فناوری‌های این حوزه در صنعت برق (بویژه در حوزه ارائه خدمات) ایفای نقش داشته و لذا ماموریت کارآفرینی را بر عهده دارد.

۳-٤-۱-٤- بررسی نظرات ذینفعان

به منظور تعیین نقش و ماموریت موثر پژوهشگاه در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق از نظرات ذینفعان این حوزه نیز استفاده شده است. در جدول ذیل نظرات ذینفعان به اختصار ارائه شده است:

جدول ۲۱-۳- نظرات ذینفعان در زمینه نقش اصلی پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

نام خبره	حوزه فعالیت	نظرات
آقای مهندس علیرضاپور	توانیر- معاونت انتقال	مهمترین ماموریت پژوهشگاه تدوین استانداردها و دستورالعمل‌ها و همچنین انجام تحقیقات در حوزه فناوری‌های مختلف صنعت برق می‌باشد.
آقای مهندس برنگی	توانیر-معاونت توزیع	مهمترین ماموریت پژوهشگاه در حوزه پایش وضعیت سلامت سازه‌های عبارتست از اکتساب فناوری و توسعه علم (بخصوص در زمینه تشخیص پایه‌های فرسوده بتنی با روش‌های غیر مخرب) و بروزرسانی استانداردها (مطابق خواسته‌های توانیر).

با توجه به نظرات ارائه شده ذینفعان نقش‌های ملی-دولتی و فنی-پژوهشی را برای پژوهشگاه نیرو متصور شده‌اند.

با جمع‌بندی زمینه‌های استخراج شده قوانین و اسناد بالادستی، چشم‌انداز و اهداف کشور در حوزه فناورانه، تحلیل اکوسیستم حوزه فناورانه بیانیه اولیه ماموریت پژوهشگاه به شرح زیر است:

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلند مدت و با ریسک بالا در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- ایجاد، توسعه و اکتساب فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- توسعه صنایع و کسب و کارهای وابسته از طریق بسترسازی توسعه کسب و کارهای دانش‌بنیان حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

۳-٤-۱-۵- بررسی نظرات خبرگان

جهت استفاده از نظرات خبرگان در تدوین ماموریت‌های پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، بیانیه فوق به ایشان ارائه شد که نظرات ایشان در جدول ۲۲-۳ ارائه شده است.

جدول ۲۲-۳- نظرات خبرگان در زمینه نقش اصلی پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و بیانیه اولیه ماموریت پژوهشگاه

ماموریت	نظرات روسای پژوهشکده‌ها		
	آقای مهندس آسایش	آقای مهندس فرضعلی-زاده	آقای دکتر گیلوانژاد
سیاست‌گذاری و برنامه-ریزی در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	✓ خوب است که پژوهشگاه سیاستگذاری کند چون شبکه و مادر تخصصی حرارتی به تنهایی ذینفع نیستند.	سیاستگذاری از وظایف پژوهشگاه نیست. می‌توان از عبارت تدوین سیاست استفاده نمود. برنامه ریزی صحیح است.	در اسناد قابلیت سیاستگذاری و تدوین سیاست نداریم چراکه تدوین سیاست جزو وظایف گروه‌ها بشمار می‌رود. برنامه‌ریزی صحیح است.
مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	✓	✓	✓
اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلند مدت و با ریسک بالا در زمینه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	✓	✓ بهتر است مطالعات محرمانه و حاکمیتی نیز به این بند اضافه شود.	✓
ایجاد، توسعه و اکتساب فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	✓ فقط کلمه ایجاد نادرست است چون ما می-توانیم بستر توسعه فناوری را فرآهم آوریم. ولی خودمان ایجاد فناوری نکنیم و تحقیقات مربوطه را انجام ندهیم.	✓ کلمه ایجاد نادرست است. توسعه صحیح است.	✓

حمایت از توسعه فناوری-ها و نوآوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق از طریق تامین نقش کارآفرینی و تجاری‌سازی کسب و کارهای دانش‌بنیان	✓	✓ نقش تجاری‌سازی صحیح است اما نقش کارآفرینی صحیح نمی‌باشد.	✓

با توجه به نظرات خبرگان، بیانیه ماموریت پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به صورت زیر بازنویسی شد:

- تدوین سیاست و برنامه‌ریزی در زمینه توسعه فناوری و پیاده‌سازی نظام پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای در زمینه فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلند مدت، با ریسک بالا، محرمانه و حاکمیتی در زمینه فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- توسعه و اکتساب فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- حمایت از تو سعه فناوری‌ها و نوآوری‌های پایش سلامت و مقاوم سازی سازه‌های صنعت برق از طریق تامین نقش تجاری‌سازی کسب و کارهای دانش‌بنیان

۳-٤-۲- تدوین چشم‌انداز پژوهشگاه در حوزه پایش سلامت سازه‌ها

به منظور ترسیم چشم‌انداز پژوهشگاه نیرو (در سطح سازمانی)، شناخت فناوری، بازار و آینده‌های محتمل الزامی است. همچنین با استفاده از چشم‌اندازهای ترسیم‌شده پژوهشگاه و پژوهشکده‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو می‌توان به دیدگاه کلی برای تبیین بیانیه اولیه چشم‌انداز دست یافت. در جدول ۲۳-۳ بیانیه چشم‌انداز وزمینه‌های قابل استخراج وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو و پژوهشکده‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو به تفکیک قابل مشاهده است.

جدول ۲۳-۳- بیانیه چشم‌انداز و زمینه‌های قابل استخراج وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو و پژوهشکده‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو

سطح سازمانی	چشم‌انداز	زمینه‌های قابل استخراج
وزارت نیرو (در حوزه برق)	وزارت نیرو در افق چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران، سازمانی است بالنده که با برخورداری از مدیریت دانش‌محور، منابع انسانی کارآمد، ساختاری فراگیر و اثربخش، ظرفیت‌های غنی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری خوداتکاء به گونه‌ای عمل می‌کند تا کشور در مدیریت عرضه و تقاضا و دسترسی عادلانه همگان به "برق مطمئن و پایا" در جهان پیشرو شناخته و نیز به عنوان مرکز راهبری در منطقه تثبیت شود.	• خود اتکا در ظرفیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری • مرکز پیشرو در جهان در دسترسی عادلانه به برق پایا • مرکزی راهبر در منطقه
پژوهشگاه نیرو	در سال ۱۴۰۴ هجری شمسی، پژوهشگاه نیرو موسسه‌ای است دانش بنیان، با اعتبار جهانی و پیشرو در نوآوری‌های صنعت برق و انرژی	• موسسه دانش‌بنیان • پیشرو در نوآوری • دارای اعتبار جهانی
معاونت تخصصی تولید (پژوهشکده تولید)	پژوهشکده تولید بعنوان نماینده بخش تولید صنعت برق در پژوهشگاه نیرو جهت پیگیری نیازهای تحقیقاتی آن‌ها می‌تواند موجب استحکام پیوند صنعت برق و مراکز علمی و پژوهشی و استفاده حداکثری از نتایج تحقیقات در صنعت گردد.	• پیوند دهنده صنعت برق و مراکز علمی-پژوهشی • استفاده حداکثری از نتایج تحقیقات
معاونت تخصصی انتقال (پژوهشکده انتقال)	پژوهشکده انتقال در افق ۱۰ ساله، پژوهشکده‌ای دانش‌بنیان، با اعتبار جهانی و پیشرو در نوآوری‌های صنعت انتقال برق، قطب علمی دانش صنعت انتقال در منطقه غرب آسیا، مرجع تدوین سیاست‌های توسعه برق کشور در حوزه تجهیزات، و مدیریت تحقیقات و هدایت‌ساز طرح‌های صنعت انتقال کشور خواهد بود.	• موسسه دانش‌بنیان • پیشرو در نوآوری • قطب علمی در منطقه • تدوینگر سیاست‌های توسعه-ای • مدیر و هدایت‌ساز تحقیقات
معاونت تخصصی توزیع	پژوهشکده توزیع نیروی برق در افق ۱۰ ساله، پژوهشکده‌ای دانش‌بنیان، با اعتبار جهانی و پیشرو در نوآوری‌های صنعت توزیع نیروی برق و موثرترین مرکز تحقیقاتی منطقه غرب آسیا در مورد موضوعات تحقیقاتی و فعالیت دانش‌محور و فناوری‌های مرتبط با صنعت توزیع نیروی برق خواهد بود.	• موسسه دانش‌بنیان • پیشرو در نوآوری • موثرترین مرکز تحقیقاتی در منطقه

در ادامه با توجه به زمینه‌های استخراج شده از چشم‌اندازهای در سطح بنگاهی ارائه شده در جدول فوق و با در نظر گرفتن ماموریت و نقش پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های برق، بیانیه اولیه چشم‌انداز سند در سطح پژوهشگاه نیرو به شرح زیر تدوین گردید:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، پژوهشگاه نیرو در افق ۱۴۰۶ در راستای تحقق چشم‌انداز خود، با تاکید بر خوداتکایی و با توسعه فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی متعهد و کارآمد، بعنوان پیشرفته‌ترین مرکز دانش‌بنیان و پیشرو در مطالعات پژوهشی-کاربردی حوزه پایش وضعیت و سلامت سازه‌های صنعت برق، قطب علمی این دانش در منطقه غرب آسیا و مرجع تدوین سیاست‌های توسعه‌ای در کشور خواهد بود.

جهت استفاده از نظر خبرگان در تدوین چشم‌انداز پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، بیانیه فوق به ایشان ارائه گردید که نظرات ایشان در جدول ۲۴-۳ آمده است:

جدول ۲۴-۳- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز پژوهشگاه

خبره	سمت	نظرات
آقای مهندس آسایش	رئیس پژوهشکده تولید	• بهتر است عبارت "قطب علمی این دانش در منطقه غرب آسیا" به "قطب علمی در کشور" تغییر یابد چراکه از نظر تنوع و ظرفیت حوزه تولید برق در غرب آسیا اول هستیم. • بهتر است در چشم انداز به مسائلی فنی همچون "ایجاد توانمندی برای ارزیابی وضعیت و مقاوم‌سازی و افزایش طول عمر نیروگاه‌های موجود" اعم از توانمندی‌های تجهیزاتی و نیروی انسانی و غیره اشاره شود. • خوب است به "تامین نقش متولی برای استانداردها و دستورالعمل‌های بهره‌برداری واحدهای جدید از منظر سازه‌ای" و ... اشاره شود.
آقای مهندس فرضعلی‌زاده	رئیس پژوهشکده انتقال	از نظر ایشان عبارت "قطب علمی در منطقه غرب آسیا" صحیح است.
آقای دکتر گیلوانژاد	رئیس پژوهشکده توزیع	• افق سند سال ۱۴۰۶ بیان شده‌است. آیا بهتر نیست که افق کمی دیرتر بیان شود؟ اگر در سال‌های گذشته روند اجرای اقدامات سند کند بوده بهتر است در بازنگری افق دید کمی افزایش یابد. • چشم‌انداز خیلی کلی تعریف شده است و بهتر است کمی تخصصی‌تر بیان شود. مثلا بگوییم "تکمیل ۵۰٪ یا ۱۰۰٪ از شناسنامه‌های سازه‌های صنعت برق ...."

با توجه به نظرات خبرگان، چشم‌انداز پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به شکل زیر بازنویسی گردید:

> با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، پژوهشگاه نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق چشم‌انداز خود، با تاکید بر خوداتکایی و با توسعه فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی متعهد و کارآمد و بعنوان پیشرفته‌ترین مرکز دانش‌بنیان، پیشرو در مطالعات پژوهشی-کاربردی جهت ایجاد توانمندی در حوزه پایش وضعیت و سلامت، مقاومسازی و افزایش عمر سازه‌های صنعت برق، قطب علمی این دانش در منطقه غرب آسیا، مرجع تدوین استانداردهای فنی و سیاست‌های توسعه‌ای و متولی نظارت بر پیاده‌سازی این دانش در ۱۰ درصد سازه‌های صنعت برق کشور خواهد بود.

۳-٤-۳- تدوین اهداف پژوهشگاه در توسعه پایش سلامت سازه‌ها

به منظور تدوین اهداف پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های برق، با انجام مصاحبه‌هایی نظرات مدیران پژوهشگاه نیرو پیرامون اهداف کلان و تجاری‌سازی فناوری اخذ گردید. در جدول ۲۵-۳ نظرات مدیران در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به تفکیک ارائه شده است:

جدول ۲۵-۳- نظرات خبرگان پیرامون اهداف پژوهشگاه

خبره	سمت	نظرات
آقای مهندس آسایش	رئیس پژوهشکده تولید	مطابق نظر ایشان بهتر است حوزه‌های زیر در اهداف در نظر گرفته شوند: • کاهش هزینه و مدت زمان فعالیت‌های عمرانی (سازه‌ای) برای احداث نیروگاه‌های نسل جدید و یا در هنگام تکمیل و افزایش ظرفیت نیروگاه-های موجود (حداقل کاهش ۲۰ درصدی در زمان احداث و توسعه لحاظ شود) • کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های موجود با انجام فعالیت-های سازه‌ای مناسب از طریق ایجاد توانمندی در ارزیابی وضعیت سازه-های تولید صنعت برق و افزایش طول عمر آن‌ها (مثلا در تجهیزاتی همچون بویلرها و برج‌ها) • توسعه فناوری‌های مرتبط با تجهیزات پایش وضعیت سازه‌های صنعت برق و تخمین عمر و مقاوم‌سازی آن‌ها (بالاخص در حوزه تولید برق)
آقای مهندس فرضعلی‌زاده	رئیس پژوهشکده انتقال	مطابق نظر آقای مهندس فرضعلی‌زاده اهداف بهتر است در قالب‌های زیر ارائه شوند (مطابق قول‌های داده شده برای سند). قالب‌های اهداف پیشنهادی ایشان:

		• تدوین استاندارد و دستورالعمل ... (تعداد و یا درصد متناسب با سند استانداردهای حوزه انتقال بیان شود) • رسیدن به فناوری‌های نوین و دستورالعمل‌های مربوطه (شاخص مشخص شود مثلا چند عدد) • بومی‌سازی محصولات (شاخص مشخص شود مثلا چند عدد) • توسعه و تجهیز آزمایشگاه (چه مقدار و یا چند عدد) • کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری (چه میزان) • پایایی • کاهش آلایندگی
آقای دکتر گیلوانژاد	رئیس پژوهشکده توزیع	مطابق نظر ایشان بهتر است در اهداف بیان شود که به چه فناوری‌هایی و با چند درصد نفوذ دست خواهیم یافت.

با توجه به نظرات خبرگان، اهداف پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق (در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) به شکل زیر تدوین گردید:

- جهت‌دهی تحقیقات و توسعه دانش و فناوری‌های پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق متناسب با حداقل ۶ مورد از نیازمندی‌های صنعت (در حوزه‌های کاهش زمان و هزینه ساخت، کاهش هزینه‌های نگهداری، افزایش عمر مفید)
- دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی حداقل ۶ مورد از فناوری‌های نوین حوزه پایش سلامت و مقاومسازی و افزایش عمر سازه‌های صنعت برق (۳ مورد مربوط به تشخیص آسیب‌ها و ۳ مورد مربوط به تعمیر و مقاومسازی) و تجاری‌سازی آنها
- دستیابی (تدوین یا به‌روزرسانی) به حداقل ۱۵ عدد از مجموعه استانداردها و دستورالعمل‌های مربوط به پایش وضعیت و سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق (۵ عدد در هر بخش)
- تدوین حداقل ۳ قانون (یا بخشنامه درون صنعت) پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ (۱ قانون در هر بخش)

۳-٤-٤- تدوین راهبردهای پژوهشگاه در توسعه پایش سلامت سازه‌ها

بر اساس نظرهای خبرگان و با توجه چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای سطح ملی و بخصوص اولویت‌های تعیین شده در بخش راهبردهای سند پایش سلامت سازه‌های برق در سطح ملی و منطقه‌ای و همچنین با توجه به چشم‌انداز و اهداف پژوهشگاه نیرو، راهبردهای سطح سازمانی توسعه فناوری به شرح زیر تدوین شده‌است:

- استفاده از ظرفیت‌های علمی و فناورانه جامعه علمی و فنی کشور در حوزه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها و افزایش این توانمندی‌ها با تأکید بر توانمندسازی بخش خصوصی

- ایجاد، توسعه و تکمیل شبکه متخصصین و صاحبنظران فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- ساماندهی مدیریت دانش و بهبود نظام‌مند دانش پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و مهارت اثرگذاران
- طراحی و اجرای فرآیندهای تعامل با شرکت‌های مادر تخصصی (و سایر بازیگران و ذینفعان) در راستای بسیج منابع برای جلب مشارکت ذینفعان، تسهیل‌گری، پیاده‌سازی و اجرای سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- طراحی فرآیندها و ساماندهی نظام پشتیبانی[1]، پیاده‌سازی، اجرا و تسهیل‌گری سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- مشارکت و تامین منابع مالی در سطح مدیریتی[2] سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

۳-۵-جمع‌بندی

در این گزارش، ارکان جهت‌ساز سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق شامل چشم‌انداز، اهداف کلان و راهبردهای کلان، بر اساس مطالعات تکمیلی، تعاملات صورت گرفته با شرکت‌های مادرتخصصی و سایر ذینفعان و نظرات خبرگان، مورد بازنگری قرار گرفتند. در هر بخش از گزارش، روال انجام شده در پروژه اصلی تدوین سند و نتایج حاصله عنوان شده و در انتهای آن، بازنگری انجام شده در این پروژه ارائه شده‌اند.

چکیده و خلاصه‌ای از نتایج مهم مورد بررسی در این گزارش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- چشم انداز بازنگری شده سند به شرح زیر ارائه گردید:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، وزارت نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق سند چشم‌انداز خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی؛ و با توسعه و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

حوزه پایش وضعیت و سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه راهکارهای تأمین عملکرد مطلوب آنها را، به منظور کمک به نیل به پایایی مطلوب، کمک به افزایش تاب‌آوری و عمر مفید سازه‌ها، و کاهش حداقل ۵ درصد در هزینه‌های نگهداری سازه‌ها؛ در کشور پیاده‌سازی خواهد نمود.

۱ منظور از نظام پشتیبانی،کلیه امور برنامه‌ریزی، مالی، حقوقی، قراردادی و راهبری در کلیه زمینه‌های آموزش، منابع انسانی، فناوری اطلاعات و غیره مرتبط با سند پایش سلامت سازه‌های برق می‌باشد.

۲ منظور از تامین منابع مالی سطح مدیریتی سند، تامین منابع مالی برای کلیه سطوح مدیریت مرتبط با حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق اعم از مجریان، مدیران طرح‌ها، نمایندگان مدیران طرح‌ها و روسای مراکز و غیره می‌باشد.

۲- اهداف کلان بازنگری شده سند به شرح زیر ارائه گردیدند:

- افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق
- کاهش متوسط هزینه سالیانه نگهداری سازه‌های تولید، انتقال و توزیع در سطح کل کشور به میزان حداقل ۵ درصد
- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۲۰ الی ۵۰ درصد متناسب با شرایط محیطی
- کمک به افزایش تاب‌آوری و نیل به پایایی مطلوب شبکه با به حداقل رساندن خرابی سازه‌ها
- اکتساب و توسعه دانش فنی و پیاده‌سازی نظام پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها در ۳۵ واحد نیروگاهی، ۱۰ درصد شبکه انتقال و فوق‌توزیع کشور در شرکت‌های برق منطقه‌ای و ۱۰ درصد شبکه توزیع در شرکت‌های توزیع برق؛ بر حسب اولویت

۳- راهبرد کلان بازنگری شده سند به شرح زیر ارائه گردید:

" اکتساب و توسعه دانش فنی، تامین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سامانه‌ها و سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق (جدول ۱۹-۳)، از طریق توسعه درونزا و یا همکاری فناورانه با تکیه بر توان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی و استفاده از مشاوره خارجی و داخلی"

٤- ماموریت پژوهشگاه نیرو در حوزه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به شرح زیر است:

- تدوین سیاست و برنامه‌ریزی در زمینه توسعه فناوری و پیاده‌سازی نظام پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای در زمینه فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلند مدت، با ریسک بالا، محرمانه و حاکمیتی در زمینه فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- توسعه و اکتساب فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
- حمایت از توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های صنعت برق از طریق تامین نقش تجاری‌سازی کسب و کارهای دانش‌بنیان

۵- چشم انداز پژوهشگاه نیرو در حوزه فناوری پایش سلامت سازه عبارتست از:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، پژوهشگاه نیرو در افق ۱۴۱۰ در راستای تحقق چشم‌انداز خود، با تاکید بر خوداتکایی و با توسعه فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از دانش پیشرفته مبتنی بر نیروی انسانی متعهد و کارآمد و بعنوان پیشرفته‌ترین مرکز دانش‌بنیان، پیشرو در مطالعات پژوهشی-کاربردی جهت ایجاد توانمندی در حوزه پایش وضعیت و سلامت، مقاومسازی و افزایش عمر سازه‌های صنعت برق، قطب علمی این دانش در منطقه غرب آسیا، مرجع تدوین استانداردهای فنی و سیاست‌های توسعه‌ای و متولی پیاده‌سازی این دانش در ۱۰ درصد سازه‌های صنعت برق کشور خواهد بود.

٦- اهداف پژوهشگاه نیرو در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق عبارتند از:

- جهت‌دهی تحقیقات و توسعه دانش و فناوری‌های پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق متناسب با حداقل ۶ مورد از نیازمندی‌های صنعت (در حوزه‌های کاهش زمان و هزینه ساخت، کاهش هزینه‌های نگهداری، افزایش عمر مفید)
- دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی حداقل ۶ مورد از فناوری‌های نوین حوزه پایش سلامت و مقاومسازی و افزایش عمر سازه‌های صنعت برق (۳ مورد مربوط به تشخیص آسیب‌ها و ۳ مورد مربوط به تعمیر و مقاومسازی) و تجاری‌سازی آنها
- دستیابی (تدوین یا به‌روزرسانی) به حداقل ۱۵ عدد از مجموعه استانداردها و دستورالعمل‌های مربوط به پایش وضعیت و سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق (۵ عدد در هر بخش)
- تدوین حداقل ۳ قانون (یا بخشنامه درون صنعت) پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ (۱ قانون در هر بخش)

۷- راهبردهای پژوهشگاه نیرو در راستای توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق عبارتند از:

- استفاده از ظرفیت‌های علمی و فناورانه جامعه علمی و فنی کشور در حوزه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها و افزایش این توانمندی‌ها با تأکید بر توانمندسازی بخش خصوصی
- ایجاد، توسعه و تکمیل شبکه متخصصین و صاحبنظران فناوری‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- ساماندهی مدیریت دانش و بهبود نظام‌مند دانش پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و مهارت اثرگذاران

- طراحی و اجرای فرآیندهای تعامل با شرکت‌های مادر تخصصی (و سایر بازیگران و ذینفعان) در راستای بسیج منابع برای جلب مشارکت ذینفعان، تسهیل‌گری، پیاده‌سازی و اجرای سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- طراحی فرآیندها و ساماندهی نظام پشتیبانی، پیاده‌سازی، اجرا و تسهیل‌گری سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- مشارکت و تامین منابع مالی در سطح مدیریتی سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

۳-۶-منابع و مراجع فصل سوم

[۱]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، راهنمای شماره ۱. پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲. ویرایش دوم.

[2]. http://www.dolat.ir/PDF/20years.pdf .

[3]. http://www.moe.gov.ir .

[4]. legal.iums.ac.ir/uploads/ghanune-barname_panjom.pdf .

[۵]. مقاصد و اهداف فناورانه صنعت برق، ابلاغی وزیر نیرو، ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

[6]. http://rc.majlis.ir/fa/law/show/99709 .

[7]. http://maslahat.ir

[8]. The European Construction Technology Platform, Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe, The reFINE Roadmap, (2013).

[9]. European Wind Energy Technology Platform, Strategic Research Agenda/ Market Deployment Strategy (SRA/MDS), (2014)

[10]. Kaplan, R.S., Norton, D.P., The balanced scorecard: translating strategy into action, 1996, Harvard Business Press .

[11]. Pearce, J.A, Robinson, R.B, Strategic management: formulation, implementation, and control, 1997, Irwin/McGraw-Hill .

[۱۲]. مهدی فتحاله، علیرضا علی احمدی، و ایرج تاج‌الدین. نگرشی جامع بر مدیریت استراتژیک. تهران: تولید دانش، ۱۳۸۲.

[۱۳]. سید محمد اعرابی. دستنامه برنامه‌ریزی استراتژیک. تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، ۱۳۸۵.

[۱۴]. مجموعه گزارش‌های پروژه " تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در کشور "، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶

[۱۵]. مجموعه گزارش‌های پروژه " تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در کشور "، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶

[۱۶]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو"پژوهشگاه نیرو، تابستان ۱۳۹۹

[۱۷]. "نظام‌نامه مدیریت و راهبری پژوهش و فناوری وزارت نیرو، "دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری، معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو، فروردین ۱۳۹۴

[۱۸]. "اساس‌نامه پژوهشگاه نیرو"، وزارت نیرو، مردادماه ۱۳۷۵

[۱۹]. "برنامه راهبردی پژوهشگاه نیرو ۱۳۹۹-۱۳۹۴"، پژوهشگاه نیرو، آذرماه ۱۳۹۳

[20]. SAMCO, (2006), A Vision of Structural Assessment, Monitoring and Control, strategic research agenda. Report F01

[21]. World Meteorological Organization, 2017, A Disaster Risk Reduction Roadmap for the World Meteorological Organization, Report 12839/2017-1.2 WDS/DRR

[22]. Earthquake Engineering Research Institute Strategic Plan, 2015

[23]. https://www.nehrp.gov/index.htm

[24]. https://www.fema.gov/about/mission

[۲۵]. مهدی بهزاد، محمد علی غریب، و عباس روحانی بسطامی، "نگاهی بر وضعیت مانیتورینگ ارتعاشات در نیروگاه‌های گازی کشور: از گذشته تا حال"، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات– ۱۳۸۴ – تهران

[26]. Poppe, J., Boute, R. N., & Lambrecht, M. R. (2018). A hybrid condition-based maintenance policy for continuously monitored components with two degradation thresholds. European Journal of Operational Research, 268(2), 515-532.

[27]. Lounis, Z. (2006). Risk-based maintenance optimization of aging highway bridge decks. In Advances in engineering structures, mechanics & construction (pp. 723-734). Springer, Dordrecht.

[28]. Ghodoosi, F., Abu-Samra, S., Zeynalian, M., & Zayed, T. (2018). Maintenance cost optimization for bridge structures using system reliability analysis and genetic algorithms. Journal of Construction Engineering and Management, 144(2), 04017116.

[29]. Lee, J. H., Choi, Y., Ann, H., Jin, S. Y., Lee, S. J., & Kong, J. S. (2019). Maintenance Cost Estimation in PSCI Girder Bridges Using Updating Probabilistic Deterioration Model. Sustainability, 11(23), 6593.

[30]. De Carlo, F., & Arleo, M. A. (2013). Maintenance cost optimization in condition based maintenance: a case study for critical facilities. International Journal of Engineering and Technology, 5(5), 4296-4302.

[31]. Heo, J. H., Kim, M. K., Kim, D., Lyu, J. K., Kang, Y. C., & Park, J. K. (2014). Maintenance priority index of overhead transmission lines for reliability centered approach. Journal of Electrical Engineering and Technology, 9(4), 1248-1257.

[32]. Ersdal, G. (2005). Assessment of existing offshore structures for life extension. University of Stavanger: Doctoral Thesis.

[33]. Ersdal, G., & Ho¨ rnlund, E. (2008, January). Assessment of offshore structures for life extension. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 48227, pp. 277-284).

[34]. Yalchiner, F. B., & Barsoum, Z. (2017). Life extension of welded structures using HFMI techniques-potential application to offshore structures. Procedia Structural Integrity, 5, 377-384.

[35]. Haagensen, P. J., Larsen, J. E., & Vårdal, O. T. (2015). Long term effectiveness of life extension methodologies applied to offshore structures. Engineering Failure Analysis, 58, 499-513.

[36]. Wintle, J., & Sharp, J. (2008). Requirements for life extension of ageing offshore production installations. Published by TWI, Cambridge, UK, Report, 17554(1), 08.

[37]. Neves, L. C., Frangopol, D. M., & Cruz, P. S. (2004). Cost of life extension of deteriorating structures under reliability-based maintenance. Computers & structures, 82(13-14), 1077-1089.

[۳۸]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران تولید نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، تیر ۱۳۹۹.

[۳۹]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران انتقال نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، مهر ۱۳۹۹.

[۴۰]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران توزیع نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، شهریور ۱۳۹۹.

پیوست شماره ۱:

پرسشنامه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

صاحب نظر ارجمند

احتراما، به اطلاع می‌رساند در راستای تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها، چشم‌انداز مربوط به فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حال تدوین است. بر این اساس از جنابعالی خواهشمند است ضمن مطالعه خلاصه گزارش تدوین چشم‌انداز، نظر خود را در مورد بیانیه چشم‌انداز در فرم پیوست منعکس نمایید.

زمینه های(تم‌ها) چشم‌انداز	نظر شما در تایید، رد و یا ارتقای عبارت
افزایش پایایی شبکه برق	
کاهش هزینه نگهداری شبکه برق	

در صورتی که زمینه‌های دیگری را مد نظر دارید که در بیانیه چشم‌انداز منعکس نشده است، در این بخش یادداشت بفرمایید.

در این قسمت، اگر از نظر شما بیانیه چشم‌انداز آینده مطلوب برای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را به طور کامل منعکس نمی کند، آینده مطلوب مورد نظر خود را توصیف کنید.

لطفا بیانیه چشم‌انداز را مطالعه کرده و جدول ذیل را در مورد آن پرنمایید.

ویژگی	بسیار مطلوب	مطلوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف	نظر ویژه
قابل دستیابی در زمان مورد نظر (۱۰ سال)						
تاحد ممکن کمیت‌پذیر باشد.						
جامع، تحول‌گرا، آینده‌نگر و پویا باشد.						
بلندپروازانه و منحصر به فرد باشد.						
برانگیزاننده باشد.						
حال و آینده را به هم پیوند دهد یعنی در عین آنکه واقع‌گرایانه باشد، با آرمان‌ها نیز مطابقت داشته باشد.						
توجه‌برانگیز برای جلب توجه ذی‌نفعان(و فعالین این حوزه) بوده و موجب ایجاد اطمینان میان ایشان گردد						
حس مالکیت و تعلق را در فعالین این حوزه ایجاد کند						
ایجاد تداوم در برنامه‌ریزی و اجرا کند.						
فرصت‌های موجود را نشان داده، راه بهره‌جویی از فرصت‌ها را بنماید.						
کوتاه و به خاطر ماندنی باشد.						

پیوست شماره ۲:

پرسشنامه اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

صاحبنظر ارجمند

احتراما، به اطلاع می‌رساند در راستای تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها، اهداف مربوط به توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حال تدوین است. بر این اساس از جنابعالی خواهشمند است ضمن مطالعه خلاصه گزارش تدوین اهداف، نظر خود را در مورد اهداف در فرم پیوست منعکس نمایید.

لطفا اهداف را مطالعه کرده و جدول ذیل را در مورد آن پرنمایید.

ویژگی	بسیار مطلوب	مطلوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف	نظر ویژه
مشخص بودن						
قابل اندازه‌گیری بودن						
قابل دستیابی بودن						
واقع‌گرایانه بودن						
محدود به زمان بودن						

در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، اهداف توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را به طور کامل منعکس نمی کند، اهداف مورد نظر خود را یادداشت بفرمایید.

در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، با اسناد بالادستی هم‌راستا نمی‌باشد، اهداف مورد نظر خود را یادداشت بفرمایید.

در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، با چشم‌انداز توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، هم‌راستا نمی‌باشد، اهداف مورد نظر خود را یادداشت بفرمایید.

پیوست شماره ۳:

پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

نام و نام خانوادگی: **پست سازمانی:**

تحصیلات / تخصص: **شماره تماس:**

آدرس پست الکترونیک:

آیا مایلید اطلاعات شخصی جنابعالی در بانک اطلاعات متخصصین ذخیره گردد؟ بلی ❐ خیر❐

تجربیات قبلی(در صورت امکان، به صورت خلاصه ضمیمه گردد)

ملاحظات :

پرسشنامه حاضر به بررسی اهمیت سازه‌های صنعت برق منظور بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در آنها می‌پردازد. این پرسشنامه در دو سطح تحلیل، تهیه شده است. در سطح اول که کلان‌تر می‌باشد تأسیسات اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مورد بررسی قرار گرفته و در سطح بعدی با طرح پرسش‌هایی، میزان اهمیت بکارگیری سیستم پایش در سازه‌های تشکیل دهنده این تأسیسات مورد بررسی قرار گرفته است.

نحوه پاسخگویی پرسشنامه به این نحو است که در سطرهای جدول ۵ تمام تأسیسات صنعت برق و در سطرهای جدول ۶ سازه‌های تشکیل دهنده آنها آورده شده است. در ستون‌های این جداول نیز شماره سوالات پرسشنامه درج شده است. خواهشمند است برای پاسخ به سوالات، عدد مربوط به پاسخ هر سوال را داخل خانه مربوطه در جداول ۵ و ۶ وارد نمایید. لازم به ذکر است سوالات ۱ تا ۱۵ (جداول ۱و ۲) مربوط به بررسی جذابیت و توانمندی در بکارگیری پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق در کشور بوده که جواب این سوالات می‌بایست به ازای هر تاسیس صنعت برق در جدول ۵ وارد شود. سوالات ۱۶ تا ۲۵ (جداول ۳ و ۴) نیز مربوط به ارزیابی جذابیت و توانمندی در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های تشکیل دهنده این تأسیسات می‌باشد. که جواب این سوالات می‌بایست به ازای هر سازه در جدول ۶ وارد شود.

لطفاً جهت تحلیل و ارزیابی دقیق‌تر نتایج پرسشنامه، در جدول ۵، میزان سابقه کاری یا پژوهشی خود را در هر یک از حوزه‌ها، در ستون مربوطه مشخص نمایید. به منظور مقایسه بهتر و دقیق‌تر بین تأسیسات و سازه‌های مختلف، پیشنهاد می‌شود که پاسخنامه به صورت ستونی پر شود. در صورتی که فکر می‌کنید سؤال برای این سازه مناسب نیست، عدد (۰) را در خانه مربوطه قرار دهید.

جدول ۱- ارزیابی جذابیت در پیاده‌سازی پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

ردیف	سوال
۱	**میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۲	**آسیب‌های احتمالی به محیط زیست را در صورت وقوع خرابی کلی در این تأسیسات چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۳	**اثرات منفی اجتماعی* در صورت قطع عملکرد این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۴	**میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۵	**خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۶	**هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار کم — بسیار زیاد
۷	**میزان فوریت دستیابی کشور ما به فناوری پایش سلامت در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار زیاد — بسیار کم
۸	**پتانسیل وقوع خرابی کلی* *در سازه‌های این تأسیسات که منجر به قطع عملکرد می‌شود را چگونه ارزیابی می-کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ سابقه خرابی وجود دارد — سابقه خرابی وجود ندارد احتمال وقوع خرابی وجود دارد

***اثرات منفی اجتماعی:** اثرات منفی اجتماعی شامل احساس عدم امنیت، نارضایتی و افزایش ناهنجاری‌های اجتماعی و... در صورت قطع عملکرد در تاسیسات می‌باشد.

* ***خرابی کلی:** از دست رفتن مقاومت یا پایداری کل سازه یا بخش‌های عمده‌ای از آن که منجر به قطع عملکرد مورد انتظار سازه گردد (نمونه‌هایی از خرابی کلی: فروریزش، واژگونی، تغییر شکل‌های زیاد و...)

در مورد سوالات جدول فوق لازم به توضیح است که پاسخ به آنها علاوه بر نوع تأسیسات، به موقعیت جغرافیایی و شرایط کارکرد هریک از آنها بصورت مورد به مورد نیز بستگی دارد. در اینجا صرفاً مقایسه میان تأسیسات و سازه های مختلف موجود در صنعت برق (جداول ۴ و ۵) بطور کلان در سطح کل کشور مورد نظر می باشد. مثلاً ممکن است یک خط توزیع خاص از یک خط انتقال خاص مهمتر باشد ولی در سطح کلان کشور، امتیاز کلی خطوط انتقال (مربوط به هریک از سوالات فوق) از خطوط توزیع بیشتر شود.

جدول ۲- ارزیابی توانمندی* در پیاده‌سازی پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق در کشور

ردیف	سوال
۹	**وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در این تأسیسات را در کشور چگونه ارزیابی می‌کنید؟** دانش فنی لازم در حد ایده‌آل وجود دارد ۱۰ ۵ ۱ دانش فنی موجود در مقایسه با سطح مورد نیاز ناچیز و قابل چشم‌پوشی است
۱۰	**وضعیت زیر ساختهای نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** نرم افزارهای مورد نیاز در دسترس می باشند ۱۰ ۵ ۱ نرم افزارهای مورد نیاز موجود نیست
۱۱	**وضعیت زیر ساختهای سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** (تجهیزات، امکانات و ...) سخت‌افزار مورد نیاز بطور کامل موجود است ۱۰ ۵ ۱ سخت‌افزار(تجهیزات، ابزار و ...) مورد نیاز وجود ندارد
۱۲	**وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد (دارای دانش و تجربهٔ کافی) برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** نیروی انسانی متخصص و کارآمد، مورد نیاز در حد ایده‌آل وجود دارد ۱ ۵ ۱ نیروی انسانی متخصص و کارآمد مورد نظر در کشور وجود ندارد
۱۳	**وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تاسیسات را چگونه ارزیابی می کنید؟** منابع مالی قابل تخصیص مناسب است ۱۰ ۵ ۱ منابع مالی قابل تخصیص بسیار کم است
۱۴	**آیا قوانین و سیاست های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات در کشور وجود دارد؟** ۱. قوانین و سیاست های مرتبط تدوین و اجرایی شده است. ۲. قوانین و سیاست های مرتبط تدوین شده است اما اجرایی نشده است. ۳. قوانین و سیاست های مرتبط در حال تدوین است. ۴. قوانین و سیاست های مرتبط وجود ندارد.
۱۵	**وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه ها و سازمان های مرتبط را برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تاسیسات چگونه ارزیابی می کنید؟** آمادگی و هماهنگی بسیار بالای دستگاه‌ها و سازمان‌ها ۱۰ ۵ ۱ آمادگی و هماهنگی پایین دستگاه‌ها و سازمان‌ها

* توانمندی در حوزه های علمی، فنی، اجرایی، مالی و نیروی انسانی متخصص در سطح کل کشور مورد نظر می باشد.

جدول ۳- ارزیابی جذابیت در پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	سوال
۱۶	**سوابق وقوع خرابی* در این سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ سابقه وقوع خرابی وجود دارد ـــــــــــ سابقه وقوع خرابی وجود ندارد احتمال وقوع خرابی وجود دارد
۱۷	**پتانسیل خسارات جانی و امنیتی در صورت وقوع خرابی در سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ بسیار زیاد ـــــــــــ بسیار کم
۱۸	**پتانسیل خسارات زیست محیطی در صورت وقوع خرابی در سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ بسیار زیاد ـــــــــــ بسیار کم
۱۹	**مدت زمان لازم برای تعمیر و بازیابی این سازه را در صورت وقوع خرابی در آن چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ بسیار زیاد ـــــــــــ بسیار کم
۲۱	**هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم در صورت وقوع خرابی در سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ بسیار زیاد ـــــــــــ بسیار کم
۲۱	**در صورت وقوع خرابی در این سازه احتمال اخلال در عملکرد سیستم یا سایر تجهیزات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱۰ ۵ ۱ بسیار زیاد ـــــــــــ بسیار کم

* پاسخ این سوال بر اساس سوابق موجود از وقوع آسیبهای موضعی (مانند ترک، خوردگی، پوسیدگی، شل شدن پیچها، پارگی اتصالات و...) یا خرابی کلی (مانند فروریزش، واژگونی، تغییر شکل‌های زیاد و...) و یا استنتاج منطقی در خصوص پتانسیل وقوع آنها (در صورت فقدان سوابق)، داده شود.

جدول ۴- ارزیابی توانمندی در پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	سوال
۲۲	**میزان سهولت دسترسی به سازه را برای اجرای پایش سلامت و مقاوم‌سازی چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار کم بسیار زیاد
۲۳	**سادگی رفتاری (نبود تعداد المان زیاد یا پیچیده) سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار کم بسیار زیاد
۲۴	**وجود ابزارهای لازم برای پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه (نرم افزار، دستورالعمل و ...) را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار کم بسیار زیاد
۲۵	**وجود نیروی انسانی متخصص و کارآمد (دارای دانش و تجربهٔ کافی) برای پایش سلامت سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟** ۱ ۵ ۱۰ بسیار کم بسیار زیاد

DOI:

جدول ۵- نتایج سوالات ارزیابی جذابیت و توانمندی در بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق در کشور

ردیف	بخش	تاسیسات	سابقه کار یا پژوهش در حوزه موردنظر (سال)				سوالات ارزیابی جذابیت								سوالات ارزیابی توانمندی						
			بیشتر از ۸ سال	۵-۷	۱-۴	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱	تولید	نیروگاه بخاری																			
۲		نیروگاه گازی																			
۳		نیروگاه چرخه ترکیبی																			
۴		نیروگاه دیزلی																			
۵		نیروگاه برق آبی																			
۶		نیروگاه هسته‌ای																			
۷		نیروگاه بادی																			
۸		نیروگاه خورشیدی																			
۹		نیروگاه زمین گرمایی																			

ردیف	بخش	تاسیسات	سابقه کار یا پژوهش در حوزه موردنظر (سال)				سوالات ارزیابی جذابیت								سوالات ارزیابی توانمندی						
			بیشتر از ۸ سال	۵-۷	۱-۴	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۰		نیروگاه زباله-سوز																			
۱۱	انتقال	خطوط انتقال																			
۱۲		پست‌های انتقال																			
۱۳		خطوط فوق توزیع																			
۱۴		پست‌های فوق توزیع																			
۱۵	توزیع	خطوط توزیع																			
۱۶		پست‌های توزیع																			

جدول ۶- نتایج سوالات ارزیابی جذابیت و توانمندی در بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	بخش	عنوان سازه	شماره سوالات									
			۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
۱	تولید	فونداسیون توربین و ژنراتور										
۲		سازه سیستم خنک‌کن اصلی										
۳		سازه توربین هال										
۴		سازه نگهدارنده بویلر و HRSG										
۵		سازه نگهدارنده دودکش										
۶		سازه ساختمان کنترل										
۷		مخازن										
۸		سازه سیستم خنک‌کن کمکی										
۹		سازه و اتصالات نگهدارنده لوله‌ها										
۱۰		سازه ایستگاه‌های گاز و محوطه سوخت										
۱۱		سایر سازه‌های ساختمانی										
۱۲		پره توربین بادی										
۱۳		برج و فونداسیون توربین بادی										
۱۴	انتقال	دکل‌ها و فونداسیون آنها										
۱۵		مقره و یراق خطوط هوایی										
۱۶		هادیهای خطوط هوایی										
۱۷		گنتری پست‌ها										
۱۸		سازه نگهدارنده تجهیزات پست‌ها										
۱۹		اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها										
۲۰		ساختمان کنترل پست										
۲۱		سایر سازه‌های ساختمانی پست‌ها										
۲۲		گالری‌های بتنی و منهول‌ها										
۲۳	توزیع	پایه‌های هوایی توزیع										
۲۴		پست‌های هوایی										
۲۵		ساختمان پست‌های زمینی و زیرزمینی										
۲۶		فونداسیون تجهیزات پستهای توزیع										
۲۷		خطوط زمینی										

فصل چهارم

٤- بازنگری برنامه اقدامات

٤-١-مقدمه

در مرحله چهارم طرح «سند راهبردی پایش سلامت در سازه های صنعت برق، روش‌های پیش بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها»، سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز برای تحقق چشم انداز، اهداف و راهبردها مشخص می‌گردد. این سیاست‌ها و اقدامات برای رفع مشکلات موجود در ابعاد توسعه و انتشار دانش، کارآفرینی، تأمین منابع مالی، انسانی و تجهیزات، شکل دهی به بازار، جهت‌دهی به سیستم و مقبولیت بخشی در حوزه پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و توسعه فناوری‌های پشتیبان آنها تعیین می‌شود. [۱] ورودی لازم برای تعیین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی، چالش‌ها و مشکلات موجود در هر یک از این ابعاد است که با کمک کارشناسان و خبرگان در حوزه پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها استخراج می‌شود. به‌علاوه در کارکرد اکتساب و توسعه دانش فنی و فناوری‌های پشتیبان، اقدامات فنّی نیز ارائه خواهند شد که ورودی آن‌ها راهبردهای ارائه شده در گزارش مرحله سوم می‌باشد.

ساختار این گزارش به این صورت است: در بخش اول درباره مبانی نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات در ادبیات سیاست‌گذاری فناوری صحبت می‌شود. سپس فرآیند تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند راهبردی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، سیاست‌ها و اقدامات تدوین شده برای رفع مشکلات توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ارائه خواهد شد.

٤-٢-چارچوب نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند

مبنای تدوین این سیاست‌ها و اقدامات در این سند نظام نوآوری فناورانه[1] (TIS) است. بنا بر تعریف کارلسون و استانکیویکز نظام فناورانه عبارت است از: «شبکه‌ای پویا از عاملان[2] که در یک ناحیه‌ی اقتصادی/صنعتی تحت زیرساخت‌های نهادی خاص با یکدیگر در تعامل بوده و در تولید، انتشار و بهره‌برداری از فناوری سهیم هستند» [۲]

نقطه آغاز تحلیل یک نظام فناورانه نوآوری بر یک منطقه جغرافیایی یا بخش صنعتی متمرکز نیست، بلکه بر یک تکنولوژی یا یک زمینه فناورانه متمرکز است. هدف بیشتر مطالعات نظام‌های نوآوری فناورانه، تحلیل و ارزیابی توسعه یک نوآوری فناورانه خاص در قالب ساختار یا فرآیندهای پشتیبان (یا مخرب) آن است. از این منظر، می‌توان به این رویکرد به‌عنوان یک گونه‌ی خردنگر[3] از مفهوم نظام‌های بخشی نوآوری نگریست. رویکرد نظام نوآوری فناورانه دارای مشخصه‌های عمومی رویکردهای نظام نوآوری است. با این وجود، دو مشخصه، این رویکرد را از رویکردهای دیگر متمایز می‌سازد. اوّلین مشخصه، تأکید رویکرد نظام نوآوری فناورانه بر نقش شایستگی اقتصادی، توانایی توسعه و استفاده از فرصت‌های جدید کسب و کار به‌عنوان جنبه‌ای مهم از نوآوری فناورانه می‌باشد. این رویکرد بر کافی نبودن تحریک جریان‌های دانش برای وقوع تغییرات فناورانه و عملکرد اقتصادی تأکید می‌کند. تحریک جریان‌های دانش برای تحریک فعّالانه دانش‌های موجود به‌منظور ایجاد

[1] - Technological innovation systems (TIS)
[2] - Agents
[3]- Micro oriented

فرصت‌های جدید کسب و کار، لازم است. این جنبه رویکرد نظام نوآوری فناورانه بر اهمیت اشخاص و نیروهای کارآفرین به‌عنوان منابع نوآوری تأکید می‌کند. این موضوع توسط رویکردهای کل‌نگر[1] نظام نوآوری مغفول واقع گردیده است. تمرکز بر فعّالیت‌های کارآفرینانه، مکمّل تأکید بر جریان‌های دانش است. مشخصه دوّم متمایزکننده مطالعات مربوط به نظام نوآوری فناورانه از رویکردهای دیگر، تمرکز زیاد آن بر پویایی سیستم است. تمرکز بر اقدام کارآفرینانه، پژوهشگران حوزه نظام فناورانه نوآوری را تشویق به نگریستن به آن به‌عنوان چیزی کرده است که در طول زمان ایجاد می‌گردد. به عبارت دیگر در این رویکرد، تمرکز و تأکید بر نقش کارآفرینان در فازهای مختلف توسعه فناوری و ارتباطات آنها با سایر بازیگران، زمینه را برای بررسی روند شکل‌گیری این نظام در طول زمان آماده کرده تا از این طریق، روند پویایی آن در نظر گرفته شود.

٤-٢-١- تعاریف و مفاهیم سیاست‌گذاری

برای سیاست یا خط‌مشی تعاریف متعددی ارائه شده است. در اینجا به عنوان نمونه به چند مورد از آنها اشاره می‌شود:

- سیاست عبارت است از تصمیم بسیط و از پیش‌گرفته شده‌ای که برای هدایت یا جایگزینی تصمیم‌گیری‌های تکراری در مدیریت بکار برده می‌شود.
- سیاست نوعی تصمیم است؛ تصمیمی اولیه، کلی، بنیادی و فراگیر که پس از جمع‌بندی افکار و تصمیمات فراوان دیگر اتخاذ می‌شود. سیاست یک تصمیم عام است و درعین‌حال با تصمیمات جزئی رابطه همپوشانی دارد. این دو باید مؤید یکدیگر باشند. به‌عبارت‌دیگر، باید در طول و نه در عرض یکدیگر باشند.
- سیاست، قاعده کلی اجرای عملیات است و به مدیریت ویژگی عملی داده، آن را از حوزه نظری و ذهنی به حوزه عملیاتی وارد می‌کند.
- سیاست، قانون انتخاب یا گزینش راه و سپس اتخاذ تصمیم است.
- سیاست، حاصل و نتیجه مطالعات و تصمیم‌های مدیران عالی سازمان و جامعه برای تخصیص منابع و امکانات با آینده‌نگری‌های معقول است.

با در نظر داشتن این تعاریف موجود در ادبیات، سیاست‌های کلان را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود:
سیاست‌های کلان سیاست‌هایی هستند که با داشتن رویکردی تنظیم گرا، به دنبال بهبود شرایط کلان اقتصادی اجتماعی بدون توجه به ملاحظات فناورانه خاص است. این سیاست‌ها دارای اثرگذاری بر کلیه حوزه‌ها و بخش‌های نظام توسعه فناوری بوده و به فراهم آوری بسترهای لازم جهت پیاده‌سازی، انسجام و کارایی راهبردهای فناوری اتخاذ شده کمک می‌کند. نتیجه این حمایت، تسهیل توسعه فناوری است. [۱۲]
به‌منظور روشن‌تر شدن جایگاه سیاست‌های کلان در میان سایر حوزه‌های سیاستی که در ادبیات به کار می‌رود، لازم است تا در اینجا تعاریف مختصری از سیاست صنعتی و سیاست فناوری ارائه گردد:

[1]- Macro oriented

اولین مفهوم سیاست صنعتی است. سیاست صنعتی عبارت است از تمام انواع مداخلات دولت که به صورتی هماهنگ و آگاهانه برای تسهیل فرآیند توسعه صنعتی در سطح ملی انجام می‌شود. هر دخالتی در بازارهای سرمایه، نیروی کار، مهارت و فناوری یا ایجاد تغییرات نهادی که موجب تقویت توسعه صنعتی می‌شود، سیاست صنعتی تلقی می‌شود. این دخالت‌ها از جانب دولت و در سطح ملی به وقوع می‌پیوندد. سیاست صنعتی با تعابیر و معانی متفاوتی در ادبیات موجود به کار رفته است. در برخی از موارد، دولت تنها در بازار صنعت (از طریق سیاست‌گذاری) مداخله می‌کند. به عبارت دیگر، مداخله دولت در مدیریت و تسهیل عرضه و تقاضا در داخل یا بیرون صنعت صورت می‌گیرد. به عنوان نمونه می‌توان به صنعت خودرو در کشور اشاره نمود که دولت در بازار آن (از طریق اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری) مداخله می‌کند. زمانی که جهت‌گیری "بازاری" صنایع (جهت‌گیری درونی یا بیرونی) موردنظر بوده، سیاست صنعتی به سیاست تجاری تقلیل یافته است. در برخی از موارد نیز سیاست صنعتی به معنای تعیین اولویت در صنایع است. بدین معنی که دولت تعیین می‌کند که چه صنایعی و با چه ساختاری در کشور توسعه پیدا کند. سیاست صنعتی در قالب سه نوع سیاست افقی، عمودی و کارکردی تقسیم‌بندی می‌شود. مشخص است که این تعریف بسیار عام بوده و درمجموع شامل تمامی راهبردها و سیاست‌های کلان می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در تعریف سیاست صنعتی، هرگاه سیاست عمودی یا تعیین اولویت در صنایع مدنظر است، با توجه به تعاریف معمول، منظور راهبرد توسعه صنعتی است، و هرگاه سیاست افقی یا کارکردی مدنظر است، منظور سیاست‌های کلان است.

دومین مفهوم سیاست فناوری است. بر اساس تعریف موری[1] (۱۹۹۵)، سیاست فناوری را باید به‌صورت سیاست‌هایی تعریف کرد که مقصود آن‌ها تأثیرگذاری بر تصمیمات شرکت‌ها در مورد توسعه، تجاری‌سازی یا اتخاذ فناوری‌های جدید است. به اعتقاد وی، قصد یا نیت در این تعریف مهم است، زیرا دامنه‌ی سیاست‌هایی که بر تصمیمات شرکت‌ها در مورد نوآوری و اتخاذ فناوری‌ها تأثیر می‌گذارند، شامل سیاست‌های اقتصاد کلان، سیاست‌های تنظیمی و سایر ابزارهای اجرای سیاست‌ها نیز می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این تعریف سیاست فناوری سیاست‌هایی هستند که بر اتخاذ، تطابق، اشاعه، توسعه، تولید و تجاری‌سازی دانش فناورانه تأثیر دارند. [۸]

در کنار این دو مفهوم، مفهوم سیاست‌های کلان قرار می‌گیرند که ماهیتی متمایز از دو تعریف ارائه‌شده دارند. سیاست‌های کلان مفهومی نزدیک به راهبردها است. راهبرد، راه رسیدن به اهداف تعیین شده است. این راه در حقیقت منتخبی از گزینه‌های جایگزین است. عملکرد یک راهبرد با میزان محقق شدن هدف مذکور سنجیده می‌شود. در طرف مقابل، سیاست چارچوبی است که کیفیت رسیدن به هدف را تعریف می‌کند. این چارچوب دربرگیرنده‌ی ملاحظات لازم در طراحی و اجرای راهبردهای توسعه است. این ملاحظات مشتمل بر اهداف کلان تعیین‌شده ازیک‌طرف و اصول تدوین سیاست از طرف دیگر است. سیاست‌های کلان با ارائه‌ی راهنماهای کلی بر مبنای این ملاحظات، ۱) به یکپارچگی و رفع تناقضات راهبردها در مسیر دستیابی به اهداف کمک می‌کند، ۲) مسیر اجرای راهبردها را تسهیل می‌کند، ۳) به‌عنوان یک راهنما در جهت‌دهی به راهبردها نقش ایفا می‌کند

[1]- Mowery

٤-٢-١-١- ویژگی‌ها و اصول تدوین سیاست‌های کلان

به‌منظور حصول اطمینان از اثرگذاری سیاست‌های کلان، لازم است تا از رهنمون‌هایی به هنگام طراحی این سیاست‌ها استفاده شود. در حقیقت این‌ها ویژگی‌هایی هستند که سیاست‌های کلان باید با درنظرگرفتن آن‌ها طراحی شوند: [۱۲]

دارا بودن هدف‌های کلی و فراگیر: هدف‌های کلی، بخش اصلی سیاست‌های کلان را تشکیل می‌دهند و تصمیم‌گیرندگان در انتخاب سیاست‌ها، از آن‌ها بهره فراوان می‌برند. به‌عنوان‌مثال اهدافی چون استقلال و آزادی، حفظ تمامیت ارضی کشور، توسعه اقتصادی و غیره در سیاست‌های کلان، اجزای اصلی و عمده را تشکیل می‌دهند.

تعیین حدومرز سایر ابعاد ارکان جهت ساز و نیز برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان باید تعیین‌کننده حدومرز سایر ابعاد توسعه باشند. به‌عبارت‌دیگر، باید حیطه ارکان جهت ساز و خرد در سیاست‌های کلان معین شود.

تعیین اولویت زمانی برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان، تعیین‌کننده اهداف زمانی سایر ابعاد توسعه می‌باشند. این بعد سیاست کلان، مشخص می‌کند که چه بخش‌هایی از برنامه اقدامات و سیاست‌ها باید بلافاصله عملی گردند و چه بخش‌هایی باید به‌مرورزمان به انجام رسند. به‌عبارت‌دیگر، سیاست‌های کلان، تعیین‌کننده زمان مناسب‌تری است که باید اقدامات و سیاست‌های اجرایی در آن زمان اجرا گردند. در این راه مسائلی مانند حساسیت‌های سیاسی، بحرانی بودن اوضاع اجتماعی، احتیاج فوری به برآوردن یک نیاز و آماده نمودن جامعه برای پذیرش بعضی از مسائل، بر مهلت زمانی اولویت‌ها و برنامه‌ها تأثیر می‌گذارد.

تعیین میزان ریسک‌پذیری: این جنبه از سیاست‌های کلان، میزان مخاطره و ریسکی را معین می‌سازد که در ارکان جهت ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها می‌تواند موردقبول باشد. این خصوصیات سیاست‌ها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا میزان معقول ریسک را در برنامه‌های موردنظر خود دریابند. مسلماً برنامه‌های توسعه‌ای که تغییرات عمده‌ای را در بردارند، نسبت به برنامه‌هایی که هدفشان تغییرات جزئی است مخاطره بیشتری را به دنبال خواهند داشت.

طراحی پیش‌فرض‌های مربوط به آینده: مسلماً وضعیت فعلی قابل‌تعمیم به بسیاری از شرایط آتی نخواهد بود و خط‌مشی‌های آینده، باید خصوصیات خاص زمانی خود را داشته باشد. در این وجه از خط‌مشی‌های فراگیر، پیش‌فرض‌هایی که در مورد آینده طراحی شده است و خط‌مشی‌های عمومی که باید از آن‌ها تبعیت کنند، مشخص می‌گردند.

ایجاد بنیادهای نظری برای تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان می‌توانند دربرگیرنده بنیادهای نظری سایر جهت‌گیری‌های باشند. نظریه‌های سیاسی، تئوری‌های مدیریت، تئوری‌های رفتاری و سایر تئوری‌های مربوط، می‌توانند اساس توسعه فناوری در سطوح خردتر را تشکیل دهند و در سیاست‌های کلان بیان شوند.

پایداری سیاست‌ها: یکی از خصوصیات عمده ارکان جهت‌ساز، عمر نسبتاً طولانی آن است. سیاست‌های کلان باید به‌گونه‌ای طراحی و وضع شوند که از انعطاف کافی برخوردار بوده، پویایی لازم را حفظ کنند و زمان نسبتاً درازی، قابلیت کاربرد و استفاده داشته باشند. سیاست‌های کلان باید بتواند با محیط متغیر و متحول افراد خود

تطبیق یافته، به نیازهای گوناگون در طول زمان پاسخ دهد. همچنین بر طبق این اصل، مداخله‌ی موقت دولت نسبت به مداخله‌ی آزاد ارجحیت دارد. اقدامات حمایتی تنها باید زمانی انجام گیرد که تأثیرات بلندمدتی فراتر از زمان اقدامات حمایتی داشته باشد. اساساً مداخلاتی منجر به پایداری در یک نظام می‌شود که فارغ از کنترل کامل بر تمام ابعاد توسعه، بر دخالت راهبردی دولت‌ها تأکید دارد. بنابراین در کلیه برنامه‌ریزی‌ها لازم است تا از این اصل در قالب سیاست‌های کلان استفاده شود.

آینده‌نگری، واقع‌بینی: سیاست‌های کلان به آینده نظر دارند و می‌کوشد تا با توجه به واقعیت‌های موجود، خطوط کلی و جهت‌گیری‌های اساسی مسیر توسعه فناوری را معین سازند. بنابراین، قدرت پیش‌بینی در تعیین این سیاست‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند و پیش‌بینی‌های صحیح، به آن‌ها اعتبار می‌بخشند. سیاست‌های کلان در آینده‌نگری باید واقعیت‌های زمان و مکان را در نظر بگیرند و از بزرگ‌دیدن یا نادیده‌انگاشتن امکانات موجود، بر حذر باشند.

هدف‌داری: یکی دیگر از خصوصیات سیاست‌های کلان، هدف‌دار بودن آن است، سیاست‌های کلان به‌طور ارادی و از روی قصد و نیت قبلی، تنظیم و وضع می‌گردند و هدف معینی را دنبال می‌کنند. بنابراین این سیاست‌ها، موضوعاتی اتفاقی و تصادفی نیستند و رسوم و آداب و عادات اجتماعی، محتوای آن‌ها را تشکیل نمی‌دهد. اگرچه این عوامل در شکل‌گیری آن‌ها تأثیر فراونی دارد.

توجه به توسعه شبکه و مراکز توانمندی: توسعه شبکه و مراکز توانمندی می‌تواند باعث افزایش کارایی نظام ملی نوآوری گردد. طبق این مفهوم، هر کنش‌گر در نظام ملی نوآوری یک کشور می‌تواند به‌عنوان یک مرکز توانمندی عمل کند که شرکت‌های نوآور، سازمان‌های تحقیقاتی، و نهادهای دولتی را به‌هم ارتباط می‌دهد. توجه ویژه در دهه اخیر بر مفهوم شبکه و شبکه‌سازی برای خلق و انتشار نوآوری نیز مؤید همین مطلب است. بر همین اساس، لازم است تا سیاست‌هایی در سطح کلان وجود داشته باشند که بر این مفهوم به‌عنوان یک اصل مهم که در کلیه اقدامات و برنامه‌ها و اقدامات بر آن توجه شود، در نظر گرفته شود.

اصل سازمان‌های تحقیقاتی یادگیرنده: این اصل بر این موضوع تأکید دارد که سازمان‌های تحقیقاتی نیازمند میزان قابل‌ملاحظه‌ای انعطاف‌پذیری سازمانی و مدیریتی برای پردازش تجارب کسب‌شده و اطلاعات جدید و برآورده ساختن اهداف تحقیق که طی توسعه اقتصادی تغییر می‌کنند، می‌باشند. بر این اساس، کلیه کنش‌گران لازم است تا از انعطاف‌پذیری بالا در محیط توسعه فناوری برخوردار باشند. این انعطاف‌پذیری را می‌توان ابزاری برای غلبه بر اینرسی و لختی به وجود آمده از نظام‌های فنی و اجتماعی موجود به شمار آورد. در صورت وجود این اینرسی، کلیه اقدامات و برنامه‌ها در سطوح پایین‌تر بدون نتیجه باقی خواهد ماند و تغییر در ماهیت کلان نظام به‌وجود نمی‌آید. بنابراین ضرورت وجود سیاست‌های کلانی که با رعایت این اصل با ترویج انعطاف‌پذیری بر اینرسی موجود غلبه نمایند احساس می‌شود.

اصل رقابت: رقابت مستلزم این است که دولت‌ها از چارچوب‌های قانونی و تنظیمی مبتنی بر بازار برای بهبود رقابت بین کنش‌گران نظام نوآوری ملی استفاده نمایند. تمرکز بر این چارچوب‌های مبتنی بر بازار بیشتر نگاهی است که در مکتب اقتصادی نئوکلاسیک بر آن تأکید می‌گردد. اما از نگاه سایر مکاتب اقتصادی (مانند نهادگرا)، اتکا تنها بر شکل‌دهی به بازار در شرایطی که زیرساخت‌هایی ابتدایی و بنیادین نوآوری ضعیف است، شاید نتواند

برآورده‌کننده شرایط رقابت کامل باشد. بنابراین رقابت برای ایجاد شرایط نوآوری (نه فقط تنظیم بازار) می‌تواند موضوع سیاست‌های کلان باشد.

اصل سازمان‌های تحقیقاتی ناب: این اصل بر دوری جستن از مشکلات بروکراتیک تأکید دارد. خصوصاً رویه‌های اداری وقت‌گیر که مانع تحقیق، بهره‌برداری، و کاربرد نتایج تحقیق می‌شود.

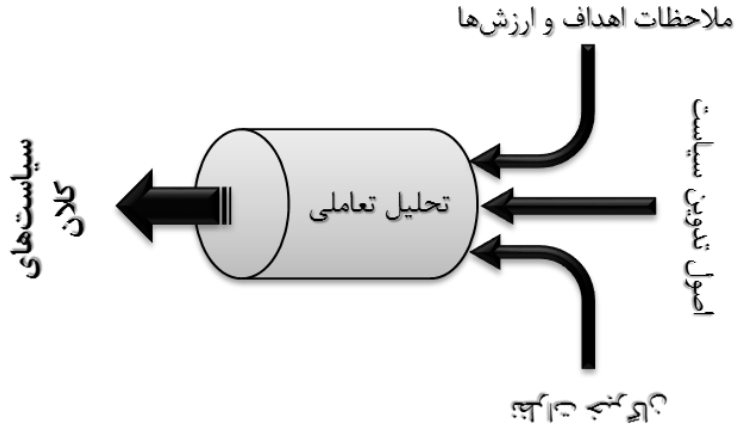
اصل ارزیابی مستمر: گذشت زمان منجر به ایجاد تغییرات در محیط توسعه فناوری می‌گردد. این تغییرات ضرورتی برای بازنگری در اهداف و اقدامات به‌وجود می‌آورند. بر این اساس، در قالب سیاست‌های کلان ضروری است تا بر مفهوم تغییر و پویایی که جزء جدایی‌ناپذیر محیط توسعه است، تأکید گردد.

اصل تکمیل‌کنندگی: در هر صنعتی یک زنجیره ارزش وجود دارد. برای تحقق این زنجیره باید بازیگران و کنش‌گرانی در لایه‌های سیاست‌گذاری[1]، تنظیم‌گری[2]، تسهیل‌گری[3] و ارائه خدمت[4] در آن شکل بگیرند و حاکم شوند. معمولا دولت‌ها تنها لایه‌های سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری را بر عهده می‌گیرند و لایه‌های بعدی را بر عهده بخش‌های خصوصی یا عمومی غیردولتی (مانند NGO ها) می‌گذارند. در مواردی که بخش‌های خصوصی به دلایل مختلف (مثلا ضعف یا منع قانونی) نتوانند نقش خود را به عنوان تسهیل‌گر یا ارائه دهنده خدمت به خوبی انجام دهند، دولت در این لایه‌ها نیز مداخله کرده و تکمیل‌کننده ضعف‌های بخش خصوصی خواهد بود. توانایی سطوح مختلف دولت در حل مشکلات، تعیین‌کننده‌ی نحوه‌ی تخصیص توانمندی‌های سیاستی و مسئولیت‌های دولتی می‌باشد. بنابراین، هر واحد تصمیم‌گیری سیاستی تنها برای وظایفی مسئولیت نشان می‌دهد که نمی‌تواند توسط نهادهای دولتی یا خصوصی زیردست برعهده گرفته شود. با تحقق اصل تکمیل‌کنندگی، اقدامات بخش خصوصی تقویت خواهد شد.

٤-٢-١-٢- طراحی سیاست کلان

به‌منظور طراحی سیاست‌های کلان ضروری است تا چارچوبی توسعه داده شود. این چارچوب به طراحی سیاست‌های هماهنگ با ویژگی‌های ذکرشده در قسمت‌های قبلی می‌پردازد. از آن‌جا که نظرات خبرگان (مشتمل بر سیاست‌گذاران) در اتخاذ سیاست‌های کلان، وزن قابل‌توجهی دارد، بخش گسترده‌ای از چارچوب پیشنهادی نیز متکی بر جمع‌آوری نظرات کارشناسی است. این چارچوب از سه بخش ورودی، عملگر، و خروجی تشکیل شده است: [۱۲]

[1] - Policy Making
[2] - Regulating
[3] - Facilitating
[4] - Service Providing



شکل ۱-۴- چارچوب طراحی سیاست‌های کلان

ورودی طراحی متشکل از سه جزء نظرات خبرگان، اصول تدوین سیاست، و ملاحظات اهداف کلان توسعه است. ازآنجاکه سیاست‌های کلان مفاهیمی کاملاً وابسته به موضوع و پیشینه بستر عملیاتی تحقیق هستند، بخش عمده‌ای از طراحی آن‌ها متکی بر نظراتی است که افراد درگیر در فرآیندهای عملیاتی موضوع موردمطالعه منعکس می‌کنند. در چنین شرایطی، ارائه یک قالب از پیش تعیین‌شده که بتواند به‌طور مستقل از نظرات افراد به تولید سیاست‌ها بپردازد ممکن نخواهد بود.

بر این اساس، اولین ورودی در طراحی سیاست‌های کلان نظرسنجی خبرگان خواهد بود. در تشخیص اینکه چه خبرگانی باید در فرآیند تدوین سیاست‌های کلان مشارکت داشته باشند، سه عنصر اختیار، تخصص و نظم می‌تواند راهنما باشند. اختیار به سیاست مشروعیت می‌دهد. بنابراین هویت‌هایی ممکن است به دلیل داشتن اختیاراتی در فرآیند سیاست‌گذاری دخیل شوند. یکی از خصوصیات هر حوزه سیاست‌گذاری فناوری وجود گروهی از متخصصان فنی در آن حوزه است. بدون وجود متخصصانی که مسئله را تشخیص دهند و راه‌حل‌هایی پیشنهاد کنند، نمی‌توان سیاست‌های اثربخش و کارا ارائه داد. سیاست مشتمل بر ایجاد نظم و درک مشترک است. بنابراین ممکن است هویت‌هایی که به‌نوعی می‌توانند بر سیاست اثرگذار باشند یا از آن تأثیر بپذیرند، برای ایجاد نظم و درک مشترک در سیاست دخیل شوند [۹]. والت و گیلسون (۱۹۹۴) مجموعه این خبرگان را در قالب پنج گروه کلیدی زیر برمی‌شمرند: [۱۱]

- تکنوکرات‌ها شامل دانشمندان، دانشگاهیان، و سایر متخصصانی که برای تشخیص میزان و ماهیت مسئله، همچنین تحلیل فنی علل و راه‌حل‌ها اطلاعات ارائه می‌کنند.
- بروکرات‌ها علاقه‌مند به ایجاد و استفاده از ساختار تصمیم‌گیری لایه‌لایه (سیکل تصمیم‌گیری عمودی) در دولت هستند، به‌گونه‌ای که برای تصمیم‌گیری در خصوص موضوعات مورد نظر، بهترین ساختار باشد، و اغلب در پی حفظ یا توسعه بروکراسی موجود می‌باشند.
- گروه‌های ذی‌نفع به‌طور عمده برای نمایندگی درباره نگرانی‌های گروه‌های خاصی از مردم تشکیل می‌شوند. آن‌ها درصدد این هستند که اطمینان حاصل کنند نظرات گروه‌های ذی‌نفع شنیده‌شده و در تصمیمات سیاست درنظر گرفته می‌شوند.

- سیاست‌مداران که معمولاً تصمیم‌گیران نهایی هستند.
- اهداکنندگان که اغلب نقشی مهم در تدوین یا اجرای سیاست دارند. آن‌ها ممکن است فرآیند را با وجوه مالی، کمک فنی، ارائه پیشنهادات و رهنمون‌هایی حمایت کنند و تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر اجرا از طریق تصمیمات تأمین مالی خود دارند.

علاوه توجه بر نظرات خبرگان، باید توجه نمود که توسعه فناوری به‌خودی خود هدف نیست و کلیه سیاست‌های کلان در پی بهبود قابلیت رقابت، شکل‌دهی اقتصاد و درنهایت ایجاد رشد اقتصادی هستند. بنابراین، باید در تدوین سیاست‌های کلان به اهداف سطح بالایی که انتظار می‌رود سیاست‌ها آن را برآورده کنند توجه کافی مبذول شود. این موضوع ضرورت در نظر گرفتن اهداف کلان به‌عنوان یکی از ورودی‌های طراحی سیاست‌های کلان را نشان می‌دهد. نکته‌ی دیگری که برای اطمینان از انسجام و هماهنگی سیاست‌ها باید در طراحی سیاست‌های کلان درنظر گرفته شود، توجه به یکسری اصول در تدوین سیاست‌ها است. تخطی از این اصول می‌تواند تأثیر سوء بر اثربخشی سیاست‌ها داشته باشد. این سه را می‌توان اجزایی دانست که سیاست‌های کلان باید بر اساس آن‌ها تدوین می‌شوند.

٤-٢-١-٣- فرایند تدوین سیاست

عملیاتی است که بر روی ورودی‌های چارچوب ارائه‌شده صورت گرفته و آن‌ها را به سیاست‌های کلان تبدیل می‌کند. این عملیات عمدتاً مبتنی بر انجام تحلیل‌های تعاملی[1] میان تحلیل‌گران است. در اینجا فعالیت‌ها بیشتر در جهت مذاکره، ایجاد ائتلاف و درک مشترک می‌باشد. باید در نظر داشت که دو بعد راهبردهای کلان و سیاست‌های کلان جایگزین یکدیگر نبوده، بلکه تکمیل‌کننده یکدیگرند.

خروجی این چارچوب، سیاست‌های کلان تنظیم‌گر برای تسهیل فرآیندهای توسعه فناوری است. این سیاست‌ها، سیاست‌هایی قابل‌انعطاف هستند. به‌عبارت‌دیگر، طی زمان و با توجه به یادگیری، تغییر و تطابق با محیط پیرامون، سیاست‌های کلان هم در بلندمدت دستخوش تغییر می‌شوند. به‌طورکلی سیاست‌ها مقوله‌ای مرتبط با آینده هستند. اگر آینده به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی بود، سیاست‌های ارجح می‌توانستند از طریق بررسی آینده‌های ممکن حاصل از اجرای هر سیاست و انتخاب مطلوب‌ترین نتایج تعیین شوند. برای بیشتر سیستم‌های موردتوجه امروز، چنین پیش‌بینی‌هایی ممکن نیست. حتی بهترین مدل‌ها نیز نمی‌تواند جزئیات رفتار سیستم را پیش‌بینی نماید. بنابراین رویکرد کلاسیک انتخاب یک سیاست بر مبنای نتایج یک مدل بهترین تخمین دیگر نمی‌تواند معتبر باشد [۱۰]. با توجه به اینکه سیاست‌ها باید نوعاً طی زمان اجرا و تغییر یابند، سیاست‌های مبتنی بر تحلیل ایستا در یک نقطه از زمان بسیار غیرواقع‌بینانه خواهد بود. بنابراین، استعاره مناسب برای یک سیاست تعادل است تا بهینه‌سازی. بسیاری از سیاست‌ها باید علی‌رغم وجود عدم اطمینان درباره آینده تدوین شوند. هنگامی‌که تعدادی زیادی سناریو ممکن برای آینده وجود دارند، ایجاد یک سیاست واحد که در تمامی آن‌ها خوب عمل کند احتمال غیرممکن خواهد بود.

[1] - Interactive analysis

٤-٢-٢- نظام نوآوری فناورانه

نظام‌های نوآوری فناورانه [1] به تحلیل گذار از منظر تغییرات نهادی، سازمانی، اقتصادی، سیاسی، و فنی پیرامون ظهور فناوری‌های جدید می‌پردازد. این رویکرد بر پایه‌ی نظر کارلسون و استنکویتز (۱۹۹۱) درباره نوآوری [۲] شکل گرفته است که مهم‌ترین محرک‌های خلق، انتشار، و بهره‌برداری از نوآوری‌های فناورانه را در تعاملات نظام‌مند کنشگران، تحت زیرساخت‌های نهادی می‌داند. این برداشت از گسترش نوآوری فناورانه با الهام از تئوری بلوک‌های توسعه[2] (Dahmén, 1988) و نیز در ارتباط با رویکردهای نظام ملی نوآوری[3] (Freeman, 1988; Nelson, 1988) و نظام بخشی نوآوری[4] (Breschi and Malerba, 1997) است.

از زمان توسعه اولیه این رویکرد در سال ۱۹۹۱، تغییرات مختلف و بهبودهای متفاوتی در مفهوم و ابزارهای عملیاتی آن صورت پذیرفته است. تمرکز بر فناوری‌های مشخص[5] به‌جای تمرکز بر فناوری‌های عمومی و گسترده[6]، تأکید بر وقوع نوآوری‌های بنیادین به‌عنوان محرک گذارهای اجتماعی-فنی به‌جای تأکید بر نوآوری فناورانه به‌عنوان ابزاری در ایجاد رشد اقتصادی، و توجه به فناوری‌های نوظهور (و غالباً پایدار) به‌جای توجه به سایر انواع فناوری، نمونه‌هایی از تغییرات و همگرایی‌هایی صورت گرفته در این حوزه است. علاوه بر این‌ها، شناسایی مجموعه‌ی فرایندهای لازم برای توسعه نوآوری تحت عنوان کارکردهای نظام نوآوری فناورانه، شناسایی مجموعه‌ی مکانیزم‌های اثرگذار بر شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه در قالب موانع و محرک‌های توسعه ، ارائه‌ی تحلیل‌های ساختاری در قالب نقش کنش‌گران، نهادها، و شبکه‌ها در شکل‌گیری نوآوری، گسترش مفهوم شکست‌های بازار و با ارائه‌ی تعریفی جدید تحت عنوان شکست‌های سیستمی[7]، برقراری ارتباط و ایجاد سازگاری میان رویکردهای مختلف گذار (مانند رویکرد TIS و MLP) و ارائه‌ی رویکردهایی برای راهبری شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه، نمونه‌هایی از بهبودهای صورت پذیرفته در رویکرد نظام‌های نوآوری فناورانه در طول زمان است.

به‌کار بردن رویکرد سیستمی در مطالعه‌ی تغییرات فناورانه، بستری برای درک توسعه فناوری را فراهم می‌نماید. نظام‌های نوآوری با تمرکز خاص بر فناوری، نمونه‌ای از این رویکردهای سیستمی هستند که در ادبیات از آن‌ها تحت عنوان نظام نوآوری فناورانه[8] یاد می‌گردد. بر این اساس، کارلسون و استنکویتز (۱۹۹۱) این مفهوم را به‌صورت زیر تعریف میکنند:

شبکه‌ای پویا از عوامل که در یک حوزه‌ی اقتصادی/صنعتی خاص باهم در تعامل بوده، تحت مجموعه‌ای از زیرساخت‌های نهادهای قرار داشته، و در فرایند خلق، انتشار و بهره‌برداری از دانش دخیل هستند.

---

[1] - Technological innovation systems (TIS)
[2] - Development blocks
[3] - National innovation systems (NIS)
[4] - Sectoral innovation systems (SIS)
[5] - Specific technology
[6] -Generic technology
[7] -Systemic failures
[8] - این اصطلاح توسط محققین مختلف به‌گونه‌های متفاوت بکار گرفته‌شده است. Carlsson and Stankiewicz (۱۹۹۱) اصطلاح سیستم‌های تکنولوژیکی را بکار برده‌اند و محققان سوئدی نیز واژه نظام نوآوری تکنولوژی محور را برگزیده‌اند.

نقطه شروع تحلیل در نظام‌های نوآوری فناورانه مرزهای جغرافیایی و یا یک صنعت خاص نبوده، بلکه این رویکرد تمرکز بر فناوری را هدف مطالعه قرار می‌دهد. بااین‌حال، یک نظام نوآوری فناورانه می‌تواند در عین تمرکز بر یک فناوری، گستره‌ای از مرزهای جغرافیایی و بخشی مختلف را در برگیرد. هدف تحلیل‌های نظام نوآوری فناورانه ارزیابی روند توسعه یک نوآوری فناورانه از نگاه ساختار و فرایندهایی است که به پشتیبانی و یا ممانعت از آن می‌پردازد. در تعریف نظام نوآوری فناورانه، فناوری هم به‌معنای مواد، سخت‌افزارها، و نرم‌افزارهایی است که به شکل مستقیم در فرایند توسعه بکار می‌روند، و هم به‌شکل دانشی است که چه به شکل عمومی و یا نهفته در محصول وجود دارد.

نظام نوآوری فناورانه علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مشترک با سایر رویکردهای نظام نوآوری، دارای دو ویژگی متمایزکننده از آن‌هاست:

- تأکید بر نقش شایستگی اقتصادی، به‌معنی توانایی در توسعه و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید کسب‌وکار در ایجاد نوآوری فناورانه. بر این اســـاس، بهره‌برداری و ترکیب دانش‌های موجود جز جدایی‌ناپذیر نوآوری فناورانه می‌باشـد. در حقیقت برخلاف سـایر رویکردها که تفکری کلان از نوآوری داشـتند، این ویژگی بر اهمیت نیروهای کارآفرین به‌عنوان منابع نوآوری تاکید دارد.
- تأکید جدی بر پویایی ســیســـتم. تمرکز بر نقش کارآفرینان در این رویکرد، زمینه را برای بررســـی روند شکل‌گیری این سیستم در طول زمان آماده کرده تا از این طریق روند پویایی در نظر گرفته شود.
- در به‌کارگیری نظام نوآوری فناورانه، درنظرگیری چهار فرض اساسی ضروری است:
- ســیســتم (نه تک‌تک اجزا) به‌عنوان واحد تحلیل قرار می‌گیرد. این فرض در سـایر مدل‌های نظام نوآوری نیز مشابه است.
- سیستم ماهیتی پویا دارد. بنابراین درنظر گرفتن بازخوردها برای بررسی روند شکل‌گیری این سیستم‌ها ضروری می‌باشد.
- فرصـت‌های فناورانه عملاً نامحدود هسـتند. بنابراین لازم اسـت تا تمرکز بیشـتری در شـناسـایی، جذب و بهره‌برداری از فرصـت‌های فناورانه صورت پذیرد. به‌عبارت‌دیگر، بالابردن توانایی جذب اهمیت بیشـتری از توانایی تولید فناوری جدید دارد.
- هر بازیگر در چارچوب خردپذیری محدود[1] عمل می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، بازیگران این نظام خردپذیر هستند، اما با محدودیت‌هایی از جنس توانایی‌ها و اطلاعات روبه‌رو هستند.

در کنار رویکرد نظام نوآوری فناورانه، مفهوم بلوک‌های شایستگی[2] قرار می‌گیرد. بلوک‌های شایستگی از جانب طرف تقاضا (محصول یا بازار) و به‌عنوان مجموع زیرساخت‌های لازم برای ساخت، انتخاب، تشخیص دادن، انتشار و بهره‌برداری از ایده‌های جدید در خوشـــه‌هایی از بنگاه‌ها تعریف می‌گردد. نمونه‌ای از تحلیل با این رویکرد را می‌توان در بلوک شـایسـتگی برای نظام سـلامت کشـور سـوئد جسـتجو نمود که در آن اجزای تشـکیل‌دهنده‌ی

1 _ Bounded rationality

2 _ Competence block

نظام‌های نوآوری فناوری مختلف محصولات و فناوری‌های لازم بخش سلامت را تأمین می‌کنند، به تصویر کشیده شده است [۲].

٤-۲-۲-۱- کارکردها در نظام نوآوری فناورانه

هدف هر نظام نوآوری از جمله نظام نوآوری فناورانه، تحقق اهداف فرآیند نوآوری است. این اهداف شامل خلق، انتشار و بهره‌برداری از فناوری است که در قالب توسعه‌ی فناورانه، به‌ظهور می‌رسد. حال دسته‌های مختلف فعّالیت‌هایی که بر توسعه‌ی فناوری اثر می‌گذارند، کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نام می‌گیرند. کارکردها، فرایندهایی هستند که وجود آن‌ها در شکل‌گیری یک نظام نوآوری فناورانه ضروری است. هریک از این کارکردها، می‌تواند از طریق فعّالیت‌های گوناگون محقق شوند. در راستای شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه برای یک فناوری، ۷ کارکرد گوناگون باید محقق گردد. از طرفی، این کارکردها بر یکدیگر اثرگذار هستند و می‌توانند منجر به تقویت و یا تضعیف یکدیگر شوند. بنابراین، در ادامه به معرفی کارکردها و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر یکدیگر پرداخته خواهد شد.

اولین بار جانسون در سال ۲۰۰۱ شش کارکرد را پیشنهاد نمود. در سال ۲۰۰۷ هکرت این ۶ کارکرد را به صورت عملیاتی تست کرد و در نهایت ۷ کارکرد زیر را پیشنهاد نمود:

- کار آفرینی
- توسعه دانش
- انتشار دانش
- جهت‌دهی به سیستم
- شکل‌دهی به بازار
- بسیج (تأمین و تسهیل) منابع
- مقبولیت‌بخشی (مشروعیت‌بخشی)

در سال ۲۰۰۸ برگک نیز ۷ کارکرد را با تغییراتی بسیار کوچک نسبت به کارکردهای معرفی شده توسط هکرت پیشنهاد نمود [۳]. بر این اساس، کارکردهای پیشنهادی مورد نظر و توصیف آنها در جدول ۱-۴ ارائه شده و در ادامه نیز، به توضیح آنها پرداخته می‌شود. [۳] و [۵]

جدول ۱-۴-کارکردهای پیشنهادی و توصیف آنها

کارکرد	توصیف
فعالیت‌های کارآفرینی	شامل ترجمه‌ی دانش فنی موجود درزمینه‌ی یک فناوری خاص به زبان موقعیت‌های کاری جدید و انجام پروژه‌های عملیاتی و یا انجام فعالیت‌هایی باهدف اثبات مفید بودن فناوری نوظهور در محیط تجاری است .
خلق دانش	دربرگیرنده فعالیت‌های یادگیری است که به‌طور عمده بر دانش فنی فناوری و به میزان کمتر، بر بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کننده‌های آن تمرکز دارد. این فرایند یادگیری، به اقسام گوناگونی می‌تولند واقع شود. یادگیری کتابخانه‌ای و یادگیری در حین انجام کار از انواع مهم این دسته از فعالیت‌ها هستند.
انتشار دانش	دربرگیرنده فعالیت‌هایی است باهدف پراکنده‌سازی[1] و به‌اشتراک‌گذاری[2] دانش و اطلاعات انجام می‌شوند. بنابراین، مهم‌ترین نقش کارکرد انتشار دانش، ایجاد یادگیری تعاملی است. وجود روابط و در حالت پیچیده‌تر، شبکه‌هایی از بازیگران از پیش‌نیازهای این کارکرد به شمار می‌رود.
جهت‌دهی به سیستم	اشاره به فعالیت‌هایی دارد که منجر به مشخص‌شده نیازها و جهت‌دهی به فعالیت‌های بازیگران موجود در نظام فناوری می‌گردد. همچنین، رفع مشکلات موجود در کارکردهای دیگر نظام نیز می‌تولند در قلب این کارکرد انجام شود.
شکل‌دهی به بازار	شامل فعالیت‌هایی (مانند حمایت‌های مالی از کاربرد فناوری نوظهور) است که با ارائه‌ی امتیازاتی منجر به ایجاد تقاضا برای فناوری می‌گردد.
تأمین منابع	شامل تخصیص سرمایه‌های مالی، انسانی، مکمل و مواد موردنیاز برای توسعه فناوری است. همچنین، گسترش زیرساخت‌های عمومی موردنیاز پیشرفت فناوری، مانند سیستم‌های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمره‌ی این کارکرد قرار می‌گیرد.
مشروعیت بخشی	دربرگیرنده تمامی فعالیت‌ها باهدف غلبه بر مخالفت بازیگران ذینفع در فناوری‌های کنونی از طریق تشویق صاحبان قدرت به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به‌نظام نوآوری فناورانه است.

فعالیت‌های کارآفرینی

کارآفرینان از بازیگران کلیدی در نظام‌های نوآوری به‌شمار می‌روند. فعالیت‌های کارآفرینی را نیز می‌توان در قالب یکی از فرآیندهای اصلی نظام نوآوری جای داد. فعالیت کارآفرینی عبارت است از تبدیل دانش فنی موجود به کسب و کارهای جدید. این کار از طریق انجام پروژه‌های اجرایی صورت می‌گیرد. بنابراین، از لازمه‌های انجام فعالیت کارآفرینی، وجود دانش فنی است. نکته قابل بیان آن است که هر بازیگری (شامل هر بازیگری در بخش خصوصی یا عمومی و یا بازیگران دولتی، دانشگاهی و یا صنعتی) که به انجام فعالیت‌های کارآفرینی مبادرت ورزد، در آن مقطع خاص، به‌عنوان کارآفرین شناخته می‌شود. بنابراین، در برخی موارد، حتی دولت‌ها نیز می‌توانند در نقش کارآفرین ظاهر شوند.

به‌طور کلی می‌توان دو زیرکارکرد را برای فعّالیت‌های کارآفرینی متصور شد؛ ایجاد فرصت‌های کاری جدید و شناساندن فرصت‌های کاری جدید. در ایجاد فرصت‌های کاری جدید، کسب سود به‌طور مستقیم مورد هدف قرار می‌گیرد. درحالیکه، در شناساندن فرصت‌های کاری جدید، ایجاد مشروعیت برای آن

1 _ Dissemination

2 _ Sharing

محصول یا خدمت (و در سطحی بالاتر برای تکنولوژی) هدف اصلی فعالیت است. در این حالت، با ایجاد مشروعیت برای محصول یا خدمت ارائه شده، زمینه‌ای برای کسب سود فراهم می‌شود.

می‌توان گفت که فعالیت‌های کارآفرینی شامل تلاش‌هایی است که بطور مستقیم به تجاری‌سازی محصولات و خدمات ارائه شده بر پایه‌ی دانش فنی موجود می‌پردازند. درحقیقت، این فعالیت است که یک نظام نوآوری را از یک نظام تحقیقات متمایز می‌کند. لازم به ذکر است که انجام فعالیت‌های کارآفرینی می‌تولند منجر به شکل‌گیری دانش‌های جدید از تکنولوژی موجود گردد. بنابراین، توسعه دانش از یک سو لازمه انجام فعالیت‌های کارآفرینانه است و از سوی دیگر، فعالیت‌های کارآفرینانه با افزایش دانش فنی مرتبط با تکنولوژی همراه است.

در ادبیات مدیریت فناوری، نمونه‌هایی از فعالیت‌های مربوط به این کارکرد برشمرده شده‌اند. مانند:

- سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر صورت‌پذیرفته (پروژه‌های انجام شده) در تجاری‌سازی تکنولوژی
- ورود شرکت‌های نوآور در عرصه‌ی تجاری‌سازی تکنولوژی
- تأسیس شرکت‌های نوپا
- ورود شرکت‌های موجود در حوزه‌های دیگر به حوزه تکنولوژی
- ارائه‌ی محصولات و خدمات جدید در زمینه‌ی تکنولوژی
- فعالیت‌های انجام شده با هدف نمایش و توجیه‌پذیر ساختن تکنولوژی
- برگزاری نمایشگاه تکنولوژی

خلق و توسعه دانش

کارکرد خلق و توسعه دانش، دربرگیرنده تمامی فعالیت‌هایی است که می‌توانند در فرآیند یادگیری[1] قرار گیرند. بدیهی است که این کارکرد در قلب فرآیند نوآوری و درنتیجه در قلب یک نظام نوآوری جای دارد. بنابراین، تحقق این کارکرد پیش‌نیاز توسعه نظام نوآوری فناورانه تلقی می‌گردد و جزء کارکردهایی است که می‌بایست پیش از کارکردهای دیگر محقق گردد. این یادگیری در رابطه با موضوعات مختلف مانند دانش فنی تکنولوژی نوظهور، بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کنندگان صادق است. با این وجود، تأکید بیشتری در رابطه با یادگیری دانش فنی تکنولوژی نوظهور وجود دارد. از این منظر (دانش فنی مورد تمرکز) می‌توان کارکرد خلق دانش را به دو دسته تقسیم کرد: خلق دانش فنی و خلق دانش غیرفنی (مدیریتی).

فرآیند یادگیری، به اقسام گوناگونی می‌تواند واقع شود. از مهم‌ترین انواع یادگیری رخداده در راستای تحقق این کارکرد، یادگیری در حین جستجو[2] (یادگیری کتابخانه‌ای)، یادگیری در حین انجام کار[3]، یادگیری در حین تعامل[4] و یادگیری در حین استفاده[5] می‌باشد. البته، می‌بایست به این موضوع توجه

[1]- برخی از محققان این کارکرد را کارکرد یادگیری نام نهاده‌اند.

2- Learning by searching

3- Learning by doing

4- Learning by interacting

5- Learning by using

داشت که یادگیری در حین تعامل، درصورت وقوع، به صورت اشکال مختلف در قالب این کارکرد قرار می‌گیرد. از جمله تعامل موجود بین بازیگران موجود در سیستم در حالتی که هیچ یک از آنان دانش مورد نظر را ندارد (همگی آن‌ها برای رسیدن به یک دانش مشترک با یکدیگر تعامل دارند و بین آن‌ها جریان دانشی قابل توجهی وجود ندارد) و تعامل موجود بین بازیگران موجود در سیستم با بازیگران خارج از سیستم که دانش از بازیگر خارجی به بازیگر داخلی جریان می‌یابد.

می‌توان برای دانش موجود در سیستم، سطوح مختلفی را متصور شد. این سطوح عبارتند از سطح بنگاه، صنعت و جامعه. دانش موجود در سطح بنگاه عبارتست از دانشی که مختص بنگاه‌ها بوده و برای دست‌یابی به آن می‌بایست آن را درون بنگاه‌ها جستجو کرد. این دانش (که سهم بیشتر آن متعلق به دانش فنی است) در رابطه با محصولات و فرآیند تولید آن‌ها در حیطه تخصصی بنگاه‌ها است و معمولاً بنگاه‌ها حاضر به تسهیم آن با سایر بنگاه‌ها نمی‌شوند. دانش موجود در سطح صنعت (که سهم بیشتر آن متعلق به دانش غیرفنی است) متعلق به بنگاه خاصی نیست و حاصل از پارادایم موجود در سطح صنعت می‌باشد. برای دستیابی به دانش موجود در سطح یک صنعت می‌بایست وارد صنعت مورد نظر شد. دانش موجود در سطح جامعه نیز همچون دانش موجود در سطح صنعت متعلق به مجموعه‌ای از بازیگران موجود در آن جامعه است. برای اکتساب این نوع از دانش نیز می‌بایست وارد جامعه مورد نظر شد. از طریق ارزیابی شاخص‌ها و رخدادهای زیر می‌توان میزان برآورده شدن کارکرد خلق و توسعه دانش را بررسی کرد:

- تعداد مقالات ISI منتشر شده در زمینه فناوری
- تعداد حق اختراعات ثبت شده به صورت بین‌المللی در زمینه فناوری
- تعداد و اندازه نهادهای تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه فناوری
- تعداد و اندازه مطالعات علمی و فنی صورت گرفته درباره فناوری
- تعداد تست‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی فناوری
- تعداد انجام آزمایش و پیاده‌سازی فناوری در ناحیه‌ای از محیط به‌جای محدوده گسترده‌تر (پایلوت[1])
- تعداد توسعه و ایجاد نمونه‌های آزمایشی و اولیه از فناوری (پروتوتایپ[2])

انتشار دانش

کارکرد انتشار دانش دربرگیرنده مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با هدف تسهیم[3] و به اشتراک‌گذاری[4] دانش[5] و اطلاعات در میان بازیگران مختلف موجود در سیستم است. یک عامل ساختاری ضروری برای تحقق انتشار دانش، شبکه است. یکی از ویژگی‌های مهم نظام نوآوری فناورانه، وجود شبکه در ساختار آن است.

1- Pilot
2- Prototype
3- Dissemination
4- Sharing

[5]- همان‌طور که کارکرد خلق دانش مشتمل بر خلق دانش فنی و غیرفنی است، کارکرد انتشار دانش نیز قابل تقسیم به انتشار دانش فنی و انتشار دانش غیرفنی می‌باشد.

مهم‌ترین نقشی که یک شبکه قادر به برآوردن آن است، فراهم‌آوری بستری برای ایجاد جریان دانش و اطلاعات در بین بازیگران موجود در سیستم است. دو نوع از شبکه‌ها را می‌توان متصور بود: شبکه‌های نرم و شبکه‌های سخت. در شبکه‌های نرم، لزوماً دانش موجود در منبع دانشی (بازیگر برخوردار از دانش)، به طور کامل به بازیگر خواهان دانش منتقل نمی‌شود. نمونه‌هایی از این نوع از شبکه عبارتند از کنفرانس‌ها، همایش‌ها، کارگاه‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی مشترک بین بازیگران موجود در نظام. از این پس، این نوع از انتشار دانش، تسهیم دانش نامیده می‌شود. در شبکه‌های سخت، دانش موجود در منبع دانشی، توسط بازیگر خواهان آن دریافت می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع شبکه‌ها عبارتند از اتحادهای استراتژیک، هاب‌های تکنولوژی و سرمایه‌گذاری‌های مشترک[1]. این نوع از انتشار دانش، به اشتراک‌گذاری دانش نامیده می‌شود. نمونه‌ای از رخدادها و شاخص‌های نشانگر تحقق این کارکرد عبارتند از:

- تعداد فعالیت‌های تحقیق و توسعه و نوآورانه مشترک صورت پذیرفته میان واحدهای مختلف (با هدف تسهیم دانش)
- میزان جابجایی نیروهای تحصیلکرده دانشگاهی با محوریت فناوری
- کنفرانس‌ها، کارگاه‌های آموزشی، پیمان‌ها و توافق‌نامه‌های بین بازیگران و سرمایه‌گذاری‌های مشترک صورت پذیرفته با موضوع فناوری
- تعداد و اندازه شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام فناورانه

جهت‌دهی به سیستم

کارکرد جهت‌دهی به سیستم متشکل از فعالیت‌هایی است که به گزینش و محدود کردن گزینه‌های موجود در رابطه با فناوری، کاربرد آن‌ها و بازارشان در سطوح مختلف می‌پردازد. این سطوح عبارتند از سطح فراسیستم[2] و سطوح کلان[3] و خرد سیستم[4]. این فعالیت‌ها به‌منظور همگرا ساختن تلاش‌های انجام گرفته در توسعه فناوری انجام می‌شوند. می‌توان این فرآیند گزینشی را دربرگیرنده شناسایی فرصت‌های موجود در نظام نوآوری فناورانه دانست. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که به‌علت وجود محدودیت در منابع در دسترس، از میان گزینه‌های مختلف موجود باید دست به انتخاب زد و بر روی تعدادی از آن‌ها تمرکز نمود. بدون انجام این مرحله، نیاز و انتظارات بازیگران از روند توسعه ناشناخته باقی ملنده و منابع در دامنه وسیعی از گزینه‌های کاربردی و فناورلنه پراکنده شده و به‌هدر می‌رود. درنتیجه، تعداد قابل توجهی از گزینه‌های توسعه با وجود تخصیص منبع، ناموفق باقی می‌مانند. برای

1- Joint venture

[2]- منظور از فراسیستم، سیستمی است که سیستم مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. در ادبیات از این فراسیستم با نام Landscape یاد می‌شود.

[3]- سطوح کلان سیستم مشتمل بر سطوحی است که نسبتاً در طول زمان پایدار هستند و با توسعه‌ی تکنولوژی تغییرات اندکی در آن‌ها حاصل می‌شود. این سطوح را Regime می‌نامند.

[4]- این مجموعه از سطوح متأثر از تغییرات فراوانی هستند و به شدت متلاطم می‌باشند. در ادبیات این سطوح را Nicheمی‌نامند.

جلوگیری از وقوع این رخداد، کارکرد جهت‌دهی به سیستم در روند توسعه فناورانه تعریف می‌گردد. می‌توان فعالیت‌های انجام شده‌ی مربوط به این کارکرد را به سه دسته تقسیم کرد: تنظیمی[1]، شناختی[2] و هنجاری[3]. درحقیقت، فعالیت‌های رخداده در این کارکرد منجر به ایجاد، تغییر و یا از میان برداشتن نهادهای موجود در سیستم می‌شود. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که برخی از رخدادها می‌توانند انتظارات را نسبت به برخی گزینه‌های پیش‌رو افزایش دهند (شناختی). برای مثال، عملکرد خوب یک گزینه فناوری منجر به افزایش انتظارات از آن گزینه می‌گردد. با افزایش انتظارات نسبت به آن گزینه، اولویت آن گزینه در اذهان بالاتر می‌رود. این رخداد به‌معنای تغییر در شناخت‌های پیشین و ایجاد شناخت جدید نسبت به گزینه‌های موجود است. برخی دیگر از رخدادها می‌توانند منجر به تغییر در هنجارهای موجود شوند. برای مثال، وقوع یک رخداد طبیعی ممکن است منجر به افزایش ارزش انواع خاصی از فناوری‌های تولید انرژی (مانند انرژی‌های تجدیدپذیر) گردد. با افزایش ارزش این نوع از تکنولوژی‌ها، پارادایم جدیدی در نظام موجود شکل می‌گیرد. در پارادایم جدید، هنجارهای جدیدی مطرح می‌شوند (گونه‌ی هنجاری جهت‌دهی به سیستم). ممکن است درنتیجه‌ی وقوع رخدادهای اثرگذار بر شناخت‌ها و هنجارهای سیستم، قوانین، مقررات، استانداردها، توافق‌نامه‌ها و بطور کلی، تصمیمات جدیدی (تنظیمی) اتخاذ گردند. اتخاذ این تصمیمات نیز می‌توانند منجر به هدایت سیستم به‌سوی گزینه‌های خاص شود.

نمونه‌های از رخدادهای مربوط به این کارکرد در ادامه آورده شده‌اند:

- وضع چشم‌اندازهای جدید برای توسعه فناوری و یا موارد دیگر که بر فناوری اثرگذارند
- شفاف‌سازی تقاضای کاربران اصلی
- رشد فناوری در کشورهای دیگر
- شکل‌گیری انتظاراتی درباره‌ی آینده‌ی فناوری
- هدف‌گذاری‌های انجام شده در سیاست‌گذاری‌های فناوری
- قانون‌گذاری در رابطه با تکنولوژی
- تدوین استانداردها

شکل‌دهی به بازار

مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با هدف رقابت‌پذیر ساختن فناوری نسبت به فناوری‌های موجود در بازار، در طول تحقق این کارکرد قرار می‌گیرند. نباید انتظار داشت که تکنولوژی‌های جدید توانایی رقابت با تکنولوژی‌های موجود را داشته باشند. بنابراین، نیاز است تا با هدف حمایت از نوآوری، شرایطی قابل رقابت در بازار برای تکنولوژی نوین پدید آورد. در واقع می‌بایست با انجام مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، برای رقابت تکنولوژی جدید با سایر تکنولوژی‌ها، محیطی کنترل شده پدید آورد. نوع فعالیت‌ها و هدف میان‌مدت آن‌ها در طول دوره تکامل تکنولوژی متغیر است. به‌بیان دیگر، با توسعه تکنولوژی و افزایش

1- Regulative

2- Cognitive

3 - Normative

قابلیت‌های آن، نوع فعالیت‌های مربوط به تکنولوژی و هدف آن‌ها برای توسعه استفاده در بازار نسبت به دیگر تکنولوژی‌ها تغییر می‌کند.

درحقیقت، یک تکنولوژی در مسیر رشد و توسعه خود نیازمند دستیابی به قابلیت‌هایی است که به واسطه آن‌ها بتواند در بازار نفوذ کرده و به‌سوی بلوغ خود حرکت نماید. شکل‌گیری بازار هر تکنولوژی با پیدایش سه قابلیت همراه خواهد بود. قابلیت‌های فنی[1]، قابلیت‌های اقتصادی[2] و قابلیت‌های بازار[3] (شکل ۱-۳). به‌عبارت دیگر، شکل‌گیری بازار تکنولوژی در قلب دستیابی به این سه قابلیت تجلی پیدا می‌نماید. با دستیابی به هر قابلیت، توانایی‌هایی از ابعاد گوناگون در تکنولوژی ایجاد می‌گردد و زمینه را برای نفوذ تکنولوژی در بازار آماده می‌کند. در این جا مناسب است تا منظور از هر دسته از قابلیت‌ها که پیش‌نیازی برای ورود تکنولوژی به بازار است روشن گردد:

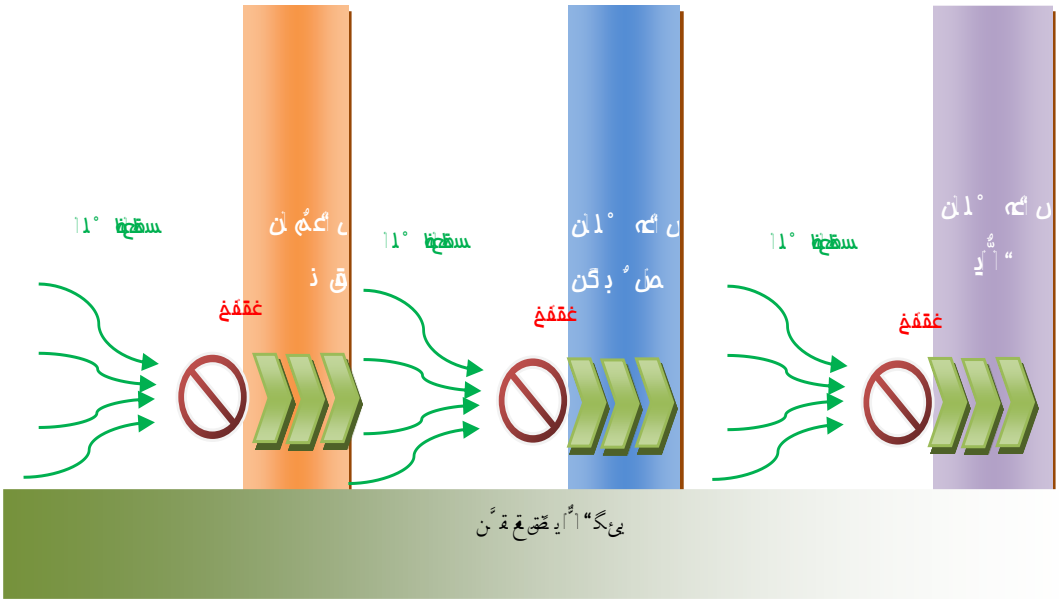
قابلیت‌های فنی اشاره به قابلیت‌هایی داشته که یک تکنولوژی با دارا بودن آن‌ها می‌تولند از لحاظ فناورانه، ممکن تلقی شود. به‌عبارت دیگر، زمانی که یک تکنولوژی از قابلیت فنی برخوردار باشد، دسترسی به زیرتکنولوژی‌های لازم برای تولید آن ممکن بوده، مواد اولیه و تجهیزات مکمل موردنیاز موجود می‌باشد، دانش کافی برای انتقال تکنولوژی در اختیار است، کلیه اجزای فنی آن با یکدیگر سازگاری داشته (هماهنگی میان اجزا)، تکنولوژی به خروجی قابل قبول خود دست یافته (تکنولوژی درست عمل می‌کند) و درنهایت تکنولوژی از قابلیت اطمینان[4] بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین، با دارا بودن این قابلیت درمورد یک تکنولوژی مفروض،می‌توان از پشتیبانی کامل فناورانه در آن تکنولوژی اطمینان حاصل نموده و دستیابی به تکنولوژی را چه از بعد تولیدی و چه از بعد انتقال تکنولوژی ممکن دانست.

قابلیت اقتصادی به قابلیت‌هایی اشاره دارد که تکنولوژی با دارا بودن آن‌ها از لحاظ اقتصادی به‌صرفه تلقی می‌گردد. اگر یک تکنولوژی از قابلیت‌های اقتصادی برخوردار باشد، تحلیل هزینه-فایده[5] در مورد آن تکنولوژی نتیجه‌ای مثبت (چیرگی فایده بر هزینه) به‌همراه داشته، هزینه‌های تولید، مونتاژ و یا انتقال آن به‌صرفه بوده، خروجی تولید شده از تکنولوژی دارای ارزش بالا بوده و در مجموع، ورود به بازار این تکنولوژی پربازده تلقی می‌گردد. به‌طور قطع، زمانی یک تکنولوژی قادر به دستیابی به این قابلیت خواهد بود که از قابلیت‌های فنی برخوردار شده باشد. به‌عبارت دیگر، دستیابی به قابلیت‌های فنی، پیش‌نیاز دستیابی به قابلیت‌های اقتصادی است.

قابلیت بازار در یک تکنولوژی به این معنی خواهد بود که علاوه بر دارا بودن قابلیت‌های فنی و اقتصادی، تکنولوژی، توانایی رقابت با سایر گزینه‌های موجود در بازار را داشته، با تمایلات مصرف‌کنندگان سازگار بوده و در نهایت قادر خواهد بود در کنار امکان‌پذیری فنی و اقتصادی، در بازار با موفقیت توسعه پیدا

1- Technological Potential
2- Economical Potential
3- Market Potential
4- Reliability
5- Cost Benefit Analysis

کند. زمانی که یک تکنولوژی بتواند به این قابلیت دست پیدا کند، تمام شرایط برای ورود به بازار در آن مهیا شده و از این پس با این تکنولوژی به‌صورت یک محصول تجاری برخورد می‌شود.



شکل ۲-۴- نمایش مسیر توسعه بازار تکنولوژی

کارکرد شکل‌دهی به بازار، شامل فعالیت‌هایی (مانند حمایت مالی از مصرف تکنولوژی و یا سیاست‌های مالیاتی برای تکنولوژی‌های رقیب) است که منجر به ایجاد تقاضا برای تکنولوژی در راستای حمایت از آن می‌گردد. تفاوت میان این کارکرد و کارکرد جهت‌دهی به سیستم در آن است که، در این کارکرد، گزینش نهایی توسط مجریان و مصرف‌کنندگان تکنولوژی انجام می‌شود؛ درحالی‌که در کارکرد جهت‌دهی به سیستم، مجریان نقشی در فرآیند گزینش ایفا نمی‌کنند. بنابراین، می‌توان کارکرد شکل‌گیری بازار را حالت خاصی از کارکرد جهت‌دهی به سیستم دانست. با استفاده از شاخص‌ها و شناسایی فعالیت‌های مختلف، می‌توان میزان تحقق این کارکرد را سنجید. نمونه‌ای از این اقلام در ادامه آورده شده است:

- شناسایی مرحله بلوغ (دوره‌ی عمر) بازار
- شفاف‌سازی پتانسیل بازار
- تعداد و تنوع کاربران موجود برای تکنولوژی
- تعداد و تنوع نهادهای تنظیم شده برای شکل‌دهی به بازار
- میزان عدم قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان و یا سرمایه‌گذاران
- هزینه‌های مصرف تکنولوژی

تأمین منابع

مجموعه‌ای از فعالیت‌های مربوط به تأمین و هماهنگی ورودی‌های لازم برای توسعه نظام نوآوری که در راستای تحقق کارکرد تأمین منابع قرار می‌گیرند. دسترسی به منابع مورد نیاز، یکی از ضروری‌ترین نیازهای توسعه نظام‌های نوآوری فناورانه است. فعّالیت‌هایی که در این کارکرد صورت می‌پذیرد، بیشتر از جنس سرمایه‌گذاری‌هایی است که در فرآیند توسعه انجام می‌شوند. همچنین، گسترش زیرساخت‌های عمومی مورد نیاز پیشرفت تکنولوژی، مانند سیستم‌های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمره این کارکرد قرار می‌گیرد. درصورت عدم وجود منابع مالی و ابزارهای مورد نیاز و نیز بازیگرانی با توانایی و قابلیت‌های متمایز، یک تکنولوژی نوظهور به هیچ وجه مورد استقبال قرار نخواهد گرفت. بنابراین، این کارکرد دارای اهمیت فراوانی در روند توسعه می‌باشد. بنابراین، نگاشت کارکرد بسیج منابع در چهار بعد مختلف امکان‌پذیر است:

- منابع انسانی: تأمین و هماهنگ‌سازی افراد علمی یا فنی موردنیاز برای توسعه تکنولوژی
- منابع مالی: تأمین و هماهنگ‌سازی بودجه‌ها و اعتبارات موردنیاز برای توسعه تکنولوژی
- منابع مصرفی: تأمین و هماهنگ‌سازی مواد (و در پاره‌ای اوقات، قطعات) موردنیاز برای توسعه تکنولوژی
- منابع مکمل: تأمین و هماهنگ‌سازی زیرساخت‌ها، محصولات و یا خدمات مکمل[1] موردنیاز برای توسعه تکنولوژی

این کارکرد می‌تواند توسط دولت، صنعت و یا هر بازیگر دیگری که در روند توسعه فناوری مشغول است، برآورده گردد. هرچه سطح بلوغ تکنولوژی نوظهور بیشتر شود، انتظار می‌رود سهم بخش خصوصی در تأمین منابع مورد نیاز بیشتر گردد. نمونه‌ای از رخدادهایی که می‌تواند منجر به تحقق این کارکرد شود، در ادامه آورده شده است:

- کمک‌های بلاعوض دولتی (یارانه)
- سرمایه‌گذاری‌های بخش دولتی و خصوصی در گسترش فناوری
- توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز تکنولوژی و محصولات و خدمات مکمل
- تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای توسعه تکنولوژی از خارج از کشور
- دردسترس بودن نیروی انسانی فنی در رابطه با تکنولوژی موردنظر

مشروعیت بخشی

آن دسته از فعالیت‌هایی که به‌دنبال ایجاد مقبولیت اجتماعی برای تکنولوژی جدید هستند و می‌توانند منجر به تغییر نهادهای موجود در جامعه و هم‌راستا شدن آن‌ها با نیازهای بازیگران موجود در نظام مورد نظر گردند را می‌توان محقق‌کننده این کارکرد دانست. برای توضیح بیشتر، می‌توان گفت که ظهور یک تکنولوژی جدید، اغلب با مخالفت بازیگرانی که دارای منافع در تکنولوژی‌های کنونی هستند، همراه

[1]- منظور از این اقلام، مکمل‌هایی است که مختص نظام نوآوری مورد نظر نیستند و به راحتی می‌توان آنها را از نظام‌های دیگر تأمین کرد.

می‌شود. بنابراین، نیاز است تا بازیگران تکنولوژی جدید، بر لختی[1] موجود غلبه نمایند. این کارکرد، در توسعه تکنولوژی‌ها مانند یک کاتالیزگر عمل می‌کند و به فرایند توسعه نظام نوآوری سرعت می‌بخشد. این امر، از طریق تشویق قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران، به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به نظام نوآوری فناورانه منجر می‌شود. کارکرد مشروعیت‌بخشی و حمایت از سوی نهادهای پشتیبان، شامل لابی‌های سیاسی و رایزنی‌هایی است که بین گروه ذینفعان تکنولوژی صورت می‌پذیرد. لذا، شبکه‌ها و تعاملات، نقشی مهم را در تحقق این کارکرد ایفا می‌کنند. این کارکرد از اهمیت بالایی در توسعه نظام نوآوری برخوردار است؛ چراکه معمولاً در بدو توسعه یک نظام نوآوری، بازیگران موجود در آن به‌آسانی دست به ایجاد شبکه‌ای میان خود نمی‌زنند. از این رو، در ارتباط با تکنولوژی مطلوب و نیز روش دستیابی به آن اختلاف‌نظر وجود دارد و شناسایی یک موضع شفاف در این رابطه دشوار خواهد بود. بنابراین، ایجاد اتحاد برای توسعه تکنولوژی امر سهلی نمی‌باشد. در اینجا،وجود شبکه‌ها علاوه بر تسهیل انتشار دانش میان بازیگران، به همگرا ساختن آنان نیز کمک می‌کند. بنابراین، از یک سو، بازیگران موجود در نظام نوآوری با یکدیگر همکاری زیادی ندارند و از سوی دیگر، به علت آنکه توسعه تکنولوژی نوظهور منجر به کنار زده شدن برخی تکنولوژی‌های دیگر می‌گردد، بازیگران مربوط به تکنولوژی‌های موجود (رقیب تکنولوژی نوظهور) که دارای تعاملات قابل توجهی با یکدیگر هستند، با توسعه تکنولوژی نوظهور مخالفت می‌کنند. بنابراین، کارکرد مشروعیت‌بخشی برای توجیه کردن تکنولوژی نوظهور به‌عنوان بخشی از نظام فنی جدید و مقاومت در برابر مقابله‌های انجام گرفته از سوی بازیگران موجود اهمیت دارد. نمونه‌ای از رخدادها و شاخص‌های نمایانگر تحقق این کارکرد در ادامه آورده شده است:

- میزان همگرائی نهادهای موجود و نظام نوآوری فناورانه در حال توسعه
- میزان مشروعیت سرمایه‌گذاری در توسعه تکنولوژی و محصولات مربوط به آن
- رایزنی‌های سیاسی بین گروه‌های درگیر برای حمایت از تکنولوژی
- اعمال نفوذ گروه‌های پشتیبان تکنولوژی در بخش‌های مختلف دولت و صنعت
- میزان حمایت از تکنولوژی موردنظر در رسانه‌ها

[1]- نام دیگری که بر این کارکرد نهاده می‌شود، حذف مقاومت در برای تغییر (لختی یا اینرسی) است. بنابراین، علت وجودی این کارکرد غلبه بر اینرسی بازیگران موجود در نظام است.

٤-٢-٢-٢- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه

در این بخش به چهار دسته از عوامل ساختاری موجود در نظام‌های نوآوری فناورانه پرداخته خواهد شد. این چهار دسته عبارتند از بازیگران[1]، نهادها[2]، فناوری‌ها[3] (زیرساخت‌ها) و روابط و شبکه‌ها[4] که در ادامه، توضیحاتی در خصوص آنها ارائه شده است. [۲] و [۴] و [۵]

- بازیگران

دسته بازیگران شامل تمام سازمان‌هایی است که به طور مستقیم به عنوان توسعه‌دهنده و یادگیرنده فناوری یا به طور غیرمستقیم به عنوان تنظیم‌کننده، تأمین‌کننده مالی و دیگر نقش‌ها در ظهور فناوری نقش دارند. در حقیقت، این بازیگران، یک نظام نوآوری تکنولوژیکی هستند که با انتخاب‌ها و تصمیمات خود، فناوری‌هایی را ایجاد، منتشر و بهره‌برداری می‌کنند. ایجاد یک نظام نوآوری فناورانه وابسته به وجود مهارت‌ها و اشتیاق بازیگران آن برای انجام اقدامات مختلف است.

تنوع بالقوه بازیگران در یک نظام نوآوری فناورانه بسیار زیاد است و گستره‌ای از بازیگران بخش خصوصی، بازیگران دولتی، توسعه‌دهندگان فناوری و گیرندگان آن را در بر می‌گیرد. برخی از بازیگران در توسعه یک فناوری، نقش پیشرو[5] را دارند و سایر بازیگران، پیرو[6] هستند. بازیگران پیش‌رو آن‌هایی هستند که کاملاً در توسعه یک فناوری خاص وارد شده‌اند و به موفقیت آن فناوری وابسته می‌باشند. در طرف مقابل، بازیگران پیرو کاملاً در توسعه یک فناوری درگیر نشده‌اند و می‌توانند بین گزینه‌های مختلف، دست به انتخاب بزنند. به طور معمول، پیشروان توسعه یک فناوری، متشکل از واحدهای صنعتی و توسعه‌دهندگان فناوری کوچک هستند که تنها درحوزه یک فناوری به ایفای نقش مشغول هستند. در طرف مقابل، پیروان را می‌توان متشکل از تنظیم‌گران، تأمین‌کنندگان مالی، کاربران و بنگاه‌های بزرگ با قابلیت حمایت از انواع مختلفی از گزینه‌های تکنولوژیکی دانست.

در این مطالعه، برای تحلیل نظام نوآوری فناورانه، بازیگران (افراد، سازمان‌ها و شبکه‌ها) را برحسب نقش آن‌ها در فعالیت‌های اقتصادی تقسیم‌بندی کردیم: جامعه مدنی، سازمان‌های غیردولتی (NGO[7])، شرکت‌ها (نوبنیان، بنگاه‌های کوچک و متوسط، شرکت‌های چندملیتی و نیز شرکت‌های بزرگ)، مؤسسات دانشی (دانشگاه‌ها، نهادهای فناورانه، مراکز تحقیقاتی و مدارس) و دیگر بخش‌ها شامل سازمان‌های حقوقی، مؤسسات مالی، بانک‌ها، نهادهای واسطه‌ای، بیمه‌ها و مشاوران. این بازیگران مختلف همگی می‌توانند نقش‌های متفاوتی را در یک نظام ایفا نمایند.

- نهادها

نهادها در نظام نوآوری فناورانه دو نوع هستند: نهادهای رسمی و نهادهای غیر رسمی [۲]. نهادهای رسمی قواعدی مدون شده هستند و توسط افراد ذیصلاح ملزم به اجرا می‌گردند. از طرفی، نهادهای

1- Actors
2- Institution
3- Technology
4- Network
5- Enactor
6- Selector
7- Non Governmental Organization

غیررسمی ضمنی‌تر هستند و در نتیجه فرآیند تعامل بازیگران شکل می‌گیرند. نهادهای غیررسمی می‌توانند هنجاری یا شناختی باشند. قواعد هنجاری همان ارزش‌ها و هنجارهای اجتماعی با جنبه‌های اخلاقی هستند؛ درحالی‌که قواعد شناختی را می‌توان چارچوب‌های ذهنی و پارادایم‌های اجتماعی دانست [۳].

مثال‌هایی از نهادهای رسمی عبارتند از قوانین دولتی و تصمیمات سیاستی و یا بخش‌نامه‌ها یا قراردادهای بنگاه‌ها. مثالی در رابطه با قواعد هنجاری، مسئولیت احساس شده توسط یک شرکت در رابطه با عدم تولید ضایعات و یا پاکیزه‌سازی آن‌ها است. نمونه‌هایی از قواعد شناختی نیز جستجوی ذهنی[1] (ابتکاری) یا رویه‌های حل مسأله هستند [۲] و [۶]. همچنین، می‌توان نگاه‌ها و انتظارات بازیگران درون نظام را نیز در این دسته جای داد.

برای یک نظام نوآوری تکنولوژیکی که در مرحله‌ی سازندگی[2] است، پیکربندی نهادی معمولاً توسعه نیافته است. این حرف بدان معناست که قواعد نهادی (به ویژه از نوع رسمی) کمی وجود دارند و حتی قواعد موجود با فناوری در حال ظهور ناسازگاری دارند. انتظار می‌رود که قواعد شناختی برای هدایت بازیگران، به‌ویژه پیروان، در مراحل اولیه حمایت از فناوری نوظهور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. علاوه بر آن، نگاه‌ها و انتظارات، به جهتی، تنها علت حمایت از یک فناوری نوظهور است. این موضوع به مفهوم کارآفرین ریسک‌پذیر[3] مربوط است که با نوعی فرصت تحریک می‌شود و برای بر هم زدن ساختارهای موجود از طریق تطبیق دادن آن‌ها با حالت مطلوب خویش و یا ایجاد ساختارهای جدید، تلاش می‌کند. از منظر مداخله، عوامل نهادی به علت هدف واقع شدن توسط سیاست‌های حاکمیتی و حتی راهبردهای کسب و کار، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. علاوه بر آن، حضور، مهارت‌ها و اشتیاق پیشروان و پیروان، تنها می‌تواند به صورت غیرمستقیم از طریق ساختار نهادی نوآوری فناورانه تحت تأثیر قرار گیرد. این ساختار از طریق برنامه‌ی حمایتی، مشوق‌های مالیاتی و موارد دیگر بر این بازیگران اثر می‌گذارد. همچنین، ماهیت ساختار فناورانه از دایره‌ی اثر مستقیم بسیاری از بازیگران، به ویژه حاکمیت، خارج است.

زیرساخت‌ها و فناوری‌ها

زیرساخت‌ها متشکل از مصنوعات و زیرساخت‌های فناورانه (که خود آن‌ها نیز مصنوع به شمارمی‌روند) به‌صورت یکپارچه هستند. عملکرد فنی اقتصادی این مصنوعات که شامل ساختارهای هزینه، ایمنی، قابلیت اطمینان، آثار افزایش مقیاس و موارد دیگر هستند، از اهمیت حیاتی برای فهم فرایند تغییر فناورانه برخوردار است. همچنین، در نظر گرفتن وجوه غیرمادی‌تر فناوری همچون دانش موجود در آن و مشخصات زنجیره ارزش ایجاد شده توسط آن معنادارتر به‌نظر می‌رسد. به عنوان نمونه، در رابطه با مورد نوآوری‌ها در انرژی پایدار، در نظر گرفتن مشخصات آلایندگی و دیگر اثرات جانبی زیست‌محیطی نیز از اهمیت فراوان برخوردار هستند. علاوه بر آن، درصورت تشخیص یک فناوری به‌عنوان فناوری با اثرات

1- Heuristic
2- Formative
3- Risk-taking

منفی زیست‌محیطی، ممکن است نظام نوآوری فناورانه با وجود جذاب بودن آن فناوری برای مجموعه بزرگی از بازیگران و توسعه یافتن نهادهایی در رابطه با آن، دست به توقف آن بزند.
درصورت عدم در نظر گرفتن وجوه فناورانه به‌عنوان بخشی از نظام نوآوری فناورانه، یک مکانیزم بازخوردی مهم (بین تغییر فناورانه و تغییر نهادی) مغفول واقع می‌شود. برای مثال، در صورت ایجاد بهبود در ایمنی و قابلیت اطمینان در نتیجه ایجاد یک طرح، ارائه یارانه برای تحقیق و توسعه در حمایت از یک فناوری نوظهور راه را برای اجرای طرح‌های حمایتی با جزئیات بیشتر (شامل نمایش‌های علمی) هموار خواهد کرد. این اقدام نیز می‌تواند منجر به بهبودهای فناورانه بیشتر گردد.

روابط و شبکه‌ها

مؤلفه‌های موجود در نظام نوآوری فناورانه، صرفاً سنگ بنای آن محسوب می‌شوند. این بخش فراهم آورنده یک نگاه مفهومی به تمامی روابط ممکن است.

- روابط: روابط ممکن بین مؤلفه‌های ساختاری دارای انواع گوناگونی می‌باشند. می‌توان این روابط را به روابط بین بازیگران، بین نهادها، بین فناوری‌ها و همچنین بین بازیگران و نهادها، بین بازیگران و فناروی‌ها و بین فناوری‌ها و نهادها تقسیم کرد. برای فهم این موضوع، نهادها و فناوری‌ها را به‌عنوان بخش‌هایی از نظام قواعد در نظر بگیرید که در آن هر قاعده به قواعد دیگر اشاره دارد. قواعد موجود می‌توانند در رابطه با یک مسأله خاص یکدیگر را رد (ناهمگرایی[1]) یا تقویت کنند (همگرایی). از این طریق، نهادها می‌توانند به یک جنبه فناورانه سود (زیان) رسانند و بالعکس. برای مثال، یک بخشنامه برای کاهش آلودگی‌های خودرو می‌تواند به استفاده از فناوری پاک کمک کند. مثال دیگر نیز می‌تواند اثر زیرساخت‌های جاده‌ای بر الگوهای مسافرت کاربران باشد. روابط بین بازیگران و نهادها و بین بازیگران و فناوری‌ها مشابه یکدیگر می‌باشند. هر دو این روابط از نوع روابط فاعل- مفعولی است. این موضوع با در نظر گرفتن اختلاف بین این روابط و روابط بین بازیگران بهتر فهمیده می‌شود.
- شبکه‌ها: در برخی موارد خاص، روابط موجود در یک گروه از بازیگران، نهادها و فناوری‌ها از روابط موجود در خارج از گروه، قوی‌تر است. در صورتی که این مؤلفه‌های ساختاری باعث ایجاد یک پیکربندی متراکم گردند، می‌توان آن را یک ساختار شبکه‌ای یا یک شبکه نامید. مثالی در این رابطه می‌تواند ائتلاف بنگاه‌هایی برای کاربرد یک فناوری نوظهور باشد (قواعد فناورانه) که به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از روش‌های حل مسأله هدایت می‌شود و توسط برنامه‌های یارانه ای حمایت می‌شود (قواعد نهادی). همچنین، انجمن‌های صنعتی[2]، جوامع تحقیقاتی، شبکه‌های سیاستی و روابط عرضه‌کننده و کاربر نیز مثال‌هایی از این شبکه‌ها به‌شمار می‌روند. شبکه‌ها فراهم‌آورنده شکلی از همکاری است که در وضعیتی بین جهت‌مند نبودن منعطف بازارها و صلب بودن سلسله مراتبی‌ها (برای مثال در بنگاه‌ها) قرار می‌گیرد [۲]. شبکه‌ها، همچنین، بین اعتماد و رقابت میان بازیگران مستقل با علائق ناهمگون تعامل برقرار می‌کنند. حفظ این تعامل در محیطی مهم تلقی می‌گردد که توسعه فناوری نوظهور وابسته به بازترکیب[3] مفهومی و عملی دانش است. از آنجایی که تعاملات دینامیک و پویا است، درنظرگرفتن آن‌ها به عنوان یکی از عناصر ساختاری سیستم مشکل است. در بعضی از مقالات، برای توصیف ارتباط و روابط همکاری میان بازیگران از عبارت "شبکه" استفاده شده است ولی یک "شبکه"

1- Misalignment
2- Industry association
3- Recombination

می‌تواند به عنوان یک شکل بزرگتر بازیگران سازمانی نیز درنظرگرفته شود. با این وجود، تعاملات محدود به اتفاق افتادن در درون شبکه‌ها نیست. در مراحل اولیه توسعه یک سیستم، شبکه‌هایی وجود ندارد ولی تعاملات دو طرفه میان بازیگران اتفاق می‌افتد. پس، تمرکز اصلی در این مطالعه بر"روابط" است که در دو سطح شبکه‌ها و تماس‌های فردی می‌تواند مورد تحلیل واقع شود.

جدول ۲-۴ تمامی ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

جدول ۲-۴- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه

ابعاد ساختاری	زیر بخش‌ها
بازیگران	• دولت و جامعه مدنی • شرکت‌ها: شرکت‌های تازه تاسیس شده، بنگاه‌های کسب و کار کوچک و متوسط، کارخانجات بزرگ، شرکت‌های چند ملیتی • سازمان‌های مردم نهاد • بخش‌های دیگر: سازمان‌های قانونگذاری، بانک‌ها/ سازمان‌های مالی، نهادهای واسطه‌ای، کارگزاران دانشی مشاورین
نهادها	• سخت: قوانین، مقررات، دستورالعمل‌ها • نرم: هنجارها، عادت‌های رایج، رسوم، سنتی و انتظارات و...
تعاملات	• در سطح شبکه • در سطح ارتباطات فردی
زیرساخت‌ها	• تجهیزاتی: ابزارهای فنی، ماشین‌ها، ساختمان‌ها، جاده‌ها، پل‌ها و ... • دانشی: دانش، تخصص، اطلاعات راهبردی

٤-۲-۲-۳- مشکلات سیستمی در نظام نوآوری فناورانه و ابزارهای سیاستی برای رفع آنها

چالش‌هایی که در ارتباط با ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه (جدول ۲-۴) وجود دارند، تحت عنوان مشکلات سیستمی شناسایی و بررسی می‌شوند. مشکلات سیستمی از دو منظر وجود ابعاد ساختاری و میزان قوت آنها مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. به عبارت دیگر به ازای هریک از ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه، وجود یا عدم وجود آن بعد به همراه میزان قوت آن بعد (در صورت وجود) بررسی می‌شود. شاخص بررسی میزان قوت، در ابعاد ساختاری مختلف متفاوت است. بدینصورت که در مورد بازیگران و نهادهای موجود، میزان توانایی آنها در شکل‌دهی به نظام نوآوری فناورانه، در خصوص تعاملات (روابط و شبکه‌های موجود) شدت و قوت آنها و در خصوص زیرساخت‌ها و فناوری‌های موجود، میزان کیفیت آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر این اساس، چهار نوع مشکل سیستمی در ارتباط با ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه وجود خواهد داشت که متناسباً شامل وجود، توانایی، شدت و کیفیت آنها بوده و برای هریک از ابعاد ساختاری، در ستون دوم جدول ۳-۴ آورده شده‌اند. مشکلات سیستمی و اهداف بررسی آنها نیز در جدول ۳-۴ آمده است [۱۲].

جدول ۳-۴- اهداف بررسی مشکلات سیستمی

مشکل سیستمی	نوع مشکل سیستمی	هدف بررسی مشکل
مشکلات بازیگران	وجود؟	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت ها، دولت و ...)
	توانایی؟	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)
مشکلات تعاملات	وجود؟	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی‌مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)
	شدت؟	ممانعت کردن از گره‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف
مشکلات نهادی	وجود؟	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)
	توانایی؟	جلوگیری از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.
مشکلات زیرساختی	وجود؟	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.
	کیفیت؟	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.

مشکلات سیستمی که به طور دقیق شناسایی شدند به راحتی می‌توانند با اهداف بررسی آنها همراستا شده و بوسیله ابزارهای سیاستی با هدف پشتیبانی توسعه کل نظام نوآوری، دنبال شوند. به منظور برآورده نمودن اهداف (ستون سمت چپ جدول ۳-۴)، یک مجموعه از ابزارهای سیاستی قبلاً در ادبیات فنی معرفی شده‌اند. یک ابزار سیاستی یک مجموعه یکپارچه و منسجم از ابزارهایی است که برای یک نظام نوآوری خاص طراحی شده است و هدف آن ایجاد فرصت‌ها و شرایطی برای شکل‌گیری نظام است. (البته از طریق تحت تاثیر قراردادن عناصر و ارتباطات داخلی نظام که در غیر این صورت به طور خود به خودی ظهور نخواهد کرد.) انتخاب ابزارهای سیاستی نه تنها به مشکلات شناسایی شده وابسته است بلکه به تعاملات متقابل ابزارها، شرایط اقتصادی و سیاسی-اجتماعی محیط اطراف فناوری، اثرات دیگر نظام‌های رقیب نیز وابسته است. آنها می‌بایست به طریقی انتخاب شوند که اثربخشی، تقویت متقابل و کنش منظم خود را حفظ نمایند. انتظار می رود که کاربرد یک ابزار سیاستی خوب طراحی شده در توسعه نظام و دستیابی به نرخ‌های بالاتر نوآوری آشکار شود. به شکل تحلیلی، این حقیقت می‌بایست در تقویت کارکردهایی که قبلا ضعیف بوده یا اصلا وجود نداشته‌اند مشاهده گردد. به دلیل اینکه مشکلات سیستمی به تفکیک کارکردها شناسایی می‌شوند، ابزارهای سیاستی که مرتبط با مشکلات سیستمی هر کارکرد است نیز، به تفکیک کارکردها تبیین می‌شوند. باید توجه داشت که بسته به حوزه‌ی فناوری مورد مطالعه، ممکن است پیشنهادهای سیاستی جزیی‌تر و یا ترکیبی از ابزارهای سیاستی نیز استفاده شود. ابزارهای سیاستی معرفی شده در ادبیات فنی به تفکیک کارکردها، در جدول ۴-۴ الی جدول ۱۰-۴ ارائه شده‌اند [۱۲].

جدول ۴-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد کارآفرینی

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی ایجاد شود • تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان به وجود آید • به سرمایه گذاری خطرپذیر بها داده شود • استفاده از خوشه‌بندی فناوری برای تحریک ورود کارآفرینان

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
			• برگزاری بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی به منظور تحریک کارآفرینان • ایجاد کارزارهای گذار به وسیله‌ی ایجاد یک شبکه از بازیگران قوی داخلی و خارجی برای مشخص‌کردن مشکلات، توسعه چشم‌اندازها، راه‌های رسیدن به آنها، تنظیم اهداف و سیر زمانی برای اتفاق افتادن گذار که منجر به ورود کارآفرینان می‌شود
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی-های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران کارآفرینی فراهم کرد: طوفان مغزی، برنامه‌های آموزشی، بسترهای دانشی فناوری، کارگاه‌های آموزشی، پروژه‌های پایلوت
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• ایجاد برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی • برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) • به وجود آوردن همکاری و طرح‌های تحرک • بررسی بهترین روش انتقال فنآوری برای ایجاد تعامل بین کارآفرینان
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین کارافرینان را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. • وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین کارآفرینان می‌شود. • ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین کارآفرینان می‌شود.
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به کارآفرینی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به کارآفرینی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۵-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد توسعه دانش

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• به وجود آوردن شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی و پروژه‌های دانشگاهی • فراهم آوردن بستری برای گرویدن دانشجویان و اساتید به گروه ذینفعان در حوزه‌ی مربوطه • تشویق دانشگاه‌ها برای برگزاری کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی • تشویق دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها برای تبیین کارزارهای گذار
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران توسعه دانش فراهم کرد: گفتمان بیان، طوفان مغزی، برنامه‌های آموزشی، بسترهای دانشی فناوری، کارگاه‌های آموزشی
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• ایجاد برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی • برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • به وجود آوردن برنامه‌های تعاونی • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) برای ایجاد تعامل بین دانشگاه‌ها و تعامل بین صنعت و دانشگاه • بررسی بهترین روش انتقال فنآوری و اجرای آن در حوزه‌ی فناوری مورد مطالعه برای ایجاد تعامل بین بازیگران توسعه دانش
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران توسعه دانش را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف برای توسعه‌دانش شود. • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران توسعه دانش می‌شود.

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به توسعه دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به توسعه دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۶-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد تأمین منابع

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• به وجود آوردن شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی با بانک‌ها و سازمان‌های تامین منابع مالی • ایجاد تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان و سازمان‌های تامین منابع مالی • برگذاری بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی برای تربیت نیروی انسانی • برپایی نشست‌های موضوعی برای نحوه تامین منابع مالی و انسانی
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران تامین و تسهیل منابع فراهم کرد: گفتمان بیان، پس‌بینی، آینده‌نگاری، ره‌نگاشت، طوفان مغزی، آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• کنفرانس توسعه اجماع • کمک‌های مالی و برنامه‌های تعاونی به منظور تحریک متولیان تامین و تسهیل منابع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) • همکاری و طرح‌های تحرک
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران تامین و تسهیل منابع را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
			• استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. • وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین تامین‌کنندگان منابع می‌شود.
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعاتف بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به تامین و تسهیل منابع می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به تامین و تسهیل منابع می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۷-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد انتشار دانش

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• ایجاد شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی • تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان برای انتشار دانش • برپایی بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی • برای تشویق متولیان انتشار دانش
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران انتشار دانش فراهم کرد: برنامه‌های آموزشی، بسترهای دانشی فناوری، کارگاه‌های آموزشی
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• به وجود آوردن برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی • برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) • ایجاد مراکز ترویج علمی

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
			• فراهم آوردن بستری مناسب برای ثبت اطلاعات مربوطه
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران انتشار دانش را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف برای انتشار دانش شود. • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران انتشار دانش می‌شود.
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به انتشار دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به انتشار دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۸-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد جهت‌دهی به سیستم

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی • تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان • برپایی بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی به منظور تشویق متولیان جهت‌دهی به سیستم و اجماع بین بازیگران این حوزه • تبیین کارزارهای گذار به منظور اجماع سازمان‌های جهت‌دهی به سیستم
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران جهت‌دهی به سیستم فراهم کرد:

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
		عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	گفتمان بیان، پس‌بینی، آینده‌نگاری، ره‌نگاشت، طوفان مغزی، برنامه های آموزشی، بسترهای دانشی فناوری، توسعه سناریو، آزمایشگاه های سیاست‌گذاری
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) • فراهم آوردن همکاری و طرح‌های تحرک • برسی روشهای ارزش‌گذاریسیاست • ایجاد بستری مناسب برای تسهیل در تصمیم‌گیری
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. • وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم می‌شود. • ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم می‌شود.
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به جهت‌دهی به سیستم می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به جهت‌دهی به سیستم می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۹-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد مشروعیت بخشی

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• ایجاد شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی به منظور ایجاد سازمان‌های مردم نهاد برای مشروعت‌بخشی • اجرای بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی برای تهیج متولیان مشرویت بخشی
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران مشروعیت‌بخشی فراهم کرد: گفتمان بیان، پس‌بینی، آینده‌نگاری، ره‌نگاشت، برنامه‌های آموزشی، بسترهای دانشی فناوری، توسعه سناریو، کارگاه‌های آموزشی، آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری، پروژه‌های پایلوت
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• تدوین برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی • برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) • ایجاد مراکز ترویج علمی
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران مشروعیت بخشی را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. • وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران مشروعیت بخشی می‌شود
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به مشروعیت‌بخشی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات زیر ساخت‌ها	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به مشروعیت‌بخشی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

جدول ۱۰-۴- ابزارهای سیاستی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده کارکرد شکل‌دهی به بازار

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	• بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی به منظور ایجاد تقاضا • ایجاد کارزارهای گذار برای ایجاد تقاضا به منظور شکل‌گیری بازار اولیه
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران شکل‌دهی به بازار فراهم کرد: گفتمان بیان، پس‌بینی، آینده‌نگاری، رەنگاشت، طوفان مغزی، برنامه‌های آموزشی، توسعه سناریو، کارگاه‌های آموزشی، آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری، پروژه‌های پایلوت
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	• برگزاری کنفرانس توسعه اجماع • استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکزبرتری‌ها، مراکز شایستگی) • فراهم آوردن بستری برای همکاری و طرح‌های تحرک • ایجاد مراکز ترویج علمی • بررسی وجوه مختلف انتقال فنآوری به منظور ایجاد تعامل بین بازیگران شکل‌دهی به بازار
	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف.	• تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران شکل‌دهی به بازار را افزایش می‌دهد • ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در اشیانه را تقویت کرد • استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. • وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود • با ارتقاء برنامه‌های فنآوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد • بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران شکل‌دهی به بازار می‌شود • ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین بازیگران شکل‌دهی به بازار می‌شود

مشکلات سیستمی		هدف بررسی مشکل	ابزارهای سیاستی
مشکلات نهادی	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	توانایی	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارها (محصول، کاربر)، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به شکل‌دهی به بازار می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به شکل‌دهی به بازار می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.

در این بخش، ادبیات فنی و چارچوب نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات کلان بر اساس رویکرد نظام نوآوری فناورانه ارائه گردید. نظام نوآوری فناورانه دارای ۷ کارکرد شامل کارآفرینی، خلق و توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع، جهت‌دهی به سیستم، شکل‌دهی به بازار و مشروعیت (مقبولیت) بخشی می‌باشد. از طرف دیگر، نظام نوآوری فناورانه دارای ابعاد ساختاری چهارگانه شامل بازیگران، نهادها (قوانین و مقررات)، تعاملات (روابط و شبکه‌ها) و زیرساخت‌ها (فناوری‌ها) می‌باشد. با شناسایی مشکلات و چالش‌های موجود در هریک از ابعاد ساختاری فوق به تفکیک کارکردها (که از طریق مصاحبه با خبرگان مرتبط با حوزه های فناورانه انجام می‌شود)، می‌توان سیاست‌ها و اقدامات مناسب در راستای توسعه فناوری نوآورانه را تدوین و پیشنهاد نمود. جزئیات انجام این کار در خصوص توسعه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در بخش سوم گزارش ارائه شده است.

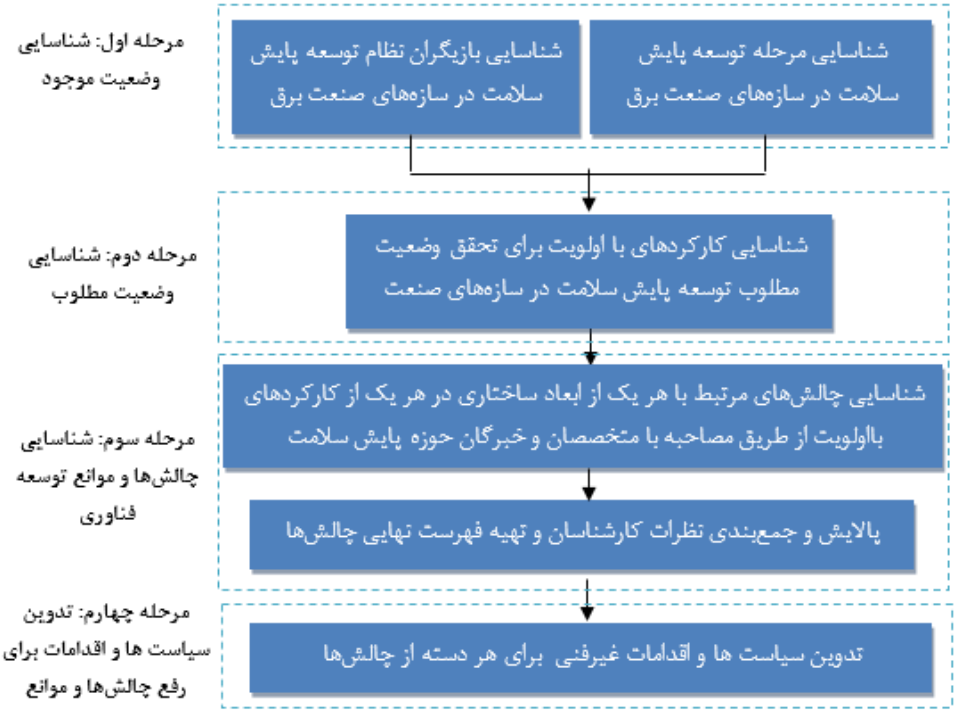
٤-٣-به‌روزرسانی سیاست‌ها و اقدامات توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

سیاست‌ها و اقدامات مجموعه‌ای از طرح‌ها و برنامه‌های اجرایی هستند که به تحقق راهبردها و دستیابی به اهداف کمک می‌کنند و در حقیقت راهکارهایی جهت رفع موانع توسعه یک فناوری هستند [۱]. همان طور که در بخش مبانی نظری اشاره شد مبنای تدوین سیاست‌ها و اقدامات در این سند، نظام نوآوری فناورانه (TIS) است. همان‌طور که اشاره شد یک دسته سیاست و اقدام غیرفنی در پاسخ به چالش‌های موجود در کارکردهای نظام نوآوری فن‌آورلنه و یک دسته اقدام فنّی مورد نیاز برای کارکرد اکتساب و توسعه دانش فنی و فناوری‌های پشتیبان، ارائه می‌شود که در ادامه فرایند تدوین هریک و نتایج آن‌ها ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که در ابتدا، برنامه اقدامات فنی و غیرفنی در سطح ملی ارائه شده و در ادامه، با توجه به نقش و جایگاه تعیین شده برای پژوهشگاه نیرو در اکوسیستم توسعه پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق و ارکان جهت‌ساز تدوین

شده در سطح پژوهشگاه نیرو، (گزارش مراحل دوم و سوم) برنامه اقدامات غیرفنی و فنی در سطح پژوهشگاه نیرو نیز، تدوین و ارائه می‌گردد.

٤-٣-١- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی

فرایند تدوین این سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل نشان داده شده است در مرحله اول، وضعیت موجود توسعه فناوری مشخص می‌شود. بدین منظور ابتدا مرحله توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق تعیین می‌شود. سپس، بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی می‌شوند. در مرحله دوم، با توجه به خروجی حاصل از مرحله اول، کارکردهای با اولویت برای تحقق وضعیت مطلوب توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص می‌گردد. در مرحله سوم، موانع موجود مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در کارکردهای با اولویت از طریق مصاحبه با متخصصان و خبرگان آشنا با پایش سلامت سازه‌ها تعیین می‌گردد. چالش‌های شناسایی شده پالایش و جمع‌بندی می‌شود و فهرست نهایی چالش‌های توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص می‌شود. در مرحله آخر، سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی برای رفع چالش‌ها و موانع توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق ارائه می‌شود. مراحل ذکر شده در ادامه توضیح داده شده‌اند. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در تمامی این مراحل از طریق مصاحبه با خبرگان و کارشناسان آشنا با حوزه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق که اسامی آنها در بخش ۳-۱-۳-۴- آمده است استخراج شده است.



شکل ۳-۴- فرایند تدوین سیاست ها و اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

٤-٣-١-١- شناسایی وضعیت موجود توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان طور که اشاره شد در مرحله اول فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات، وضعیت موجود توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی می‌شود. این کار بر مبنای شناسایی مرحله توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نیز بازیگران نظام توسعه این فناوری در کشور انجام می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

٤-٣-١-١-١- بازیگران نظام توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ساختار هر نظام نوآوری متشکل از بازیگران و ذینفعانی است که هر یک به طور مستقیم یا غیرمستقیم نقش‌هایی را ایفا می‌کنند. این بازیگران می‌توانند شامل بخش دولتی، شرکت‌های تولیدکننده، شرکت‌های مشاور، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، موسسات مالی، موسسات حقوقی و ... باشند. در این گام، بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های تحقیق و توسعه، انتشار دانش، تأمین منابع انسانی، منابع مالی، مواد، قطعات و تجهیزات و سیاستگذاری و جهت‌دهی به فعالیت‌های توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص شده‌اند. در واقع پس از جست و جو در اینترنت و بررسی سازمان‌های موجود، لیست اولیه تهیه شد و این لیست بر اساس نظرات خبرگان نهایی شد. بر اساس اطلاعات موجود، مهم‌ترین بازیگران شناسایی شده در ارتباط با فناوری‌پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، به شرح جدول ۱۱-۴هستند.

جدول ۱۱-۴- بازیگران توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ابعاد / کارکردها		بازیگران
توسعه دانش		دانشکده‌های عمران: دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه علم و صنعت، دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشگاه صنعتی سهند، دانشگاه تبریز، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه سمنان، دانشگاه گیلان، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه پیام نور، دانشگاه آزاد اسلامی، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه نیرو، شرکت‌های مهندسی داخلی (مرتبط با خارج از کشور)، شرکت‌های EPC، شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو
انتشار دانش		دانشگاه‌ها (بند فوق)، پژوهشگاه نیرو، کنفرانس‌های عمران و مکانیک، کنفرانس‌های نگهداری و تعمیرات
تامین منابع	منابع مالی	وزارت نیرو، شرکت مادر تخصصی توانیر، شرکت مادرتخصصی برق حرارتی، ساتبا، تسهیلات بانکی، صندوق‌های حمایت از نوآوری و فناوری، پژوهشگاه نیرو، سرمایه گذاران بخش خصوصی

کارکردها / ابعاد		بازیگران
	منابع انسانی	دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها (تحصیلات تکمیلی)، شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی مشاور
	مواد، قطعات و تجهیزات	شرکت‌های مهندسی تأمین‌کننده (واردکننده یا سازنده) تجهیزات پایش و ابزاردقیق در داخل کشور (مانند شرکت رسیس‌افزار، شرکت مهندسی هوشمند حسگر پیش‌رو ، شرکت ایران ترینکس، و ...)، شرکت‌های خارجی تولیدکننده تجهیزات پایش و ابزاردقیق
جهت‌دهی به سیستم		وزارت نیرو، شرکت مادر تخصصی توانیر، شرکت مادرتخصصی برق حرارتی، ساتبا، شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های توزیع برق، شرکت‌های مدیریت تولید برق

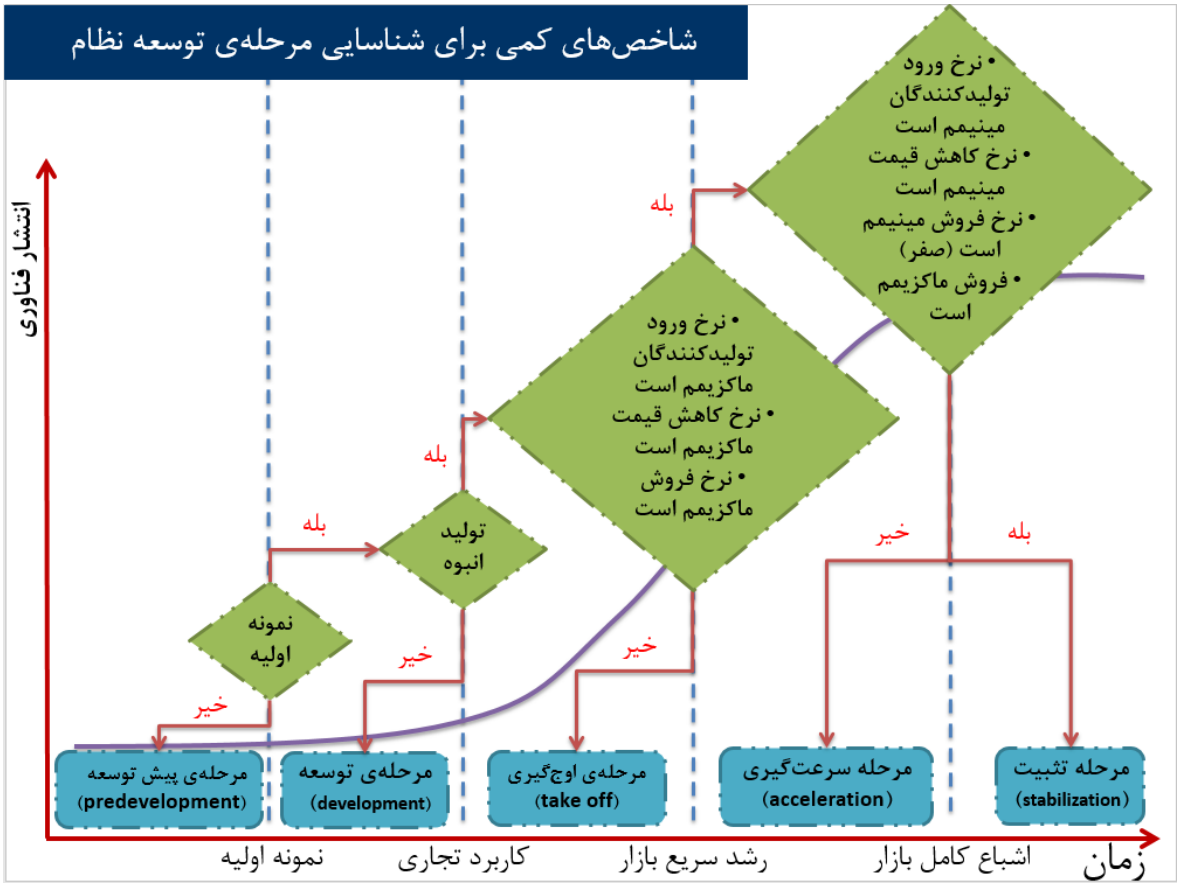
٤-٣-١-١-٢- شناسایی مرحله توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مرحله توسعه هر نظام فناورانه بر اساس وضعیت ساختاری نظام توسعه فناوری و مجموعه‌ای از شاخص‌ها یا نشانه‌های تحقق مرحله توسعه تعیین می‌شود. این مراحل عبارتند از: پیش‌توسعه، توسعه، اوج‌گیری، سرعت‌گیری، تثبیت. نشانه‌های تحقق مراحل یا شاخص‌های تشخیص مرحله توسعه در جدول ۱۲-۴ ارائه شده است.

جدول ۱۲-۴- شاخص‌های شناسایی مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه

- آیا نمونه اولیه از فناوری (محصول یا فرایند) ساخته شده است؟
- بازیگران اصلی در این حوزه چه کسانی هستند؟ نقش دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی چیست؟ آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به این حوزه وارد شده‌اند؟ آیا دولت به این حوزه وارد شده است؟ نقش آن (سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و ...) چیست؟
- آیا محصول فناوری بدون حمایت‌های دولتی در بازار به صورت آزاد فروخته می‌شود؟
- و یا: آیا تولید انبوه محصول فناوری (محصول یا خدمت) توجیه اقتصادی دارد؟
- و یا: آیا تولید انبوه محصول فناوری (محصول یا خدمت) آغاز شده است؟
- آیا شبکه‌های علمی و فناوری شکل گرفته‌اند؟ وضعیت آن‌ها چگونه است؟
- وضعیت بازار چگونه است؟ در حال رشد یا به اشباع کامل رسیده است؟
- نرخ ورود تولید کنندگان محصول فناوری چگونه است؟
- نرخ کاهش قیمت محصول فناوری چگونه است؟
- نرخ فروش محصول فناوری چگونه است؟
- آیا انجمن‌ها و سندیکاهای مربوطه شکل گرفته‌اند؟

سوالات جدول ۱۲-۴ با توجه به شکل زیر پرسیده می‌شود؛ به این صورت که مثلا اگر جواب سوال ابتدایی خیر بود، مرحله توسعه نظام، پیش‌توسعه است و دیگر نیازی به پرسیدن بقیه سوالات نیست. دیگر مراحل نیز مشابه همین است.



شکل ۴-۴- نشانه‌های تحقق مراحل برای تعیین مرحله توسعه

با مشخص شدن جدول ۴-۱۲ در واقع ساختار موجود نظام نوآوری فناورانه مشخص می‌شود و می‌توان با استفاده از آن و جدول ۴-۱۳ مرحله توسعه نظام را بر اساس ساختار موجود حول فناوری شناسایی کرد.

جدول ۱۳-۴- ویژگی مراحل توسعه به تفکیک عناصر ساختاری برای تعیین مرحله‌ی نظام نوآوری فناورانه

	پیش توسعه	توسعه	اوج‌گیری	سرعت‌گیری	تعادل
بازیگران	• دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی • تعداد محدود • نقش تسهیل گری دولت کم کم شکل می‌گیرد.	• شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی • شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در این حوزه ورود می‌کنند • نقش دولت در سیاست‌گذاری (حامله گری) پررنگ می‌شود	• انجمن‌ها و سندیکاها شکل گرفته‌اند • افزایش شرکت‌های دانش‌بنیان • نقش دولت در سیاست‌گذاری (قایله گری) پررنگ می‌شود	• تعداد رقبای در حوزه‌ی توسعه فناوری به شدت افزایش می‌یابد • نقش پررنگ بانکها و موسسات مالی • نقش دولت در تنظیم گری پررنگ می‌شود	• تمام بازیگران در این حوزه‌ی فناورانه به صورت فعال حضور دارند
تعاملات	• روابط فردی شکل گرفته است • شبکه‌های مربوط به فناوری وجود ندارند	• شبکه‌های ضعیف علمی شکل می‌گیرد	• شبکه‌های علمی در حال قوی شدن است • شبکه‌های ضعیف صنفی کم کم شکل می‌گیرد	• شبکه های علمی قوی • شبکه های صنفی در حال قوی شدن است	• شبکه‌های علمی قوی • شبکه‌های صنفی قوی
نهادها	• نهادهای نرم شکل می‌گیرد • نهاد سختی هنوز وجود ندارد	• نهادهای سخت در حال شکل‌گیری است	• نهادهای سخت شکل گرفته است	• افزایش تنوع نهادها بسته به نیازها	• نهادهای سخت متنوعی وجود دارد

در خصوص موضوع پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق، خلاصه وضعیت موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق به شرح زیر است:

در بخش تولید برق، عمده بازیگران فعال کنونی در توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها را دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی تشکیل می‌دهند و هنوز شرکت‌های مهندسی و دانش‌بنیان برای پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها، آن‌طور که باید شکل نگرفته‌اند. همچنین شبکه‌های علمی و تحقیقاتی در این حوزه هنوز شکل نگرفته است. قوانین، دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوط به این حوزه تدوین نشده و موجود نیست. از طرف دیگر، هنوز پایش سلامت، ارزیابی وضعیت و مقاومسازی در سازه‌های بخش تولید در کشور به صورت عملیاتی و نظام‌مند اجرا نشده و تنها انجام تعمیرات اضطراری (پس از مشاهده خرابی‌ها یا آسیب‌های بسیار مشهود در سازه ها) در برخی موارد بسیار محدود، صورت می‌گیرد. در بخش انتقال و فوق‌توزیع، علاوه بر مراکز دانشگاهی و پژوهشی، شرکت‌هایی هم بصورت محدود (و بیشتر در حوزه انجام نگهداری و تعمیرات تجهیزات خط و پست بطور کلی) فعال می‌باشند. همچنین دستورالعمل‌هایی نیز در خصوص بازرسی، ارزیابی وضعیت و نگهداری سازه‌های انتقال و فوق‌توزیع بصورت محلی و عمومی (تدوین شده توسط شرکت توانیر) وجود دارد؛ ولیکن تنها مبتنی بر بازدید چشمی (پیمایشی و صعودی) بوده و از روش‌ها و رویکردهای نوین (SHM) استفاده نمی‌شود. در بخش توزیع برق نیز تا قبل از چند سال اخیر، تنها تعمیرات اضطراری و اصلاحی و تعویض پایه‌ها (در صورت وقوع خرابی یا مشاهده آسیب جدی در آنها) انجام می‌شدند. با توجه به تعداد نسبتاً قابل توجه پایه‌های توزیع در سطح

کشور و مشاهده فرسودگی و آسیب‌های موجود در آنها و حوادث رخداده ناشی از آسیب‌ها در سال‌های گذشته، توجه به مباحث مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های توزیع (بخصوص پایه‌های هوایی) در سال‌های اخیر بیشتر شده و فعالیت‌های گسترده‌ای در کشور با راهبری شرکت توانیر آغاز شده و در دست انجام است. در این راستا، دستورالعمل‌هایی برای مقاومسازی شبکه توزیع در حوزه‌های مختلف توسط شرکت توانیر تهیه و ابلاغ شده‌اند. رویکرد پایش سلامت سازه در دستورالعمل‌های بخش توزیع نیز عمدتاً مبتنی بر بازدید چشمی بوده و از روش‌ها و رویکردهای نوین (SHM) استفاده نمی‌شود.

شایان ذکر است که در خصوص ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر زلزله، دانش فنی قابل توجهی در کشور وجود داشته و همچنین، دستورالعمل و راهنماهای مورد نیاز نیز تدوین شده‌اند. مع الوصف بجز تعدادی مورد محدود از نیروگاه‌ها، و پست‌های انتقال و شبکه‌های توزیع، این مهم در سازه‌های صنعت برق کشور تاکنون بصورت عملیاتی و گسترده اجرا نشده و در مرحله توسعه قرار دارد. موضوع ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر زلزله طی سندی در گروه سازه پژوهشگاه نیرو در دست بررسی و تدوین بوده و حتی‌الامکان از نتایج حاصل از آن در تدوین پروژه‌های اجرایی سند حاضر نیز استفاده خواهد گردید.

بر اساس مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که موضوع کلی پایش سلامت، ارزیابی وضعیت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق در کشور، بطور کلی در مرحله «توسعه» خود قرار داشته و بطور خاص، پایش سلامت با رویکردهای نوین (SHM)، در مرحله «پیش‌توسعه» قرار دارد.

لازم به ذکر است که طی اجرا و پیاده‌سازی اقدامات سند حاضر، با تحقق توسعه فعالیت‌های پایش سلامت و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق در سال‌های آتی، چالش‌ها و اقدامات متعاقب آنها نیز نیاز به بازنگری و بروزرسانی خواهند داشت که این مهم، در نوبت‌های بعدی بازنگری سند بررسی و لحاظ خواهد گردید.

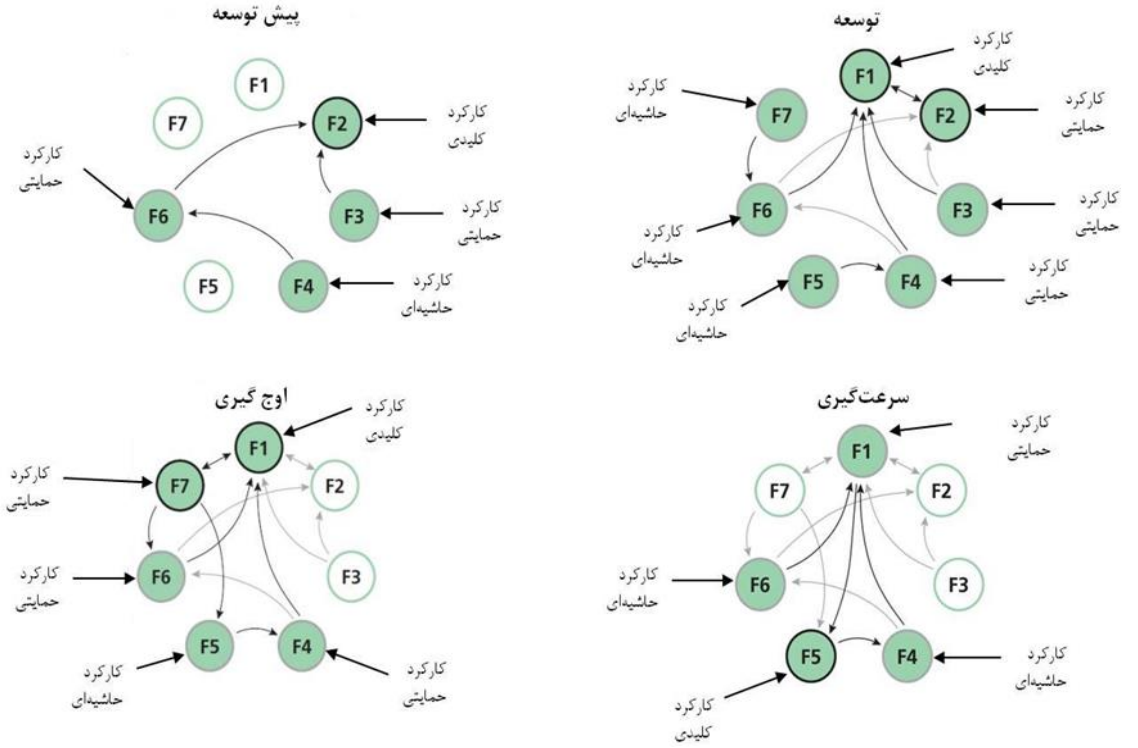
٤-٣-١-٢- شناسایی وضعیت مطلوب توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

فرایند نوآوری یک فرایند تکاملی است و همیشه در حال تغییر و تحول است و نمی‌توان یک سیستم بهینه برای فرایند نوآوری تعریف کرد، پس هدف نظام را باید در طول این فرایند تعریف کرد. هدف یک نظام نوآوری انتقال نظام مورد نظر از یک مرحله توسعه به مرحله بعدی است. البته باید توجه داشت که لزوما مرحله بعدی وضعیت بهینه نیست و فقط توسعه نظام نوآوری مد نظر است.

نکته اصلی در اینجا نحوه انتقال از یک مرحله به مرحله دیگر است. کارکردهای هر مرحله به سه دسته کارکرد کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای تقسیم می‌شود. تحقق کارکرد کلیدی به منزله انتقال به مرحله بعدی است. شکل ۴-۵ مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای مرتبط با هر مرحله را نشان می‌دهد. در شکل زیر کارکردهای نظام نوآوری فناورانه با F_1 تا F_7 نشان داده شده است که عبارتند از:

- فناوری های کار آفرینی (F_1)
- توسعه دانش (F_2)
- انتشار دانش (F_3)
- جهت دهی به سیستم (F_4)
- شکل دهی به بازار (F_5)

- تامین و تسهیل منابع (F_6)
- مقبولیت بخشی (F_7)



شکل ۵-۴- مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای

در بخش قبلی مشخص شد که نظام توسعه پایش سلامت و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق در کشور، بطور کلی در مرحله «توسعه» خود قرار دارد. بر اساس شکل فوق، زمانی که سیستم در مرحله توسعه قرار داشته باشد و هدف ما رسیدن به مرحله بعدی نظام توسعه فناوری باشد، هر ۷ کارکرد فوق باید محقق شوند. در بخش بعدی فرآیند تدوین سیاست‌ها و اقدامات، چالش‌های مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در این کارکردها شناسایی می‌شوند. در خصوص توسعه رویکردهای نوین و مدرن پایش سلامت سازه (SHM) در صنعت برق با توجه به مرحله توسعه آن (پیش‌توسعه)، چهار کارکرد توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم باید محقق شوند. در نتیجه برای توسعه رویکردهای نوین پایش سلامت و ارزیابی وضعیت سازه‌ها در صنعت برق کشور، کارکردهای مذکور به عنوان کارکردهای با اولویت شناخته شده و چالش‌های مربوطه شناسایی می‌شوند.

٤-٣-١-٣- شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و تدوین سیاست‌ها و اقدامات

در گام قبلی کارکردهای توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم به عنوان کارکردهای با اولویت شناسایی شدند. در این گام با استفاده از یک تحلیل ساختاری-کارکردی، چالش‌ها و موانع پیش روی

توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شده است. همان طور که پیشتر بیان شد این چالش‌ها از طریق مصاحبه با ۱۰ نفر از خبرگان و کارشناسان آشنا با این حوزه استخراج شده است. اسامی این افراد در ادامه ارائه شده است:

۱-جناب آقای دکتر علیپور (مدیر کل دفتر فنی انتقال توانیر-عضو کمیته راهبری)
۲-جناب آقای دکتر شاه‌حسینی (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر-عضو کمیته راهبری)
۳-جناب آقای دکتر کرمی (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی-عضو کمیته راهبری)
٤-جناب آقای دکتر حسنی (عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی پردیس شهید عباسپور-عضو کمیته راهبری)
٥-جناب آقای دکتر رحیم‌زاده (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)
٦-جناب آقای دکتر میرزا بزرگ (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی-مدیر کل سابق دفتر بهره‌برداری از سدهای کشور)
۷-جناب آقای مهندس آسایش (مدیر گروه تجهیزات دوار مکانیکی پژوهشگاه نیرو)
۸-جناب آقای دکتر اکبرنژاد (شرکت رسیس افزار)
۹-جناب آقای مهندس میزالو و همکاران (مجری طرح‌های نیروگاهی سازمان توسعه برق ایران)
۱۰- جناب آقای مهندس دوستی مهر (دفتر بهره برداری انتقال شرکت برق منطقه‌ای تهران)

همان‌طور که در نظرات متخصصان فوق‌الذکر مشخص است، چالش‌های فراوانی به منظور توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های مختلف خلق و توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم و تأمین منابع وجود دارد و لازمه توسعه این فناوری نگاه همه‌جانبه به این چالش‌ها و اتخاذ سیاست‌هایی مناسب جهت رفع این چالش‌ها است.

در بازنگری سند بر اساس بازخوردهای حاصل از اجرای سند تاکنون، مهمترین چالش‌هایی که پیش روی اجرای سند بوده و روند اجرا را با مشکلاتی مواجه ساخته استخراج شده و بر اساس تجربیات حاصله و تعامل با تعدادی از خبرگان و ذینفعان به شرح زیر، فهرست چالش‌ها از منظرهای مختلف بازنگری و در جدول ۱۴-۴ تا جدول ۲۰-۴ ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که در این گزارش بطور خاص به چالش‌های مرتبط با مبحث ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های صنعت برق در برابر خطر زلزله پرداخته نشده و این چالش‌ها و اقدامات متعاقب برای رفع آنها در مرجع [۷] بررسی و ارائه شده‌اند.

۱- جناب آقای رهنورد (پژوهشگاه نیرو-مجری سند)
۲- جناب آقای تبوزاده (برق حرارتی-تولید)
۳- جناب آقای علیرضاپور (توانیر-انتقال)
٤- جناب آقای برنگی (توانیر-توزیع)
٥- جناب آقای یاورطلب (پژوهشگاه نیرو-مشاور پژوهشکده توزیع)
٦- جناب آقای دکتر کرمی (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)
۷- جناب آقای دکتر بهار (عضو هیأت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله)

۸- جناب آقای دکتر غفوری آشتیانی (عضو هیأت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله)
۹- جناب آقای نمیرانیان (شرکت سامان نیرو پاد)
۱۰- جناب آقای ابوترابی (شرکت رسیس‌افزار)
۱۱- جناب آقای ابراهیمیان (شرکت تحقیق و توسعه ایرانیان-تتا)

جدول ۱۴-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد کارآفرینی

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
عدم وجود انگیزه کافی برای تأسیس شرکتهای مهندسی و دانش بنیان در حوزه های مرتبط با پایش سلامت و تعمیر و مقاومسازی در سازه های صنعت برق	عدم وجود قوانین جهت للزام بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق بصورت یک محصول خدماتی (بدلیل نیاز به حفظ سازه‌های صنعت برق به عنوان دارایی‌های ملی و ماهیت حاکمیتی آن، الزام باید از سوی دولت ایجاد شود)		

جدول ۱۵-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد خلق و توسعه دانش

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
ناکافی بودن تحقیقات کاربردی صورت گرفته در حوزه های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (SHM) در کشور (بخصوص در بخش‌های تولید و انتقال صنعت برق)		عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	عدم وجود پایگاه اطلاعاتی جامع از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها برای عموم محققین، مسئولین و سیاست‌گذاران
عدم آشنایی کافی دانشجویان و اساتید دانشگاه‌ها با موضوعات تحقیقاتی مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق (بدلیل عدم وجود این		مکانیزم ناکارآمد تبادل دانش مرتبط با پایش سلامت سازه بین صنعت برق با صنایع دیگر	عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد (شبکه متخصصین) فعال در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در صنعت برق)

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
مباحث در برنامه‌های درسی)			
تعداد اندک شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها		ضعف ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر در حوزه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق	
نیاز به انجام تحقیقات در زمینه شناسایی و تعیین مشخصات کمّی مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه‌ها (مانند توفانهای شن و غبار، یخ جوی، فرونشست زمین و ...)		عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر در بهره‌گیری از دانش تولید شده نگهداری و پایش سلامت سازه در دانشگاه‌های دنیا	زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران
		ضعف ارتباط بین رشته‌ای در پایش سلامت سازه‌ها (عمران, برق و مکانیک)	عدم وجود آزمایشگاه تحقیقاتی درحوزه پایش پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
		شکاف بین ایران و کشورهای پیشرو در دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه	

جدول ۱۶-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد انتشار دانش

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
		ارتباط ضعیف در تبادل دانش بین بازیگران (دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنعت) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	عدم وجود سمینار، کنفرانس و مجلات تخصصی در زمینه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
			عدم وجود نظام مدیریت دانش در حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

جدول ۱۷-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد جهت‌دهی به سیستم

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
اعتقاد به عدم وجود آسیب‌ها و مشکلات سازه‌ای، در مدیران و مالکان صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) و در نتیجه، عدم احساس نیاز به پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها	عدم وجود قوانین جهت الزام بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق بصورت یک محصول خدماتی		
نبود مرجعی که بصورت تخصصی به پیگیری و شناسایی مشکلات سازه‌های موجود، ارائه راهکار، تصمیم‌گیری و اقدام برای رفع آنها بپردازد. (بطور خاص در بخش تولید)			
عدم آشنایی مدیران و مالکان صنعت برق با مزایای پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در بخش تولید)			
توجه بازیگران صنعت برق به حل مسائل روزمره به جای سرمایه‌گذاری برای آینده (به علت کمبود بودجه)	عدم وجود دستورالعمل برای نگهداری و پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق و عملیاتی نشدن (یا اثربخشی ناکافی) دستورالعمل‌های مرتبط در بخش‌های انتقال و توزیع بطور مؤثر		
عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از وقوع خرابی در آینده (در حوزه سازه‌ها)			

جدول ۱۸-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد تامین منابع

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
عدم شفافیت منافع اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق (کاهش خسارات سازه‌ها در آینده به ازای صرف هزینه اولیه در حال) برای ذینفعان و عدم لمس و تحقق این منافع در کوتاه مدت	کمبود قوانین حمایتی برای بخش خصوصی برای ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق		عدم تمایل در مدیران و مالکان صنعت برق به سرمایه‌گذاری در حوزه‌های مرتبط با توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به عنوان یک محصول خدماتی (بخصوص در بخش تولید)
عدم تأثیر مستقیم و قابل لمس پیاده‌سازی خدمات نگهداری و پایش			عدم وجود یا دسترسی به سوابق و اطلاعات آماری از

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
سلامت سازه‌های صنعت برق در فرآیند روزمره تولید و عرضه برق (در کوتاه مدت)			وقوع آسیب و خرابی در سازه‌های صنعت برق و خسارات جانی و مالی ناشی از آنها
عدم تربیت نیروی انسانی آشنا به سازه‌های خاص (در صنعت برق) در دانشگاه‌ها و کمبود متخصص سازه و عمران درحوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)			مشکل در تامین (خرید یا ساخت) تجهیزات مورد نیاز در پایش سلامت سازه‌ها
عدم اهتمام دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها			عدم تولید نرم‌افزارهای تخصصی مربوط به پایش سلامت سازه‌ها درکشور
ضعف در دانش بکارگیری و استفاده از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به پایش سلامت سازه‌ها			

جدول ۱۹-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد شکل‌دهی به بازار

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
عدم احساس نیاز در مدیران و مالکان صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) به توسعه فعالیتهای پایش سلامت، تعمیرات و مقاومسازی سازه ها در صنعت برق	عدم وجود قوانین جهت الزام بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت *برق* بصورت یک محصول خدماتی		عدم وجود یا تخصیص منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای پایش سلامت، تعمیرات و مقاومسازی سازه ها در صنعت برق

جدول ۲۰-۴- بازنگری چالش‌ها و موانع توسعه و پیاده‌سازی پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کارکرد مقبولیت بخشی

بازیگران	قوانین و مقررات و استانداردها	تعاملات	زیرساخت‌ها
در نظر نگرفتن پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه ها در ذهن مدیران به‌صورت یک موضوع استراتژیک و درنتیجه عدم		عدم انجام رایزنی‌های لازم با ذینفعان این حوزه در جهت تأمین منابع و زیرساخت‌های توسعه	

شکل‌گیری ذهنیت و مشروعیت کافی در لزوم توسعه دانش و فناوری‌های مربوطه			

٤-٣-٢- فرایند تدوین اقدامات فنی

فرایند تدوین و به‌روزرسانی اقدامات فنی به این صورت است که بر اساس راهبردهای بازنگری شده در مرحله‌ی سوم پروژه و با توجه به تاسیسات اصلی و سازه‌هایی که که بکارگیری پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌ها در آنها دارای اولویت شناخته شده است، و همچنین بر اساس بازخوردها و تعاملات صورت گرفته با ذینفعان سند (بخصوص شرکت‌های مادرتخصصی توانیر و برق حرارتی) و درک بهتر از نیازها و اولویت‌های آنها، اقدامات فنی مورد نیاز در دو سطح ملی و پژوهشگاه نیرو تدوین می‌گردد.

٤-٤-اقدامات کلان مورد نیاز در سطح ملی برای توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان طور که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است، سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی مورد نیاز بر اساس فهرست چالش‌ها و موانع شناسایی شده در مرحله قبلی پیشنهاد می‌شود. این سیاست‌ها و اقدامات همان طور که پیش از این اشاره شد بر اساس چالش‌ها و موانع شناخته شده در کارکردهای نظام نوآوری فناورانه پیشنهاد می‌شوند. در ادامه، با توجه به اینکه برخی از سیاست‌های توسعه فناوری بسیار کلی می‌باشند، برخی از آن‌ها به اقدامات لازم در جهت نیل به این سیاست‌های کلی تبدیل شده‌اند که در ادامه این اقدامات و سیاست‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بعلاوه، اقدامات فنّی اقداماتی هستند که ذیل دو دسته چالش‌های مختص فناوری در کارکرد توسعه دانش یعنی «انتقال فناوری» و «توسعه درون‌زا» تعریف شده و بنابراین از راهبردهای تهیه شده در فاز ۳ ورودی می‌گیرند. در ادامه فهرست این اقدامات نیز ارائه شده است.

٤-٤-١- سیاست‌ها و اقدامات غیرفنّی

جهت تدوین اقدامات غیرفنی همان‌طور که اشاره شد، کلیه موانع و چالش‌های مورد نظر خبرگان و متخصصان استخراج شده و پس از پالایش و حذف موارد تکراری، فهرست نهایی چالش‌ها تهیه شد. در ادامه چالش‌های شناسایی شده و سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز جهت رفع این چالش‌ها در جدول ۲۱-۴ تا جدول ۲۳-۴ آمده است.

جدول ۲۱-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش

چالش‌ها	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
ناکافی بودن تحقیقات کاربردی صورت گرفته در حوزه های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص با رویکرد SHM) در کشور (بخصوص در بخش‌های تولید و انتقال صنعت برق)	• حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

چالش‌ها	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
نیاز به انجام تحقیقات در زمینه شناسایی و تعیین مشخصات کمّی مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه‌ها (مانند توفانهای شن و غبار، یخ جوی، فرونشست زمین و ...)	• تعریف پروژه‌های تحقیقات کاربردی مشترک میان صنعت برق و دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعال در حوزه‌های مورد نیاز • حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز
تعداد اندک شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم آشنایی کافی دانشجویان و اساتید دانشگاه‌ها با موضوعات تحقیقاتی مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق (بدلیل عدم وجود این مباحث در برنامه‌های درسی)	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت معرفی موضوعات تحقیقاتی مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی
عدم وجود سمینار، کنفرانس و مجلات تخصصی در زمینه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	• استفاده کارآمد از ظرفیت‌های موجود (مشارکت در سمینار، کنفرانس، همایش، انجمن، مجلات و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط • برگزاری سمینار، کنفرانس و همایش‌های ملی و بین المللی
عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر در بهره‌گیری از دانش تولید شده نگهداری و پایش سلامت سازه در دانشگاه‌های دنیا	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت تسهیل بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان (حضور و مشارکت در کنفرانس‌های بین‌المللی، انجام فعالیت‌های مشترک تحقیقاتی، اخذ مشاوره علمی و فنی، اعزام متخصصان به مراکز علمی و تحقیقاتی و صنعتی، برگزاری دوره‌های آموزشی)
شکاف بین ایران و کشورهای پیشرو در دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه	
ضعف ارتباط بین رشته‌ای در پایش سلامت سازه‌ها (عمران، برق و مکانیک)	ارائه دوره‌های آموزشی میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها
عدم وجود آزمایشگاه تحقیقاتی درحوزه پایش پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه
ضعف ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر در حوزه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق	• استفاده از ظرفیت‌های موجود مدیریت دانش جهت بهره‌گیری از دانش نگهداری و پایش سلامت سازه در سایر صنایع • تهیه بانک اطلاعاتی محققین (شبکه متخصصین در دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنایع) و سامانه‌های موجود مدیریت دانش جهت ثبت دستاوردهای دانشی (علمی و فنی) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها
مکانیزم ناکارآمد تبادل دانش مرتبط با پایش سلامت سازه بین صنعت برق با صنایع دیگر	
عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد (شبکه متخصصین) فعال در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در صنعت برق)	
زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران	

چالش‌ها	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم وجود پایگاه اطلاعاتی جامع از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها برای عموم محققین، مسئولین و سیاست‌گذاران	• برگزاری سمینار، کنفرانس و همایش‌های ملی و بین المللی
ارتباط ضعیف در تبادل دانش بین بازیگران (دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنعت) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم وجود نظام مدیریت دانش در حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	

جدول ۲۲-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد کارآفرینی، جهت‌دهی به سیستم و شکل‌دهی به بازار

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
نبود مرجعی که بصورت تخصصی به پیگیری و شناسایی مشکلات سازه‌های موجود، ارائه راهکار، تصمیم‌گیری و اقدام برای رفع آنها بپردازد. (بطور خاص در بخش تولید)	تشکیل واحدی (ترجیحاً بصورت مرکز) جهت نظارت بر فعالیت‌ها، رفع مشکلات، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه های صنعت برق
عدم وجود قوانین جهت الزام بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق بصورت یک محصول خدماتی (بدلیل نیاز به حفظ سازه‌های صنعت برق به عنوان دارایی‌های ملی و ماهیت حاکمیتی آن، الزام باید از سوی دولت ایجاد شود)	• تدوین و ابلاغ قوانین جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • تدوین سازوکار و نظام تشخیص صلاحیت شرکت‌ها جهت ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به بخش‌های مختلف صنعت برق
عدم وجود دستورالعمل برای نگهداری و پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق و عملیاتی نشدن (یا اثربخشی ناکافی) دستورالعمل‌های مرتبط در بخش‌های انتقال و توزیع بطور مؤثر	تدوین و ابلاغ دستورالعمل‌های مورد نیاز جهت انجام نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نظارت بر حسن اجرای آنها **
عدم آشنایی مدیران و مالکان صنعت برق با مزایای پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در بخش تولید)	• شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق و میزان خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها
عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از وقوع خرابی در آینده (در حوزه سازه‌ها)	

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
توجه ذینفعان صنعت برق به حل مسائل روزمره به جای سرمایه‌گذاری برای آینده (نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها نیز چون اثر مستقیم بر تولید و عرضه روزمره برق نداشته و در دراز مدت اثر خود را نشان می‌دهد لذا در اولویت توجه ذینفعان قرار ندارد)	• آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه درصنعت برق از طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی • رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق • تشکیل کارگروه‌های تخصصی مرتبط با سازه‌های صنعت برق در شرکت‌های مادرتخصصی و تابعه صنعت برق
اعتقاد به عدم وجود آسیب‌ها و مشکلات سازه‌ای، در مدیران و مالکان صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) و در نتیجه، عدم احساس نیاز به توسعه و پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها	اخذ اطلاعات مربوط به سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر
عدم وجود انگیزه کافی برای تأسیس یا ورود شرکتهای مهندسی و دانش بنیان در حوزه های مرتبط با پایش سلامت و تعمیر و مقاومسازی در سازه های صنعت برق	حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و مهندسی جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز و تخصیص اعتبارات لازم

** این اقدام، در داخل اقدامات فنی لحاظ خواهد شد.

جدول ۲۳-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد مقبولیت بخشی و تامین منابع

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم تمایل در مدیران و مالکان صنعت برق به سرمایه‌گذاری در حوزه‌های مرتبط با توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به عنوان یک محصول خدماتی (بخصوص در بخش تولید)	• شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق و خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها • طراحی مدل‌های مناسب کسب و کار با هدف ترغیب ذینفعان در بخش‌های دولتی و خصوصی برای مشارکت در تأمین منابع مالی پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق
عدم شفافیت منافع اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق (کاهش خسارات سازه‌ها در آینده به ازای صرف هزینه اولیه در حال) برای ذینفعان و عدم لمس و تحقق این منافع در کوتاه مدت	
عدم تأثیر مستقیم و قابل لمس پیاده‌سازی خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در فرآیند روزمره تولید و عرضه برق (در کوتاه مدت)	
در نظر نگرفتن پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه ها در ذهن مدیران به‌صورت یک موضوع استراتژیک و درنتیجه عدم	

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
شکل‌گیری ذهنیت و مشروعیت کافی در لزوم توسعه دانش و فناوری‌های مربوطه	
عدم انجام رایزنی‌های لازم با ذینفعان این حوزه در جهت تأمین منابع و زیرساخت‌های توسعه	• رایزنی با سیاستگذاران به ویژه مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی اجرای پروژه های پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه ها و تخصیص منابع مورد نیاز • رایزنی با ذینفعان جهت تخصیص منابع مورد نیاز • برگزاری همایش‌های ترویجی، انتشار مقالات و بولتن‌های خبری، انجام مصاحبه‌های ترویجی جهت آگاه‌سازی، تبیین و ترویج منافع توسعه فناوری‌های ارزیابی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی در راستای شکل‌دهی مشروعیت توسعه فناوری
عدم تربیت نیروی انسانی آشنا به سازه‌های خاص (در صنعت برق) در دانشگاه‌ها و کمبود متخصص سازه و عمران درحوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)	برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق
عدم اهتمام دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	ارائه دوره‌های آموزشی و مشارکت در ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها
عدم تولید نرم‌افزارهای تخصصی مربوط به پایش سلامت سازه‌ها درکشور	حمایت از تهیه نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
عدم وجود یا دسترسی به سوابق و اطلاعات آماری از وقوع آسیب و خرابی در سازه‌های صنعت برق و خسارات جانی و مالی ناشی از آنها	تهیه بانک اطلاعاتی سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر
ضعف در دانش بکارگیری و استفاده از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به پایش سلامت سازه‌ها	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)
کمبود قوانین حمایتی برای بخش خصوصی برای ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	تدوین و ابلاغ قوانین حمایتی و مشوق برای ورود بخش خصوصی به ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

٤-٤-٢- اقدامات فنی

همان‌طور که اشاره شد، در این بخش اقدامات فنی مورد نیاز با توجه به راهبرد نهایی و بازنگری شده در مرحله سوم، به شرح زیر ارائه شده‌اند.

۱- طراحی چهارچوب[1] کلی سامانه پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های صنعت برق با هدف یکسان‌سازی ساختار و ایجاد وحدت رویه با فرآیند کلی نگهداری و تعمیرات در صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع)
۲- اولویت‌بندی تأسیسات صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) و سازه‌های آنها در سطح کشور برای پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها بر اساس روش‌های نوین علمی
۳- اکتساب و توسعه دانش فنی پایش سلامت (شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها)، ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده در سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) در برابر مخاطرات محیطی طبیعی (زلزله، فرونشست زمین، مسائل جوی و ...) و انسانی (سرقت، تصادفات، آتش‌سوزی، خرابکاری و ...)
٤- ارائه راهکارهای مقاومسازی و تعمیر در سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) و اکتساب دانش فنی مورد نیاز، در راستای بهبود عملکرد و افزایش عمر مفید آنها
٥- اکتساب دانش فنی مدیریت نگهداری و ابزارهای تصمیم‌یار[2] در خصوص انتخاب رویکردهای بهینه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) با کمترین هزینه و بیشترین منافع در دوره عمر آنها؛ مبتنی بر رویکردهای علمی نوین در نگهداری و تعمیرات
٦- تدوین یا بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
۷- پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها در تعداد مشخصی از تأسیسات صنعت برق در سطح کشور (۳۵ واحد نیروگاهی، ۱۰ درصد شبکه انتقال و فوق‌توزیع کشور در شرکت‌های برق منطقه‌ای و ۱۰ درصد شبکه توزیع در شرکت‌های توزیع برق) به ترتیب اولویت

٤-٥-اقدامات مورد نیاز در سطح پژوهشگاه نیرو برای توسعه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

اقدامات مورد نظر در این بخش، فعالیت‌های لازمی هستند که با درنظرگیری ملاحظه نقش و جایگاه پژوهشگاه نیرو و نیز همراستا با راهبردهای اتخاذ شده در ارکان جهت‌ساز، مسیرهای دستیابی به اهداف را مشخص می‌کنند. در این فاز، متناسب با چشم‌انداز و اهداف پژوهشگاه نیرو و همچنین نوع راهبردهای اتخاذ شده در رابطه با اولویت‌بندی‌های تعیین شده، اقداماتی تدوین می‌گردند. با توجه به اینکه نقش پژوهشگاه نیرو در توسعه فناوری در قالب سه بعد دولتی، پژوهشی و کارآفرینی تعریف شده است، قاعدتاً اقدامات توسعه فناوری نیز در این سه بعد تعریف خواهد گردید. به عبارت دیگر، ما به ازای هر یک از نقوش تعریف شده، اقداماتی

[1] - Framework
[2] - Decision Support Tools

تعریف می‌گردد که در راستای مأموریت پژوهشگاه نیرو باشد. اقدامات مورد نظر در این سطح، در سه دسته به شرح زیر قابل ارائه هستند: [۱۳]

- اقدامات سیاستی-حمایتی: این اقدامات، اقداماتی هستند که ناشی از بعد ملی-دولتی بودن پژوهشگاه نیرو حاصل می‌گردد. اقداماتی از قبیل سیاست‌پژوهی و رفع نیازهای سیاستگذار در توسعه فناوری، رصد و پایش فناوری در سطح ملی، ظرفیت‌سازی توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان از قبیل احداث مراکز رشد، فرهنگسازی و ترویج و ... اقداماتی از این دست هستند.
- اقدامات فنی-پژوهشی: این اقدامات، ناشی از بعد پژوهشی بودن پژوهشگاه نیرو است. انجام برخی پژوهش‌های سطح ملی، تحقیقات بنیادین، کاربردی و پژوهش پیرامون فناوری‌های نوظهوری که به دلیل ریسک بالا، هیچ دانشگاه و یا بخش خصوصی نمی‌تواند به آنها ورود کند، در این بخش گنجانده می‌شود.
- اقدامات صنعتی-بازار: این اقدامات شامل برخی اقدامات کارآفرینانه، از قبیل ورود به بازار برخی فناوری‌های های‌تک، ایجاد برخی از شرکت‌های دانش‌بنیان زایشی، انجام برخی همکاری‌های فناورانه با صنعت مانند کنسرسیوم، اعطای لیسانس برخی از نوآوری‌های صورت پذیرفته در پژوهشگاه نیرو به صنعت، احداث برخی از آزمایشگاه‌های مرجع و ... می‌شود.

٤-٥-١- اقدامات غیرفنّی

اقدامات غیرفنی شامل دسته اقدامات سیاستی-حمایتی و صنعتی-بازار هستند که بر حسب نیاز و در راستای پاسخ به چالش‌های این حوزه که در بخش‌های قبل ارائه شدند، تدوین می‌شوند. اقدامات سیاستی-حمایتی، اقداماتی هستند که ناشی از بعد ملی-دولتی بودن پژوهشگاه نیرو حاصل می‌گردد. این اقدامات مشتمل بر یک گزینه اصلی است که برای دستیابی به اهداف تعیین شده انتخاب شده است. این اقدامات با تکیه بر نظر جمعی و به‌منظور محقق نمودن اهدافی است که نیازمند مداخله مستقیم پژوهشگاه نیرو در حوزه سیاست‌پژوهی و یا حمایتی از جنس مالی یا زیرساختی است. میبایست این اقدامات در راستای برخی از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه موردنظر باشد که بر عهده پژوهشگاه نیرو است. اقداماتی از قبیل سیاست‌پژوهی و رفع نیازهای سیاستگذار در توسعه فناوری، تدوین دستورالعمل و بخشنامه‌ها، تعیین جهتگیری‌های اصلی حوزه، رصد و پایش فناوری در سطح ملی، ظرفیت‌سازی توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان از قبیل احداث مراکز رشد، فرهنگسازی و ترویج، ایجاد زیرساخت‌هایی از قبیل آزمایشگاه و مراکز تست، اقداماتی از این دست هستند. لازم به ذکر است که ارائه این نوع از اقدامات نیز میبایست با توجه به فاز توسعه نظام نوآوری فناورانه انتخاب شود. اقدامات صنعتی-بازار نیز شامل برخی اقدامات کارآفرینانه، از قبیل شکل‌دهی به بازار برخی فناوری‌های سطح بالا، ایجاد برخی از شرکت‌های دانش‌بنیان زایشی، انجام برخی همکاری‌های فناورانه با صنعت مانند کنسرسیوم، اعطای لیسانس برخی از نوآوری‌های صورت پذیرفته در پژوهشگاه نیرو به صنعت، احداث برخی از آزمایشگاه‌های مرجع و ... می‌شود. [۱۳]

در ادامه این بخش، اقدامات غیرفنی در سطح پژوهشگاه نیرو برای پاسخ به چالش‌های موجود در هریک از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه تدوین و در جدول ۲۴-۴ الی جدول ۲۶-۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۲۴-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش

چالش‌ها	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
ناکافی بودن تحقیقات کاربردی صورت گرفته در حوزه های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص با رویکرد SHM) در کشور (بخصوص در بخش‌های تولید و انتقال صنعت برق)	• تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق • مشارکت در تعریف و انجام پروژه‌های تحقیقات کاربردی مشترک میان صنعت برق و دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعال در حوزه‌های مورد نیاز • حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان (مشارکت یا پوشش ریسک) جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز
نیاز به انجام تحقیقات در زمینه شناسایی و تعیین مشخصات کمّی مخاطرات محیطی مؤثر بر سازه‌ها (مانند توفانهای شن و غبار، یخ جوی، فرونشست زمین و ...)	
تعداد اندک شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم آشنایی کافی دانشجویان و اساتید دانشگاه‌ها با موضوعات تحقیقاتی مرتبط با پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق (بدلیل عدم وجود این مباحث در برنامه‌های درسی)	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت معرفی موضوعات تحقیقاتی مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی
عدم وجود سمینار، کنفرانس و مجلات تخصصی در زمینه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	• استفاده کارآمد از ظرفیت‌های موجود (مشارکت در سمینار، کنفرانس، همایش، انجمن، مجلات و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط • برگزاری جلسات هم‌اندیشی
عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر در بهره‌گیری از دانش تولید شده نگهداری و پایش سلامت سازه در دانشگاه‌های دنیا	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت تسهیل بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان (حضور و مشارکت در کنفرانس‌های بین‌المللی، انجام فعالیت‌های مشترک تحقیقاتی، اخذ مشاوره علمی و فنی، اعزام متخصصان به مراکز علمی و تحقیقاتی و صنعتی، برگزاری دوره‌های آموزشی)
شکاف بین ایران و کشورهای پیشرو در دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه	
ضعف ارتباط بین رشته‌ای در پایش سلامت سازه‌ها (عمران، برق و مکانیک)	مشارکت در ارائه دوره‌های آموزشی میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها
عدم وجود آزمایشگاه تحقیقاتی درحوزه پایش پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه
ضعف ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر در حوزه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق	• استفاده از ظرفیت‌های موجود مدیریت دانش جهت بهره‌گیری از دانش نگهداری و پایش سلامت سازه در سایر صنایع
مکانیزم ناکارآمد تبادل دانش مرتبط با پایش سلامت سازه بین صنعت برق با صنایع دیگر	

چالش‌ها	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد (شبکه متخصصین) فعال در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در صنعت برق)	• مشارکت در تکمیل بانک اطلاعاتی محققین (شبکه متخصصین در دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنایع) و سامانه‌های موجود مدیریت دانش جهت ثبت دستاوردهای دانشی (علمی و فنی) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها • برگزاری جلسات هم‌اندیشی
زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران	
عدم وجود پایگاه اطلاعاتی جامع از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها برای عموم محققین، مسئولین و سیاست‌گذاران	
ارتباط ضعیف در تبادل دانش بین بازیگران (دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنعت) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم وجود مکانیزم ارتباطی مؤثر جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	
عدم وجود نظام مدیریت دانش در حوزه‌های مرتبط با نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	

جدول ۲۵-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد کارآفرینی، جهت‌دهی به سیستم و شکل‌دهی به بازار

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
نبود مرجعی که بصورت تخصصی به پیگیری و شناسایی مشکلات سازه‌های موجود، ارائه راهکار، تصمیم‌گیری و اقدام برای رفع آنها بپردازد. (بطور خاص در بخش تولید)	تشکیل واحدی* (ترجیحاً بصورت مرکز) جهت نظارت بر فعالیت‌ها، رفع مشکلات، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات سند در راستای تحقق اهداف و کاربردی شدن نتایج پروژه‌ها در صنعت برق و تخصیص منابع مدیریتی و نظارتی مورد نیاز برای انجام فعالیتهای آن
عدم وجود قوانین جهت الزام بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق بصورت یک محصول خدماتی (بدلیل نیاز به حفظ سازه‌های صنعت برق به عنوان دارایی‌های ملی و ماهیت حاکمیتی آن، الزام باید از سوی دولت ایجاد شود)	• تدوین قوانین پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ • تدوین و ارائه پیشنهاد سازوکار و نظام تشخیص صلاحیت شرکت‌ها جهت ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به بخش‌های مختلف صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت تصویب و پیاده‌سازی

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم وجود دستورالعمل برای نگهداری و پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق و عملیاتی نشدن (یا اثربخشی ناکافی) دستورالعمل‌های مرتبط در بخش‌های انتقال و توزیع بطور مؤثر	تدوین (یا مشارکت در تدوین) دستورالعمل‌های مورد نیاز جهت انجام پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ و نظارت بر حسن اجرای آنها **
عدم آشنایی مدیران و مالکان صنعت برق با مزایای پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص در بخش تولید)	• شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری، پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌ها در صنعت برق و میزان خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها
عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از وقوع خرابی در آینده (در حوزه سازه‌ها)	• آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه درصنعت برق از طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی
توجه ذینفعان صنعت برق به حل مسائل روزمره به جای سرمایه‌گذاری برای آینده (نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها نیز چون اثر مستقیم بر تولید و عرضه روزمره برق نداشته و در دراز مدت اثر خود را نشان می‌دهد لذا در اولویت توجه ذینفعان قرار ندارد)	• رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق • عضویت و شرکت فعال در کارگروه‌های تخصصی مرتبط با سازه‌های صنعت برق در شرکت‌های مادرتخصصی و تابعه صنعت برق
اعتقاد به عدم وجود آسیب‌ها و مشکلات سازه‌ای، در مدیران و مالکان صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) و در نتیجه، عدم احساس نیاز به توسعه و پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌ها	اخذ اطلاعات مربوط به سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر
عدم وجود انگیزه کافی برای تأسیس یا ورود شرکت‌های مهندسی و دانش بنیان در حوزه‌های مرتبط با پایش سلامت و تعمیر و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق	• حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و مهندسی جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز (مشارکت یا پوشش ریسک) • تجاری‌سازی محصولات و خدمات توسعه یافته در طرح پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به صنعت

* در حال حاضر این وظیفه بر عهده طرح پایش سلامت سازه‌های صنعت برق قرار دارد.

** این اقدام، در داخل پروژه‌های فنی لحاظ خواهد شد.

جدول ۲۶-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی رفع چالش‌های کارکرد مقبولیت بخشی و تامین منابع

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم تمایل در مدیران و مالکان صنعت برق به سرمایه‌گذاری در حوزه‌های مرتبط با توسعه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به عنوان یک محصول خدماتی (بخصوص در بخش تولید) عدم شفافیت منافع اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق (کاهش خسارات سازه‌ها در آینده به ازای صرف هزینه اولیه در حال) برای ذینفعان و عدم لمس و تحقق این منافع در کوتاه مدت عدم تأثیر مستقیم و قابل لمس پیاده‌سازی خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در فرآیند روزمره تولید و عرضه برق (در کوتاه مدت) در نظر نگرفتن پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه ها در ذهن مدیران به‌صورت یک موضوع استراتژیک و درنتیجه عدم شکل‌گیری ذهنیت و مشروعیت کافی در لزوم توسعه دانش و فناوری‌های مربوطه	• شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق و خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها • مشارکت در طراحی مدل‌های مناسب کسب و کار با هدف ترغیب ذینفعان در بخش‌های دولتی و خصوصی برای مشارکت در تأمین منابع مالی پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق
عدم انجام تعاملات و رایزنی‌های لازم با ذینفعان این حوزه در جهت تأمین منابع و زیرساخت‌های توسعه	• رایزنی با سیاستگذاران به ویژه مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی اجرای پروژه‌ای پایش سلامت و مقاوم‌سازی ساز ها و تخصیص منابع مورد نیاز از محل درصدی از درآمد و اعتبارات شرکتهای برق • رایزنی با ذی‌نفعان (بخصوص شرکتهای مادرتخصصی) جهت تخصیص منابع مورد نیاز • رایزنی با صنایع مرتبط (عمدتاً بخش‌های خصوصی) و جلب مشارکت آنها در تأمین منابع مورد نیاز توسعه پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق • برگزاری همایش‌های ترویجی، انتشار مقالات و بولتن‌های خبری، انجام مصاحبه‌های ترویجی جهت آگاه‌سازی، تبیین و ترویج منافع توسعه فناوری‌های ارزیابی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی در راستای شکل‌دهی مشروعیت توسعه فناوری
عدم تربیت نیروی انسانی آشنا به سازه‌های خاص (در صنعت برق) در دانشگاه‌ها و کمبود متخصص سازه و عمران درحوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)	مشارکت در برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق

چالش	سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی
عدم اهتمام دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	مشارکت در ارائه دوره‌های آموزشی و مشارکت در ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها
عدم تولید نرم‌افزارهای تخصصی مربوط به پایش سلامت سازه‌ها درکشور	مشارکت در تهیه نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
عدم وجود یا دسترسی به سوابق و اطلاعات آماری از وقوع آسیب و خرابی در سازه‌های صنعت برق و خسارات جانی و مالی ناشی از آنها	مشارکت در تکمیل بانک اطلاعاتی سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر
ضعف در دانش بکارگیری و استفاده از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به پایش سلامت سازه‌ها	مشارکت در برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)
کمبود قوانین حمایتی برای بخش خصوصی برای ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	تدوین قوانین پیشنهادی حمایتی و مشوق برای ورود بخش خصوصی به ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ

٤-٥-٢- اقدامات فنی-پژوهشی

این اقدامات، ناشی از بعد پژوهشی بودن پژوهشگاه نیرو است. انجام برخی پژوهش‌های سطح ملی، تحقیقات بنیادین، کاربردی و پژوهش پیرامون فناوری‌های بسیار نوظهوری که به دلیل ریسک بالا، هیچ دانشگاه و یا بخش خصوصی نمی‌تواند به آنها ورود کند، و همچنین تعریف و واگذاری پروژه‌های فنی مورد نیاز توسعه حوزه مورد نظر به سایر محققین در کشور، در این بخش گنجانده می‌شود. معمولاً موضوعاتی از قبیل مطالعات دقیق فناوری جهت تسلط به دانش فنی، طراحی مفهومی، طراحی پایه، طراحی جزئی، مطالعات امکانسنجی فنی، پژوهش در مورد ابعاد و اجزای یک فناوری محصول یا فرایند، ساخت پایلوت‌های فناورانه، پژوهش‌های مرتبط با بهبود عملکرد و سایز و راندمان محصولی فناورانه، بکارگیری یک فناوری در محیط یا محصولی جدید و یا در ابعادی جدید و ... از این جنس اقدامات فنی-پژوهشی خواهند بود. [۱۳]

همان‌طور که اشاره شد، در این بخش اقدامات فنی مورد نیاز در ارتباط با سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق با توجه به مأموریت و راهبرد تدوین شده در سطح پژوهشگاه در مرحله سوم، به شرح زیر ارائه شده‌اند:

۱- طراحی چهارچوب کلی سامانه پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های صنعت برق با هدف یکسان‌سازی ساختار و ایجاد وحدت رویه با فرآیند کلی نگهداری و تعمیرات در صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع)

۲- اولویت‌بندی تأسیسات صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) و سازه‌های آنها در سطح کشور برای پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها بر اساس روش‌های نوین علمی
۳- اکتساب و توسعه دانش فنی پایش سلامت (شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها)، ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده در سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) در برابر مخاطرات محیطی طبیعی و انسانی
٤- ارائه راهکارهای مقاومسازی و تعمیر در سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) و اکتساب دانش فنی مورد نیاز، در راستای بهبود عملکرد و افزایش عمر مفید آنها
٥- اکتساب دانش فنی مدیریت نگهداری و ابزارهای تصمیم‌یار در خصوص انتخاب رویکردهای بهینه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) با کمترین هزینه و بیشترین منافع در دوره عمر آنها؛ مبتنی بر رویکردهای علمی نوین در نگهداری و تعمیرات
٦- (مشارکت در) تدوین و بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق
۷- پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های پایلوت صنعتی
۸- رایزنی با ذینفعان برای پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌ها در تعداد مشخصی از تأسیسات اولویت‌دار صنعت برق در سطح کشور (طبق اقدامات سطح ملی) و نظارت بر اجرای آن

اقدامات فوق از طریق تعریف پروژه‌های فنی و اجرای آنها در پژوهشگاه نیرو (بصورت داخلی یا برون‌سپاری) انجام خواهد شد.

شایان ذکر است که بخش‌هایی از دانش فنی پایش سلامت در برخی از سازه‌ها مشترک و مشابه می‌باشند. به عبارت دیگر بخش‌هایی از دانش فنی و نرم‌افزارهای تدوین شده برای پایش سلامت یک سازه، در برخی از سازه‌های دیگر نیز قابل استفاده بوده و نیازی به تولید مجدد آنها نیست. بر این اساس، در اختصاص زمان و بودجه برای پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی که در مرحله پنجم ارائه شده است، تأثیر وجود بخش‌های مشترک دانش فنی میان سازه‌های مورد نظر، تا حد امکان باید لحاظ گردد.

همچنین "طرح توسعه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق" باید در تدوین شرح خدمات پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی هنگام اجرای طرح، بخش‌های مشترک دانش فنی در سازه‌های مختلف و همچنین، فعالیت‌های مشترک در سایر اسناد توسعه فناوری را مشخص نموده و مورد نظر قرار دهد تا از تعریف شرح خدمات مشترک و انجام فعالیت‌های تکراری و غیرضروری در پروژه‌ها جلوگیری گردد.

٤-٦-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش، اقدامات کلان غیرفنی (مدیریتی) و فنی مورد نیاز برای تحقق چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای سند توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق با استفاده از رویکردها و فناوری‌های نوین، طراحی و ارائه شده‌اند. در ابتدای گزارش، مبانی نظری و ادبیات فنی مربوط به تدوین اقدامات و سیاست‌ها شامل کارکردها و ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه (TIS) ارائه گردید. سپس، فرآیند چهار مرحله‌ای تدوین اقدامات کلان توضیح داده شد. در مرحله اول این فرآیند، وضعیت موجود توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق با شناسایی مرحله توسعه و بازیگران نظام توسعه مشخص شد. در مرحله دوم، با توجه به خروجی حاصل از مرحله اول، کارکردهای با اولویت برای تحقق وضعیت مطلوب توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق تعیین شدند. در مرحله سوم، چالش‌ها و موانع موجود از طریق مصاحبه با متخصصان و خبرگان تعیین شدند. در این مرحله، عمده چالش‌ها و موانعی که در نسخه اولیه اقدامات کلان در سند اصلی ارائه شده بودند، بر اساس بازخوردها و تجربیات حاصل از اجرای سند در سال‌های گذشته و مصاحبه با خبرگان علمی (دانشگاهی) و فنی (صنعتی)، مورد بازنگری قرار گرفتند. در نهایت در مرحله چهارم، اقدامات کلان بازنگری شده غیرفنی و فنی برای رفع چالش‌ها و موانع توسعه، در سطح ملی و سطح پژوهشگاه نیرو ارائه شدند.

چکیده و خلاصه‌ای از نتایج مهم مورد بررسی در این گزارش به شرح ذیل می‌باشد:

١. بر اساس بررسی وضعیت موجود می‌توان نتیجه گرفت که موضوع کلی پایش سلامت، ارزیابی وضعیت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق در کشور، بطور کلی در مرحله «توسعه» خود قرار داشته و بطور خاص، پایش سلامت با رویکردهای نوین (SHM)، در مرحله «پیش‌توسعه» قرار دارد.

٢. با توجه به وضعیت موجود و مرحله توسعه، برای پیاده‌سازی و توسعه نظام پایش سلامت و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق در کشور، باید هر هفت کارکرد نظام نوآوری فناورانه (کارآفرینی، توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم، تأمین منابع، شکل‌دهی به بازار و مقبولت بخشی) محقق شوند. در خصوص توسعه رویکردهای نوین و مدرن پایش سلامت سازه (SHM) در صنعت برق با توجه به مرحله توسعه آن (پیش‌توسعه)، چهار کارکرد توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم به عنوان کارکردهای با اولویت شناخته شده و باید محقق شوند.

٣. چالش‌های مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورلنه در کارکردهای اولویت‌دار، از طریق مصاحبه با خبرگان علمی (دانشگاهی) و فنی (صنعتی) شناسایی شدند. این چالش‌ها به تفکیک کارکردها و ابعاد ساختاری، در جدول ۴-۱۴ الی جدول ۴-۲۰ ارائه شده‌اند.

٤. سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز در سطح ملی جهت رفع چالش‌های موجود در هریک از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه در جدول ۴-۲۱ تا جدول ۴-۲۳ آمده است. اقدامات غیرفنی مورد نیاز در سطح پژوهشگاه نیرو نیز، در جدول ۴-۲۴ الی جدول ۴-۲۶ ارائه شده‌اند.

٥. اقدامات فنی مورد نیاز برای توسعه و پیاده سازی پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق با توجه به راهبرد نهایی و بازنگری شده در مرحله سوم، در بخش ۴-۲ (در سطح ملی) و بخش ۵-۲ (در سطح پژوهشگاه نیرو) ارائه شده‌اند.

٤-٧-منابع و مراجع فصل چهارم

[۱]. «روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق- راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم»، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲

[2]. Carlsson, B. and Stankiewicz, R., "On the Nature Function and Composition of Technological Systems", Evolutionary Economics, pp. 93–118, 1991.

[3]. Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., and Rickne, A., "Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis," *Research policy*, vol. 37, no. 3, pp. 407–429, 2008.

[4]. North, D. C., "Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge university press", 1990.

[5]. Schot, J., "Towards new forms of participatory technology development," Technology Analysis & Strategic Management, vol. 13, no. 1, pp. 39–52, 2001.

[6]. Dosi, G., "Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation," Journal of economic literature, pp. 1120–1171, 1988

[۷]. مجموعه گزارش‌های پروژه " تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای"، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶

[8]. Ahrens, J., 2002. "Governance and the implementation of technology policy in less developed countries", Econ. Innovation New Tech. 11, 441-476.

[9]. Colebatch H.K., 2002. Policy. Second edition, Open University Press, Buckingham.

[10]. Faulhaber G.R., 2000. "Emerging technologies and public policy: in Wharton on managing emerging technologies", ed. G.S. Day, P.J.H. Schoemaker and R.E. Gunther, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[11]. Walt, G., and Gilson, L., "Reforming the health sector in developing countries: the central role of policy analysis", Health policy and planning, 9.4 (1994): 353-370.

[۱۲]. مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور. روش‌شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی. تهران، ۱۳۹۲.

[۱۳]. "روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو"، شرکت آینده اندیشان افق بهسان، تابستان ۱۳۹۹

فصل پنجم

۵- به‌روزرسانی ره‌نگاشت (نقشه‌راه) و برنامه عملیاتی (در سطح پژوهشگاه)

۵-۱-مقدمه

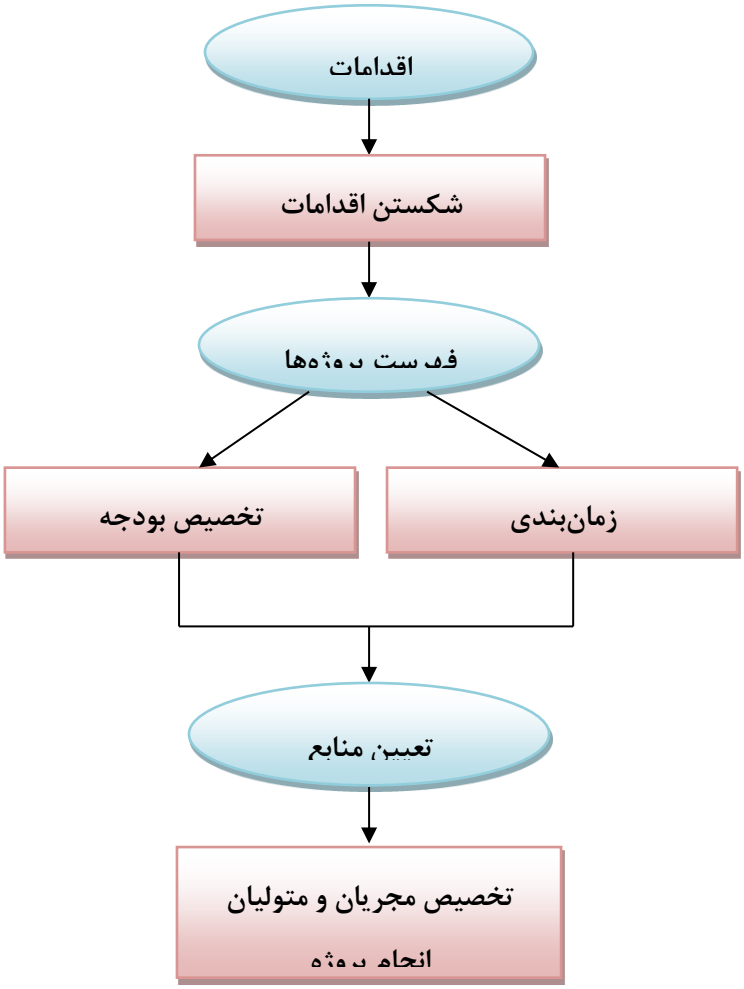
در این بخش از سند با عنوان «ره‌نگاشت و برنامه عملیاتی» با ارائه مدلی از گام‌های لازم جهت تکمیل فرایند برنامه عملیاتی و همچنین ابزارهای هرگام می‌پردازیم که در نهایت منجر به دستیابی به برنامه عملیاتی و ره‌نگاشت[1] در راستای چشم‌انداز سند خواهد شد. در مراحل ۳ و ۴ این پروژه ارکان جهت‌ساز (شامل چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق) و نیز اقدامات لازم برای تحقق آن تدوین شد. برنامه عملیاتی مجموعه اقدامات مشخص و عملیاتی که به اجرایی شدن ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات طراحی شده کمک کرده و وظایف سازمان‌ها و اجزای ذینفع را مشخص می‌کند. درحقیقت آنچه در این بخش محقق می‌گردد، اجرایی شدن برنامه اقدامات تدوین شده در مراحل قبل است. [۱ و ۲]

ساختار این گزارش به این صورت است که در ابتدا نحوه تقسیم اقدامات تدوین‌شده در مرحله ۴ در سطح پژوهشگاه نیرو به پروژه‌های اجرایی توضیح داده می‌شود و سپس فهرست پروژه‌های تعیین‌شده ارائه می‌گردد. در گام بعدی زمان و بودجه لازم برای تکمیل پروژه‌ها مشخص می‌شود. در ادامه متولیان و مجریان انجام پروژه‌ها بر اساس نگاشت نهادی مشخص‌شده تعیین می‌گردد. در نهایت، نقشه راه (ره‌نگاشت) مربوط به توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بر اساس اقدامات تعیین شده ترسیم می‌شود.

۵-۲-فرآیند تدوین پروژه‌های اجرایی

در این بخش فرایند تدوین پروژه‌های اجرایی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق توضیح داده می‌شود و در نهایت فهرست پروژه‌ها ارائه می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، لازم است اقدامات تعیین شده در فاز ۴، به پروژه‌های اجرایی شکسته شود. در واقع در این بخش باید مشخص گردد که چه پروژه یا مجموعه پروژه‌هایی باید در سالیان مختلف اجرا گردد تا در صورت اجرای این پروژه‌ها بتوان اطمینان حاصل کرد که اقدامات، راهبردها، اهداف و در نهایت چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق محقق شده است. فرایند تدوین برنامه عملیاتی در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. مطابق این شکل، ابتدا اقدامات شناسایی شده در مرحله ۴ بر اساس معیارهایی شکسته می‌شوند و فهرست پروژه‌ها استخراج می‌شود. سپس زمان و بودجه مورد نیاز برای انجام هر یک از پروژه‌ها مشخص می‌شود و از این طریق منابع لازم برای تحقق اقدامات تعیین می‌گردد. در نهایت با شناسایی نهادهای مرتبط در محیط داخلی و بیرونی و نقش آن‌ها، متولی و مجری انجام پروژه‌ها شناسایی می‌شود.

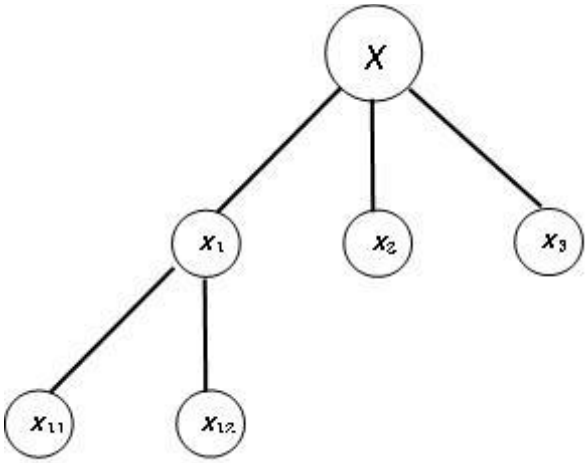
[1] - Road Map



شکل ۱-۵- فرایند تدوین برنامه عملیاتی

۵-۲-۱- شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی

مجموعه پروژه‌های اجرایی که از شکستن اقدامات به دست می‌آید، می‌بایست به نحوی جامع باشد که انجام صحیح آن‌ها منجر به تحقق اقدام مورد نظر شود و از همین‌رو در تعریف پروژه‌ها می‌باید جنبه‌های مختلف اقدام مورد توجه قرار گیرد. نکته حائز اهمیت دیگر میزان شکسته شدن اقدامات می‌باشد. همان‌گونه که یک اقدام می‌تواند به مجموعه‌ای از پروژه‌ها شکسته شود، هر پروژه نیز قابل شکسته شدن به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها می‌باشد و این روند را در مورد فعالیت‌ها نیز می‌توان ادامه داد. این مفهوم را می‌توان به صورت ملموس‌تری در شکل ۲-۵ مشاهده نمود که در آن اقدام X به سه پروژه و پروژه شماره ۱ به دو فعالیت شکسته شده است. حال می‌توان مجموعه کل پروژه‌هایی که برای انجام اقدام X اجرا شود را به دو صورت $X \equiv \{x_1, x_2, x_3\}$ و $X \equiv \{x_{11}, x_{12}, x_2, x_3\}$ ارائه نمود که تفاوت این دو در تعداد سطوح شکسته شدن اقدام می‌باشد. بنابراین لازم است معیارهای مناسبی برای تعیین تعداد سطح شکسته شدن اقدامات تعیین گردد [۱].



شکل ۲-۵- نحوه شکستن اقدام X

در این بررسی دو معیار به شرح زیر مبنای عمل قرار می‌گیرد [۱]:

الف) میزان منابع لازم برای انجام پروژه اجرایی قابل تخمین باشد. به عبارتی در سطح خاصی می‌توان برآورد مناسبی از میزان منابع مورد نیاز ارائه نمود[۱].

ب) هر پروژه اجرایی در اندازه‌ای باشد که بتوان آن را به یک مجری محول نمود. به عبارتی اگر پروژه اجرایی به اندازه کافی جزء نشده باشد، به طوری که گستردگی ابعاد مختلف آن امکان اختصاص آن را به یک مجری سلب نماید، می‌باید پروژه اجرایی مربوط به فعالیت‌های دیگری شکسته شود تا تخصیص آن به مجری واحد امکان‌پذیر گردد.

در تعیین پروژه‌ها علاوه بر دو مورد فوق، امکان اجرای هر پروژه به نحو مطلوب و حصول نتایج مورد انتظار و همچنین انطباق حداکثری آن با اولویت‌های نیازهای ذینفعان صنعت (بخصوص شرکت‌های مادرتخصصی) نیز، در تدوین پروژه‌های اجرایی لحاظ گردیده است.

ساختار کلی شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی مشابه ساختار شکست کار WBS[۲] می‌باشد که در بحث مدیریت پروژه تاکنون تحقیقات فراوانی در مورد آن صورت پذیرفته است. WBS اساسی‌ترین (و شاید با ارزش‌ترین) ابزار در کل فرآیند برنامه‌ریزی پروژه است. WBS دربردارنده فهرست فعالیت‌های جزئی مورد نیاز برای انجام پروژه بصورت سلسله مراتبی است به نحوی که هریک از فعالیت‌ها، مستقل و قابل مدیریت و قابل اندازه‌گیری باشند. در واقع WBS، شناسایی و تجزیه فعالیت‌هایی است که باید در یک پروژه انجام شود و نقطه شروع منطقی در کل فرآیند برنامه‌ریزی پروژه است. هدف از تهیه WBS شناسایی دقیقتر اجزای کار برای برنامه‌ریزی، سازماندهی و مدیریت بهتر و مؤثرتر آن است. هنگامی که تمام فعالیت‌های مورد نیاز برای

[۱]. توضیحات بیش‌تر در مورد اقسام منابع در قسمت‌های آتی بیان خواهد شد.

[2]- Work-Breakdown-Structure

اجرای پروژه شناسایی شدند؛ تعیین مدت زمان فعالیت‌ها، تخمین هزینه فعالیت‌ها و بودجه پروژه، تعیین مسئولیت‌ها و بسیاری از مراحل برنامه‌ریزی قابل انجام می‌باشند. مهمترین مزایای عمده WBS عبارتند از:

- WBS نمایش گرافیکی کار را با خولنایی آسان ارائه می‌دهد و به ذینفعان اجازه می‌دهد آن را به طور کامل برای فعالیت‌های مغفول مانده کار بررسی کنند.
- در اغلب موارد، تلاش‌های لازم برای اجرای یک پروژه دست کم گرفته می‌شوند. یک WBS کاملاً توسعه یافته تعیین می‌کند که واقعاً چقدر کار در پروژه وجود دارد.
- WBS یک ساختار مناسب و منطقی برای تخمین مدت زمان و هزینه هر فعالیت و همچنین برای تخصیص مسئولیت‌ها و منابع به فعالیت‌ها ارائه می‌دهد.
- WBS یک ساختار مناسب و منطقی برای اجرای پروژه فراهم کرده و یک منبع و ابزار عالی برای بررسی ریسک‌های مرتبط با پروژه است. [۱۰]

نکته دیگر حصول اطمینان از جامعیت پروژه‌های اجرایی در راستای تحقق اقدامات می‌باشد. تاکنون الگوریتمی که تضمین نماید مجموعه پروژه‌های اجرایی منتخب برای تحقق اقدام کفایت می‌نماید ارائه نشده است. تنها با بهره‌گیری از قضاوت خبرگان، استفاده از تجارب پیشین و در صورت امکان به‌کارگیری ابزارهایی چون شبیه‌سازی می‌توان امیدوار بود مجموعه پروژه‌های اجرایی شرایط کافی برای حصول اقدامات را فراهم سازند.

۵-۲-۱-۱- مبنای شکستن اقدامات

یکی از مسائل کلیدی دیگر در فرآیند شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی، تعیین مبنایی است که بر اساس آن اقدامات شکسته شوند. به عنوان نمونه اقدامی مثالی با عنوان تأسیس آزادراه را در نظر بگیرید. این اقدام می‌تواند بر دو مبنای جغرافیایی[1] (راه‌سازی کوهستانی، بیابانی و جنگلی) و عملکردی[2] (زیرسازی راه، روسازی و اسفالت، حفاظت حاشیهٔ راه و ...) به پروژه‌های اجرایی زیرمجموعهٔ خود شکسته شود. این‌که کدام مبنا برای شکستن اقدامات مورد توجه قرارگیرد بر اساس عوامل مختلفی تعیین می‌شود که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود [۱].

الف) ساختار و فرهنگ حاکم: اگر در ساختار موجود کشور تقسیم‌بندی ویژه و یا هنجارهای پذیرفته شدهٔ اثرگذاری وجود داشته باشد، می‌تواند مبنای شکستن پروژه‌های اجرایی را جهت‌دهی نماید. به عنوان نمونه در مورد مثال فوق اگر سیستم راه‌سازی کشور بر اساس مناطق جغرافیایی در بخش‌های راه‌سازی کوهستانی، بیابانی و جنگلی شکل گرفته باشد که هر بخش توانایی‌ها و قابلیت‌های کلیدی لازم در حوزه فعالیت خود به‌دست آورده است، و بنابراین تقسیم‌بندی مذکور می‌تواند مبنای شکستن اقدامات قرار گیرد.

ب) نیازمندی‌های فعلی: نیازمندی‌هایی که بر مبنای آن شکسته شدن اقدامات صورت می‌پذیرد در طول زمان قابل تغییر است. در مورد مثال اخیر ممکن است در فاز طراحی آزادراه‌ها نیازهای طراحی موجب شکستن پروژه‌های اجرایی بر مبنای جغرافیایی شود ولیکن در زمان اجرا نیازها تغییر کرده و مبنای عملکردی مورد استفاده قرارگیرد.

[1]- Geographical Base
[2]- Functional Base

ج) منافع اقتصادی: میزان کسب درآمد از پروژه‌های اجرایی می‌تواند مبنایی برای شکستن اقدامات باشد. به عنوان مثال درآمدزا یا هزینه‌بر بودن پروژه‌های اجرایی از این جهت می‌تواند مبنا قرار گیرد که ابتدا پروژه‌های اجرایی درآمدزا انجام شوند و از درآمد حاصل برای انجام پروژه‌های اجرایی هزینه‌بر استفاده شود.

د) نظرات ذینفعان: از آنجایی که هدف از تحقق اقدامات در واقع برآوردن نیاز ذینفعان و کسب منافع توسط این گروه می‌باشد، ضروری است نظرات ذینفعان در بخش‌های مختلف فرآیند پیاده‌سازی از جمله چگونگی شکستن اقدامات مورد توجه قرارگیرد.

در صورتی که تصمیم گرفته شود که تعدادی از پروژه‌های اجرایی نیز به زیرفعالیت‌هایشان شکسته شود، می‌توان در شکستن دوم از مبنای دیگری استفاده نمود. به طور مثال در مرحله اول بر مبنای جغرافیایی و در مرحله دوم بر مبنای عملکردی عمل نمود.

۵-۲-۱-۲- ابزارهای شکستن اقدامات

تاکنون مفاهیم و موضوعات کلیدی شکستن اقدامات مورد بحث و بررسی قرارگرفت. در این بخش چند ابزار برای انجام این مهم معرفی می‌گردد [۱].

الف) تجزیه و تحلیل فرایند استاندارد

در ادبیات برخی از اقدامات فرایندی تجربه شده‌ای وجود دارد که به طور عام توسط نخبگان علمی آن حوزه مورد پذیرش قرارگرفته‌است. چنین فرایندهایی فرایند استاندارد نامیده می‌شود. در صورتی که در مورد اقدامات خاصی فرایند استاندارد وجود داشته باشد، پروژه‌های اجرایی ارائه شده در آن به‌عنوان مجموعه پروژه‌های اجرایی استاندارد پذیرفته می‌شوند.

ب) بهینه‌کاوی

در صورتی که در راستای تحقق یک اقدام، فرایند استانداردی وجود نداشته باشد و یا به علت عدم دسترسی قابل استفاده نباشد، از ابزار بهینه‌کاوی استفاده می‌شود. بهینه‌کاوی به معنی بررسی تجربه‌های انجام شده و یادگیری می‌باشد. اگرچه در این حالت به علت عدم وجود الگویی استاندارد، انتظار می‌رود تجربه‌های پیشین در ابعاد مختلفی با یکدیگر تفاوت داشته باشند - که از علل اصلی آن خواستگاه منطقه‌ای و ویژگی‌های خاصی است که فرایند در قالب آن طراحی و اجرا شده است- یکی از مسائل کلیدی به‌کارگیری این ابزار چگونگی در کنار هم قرار دادن نتایج تجربه‌های مختلف برای دستیابی به الگویی مطلوب می‌باشد. اگر نتوان از این روش به مجموعه‌ای از پروژه‌های اجرایی قابل قبول دست یافت، از پروژه‌های اجرایی غیر نهایی به‌دست آمده می‌توان در ابزار علی- معلولی استفاده نمود.

ج) تحلیل علی‌معلولی

هدف این ابزار استفاده از نظرات خبرگان برای شکستن اقدامات به مجموعه پروژه‌های اجرایی می‌باشد. از همین‌رو ضروری است استفاده از این ابزار با حضور خبرگانی مسلط بر ابعاد مختلف اقدام مربوطه صورت گیرد. در ادامه چگونگی استفاده از این ابزار در جلسه‌ای با حضور خبرگان توضیح داده می‌شود.

گام ۱: در ابتدای جلسه توضیحات مربوط به معرفی اقدام ارائه می‌گردد تا کلیه افراد حاضر به نگرش یکسانی از اقدام مورد نظر دست یابند.

گام ۲: در یک طوفان فکری پروژه‌های اجرایی که از نظر خبرگان برای انجام اقدام مزبور ضروری به نظر می‌رسد مطرح شده و در معرض دید همگان قرار می‌گیرد.

حاضرین جلسه می‌باید این نکته را مد نظر قرار دهند که در مرحله اول صرفاً اقدامات به پروژه‌های اجرایی اساسی تشکیل‌دهنده‌اش شکسته می‌شوند. از همین‌رو بهتر است از بیان مواردی که خود زیرفعالیتِ پروژه‌های اجرایی اساسی به شمار می‌روند و یا قابل بیان شدن به شکل پروژه‌های اجرایی کلان‌تری هستند اجتناب ورزند. در صورتی که تصمیم گرفته شود برخی پروژه‌های اجرایی به زیرفعالیت‌های خود شکسته شوند، در مرحله دیگری فرایند جاری در مورد آن پروژه‌های اجرایی تکرار می‌شود. به عبارتی در هر مرحله از به‌کارگیری این ابزار، شکستن تنها در یک سطح انجام می‌پذیرد.

پس از انجام این گام فهرست اولیه‌ای از پروژه‌های اجرایی پیشنهادی به دست می‌آید. در تکمیل این فهرست می‌توان از اطلاعات به دست آمده از دو ابزار دیگر به‌ویژه بهینه‌کاوی استفاده نمود.[1]

گام ۳: کلیه موارد موجود در لیست اولیه تحت سه عنوان زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف) پروژه‌های اجرایی اصلی تکین: پروژه‌های اجرایی هستند که اولا در راستای تحقق اقدام مورد نظر انجام آن‌ها ضروری بوده و ثانیاً در بین سایر پروژه‌های اجرایی پیشنهاد شده موارد مشابه قابل جایگزینی با آن وجود ندارد.

ب) پروژه‌های اجرایی جایگزین: این دسته شامل آن بخش از پروژه‌های اجرایی ضروری می‌باشد که در بین سایر پروژه‌های اجرایی، موارد مشابهِ قابل جایگزینی با آن‌ها یافت می‌شود. در این حالت هر گروه از پروژه‌های اجرایی مشابه را در مجموعه‌هایی جمع کرده که مجموعه‌های جایگزینی نامیده می‌شوند. سرانجام می‌باید از هر یک از مجموعه‌های جایگزینی یک پروژه اجرایی انتخاب شود.

مجموعه‌های جایگزینی نباید با یکدیگر دارای اشتراک باشند. همچنین درصورتی که پروژه اجرایی قابل تخصیص به بیش از یک مجموعه جایگزینی باشد، آن پروژه اجرایی به چند بخش تفکیک شده و هر بخش به مجموعه مربوطه اختصاص می‌یابد.

ج) پروژه‌های اجرایی پشتیبانی: پروژه‌های اجرایی که در راستای تحقق یک اقدام، ضروری نیستند ولی می‌توانند فرآیند انجام اقدام مورد نظر را تقویت کرده و آنرا تسریع بخشند.

در صورتی که پس از دسته‌بندی فوق مواردی وجود داشته باشند که به نوعی زیرفعالیت سایر پروژه‌های اجرایی اصلی یا پشتیبانی به حساب آیند حذف می‌گردند - در صورت لزوم در شکستن پروژه‌های اجرایی به زیرفعالیت‌ها در مراحل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند - و در غیراین صورت لازم است پروژه‌های اجرایی اصلی یا پشتیبان دیگری تعریف شود که دربرگیرنده زیرفعالیت مزبور باشد.

در نهایت پروژه‌های اجرایی دسته‌بندی شده می‌باید دارای دو ویژگی باشند:

- در یک سطح باشند

[1] - ممکن است بتوان درمورد یک فعالیت از روش تحلیل فرآیند استاندارد و یا بهینه‌کاوی به نتیجه رسید، علی‌رغم این‌که در مورد اقدام بالادست استفاده از این دو ابزار نتیجه‌بخش نبوده باشد.

- غیر از پروژه‌های اجرایی درون یک مجموعه جایگزینی، سایر پروژه‌های اجرایی باید بدون همپوشانی باشند. در غیر این‌صورت می‌باید تغییراتی در آن‌ها اعمال گردد که همپوشانی موجود حذف شود.

۵-۲-۱-۳- بازنگری نهایی و انتخاب پروژه‌های اجرایی

قبل از نهایی شدن پروژه‌های اجرایی، به منظور ارزیابی جوانب مختلف پروژه‌های اجرایی ارائه شده و قضاوت در مورد موجه بودن یا عدم موجه بودن آن‌ها، هر پروژه اجرایی می‌باید بر اساس معیارهای مختلفی از جمله معیارهای فنی، مالی و اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد ممیزی قرار گیرد. بر این اساس، پروژه‌های اجرایی به دست آمده در مرحله قبل مورد بازبینی قرار گرفته و پروژه‌هایی که از نظر معیارهای مختلف ناموجه باشند، کنار گذاشته می‌شوند. در واقع پروژه‌های اجرایی نهایی می‌بایست به نحو مطلوبی موجبات دستیابی به مقاصد سایر سطوح راهبردی را فراهم سازند. از همین‌رو ضروری به نظر می‌رسد با نگاهی اجمالی به گام‌های طی شده نواقص احتمالی مورد بازبینی قرارگیرد [۱].

۵-۲-۲- فهرست پروژه‌های اجرایی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد مطرح شده در ابتدای این بخش در ارتباط با ضرورت و نحوه شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی، در این بخش، پروژه‌هایی شناسایی می‌شود که اجرایی شدن آن‌ها منجر به تحقق اقدامات می‌گردد. با توجه به ابزارهای گوناگونی که جهت شکستن اقدامات در بخش قبل معرفی شده با بررسی‌های صورت گرفته این نتیجه حاصل شد که ابزار تحلیل علی‌معلولی بهترین ابزار برای شکستن اقدامات در این طرح می‌باشد.

همان‌طور که در گزارش مرحله چهارم اشاره شد اقدامات مربوط به این سند در دو دسته اقدامات فنی و غیر فنی (در دو سطح ملی و پژوهشگاه نیرو) تدوین شد. با توجه به سطح اقدامات غیر فنی تعریف شده در مرحله چهارم تصمیم گرفته شد تا این اقدامات به سطح پایین‌تر شکسته نشده و زمان‌بندی و بودجه‌بندی بر روی آنها انجام شود. اما برای درک بهتر هر کدام از اقدامات غیرفنی، شرح اقدام و فعالیت‌های اصلی که در راستای اجرایی شدن این اقدامات (در سطح پژوهشگاه نیرو) می‌بایست انجام گیرد مشخص شده که به عنوان شناسنامه اقدامات غیرفنی در پیوست ۱ آمده است. در ارتباط با اقدامات فنی، با توجه به امکان شکستن اقدامات تصمیم بر این شد تا پروژه‌های اجرایی ذیل هر یک از اقدامات فنی (در سطح پژوهشگاه نیرو) تعریف شود. همچنین برای درک بهتر هر کدام از اقدامات فنی، شرح اقدام و پروژه‌های ذیل هر اقدام فنی، به عنوان شناسنامه اقدامات فنی، در پیوست ۲ آمده است.

مجموعه پروژه‌های اجرایی که از شکستن اقدامات به دست می‌آید، می‌بایست به نحوی جامع باشد که انجام صحیح آن‌ها منجر به تحقق اقدام مورد نظر شود در این بخش تلاش شده است با استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان، جامعیت پروژه‌های اجرایی شناسایی شده برای هر اقدام حفظ شود. مورد دیگری که در رابطه با شکستن اقدامات می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، سطح شکسته شدن اقدامات می‌باشد. در این سند اقدامات تا سطحی شکسته شده‌اند که بتوان برای پروژه‌های اجرایی حاصل از شکستن آن‌ها زمان و بودجه تخصیص داده و همچنین مجری جهت اجرای آن‌ها مشخص نمود.

با توجه به بازخوردهای حاصل از اجرای سند (بخصوص در بخش تولید برق) و تجربیات حاصل از تعاملات صورت گرفته با شرکت‌های مادرتخصصی توانیر و برق حرارتی، تصمیم گرفته شد که اجرای سند در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق بطور کامل از یکدیگر تفکیک گردند. علل عمده این تصمیم عبارتند از:

- جدا بودن متولیان اصلی این حوزه‌ها در سطح کلان کشور (بخش‌های انتقال و توزیع در شرکت توانیر و بخش تولید در شرکت برق حرارتی)
- تفاوت‌های رفتاری و ماهیتی موجود میان سازه‌های هریک از بخش‌های فوق به لحاظ نوع و فرم سازه‌ها، شرایط محیطی و بهره برداری، مخاطرات و بارهای مؤثر بر آنها و رفتار آنها در برابر مخاطرات مؤثر که باعث تفاوت در جزئیات رویکردها، روش‌ها، حوزه‌های علمی و تخصصی مورد نیاز و الزامات و معیارها در انجام اقدامات پایش سلامت و مقاومسازی میشوند

بر این اساس و با توجه به ساختار اجرایی مصوب برای اسناد توسعه فناوری در پژوهشگاه نیرو، اجرای این سند در قالب سه طرح مجزا در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مورد نظر قرار گرفت. عناوین طرح‌های مورد نظر برای سند به شرح زیر می‌باشند:

- **طرح ۱:** تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های تولید برق
- **طرح ۲:** تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال و فوق توزیع
- **طرح ۳:** تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های توزیع برق

در هریک از طرح‌های فوق، انجام تمامی اقدامات ارائه شده در گزارش مرحله ۴ در حوزه مربوطه مورد نظر بوده و بر این اساس، پروژه‌های اجرایی مورد نیاز، تدوین شده‌اند. با توجه به مطالب ارائه شده در بخش‌های قبلی گزارش، پروژه‌های اجرایی هریک از طرح‌ها طوری تدوین شده‌اند که ضمن پوشش دادن به کلیه حوزه‌های فنی مورد نظر در سند به منظور تحقق کلیه اهداف و چشم‌انداز آن، حتی‌الامکان از یکدیگر مستقل و بدون همپوشانی بوده، با خواسته و نیازهای صنعت انطباق داشته و قابلیت اجرا (از نظر زمان و مبلغ و متولی انجام) داشته باشند. همچنین طی تعاملات با شرکت‌های مادرتخصصی و سایر ذینفعان صنعت برق، پروژه‌هایی نیز به منظور پاسخگویی به نیازهای عاجل صنعت در هریک از بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در طرح‌های مربوطه لحاظ شده است.

فهرست عناوین پروژه‌های هریک از طرح‌های سه‌گانه فوق، به ترتیب در جدول ۲-۴، جدول ۲-۵ و جدول ۳-۵ ارائه شده‌اند. پروژه‌های ارائه شده در این جداول، کلان بوده و در هنگام اجرا بر حسب نیازها و مقتضیات روز، می‌توانند به پروژه‌های ریزتر نیز تقسیم شوند.

جدول ۱-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های نیروگاهی

۲	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه سیستم خنک‌کن نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۳	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در فونداسیون توربین-ژنراتور نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۴	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های توربین هال، بویلر و HRSG نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در مخازن ذخیره سوخت نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۶	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۷	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های نگهدارنده دودکش و لوله‌ها (پایپ رک‌ها) و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۸	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در برابر مخاطرات محیطی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه نگهداری و تعمیرات سازه‌های نیروگاهی در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی
۱۰	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۳ نیروگاه حرارتی دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر نیروگاه بر حسب اولویت
۱۱	ارائه راهکارهای فنی و مدیریتی برای بهینه سازی ساخت سازه ها نیروگاه های حرارتی با هدف کاهش زمان و هزینه ساخت
۱۲	مطالعات نیازسنجی در حوزه دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های بومی برای طراحی سازه‌های نیروگاهی و تدوین دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مورد نیاز
۱۳	تدوین دانش فنی شناسایی و پایش اثرات فرونشست زمین بر نیروگاه‌های حرارتی، ارائه راهکارهای ایمن‌سازی و پیاده‌سازی در ۳ نیروگاه دارای اولویت
۱۴	رتبه بندی نیروگاه های حرارتی کشور بر اساس ریسک زلزله، ارزیابی آسیب پذیری و ارائه راهکارهای ایمن سازی سازه های مهم در ۳ نیروگاه دارای اولویت در برابر خطر زلزله
۱۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در برج و فونداسیون توربین‌های بادی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت
۱۶	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید برج و فونداسیون توربین‌های بادی در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی
۱۷	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۵ توربین بادی دارای اولویت
۱۸	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد کامپوزیت در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی
۱۹	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد نانوساختار در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی

جدول ۲-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع

ردیف	عنوان پروژه‌ها

۱	ارزیابی ریسک های موجود در سازه های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه
۲	امکانسنجی، طراحی، ساخت و آزمون دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره آویزی انتقال
۳	طراحی، ساخت و انجام آزمونهای استاندارد یک نمونه مقره خودکراس آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت آویزی
۴	بررسی فنی و اقتصادی ساخت دکلهای موقت شبکه انتقال نیرو با مصالح کامپوزیت و آلومینیوم و طراحی، ساخت و آزمون رده ولتاژی ۶۳-۱۳۲ و ۲۳۰-۴۰۰ با توجه به انتخاب گزینه برتر
۵	تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت
۶	جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه‌های خطوط و پست‌های انتقال و فوق‌توزیع (در حال بهره‌برداری و طرح توسعه آتی)
۷	بررسی و ارائه راهکارهای جلوگیری از سرقت نبشی دکل‌های مشبک خطوط انتقال نیرو
۸	تدوین ضوابط و الزامات طراحی، ساخت، بهره برداری و آزمون های دکلهای بتنی خطوط انتقال و فوق توزیع
۹	مقاوم سازی دکل های انتقال و فوق توزیع نیرو جهت افزایش ظرفیت سطح ولتاژ خطوط
۱۰	تدوین دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون کراس آرم کامپوزیتی دکلهای خطوط انتقال
۱۱	بررسی فنی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ترانس‌های جریان و ولتاژ و ارائه راهکارهای مقاومسازی برای ارتقای عملکرد لرزه‌ای آنها
۱۲	تحلیل داده های خسارات وارد شده به سازه های شبکه انتقال برق (ناشی از مخاطرات جوی، زمینی و انسانی منجر شده به ترمیم و یا تعویض در کشور) به منظور اولویت بندی اجرا و طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه و جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال برق
۱۳	طراحی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و ارائه راهکارهای مقاوم سازی پست های انتقال و تدوین دستورالعمل های مرتبط و اجرای پایلوت
۱۴	اجرای پایلوت ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت انتقال برق و ارائه راهکارهای مقاوم سازی
۱۵	افزایش تاب آوری و بهبود چرخه عمر سازه های خطوط انتقال نیرو با بکارگیری مواد نانوساختار و اجرای نمونه پایلوت
۱۶	امکان سنجی و بررسی گزینه‌های مختلف سرپوشیده نمودن پست‌های انتقال با رویکرد پدافند غیر عامل و حفاظت از مخاطرات محیطی و اجرای یک نمونه پایلوت ۱۳۲کیلوولت

جدول ۳-۵- عناوین پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه‌های شبکه توزیع
۲	تهیه بانک اطلاعاتی جامع وضعیت پایه های هوایی نصب شده در شبکه های توزیع کشور و نحوه پراکندگی آنها بر روی بستر GIS و تحلیل آماری داده ها
۳	تدوین دانش فنی و ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پایه‌های هوایی شبکه توزیع و ارائه راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها به همراه تدوین یا بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط
۴	اصلاح فرآیندهای طراحی، ساخت و نصب پایه‌های هوایی شبکه توزیع و روشنایی با هدف افزایش کیفیت و عمر مفید آنها به همراه به‌روزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط
۵	نظارت عالیه بر انجام ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق کشور در برابر زلزله و ارائه طرح‌های مقاومسازی
۶	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پست‌های هوایی، زمینی و زیرزمینی شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل

۷	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در سازه و فونداسیون ساختمان‌های مهم شبکه توزیع (ساختمان کنترل، دیسپاچینگ و مدیریت بحران) شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل
۸	توسعه ابزارهای کاربردی ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع برق در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان و ریسک
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های شبکه توزیع در دوره عمر آنها (ارزیابی وضعیت، مقاومسازی یا تعویض)، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر و تدوین دستورالعملهای مرتبط
۱۰	پیاده سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌های شبکه توزیع در ۵ فیدر توزیع دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر فیدرها بر حسب اولویت
۱۱	تدوین دانش فنی و دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون نوعی پایه‌های نوین شبکه توزیع
۱۲	بررسی انواع روش های جدید امحاء، بازیافت و بکارگیری مجدد مصالح پایه های توزیع فرسوده

۵-۳-تخصیص منابع

در برنامه‌ریزی عملیاتی تخصیص منابع فرایند تصمیم‌گیری در مورد چگونگی به‌کارگیری منابع موجود به منظور نیل به مقاصد تعیین شده، به‌ویژه در کوتاه‌مدت می‌باشد. تخصیص منابع در سطوح مختلف راهبردی از جمله اقدامات، پروژه‌های اجرایی، فعالیت‌ها و سایر سطوح بالاتر قابل تعریف می‌باشد. همانطور که در بخش قبل عنوان شد یکی از معیارهای مورد توجه در تعیین تعداد سطوحی که اقدامات شکسته می‌شوند، رسیدن به سطحی است که در آن بتوان منابع لازم را برآورد نمود. این برآورد بر دو مبنا صورت می‌پذیرد:

الف) تجربه‌های پیشین

ب) نظر خبرگان

منابعی که در برنامه عملیاتی این سند مورد توجه قرار خواهند گرفت، عبارتند از هزینه و زمان. تأمین منابع انسانی با استفاده از هزینهٔ اختصاص یافته توسط مجری فعالیت صورت می‌پذیرد. البته هزینه نیروی انسانی برآورد شده و جزء منابع مالی به مجری تخصیص می‌یابد. با توجه به محدود بودن زمان، جهت دستیابی به اهداف در زمان مورد نظر، می‌بایست مدت زمان لازم برای انجام هر پروژه، به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع اجرایی شدن پروژه‌ها، به درستی مشخص گردد. لازم به ذکر است که در این پروژه تخصیص زمان یک فرآیند تخصیص منابع محدود می‌باشد. به عبارتی کل زمان در دسترس برای تحقق پروژه‌های اجرایی از قبل تعیین شده و هر پروژه می‌بایست در مدت زمان خاص خود به اتمام برسد. از طرف دیگر منابع مالی به عنوان منابع نامحدود در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در مورد هر پروژه اجرایی هزینه لازم برآورد شده و اختصاص می‌یابد. هزینه لازم برای پروژه‌های فنی بر اساس تخمین میزان نفر-ساعت و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای هریک از پروژه‌ها، برآورد شده است. منابع لازم برای سطوح بالاتر از

جمله اقدامات در حالت کلی برابر مجموع هزینه‌های سطوح بلافصل پایین‌دست می‌باشد.[1] همان گونه که در بخش قبلی اشاره شد اقدامات غیر فنی تعیین شده به سطح پایین‌تر شکسته نشده است در نتیجه زمان و بودجه هر یک از اقدامات غیر فنی برآورد می‌شود. در این بخش زمان و بودجه تخمینی لازم برای انجام اقدامات غیرفنی و پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی به ترتیب در جدول ۴-۵ الی جدول ۷-۵ ارائه شده است. زمان‌بندی دقیق پروژه‌ها می‌تواند به ترسیم صحیح رهنگاشت کمک کند.

در بازنگری سند نیز تخصیص منابع با روال فوق، برای عناوین بازنگری شده پروژه‌ها انجام شده است.

جدول ۴-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

ردیف	اقدامات	مدت زمان (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		
			هزینه پرسنلی	هزینه غیرپرسنلی	هزینه کل
۱	تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	۹۶	۵۰۰۰	-	۵۰۰۰
۲	مشارکت در تعریف پروژه‌های تحقیقات کاربردی مشترک میان صنعت برق و دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعال در حوزه‌های مورد نیاز	۹۶	۶۸۰۰	-	۶۸۰۰
۳	حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز	۱۲۰	۵۰۰	-	۵۰۰
۴	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت معرفی موضوعات تحقیقاتی مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی	۱۲۰	۵۰۰	-	۵۰۰
۵	استفاده از ظرفیت‌های موجود مدیریت دانش جهت بهره‌گیری از دانش نگهداری و پایش سلامت سازه در سایر صنایع	۱۲۰	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۶	استفاده کارآمد از ظرفیت‌های موجود (مشارکت در سمینار، کنفرانس، همایش، انجمن، مجلات و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط	۱۲۰	۵۰۰	-	۵۰۰
۷	برگزاری جلسات هم‌اندیشی	۱۲۰	۵۰۰	۲۵۰	۷۵۰
۸	استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت تسهیل بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان (حضور و مشارکت در کنفرانس‌های بین‌المللی، انجام فعالیت‌های مشترک تحقیقاتی، اخذ مشاوره علمی و فنی، اعزام	۱۲۰	۱۰۰۰۰	-	۱۰۰۰۰

[1] . مسأله مهمی که در تخصیص منابع مالی محدود مورد ملاحظه قرار می‌گیرد اولویت‌بندی فعالیت‌ها به‌گونه‌ای است که مشخص باشد منابع اضافی که احیاناً در طول پروژ اختصاص می‌یابند به کدام‌یک از آنها تعلق گرفته و در صورت کاهش منابع کدامیک با کمبود مواجه می‌شوند. این ملاحظه برای پروژه جاری وجود ندارد.

ردیف	اقدامات	مدت زمان (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		
			هزینه پرسنلی	هزینه غیرپرسنلی	هزینه کل
	متخصصان به مراکز علمی و تحقیقاتی و صنعتی، برگزاری دوره‌های آموزشی)				
۹	مشارکت در تکمیل بانک اطلاعاتی محققین (شبکه متخصصین در دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنایع) و سامانه‌های موجود مدیریت دانش جهت ثبت دستاوردهای دانشی (علمی و فنی) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها	۱۸	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۱۰	تشکیل واحدی (ترجیحاً بصورت مرکز) برای نظارت بر فعالیت‌ها، رفع مشکلات، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات سند در راستای تحقق اهداف و کاربردی شدن نتایج پروژه‌ها در صنعت برق و تخصیص بودجه مورد نیاز	۱۲۰	۱۰۰۰۰۰	-	۱۰۰۰۰۰
۱۱	تدوین قوانین پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ	۱۲۰	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۱۲	تدوین و ارائه پیشنهاد سازوکار و نظام تشخیص صلاحیت شرکت‌ها جهت ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به بخش‌های مختلف صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت تصویب و پیاده‌سازی	۲۴	۵۰۰	-	۵۰۰
۱۳	شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق و میزان خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها	۳۶	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۱۴	آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه درصنعت برق از طریق برگزاری جلسات، سمینارها و همایش‌های تخصصی	۳۶	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۱۵	رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق	۶۰	۳۰۰	-	۳۰۰
۱۶	مشارکت در طراحی مدل‌های مناسب کسب و کار با هدف ترغیب ذینفعان در بخش‌های دولتی و خصوصی برای مشارکت در تأمین منابع مالی پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق	۳۶	۵۰۰۰	-	۵۰۰۰
۱۷	برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق	۶۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰

ردیف	اقدامات	مدت زمان (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		
			هزینه پرسنلی	هزینه غیرپرسنلی	هزینه کل
۱۸	مشارکت در ارائه دوره‌های آموزشی میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها	۶۰	۳۰۰	۲۰۰	۵۰۰
۱۹	مشارکت در تهیه نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	۶۰	۲۰۰۰	-	۲۰۰۰
۲۰	اخذ و تحلیل اطلاعات مربوط به سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر	۳۶	۵۰۰	-	۵۰۰
۲۱	مشارکت در برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)	۶۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰
۲۲	امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه	۱۲	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۲۳	تدوین قوانین پیشنهادی حمایتی و مشوق برای ورود بخش خصوصی به ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ	۶۰	۵۰۰	-	۵۰۰
۲۴	عضویت و شرکت فعال در کارگروه‌های تخصصی مرتبط با سازه‌های صنعت برق در شرکت‌های مادرتخصصی و تابعه صنعت برق	۹۶	۵۰۰	-	۵۰۰
۲۵	رایزنی با ذینفعان و صنایع مرتبط و جلب مشارکت آنها در تأمین منابع مورد نیاز توسعه پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق	۱۲۰	۱۰۰۰	-	۱۰۰۰
۲۶	تجاری‌سازی محصولات و خدمات توسعه یافته در طرح پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به صنعت	۶۰	۳۰۰۰	-	۳۰۰۰
جمع			۱۴۹۴۰۰	۴۴۵۰	۱۵۳۸۵۰

جدول ۵-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	بودجه (میلیون ریال)			زمان (ماه)
		غیر پرسنلی	پرسنلی	کل	
۱	طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های نیروگاهی	۶۵۰	۲۴۵۰	۳۱۰۰	۱۲
۲	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه سیستم خنک‌کن نیروگاه‌های	۸۱۱۰	۱۴۹۹۰	۲۳۱۰۰	۲۴

	حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت				
۳	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در فونداسیون توربین-ژنراتور نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۱۶۰	۷۶۴۰	۱۳۸۰۰	۱۲
۴	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های توربین هال، بویلر و HRSG نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۱۶۰	۷۶۴۰	۱۳۸۰۰	۱۲
۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در مخازن ذخیره سوخت نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۱۶۰	۷۶۴۰	۱۳۸۰۰	۱۲
۶	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۱۶۰	۷۶۴۰	۱۳۸۰۰	۱۲
۷	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های نگهدارنده دودکش و لوله‌ها (پایپ رک‌ها) و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۱۶۰	۷۶۴۰	۱۳۸۰۰	۱۲
۸	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در برابر مخاطرات محیطی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	۲۸۵۰	۱۷۱۵۰	۲۰۰۰۰	۱۸
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه نگهداری و تعمیرات سازه‌های نیروگاهی در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	۱۸۴۰	۸۰۶۰	۹۹۰۰	۱۲
۱۰	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۳ نیروگاه حرارتی دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر نیروگاه بر حسب اولویت	۸۳۶۴۰	۱۰۴۷۶۰	۱۸۸۴۰۰	۳۰
۱۱	ارائه راهکارهای فنی و مدیریتی برای بهینه سازی ساخت سازه های نیروگاه های حرارتی با هدف کاهش زمان و هزینه ساخت	۵۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۱۲
۱۲	مطالعات نیازسنجی در حوزه دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های بومی برای طراحی سازه‌های نیروگاهی و تدوین دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مورد نیاز	۵۰۲۰	۲۴۷۸۰	۲۹۸۰۰	۳۶
۱۳	تدوین دانش فنی شناسایی و پایش اثرات فرونشست زمین بر نیروگاه‌های حرارتی، ارائه راهکارهای ایمن‌سازی و پیاده سازی در ۳ نیروگاه دارای اولویت	۱۱۲۱۰	۲۲۱۹۰	۳۳۴۰۰	۳۶

۱۴	رتبه بندی نیروگاه های حرارتی کشور بر اساس ریسک زلزله، ارزیابی آسیب پذیری و ارائه راهکارهای ایمن سازی سازه های مهم در ۳ نیروگاه دارای اولویت در برابر خطر زلزله	۱۲۹۰۰	۱۳۶۰۰	۲۶۵۰۰	۳۶
۱۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در برج و فونداسیون توربین‌های بادی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	۶۵۱۰	۱۰۷۹۰	۱۷۳۰۰	۱۸
۱۶	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید برج و فونداسیون توربین‌های بادی در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	۲۹۹۰	۱۱۹۱۰	۱۴۹۰۰	۱۸
۱۷	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۵ توربین بادی دارای اولویت	۳۷۵۳۰	۸۲۴۷۰	۱۲۰۰۰۰	۲۴
۱۸	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد کامپوزیت در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی	۵۰۶۰	۱۱۹۴۰	۱۷۰۰۰	۲۴
۱۹	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد نانوساختار در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی	۶۶۸۰	۱۲۳۲۰	۱۹۰۰۰	۲۴
جمع		۲۱۶۲۹۰	۳۸۰۱۱۰	۵۹۶۴۰۰	

جدول ۶-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع

ردیف	عنوان پروژه‌ها	بودجه (میلیون ریال)			زمان (ماه)
		غیر پرسنلی	پرسنلی	کل	
۱	ارزیابی ریسک های موجود در سازه های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه	۰	۸۸۰	۸۸۰	۱۰
۲	امکانسنجی، طراحی، ساخت و آزمون دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره آویزی انتقال	۱۲۵۵۰	۳۹۵۰	۱۶۵۰۰	۱۸
۳	طراحی، ساخت و انجام آزمونهای استاندارد یک نمونه مقره خودکراس آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت آویزی	۴۳۵۰	۲۱۵۰	۶۵۰۰	۱۸
۴	بررسی فنی و اقتصادی ساخت دکلهای موقت شبکه انتقال نیرو با مصالح کامپوزیت و آلومینیوم و طراحی، ساخت و آزمون رده ولتاژی ۶۳-۱۳۲ و ۲۳۰-۴۰۰ با توجه به انتخاب گزینه برتر	۵۱۸۵۰	۹۱۵۰	۶۱۰۰۰	۲۴
۵	تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت	۱۱۹۲۰	۶۷۰۰	۱۸۶۲۰	۲۴
۶	جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه‌های خطوط و پست‌های انتقال و فوق‌توزیع (در حال بهره‌برداری و طرح توسعه آتی)	۶۰۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۴
۷	بررسی و ارائه راهکارهای جلوگیری از سرقت نبشی دکل‌های مشبک خطوط انتقال نیرو	۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۱۸

۸	تدوین ضوابط و الزامات طراحی، ساخت، بهره برداری و آزمون های دکلهای بتنی خطوط انتقال و فوق توزیع	۳۰۰	۴۷۰۰	۵۰۰۰	۱۸
۹	مقاوم سازی دکل های انتقال و فوق توزیع نیرو جهت افزایش ظرفیت سطح ولتاژ خطوط	۱۶۰۰۰	۱۴۰۰۰	۳۰۰۰۰	۲۴
۱۰	تدوین دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون کراس آرم کامپوزیتی دکلهای خطوط انتقال	۵۷۰	۲۳۰۰	۲۸۷۰	۱۸
۱۱	بررسی فنی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ترانس‌های جریان و ولتاژ و ارائه راهکارهای مقاومسازی برای ارتقای عملکرد لرزه‌ای آنها	۴۶۶۰۰	۸۴۰۰	۵۵۰۰۰	۲۶
۱۲	تحلیل داده های خسارات وارد شده به سازه های شبکه انتقال برق (ناشی از مخاطرات جوی، زمینی و انسانی منجر شده به ترمیم و یا تعویض در کشور) به منظور اولویت بندی اجرا و طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه و جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال برق	۱۲۲۰	۱۳۷۸۰	۱۵۰۰۰	۲۴
۱۳	طراحی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و ارائه راهکارهای مقاوم سازی پست های انتقال و تدوین دستورالعمل های مرتبط و اجرای پایلوت	۱۲۰۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۴
۱۴	اجرای پایلوت ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت انتقال برق و ارائه راهکارهای مقاوم سازی	۲۳۰۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۴
۱۵	افزایش تاب آوری و بهبود چرخه عمر سازه های خطوط انتقال نیرو با بکارگیری مواد نانوساختار و اجرای نمونه پایلوت	۱۹۰۰۰	۶۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۸
۱۶	امکان سنجی و بررسی گزینه‌های مختلف سرپوشیده نمودن پست‌های انتقال با رویکرد پدافند غیر عامل و حفاظت از مخاطرات محیطی و اجرای یک نمونه پایلوت ۱۳۲کیلوولت	۴۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۵۴۰۰۰	۲۴
جمع		۲۴۹۸۶۰	۹۹۰۱۰	۳۴۸۸۷۰	

جدول ۷-۵- بودجه‌بندی و زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	بودجه (میلیون ریال)			زمان (ماه)
		غیر پرسنلی	پرسنلی	کل	
۱	شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه‌های شبکه توزیع	۱۱۰	۱۲۳۰	۱۳۴۰	۱۵
۲	تهیه بانک اطلاعاتی جامع وضعیت پایه های هوایی نصب شده در شبکه های توزیع کشور و نحوه پراکندگی آنها بر روی بستر GIS و تحلیل آماری داده ها	۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۱۲
۳	تدوین دانش فنی و ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پایه‌های هوایی شبکه توزیع و ارائه راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها به همراه تدوین یا بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط	۲۸۰۰	۱۴۲۰۰	۱۷۰۰۰	۳۰
۴	اصلاح فرآیندهای طراحی، ساخت و نصب پایه‌های هوایی شبکه توزیع و روشنایی با هدف افزایش کیفیت و عمر مفید آنها به همراه به‌روزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط	۳۴۵۰	۱۷۵۵۰	۲۱۰۰۰	۳۰

۵	نظارت عالیه بر انجام ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق کشور در برابر زلزله و ارائه طرح‌های مقاوم‌سازی	۲۳۰۰	۱۷۷۰۰	۲۰۰۰۰	۳۶
۶	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پست‌های هوایی، زمینی و زیرزمینی شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاوم‌سازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل	۱۵۴۰	۵۲۶۰	۶۸۰۰	۱۸
۷	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در سازه و فونداسیون ساختمان‌های مهم شبکه توزیع (ساختمان کنترل، دیسپاچینگ و مدیریت بحران) شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاوم‌سازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل	۲۱۲۰	۵۳۸۰	۷۵۰۰	۱۸
۸	توسعه ابزارهای کاربردی ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع برق در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان و ریسک	۲۳۷۰	۱۲۴۳۰	۱۴۸۰۰	۱۸
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های شبکه توزیع در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر و تدوین دستورالعملهای مرتبط	۱۵۱۰	۵۹۹۰	۷۵۰۰	۱۲
۱۰	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌های شبکه توزیع در ۵ فیدر توزیع دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر فیدرها بر حسب اولویت	۱۳۲۴۰	۵۱۷۶۰	۶۵۰۰۰	۳۶
۱۱	تدوین دانش فنی و دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون نوعی پایه‌های نوین شبکه توزیع	۱۳۹۰۰	۱۷۹۰۰	۳۱۸۰۰	۳۶
۱۲	بررسی انواع روش های جدید امحاء، بازیافت و بکارگیری مجدد مصالح پایه های توزیع فرسوده	۵۰۰	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۱۸
جمع		۴۴۳۴۰	۱۶۰۴۰۰	۲۰۴۷۴۰	

بر اســـاس جداول فوق، بودجه کل مورد نیاز برای اجرای ســـند حدوداً بالغ بر ۱۳۰۳۸۶۰ میلیون ریال خواهد بود. هزینه کل اجرای سند را می‌توان از سایر جنبه‌ها نیز بصورت زیر تفکیک نمود:

- ۱۵۳۸۵۰ میلیون ریال مربوط به اقدامات غیرفنی و ۱۱۵۰۰۱۰ میلیون ریال مربوط به اقدامات فنی است.
- بودجه اقدامات فنی به تفکیک طرح‌ها بصـــورت ۵۹۶۴۰۰ میلیون ریال در بخش تولید، ۳۴۸۸۷۰ میلیون ریال در بخش انتقال و ۲۰۴۷۴۰ میلیون ریال در بخش توزیع میباشند.
- ۷۸۸۹۲۰ میلیون ریال مربوط به هزینه‌های پرســـنلی (نفرســـاعت) و ۵۱۴۹۴۰ میلیون ریال مربوط به هزینه‌های غیرپرسنلی است.

۵-٤-تقسیم کار ملی (نگاشت‌نهادی مطلوب)

پس از تعیین پروژه‌های اجرایی و محاسبه زمان لازم برای اجرایی شدن هر پروژه، در این بخش با یک نگاشت نهادی مطلوب، مجریان پروژه‌های اجرایی برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی

خواهند شد. جهت شناسایی مجریان انجام هر پروژه، ابتدا می‌بایست کلیه بازیگران در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شوند، لذا برای این کار می‌بایست نگاشت نهادی محیط داخلی و بیرونی ترسیم شده و با تحلیل وضع موجود، وضع مطلوب نهادی ترسیم گردد. در ادامه ابتدا توضیح مختصری در رابطه با نگاشت نهادی و کارکردهای آن آورده شده، سپس نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ترسیم شده است. در انتها نیز متولیان پروژه‌های اجرایی با توجه به نگاشت نهادی مطلوب مشخص شده است.

۵-٤-۱- نگاشت نهادی[1]

از یک سو، تعدد سازمان‌ها و نهادهای خصوصی و دولتی که هر یک به نوعی در توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق نقش‌آفرینی می‌کنند و از سوی دیگر تنوع نقش‌هایی که باید در توسعه این سیستم‌ها ایفا شود نیاز به بررسی و تحلیل دقیق توسعه این سیستم‌ها را از منظر نهادی (ساختاری) نمایان‌تر می‌کند. برای تحلیل وضعیت ساختاری می‌توان از روش‌های مختلفی نظیر نگاشت‌نهادی استفاده کرد، به کمک نگاشت نهادی به‌خوبی می‌توان وضعیت بازیگران مختلف موجود در یک صنعت و وضعیت ایفای نقش آن‌ها را بررسی و تحلیل نمود. نگاشت نهادی، ماتریسی است که در یک بعد سازمان‌ها و نهادهای درگیر در این حوزه و در بعد دیگر انواع نقش‌هایی که این سازمان‌ها به عهده می‌گیرند را نمایش می‌دهد. در واقع تکمیل نگاشت نهادی بدین معناست که هر یک از این سازمان‌ها و نهادها چگونه در این حوزه نقش‌آفرینی می‌کنند. بنابراین با تحلیل نگاشت نهادی موارد زیر را می‌توان دریافت:

- آیا نقشی وجود دارد که متولی نداشته باشد؟
- در یک نقش مشخص چه سازمان‌ها یا نهادهایی فعالیت دارد؟ تعدد سازمان‌ها و نهادها چگونه است؟ در صورت کثرت نهادها آیا نیازی به مدیریت یکپارچه نهادهای فعال وجود دارد؟
- میزان درگیر بودن نهادهای مرتبط و غیرمرتبط در نقش چگونه است؟ آیا نقشی وجود دارد که هیچ نهاد مرتبطی در آن فعالیت ندارد؟
- آیا در نقش مورد نظر، نیاز به وجود نهادی متمرکز احساس می‌شود؟
- آیا نهادهای غیردولتی در نقش مورد نظر می‌توانند جایگزین نهادهای دولتی شوند؟

نگاشت نهادی یکی از ابزارهای مطالعه سیستم نوآوری می‌باشد. نظام ملی نوآوری مجموعه‌ای است از موسسات مجزا که بطور مشترک یا انفرادی به توسعه و انتشار فناوری‌های جدید کمک می‌کنند. این موسسات چهارچوبی فراهم می‌کنند که دولت‌ها بتوانند در آن چهارچوب، سیاست‌هایی جهت تاثیرگذاری بر فرایند نوآوری را شکل داده و اجرا کنند.

در یک سطح عمومی کارکرد اصلی یا کلی نظام‌های نوآوری، تعقیب و انجام فرایندهای نوآوری یا به عبارت دیگر «خلق، اشاعه و بهره‌برداری» از نوآوری‌هاست. بنابراین کارکرد اصلی هر نظام نوآوری تولید، اشاعه و بکارگیری دانش و نوآوری می‌باشد. از نظر ادکویست، عواملی که بر خلق، اشاعه و بهره‌برداری از نوآوری‌ها

[1]- Institutional mapping

تاثیرگذار باشند، فعالیت محسوب می‌شوند. به عنوان مثال تحقیق و توسعه (به عنوان ابزاری برای تولید دانش)، یکی از فعالیت‌های نظام نوآوری است. تامین منابع مالی به‌منظور تجاری‌سازی دانش نیز یک فعالیت می‌باشد.

نگاشت نهادی چارچوبی است که با نمایی ساده و جامع وضعیت موجود سیستم نوآوری را نشان می‌دهد و با بررسی آن می‌توان نقایص موجود در اجزا و روابط میان اجزای سیستم را شناسایی و تحلیل نمود. در این روش سعی می‌شود تا میزان و کیفیت روابط موجود میان نهادها در سیستم نوآوری ترسیم شده و همچنین چگونگی مشارکت میان بخش خصوصی و دولتی تبیین شود. با استفاده از این روش تحلیلی، نقش نسبی هر کدام از بازیگران فعال در نظام ملی نوآوری همچون دولت، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و همچنین بنگاه‌های خصوصی در فرایند نوآوری بدست می‌آید.

۵-٤-۱-۱- انواع نقش‌ها در نگاشت نهادی

کارکردهای اصلی یک نظام ملی نوآوری به چهار دسته اصلی سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری و ارائه خدمات تقسیم می‌شود. در فرایند توسعه صنعتی، یکی از پرسش‌های اساسی این است که کدام مجموعه از تصمیمات سیاست‌گذاری و نهادسازی و نیز اقدامات اجرایی در سطح کلان ملی و در سطح صنعت، به عنوان زمینه‌ساز موفقیت توسعه صنعتی باید مورد توجه قرار گیرد؟ نکته مهم در پاسخ به این سوال آن است که این مجموعه اقدامات، به خودی خود شکل نمی‌گیرد، بلکه نیازمند نقش موثر دولت است. بنابراین تبیین جایگاه و حوزه وظایف دولت در فرآیند توسعه صنعتی به صورت یکی از مباحث جدال‌انگیز ادبیات جدید توسعه درآمده است. در ادامه به تبیین هر یک از نقش‌های چهارگانه پرداخته می‌شود.

الف) سیاست‌گذاری

یک سیاست‌گذار نهادی است که برنامه‌های پی‌گیری شده توسط دولت، کسب و کارها و غیره را تعیین می‌کند. سیاست‌گذاری به صورت فرایندی تعریف شده است که به واسطه آن دولت به منظور ارائه پیامد (تغییرات مطلوب در دنیای واقعی)، چشم‌انداز سیاسی خود را به برنامه و عمل تبدیل می‌کند. لذا سیاست‌گذاری، کارکرد اصلی هر دولت می‌باشد. در واقع، سیاست می‌تواند شکل‌های مختلفی مانند سیاست‌های غیر مداخله‌ای، تنظیم، تشویق تغییرات داوطلبانه (مانند کمک‌های مالی) و ارائه خدمات عمومی به خود بگیرد.

ب)تنظیم‌گری

تنظیم، مجموعه گوناگونی از ابزارهاست که به واسطه آن دولت نیازمندی‌های شرکت‌ها و مردم را تنظیم می‌کند. کارکردهای تنظیم‌کننده بنا به دلایل گوناگونی به وجود آمده‌اند از جمله:

- تعیین حقوق و مسئولیت‌های هر یک از موجودیت‌های جامعه به منظور تحقق اهداف توسعه پایدار
- تنظیم استانداردهای صنعتی
- تعیین و جمع‌آوری مالیات‌ها و دیگر درآمدها و ...

در مجموع سه عامل اصلی بر شکل، کارکرد و دامنه سیاست‌های تنظیم‌گری تاثیر دارند:

۱- اهداف و منابع تنظیم‌گری
۲- ساختار نهادی محیط تنظیم‌گری
۳- شرایط مختلف صنعت در محیط تنظیم‌گری

اهداف مختلف تنظیم‌گری آثار مستقیم مختلفی بر نوع تنظیم‌گری مورد استفاده به جای می‌گذارند. اگر اهداف خاص در تنظیم‌گری مد نظر باشد، شکل، کارکرد و دامنه سیاست‌های تنظیم‌گری نیز تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند. منابع محدود نیز می‌تواند بر ماهیت و طبیعت تنظیم‌گری اثر گذار باشد، این مسئله می‌تواند به واکنشی شدن سیاست‌های تنظیم‌گری بیانجامد.

ساختار نهادی و تشکیلاتی کشورها نیز بر قابلیت‌ها و توانایی‌های سازمان‌های تنظیم‌گر موثر است. در صورتی که محدودیت‌های اعمال شده از سوی حکومت بر نهاد تنظیم‌گر زیاد شود، توانایی‌های این نهاد برای اعمال جرائم و پاداش‌ها نیز کاهش می‌یابد. در شرایطی که فناوری‌های موجود در بازار، رقابت را میان عرضه‌کنندگان افزایش دهد، توانایی‌های تنظیم‌گران نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در این حالت‌ها تقاضاکنندگان در بازار نیز از قدرت خرید بالایی برخوردار هستند و عملا سیاست‌های دستور و کنترل نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد.

ج) تسهیل‌گری

سازمان‌های محلی یا بین‌المللی هستند که معمولا توسط دولت سرمایه‌گذاری می‌شوند و هدف آن توسعه و بهبود بازار خدمات می‌باشد. یک تسهیل‌کننده، تامین‌کنندگان خدمات را از طریق ایجاد محصولات خدماتی جدید، ارتقاء تجارب مفید و ایجاد ظرفیت حمایت می‌کند. به علاوه، تسهیل‌کننده می‌تواند بر طرف تقاضا از طریق آموزش صنایع کوچک درباره مزایای خدمات یا فراهم کردن محرک‌هایی برای امتحان آن‌ها نیز متمرکز شود. کارکردهای دیگر یک تسهیل‌کننده شامل ارزیابی خارجی تاثیر تامین‌کنندگان خدمات، تضمین خدمات و حمایت برای محیط سیاسی بهتر می‌باشد. عمل تسهیل، کارکردی است که به طور معمول توسط سازمان‌های توسعه‌گرا انجام شده و می‌تواند شامل سازمان‌های غیردولتی، انجمن‌های صنعتی و کارفرمایان و عامل‌های دولتی باشد. در مجموع نقش تسهیل‌گری دارای زیرنقش‌های زیر می‌باشد:

- تسهیل‌گری در بعد فناوری
- تسهیل‌گری منابع دانشی
- تسهیل‌گری منابع مالی
- تسهیل‌گری ظرفیت سازی و ترویج
- تسهیل‌گری توسعه ارتباطات

د) ارائه‌دهنده کالا و خدمات

- ارائه‌کننده خدمات آمورشی و پژوهشی: تأمین‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی شامل دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مؤسساتی هستند که در زمینه آموزش و پژوهش در حوزه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت می‌کنند.
- ارائه‌کننده خدمات صنعتی: شامل شرکت‌هایی هستند که در زمینه تولید یا تأمین تجهیزات مورد نیاز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت می‌کنند.

۵-٤-۱-۲- مراحل طراحی نگاشت نهادی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد ارائه شده در رابطه با نگاشت نهادی و کارکردهای اصلی آن، در این بخش مراحل اصلی طراحی نگاشت نهادی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ارائه می‌گردد.

الف) شناسایی سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در کشور

نهادهای اصلی مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق از طریق جستجو و بررسی اسناد، مدارک و گزارش‌های داخلی شناسایی شدند و سپس با مطالعه ساختار سازمانی هر یک از سازمان‌ها و مطالعه شرح وظایف و اهداف در نظرگرفته شده برای سازمان‌ها و نهادهای تابعه و وابسته هر یک از آن‌ها نهادهای مختلف فعال در زمینه کارکردهای نظام نوآوری مورد شناسایی قرارگرفت. بر اساس مطالعات صورت گرفته، کنش‌گران شناسایی شده در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق شامل موارد زیر می‌باشد که در پیوست ۳ توضیحی از وظایف هر کدام ارائه شده است.

۱- وزارت نیرو
۲- معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)
۳- معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (وزارت نیرو)
٤- معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی (وزارت نیرو)
٥- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)
٦- دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد
۷- دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)
۸- شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق (توانیر)
۹- معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)
۱۰- دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر)
۱۱- دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)
۱۲- دفتر امور تحقیقات برق (معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر)
۱۳- پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)
۱٤- شرکت مادرتخصصی تولید برق حرارتی
۱٥- دفتر تحقیقات و ساخت داخل (شرکت برق حرارتی)
۱٦- سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق-ساتبا (وزارت نیرو)
۱۷- مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)
۱۸- دفتر گسترش آموزش عالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۱۹- پارک‌های علم و فناوری (ریاست جمهوری)
۲۰- بانک‌ها و صندوق‌های مالی
۲۱- انجمن‌های علمی
۲۲- سندیکاها و انجمن‌های صنفی
۲۳- دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
۲٤- شرکت‌های مشاوره‌ای

۲۵- شرکت‌های توزیع برق
۲۶- شرکت‌های برق منطقه‌ای
۲۷- شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)
۲۸- نیروگاه‌های خصوصی و تجدیدپذیر
۲۹- شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات پایش سلامت سازه

ب) شناخت روابط میان بنگاهی بین نهادهای موجود درحوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق:

در این بخش، تلاش شده‌است تا ضمن شناسایی و بررسی تعاملات موجود میان نهادهای مختلف و توجه به کارکرد اصلی آن‌ها در نظام توسعه این فناوری، نقاط ضعف، کاستی‌ها وگسستگی‌ها در این زمینه مشخص شود. کارکردهایی که با توجه به نظام نوآوری در نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به کار برده شده است شامل: سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری، ارائه‌دهنده کالا و خدمات (آموزشی، پژوهشی و صنعتی) می‌باشد.

ج) تهیه ماتریس نهاد-کارکرد برای وضع موجود

باتوجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در مراحل قبل می‌توان ماتریس نهاد-کارکرد را در حوزه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق تهیه کرد. همان گونه که از نام این ماتریس مشخص است دو عامل، نهادهای مختلف و کارکردهای شناسایی شده بر اساس ادبیات نظام نوآوری در کنار هم آمده‌اند.

۵-٤-۱-۳- تحلیل نگاشت نهادی

در این نگاشت ابتدا بازیگران و ذینفعان اصلی تاثیرگذار در توسعه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق شناخته شده است و در ادامه کارکردهای اصلی هرکدام از این ذینفعان در توسعه این فناوری با توجه به چهار کارکرد اصلی ذکر شده مشخص شده است. در نگاشت نهادی، ۲۸ گروه تاثیرگذار اصلی شناسایی شده است که در ابتدا اهداف و وظایف هر یک بررسی شده است و سپس نگاشت نهادی کلی توسعه این فناوری بر اساس این وظایف و اهداف در جدول ۸-۵ بیان شده است که در این جدول نقشی که هر بازیگر در توسعه این فناوری متولی آن است، مشخص شده است.

با توجه به نگاشت ترسیم شده، هر چند نهادها و سازمان‌های مختلفی با کارکردهای مختلف سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری و ارائه کالا و خدمات در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق فعال هستند ولی نارسایی‌ها و خلاهایی نیز در این نگاشت نهادی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد.

یکی از ضعف‌های نگاشت نهادی وضع موجود، عدم وجود یک نهاد متمرکز در حوزه فناوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. ایجاد یک نهاد با عنوان مرکز توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق، که علاوه بر مشارکت با نهادهای سیاست‌گذار، دارای نقش تنظیم‌گری و تسهیل‌گری نیز باشد، می‌تواند به توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق کمک کند. این نهاد می‌تواند نقش تنظیم‌گر و تسهیل‌گر را ایفا کند.

نارسایی دیگری که در نگاشت نهادی وضع موجود در حوزه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق وجود دارد، عدم وجود یک انجمن یا تشکل مستقل در این حوزه می‌باشد. این انجمن می‌تواند ضمن مشارکت و همفکری با مراکز تصمیم گیری دولت در تدوین آیین نامه‌ها و مقررات مرتبط در توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق حمایت کند. با توجه به ظرفیت‌های موجود در انجمن‌های تعمیرات و نگهداری، انجمن مهندسی عمران و انجمن مهندسی مکانیک پیشنهاد می‌گردد، بحث پایش سلامت به عنوان یکی از حوزه‌های اصلی به حوزه‌های کاری یکی از انجمن‌های اشاره شده اضافه گردد.

جدول ۸-۵- نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

کارکرد / نهاد	سیاست‌گذاری	تنظیم‌گری	تسهیل‌گری	ارائه دهنده کالا و خدمات		
				آموزشی	پژوهشی	صنعتی
وزارت نیرو	❊	❊	❊			
معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)	❊	❊				
معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (وزارت نیرو)	❊	❊				
معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی (وزارت نیرو)	❊	❊	❊			
دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)		❊				
دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد		❊				
دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)			❊			
شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق (توانیر)	❊					
معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)		❊	❊			
دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر)		❊	❊			
دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)		❊	❊			
دفتر امور تحقیقات برق (معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر)			❊			
پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)			❊	❊	❊	
شرکت مادرتخصصی تولید برق حرارتی	❊					

کارکرد / نهاد	سیاست‌گذاری	تنظیم‌گری	تسهیل‌گری	ارائه دهنده کالا و خدمات		
				آموزشی	پژوهشی	صنعتی
دفتر تحقیقات و ساخت داخل (شرکت برق حرارتی)		❊	❊			
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق- ساتبا	❊	❊	❊			
مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)			❊			
دفتر گسترش آموزش عالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری		❊				
پارک‌های علم و فناوری (ریاست جمهوری)			❊			
بانک‌ها و صندوق های مالی			❊			
انجمن های علمی			❊			
سندیکاها و انجمن‌های صنفی			❊			
دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی و پژوهشی				❊	❊	
شرکت‌های مهندسی (مشاوره‌ای)					❊	❊
شرکت‌های توزیع برق						❊
شرکت‌های برق منطقه‌ای						❊
شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق(نیروگاه‌ها)						❊
نیروگاه‌های خصوصی و تجدیدپذیر						❊
شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات پایش سلامت سازه						❊

۵-۴-۲- تخصیص متولیان اقدامات

با توجه به نگاشت نهادی ترسیم شده، می‌توان مجریان هر یک از اقدامات را شناسایی کرد. در این راستا و به منظور شناخت مجریان بالقوه، با در نظر گرفتن میزان همسویی اقدام با مأموریت مجری، توان علمی و فنی، توان انسانی و مدیریتی و... مجریان فعال هر اقدام مشخص خواهد شد. در ادامه با توجه به موارد اشاره شده متولیان شناسایی شده برای انجام پروژه‌های فنی در جدول ۹-۵ الی جدول ۱۱-۵ ارائه شده است.

جدول ۹-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش تولید برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های نیروگاهی	دانشگاه‌ها
۲	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه سیستم خنک‌کن نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان
۳	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در فونداسیون توربین-ژنراتور نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	
۴	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های توربین هال، بویلر و HRSG نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	
۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در مخازن ذخیره سوخت نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	
۶	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	
۷	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های نگهدارنده دودکش و لوله‌ها (پایپ رک‌ها) و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	
۸	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در برابر مخاطرات محیطی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های نیروگاهی در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	
۱۰	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۳ نیروگاه حرارتی دارای اولویت و نظارت بر پیاده سازی در سایر نیروگاه بر حسب اولویت	شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی (واحدهای تحقیق و توسعه)
۱۱	ارائه راهکارهای فنی و مدیریتی برای بهینه سازی ساخت سازه های نیروگاه های حرارتی با هدف کاهش زمان و هزینه ساخت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی
۱۲	مطالعات نیازسنجی در حوزه دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های بومی برای طراحی سازه‌های نیروگاهی و تدوین دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مورد نیاز	پژوهشگاه نیرو (گروه سازه‌های صنعت برق)
۱۳	تدوین دانش فنی شناسایی و پایش اثرات فرونشست زمین بر نیروگاه‌های حرارتی، ارائه راهکارهای ایمن‌سازی و پیاده سازی در ۳ نیروگاه دارای اولویت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱۴	رتبه بندی نیروگاه های حرارتی کشور بر اساس ریسک زلزله، ارزیابی آسیب پذیری و ارائه راهکارهای ایمن سازی سازه های مهم در ۳ نیروگاه دارای اولویت در برابر خطر زلزله	زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی
۱۵	توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در برج و فونداسیون توربین‌های بادی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان
۱۶	توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید برج و فونداسیون توربین‌های بادی در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی	
۱۷	پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۵ توربین بادی دارای اولویت	شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی (واحدهای تحقیق و توسعه)
۱۸	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد کامپوزیت در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۱۹	مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد نانوساختار در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی	

جدول ۱۰-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	ارزیابی ریسک های موجود در سازه های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه	پژوهشگاه نیرو (گروه سازه‌های صنعت برق)
۲	امکانسنجی، طراحی، ساخت و آزمون دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره آویزی انتقال	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی (واحدهای تحقیق و توسعه)
۳	طراحی، ساخت و انجام آزمونهای استاندارد یک نمونه مقره خودکراس آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت آویزی	
۴	بررسی فنی و اقتصادی ساخت دکلهای موقت شبکه انتقال نیرو با مصالح کامپوزیت و آلومینیوم و طراحی، ساخت و آزمون رده ولتاژی ۶۳-۱۳۲ و ۲۳۰-۴۰۰ با توجه به انتخاب گزینه برتر	
۵	تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۶	جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه‌های خطوط و پست‌های انتقال و فوق‌توزیع (در حال بهره‌برداری و طرح توسعه آتی)	
۷	بررسی و ارائه راهکارهای جلوگیری از سرقت نبشی دکل‌های مشبک خطوط انتقال نیرو	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان،
۸	تدوین ضوابط و الزامات طراحی، ساخت، بهره برداری و آزمون های دکلهای بتنی خطوط انتقال و فوق توزیع	

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
		شرکت‌های مهندسی (واحدهای تحقیق و توسعه)
۹	مقاوم سازی دکل های انتقال و فوق توزیع نیرو جهت افزایش ظرفیت سطح ولتاژ خطوط	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان،
۱۰	تدوین دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون کراس آرم کامپوزیتی دکلهای خطوط انتقال	
۱۱	بررسی فنی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ترانس‌های جریان و ولتاژ و ارائه راهکارهای مقاومسازی برای ارتقای عملکرد لرزه‌ای آنها	
۱۲	تحلیل داده های خسارات وارد شده به سازه های شبکه انتقال برق (ناشی از مخاطرات جوی، زمینی و انسانی منجر شده به ترمیم و یا تعویض در کشور) به منظور اولویت بندی اجرا و طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه و جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال برق	پژوهشگاه نیرو
۱۳	طراحی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و ارائه راهکارهای مقاوم سازی پست های انتقال و تدوین دستورالعمل های مرتبط و اجرای پایلوت	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان،
۱۴	اجرای پایلوت ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت انتقال برق و ارائه راهکارهای مقاوم سازی	
۱۵	افزایش تاب آوری و بهبود چرخه عمر سازه های خطوط انتقال نیرو با بکارگیری مواد نانوساختار و اجرای نمونه پایلوت	
۱۶	امکان سنجی و بررسی گزینه‌های مختلف سرپوشیده نمودن پست‌های انتقال با رویکرد پدافند غیر عامل و حفاظت از مخاطرات محیطی و اجرای یک نمونه پایلوت ۱۳۲کیلوولت	

جدول ۱۱-۵- متولیان پروژه‌های مربوط به طرح پایش سلامت سازه‌های بخش توزیع برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه‌های شبکه توزیع	پژوهشگاه نیرو (گروه سازه‌های صنعت برق)
۲	تهیه بانک اطلاعاتی جامع وضعیت پایه های هوایی نصب شده در شبکه های توزیع کشور و نحوه پراکندگی آنها بر روی بستر GIS و تحلیل آماری داده ها	پژوهشگاه نیرو (گروه سازه‌های صنعت برق)
۳	تدوین دانش فنی و ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پایه‌های هوایی شبکه توزیع و ارائه راهکارهای تعمیر و مقاومسازی آنها به همراه تدوین یا بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان
۴	اصلاح فرآیندهای طراحی، ساخت و نصب پایه‌های هوایی شبکه توزیع و روشنایی با هدف افزایش کیفیت و عمر مفید آنها به همراه به‌روزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط	
۵	نظارت عالیه بر انجام ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق کشور در برابر زلزله و ارائه طرح‌های مقاومسازی	پژوهشگاه نیرو (گروه سازه‌های صنعت برق)

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۶	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در پست‌های هوایی، زمینی و زیرزمینی شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاوم‌سازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، شرکت‌های دانش‌بنیان
۷	ارائه روش‌های تشخیص آسیب‌ها، ارزیابی وضعیت و تخمین عمر مفید در سازه و فونداسیون ساختمان‌های مهم شبکه توزیع (ساختمان کنترل، دیسپاچینگ و مدیریت بحران) شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای تعمیر و مقاوم‌سازی آنها به همراه تدوین دستورالعمل	
۸	توسعه ابزارهای کاربردی ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع برق در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان و ریسک	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه زلزله، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۹	توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های شبکه توزیع در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر و تدوین دستورالعملهای مرتبط	
۱۰	پیاده سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌های شبکه توزیع در ۵ فیدر توزیع دارای اولویت و نظارت بر پیاده سازی در سایر فیدرها بر حسب اولویت	شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی (واحدهای تحقیق و توسعه)
۱۱	تدوین دانش فنی و دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون نوعی پایه‌های نوین شبکه توزیع	دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، شرکت‌های دانش‌بنیان، شرکت‌های مهندسی
۱۲	بررسی انواع روش های جدید امحاء، بازیافت و بکارگیری مجدد مصالح پایه های توزیع فرسوده	

۵-۵-ترسیم ره‌نگاشت

آخرین گام در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی تدوین ره‌نگاشت است. ره‌نگاشت نمایانگر ارکان اساسی فرآیند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی می‌باشد. نمایش کلیه سطوح راهبردی از چشم‌انداز تا فعالیت‌ها، تقدم و تأخر حاکم در سطوح مختلف به‌ویژه در سطح اقدامات، زمان‌بندی تحقق هر سطح به همراه منابع اختصاص یافته و در نهایت معرفی متولیان هر یک از سطوح اجزای تشکیل‌دهنده ره‌نگاشت می‌باشند.

تجربه انجام پروژه‌های تدوین برنامه استراتژیک در سازمان‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از این استراتژی‌ها یا هیچگاه پیاده نشده‌اند و یا در مسیر پیاده‌سازی با موانع زیادی روبرو شده‌اند. در بررسی علل این موضوع دو دلیل عمده قابل تأمل است. اول اینکه سازمان‌ها معمولاً با قابلیت‌های مدیریتی اداره می‌شوند. حال آنکه پیاده‌سازی استراتژی در کنار توانمندی‌های مدیریتی نیازمند برنامه می‌باشد. دلیل دوم این امر، وجود شکافی است که بین لایه استراتژیک و لایه عملیاتی سازمان‌ها وجود دارد. آنچنان‌که در بسیاری از موارد، در حالی که استراتژی‌های ارزشمندی بر روی کاغذ آمده‌اند، تصمیمات و برنامه‌های اجرایی بدون توجه به استراتژی‌ها و سیاست‌ها به اجرا گذاشته می‌شود. هرچند این دو عامل تا اندازه زیادی با هم مرتبط است ولی فقدان یک سازوکار مناسب برای تبدیل استراتژی به برنامه و اهداف عملیاتی و روزمره نیز یک علت اصلی در ایجاد این شرایط به شمار می‌آید. بنابراین مرحله پایانی (و یا یکی از مراحل پایانی) در فرایند برنامه‌ریزی استراتژیک، تدوین برنامه عملیاتی است که

یکی از مهمترین دستاوردها در این مرحله، تهیه نقشه راه می‌باشد که نمایانگر ارکان اساسی فرایند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی اصلی فرایند برنامه‌ریزی است. هر چند باید تاکید کرد که هیچ گاه رهنگاشت نمی‌تواند جای راهبر را بگیرد و کلید به کارگیری این الگو در پیاده‌سازی استراتژی قابلیت‌های هنرمندانه راهبری است. آنچنانکه استفاده از تکنیک‌ها و متدولوژی‌های تدوین و پیاده‌سازی استراتژی در فقدان قابلیت‌هـــای راهبری نمی‌تواند به تحول سازمانی منجر شود.

نظر به اهمیت تهیه رهنگاشـت در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی، در ادامه به ارائه تعاریف دقیق‌تری از رهنگاشـت پرداخته و مولفه‌ها و شاخص‌های مورد توجه در تهیه رهنگاشت را بیان می‌کنیم.

تعاریف: در تلاش برای توصیف هر چه دقیق‌تر و کاربردی‌تر مفهوم رهنگاشت، تعاریف متعددی ارائه شده است. در تعریفی نسـبتاً تفصـیلی، رهنگاشـت ابزار مناسـبی جهت ایجاد ارتباط بین فعالیت‌های اسـتراتژیک و طرح‌های کسب و کار سازمان محسوب می‌شود. همچنین تعاریف ذیل در تفسیر مفهوم رهنگاشت ارائه شده است:

الف) رهنگاشـت ابزاری اسـت برای ارتباط بین چشـم‌انداز، ارزش‌ها و اهداف با اقدامات اسـتراتژیکی که برای تحقق اهداف مورد نیاز است.

ب) رهنگاشـــت جدولی زمانی اســـت که بخش‌های مختلف یک برنامه کاری را تعریف نموده و در عین حال سررسیدهای[1] موجود در مسیر را نیز شامل می‌شود.

ج) رهنگاشت برنامه‌ای است برای شناسایی مسیر آینده که آنچه باید در آینده توسعه یابد را در بستر زمان نشان می‌دهد.

د) رهنگاشـت آنچه را که باید در بین زمان‌های سـررسـید از زمان حال تا زمان تحقق هدف انجام شـود نشـان می‌دهد.

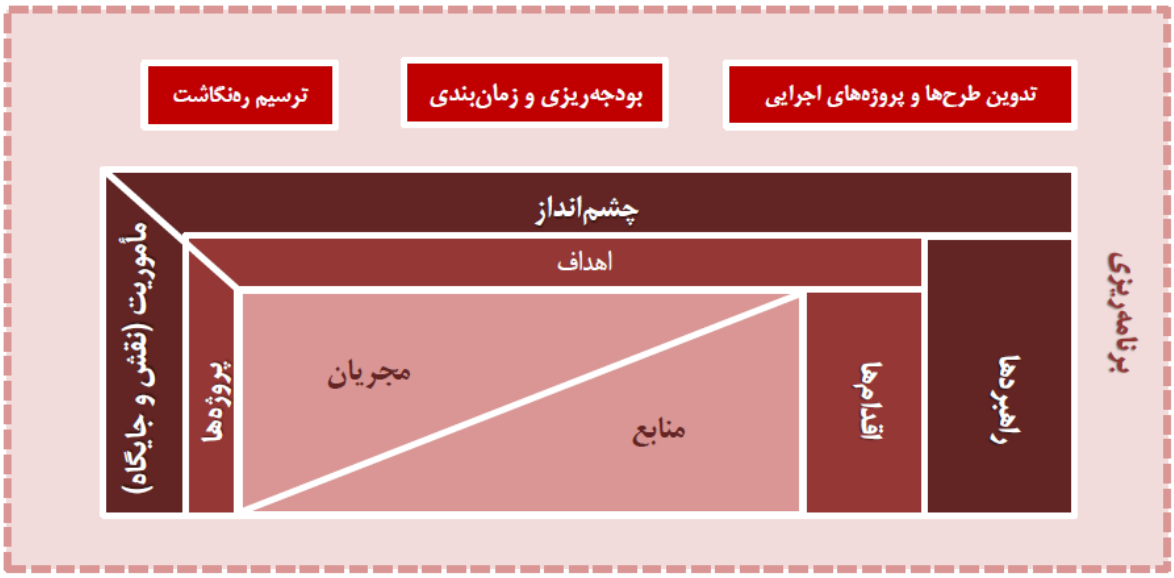
ه) رهنگاشت مجموعه‌ای است که شامل اهداف کمی و کیفی، استراتژی‌ها و تاکتیک‌ها (اقدامات، فعالیت‌ها و شاخص‌ها) بوده و بازه‌های زمانی و مجریان در نظر گرفته شده برای انجام این اقدامات را نشان می‌دهد.

لذا برای رسیدن به هدف، رهنگاشت باید سطح مطلوب و مناسبی از جزئیات را در برگرفته تا در مجموع ابزار توانمندی را برای هدایت فعالیت‌ها در طول زمان در اختیار مدیران سازمان قرار دهد.

اگر چه برخی تعاریف کارکردهایی همچون توجیه اقتصـــادی اقدامات و معرفی پیچیدگی‌های موجود بین زیر سـیسـتم‌های زیرسـاخت‌ها را نیز از مولفه‌های یک رهنگاشـت می‌دانند، اما برخی تعاریف سـعی در هر چه واقعی‌تر کردن انتظارات کاربران از کارکردهای رهنگاشت دارند و بیان می‌کنند همانطور که رهنگاشت نباید در صدد تشریح استراتژی‌ها برآید، نباید بصورت جزیی به تشریح زیر ساخت‌های فنی لازم در پیاده‌سازی یک فناوری اشاره کنند.

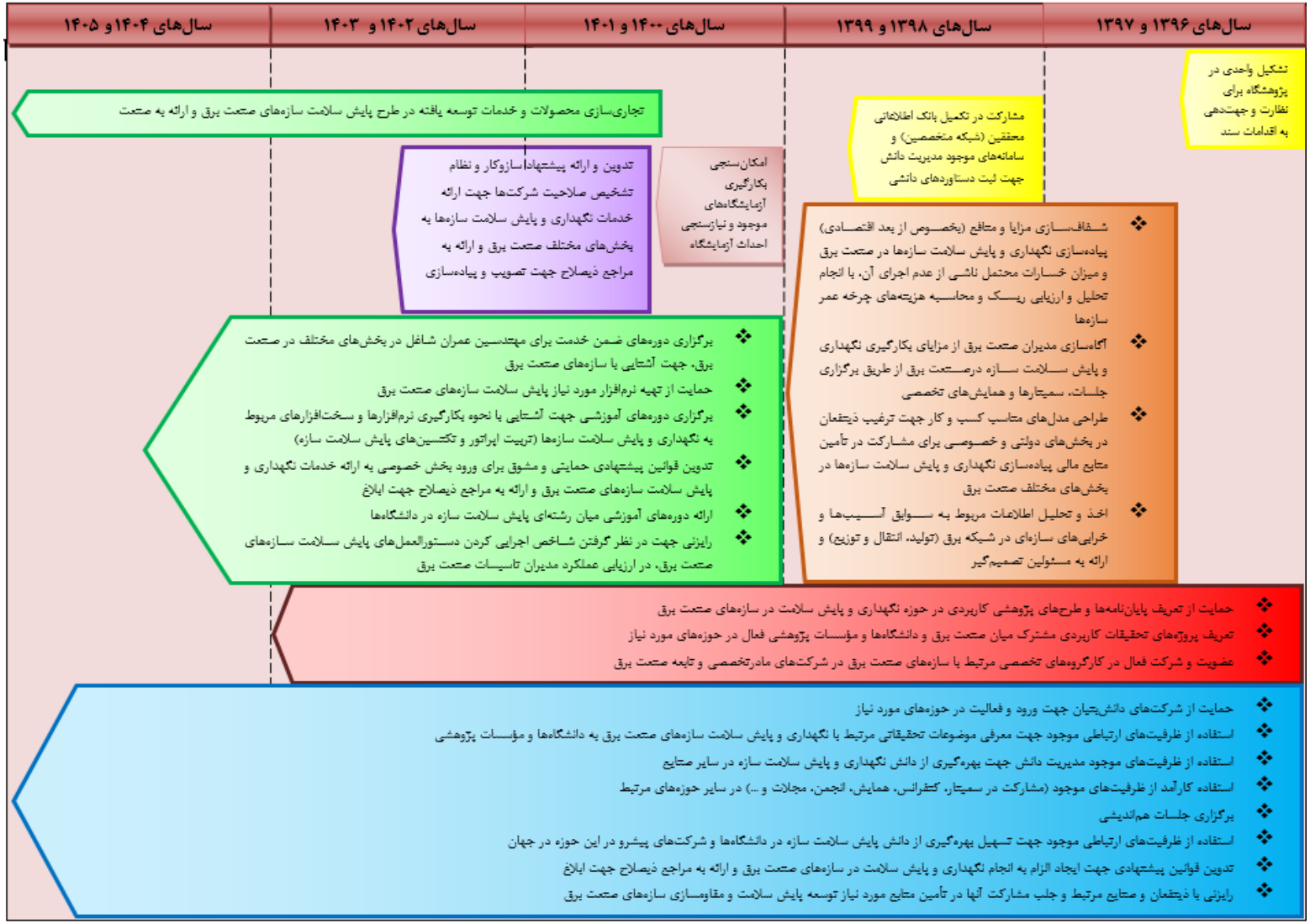
در یک جمع‌بندی، می‌توان اینگونه بیان نمود که رهنگاشت، نمایش کلانی از روش پیمودن مسیر تحقق اهداف را در زمان مشـخص بیان می‌کند. اگر چه اسـتفاده از مشـخصـه‌هایی همچون شـاخص تحقق اقدام، مجری و نقاط خاص[2] موجود در مسیر، به توصیف هر چه روشن‌تر این مسیر کمک می‌کند. لذا به نظر می‌رسد در نخستین گام، ترسیم گام‌های اصلی در مسیر پیاده‌سازی استراتژی لازم و ضروری است. شکل زیر بیانگر ارتباط میان اجزای مختلف برنامه عملیاتی است. [۲]

[1] -Deadline
[2]- Milestone

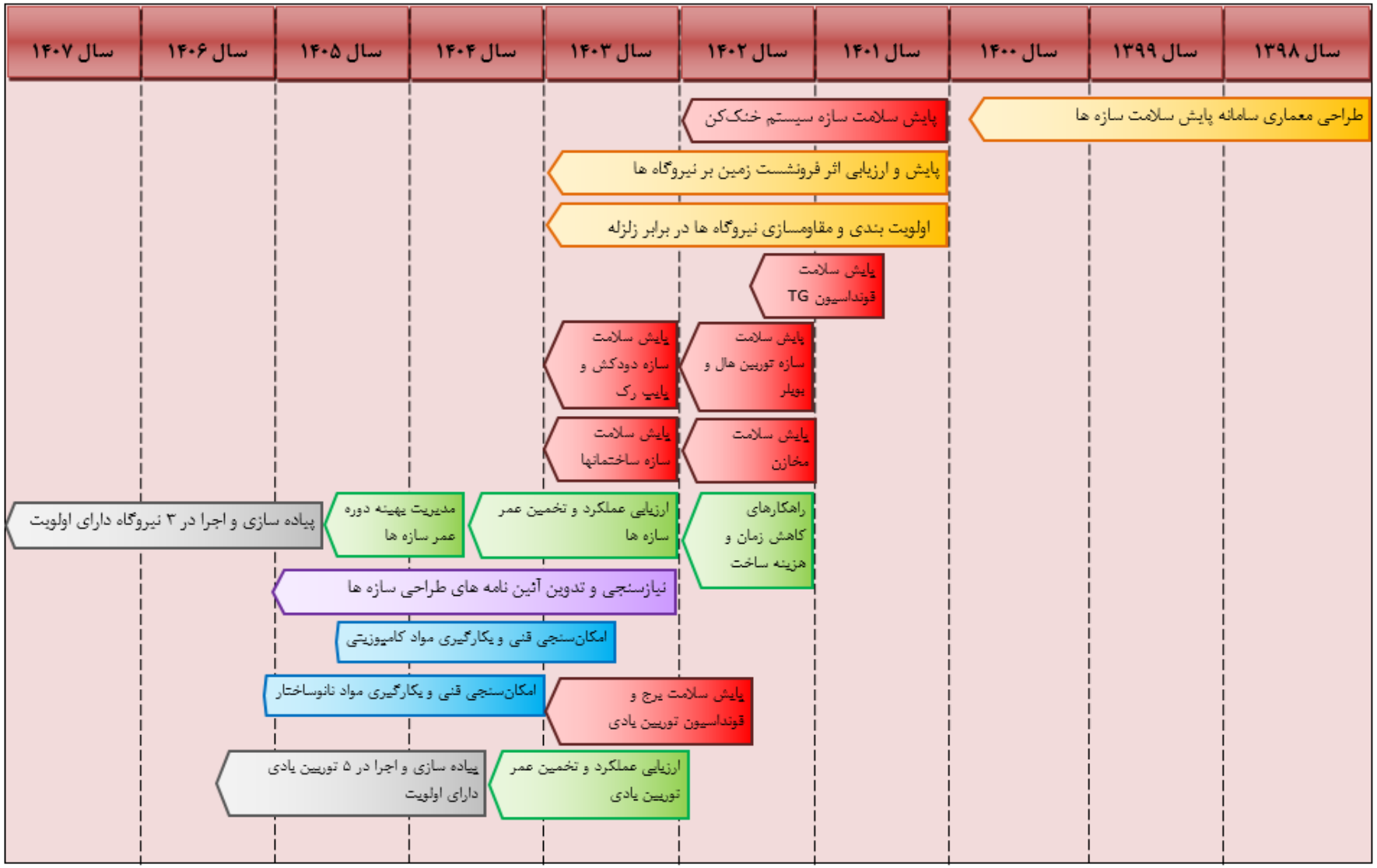


شکل ۳-۵- اجزای مختلف برنامه عملیاتی [۲]

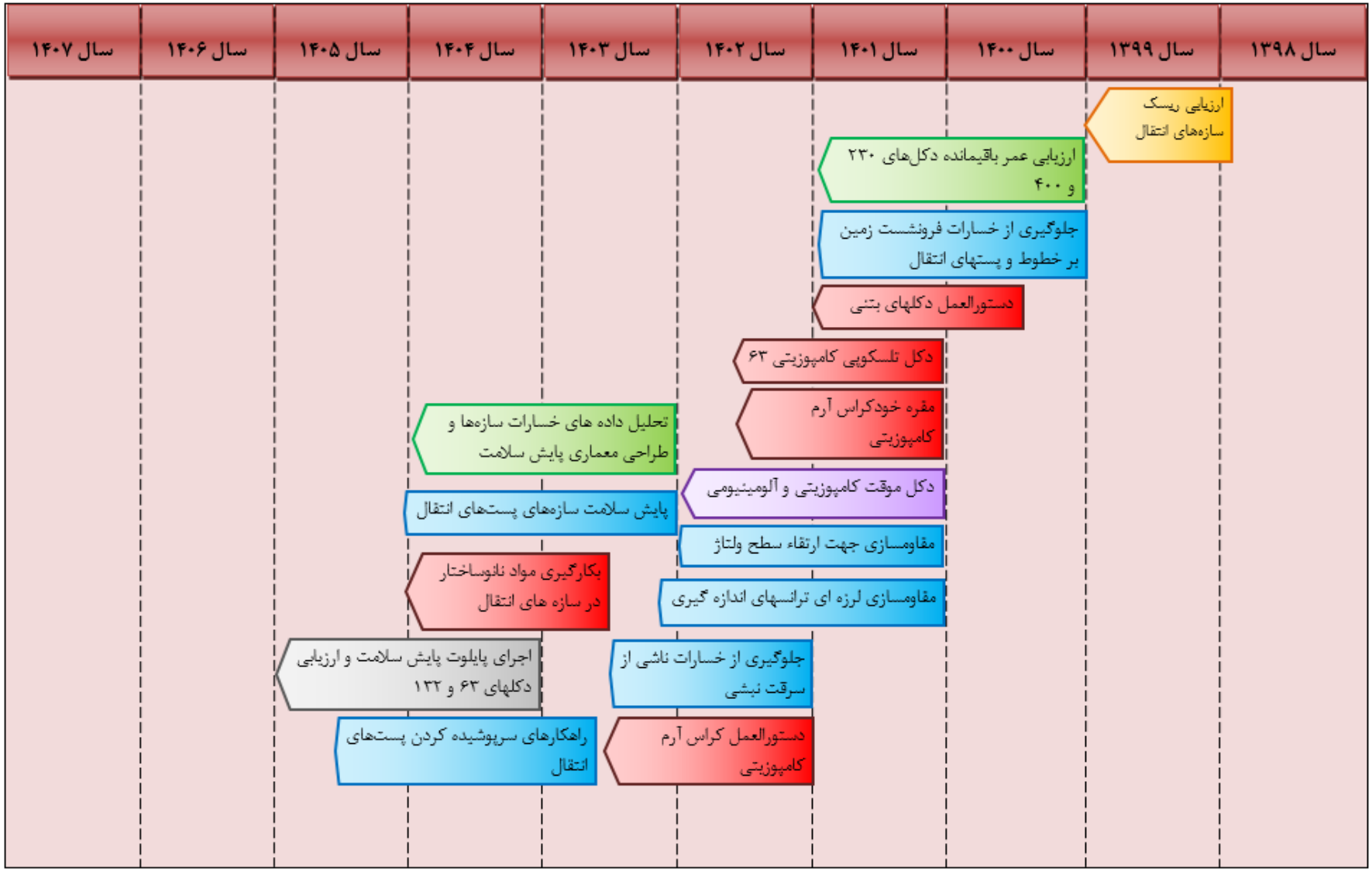
با توجه به موارد ذکر شده در بخش‌های قبل، رهنگاشت‌های توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق در افق زمانی ۱۰ ساله ترسیم شده است. این رهنگاشت‌ها شامل نقشه راه توسعه نظام نوآوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق (مبتنی بر اقدامات غیرفنی) و نیز نقشه راه طرح‌های سه‌گانه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق (مبتنی بر اقدامات فنی و پروژه‌ها در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق) است. این رهنگاشت‌ها در شکل ۴-۵ الی شکل ۷-۵ نشان داده شده‌اند. در این رهنگاشت‌ها، عناوین اقدامات غیرفنی و پروژه‌های فنی مورد نیاز (به تفکیک در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع) به همراه بازه زمانی انجام و تقدم و تأخر آنها بصورت ترسیمی در افق زمانی ۱۰ ساله سند مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۵- رەنگاشت اقدامات غیرفنی توسعه نظام نوآوری پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

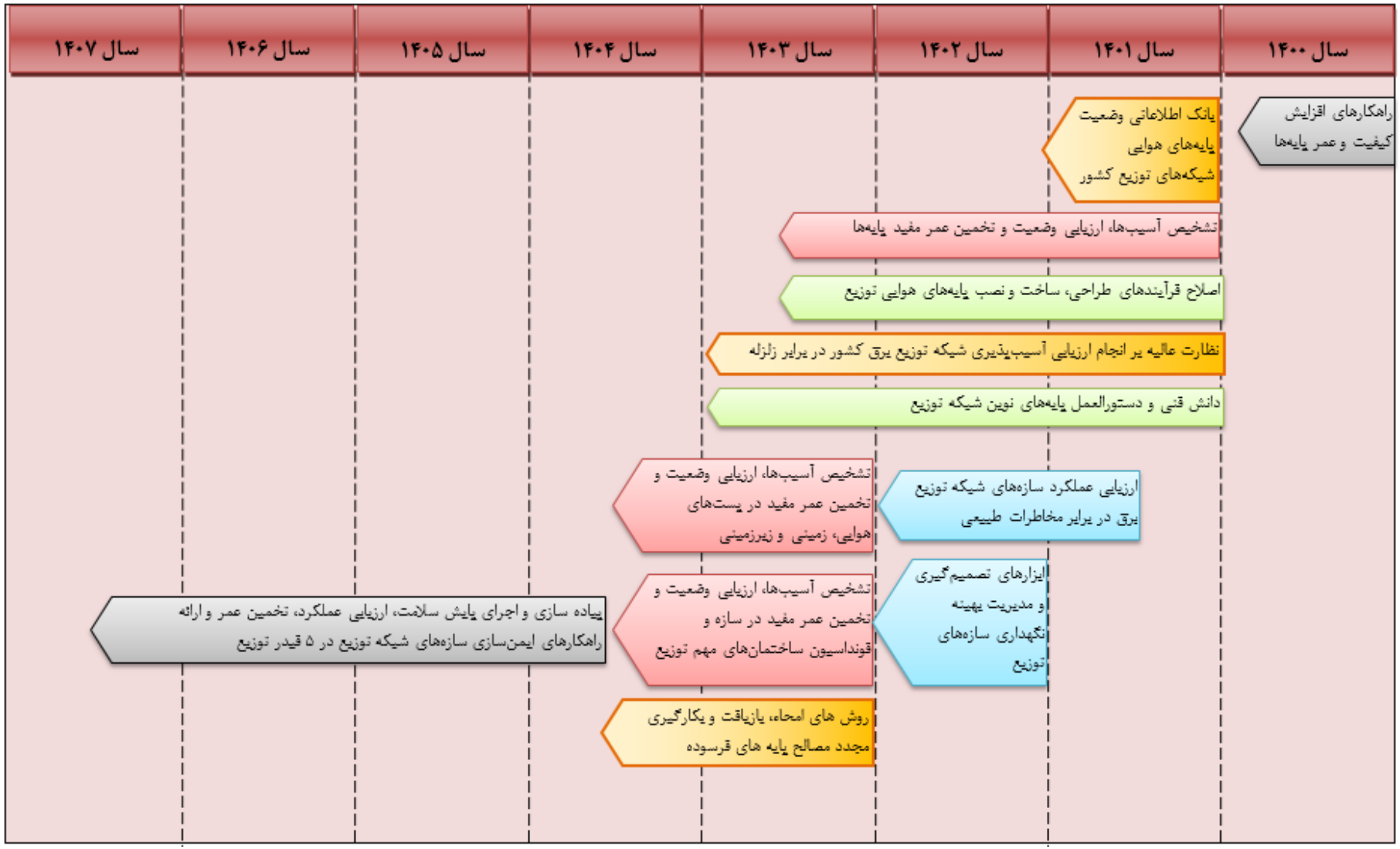


شکل ۵-۵- رەنگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش تولید برق



شکل ۶-۵- رەنگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش انتقال و فوق‌توزیع

DOI:



شکل ۷-۵- رەنگاشت پروژه‌های طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش توزیع برق

۵-۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش، برنامه عملیاتی سند و نقشه راه توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق، تدوین و ارائه شد. این برنامه عملیاتی شامل فهرست پروژه‌ها، زمان‌بندی و بودجه مورد نیاز آنها است. در این گزارش ابتدا فرآیند تدوین پروژه‌های اجرایی سند بر اساس اقدامات شناسایی شده در مرحله چهارم توضیح داده شد. با توجه به سطح اقدامات غیرفنی تصمیم گرفته شد تا این اقدامات به سطح پایینتر شکسته نشود. اما اقدامات فنی سند در قالب سه طرح مجزا در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع به پروژه‌های اجرایی تقسیم شد. پس از این مرحله، زمان‌بندی و بودجه‌ریزی مربوط به اقدامات و پروژه‌ها انجام و در جدول ۴-۵ الی جدول ۷-۵ ارائه شدند. با توجه به شکسته نشدن اقدامات غیر فنی، زمان و هزینه برای اقدامات تعیین شد. بودجه کل مورد نیاز برای اجرای سند حدوداً بالغ بر ۱۳۰۳۸۶۰ میلیون ریال خواهد بود که ۱۵۳۸۵۰ میلیون ریال مربوط به اقدامات غیرفنی و ۱۱۵۰۰۱۰ میلیون ریال مربوط به اقدامات فنی است. همچنین بودجه اقدامات فنی به تفکیک طرح‌ها بصورت ۵۹۶۴۰۰ میلیون ریال در بخش تولید، ۳۴۸۸۷۰ میلیون ریال در بخش انتقال و ۲۰۴۷۴۰ میلیون ریال در بخش توزیع می‌باشند. در گام بعدی فرآیند برنامه‌ریزی عملیاتی، متولیان بالقوه برای انجام اقدامات و پروژه‌ها مشخص و در جدول ۹-۵ الی جدول ۱۱-۵ ارائه شدند. برای این کار ابتدا وضعیت موجود نهادهای مرتبط با توسعه فناوری‌های پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌ها مشخص و نگاشت نهادی تهیه شد. (جدول ۸-۵) در نهایت با توجه به این که اقدامات به دو دسته فنی و غیر فنی تقسیم شده‌اند، دو دسته رهنگاشت (نقشه راه) برای اقدامات غیرفنی (شکل ۴-۵) و پروژه‌های فنی (شکل ۵-۵ الی شکل ۷-۵) توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق در بازه ۱۰ ساله (افق زمانی سند) ترسیم شدند.

پیوست ۱: شناسنامه اقدامات غیر فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

اقدام ۱: حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان‌طور که در فاز چهارم پروژه اشاره گردید، به علت جدید بودن مبحث پایش سلامت سازه و بالاخص پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق در کشور، حجم کارهای پژوهشی و تحقیقاتی صورت گرفته در کشور در این حوزه نسبتاً کم می‌باشد لذا می‌بایست سازوکاری اندیشیده شود که از تعریف پایان‌نامه و طرح‌های پژوهشی در این حوزه حمایت گردد. حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد، دکتری و طرح پژوهشی مرتبط با فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌تواند به صورت حمایت‌های مالی باشد که این حمایت در۴ حوزه قابل انجام است:

- حمایت مالی از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد به صورت کمک نقدی به دانشجو که البته در دو نوع مطالعاتی و کاربردی صورت می گیرد و میزان کمک به پایان‌نامه‌های کاربردی بیش از مطالعاتی می‌باشد.
- حمایت مالی از پایان‌نامه‌های دکتری به صورت کمک نقدی به دانشجو
- حمایت مالی از طرح‌های پژوهشی تعریف شده در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
- حمایت تشویقی از صنعتی شدن دستاوردهای پایان‌نامه‌ها بطوریکه در مواردی که پایان نامه کاملاً در صنعت قابل اجراست فرد، مبلغی را به عنوان تشویقی دریافت کند.

به منظور ارتقای سطح پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه و جلوگیری از هدر رفت هزینه و انرژی حمایت از پایان‌نامه‌ها و طرح‌ها باید به صورت گزینشی انجام پذیرد و با بررسی موضوعات مختلف مرتبط با پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، موضوعات کاربردی که نیاز اصلی صنعت برق بوده شناسایی شده و حمایت‌ها در محدوده این موضوعات صورت گیرد. سپس جهت اطمینان از اجرایی شدن نتایج این تحقیقات در صنعت، پیگیری‌ها و حمایت‌های لازم می‌بایست توسط سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، تا عملیاتی شدن این طرح‌ها صورت پذیرد. در راستای اجرای این اقدام فعالیت‌های مختلفی باید انجام شود، که لیست این فعالیت‌ها در جدول زیر ارائه شده است:

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی موضوعات دارای اولویت مربوط به پایش سلامت سازه در صنعت برق و ارائه آنها به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی
۲	حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد
۳	حمایت از پایان‌نامه‌های دکتری
۴	حمایت از طرح‌های پژوهشی

اقدام ۲: تعریف پروژه‌های تحقیقات کاربردی مشترک میان صنعت برق و دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی فعال در حوزه‌های مورد نیاز

مطابق با آمار و تحقیقات صورت گرفته حدود هشتاد درصد از نیروهای عالم و تحصیل‌کرده در دانشگاه‌ها هستند و کمتر از بیست درصد در مراکز تحقیقاتی؛ صنایع و شرکت‌ها مشغول به کار می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که نهاد علم در جامعه، دانشگاه است. ارتباط مناسب بین صنعت و دانشگاه یکی از عوامل مهم و ضروری در توسعه همه جانبه کشورها است و بدون ایجاد این ارتباط توسعه فناوری‌هایی که در مرحله پیش‌توسعه هستند بسیار دشوار خواهند بود. ارتباط صنعت و دانشگاه در واقع استفاده از توانمندی‌های دانشگاه در جهت رفع نیازهای صنعت است. همان‌طور که در فاز چهارم مطرح شد، یکی از مشکل‌های پیش‌رو در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، عدم تعریف طرح‌های پژوهشی در این زمینه می‌باشد. در واقع با توجه به دولتی بودن اغلب سازه‌های صنعت برق، جهت توسعه فناوری پایش سلامت در این سازه‌ها، می‌بایست ابتدا دولت با توجه به نیازهای خود در این حوزه، پروژه‌هایی را تعریف کرده و بعد از شناسایی دانشگاه‌های توانمند جهت انجام این پروژه‌ها، متولی پروژه را مشخص نماید. در واقع اغلب خبرگان حوزه پایش سلامت سازه معتقدند، در صورتی که دولت به عنوان مالک اصلی سازه‌های برق، پروژه‌هایی را در این حوزه تعریف کند، بسیاری از چالش‌های دیگر رفع شده و دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی در صورتی که مطمئن باشند در این حوزه می‌توان از نظر عملیاتی کارهایی انجام داد، خود به تولید دانش در این زمینه می‌پردازند.

از آنجایی که از جمله خروجی‌های این سند، پروژه‌های پژوهشی و عملیاتی اولویت‌دار و بر اساس نیازهای شناخته شده در صنعت برق می‌باشد. در مرحله بعد می‌توان با شناسایی پتانسیل‌های هر دانشگاه در زمینه فناوری پایش سلامت سازه، متولی پروژه‌ها را شناسایی کرده و پروژه‌ها را به متولی‌های شناسایی شده و بر اساس ضوابط موجود تخصیص داد. سیاست اجرایی نحوه کار با دانشگاه‌ها و نحوه تخصیص پروژه به آنها، با توجه به ضوابط و شیوه‌نامه ابلاغ شده توسط معاونت فناوری و سازوکارهای تعیین شده در خصوص واگذاری پروژه‌ها به دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، در زمان تعریف و تخصیص پروژه‌ها مشخص خواهند شد. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	پتانسیل‌سنجی مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌های فعال کشور در حوزه پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌ها
۲	انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری مشترک میان پژوهشگاه نیرو با مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌های شناسایی شده، با هدف تسهیل همکاری‌های مشترک فی‌مابین
۳	طراحی و پیاده‌سازی سازوکار ترغیب و جلب مشارکت مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها برای انجام پروژه‌های مشترک

اقدام ۳: حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان جهت ورود و فعالیت در حوزه‌های مورد نیاز

با توجه به جوان بودن مباحث مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (بخصوص سازه‌های صنعت برق) در کشور، علاوه بر تدوین دانش علمی از طریق انجام و به جریان انداختن پژوهش‌های دانشگاهی (موضوع اقدامات ۱ و ۲) نیاز به توسعه دانش فنی جهت کاربردی کردن علوم مربوطه در صنعت نیز وجود دارد. این مهم با استفاده از توانمندی دانشی و فناورانه موجود در بخش‌های تحقیق و توسعه و شرکت‌های دانش‌بنیان قابل انجام می‌باشد. بنابراین واحد متولی اجرای سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق باید با انجام اقدامات حمایتی، بسترهای ورود شرکت‌های دانش‌بنیان را به انجام فعالیت‌های توسعه‌ای در راستای اهداف سند مهیا سازد. بخشی از این کار با سازوکار واگذاری پروژه‌های فنی به شرکت‌های دانش‌بنیان که در پژوهشگاه نیرو تعریف شده، قابل پیاده‌سازی است. شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر فعالیت‌های توسعه‌ای با هدف کاربردی کردن دانش علمی تولید شده در دانشگاه‌ها، می‌توانند به حوزه ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها و شکل‌دهی به بازار آن نیز ورود پیدا کنند.

اقدام ۴: استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت معرفی موضوعات تحقیقاتی مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی

همانطور که در اقدام ۱ عنوان گردید، زیربنای توسعه دانشی پایش سلامت سازه‌ها، انجام فعالیت‌های تحقیقاتی بنیادی و کاربردی در دانشگاه‌ها است. یکی از مهمترین چالش‌های موجود در این حوزه، بی اطلاعی اساتید و دانشجویان از موضوعات تحقیقاتی و خلاءهای دانشی مرتبط با پایش سلامت سازه‌های صنعت برق جهت تعریف پایان‌نامه‌های مناسب است. بر این اساس باید با استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود، موضوعات مناسب و نیازهای تحقیقاتی اولویت‌دار به جامعه دانشگاهی معرفی و ارائه گردد. سازوکار موجود در پژوهشگاه برای این کار، فراخوان واگذاری پروژه‌ها در پورتال پژوهشگاه به همراه خبرنامه‌ها و سمینارهای برگزار شده است که در حوزه پایش سلامت سازه، تاکنون اثربخشی قابل توجهی در آگاه کردن جامعه دانشگاهی نسبت به نیازهای پژوهشی این حوزه را نداشته است. بر این اساس، لازم است تا با استفاده از تمامی ظرفیت‌های ارتباطی موجود (از قبیل شبکه‌های اجتماعی، شبکه‌های تخصصی، امکانات تبلیغاتی و ...) موضوعات مناسب برای تحقیق، به اساتید و دانشجویان معرفی شوند.

لقدام ۵: اســـتفاده از ظرفیت‌های موجود مدیریت دانش جهت بهره‌گیری از دانش نگهداری و پایش سلامت سازه در سایر صنایع

همان‌طور که در فاز اول طرح اشاره گردید، در مورد تجهیزات شبکه برق (مانند توربین‌ها، ژنراتورها، پایپینگ، ترانس‌ها و...) روند پایش سلامت که از آن در ادبیات فنی به پایش وضعیت (CM)[1] تعبیر می‌گردد، متداول بوده و اســتفاده می‌شــود. اما در مورد ســازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صــنعت برق، بحث پایش ســلامت مانند سازه‌های موجود در سایر بخش‌های صنعتی و کاربردی، نسبتاً جوان بوده و بیشتر در حوزه‌های تحقیقاتی به آن پرداخته شده است. در میان انواع سازه‌های موجود در صنعت برق، سدها (نیروگاه‌های برق آبی)، برج و فونداسیون در توربین‌های بادی و برخی از ســازه‌های موجود در نیروگاه‌های هســته‌ای از بخش تولید، بیشــترین حجم فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی در زمینه پایش سلامت در کشور و سایر نقاط دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در رابطه با سازه‌های خارج از صنعت برق، مباحث مرتبط با نگهداری و پایش سلامت سازه (مدیریت بهینه دوره عمر) در حوزه‌های تحقیقاتی و اجرایی (عملیاتی) در بخش‌های زیر اجرا شده است:

- انواع پل‌های شهری و بین شهری
- برخی سازه‌های موجود در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی (مانند خطوط لوله)
- برخی از سازه‌های خاص (مانند برج میلاد تهران)

از آنجا که بخش‌هایی از دانش پایش سلامت در بین سازه‌های مختلف مشترک می‌باشد، لذا در صورت وجود یک مکانیزم ارتباطی بین صنعت برق و سایر صنایع که پایش سلامت سازه در آنها به صورت عملیاتی به اجرا در آمده است، می‌توان از تجربیات آنها استفاده کرده و از برخی دوباره‌کاری‌ها جلوگیری نمود. در این راستا لازم است ابتدا صنایعی که پایش سلامت سازه در آنها کاربردی شده، بطور کامل و جامع شناسایی شده و با دعوت از مجریان پایش سلامت سازه در سایر صنایع و برگزاری جلسات هم‌اندیشی، از تجربیات علمی و عملی آنها استفاده نموده و با استفاده از امکانات موجود مدیریت دانش، نسبت به ثبت دانش‌های حاصله اقدام نمود. اهم فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی صنایعی در کشور که پایش سلامت سازه در آنها عملیاتی شده است
۲	تشکیل کارگروه های هماهنگی بین دستگاهی، در سند توسعه فناوری پایش سلامت، جهت پیگیری و هماهنگی با متولیان پیاده‌سازی پایش سلامت سازه در سایر صنایع
۳	برگزاری نشست‌های مشترک موضوعی و انعقاد تفاهم‌نامه جهت تبادل و استفاده از تجربیات علمی و عملی در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه در سایر صنایع

[1]- Condition Monitoring

ردیف	فعالیت
۴	بررسی امکانات موجود سامانه‌های مدیریت دانش عملیاتی شده در پژوهشگاه جهت ثبت و به اشتراک‌گذاری دانش پایش سلامت سازه‌ها در صنایع مختلف

لقدام ۶: استفاده کارآمد از ظرفیت‌های ارتباطی موجود (مشارکت در سمینار، همایش، انجمن، مجلات و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط

ایجاد انجمن‌های دانشی در داخل کشور یکی از راهکارهای پیشنهادی برای کمک به توسعه دانش در زمینه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. انجمن‌های علمی و دانشی از جمله مراکزی هستند که به منظور پرورش استعدادهای علمی، مدیریتی، تقویت نشاط علمی و اجرای برنامه‌های تکمیلی همسو با نیازهای حوزه مدنظر ایجاد می‌شوند. بسترسازی و ایجاد انجمن‌های علمی-دانشی در جوامع امروزی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. به طور کلی فعالیت‌های انجمن‌های علمی دانشی در چند بخش کلی خلاصه می‌شود، که عبارتند از:

۱-فعالیت در زمینه کمک به برگزاری سمینارها و کارگاه‌های علمی در سطح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی
۲-برگزاری دوره‌های آموزشی تکمیلی و تقویتی و تشکیل کارگاه‌های تخصصی در زمینه‌های مرتبط
۳-برگزاری و همکاری در اجرای جشنواره‌ها، کنفرانس‌ها و مسابقات علمی (داخلی و خارجی)
٤-تولید وانتشار نشریه علمی، کتاب و نشریات الکترونیکی، نرم‌افزارهای رایانه‌ای و فیلم‌های علمی –آموزشی
٥-حمایت و تشویق مادی و معنوی از ابتکارات، خلاقیت‌های علمی، فعالیت‌های پژوهشی و اختراعات مرتبط

با توجه به شرح فعالیت‌های یاد شده مشخص است که ایجاد چنین انجمن‌هایی می‌تواند به تولید دانش، افزایش تحقیق و توسعه در زمینه فناوری کمک کند. در حال حاضر کنفرانس و انجمن خاصی به طور مستقیم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت نمی‌کند. ولی از آنجا که به گفته خبرگان، این دانش هنوز در کشور بسیار جوان می‌باشد، ممکن است که ضرورت وجود انجمن یا کنفرانس مستقل در این حوزه هنوز چندان احساس نشود. لذا می‌توان با شناسایی انجمن‌ها و همایش‌های مرتبط با بحث پایش سلامت نظیر انجمن تعمیرات و نگهداری، انجمن مهندسین مکانیک و.... و همچنین سمینارها و همایش‌هایی که پتانسیل اضافه کردن مبحث پایش سلامت را به عنوان یکی از کمیته‌ها و حوزه‌های اصلی یا فرعی خود دارند نظیر کنفرانس بین‌المللی برق ...، به گسترش این دانش در کشور و ارتباط هر چه بیشتر بازیگران این حوزه کمک کرد.

لذا لازم است ابتدا، پتانسیل‌های موجود در کشور در این زمینه شناخته شده و با رایزنی با انجمن‌ها و دبیرخانه کنفرانس‌های شناسایی شده، از ظرفیت‌های آنها در جهت توسعه و انتشار دانش این فناوری استفاده کرد. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی انجمن‌ها، سمینارها و کنفرانس‌های مرتبط با پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق

۲	تشکیل کمیته رایزنی با انجمن و دبیرخانه سمینار یا کنفرانس منتخب
۳	انعقاد قرارداد همکاری با انجمن و دبیرخانه سمینار یا کنفرانس

اقدام ۷: برگزاری جلسات هم‌اندیشی

یکی از عوامل موثر در فرآیند توسعه ملی، برگزاری همایش و سمینار می باشد. اهمیت برگزاری همایش در جهت شناسایی معضلات و تنگناها و در نتیجه، ارائه راه حل هایی به منظور رفع آنها می‌باشد. برگزاری سمینارها و نشست‌های علمی فرصتی مناسب جهت آشنایی هرچه بیشتر محققین و دانشجویان با پیشرفت‌ها و دستاوردهای روزآمد علمی و نیز محملی برای آشنایی آنان با محیط‌های صنعتی می باشد. برگزاری سمینارها فرصتی بسیار مغتنم برای ارتباط صاحبان صنایع با دستاوردهای علمی محیط دانشگاه می‌باشد. لذا یکی از راه کارهای برطرف نمودن موانع و مشکلات در راه ارتباط صنعت و دانشگاه برگزاری سمینارها و همایش‌ها می باشد. از جمله اهداف اصلی برگزاری سمینار، همایش و کنفرانس‌های تخصصی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-ایجاد بستری مناسب جهت آشنایی روزافزون دانشجویان و اساتید دانشگاه‌های سراسر کشور با ظرفیت‌های موجود در کشور جهت استفاده عملی از دانش خود

۲-ایجاد ارتباط هرچه بیشتر و فراهم آوردن بستری مناسب برای ایجاد تعاملات علمی و صنعتی پویا.

۳-ایجاد پویایی و انگیزه مشارکت در فعالیت های علمی دانشجویی برای دانشجویان.

٤-گسترش دانش فنی، ارائه آخرین یافته‌های پژوهشی و ایجاد محیطی علمی و فنی جهت تبادل اطلاعات

٥- فراهم نمودن بستر مناسب برای کنکاش، تبادل افکار و اندیشه‌های محققان، استادان، مدیران، کارشناسان و خبرگان علمی و صنعتی

٦-ارائه دستاوردهای اندیشمندان و صاحب‌نظران به جامعه علمی و صنعتی

۷-فراهم نمودن امکانات و شرایط لازم برای شناخت اصولی و گسترده متقابل صنعت و دانشگاه

۸-معرفی متخصصین و صاحب نظران این حوزه به مسئولین، مدیران و سیاست‌گذاران

۹-ایجاد همسویی و هماهنگی بین متخصصان و پژوهشگران

۱۰- کشف استعدادهای نهفته و استفاده از تجارب و اندیشه بزرگان

با توجه به اینکه برگزاری همایش، سمینار و کنفرانس‌های تخصصی بطور خاص برای مباحث پایش سلامت سازه های صنعت برق ممکن است دارای ضرورت و توجیه نباشد، برگزاری جلسات هم‌اندیشی به عنوان حداقل ظرفیت ارتباطی خبرگان داخلی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌تواند به توسعه و انتشار این دانش کمک کند.

اقدام ۸: استفاده از ظرفیت‌های ارتباطی موجود جهت تسهیل بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان

امروزه پایش سلامت سازه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا نقش مهمی پیدا کرده است. سیستم‌های پایش سلامت هم در سازه‌های قدیمی و ساخته شده و هم در سازه‌های جدید نصب می‌شوند تا علاوه بر مدیریت نگهداری و تشخیص خرابی، اطلاعات ذیقیمتی از وضعیت کارکرد و عملکرد سازه بصورت آنلاین در اختیار محققین قرار دهند. در این میان، بخش‌های تحقیقاتی در توسعه و ارائه الگوریتم‌ها و روش‌های جدید و کاربردی پایش سلامت، توسعه و ارتقاء سیستم‌های اندازه‌گیری و سنسورها، توسعه تجهیزات و نرم‌افزارهای کاربردی، یکپارچه‌سازی و تدوین استانداردها و ... نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. امروزه حجم قابل توجهی از فعالیت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا، مربوط به بخش‌های تحقیقاتی بوده و از نتایج و خروجی‌های پروژه‌های اجرایی نیز، در بخش تحقیقات استفاده می‌شود. متاسفانه در کشور، یک مکانیزم ارتباطی منسجم جهت برقراری ارتباط با دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در زمینه پایش سلامت سازه وجود نداشته و در صورت وجود ارتباط هم، این ارتباطات بصورت فردی می‌باشد. در صورت وجود یک شبکه می‌توان از دانش پایش سلامت تولید شده در مراکز تحقیقاتی معتبر و دانش فنی اجرایی شده در سازه‌های مختلف، به خوبی بهره‌برداری کرده و از برخی دوباره‌کاری‌ها جلوگیری نمود.

یکی از روش‌های برقراری ارتباط با دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در زمینه پایش سلامت سازه، عضویت درمؤسسات بین المللی فعال در این زمینه می‌باشد. در این خصوص مؤسسات تحقیقاتی بسیاری در دنیا مشغول به فعالیت در زمینه مدیریت و تولید علوم و تکنولوژیهای مربوط به پایش سلامت سازه‌ها هستند که می‌توان به عضویت هر کدام از آنها در آمد. یکی از مهمترین مؤسسات بین المللی فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها، مؤسسه ISHMII[1] است که بصورت غیرانتفاعی فعالیت می کند [۳]. هدف این مؤسسه، ایجاد توسعه و پیشرفت در درک و کاربرد فرایند پایش سلامت در سازه‌ها و ایجاد ارتباط میان محققین و فعالان و به اشتراک گذاری دانش فنی در زمینه های مرتبط (از طریق نشر ژورنال تخصصی و برپایی کنفرانس‌ها و کارگاه‌ها) می‌باشد. یکی دیگر از مؤسسات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها که فعالترین شبکه در این زمینه در اروپا است، شبکه ای موسوم به SAMCO[2] می‌باشد [۴]. شبکه SAMCO در خلال سالهای ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۶ به مرور تشکیل و تکمیل شده و اکنون دارای حدود ۸۵ عضو از ۲۵ کشور مختلف جهان بوده و با ISHMII نیز مرتبط است. این شبکه ارتباط میان شرکت‌های ساخت و ساز، مدیران و مالکان سازه‌ها، خبرگان صنعت پایش، مؤسسات تحقیقاتی، مقامات محلی و دولت‌ها و سایر بخش‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها را در کل اروپا برقرار می‌کند. این شبکه، تبادل و انتقال دانش فنی و تکنولوژی در زمینه ارزیابی، پایش و کنترل هوشمند سازه‌ها را پشتیبانی می کند. فعالیت‌های غالب این شبکه در مورد پایش سازه‌های پل‌ها، ساختمان‌ها، نیروگاه‌ها و ساختمانهای صنعتی تحت شرایط محیطی مختلف بوده و تمامی کنشگران مرتبط از محققین و خبرگان تا استفاده کنندگان نهایی و مالکان را پوشش می دهد. این شبکه در زمینه مدیریت تکنولوژی و تهیه برنامه های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها نیز فعال است. همچنین این شبکه برنامه‌های دوره‌ای در راستای ارائه آموزش و انتقال دانش به بخش‌های مختلف

[1]- International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure.
[2]- Structural Assessment, Monitoring and Control.

مرتبط با پایش سلامت را ارائه می‌دهد. یک شبکه بین‌المللی دیگر در زمینه پایش سلامت سازه‌ها که در سال ۲۰۰۷ بصورت یک پروژه مشترک (کنسرسیوم) با هدف ارائه نوآوری‌ها در پایش سلامت (بخصوص در تکنولوژی‌های اندازه‌گیری و سنسورها) در انگلستان ایجاد گردید، شبکه موسوم به CEASA[1] می‌باشد. می‌توان با شناسایی شبکه‌های معتبر و انتخاب شبکه‌ای که به بهترین نحو نیاز داخلی را تامین کند، رایزنی‌های لازم را جهت عضویت در این شبکه انجام داده و در نهایت با عضویت در این شبکه، از دانش به روز دنیا و تجربیات شرکت‌ها در زمینه پیاده‌سازی دانش پایش سلامت سازه استفاده کرد.

از دیگر روش‌های برقراری ارتباط و بهره‌گیری از دانش روز دنیا، تسهیل حضور و شرکت متخصصان داخلی در رویدادهای علمی بین‌المللی (سمینار، کنفرانس، دوره‌های آموزشی، فرصت‌های مطالعاتی و ...)، انجام فعالیت‌های تحقیقاتی مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی دنیا و برگزاری دوره‌های آموزشی در داخل کشور با حضور متخصصان و صاحبنظران بین‌المللی می‌باشند. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی مؤسسات بین‌المللی فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها
۲	عضویت در موسسه منتخب شناسایی شده در مرحله قبل
۳	تسهیل حضور و شرکت متخصصان داخلی در رویدادهای علمی بین‌المللی (سمینار، کنفرانس، دوره‌های آموزشی، فرصت‌های مطالعاتی و ...)
۴	رایزنی جهت انعقاد تفاهم نامه‌هایی جهت اخذ مشاوره علمی و فنی از مؤسسات بین المللی
۵	انجام فعالیت‌های تحقیقاتی مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی دنیا
۶	برگزاری دوره‌های آموزشی در داخل کشور با حضور متخصصان و صاحبنظران بین‌المللی

اقدام ۹: مشارکت در تکمیل بانک اطلاعاتی محققین (شبکه متخصصین در دانشگاه‌ها، مؤسسات پژوهشی و صنایع) و سامانه‌های موجود مدیریت دانش جهت ثبت دستاوردهای دانشی (علمی و فنی) در حوزه نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها

همان طور که در فاز چهارم طرح عنوان گردید، از چالش‌های اساسی پیش‌روی توسعه فناوری پایش سلامت سازه، عدم وجود مکانیزم ارتباطی جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه پایش سلامت سازه‌ها، ضعیف بودن ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر، عدم اطلاع محققین، مسئولین و سیاستگذاران از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها، عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد فعال در حوزه پایش سلامت سازه و زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها وکارهای تحقیقاتی درحوزه پایش

[1]- Consortium of Excellence in Advanced Sensors and their Applications.

سلامت سازه در ایران می‌باشد. در واقع در حال حاضر به صورت کلی مشخص نیست، چه افرادی در زمینه پایش سلامت سازه‌ها فعالیت می‌کنند، کدام اساتید در کدام دانشگاه‌ها بر روی چه موضوعاتی فعالیت می‌کنند، همچنین فعالیت‌ها و تحقیقات صورت گرفته زنجیره‌وار نبوده و در صورت انجام پژوهشی در یک زمینه خاص، در اغلب موارد نتایج آن رها شده و توسط محقق دیگری تکمیل نمی‌گردد. یکی از اقدام‌های مهم و قابل اجرا برای رفع این چالش‌ها و توسعه دانش در زمینه فناوری پایش سلامت سازه، مشارکت در تکمیل یک بانک اطلاعاتی کامل و جامع از متخصصین فعال (شبکه متخصصین) و سامانه‌های موجود مدیریت دانش جهت ثبت و به روزرسانی دستاوردهای دانشی در حوزه فناوری‌های پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد.

یک بخش مهم که باید در این سامانه در نظر گرفته شده و همواره به روز شود، بخش اولویت‌های تحقیقاتی صنعت برق، پروژه‌های انجام شده و در حال اجرا در این حوزه می‌باشد. بخش ذکر شده می‌تواند به تطبیق تحقیقات با اولویت‌ها و جلوگیری از دوباره‌کاری و هدر رفت منابع مالی کمک کند. اطلاعات مربوط به حوزه پایش سلامت سازه پس از جمع‌آوری به منظور دستیابی عموم بازیگران این حوزه در سیستم نرم‌افزاری طراحی شده قرار می‌گیرند. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	گردآوری و دسته‌بندی محتوای مناسب برای ارائه در بانک اطلاعاتی
۲	ایجاد امکان دسترسی بازیگران و ذینفعان مختلف این حوزه به اطلاعات
۳	به‌روزرسانی اطلاعات ارائه شده در بانک اطلاعاتی

اقدام ۱۰: تشکیل واحدی (ترجیحاً بصورت مرکز) جهت نظارت بر فعالیت‌ها، رفع مشکلات، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات سند در راستای تحقق اهداف و کاربردی شدن نتایج پروژه‌ها در صنعت برق

یکی از چالش‌های اصلی شناسایی شده در فاز چهارم طرح، نبود یک مرجع مشخص جهت ایجاد هماهنگی بین بازیگران مختلف پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق است. از این‌رو لازم است به منظور تحقق اهداف سند، ساز و کاری اندیشیده شود. لذا می‌بایست واحدی در پژوهشگاه نیرو تشکیل شده و بر نحوه اجرای این سند نظارت کرده و بازنگری‌های لازم در سند و گزارش کلان مربوطه را در فواصل زمانی مشخص به وزارت نیرو ارائه نماید. این واحد با ایجاد ساز و کارهای لازم و استفاده از نهادهای مختلف، ضمن انجام تصمیم‌گیری‌های لازم، وظیفه نظارت بر تحقق اهداف سند و ارزیابی پیشرفت کار را بر عهده خواهد داشت. از جمله وظایف اصلی این واحد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه سیستم‌های انتقال برق با ظرفیت بالا
- نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند
- پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

- بررسی طرح‌ها و برنامه‌های بخشی و فرابخشی، و نظارت بر اجرای صحیح اقدامات
- تصمیم‌گیری برای تخصیص بودجه‌ها به پروژه‌های اجرایی
- استمرار بخشیدن به انجام مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- نظارت کلان بر پروژه‌های توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- ...

پس از تشکیل واحد و مطالعه تدوین اهداف و مأموریت‌ها و طراحی ساختار آن، لازم است کمیته‌هایی جهت پیگیری و نظارت بر اجرای اقدامات سند در حوزه‌های مختلف تشکیل گردد. لذا ابتدا باید کمیته‌های موردنیاز، اعضای آنها و شرح وظایف هر کمیته به طور دقیق مشخص گردد. کمیته‌ها می‌بایست در فواصل زمانی منظم، تشکیل جلسه داده و گزارشی از فعالیت‌های خود آماده کرده و در زمان مشخص به اطلاع مجری واحد برسانند تا در صورت لزوم اقدامات لازم صورت گیرد.

در حال حاضر، طرح‌های سه‌گانه زیرمجموعه سند عهده‌دار انجام فعالیت‌های مذکور در پژوهشگاه نیرو می‌باشند.

اقدام ۱۱: تدوین قوانین پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ

یکی از دلایل اصلی عنوان شده از سوی خبرگان برای عدم بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود الزام قانونی برای آن می‌باشد. در واقع هیچ الزامی از سوی وزارت نیرو وجود ندارد که تاسیسات اصلی موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق که در فاز سوم شناسایی شده و شامل (نیروگاه بخاری، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال، پست‌های انتقال، خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه‌های بادی) می‌باشند را ملزم به بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های اصلی خود کند. از این رو یکی از خروجی‌های اصلی این سند بعد از تدوین دانش‌فنی پایش سلامت در سازه‌های اصلی هر کدام از تاسیسات، تدوین دستورالعمل برای هر سازه می‌باشد. این دستورالعمل‌ها می‌بایست توسط یک مرجع ذیصلاح (توانیز، وزارت نیرو) به تصویب رسیده تا بتوان از این طریق مدیران صنعت برق را ملزم به بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق نمود. در این راستا، اقدامات زیر باید توسط سند پیگیری شود:

ردیف	فعالیت
۱	تدوین دستورالعمل‌های پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های صنعت برق (در قالب پروژه های فنی انجام می‌شود)
۲	ارائه دستورالعمل تدوین شده به مرجع ذیصلاح جهت تصویب و ابلاغ

اقدام ۱۲: تدوین و ارائه پیشنهاد سازوکار و نظام تشخیص صلاحیت شرکت‌ها جهت ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها به بخش‌های مختلف صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت تصویب و پیاده‌سازی

یکی از اقدامات مهم در راستای ساماندهی و شکل‌دهی به بازار خدمات پایش سلامت و نگهداری سازه‌های صنعت برق (پس از طراحی و تعیین مدل‌های کسب و کار مناسب و حمایت از بخش خصوصی جهت ورود به بازار ارائه این خدمات)، ایجاد سازوکار و دستورالعمل‌های مورد نیاز جهت تشخیص صلاحیت و رتبه‌بندی شرکت‌های فعال در این زمینه است تا ضمن ساماندهی بازار، از کیفیت خدمات ارائه شده توسط بخش خصوصی نیز اطمینان حاصل شود. در حال حاضر که شرکت‌های خصوصی برای نگهداری سازه‌های صنعت برق بصورت مستقل وجود نداشته و این فعالیت‌ها (در حوزه‌های انتقال و توزیع) توسط شرکت‌های تعمیر و نگهداری شبکه انجام می‌شوند، تشخیص صلاحیت آنها توسط شرکت توانیر انجام می‌شود. ولیکن با تخصصی‌تر شدن فعالیت‌های شرکت‌ها در حوزه سازه‌ها، نیاز به ایجاد رویه‌های جدید یا بازنگری در رویه‌های موجود صلاحیت‌سنجی شرکت‌ها وجود خواهد داشت.

اقدام ۱۳: شفاف‌سازی مزایا و منافع (بخصوص از بعد اقتصادی) پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق و میزان خسارات محتمل ناشی از عدم اجرای آن، با انجام تحلیل و ارزیابی ریسک و محاسبه هزینه‌های چرخه عمر سازه‌ها

پیاده‌سازی فرآیند نگهداری، ارزیابی عملکرد و پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق کشور به عنوان یک محصول خدماتی، با مشکلات و موانع متعددی روبرو است. از جمله مهمترین این موانع، فقدان محصول مشخص (کالا) و عدم تأثیر مستقیم و قابل لمس این خدمات در فرآیند روزمره صنعت و از طرف دیگر، تنوع ذینفعان و عدم شفافیت منافع حاصله (عمدتاً از بعد اقتصادی) برای هریک از آنها است که منجر به عدم ایجاد جاذبه و عدم تمایل برای پیاده‌سازی و استفاده از این خدمات در سازه‌های نیروگاهی شده است. در واقع اجرای خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها صرفاً بصورت هزینه در ابتدای آن دیده می‌شود و منافع آن که شامل جلوگیری از خسارات احتمالی در آینده است، به خوبی قابل لمس نیست. بر این اساس، انجام تحلیل‌های ریسک و هزینه چرخه عمر که میزان خسارات احتمالی سازه‌ها در شرایط با و بدون انجام اقدامات نگهداری را برآورد می‌کنند، می‌تواند به شفاف شدن هرچه بیشتر منافع اقتصادی حاصله کمک کرده و در جهت توجیه ضرورت و اولویت‌بندی نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق برای مدیران و صاحبان صنایع، استفاده شود. عمده فعالیت‌های مورد نیاز در این راستا، در پروژه‌های فنی سند انجام می‌گردند ولیکن تجمیع و نتیجه‌گیری و آماده‌سازی نتایج بصورت مناسب جهت ارائه به نهادهای تصمیم‌گیر صنعت، در این اقدام انجام می‌شود.

اقدام ۱۴: آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری نگهداری و پایش سلامت سازه درصنعت برق از طریق برگزاری جلسات، سمینارها و همایش‌های تخصصی

یکی از دلایل اصلی عدم عملیاتی شدن پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب در بین مدیران و عدم اطلاع مدیران و سیاست‌گذاران اصلی صنعت برق با مزایای بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. لذا جهت ایجاد نگرش و فرهنگ هزینه کردن برای مواردی نظیر پایش سلامت که می‌تواند در آینده از هزینه‌های زیادی جلوگیری کند، می‌بایست سمینارها و همایش‌هایی با حضور مدیران و مسئولان اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برگزار گردیده و مزایای پیاده‌سازی و بکارگیری سامانه‌های پایش سلامت و نگهداری در سازه‌ها با پشتوانه اطلاعات حاصل از اقدام قبل، به ایشان ارائه گردد. در جدول زیر فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است:

ردیف	فعالیت
۱	انجام مطالعاتی به منظور مشخص‌شدن انواع همایش‌های مورد نیاز و محتوای همایش‌ها
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری همایش‌ها
۳	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط

اقدام ۱۵: رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق

پس از اتمام مراحل اولیه سند و تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های مختلف صنعت برق, می‌بایست مکانیزمی در نظر گرفته شود که از اجرایی شدن فناوری پایش سلامت در سازه‌ها مختلف اطمینان حاصل گردد. هرچند تدوین قوانین و دستورالعمل‌ها می‌تواند تا حدی به اجرایی شدن این موضوع کمک کند، اما با توجه به عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب، همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، لازم است علاوه بر تدوین قوانین و دستورالعمل‌ها سازوکاری اندیشیده شود که مدیران بخش‌های مختلف صنعت برق را ملزم به بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق کند. از این‌رو می‌توان با رایزنی با دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد وزارت نیرو، شاخص اجرایی شدن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه را برای تاسیسات مختلف صنعت برق به عنوان یکی از شاخص‌های فرم‌های ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات اصلی صنعت برق در نظر گرفت. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	رایزنی با دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد وزارت نیرو
۲	ابلاغ اضافه شدن شاخص اجرایی شدن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه به مدیران صنعت برق

اقدام ۱۶: طراحی مدل‌های مناسب کسب و کار جهت ترغیب ذینفعان در بخش‌های دولتی و خصوصی برای مشارکت در تأمین منابع مالی پیاده‌سازی نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق

ذینفعان و کنش‌گران متعددی در رده‌های حاکمیتی، سیاست‌گذاری و بنگاه‌داری (وزارت نیرو و شرکت مادر تخصصی) تا سطوح عملیاتی شامل تولیدکنندگان و ارائه‌دهندگان این خدمات (دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی، شرکت‌های تعمیر و نگهداری و ...)، مشتریان نهایی خدمات (نیروگاه‌ها و شرکت‌های مدیریت تولید و بهره‌برداری)، شرکت‌های بیمه و تأمین‌کنندگان مالی مستقل (شرکت‌های سرمایه‌گذاری، بانک‌ها، صندوق‌های تأمین مالی و ...) در ارتباط با پیاده‌سازی فرآیند نگهداری و پایش سلامت در سازه‌های نیروگاهی کشور به عنوان یک محصول خدماتی، قرار دارند. شناخت جامع این ذینفعان و شفاف‌سازی نقش و نحوه مشارکت، گردش مالی و منافع هریک از آنها در چرخه تولید، ارائه و مصرف این خدمات، می‌تواند کمک شایانی در راستای ترغیب ذینفعان به مشارکت در پیاده‌سازی این فرآیند در نیروگاه‌های کشور کند که این مهم، در قالب طراحی یک مدل کسب و کار مناسب قابل حصول بوده و انجام آن در این اقدام (ترجیحاً در قالب یک پروژه با همکاری دفتر تجاری‌سازی پژوهشگاه) مد نظر می‌باشد. به منظور طراحی مدل کسب و کار، شناخت و تهیه اطلاعات پایه‌ای در خصوص موارد زیر ضروری است که باید در مراحل ابتدایی پروژه بدان پرداخته شود:

- ساختار و رویکرد فعلی صنعت برق کشور در ارتباط با نگهداری سازه‌ها.
- ذینفعان مربوطه و نحوه نگرش و تعامل آنها با مسائل مربوط به سازه‌ها.
- حوزه‌های ارزش‌آفرین مرتبط با نگهداری سازه‌ها و میزان منفعت حاصل از آنها برای هریک از ذینفعان (مانند کاهش هزینه‌های محتمل خسارت سازه، کاهش هزینه بیمه در صورت وجود، تعدیل ارزش مالی نیروگاه، تعدیل ارزش محصول نهایی نیروگاه، تعدیل هزینه‌های نگهداری و توسعه نیروگاه‌ها و ...).
- هزینه‌های تولید و ارائه خدمات نگهداری سازه‌ها و جریان مالی مربوط به هریک از کنش‌گران و ذینفعان در کل فرآیند.
- ابزارهای حاکمیتی قابل استفاده (مانند الزام ارزیابی و رتبه‌بندی واحدهای مختلف، الزام بیمه و پوشش ریسک‌های و ...).

در نهایت، سناریوهای مختلف برای مدل کسب و کار طراحی و بررسی شده و از میان آنها، مدل مناسب انتخاب می‌شود.

اقدام ۱۷: برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق

یکی از چالش‌های اصلی عنوان شده توسط خبرگان حوزه پایش سلامت سازه، عدم آموزش مباحث مربوط به سازه‌های شریان‌های حیاتی، از جمله سازه‌های صنعت برق در دانشگاه‌های کشور می‌باشد. در واقع دانشجویان

عمران تربیت شده در دانشگاه‌های مختلف با سازه‌های صنعت برق آشنا نبوده و پس از استخدام در بخش‌های مختلف صنعت برق، به مرور زمان و معمولا بر اساس تجربه با سازه‌های مختلف صنعت برق آشنا می‌شوند. بنابراین از آنجا که این آشنایی معمولا به صورت علمی نبوده و بر اساس تجربه می‌باشد در اغلب موارد نیز کامل نمی‌باشد. لذا می‌بایست برای حل این چالش، دوره‌هایی برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف صنعت برق جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق برگزار گردد. در جدول زیر فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	انجام مطالعات به منظور مشخص‌شدن انواع دوره‌های مورد نیاز و محتوای دوره‌ها
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری دوره‌ها
۴	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط
۵	کمک به برگزاری دوره‌ها

اقدام ۱۸: ارائه دوره‌های آموزشی میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها

یکی از چالش‌های عنوان شده از سوی خبرگان پایش سلامت سازه، عدم توجه دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه پایش سلامت سازه می‌باشد. در حوزه پایش وضعیت تجهیزات، رشته‌ای مجزا با این عنوان وجود داشته که سالیانه تعدادی دانشجو نیز تربیت می‌کند. در بحث پایش سلامت سازه از آنجا که ایجاد یک رشته جدید منجر به تربیت دانشجو شده در حالیکه بحث پایش سلامت سازه هنوز آنچنان که باید در کشور عملیاتی نشده، بنا به نظر خبرگان، تدوین دوره‌های آموزشی (و یا دروس اختیاری) مرتبط با پایش سلامت سازه و ارائه آن در دانشگاه‌ها کافی بوده می‌تواند کمک شایانی به تربیت دانشجویانی آشنا به پایش سلامت سازه نماید. در جدول زیر فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	انجام مطالعات نیاز سنجی آموزشی و شناسایی دروس موردنیاز
۲	تعیین متولی و مشارکت در تهیه محتوای دروس اختیاری در نظر گرفته شده
۳	رایزنی با دفتر گسترش و برنامه‌ریزی آموزش عالی جهت تصویب دوره‌ها

اقدام ۱۹: حمایت از تهیه نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

یکی از ملزومات اصلی جهت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. در واقع سیستم‌های تجاری پایش سلامت سازه موجود شامل بخش‌های سخت افزاری و نرم

افزاری است. بخش‌های سخت افزاری شامل سنسورها، کابل‌ها، واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs)، کامپیوترهای سرور و سایر تجهیزات حفاظتی و انتقال نیرو سیستم است. بخش نرم افزاری شامل سیستم‌های تبدیل داده‌های آنالوگ به دیجیتال، نرم‌افزارهای نظارت بر کنترل و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA)، پیش پردازش و پردازش اتوماتیک داده‌ها مانند تراکم، تبدیل و نگهداری مجموعه داده‌های دریافت شده، که با استفاده از الگوریتم‌های خاص پردازش و آنالیز طراحی شده‌اند، نرم افزار بایگانی، تهیه نسخه پشتیبان بصورت دوره‌ای، ذخیره مداوم داده‌ها، نرم افزارهای هماهنگ‌سازی آنلاین داده‌ها همچنین انتقال داده‌ها از طریق شبکه برای سیستم‌های بیسیم می‌باشد.

تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار لازم جهت بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، یکی از چالش‌های توسعه این فناوری در صنعت برق می‌باشد. لذا برای رفع این چالش می‌بایست ابتدا کلیه نرم‌افزارهای مورد نیاز شناسایی شده و بعد از اولویت‌بندی آنها، راه‌های ممکن جهت تامین منابع مالی جهت تهیه آنها بررسی گردد، شناسایی تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مورد نیاز در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در پروژه‌های فنی انجام خواهد گرفت لذا در این اقدام سایر فعالیت‌های مورد نیاز صورت خواهد گرفت که در جدول زیر فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	امکان‌سنجی مالی تامین یا تهیه نرم‌افزارها
۲	رایزنی با بانک‌ها و سایر صندوق‌ها و موسسات مالی جهت حمایت از تامین مالی تجهیزات با اولویت

اقدام ۲۰: اخذ و تحلیل اطلاعات مربوط به سوابق آسیب‌ها و خرابی‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع) و ارائه به مسئولین تصمیم‌گیر

یکی از چالش‌های اصلی در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود یا دسترسی به آمار و اطلاعات دقیق و جامع از خرابی‌ها و آسیب‌های رخداده در سازه‌های صنعت برق کشور در سال‌های گذشته و هزینه‌های مالی و جانی ناشی از این خرابی‌ها است. مهمترین اطلاعات مورد نیاز در این زمینه شامل وقوع آسیب یا خرابی سازه‌ای، مکان و زمان وقوع یا شناسایی آسیب یا خرابی، منشأ یا علل وقوع آن، میزان شدت یا اندازه یا ارزش آسیب یا خرابی، پی‌آمدها و خسارت‌های جانبی مالی، جانی، زیست محیطی و ... ناشی از آسیب و خرابی می‌باشند که برای هر مورد مشاهده شده از آسیب یا خرابی در یک سازه مشخص باید ثبت و گردآوری شده و با انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، تبدیل به اطلاعات مفید شده و در سایر بخش‌های طرح (بخصوص برای انجام اقدامات ۱۳ و ۱۴ و همچنین برای اولویت‌بندی سازه‌ها از جهت نیاز به اجرای پایش و نگهداری و برنامه‌ریزی اجرایی) مورد استفاده قرار گیرند.

لذا از مهم‌ترین اقداماتی که می‌بایست صورت پذیرد، اخذ اطلاعات کامل و جامع از خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌ای رخداده در گذشته در بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) و ثبت آنها در بانک‌های اطلاعاتی موجود می‌باشد. بخشی از این کار در داخل مراحل پروژه‌های فنی دیده شده و صورت خواهد گرفت. ولیکن انجام فعالیت‌هایی جهت ساماندهی به اطلاعات گردآوری شده و به روزرسانی منظم آنها لازم است. در جدول زیر فعالیت‌های اصلی مربوط به این اقدام ارائه شده است:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	گردآوری و دسته‌بندی محتوای مناسب برای گردآوری و ارائه در بانک اطلاعاتی
۲	رایزنی با ذینفعان و اخذ مجوزهای مورد نیاز جهت دسترسی به داده‌های مورد نظر
۳	اخذ داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌ای در بخش تولید
۴	اخذ داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌ای در بخش انتقال
۵	اخذ داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌ای در بخش توزیع
۶	تحلیل و تفسیر آماری داده‌های جمع‌آوری شده و تدوین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌ها و خرابی‌ها
۷	طراحی و ایجاد سازوکار به روز رسانی داده‌ها و اطلاعات

اقدام ۲۱: برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای مربوط به نگهداری و پایش سلامت سازه‌ها (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)

به منظور برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها، اولین قدم شناسایی نیاز یا نیازسنجی است. در ابتدا لازم است شناسایی مواد و محتوای آموزشی مورد نیاز صورت گیرد. پس از شناسایی نیازها و مشخص شدن مباحث علمی مورد نیاز، مراکزی که در این زمینه فعالیت می‌کنند شناسایی شده و با توجه به ملاک‌های انتخاب، تعدادی از مراکز انتخاب می‌شوند و مذاکراتی با آن‌ها صورت گرفته و در صورت قطعی شدن، قراردادی جهت برگزاری دوره‌های آموزشی با آنها بسته می‌گردد. پس از طی این قدم‌ها و تنظیم دوره‌ها، به افراد واجد شرایط اطلاع‌رسانی شده و متناسب با تعداد افراد، مقدمات برگزاری دوره از قبیل تأمین امکانات صورت می پذیرد. در نهایت نیز دوره‌ها به صورت دوره‌های کوتاه‌مدت برگزار خواهد گردید. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	انجام مطالعات به منظور مشخص‌شدن انواع دوره‌های مورد نیاز و شناسایی مراکز معتبر
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری دوره‌ها
۳	انجام مذاکره و عقدقرارداد با مراکز انتخاب شده
۴	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط

ردیف	عنوان فعالیت
۵	کمک به برگزاری دوره‌های کوتاه‌مدت

اقدام ۲۲: امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه

به منظور تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه‌ها، علاوه بر مباحث نظری نیاز به انجام فعالیت‌های عملی در مقیاس کوچک (آزمایشگاه) و در مقیاس بزرگ (پایلوت) وجود دارد. در حال حاضر آزمایشگاهی که بطور خاص مربوط به پایش سلامت در سازه‌ها باشد در کشور وجود ندارد و تحقیقات آزمایشگاهی معدودی نیز که در این زمینه صورت می‌گیرد، در آزمایشگاه‌های مربوط به سایر حوزه‌های مهندسی سازه (بخصوص آزمایشگاه‌های ارتعاش و مهندسی زلزله) انجام می‌شود. بنابراین لازم است تا با بررسی نیازهای آزمایشگاهی تدوین دانش پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و همچنین ارزیابی وضعیت و امکانات موجود و در دسترس در کشور، قابلیت بکارگیری آنها در این طرح و میزان نیاز به احداث و راه‌اندازی آزمایشگاه جدید مورد بررسی قرار گیرد که این موارد در اقدام حاضر انجام خواهند گردید. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	عنوان فعالیت
۱	بررسی و تعیین نیازهای آزمایشگاهی و امکانات و تجهیزات مورد نیاز (در پروژه‌های فنی)
۲	بررسی آزمایشگاه‌های پایش سلامت سازه در سایر کشورها
۳	بررسی آزمایشگاه‌های موجود در داخل کشور
۴	امکان‌سنجی استفاده از آزمایشگاه‌های داخل کشور برای تحقیقات پایش سلامت سازه
۵	نیازسنجی احداث ازمایشگاه جدید برای تحقیقات پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
۶	برآورد هزینه و زمان و برنامه‌ریزی برای احداث آزمایشگاه در صورت احراز نیاز به آن

اقدام ۲۳: تدوین قوانین پیشنهادی حمایتی و مشوق برای ورود بخش خصوصی به ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به مراجع ذیصلاح جهت ابلاغ

با توجه به عدم وجود بازار مشخص و مستقل برای ارائه خدمات نگهداری و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در کشور، ایجاد و شکل‌دهی این بازار نیازمند اجرای قوانین حمایتی با هدف پوشش و کاهش ریسک‌های موجود در ورود بخش خصوصی است که تدوین و ارائه پیشنهاداتی در این خصوص به متولیان و تصمیم‌گیران، در این سند پیگیری می‌شود. فعالیت‌های مورد نیاز برای انجام این اقدام در جدول زیر ارائه شده‌اند:

ردیف	فعالیت
۱	انجام مطالعات لازم در خصوص محتوای قوانین و دستورالعمل‌های مورد نیاز

ردیف	فعالیت
۲	تدوین قوانین و دستورالعمل‌های مورد نیاز و ارائه به مرجع ذیصلاح جهت تصویب و ابلاغ

اقدام ۲۴: عضویت و شرکت فعال در کارگروه‌های تخصصی مرتبط با سازه‌های صنعت برق در شرکت‌های مادرتخصصی و تابعه صنعت برق

در خصوص برخی از موضوعات مرتبط با سازه‌های صنعت برق، کارگروه‌های تخصصی در بخش‌های مختلف صنعت وجود دارند که نظرات تخصصی آنها در تصمیمات اخذ شده توسط مدیران، مؤثر است. عضویت کارشناسان مرتبط با این سند در این کارگروه‌ها و تبادل نظرات تخصصی با آنها در حوزه‌های فنی مرتبط می‌تواند ضمن افزودن به غنای فنی فعالیت‌های سند و جلوگیری از انجام فعالیت‌های غیرضروری و تکراری حاصل از همپوشانی‌ها، به تسهیل پیاده‌سازی پروژه‌ها و نتایج حاصله در صنعت نیز منجر گردد.

اقدام ۲۵: تجاری‌سازی محصولات و خدمات توسعه یافته در طرح پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و ارائه به صنعت

یکی از مأموریت‌های پژوهشگاه نیرو، انجام و حمایت از تجاری‌سازی نتایج و محصولات پژوهشی و فناورانه ایست که توسط واحدهای تحقیق و توسعه موجود در زیست بوم نوآوری صنعت برق، توسعه یافته‌اند. بدین منظور، دفتر تجاری‌سازی در پژوهشگاه تشکیل شده و متولی کلیه امور مرتبط با تجاری‌سازی محصولات است. اقدامات قابل انجام توسط دفتر تجاری‌سازی پژوهشگاه نیرو، در گزارش مرحله دوم ارائه شده‌اند.

پیوست ۲: شناسنامه پروژه‌های فنی طرح‌های زیرمجموعه سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

شناسنامه پروژه های طرح تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های تولید برق

پروژه ۱: طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های نیروگاهی

در این پروژه، چارچوب کلی و معماری سامانه‌ای جامع و اجزای آن، برای پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های اصلی موجود در نیروگاه‌های حرارتی (بخار، گازی و ترکیبی) و بادی طراحی می‌گردد. اجزای این سامانه شامل (و نه محدود به) انواع سازه‌ها به همراه روش‌ها، فرآیندها و ابزارهای مورد نیاز (شامل معماری نرم‌افزارهای مورد نیاز) جهت شناسایی و پایش آنها می‌باشند. در این پروژه ساختار کلی و نحوه چینش و ارتباط میان اجزاء سامانه نیز طراحی و تعیین خواهد شد. سامانه جامع مورد نظر باید بصورت هماهنگ و سازگار با سامانه نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌ها طرح گردد. اجزای این سامانه جامع (در قالب فرآیندها، سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد نیاز) به تدریج در پروژه‌های بعدی این طرح، تهیه و تجمیع می‌شوند. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات و منابع موجود در زمینه چارچوب، معماری و طرح مفهومی سامانه‌های جامع پایش سلامت و نگهداری سازه‌ها و زیرساخت‌ها در دنیا
۲. شناسایی سازه‌های اصلی مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی و بادی کشور و دسته‌بندی آنها از جنبه‌های مختلف (نوع مصالح، ظرفیت و ابعاد، فرم و شکل هندسی، نوع عملکرد سازه‌ای و فرآیندی، طراح یا سازنده و ...) و تعیین فراوانی هر دسته
۳. اولویت‌بندی سازه‌های اصلی نیروگاهی برای پایش و نگهداری بر اساس اهمیت در نیروگاه
٤. طراحی چارچوب کلی و معماری سامانه جامع پایش سلامت و نگهداری سازه‌های نیروگاهی و تبیین اجزا و ملزومات آن

پروژه ۲: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه سیستم خنک‌کن نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

در این پروژه، سیستم پایش سلامت سازه، با هدف شناسایی پارامترهای رفتاری سازه در شرایط واقعی، تشخیص وقوع آسیب‌های مختلف و پیش‌بینی گسترش آنها در سازه سیستم خنک‌کننده (تیپ‌های مختلف برج خنک‌کننده شامل هلر بتنی و فولادی، برج تر چوبی یا بتنی یا فولادی، برج ACC و سیستم یکبارگذر) در نیروگاه‌های چرخه بخار و ترکیبی، طراحی و دانش فنی آن تدوین می‌شود. طراحی جامع سیستم پایش سلامت با رویکردهای کلی بازرسی، تست‌های غیرمخرب NDT و رویکرد SHM و همچنین رویکردهای ترکیبی از هرسه، مورد نظر می‌باشد. رویکرد بازرسی شامل امکانسنجی روش‌های مختلف (بازدید چشمی، پردازش تصویر، اندازه‌گیری‌های نقشه‌برداری و ...) و طراحی تفصیلی و تهیه ابزارهای لازم برای روش منتخب، برای سازه‌های مورد نظر میباشد. همچنین تست‌های غیرمخرب قابل استفاده در این نوع سازه‌ها به همراه ابزارها و روش‌های تفسیر نتایج آنها نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت. طراحی سیستم پایش سلامت با رویکرد SHM شامل تدوین مبانی نظری، طرح سخت‌افزارها (تعیین نوع، تعداد و جانمایی بهینه شبکه سنسورها و سایر تجهیزات مورد نیاز مانند سیستم گردآوری، انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها و ابزارهای جانبی)، تهیه و توسعه نرم‌افزارهای مورد نیاز (نرم‌افزارهای گردآوری و پردازش داده‌ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، تشخیص و پیش‌بینی آسیب و اعلام آن) به همراه طراحی فرآیند کلی پیاده سازی و برنامه راه‌اندازی، بهره‌برداری، ارزیابی و نگهداری از سیستم پایش (شامل مراحل اجرایی نصب و راه‌اندازی سیستم، رویکرد تهیه یا تأمین سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد نیاز، تعیین پرسنل مورد نیاز، کالیبراسیون و خطایابی تجهیزات، نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، تأمین امنیت داده‌ها و سیستم پایش) خواهد بود.

در طراحی سیستم پایش سلامت باید با توجه به سناریوهای محتمل آسیب و خرابی و شرایط عملکردی سازه، کلیه فرضیات پایه و مبانی نظری مورد نیاز تعیین و تدوین گردد. مبانی مذکور حداقل شامل (و نه محدود به) تعیین و انتخاب رویکردها و روشهای پایش و تشخیص آسیب (از لحاظ دائمی یا موقت بودن سیستم، پایش بر مبنای ارتعاش، پایش بر اساس پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مؤثر، پایش بر اساس انتشار موج و ...)، تعیین الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی (انواع تبدیلات پاسخ‌ها، پردازش سیگنال‌ها، روش‌های شناسایی سیستم، روش‌های تشخیص الگو، روش‌های بروزرسانی مدل و ...)، تعیین پارامترهای مورد نیاز (پارامترهای اندازه‌گیری، پارامترهای محاسباتی پاسخ، پارامترهای حساس به آسیب و ...)، ارزیابی و بررسی اعتبار، کارآیی و توانمندی روش‌های مذکور در تشخیص آسیب‌ها با استفاده از مدل‌سازی و تحلیل سازه و اجرای سیستم طرح شده بر روی نمونه‌هایی از سازه‌های مورد نظر بصورت پایلوت، بررسی‌های اقتصادی و در نهایت، تعیین بهترین طرح سیستم پایش سلامت سازه، می‌باشد. همچنین باید کلیه عوامل مؤثر در کارآیی سیستم مانند اثر شرایط محیطی، شرایط و محدودیت‌های عملکردی، انواع خطاها و عدم قطعیت‌های موجود (در ابزارهای اندازه‌گیری، مدل‌ها و ...) و اثر

اندرکنش خاک-سازه؛ مورد نظر قرار گرفته و با ارائه شاخص مناسب و کمّی، وضعیت عمومی سازه به لحاظ سلامت، مشخص و اعلام گردد. طراحی سیستم پایش سلامت SHM باید هماهنگ و همراستا با معماری کلی سامانه جامع پایش سلامت سازه‌های نیروگاه (نتیجه پروژه ۱) انجام گیرد. در این پروژه تفکیک دانش فنی به دو حوزه کلی "سازه‌های موجود" و "سازه‌های جدید"، تقسیم‌بندی شده و برای هریک از آنها، دانش فنی مورد نیاز تدوین خواهد گردید. همچنین به ازای مودهای مختلف آسیب که در این نوع از سازه‌ها شناسایی شده، روش‌های ترمیم و تعمیر نیز (با لحاظ فناوری‌های نوین) ارائه خواهند شد. مراحل اجرایی پروژه بصورت زیر است:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه پایش سلامت سازه‌ها با تمرکز ویژه بر سازه‌های مورد نظر و یا موارد مشابه
۲. گردآوری اطلاعات مورد نیاز در خصوص مودهای محتمل آسیب و تدوین مبانی نظری و دانش فنی پایش سلامت سازه و فونداسیون سیستم‌های خنک‌کننده با رویکردهای بازرسی و تست غیرمخرب در دو حالت سازه موجود و سازه جدید
۳. تدوین مبانی نظری و دانش فنی پایش سلامت سازه و فونداسیون سیستم‌های خنک‌کننده با رویکرد SHM شامل طراحی سخت‌افزارها و تعیین تجهیزات مورد نیاز، تهیه و توسعه نرم‌افزارهای مورد نیاز و طراحی فرآیند کلی پیاده‌سازی (برنامه راه‌اندازی، ارزیابی، بهره‌برداری و نگهداری سامانه) در دو حالت سازه موجود و سازه جدید
٤. اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه و اعتبارسنجی آن در تیپ‌های مختلف (حداقل ۴ تیپ) سازه خنک‌کننده انتخابی بصورت پایلوت
٥. برآورد هزینه‌های اجرا و تهیه اسناد فنی برگزاری مناقصه برای پیاده‌سازی سامانه پایش سلامت در سازه‌های مورد نظر
٦. ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آسیبها به ازای مودهای مختلف محتمل با لحاظ فناوری‌های نوین
۷. تهیه دستورالعمل پایش سلامت سازه سیستم‌های خنک‌کننده نیروگاهی

پروژه ۳: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در فونداسیون توربین-ژنراتور نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه نگهدارنده توربین و ژنراتور (فونداسیون توربین-ژنراتور) در نیروگاه‌های حرارتی (گازی، بخار و ترکیبی) انجام خواهد شد.

پروژه ۴: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های توربین هال، بویلر و HRSG نیروگاه‌های حرارتی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه توربین هال، سازه نگهدارنده بویلر در نیروگاه‌های بخار و سازه HRSG در نیروگاه‌های چرخه ترکیبی انجام خواهد شد.

پروژه ۵: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در مخازن ذخیره سوخت نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه و فونداسیون مخازن در نیروگاه‌های حرارتی (گازی، بخار و ترکیبی) انجام خواهد شد.

پروژه ۶: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه‌های ساختمانی اصلی (ساختمان کنترل، آتش نشانی و ...) در نیروگاه‌های حرارتی (گازی، بخار و ترکیبی) انجام خواهد شد.

پروژه ۷: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در سازه‌های نگهدارنده دودکش و لوله‌ها (پایپ رک‌ها) و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه‌های نگهدارنده دودکش و لوله ها (پایپ‌رک‌ها) در نیروگاه‌های حرارتی (گازی، بخار و ترکیبی) انجام خواهد شد.

پروژه ۸: توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی در برابر مخاطرات محیطی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

در راستای سیاست‌های کلان صنعت برق در خصوص تأمین برق بصورت پایدار و قابل اطمینان، نظام‌نامه مدیریت ریسک وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ به کلیه شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو (اعم از مادرتخصصی و تابعه) ابلاغ گردید. اهداف کلی این نظام نامه شامل تأمین پایدار آب و برق به منظور خدمت‌رسانی بی‌وقفه، مؤثر، مطمئن و ایمن به مشترکین، تاب‌آوری، کنترل و کاهش ریسک و آسیب‌پذیری و ایمن‌سازی تأسیسات و شریان‌های حیاتی در برابر سوانح طبیعی و غیرمترقبه می‌باشد. اولین گام در زمینه مدیریت و کاهش ریسک‌های حاصل از حوادث، برآورد و ارزیابی از میزان ریسک بصورت کمی است. ارزیابی ریسک و مدیریت آن، یک ابزار

پشتیبان تصمیم‌سازان، مدیران و صاحبان سرمایه‌ها و تأسیسات صنایع مختلف است. مفهوم ریسک در این حوزه عبارتست از احتمال پیامدهای نامطلوب انسانی، اقتصادی، اجتماعی و امنیتی ناشی از مخاطرات طبیعی (زلزله ، سیل، طوفان و ...) یا حوادث غیرمترقبه که بر اجزای در معرض خطر (سازه ها، تأسیسات و ...) ایجاد می‌شود. در نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو تصریح شده که تمامی سطوح سازمانی وزارت نیرو موظفند که جهت مدیریت ریسک سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه، اقداماتی شامل شناسایی و ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک تأسیسات و شبکه‌های برق و اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده برای طراحی اقدامات مناسب جهت پاسخگویی به ریسک‌ها را انجام دهند. در ادامهٔ فعالیت‌های مربوط به پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در سازه‌ها، ارزیابی عملکرد با هدف تعیین کفایت سازه در انجام عملکرد مورد انتظار آن تحت اثر انواع بارهای وارده، باید انجام شده و مبنای تصمیم‌گیری‌های صاحبان قرار گیرد. بر این اساس در این پروژه، دانش فنی مربوط به تحلیل و ارزیابی عملکرد سازه‌های نیروگاهی با استفاده از شاخصهای قابلیت اطمینان، ریسک و تاب آوری تحت اثرات مخاطرات محیطی، توسعه داده می‌شود. بدین منظور، شاخص‌های عملکردی مربوطه، تعیین شده و به صورت کمی و با استفاده از مدل‌های احتمالاتی پارامترهای مؤثر در آنها (شامل مخاطرات، پاسخ سازه‌ها، آسیب‌پذیری آنها، خسارات مالی حاصل از آسیب سازه‌ها و زمان و هزینه بازیابی) محاسبه می‌شوند. از شاخص‌های عملکردی فوق می‌توان به عنوان ابزارهایی برای تصمیم‌گیری در خصوص برنامه‌های بهینه برای بهسازی و ایمن‌سازی سازه‌ها استفاده نمود. همچنین با انجام تحلیل حساسیت شاخص‌ها نسبت به اجزای مختلف مؤثر در آن (از قبیل سازه‌ها و مخاطرات مختلف) می‌توان مهمترین اجزای مؤثر بر آنها را تعیین نموده و برای انجام اقدامات ایمن‌سازی، اولویت‌بندی نمود. با استفاده از ارزیابی و تخمین شاخص‌های عملکردی در زمان‌های آینده با لحاظ تغییرات مورد انتظار در ویژگی‌های سازه و مخاطرات در آینده، می‌توان عمر باقیمانده سازه را نیز تخمین زد که توسعه دانش و مدل‌های مورد نیاز این کار نیز در پروژه، مد نظر قرار دارد. در انتها نیز راهکارهای اجرایی فنی و مدیریتی برای ایمن‌سازی سازه‌های نیروگاهی در برابر مخاطرات محیطی ارائه خواهند شد. مراحل اجرایی کلی پروژه بصورت زیر است:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه رویکردها و روش‌های مختلف ارزیابی عملکرد سازه‌ها و سیستم‌های نیروگاهی (یا سیستم‌های مشابه) و طراحی چهارچوب کلی ارزیابی عملکرد سازه‌های نیروگاهی بر اساس تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری

۲. تعیین نوع و پارامترهای شدت مخاطرات محیطی موثر در عملکرد سازه‌های نیروگاهی و توسعه مدل احتمالاتی برای مخاطرات مورد نظر

۳. تدوین روش‌ها و الزامات گردآوری اطلاعات موجود سازه‌های نیروگاه و انجام بازدید و ارزیابی وضعیت اولیه (کیفی) و جامع (کمی) آسیب‌پذیری سازه‌های نیروگاه (شامل برداشت اطلاعات جامع سازه‌ها، تعیین مشخصات سازه‌ها با استفاده از روش‌های شناسایی سیستم، انجام آزمون‌های شناسایی مورد نیاز، تهیه مدل بروزشده و واقعی از سازه‌ها و تحلیل پاسخ سازه‌ها به بارهای حاصل از مخاطرات محیطی و شرایط عملکردی) و توسعه مدل‌های احتمالاتی آسیب‌پذیری سازه‌ها در سطوح مختلف خطر و آسیب.

٤. توسعه روش‌های محاسبه شاخص‌های عملکردی سازه‌های نیروگاه (تهیه مدل احتمالاتی برآورد خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم و زمان بازیابی حاصل از سطوح مختلف آسیب سازه‌ها و اثرات آنها بر عملکرد کلی واحدهای نیروگاه، محاسبه شاخص‌های عملکردی بصورت تفکیکی برای سازه‌ها و مخاطرات مختلف و تجمیعی) و تهیه نرم‌افزارهای کاربردی در این خصوص
٥. توسعه روش‌ها و مدل‌های احتمالاتی برای پیش‌بینی عملکرد آینده و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های نیروگاهی با لحاظ پارامترهای مؤثر متغیر در زمان
٦. ارائه راهکارهای کلی با هدف ایمن‌سازی و بهبود شاخص‌های عملکردی و افزایش عمر باقیمانده سازه‌های نیروگاهی با لحاظ فناوری‌های نوین
٧. تدوین دستورالعمل اجرایی برای انجام ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های نیروگاهی

پروژه ۹: توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های نیروگاهی در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

در این پروژه، دانش فنی و ابزارهای مورد نیاز (نرم‌افزار) جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه ساخت (با هدف کاهش زمان و هزینه‌های ساخت) و نگهداری سازه‌های نیروگاهی، بر اساس محاسبه و کمینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر سازه با لحاظ سناریوهای مختلف نگهداری، پایش سلامت، تعمیر و مقاوم‌سازی تدوین خواهد شد. در تدوین و توسعه دانش و ابزارهای مورد نظر، از رویکردهای نوین ارائه شده در حوزه‌های نگهداری تجهیزات نیروگاهی شامل RCM، RBM، CMMS و ... نیز استفاده خواهد شد. مراحل اجرایی کلی پروژه بصورت زیر است:

١. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه رویکردها و روش‌های بهینه سازی مدیریت نگهداری سازه‌ها و زیرساخت‌ها
٢. توسعه دانش فنی و ابزارهای محاسبه هزینه چرخه عمر سازه‌های نیروگاهی با لحاظ پارامترهای وابسته به زمان
٣. ارائه راهکارها و روش‌های فنی (شامل طراحی و بکارگیری سازه‌های پیش‌ساخته و سازه‌های سازگار با ساخت مدولار واحدهای نیروگاهی) و مدیریتی با هدف کاهش زمان و هزینه‌های ساخت سازه‌های نیروگاهی
٤. توسعه دانش فنی و ابزارهای بهینه‌سازی برنامه نگهداری و پایش سلامت سازه‌های نیروگاهی با هدف کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر آنها
٥. تهیه دستورالعمل اجرایی جهت پیاده‌سازی دانش فنی تدوین شده در نیروگاه‌های کشور

پروژه ۱۰: پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۳ نیروگاه حرارتی دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر نیروگاه بر حسب اولویت

در این پروژه، سیستم کلی پایش سلامت و نگهداری طراحی شده در پروژه های قبلی برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد ۳ تیپ مختلف از نیروگاه‌های حرارتی در کشور به ترتیب اولویت، اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به‌روز رسانی و افزایش کارآیی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این پروژه همچنین، رایزنی‌های لازم با ذینفعان در خصوص پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت در سایر نیروگاه‌های اولویت‌دار (تحت نظارت پژوهشگاه نیرو) نیز صورت گرفته و نظارت بر پروژه‌های اجرایی مربوطه نیز، انجام خواهد شد. مراحل اجرایی پروژه برای هریک از نیروگاه های منتخب بصورت زیر است:

۱. اولویت‌بندی نیروگاه‌های کشور و تعیین ۵ نیروگاه دارای اولویت از تیپ‌های مختلف (از دیدگاه سازه) با استفاده از داده‌های حاصل از پروژه ۱
۲. پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت جهت ارزیابی وضعیت موجود و تشخیص آسیب‌های سازه‌های نیروگاه
۳. انجام ارزیابی عملکرد و تعیین شاخص‌های عملکرد سازه‌های نیروگاه و تخمین عمر باقیمانده هریک از آنها
٤. ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آسیب‌ها به همراه ایمن‌سازی کلی سازه‌های نیروگاه با لحاظ فناوری‌های نوین
٥. تهیه برنامه بهینه برای اقدامات پایش سلامت، نگهداری، ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های نیروگاه در آینده
٦. نظارت بر پروژه‌های اجرایی پایش سلامت و نگهداری در نیروگاه‌های اولویت‌دار

پروژه ۱۱: ارائه راهکارهای فنی و مدیریتی برای بهینه‌سازی ساخت سازه‌های نیروگاه‌های حرارتی با هدف کاهش زمان و هزینه ساخت

نیروگاه‌های حرارتی یکی از زیرساخت‌های حیاتی و مهم کشور هستند که احداث آنها نیاز به هزینه و سرمایه‌گذاری قابل توجهی دارد. بطور کلی احداث هر هزارمگاوات نیروگاه حرارتی نیاز به سرمایه‌ای در حدود ۶۵۰ میلیون یورو دارد. بسته به نوع و شرایط نیروگاه، در حدود ۱۵ الی ۳۵ درصد هزینه ساخت نیروگاه مربوط به احداث سازه‌ها و سیویل آن است که رقم قابل توجهی می‌باشد. بر این اساس، اقداماتی که با استفاده از راهکارهای فنی یا مدیریت ساخت باعث کاهش هزینه احداث در بخش سازه و سیویل شود، می‌تواند در کاهش هزینه‌های کلی احداث نیروگاه، مؤثر و قابل توجه باشد. بنابراین در پروژه حاضر، راهکارهای مختلف فنی و مدیریتی که باعث کاهش زمان و هزینه ساخت سازه‌ها و سیویل نیروگاه‌های حرارتی شوند، بررسی و ارائه شده و موارد مؤثر و برتر از میان آنها، پیشنهاد و ارائه می‌شوند.

پروژه ۱۲: مطالعات نیازسنجی در حوزه دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های بومی برای طراحی سازه‌های نیروگاهی و تدوین دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مورد نیاز

شبکه برق یکی از شریان‌های حیاتی جامعه بوده و نقش بی‌بدیلی در تأمین انرژی مورد نیاز جامعه دارد. نیروگاه‌های تولید برق یکی از مهمترین اجزای شبکه برق می‌باشند. با توجه به اهمیت و کارکرد نیروگاه‌ها در سطح شبکه برق و همچنین در سطح کل جامعه، سازه‌های نیروگاهی نیاز به ملاحظات خاصی (نسبت به سایر انواع سازه‌ها) در طراحی و اجرا دارند که در قالب آئین‌نامه و دستورالعمل قابل ارائه است. در حال حاضر برای مکانیابی، مطالعات مورد نیاز، طراحی و احداث سازه‌های نیروگاهی آئین‌نامه خاصی در کشور وجود نداشته و از آئین‌نامه‌های عمومی سازه‌های ساختمانی (مباحث مقررات ملی ساختمان) و در صورت عدم کفایت آنها برای سازه‌های خاص (مثل دودکش‌ها و مخازن)، از آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های خارجی استفاده می‌شود. بر این اساس، نیاز به آئین‌نامه و یا دستورالعمل‌هایی که بطور خاص برای طراحی سازه‌های نیروگاهی تدوین شده باشند، احساس می‌شود. بخصوص در مورد طراحی لرزه‌ای (با توجه به لرزه‌خیزی اغلب مناطق کشور) سازه‌های نیروگاهی با توجه به تفاوت‌های عملکردی آنها با سازه‌های متعارف ساختمانی، نیاز به آئین‌نامه خاص (مانند آئین‌نامه تدوین شده برای سازه‌های صنعت نفت) وجود دارد.

هدف از این پروژه، انجام مطالعات تطبیقی نیازسنجی در خصوص تدوین آئین‌نامه‌های خاص برای طراحی و احداث سازه‌های نیروگاهی و در ادامه، تدوین آئین نامه‌های مورد نیاز می‌باشد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشند:

۱. گردآوری و بررسی مستندات فنی شامل استانداردها، آئین‌نامه‌ها، راهنماها و دستورالعمل‌های موجود در دنیا، در خصوص مکانیابی، طراحی و احداث سازه‌های نیروگاه‌های تولید برق حرارتی و تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی)
۲. بررسی آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های داخلی از لحاظ محتوایی و به روز بودن
۳. تعیین نقاط ضعف و کاستی‌های آئین‌نامه‌های داخلی از لحاظ پوشش‌دهی به نیازها
۴. تعیین موارد قابل بازنگری شامل موارد:
   - کمبود عناوین و موضوعات تحت پوشش هر دستورالعمل یا آئین‌نامه
   - نیاز به به‌روزرسانی و بازنگری موضوعات موجود در هر دستورالعمل یا آئین‌نامه
   - تغییر محتوا و یا تهیه دستورالعمل یا آئین‌نامه جدید
۵. تدوین یا به‌روزرسانی آئین‌نامه‌های مورد نیاز

پروژه ۱۳: تدوین دانش فنی شناسایی و پایش اثرات فرونشست زمین بر نیروگاه‌های حرارتی، ارائه راهکارهای ایمن‌سازی و پیاده سازی در ۳ نیروگاه دارای اولویت

استخراج بیش از اندازه آب به منظور تامین نیازهای کشاورزی و صنعتی و توام شدن آن با دوران خشکسالی و کاهش نزولات جوی، سبب شده که دیگر تحت شرایط طبیعی امکان تغذیه منابع آبی زیرزمینی وجود نداشته

باشد. این موضوع سبب نشست ناحیه‌ای زمین در بسیاری از مناطق شده به گونه ای که در بسیاری از نواحی، پایین آمدن سطح زمین به علت پمپاژ بیش از اندازه آب زیرزمینی تحت عنوان "فرونشست زمین" گزارش شده است. پدیده فرونشست زمین، شامل فروریزش یا نشست رو به پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک نیز باشد. این تعریف، شامل پدیده‌هایی همچون زمین لغزش، بدلیل اینکه حرکت آن دارای بردار افقی قابل توجهی است و همچنین نشست در خاک‌های دستی، که دارای مکانیزم متفاوتی است، نمی‌باشد. لازم بذکراست که حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نمی‌باشد. غیر از برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناختی مانند زلزله، انحلال، آب شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدنکاری و حتی برداشت نفت نیز ایجاد شود. فرونشست و شکاف‌های زمین که به آهستگی و به تدریج گسترش می‌یابند گرچه مانند خطرهای ناگهانی و فاجعه بار مانند سیل و زلزله دارای خسارات مشهودی نمی‌باشند و حتی آثار سطحی حاصل از آن نیز براحتی قابل تشخیص نیست، ولی با این وجود بطور معمول خسارت‌های ناشی از فرونشست‌ها و شکاف‌های زمین، اغلب به سختی ترمیم‌پذیر، پرهزینه و مخرب می‌باشد. فرونشست در بسیاری از موارد می‌تواند باعث ایجاد اثرات مخرب زیست‌محیطی و اقتصادی مانند ایجاد ترک‌ها و شکاف‌های سطحی، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، تغییر در تراز و شیب آبراهه‌ها، کانال‌ها و زهکشی‌ها، خرابی شریان‌های حیاتی مانند خطوط انتقال برق، پل‌ها، راه‌ها، لوله‌های فاضلاب، کانال‌ها و خاکریزها و همچنین شکست لوله چاه‌ها شود. مناطق شهری به دلیل دارا بودن تراکم جمعیت، ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی به طور ویژه آسیب پذیرتر می‌باشند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب زده، خطوط آبرسانی، گاز و برق و فاضلاب را مختل کرده، به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده و موجب ترک در آنها گردد. به طور کلی هر سازه‌ای که در مسیر شکل‌گیری شکاف یا فروچاله واقع شده باشد، در معرض آسیب بیشتری قرار دارد. فرونشست در نقاط مختلفی از جهان گزارش گردیده است. از نمونه‌های آن می‌توان به نشست زمین به دلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته در شهر بانکوک در تایلند اشاره نمود. از نمونه‌های دیگر نشست زمین می‌توان به شهر ونیز در ایتالیا با نرخ فرونشست نیم سانتیمتر بر سال، مکزیکوسیتی در مکزیک با نرخ فرونشست ۳۸۰ میلی‌متر بر سال، باندونگ اندونزی با نرخ فرونشست ۲۳۰ میلی‌متر بر سال، جاکارتای اندونزی با نرخ فرونشست ۲۲۰ میلی‌متر بر سال باخترآریستا در مکزیک با نرخ فرونشست ۱۸۴ میلی‌متر بر سال، دشت ساگا ژاپن با نرخ فرونشست ۱۶۰ میلی‌متر بر سال، سامارانگ اندونزی با نرخ فرونشست ۱۳۰میلی‌متر بر سال، زامورا در مکزیک با نرخ فرونشست ۱۲۸میلی‌متر بر سال و پکن در چین با نرخ فرونشست ۱۱۵میلی‌متر بر سال اشاره نمود [۵]. در کشور ایران نیز نقاط زیادی دارای پتانسیل فرونشست می‌باشند. نخستین دشتی که در ایران در آن فرونشست گزارش شده‌است، دشت رفسنجان می‌باشد. اولین گزارشهای مربوط به نشست این دشت مربوط به سال ۱۳۴۶ است. در دشت رفسنجان به ازای هر ۱۰متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۲سانتیمتر نشست زمین گزارش شده است. از جمله دشت‌هایی دیگر که در آنها پدیده فرونشست اتفاق افتاده است می‌توان به دشت مشهد، نیشابور، سبزوار، کاشمر، بردسکن، تربت حیدریه، چناران و خواف در استان خراسان رضوی، دشت اراک و خمین در استان مرکزی، دشت مبارکه، گلپایگان، کاشان، نجف آباد و مهیار در

استان اصفهان، دشت کبودرآهنگ، اسدآباد، قهاروند، دشت مرکزی و فامنین در استان همدان، دشت شبستر و سلماس در استان آذربایجان غربی و شرقی، دشت مهرشهر، نظرآباد، اشتهارد، هشتگرد و ساوجبلاغ در استان البرز، دشت قزوین در استان قزوین، دشت میناب در استان هرمزگان، دشت گنبد و گرگان در استان گلستان، دشت جنوب تهران- شهریار، ورامین و قرچک در استان تهران، دشت رفسنجان، زرند، فهرج، رستاق، سیرجان، کرمان و بهرمان در استان کرمان، دشت مرودشت، فسا، جهرم، کازرون و حاجی آباد در استان فارس، دشت اردبیل در استان اردبیل، دشت جمکران و علی‌آباد در استان قم، دشت ابرکوه، یزد و اردکان در استان یزد و دشت گرمسار، ایوانکی، دامغان، سمنان، شاهرود و سرتنگه‌پرور در استان سمنان اشاره کرد [۵]. در آخرین نسخه اطلس فرونشست زمین در کشور که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۹۸ تهیه شده، تعداد ۲۷ محدوده از دشت‌های دارای فرونشست در کشور مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفته و کانتورهای مقدار نرخ فرونشست در آنها بصورت نقشه ارائه شده‌اند. با جانمایی نیروگاه‌های کشور در محدوده‌های ارائه شده در اطلس فوق، مشخص شد که تعداد ۲۶ نیروگاه حرارتی (شامل ۹ نیروگاه دولتی) داخل مناطق مطالعه شده قرار می‌گیرند که این تعداد، در حدود ۲۶ درصد نیروگاه‌های حرارتی کشور را شامل می‌شوند که حدود ۳۷ درصد ظرفیت تولید حرارتی کشور را تأمین می‌کنند [۶ و ۷].

در این پروژه، انجام مطالعات شناسایی سازوکار فرونشست زمین و مشخصات آن شامل نرخ سالانه، پروفیل تغییرمکان زمین و پیش‌بینی روند تغییرات آنها در آینده، در محل یک نیروگاه حرارتی دارای اولویت و در معرض خطر، مورد نظر می‌باشد. در این راستا، ابتدا لازم است تا با استفاده از معیارهای مناسب و مورد نظر کارفرما، نیروگاه‌های دارای اولویت، مشخص و انتخاب گردند. برای اولویت‌بندی لازم است معیارهایی از قبیل خطر فرونشست و زلزله در محل نیروگاه، عمر نیروگاه و ظرفیت تولید آن طرح‌های توسعه آتی نیروگاه‌ها، نوع نیروگاه، تعداد واحدها و تنوع سازه‌های نیروگاه، نقش و اهمیت نیروگاه در شبکه سراسری (بار پایه یا پیک)، امکان دسترسی برای انجام عملیات و استفاده از آخرین نسخه اطلس فرونشست کشور نیز در تعامل با کارفرما مورد نظر قرار گیرند. پس از انتخاب نیروگاه اولویت‌دار، شناسایی سازوکار و مشخصات فرونشست زمین بر اساس مطالعات دورسنجی، مطالعات منابع آب (ژئوالکتریک، هیدرولوژی و ژئوهیدرولوژی، اطلاعات چاه‌ها)، مطالعات زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی (تکتونیک)، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک به همراه طراحی و اجرای یک سیستم پایش تغییرمکان‌های زمین، سازه‌ها، ساختمان‌ها و فونداسیون تجهیزات در آینده بر مبنای ترازیابی، انجام خواهد شد. لازم به ذکر است که از دید علوم زمین‌شناسی، مهندسی منابع آب، دورسنجی و ژئوتکنیک، معیارهایی برای تشخیص علت وقوع، موجودیت خطر، برآورد گسترش و پیش‌بینی کاهش یا شدت نرخ فرونشست در زمان وجود دارد. هر کدام از این معیارها جایگاه ویژه‌ای در تعریف کمی و کیفی پارامترهای فوق‌الذکر داشته و بخشی از سازوکار فرونشست و مشخصات آن را تبیین می‌کنند. ولیکن برای حصول یک دید جامع و کامل نسبت به کلیه وجوه فرونشست اعم از مقدار و روند تغییرات، سازوکار و علل ایجاد آن و سهم هریک از عوامل مؤثر، انجام همه مطالعات فوق و تلفیق نتایج آنها جهت حصول نتیجه نهایی، لازم خواهد بود. در انتهای این مرحله، یک ارزیابی اولیه (بر اساس بازدید میدانی) با هدف شناسایی اثرات فرونشست بر سازه‌ها و ساختمان‌ها و عملکرد تجهیزات نیروگاه منتخب انجام

خواهد شد. در مرحله بعد، مطالعات تحلیل آسیب‌پذیری سازه‌های متأثر از فرونشست (با اولویت سازه‌های اصلی) در نیروگاه منتخب تحت اثر تغییرشکل‌های زمین در حال و آینده، با استفاده از مدل‌سازی آنها در نرم‌افزار مناسب انجام شده و وضعیت فعلی سازه‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده آنها به لحاظ آسیب‌پذیری، بررسی خواهد شد. سازه‌های اصلی نیروگاه‌های حرارتی در این پروژه شامل فونداسیون توربین و ژنراتور (بخاری و گازی)، سازه و فونداسیون سیستم خنک‌کن اصلی و کمکی، سازه توربین‌هال (بخاری و گازی)، سازه نگهدارنده بویلر و HRSG، سازه دودکش، سازه ساختمان کنترل، مخازن (سوخت، آب خام، آمونیاک و ...) و سازه نگهدارنده لوله‌ها (پایپ‌رک‌ها) می‌باشند. برای بررسی آسیب‌پذیری سازه‌ها از معیارهای سازه‌ای (طبق آئین‌نامه‌های طراحی و بهسازی سازه‌ها) و معیارهای عملکردی تجهیزات (طبق مشخصات فنی سازندگان) استفاده خواهد شد. در ادامه، سیستمی برای پایش وضعیت و اعلام هشدار در سازه‌های نیروگاه منتخب طراحی و پیاده‌سازی خواهد شد. درصورتیکه هریک از سازه‌ها نیاز به ایمن‌سازی داشته باشند، سیستم پایش سازه با هدف رصد عملکرد سازه بعد از اجرای راهکار ایمن‌سازی طراحی می‌شود و اگر سازه‌ها در حال حاضر نیاز به ایمن‌سازی نداشته باشند، سیستم پایش برای رصد عملکرد آن تا زمان نیاز به ایمن‌سازی طراحی می‌شود. سیستم پایش سازه‌ها بر اساس بازدید چشمی و اندازه‌گیری پارامترهایی مانند تغییرمکان، دوران، کرنش و تنش در نقاط بحرانی سازه‌ها با استفاده از ابزاردقیق مناسب، طراحی خواهد شد. در نهایت، راهکارهای ایمن‌سازی نیروگاه منتخب و سازه‌های آنها با رویکردهای مختلف بررسی شده و بهترین راهکار (با لحاظ مسائل فنی و اقتصادی) در نیروگاه منتخب طراحی و با جزئیات تفصیلی، ارائه خواهد شد. همچنین معیارهای تصمیم‌گیری در خصوص زمان و نحوه اجرای راهکار ایمن‌سازی با استفاده از خروجی و هشدارهای سیستم پایش نیز، تدوین و ارائه خواهند شد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشند:

۱. گردآوری و بررسی مستندات فنی و تعیین نیروگاه اولویت‌دار جهت انجام مطالعات و ارائه گزارش
۲. انجام مطالعات شناسایی سازوکار فرونشست و تعیین مشخصات آن در محدوده نیروگاه منتخب مورد مطالعه
۳. ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های نیروگاهی در برابر فرونشست و طراحی سیستم پایش اثرات فرونشست بر آنها
٤. پیاده‌سازی سیستم پایش اثرات فرونشست بر سازه‌ها در نیروگاه مورد بررسی
٥. ارائه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها و تجهیزات در نیروگاه منتخب در برابر اثرات فرونشست

پروژه ۱۴: رتبه بندی نیروگاه های حرارتی کشور بر اساس ریسک زلزله، ارزیابی آسیب پذیری و ارائه راهکارهای ایمن سازی سازه های مهم در ۳ نیروگاه دارای اولویت در برابر خطر زلزله

کشور ایران در منطقه ای از جهان واقع گردیده است که همواره در فواصل کمتر از ده سال زلزله‌های بزرگی را تجربه خواهد کرد. در راستای تأمین قابلیت اطمینان و ایمنی انرژی و کاهش انواع صدمات و خسارات حاصل از تخریب یا عدم عملکرد سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق، طراحی سازه‌های جدید برای پایداری و دوام در برابر

مخاطرات مختلف از یک طرف و ارزیابی و بهسازی سامانه‌ها و سازه‌های موجود برای حفظ سطح ایمنی آنها از طرف دیگر، ضروری است. نیروگاه‌های حرارتی باید در طول عمر عملیاتی خود در سطح مناسبی از سرویس‌دهی، ایمنی و پایداری باشند. با این حال، حوادث طبیعی نظیر زلزله‌های شدید، طوفان‌های قوی و فرسودگی مواد، چالش‌های زیادی را به این سامانه‌ها تحمیل می‌کنند. تعداد قابل توجهی از سازه‌ها و ناسازه‌های موجود در این نیروگاه‌ها به علت خطرات طبیعی و یا انسانی دچار آسیب‌های جدی شده است. مواردی که از زلزله‌های آبان ۱۳۹۶ کرمانشاه و منجیل سال ۱۳۶۹ بوجود آمد نمونه‌ای از این موارد می‌باشد. بر اساس بررسی جانمایی نیروگاه‌های تحت مالکیت شرکت برق حرارتی (نیروگاه‌های دولتی) در نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله کشور [۸]، تعداد ۲۷ نیروگاه (معادل ۶۳ درصد) در مناطق با خطر زلزله زیاد و خیلی زیاد (به ترتیب ۳۰ و ۳۳ درصد در مناطق خیلی زیاد و زیاد) کشور واقع شده‌اند. از طرف دیگر به لحاظ ظرفیت نامی تولید، در حدود ۱۴۳۸۰ مگاوات (معادل ۶۲ درصد ظرفیت نیروگاه‌های دولتی) مربوط به نیروگاه‌های واقع در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد (به ترتیب ۲۸ و ۳۴ درصد در مناطق خیلی زیاد و زیاد) است. از میان نیروگاه‌های فوق، در حدود ۴۵ درصد (معادل حدود ۴۰ درصد ظرفیت تولید) دارای سن بیش از ۳۰ سال بوده و به احتمال قوی، طراحی لرزه‌ای مناسبی نداشته و پتانسیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالا دارند [۷ و ۸]. بر این اساس و با توجه به جمیع مطالب فوق‌الذکر، انجام مطالعات ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای و پیاده‌سازی آن در تعداد قابل توجهی از نیروگاه‌های برق حرارتی لازم و ضروری است. در این راستا و با توجه به محدودیت منابع، اولویت‌بندی این نیروگاه‌ها منجر به صرف مؤثرتر و بهینه منابع مالی برای بهسازی لرزه‌ای آنها خواهد شد.

هدف از انجام پروژه حاضر، اولویت‌بندی نیروگاه‌های تحت پوشش شرکت تولید برق حرارتی (نیروگاه‌های دولتی) برای انجام مطالعات تفصیلی ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی در برابر زلزله می‌باشد. بدین منظور از تحلیل کمّی ریسک نیروگاه‌ها در برابر زلزله استفاده خواهد شد. تحلیل ریسک لرزه‌ای شامل ارزیابی شدت خطر زلزله در محل نیروگاه‌ها (منحنی خطر)، ارزیابی آسیب‌پذیری کلی نیروگاه‌ها (بر اساس منحنی‌های شکنندگی)، ارزیابی پی‌آمدهای مالی حاصل از آسیب نیروگاه‌ها (بر اساس توابع خسارت مالی) و تلفیق آنها با روش‌های احتمالاتی بوده و خروجی نهایی آن، متوسط سالانه خسارات مالی محتمل برای نیروگاه‌های مورد نظر خواهد بود. در نهایت، ترتیب اولویت بهسازی لرزه‌ای نیروگاه‌های مورد نظر براساس مقادیر متوسط سالانه خسارت مالی تعیین خواهد شد. در ادامه، ارزیابی آسیب پذیری و ارائه راهکارهای مقاومسازی لرزه ای در ۳ نیروگاه دارای اولویت انجام خواهد شد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشند.

۱. گردآوری مستندات، اطلاعات و سوابق موضوعی
۲. تهیه منحنی‌های خطر لرزه‌ای در محل نیروگاه‌های برق حرارتی
۳. تهیه منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای برای نیروگاه‌های حرارتی
٤. برآورد توابع خسارات مالی حاصل از زلزله در نیروگاه‌های حرارتی
٥. تحلیل ریسک لرزه‌ای نیروگاه‌های برق حرارتی و اولویت‌بندی آنها برای انجام مطالعات تفصیلی ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای

٦. ارزیابی لرزه‌ای و ارائه راهکارهای مقاومسازی در ۳ نیروگاه دارای اولویت

پروژه ۱۵: توسعه دانش فنی پایش سلامت سازه با هدف شناسایی سیستم، تشخیص و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها در برج و فونداسیون توربین‌های بادی و ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل و اجرای پایلوت

این پروژه مانند پروژه شماره ۲ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه برج و فونداسیون توربین‌های بادی در نیروگاه‌های بادی انجام خواهد شد.

پروژه ۱۶: توسعه دانش فنی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر مفید برج و فونداسیون توربین‌های بادی در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های ریسک و تاب‌آوری و ارائه راهکارهای ایمن‌سازی به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

این پروژه مانند پروژه شماره ۸ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه برج و فونداسیون توربین‌های بادی در نیروگاه‌های بادی انجام خواهد شد.

پروژه ۱۷: پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارئه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌ها در ۵ توربین بادی دارای اولویت

این پروژه مانند پروژه شماره ۱۰ است که فعالیت‌های آن در مورد ۵ عدد (ترجیحاً از تیپ‌های مختلف) سازه برج و فونداسیون توربین‌های بادی در نیروگاه‌های بادی انجام خواهد شد.

پروژه ۱۸: مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد کامپوزیت در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی

امروزه با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مواد کامپوزیتی، این مواد در اکثر کشورهای پیشرفته صنعتی، جایگزین بسیار مناسبی به جای فلزات، چوب و پلاستیک به شمار می‌آیند. در سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های انتقال و توزیع، کاربرد مواد کامپوزیتی در دنیا بصورت روزافزونی در حال گسترش است. هدف از این پروژه، امکانسنجی استفاده از مواد کامپوزیتی در سازه‌های نیروگاهی به لحاظ فنی و اقتصادی است که می‌توانند در ساخت (به عنوان مصالح پایه) و یا ترمیم و مقاومسازی (بصورت مصالح ترمیمی مانند FRP) سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. بخصوص در مواردی که سازه‌های نیروگاهی از ناحیه خوردگی مورد تهدید قرار دارند، استفاده از مصالح کامپوزیتی می‌تواند راه مناسبی برای افزایش عمر و دوام سازه‌ها باشد. پس از انجام مطالعات امکانسنجی، در مورد سازه‌هایی که مناسب برای استفاده از مصالح کامپوزیتی باشند، دانش مورد نیاز برای طراحی و ساخت و آزمون‌های مربوطه، تدوین خواهد گردید.

پروژه ۱۹: مطالعات امکانسنجی و بکارگیری مواد نانوساختار در ساخت، ترمیم و مقاومسازی سازه‌های نیروگاهی

فناوری نانو را می‌توان در حوزه های مختلفی در ارتباط با سازه‌های صنعت برق بکار برد که به عنوان نمونه می‌توان به کاربرد آن در بهبود کیفیت بتن‌ها، بهسازی خاک، تولید بتن‌های خود ترمیم‌شونده، تولید روکش‌های ضد خوردگی فولاد، تولید روکش‌های ضد آب و تولید روکش‌های ضد حریق اشاره نمود. در این پروژه با توجه به نتایج استخراج شده از پروژه آینده پژوهشی "بکارگیری مواد نانو ساختار در سازه‌های صنعت برق" در گروه سازه، بررسی و ارائه حوزه‌های مختلف کاربرد فناوری نانو در سازه‌های نیروگاهی (از ساخت تا ترمیم و مقاومسازی) به همراه ارائه روش‌ها و رویکردهای بکارگیری آن و اکتساب دانش و فناوری‌های مورد نیاز، مورد نظر می‌باشند. مراحل کلی به شرح ذیل است:

۱. جمع‌آوری و دسته‌ندی انواع مواد نانوساختار کاربردی در سازه‌های نیروگاهی به همراه مزایا و معایب هریک
۲. بررسی پیش‌زمینه‌های لازم جهت بکارگیری تکنولوژی مواد نانو ساختار
۳. اولویت‌بندی بکارگیری مواد نانو ساختار به تفکیک سازه‌های نیروگاهی (بتنی و فولادی)
٤. بررسی پیاده‌سازی مواد نانو ساختار در بهبود عملکرد، چرخه عمر و افزایش تاب‌آوری و انتخاب گزینه‌های برتر
٥. تخمین هزینه‌ها و روش‌های اجرا و پیاده‌سازی

شناسنامه پروژه های طرح تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال و فوق‌توزیع

پروژه ۱: ارزیابی ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه

در این پروژه پس از ارزیابی ریسک‌های موجود، تأثیر استقرار و پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه بر کاهش آنها با استفاده از روش‌های فوق الذکر و مفروضات منطقی ارزیابی گردیده و تاثیر پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه به رویکردهای مختلف بر ریسک‌های موجود در دو حوزه انتقال، مطالعه شده و ریسک آن با توجه به هزینه‌های توسعه و اجرا، مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در تصمیم‌سازی و انتخاب استراتژی‌های کاهش ریسک و افزایش ایمنی در سازه‌های شبکه انتقال مورد استفاده قرار گیرد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. بررسی ادبیات فنی موضوع و گردآوری سوابق موضوعی ارزیابی ریسک سازه‌ها
۲. شناسایی و معرفی روش‌های ارزیابی ریسک در سازه‌ها
۳. ارزیابی و تحلیل ریسک های موجود در سازه های انتقال
٤. بررسی تأثیر پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه بر ریسک‌های موجود

پروژه ۲: امکانسنجی، طراحی، ساخت و آزمون دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره آویزی انتقال

در پروژه حال حاضر پس از مطالعات اولیه و امکان‌سنجی فنی و طراحی اولیه، نمونه اجزا کامپوزیتی دکل ساخته شده و آزمون‌های مورد نیاز جهت صحت عملکرد الکتریکال و مکانیکال در آزمایشگاه‌های معتبر انجام می‌شود و سپس یک نمونه دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره آویزی شبکه انتقال تولید شده و مورد آزمون نوعی مطابق استاندارد قرار می‌گیرد و در نهایت مطالعات اقتصادی و راهنمای طراحی، ساخت، آزمون و نصب و نگهداری دکل‌های کامپوزیتی در قالب دستورالعمل ارائه می‌گردد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. جمع آوری ادبیات موضوع و امکان سنجی
۲. انتخاب دکل شاهد، آزمون نمونه مواد و طراحی مقدماتی
۳. پیاده‌سازی طرح و ساخت نمونه‌های مورد نیاز
٤. انجام آزمون‌های استاندارد و اصلاح طرح در صورت نیاز
٥. بررسی چرخه عمر، دوام و حفظ عملکرد مکانیکی مطلوب مواد کامپوزیتی دکل انتقال
٦. ساخت و آزمون نوعی سازه‌ای دکل
۷. مطالعات اقتصادی و ارائه نقشه‌های ساخت و نصب
۸. تدوین دستورالعمل طراحی، ساخت، آزمون و نصب و نگهداری دکل کامپوزیتی

پروژه ۳: طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه مقره خودکراس آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت آویزی

رویکرد اصلی این پروژه طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه مقره خودکراس‌آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت آویزی است. جهت اطمینان از عملکرد مثبت نتایج، پروژه به دو فاز اصلی "مطالعات اولیه و طراحی" (مرحله ۱ الی ۲) و "ساخت و تست" (مرحله ۳ الی ۵) تقسیم گردیده است و مراحل آن نیز بر همین اساس تعریف شده است. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. جمع آوری ادبیات موضوع و امکان سنجی ساخت
۲. انتخاب دکل شاهد و طراحی مقره خودکراس‌آرم
۳. پیاده‌سازی طرح و ساخت مقره خودکراس‌آرم
٤. انجام آزمون‌های استاندارد و اصلاح طرح در صورت نیاز
٥. مطالعات اقتصادی و ارائه نقشه های ساخت و نصب طرح نهایی

پروژه ۴: بررسی فنی و اقتصادی ساخت دکل‌های موقت شبکه انتقال نیرو با مصالح کامپوزیت و آلومینیوم و طراحی، ساخت و آزمون رده ولتاژی ۶۳-۱۳۲ و ۲۳۰-۴۰۰ با توجه به انتخاب گزینه برتر

در این پروژه با هدف کاهش زمان بازیابی مجدد خط در زمان بروز سقوط دکل و افزایش تاب‌آوری خطوط انتقال نیرو، پس از مطالعات اولیه و امکان‌سنجی فنی، دکل‌های موقت متناسب با شرایط اقلیمی کشور طراحی شده، سپس بعد از نمونه‌سازی برای اطمینان از عملکرد آن ها مورد آزمون نوعی (تایپ تست) قرار می‌گیرند. در آزمون نوعی، دکل بصورت مقیاس کامل ساخته شده و نیروهای متناظر با حالت‌های مختلف بارگذاری به آن اعمال شده و در صورت عدم وقوع شکست، صحت طراحی و ساخت دکل احراز می‌شود. با توضیحات فوق در این پروژه دکل‌های موقت بر اساس دو نوع مصالح آلومینیوم و کامپوزیت و شرایط منطقه‌ای در دو سطح ولتاژ ۲۳۰-۴۰۰ و ۶۳-۱۳۲ طراحی مفهومی شده و گزینه‌های برتر شناسایی می‌شود. سپس طراحی تفصیلی انجام شده و با انجام نمونه‌سازی و آزمون‌های نوعی در آزمایشگاه مرجع نسبت به عملکرد مناسب آن اطمینان حاصل خواهد شد. لازم به ذکر است طراحی‌ها برای دو سطح بارگذاری متوسط و سنگین در دو تیپ آویزی (ده درجه) و زاویه (۴۵ درجه) انجام می‌شود، لذا مجموعاً برای دو رده ولتاژی و برای هریک از انواع مصالح ۸ تیپ دکل طراحی می‌شود. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. بررسی و مطالعه ضرورت استفاده از دکل‌های موقت با هدف افزایش تاب آوری شبکه انتقال نیرو
۲. جمع آوری طرح های موجود در دنیا و مقایسه مزایا و معایب و امکان سنجی فنی طراحی و ساخت
۳. دسته بندی مشخصات مورد نظر کارفرما بر اساس نتایج نظر سنجی از شرکتهای برق منطقه ای
٤. طراحی مفهومی بر اساس دو نوع مصالح آلومینیوم و کامپوزیت در دو سطح ولتاژ ۲۳۰-۴۰۰ و ۶۳-۱۳۲ و انتخاب گزینه برتر

۵. طراحی جزئیات دکل موقت برای دو سطح ولتاژ و ۳ شرایط کاربری و ارائه نقشه های ساخت
٦. نمونه سازی دکل های طراحی شده
۷. انجام تایپ تست دکل های ساخته شده
۸. بروز رسانی نقشه ها بر اساس نتایج تایپ تست و تهیه دفترچه راهنمای نصب و تعمیر و نگهداری
۹. تهیه مشخصات فنی طرح ها جهت برگذاری مناقصه ساخت
۱۰. نظارت بر مراحل ساخت و برگزاری دوره های آموزشی کار با دکل موقت

پروژه ۵: تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت

در این پروژه، روش‌ها و دستورالعمل‌های لازم در اختیار کارفرمایان و مشاوران قرار خواهد گرفت بگونه‌ای که بتوانند با مراجعه به آمار عملکردی دکل‌های یک خط انتقال در منطقه مورد نظر و بررسی وضعیت موجود، انجام تست‌ها و آزمایشات مورد نیاز و تکمیل داده‌ها و اطلاعات با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، به **ارزیابی عملکرد** و **تخمین عمر باقیمانده** دکل‌های خط بپردازند. جهت انجام پروژه، دکل انتقال نیرو به صورت دو جزء سازه برج و پی در نظر گرفته می‌شوند. با توجه به تنوع موجود در هر یک از مؤلفه‌های ذکر شده جهت بکارگیری در خط و از آنجا که در این پروژه هدف، ارائه دستورالعمل ارزیابی عملکرد و تخمین عمر دکل‌های انتقال نیرو کشور می‌باشد، متداولترین مدل از هر مؤلفه در نظر گرفته می‌شود و شرح خدمات بر اساس دو بخش کلی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر بر اساس دو رده ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت استخراج گردد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. اخذ و بررسی اطلاعات و مستندات ارزیابی عملکرد دکل های انتقال
۲. ارزیابی عملکرد (life assessment) برج
۳. ارزیابی عملکرد (life assessment) فونداسیون برج
٤. ارزیابی عملکرد جامع دکل‌های خطوط انتقال کشور (life assessment)
۵. ارائه دستورالعمل ارزیابی عملکرد دکل‌های انتقال کشور
٦. اخذ و بررسی اطلاعات و مستندات تخمین عمر دکل‌های انتقال
۷. ارائه دستورالعمل ارزیابی عمر دکل‌های انتقال کشور
۸. نظارت راهبردی جهت ارزیابی عمر یک خط نمونه به طول ۵۰ کیلومتر در برق منطقه‌ای تهران

پروژه ۶: جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه‌های خطوط و پست‌های انتقال و فوق‌توزیع (در حال بهره‌برداری و طرح توسعه آتی)

در این پروژه، تلاش می‌شود که دستورالعملی جهت شناسایی، پایش و بهسازی سازه‌ای و ژئوتکنیکی برای سازه‌های انتقال نیرو در مناطق تحت تاثیر فرونشست زمین ارائه گردد. در این راستا، ابتدا مطالعه‌ای جامع بر روی

متون فنی و گزارش‌های موجود انجام می‌پذیرد و عوامل مهم بروز این پدیده و مکانیزم آن بررسی می‌گردد. سپس نحوه استفاده از نقشه‌های ماهواره‌ای تصویربرداری شده از مناطق مختلف مستعد فرونشست تبیین گردد و نحوه تعیین نرخ فرونشست در نقاط مختلف ارائه گردد. سپس راهکارهای پایش و مانیتورینگ سازه‌ها و زمین اطراف آنها از حیث تحرکات فرونشست زمین ارائه می‌شود و در نهایت روش‌های بهسازی سازه‌ای و ژئوتکنیکی زمین ارائه گردد. جهت صحت‌سنجی راهکارهای ارائه شده، یک بازه طرح آزمایشی پایلوت به طول مجموع ۲ کیلومتر شامل یک پست انتقال، یک پست فوق توزیع ۶۳ کیلوولت و دو خط انتقال ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت که در اثر پدیده فرونشست آسیب دیده و یا در معرض آسیب در آینده قرار دارد، انتخاب می‌گردد و برای تاسیسات ذکر شده طرح بهسازی سازه‌ای و ژئوتکنیکی به همراه نقشه‌های اجرایی مربوطه ارائه می‌گردد. مراحل کلی به شرح ذیل است:

۱. مطالعه متون فنی و ارزیابی سابقه کارهای مشابه پیشین در سطح ملی و بین المللی
۲. ارائه راهکار نحوه استفاده از نقشه‌های دورسنجی در تشخیص نقاط مستعد فرونشست و روش استفاده از آنها
۳. ارائه دستورالعمل پایش، بهسازی سازه‌ای و بهسازی ژئوتکنیکی مناطق و سازه‌های انتقال نیرو تحت تاثیر فرونشست زمین
٤. انتخاب و بررسی یک محدوده پایلوت به منظور ارائه طرح بهسازی سازه‌ای و ژئوتکنیکی

پروژه ۷: بررسی و ارائه راهکارهای جلوگیری از سرقت نبشی دکل‌های مشبک خطوط انتقال نیرو

سرقت نبشی از دکل های انتقال برق یکی از چالش های صنعت برق است که امنیت و قابلیت اطمینان خطوط انتقال نیروی کشور را تحت تاثیر قرار داده و باعث وارد آمدن خسارات مالی فراوانی به شرکت های برق منطقه ای شده است. اقدام به سرقت نبشی ها و باز کردن پیچ و مهره ها از محل های حساس دکل های فشار قوی موجب تضعیف عملکرد سازه دکل شده و می تواند موجب سقوط دکل و حتی دکل های مجاور (Cascade Failure) گردد. به عنوان نمونه در آبان ماه امسال در اثر سرقت نبشی، ۱۰ دکل خط ۴۰۰ کیلوولت نیروگاه گدار – اهواز ۲ و خط ۲۳۰ کیلوولت نیروگاه شهید مدحج (زرگان) – اهواز سقوط کردند که موجب خسارات فراوانی گردید. مسائل و مشکلات ناشی از نبشی دزدی را می توان به طور خلاصه در بخش های زیر دسته بندی نمود:

- کاهش قابلیت اطمینان خطوط انتقال نیرو
- قطعی برق بر اثر سقوط دکل های انتقال نیرو و در نتیجه مشکلات مالی، امنیتی و اجتماعی
- خسارات مالی فراوان ناشی از ساخت مجدد و برپایی دکل
- خسارت های متفرقه (جانی از ناشی فوت انسان، هزینه های غیر مستقیم خاموشی و ...)

با توجه به مشکلات و خسارات مستقیم و غیرمستقیمی که پدیده سرقت نبشی به شبکه برق کشورها از جمله ایران تحمیل می کند، تا کنون روش ها و اختراع هایی برای جلوگیری از سرقت نبشی در سطح کشور و دنیا توسعه پیدا کرده است. این راهکارها بیش تر جنبه پیشگیری از سرقت اعضای دکل را دارند که به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

a) استفاده از مصالح نوین برای اعضای در معرض سرقت دکل: در این دسته از روش ها هدف این است که المان هایی از دکل که بیش تر در معرض سرقت قرار دارند با مصالح دیگر که ارزش سرقت آن ها پایین تر باشد جایگزین گردد. در این زمینه می‌توان به استفاده از نبشی هایی با مصالح غیر فولادی مانند نبشی کامپوزیتی در قسمت های تحتانی دکل به عنوان جایگزین نبشی‌های فرعی (Redundant members) فلزی اشاره کرد که مطالعاتی در سطح دنیا برای بررسی عملکرد سازه‌ای آنها و نیز نحوه اتصال آنها به اعضای اصلی دکل انجام شده است. در نمونه‌ای از این مطالعات که توسط رامیرز و همکاران (۲۰۱۶) در مکزیک انجام شده، امکان‌سنجی جایگزینی اعضای فلزی دکل مشبک با اعضای کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفته است [۹]. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که نبشی‌های فرعی که طولی بین ۰.۵ تا ۳ متر دارند را می توان با اعضای کامپوزیتی جایگزین نمود. به علاوه نتایج آزمایشگاهی این تحقیق نشان می‌دهد که برای اتصال اعضای کامپوزیتی نمی‌توان از روش پیچ کردن آنها به اعضای اصلی استفاده نمود؛ چراکه سوراخ نمودن این اعضا سبب کاهش قابل ملاحظه خصوصیات مکانیکی آن ها در اطراف سوراخ ها می‌گردد. لازم به ذکر است که دکل‌های تمام کامپوزیت به صورت موفقیت‌آمیز در آمریکا، هند و چین به کارگرفته شده است؛ ولی در زمینه جایگزینی برخی اعضای فلزی دکل با اعضای کامپوزیتی تحقیقات بسیار اندکی صورت پذیرفته است.

b) بررسی توسعه دکل‌های مرکب: در این روش، امکان‌سنجی ساخت و توسعه دکل‌های مرکب بتنی-فلزی بررسی می گردد و برای دکل های جدیدالاحداث دارای کاربرد می باشد؛ به گونه ای که سازه قسمت تحتانی دکل که بیشتر در معرض سرقت قرار دارد از جنس بتن مسلح ساخته شده و به علاوه به گونه ای طراحی شود که دسترسی به قسمت فوقانی دکل که از جنس فولاد می باشد را محدود نموده و باعث کاهش پتانسیل سرقت اعضای دکل گردد؛ و یا فونداسیون دکل به گونه ای طراحی گردد که تا ارتفاع بالایی از سطح زمین قرار گرفته و دسترسی به دکل مشبک فلزی را محدود نماید.

c) ساخت یک سازه محافظ اطراف دکل جهت محدود کردن دسترسی و جلوگیری از سرقت نبشی: در این روش یک سازه محافظ مانند میخ کوبی یا فنس های فلزی یا دیوارهای بتنی اطراف دکل احداث می شود تا مانعی برای ورود سارقان به محوطه نزدیک دکل و سرقت نبشی گردد.

d) استفاده از پیچ و مهره‌های ضد سرقت در سکشن پایینی برج : در این روش تا ارتفاع مشخصی از دکل مثلا تا حدود ۱۰ متر از سطح زمین (که بیش تر سرقت اعضای دکل در آن محدوده انجام می گردد)، از پیچ و مهره های ضد سرقت استفاده می گردد. گل این پیچ و مهره یک طرفه (ضد سرقت) به صورت مخروطی و شیب دار است و هیچ گونه ابزاری امکان باز کردن این پیچ را ندارد و زاویه شیارها به گونه ای طراحی شده که فقط آچار مخصوص این پیچ در جهت سفت شدن پیچ عمل می کند و امکان باز شدن پیچ با همین آچار (مبدل) هم وجود ندارد. با وجود برخی مزایای این روش خصوصا از نظر هزینه، دارای این نکته ضعف است که برای موارد و مناطقی که سارقان اقدام به بریدن مستقیم عضو دکل می نمایند، کاربردی نمی‌باشد.

در این پروژه، راهکارهای مختلف جلوگیری از سرقت نبشی و میزان کارآیی و اثربخشی آنها بررسی و مقایسه شده و راهکارهای برتر معرفی و ارائه خواهند شد.

پروژه ۸: تدوین ضوابط و الزامات طراحی، ساخت، بهره برداری و آزمون های دکلهای بتنی خطوط انتقال و فوق توزیع

یکی از مهمترین ترین و پرمصرفترین مولفه های شبکه انتقال، دکل های انتقال برق است. انواع مختلفی از دکل های انتقال برق در نقاط مختلف ایران استفاده شده است که می توان به مشبک، تک پایه (مونوپل) فلزی و بتنی، و قابی شکل اشاره نمود. دکل های فلزی به دلیل موجود بودن سابقه طراحی، ضوابط مشخص شده مربوط به این نوع مصالح و دکل ها در آیین نامه ها به نسبت سایر انواع دکل ها در تیراژ بیشتری تولید می گردد ولی در سال های اخیر استفاده و بکارگیری دکل های بتنی با ساختار تک پایه نیز رشد روز افزونی داشته است. عمده مواردی که باعث استقبال شرکت‌های برق منطقه‌ای از برج‌های بتنی انتقال نیرو شده است را می توان به شرح ذیل بیان نمود:

- قابلیت جانمایی آسان‌تر دکل های بتنی در حریم‌های شهری
- سرقت ناپذیر بودن آن نسبت به دکل های فلزی
- وجود معادن و کارخانجات بیشمار تولید سیمان در داخل کشور و هزینه قابل رقابت بتن با مصالح دیگر نظیر فولاد
- دسترسی آسان به انواع سنگدانه ها و مصالح افزودنی بواسطه رقابت شرکت های دانش بنیان در زمینه ارائه مواد افزودنی در طرح اختلاط بتن

علی رغم مزایای مختلف مصالح بتنی، با توجه به برپایی این نوع سازه ها در فضای باز (outdoor) و همچنین مخاطرات موثر بر کاهش کیفیت بتن، لحاظ پیش بینی های لازم برای عملکرد مناسب دکل بتنی و در نتیجه ارائه طرح اختلاط متناسب با محیط نصب و همچنین ارائه برنامه های تعمیر و نگهداری از مسائلی است که باید مورد توجه قرار گیرد. ساخت دکل بتنی با انواع روش های مختلف از جمله گریز از مرکز و یا بتن ریزی در داخل قالب انجام می شود؛ تسلیح آن نیز می تواند با تاندون و کابل های رشته ای (بتن پیش تنیده) و یا میلگرد (بتن مسلح معمولی) صورت پذیرد. در کنار این موارد روش اجرای اتصالات در این نوع دکل ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. فلذا تعیین الزامات فنی و اجرائی ساخت دکل، اتصالات پایه و قطعات برج به یکدیگر در دکل های بتنی بسیار مهم است. همچنین در طراحی دکل‌های بتنی باید ضرایب مقاومت و بارگذاری مطابق با نوع بتن (پیش تنیده، معمولی)، ماهیت مخاطرات جوی (سرعت باد، خطوط انتقال) و سایر عدم قطعیت ها و الزامات بارگذاری خطوط استخراج گردد. از سوی دیگر به منظور ارزیابی عملکرد برج‌های بتنی در حین آزمون در ابعاد واقعی، باید ضوابط و الزامات آزمون و ارزیابی آن‌ها با توجه به نوع بتن (پیش تنیده و معمولی) و سایر عوامل مورد بررسی قرار گیرد که لازم می باشد این موضوع با توجه به اهمیت برج‌های بتنی مورد توجه واقع گردد. در حال حاضر در خصوص موارد اشاره شده دستورالعمل، الزامات و ضوابطی جامع و کامل وجود ندارد. فلذا برای ایجاد

رویه‌ای واحد در طراحی، ساخت و آزمون دکل های بتنی و اطمینان از عملکرد مناسب این نوع در دکل ها در خطوط انتقال نیرو، تدوین دستورالعملی ویژه ضروری است. با توجه به به موارد بالا، در این پروژه مطابق مراحل ذیل، ضوابط و الزامات طراحی، ساخت، بهره برداری دکل های بتنی (پیش تنیده و بتن مسلح) خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو تدوین خواهد شد و الزامات خاص آزمون این نوع دکل ها نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت در بخش پایانی تمامی الزامات و ضوابط در دستورالعملی یکپارچه ارائه خواهد شد. مراحل کلی پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱. جمع آوری ادبیات موضوعی، انواع مخاطرات موثر بر دکل های بتنی و دسته بندی آسیب ها و عوامل موثر بر عمر و کیفیت
۲. تدوین ضوابط و الزامات بارگذاری و طراحی دکل های بتنی
۳. تدوین ضوابط و الزامات ساخت، انبارش، حمل و نقل و برپایی دکل های بتنی
٤. تدوین ضوابط و الزامات آزمون دکل های بتنی
٥. تدوین ضوابط و الزامات روشهای نگهداری و تعمیرات دکل های بتنی
٦. جمع بندی و تدوین دستورالعمل یکپارچه طراحی، ساخت، آزمون و تعمیر و نگهداری دکلهای بتنی

پروژه ۹: مقاوم‌سازی دکل های انتقال و فوق توزیع نیرو جهت افزایش ظرفیت سطح ولتاژ خطوط

امروزه به علت افزایش تقاضا استفاده از منابع برق، نیاز به ظرفیت بیشتر انتقال برق بیش از گذشته شده است. همین موضوع باعث مطرح شدن ایده افزایش ظرفیت انتقال بار خطوط انتقال برق موجود شده است. در این موارد که نیاز به افزایش ظرفیت انتقال برق باشد می توان محدودیت طراحی را با تقویت و ارتقا خط موجود اصلاح نمود. در این صورت با توجه به نیاز به افزایش ظرفیت باربری سازه های انتقال دهنده نیرو، مقاوم سازی آن ها بیش از پیش احساس می شود. در این پروژه پس از کسب دانش فنی مقاوم سازی دکل ها به منظور افزایش ظرفیت انتقال برق، از دو رده انتقال و فوق توزیع یک نمونه دکل جهت ارتقا ظرفیت و مقاوم‌سازی انتخاب شده و پس از طراحی و ساخت مورد آزمون نوعی قرار می‌گیرد.

مراحل کلی پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱. جمع آوری ادبیات موضوع افزایش ظرفیت و مقاوم سازی دکل های انتقال و فوق توزیع
۲. انتخاب دو دکل شاهد انتقال و فوق توزیع
۳. بروز رسانی درخت بارگزاری و ارائه طرح مقاوم سازی
٤. انجام آزمونهای نوعی و اصلاح طرح در صورت نیاز
٥. مطالعات اقتصادی و ارائه نقشه های ساخت و نصب طرح نهایی

پروژه ۱۰: تدوین دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون کراس آرم کامپوزیتی دکلهای خطوط انتقال

تدوین دانش فنی و ارائه یک نمونه کراس‌آرم کامپوزیتی برای دکل‌های انتقال (تلسکوپی و مشبک) در پژوهشگاه نیرو در سال‌های گذشته انجام شده است. بر این اساس، استخراج یک دستورالعمل کاربردی با استفاده از دانش تدوین شده که به عنوان یک راهنما برای طراحان و کاربران این نوع کراس‌آرم در آینده قابل استفاده باشد، بسیار مفید است. تهیه این دستورالعمل، در این پروژه مورد نظر می‌باشد.

پروژه ۱۱: بررسی فنی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ترانس‌های جریان و ولتاژ و ارائه راهکارهای مقاومسازی برای ارتقای عملکرد لرزه‌ای آنها

تاسیسات شبکه برق به دلیل مصرف گسترده انرژی الکتریکی در صنایع مختلف در زمره شریان های حیاتی مهم قرار دارند و باید در برابر حوادث غیرمترقبه به خصوص زلزله از مقاومت و ایمنی کافی برخوردار باشند. یکی از اجزای اصلی و بحرانی شبکه برق رسانی، پست‌های انتقال می باشند که عملکرد آن ها در زلزله‌های گذشته رضایت بخش نبوده و بسیاری از اجزای کلیدی در آنها، آسیب‌های قابل توجهی را متحمل گردیده‌اند. ترانس‌های اندازه‌گیری جریان و ولتاژ که به منظور پایین آوردن سطح جریان و ولتاژ به مقدار قابل استفاده در وسایل اندازه‌گیری به کار می‌روند، یکی از اجزای مهم در پست‌های انتقال نیرو می‌باشند که آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها مکررا در زلزله‌های گذشته ایران و جهان مشاهده شده است؛ به طوری که در ۵۵ پست بررسی شده در زلزله‌های گذشته، به طور میانگین بیش از ۳۰٪ ترانس‌های جریان و ۲۵٪ ترانس‌های ولتاژ دچار خرابی شده‌اند. به عنوان نمونه از زلزله‌های اخیر ایران، در زلزله سرپل ذهاب کرمانشاه (۱۳۹۶)، در پست ۶۳ کیلو ولت سرپلذهاب ۷۵٪ ترانس‌های جریان و تمامی ترانس‌های ولتاژ دچار آسیب شدند. در زلزله زرند (۱۳۸۳) نیز تعداد زیادی از ترانس‌های جریان از نوع کربالا از قسمت فلنج تحتانی دچار شکست گردیدند. در زلزله بم (۱۳۸۲) حدود ۶۰٪ ترانس‌های ولتاژ بدون موج گیر و تمامی ترانس‌های دارای موج گیر در پست ۱۳۲ کیلوولت در پای ستون سرامیکی شکسته شده و سقوط کرده بودند. هم چنین در پست ۲۳۰ کیلوولت، حدود ۶۷٪ ترانس‌های جریان آسیب دیده و اکثر آنها سقوط کرده بودند که سقوط این ترانس‌ها باعث آسیب‌های ثانویه‌ای از قبیل شکستگی و سقوط دژنکتورها و سکسیونرهای مجاور گشته بود. در زلزله منجیل-رودبار (۱۳۶۹) نیز ترانس‌های جریان و ولتاژ عمدتا در محل پایه و کلیدهای Y در زیر دوشاخه دچار آسیب شدند. موارد مشابه بیشماری از سقوط و تخریب ترانس‌های اندازه‌گیری در دیگر زلزله‌های کشور و سراسر دنیا نیز گزارش شده است. در ترانس‌های اندازه‌گیری، خصوصا نوع کربالای آنها به دلیل وجود جرم متمرکز در بالای تجهیز و متعاقب آن ایجاد لنگر زیاد در فلنج تحتانی معمولا شرایط حادتری داشته و موارد متعددی از خرابی آنها در زلزله های گذشته گزارش شده است. هم چنین، این ترانس‌ها معمولا بر روی سازه‌های نگهدارنده‌ای از جنس فولاد مستقر می‌شوند که نقش مهمی در رفتار لرزه‌ای آنها داشته و می‌توانند به میزان چشمگیری سبب تغییر خصوصیات دینامیکی آنها گردند. به علاوه، این تجهیز معمولا توسط کنداکتورهای صلب یا انعطاف پذیر به تجهیزات مجاور متصل بوده و شکست و سقوط آن می‌تواند موجب گسترش آسیب به تجهیز مجاور و یا حتی منتهی به خرابی دومینویی کل پست برق گردد. با توجه به مشاهده آسیب‌پذیری این تجهیز در زلزله‌های گذشته ایران و جهان و از طرفی اهمیت ترانس‌های

اندازه‌گیری در پســـت‌های انتقال، در مطالعات و تحقیقاتی به بررســـی رفتار لرزه‌ای این ترانس‌ها و ارزیابی کارایی دستورالعمل‌ها و استانداردهای مرتبط با آنها پرداخته شده است که با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعات، کاستی‌هایی شناسایی شده است. از طرف دیگر بسیاری از پست‌های احداث شده در زمان‌های گذشته بدون توجه به مسئله زلزله و با عدم لحاظ تمهیدات لازم در این خصوص، ساخته شده‌اند. از اینرو، ضرورت انجام تحقیق در این زمینه که گامی در جهت افزایش تاب‌آوری شبکه برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای می‌باشد، روشن می‌گردد.

بر این اساس در این پروژه، ارزیابی دقیق رفتار ترانس‌های اندازه‌گیری در برابر زلزله، شناسایی نقاط ضعف آنها و بررسی راهکارهای مناسب مقاوم‌سازی به منظور کاهش آسیب‌پذیری آنها در زلزله‌های شدید و نهایتا، افزایش تاب‌آوری شـــبکه برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای، مورد نظر می‌باشـــد. یکی از تکنیک‌های موثر و نوینی که برای مقاوم‌سازی تجهیزات موجود صنعت برق و یا ارتقای عملکرد لرزه‌ای تجهیزات جدید در سال‌های اخیر مورد توجه محققان و صنعت برق کشورهای پیشرفته بوده است، استفاده از ادوات جاذب انرژی شامل جداگرهای لرزه‌ای و میراگرها، می‌باشد. خصوصا برای پست‌های با ولتاژ بالا که در آن ابعاد و جرم ترانس‌ها بزرگتر بوده و پتانسیل خرابی تجهیز افزایش می‌یابد و استفاده از روش‌های سنتی برای زلزله‌های بزرگ ممکن است نتواند سطح عملکرد مورد انتظار را تامین نماید، و به علاوه معمولا این پست‌ها نیز نقش کلیدی‌تری در شبکه انتقال برق ایفا می‌کنند، این موضـــوع دارای اهمیت دوچندان می‌باشـــد. بر این اســـاس در پروژه حاضـــر، مقاومســـازی لرزه‌ای ترانس‌های اندازه‌گیری بطور خاص با دیدگاه استفاده از جداسازهای لرزه‌ای و میراگرها (علاوه بر روش‌های ساده‌تر) مورد نظر می‌باشد.

بدین منظور در ابتدای پروژه، اطلاعات و مستندات فنی نظیر انواع متداول ترانس‌های کشور و اجزای متصل به آنها، ضوابط استانداردهای مرتبط با این تجهیزات از نظر بارگذاری، الزامات شیوه‌های ارزیابی و طراحی قسمت‌های سازه‌ای، آمار خرابی و نوع آسیب‌های ترانس‌های اندازه‌گیری در زلزله‌های گذشته، تحقیقات انجام شده در داخل کشـور و سـطح بین‌المللی در زمینه بررسـی عملکرد این تجهیز و تجهیزات مشـابه و درس‌آموخته‌های زلزله‌های گذشته، تکنیک‌های مختلف مقاوم‌سازی لرزه‌ای مانند استفاده از انواع سیستم های جداسازهای لرزه‌ای، میراگرها، سیستم‌های سازه‌ای مقاوم لرزه‌ای مناسب برای پایه‌ها و ارزیابی هندسه و آرایش پایه‌های نگهدارنده برای سطوح مختلف عملکرد گردآوری و بررسی می‌شوند. هم چنین در خصوص تجهیزات جاذب انرژی، امکان‌سنجی ساخت داخل و یا واردات این تجهیزات از طریق بررســـی‌ها و مکاتبات لازم با شـــرکت‌های داخلی و بین‌المللی انجام می‌گردد. در ادامه، اولویت‌بندی میان انواع ترانس‌های اندازه‌گیری موجود در کشور با لحاظ معیارهایی نظیر سوابق آسیب در زلزله‌های گذشته، سطح ولتاژ، فراوانی تعداد در شبکه برق کشور، تکیه‌گاه نامناسب، تشخیص کیفی عملکرد ضعیف در زلزله از قبیل اجرای نامناسب یا اتصال به موج گیر، طراحی بر اساس استانداردهای قدیمی و دیگر پارامترهای تاثیرگذار، انجام شـــده و دو نوع ترانس برای ادامه مطالعات انتخاب می‌گردد. ســـپس اطلاعات و مشخصات فنی ترانس‌های منتخب و سازه‌های تکیه‌گاهی آنها از مراجع مربوطه اخذ خواهند شد. در مرحله بعد، پس از بررســـی روش‌های مختلف عددی و نرم افزارهای المان محدود برای شـــبیه‌ســـازی مجموعه ترانس-پایه و انتخاب رکوردهای مناسب زلزله، مطالعات تفصیلی عددی بر روی ترانس‌های منتخب انجام گرفته و رفتار لرزه‌ای و

آسیب‌پذیری آن ها قبل از مقاوم‌سازی (مطابق با الزامات استانداردهای معتبر شامل IEEE693) و نیز تاثیر لندرکنش دینامیکی تجهیزات مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه، مطالعات عددی گسترده‌ای برای بررسی و مقایسه رویکردهای مختلف مقاوم‌سازی برای ترانس‌های منتخب با توجه به عملکرد مورد انتظار در دو سطح زلزله (بالا و متوسط) انجام شده و بر این اساس، گزینه‌های برتر مقاوم‌سازی (برای هریک از انواع ترانس در هر سطح خطر زلزله) تعیین می‌گردند. سپس رفتار ترانس‌های منتخب پس از مقاوم‌سازی تحلیل می‌گردد و در صورت نیاز، جزئیات و پارامترهای طراحی ادوات جاذب انرژی تعیین شده تا مبنای ساخت یا خرید ادوات قرار گیرد. در مرحله بعد، پس از تعیین و انجام مقدمات لازم برای تست‌های آزمایشگاهی شامل تعیین فهرست و طراحی Set-Up آزمایش‌ها، تأمین (خرید یا ساخت) ادوات جاذب انرژی، آماده‌سازی ترانس‌ها به همراه سازه تکیه‌گاهی آنها، هماهنگی‌های لازم با آزمایشگاه ها مورد نظر برای تست های میز لرزه و الکتریکال و نیز تعیین پروتکل‌های بارگذاری با توجه به اهداف هر بخش از تست‌ها، مجموعه‌ای از تست‌های روتین الکتریکال و میز لرزه به همراه تحلیل‌های عددی پارامتری روی مدل‌های صحت‌سنجی شده، برای ارزیابی رفتار ترانس‌ها قبل و بعد از مقاوم‌سازی (بر اساس گزینه برتر) برای دو سطح خطر لرزه‌ای انجام شده و نتایج مورد بحث و تفسیر قرار خواهد گرفت. در انتها، با توجه به دانش به دست آمده و با تکیه بر بررسی آیین‌نامه‌ها و استانداردها و نتایج تحقیقات بین‌المللی، راهنمای کاربردی برای مراحل بهبود رفتار لرزه‌ای ترانس‌های لندازه‌گیری در پست‌های موجود و جدیدالاحداث تدوین خواهد شد. مراحل کلی پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری و بررسی اطلاعات، مستندات فنی و سوابق مطالعاتی مورد نیاز در خصوص رفتار لرزه‌ای و مقاومسازی ترانس‌های اندازه‌گیری و انتخاب ترانس‌های اولویت دار
۲. گردآوری اطلاعات مورد نیاز، مدلسازی و تحلیل عددی رفتار تجهیزات قبل و بعد از مقاوم‌سازی و انتخاب گزینه برتر مقاوم‌سازی لرزه‌ای درهریک از سطوح خطر لرزه ای
۳. طراحی و برنامه‌ریزی انجام تست‌های آزمایشگاهی، تامین تجهیزات مورد نیاز مقاوم‌سازی و آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشگاهی
٤. انجام تست‌های آزمایشگاهی مورد نیاز، بررسی کارایی روش مقاوم‌سازی بر اساس نتایج آنالیزهای عددی و آزمایشگاهی و تهیه نقشه‌های اجرایی مقاومسازی
٥. تدوین راهنمای بهبود عملکرد رفتار لرزه‌ای ترانس‌های اندازه‌گیری در پست‌های موجود و جدیدالاحداث

پروژه ۱۲: تحلیل داده‌های خسارات وارد شده به سازه‌های شبکه انتقال برق (ناشی از مخاطرات جوی، زمینی و انسانی منجر شده به ترمیم و یا تعویض در کشور) به منظور اولویت‌بندی اجرا و طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه‌های انتقال برق

در این پروژه، با توجه به مکاتبات انجام شده و اخذ اطلاعات از شرکت‌های برق منطقه‌ای، خسارات وارد شده به سازه‌های شبکه انتقال برق ناشی از مخاطرات **جوی** (باد، برف و ...)، **زمینی** (زلزله، فرونشست و ...) و **انسانی** (تصادف و ...) استخراج شده، تحلیل داده‌ها بر روی آن انجام می‌شود و در نهایت با تهیه نرم‌افزار، نسبت به

پهنه‌بندی انتقال خرابی برای هریک از انواع سازه‌ها اقدام می‌گردد. سپس با هدف تشخیص وقوع آسیب‌های مختلف و پیش‌بینی گسترش آنها و تخمین عمر باقیمانده در سازه‌های موجود در بخش انتقال سطح کشور بر اساس یک روش علمی و سیستماتیک برای پیاده‌سازی سامانه ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی در آنها، اولویت‌بندی می‌گردند. این اولویت‌بندی با توجه به کلیه پارامترهای مؤثر شامل نوع و شدت مخاطرات (جوی، زمینی و انسانی)، وضعیت آسیب‌پذیری فعلی سازه و میزان اهمیت آن، انجام خواهد شد که ارزیابی کلیه پارامترهای مذکور در این پروژه برای انواع سازه‌ها صورت می‌گیرد. بخش عمده دیگری از تشخیص این اولویت‌بندی ها مربوط به نتایج و گزارشات حاصل جلسات برگزار شده با ذینفعان پروژه (توانیر و شرکت های برق منطقه ای) می‌باشد. مراحل کلی پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی آسیب‌های وارده به انواع سازه های شبکه انتقال و تهیه بانک اطلاعاتی
   - برج و فونداسیون دکل ها
   - ساختمان پست‌های انتقال
   - سازه های نگهدارنده پست
   - گالری پست‌ها
۲. تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های انتقال برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک
۳. شناسایی مخاطرات آسیب‌رسان به سامانه‌ها و سازه‌های انتقال برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت آنها در سطح کشور
٤. تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های انتقال برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
٥. تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
٦. تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی

در مرحله بعدی این پروژه، چهارچوب کلی و معماری سامانه‌ای جامع و اجزای آن شامل انواع روش‌ها و فرآیندها به همراه ابزارهای مورد نیاز و نحوه چینش و ارتباط آنها، برای ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های اصلی موجود در بخش انتقال کشور طراحی می‌گردد. اجزای این سامانه (در قالب فرایندها، سخت‌افزارها و نرم‌افزارها) به تدریج در پروژه‌های بعدی این طرح، تهیه و تکمیل می‌شوند.

مراحل کلی این بخش از پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات و منابع موجود در زمینه چهارچوب و طرح مفهومی سامانه‌های جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال برق

۲. شناسایی سازه‌های اصلی انتقال و دسته‌بندی آنها از جنبه‌های مختلف (نوع مصالح، ظرفیت و ابعاد، فرم و شکل هندسی، نوع عملکرد سازه‌ای و فرآیندی، طراح یا سازنده و...) و اولویت‌بندی آنها بر اساس اهمیت و ریسک در بخش انتقال (از نتایج پروژه ردیف۴ هم بطور موازی میتوان استفاده نمود)
۳. طراحی چهارچوب کلی و معماری سامانه‌جامع‌ارزیابی‌وپایش‌سلامت سازه‌های انتقال و تبیین اجزا و ملزومات آن

پروژه ۱۳: طراحی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و ارائه راهکارهای مقاومسازی پست‌های انتقال و تدوین دستورالعمل های مرتبط و اجرای پایلوت

در این پروژه، سامانه ارزیابی و پایش سلامت SHM، با هدف تشخیص وقوع آسیب‌های مختلف و پیش بینی گسترش آنها و تخمین عمر باقیمانده سازه های پست های انتقال و و فوق توزیع، طراحی می‌شوند و سپس طرح های اجرایی جهت مقاوم سازی و همچنین مدیریت نگهداری ارائه می‌گردد. در این پروژه تفکیک دانش فنی به دو حوزه کلی "سازه‌های موجود" و "سازه‌های جدید"، تقسیم‌بندی شده و برای هریک از آنها، دانش فنی مورد نیاز تدوین خواهد گردید. به منظور مقایسه و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی، سامانه سنتی و ساده‌تر پایش سلامت شامل بازرسی و ارزیابی غیر مخرب (NDE) نیز علاوه بر سیستم‌های پیشرفته SHM، در این مرحله برای آنها مورد نظر قرار داشته و دانش فنی مورد نیاز آن تدوین می‌گردد. ارزیابی غیرمخرب شامل تست‌هایی است که برای شناسایی آسیب‌های موجود در اعضای سازه انجام می‌شود. به عنوان نمونه‌هایی از این تست‌ها، می‌توان تست فراصوت برای آشکارسازی ترک در اعضای بتنی یا جوشکاری‌های اتصالات فلزی، تست هافسل برای تعیین پتانسیل خوردگی میلگردها در اعضای بتنی، تست اشمیت هامر برای تعیین سختی و مقاومت بتن، تست مقاومت الکتریکی برای تعیین کیفیت بتن و تست انتشار صوت برای تعیین خوردگی و شکست‌های موضعی در اعضای فولادی را نام برد. همچنین راهکارهای تعمیر آسیب‌ها و برنامه نگهداری و همچنین بهسازی و مقاوم‌سازی پست‌های انتقال و فوق توزیع با استفاده از خروجی‌های ارزیابی و پایش سلامت، تدوین و ارائه می‌گردند. با توجه به موارد فوق، بر اساس مطالعات صورت گرفته، سامانه جامعی برای ارزیابی و پایش سلامت و اقدامات مورد نیاز جهت بهسازی و مدیریت نگهداری سازه‌های پست های انتقال بر اساس بهترین روش ارزیابی (که ممکن است شامل ترکیبی از روش‌های SHM و NDE باشد) طراحی شده و دانش فنی حاصله در قالب یک دستورالعمل اجرایی تدوین و ارائه خواهد گردید. در این پروژه تمامی اجزاء سازه‌ای پست‌های انتقال و فوق توزیع مد نظر قرار دارد. ساختمان و انبارهای پست، گالری ها، فونداسیون ها و سازه های نگهدارنده تجهیزات ، دیوار آتش از جمله موارد فوق است. در مرحله آخر با توجه به نتایج حاصله و اشراف به مشکلات طراحی، ساخت و اجرای سازه این بخش از صنعت برق، تدوین و بروز رسانی استانداردهای مختلف طراحی، ساخت و بهره برداری سازه‌های بخش انتقال مربوط به این بخش (**ساختمان و انبارهای پست، گالری ها، فونداسیون‌ها و سازه‌های نگهدارنده تجهیزات، دیوار آتش**) به منظور همگام شدن با پیشرفت علوم و رفع ایرادات موجود و کاهش هزینه‌های پایش و تعمیر و نگهداری در نظر گرفته می‌شود. مراحل کلی دانش فنی پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه‌های ارزیابی و بهسازی سازه‌های پست‌های انتقال به منظور پایش سلامت، مقاوم‌سازی و مدیریت نگهداری (شامل کتاب و مجموعه مقالات مرتبط در تعامل با کارفرما)
۲. تدوین مبانی نظری و دانش فنی ارزیابی سازه و فونداسیون ساختمان‌های پست های انتقال به منظور پایش سلامت (حداقل با دو روش SHM)، به تفکیک در دو حالت سازه موجود و سازه جدید
۳. تعیین تجهیزات و طراحی سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد نیاز برای ارزیابی سازه‌های پست انتقال به منظور پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها، به تفکیک در دو حالت سازه موجود و سازه جدید
٤. طراحی برنامه ارزیابی سازه‌های پست انتقال و فوق توزیع به منظور پایش سلامت، به تفکیک در دو حالت سازه موجود و سازه جدید
٥. ارائه راهکارها و طراحی برنامه مدیریت نگهداری و مقاوم سازی (و یا تعمیر و ترمیم) سازه‌های پست‌های انتقال بر اساس خروجی سیستم ارزیابی و پایش سلامت سازه
٦. تدوین دستورالعمل ارزیابی، پایش و مقاومسازی سازه‌های پست های انتقال
۷. بررسی کاستی‌های دستورالعمل های موجود و تعیین اولویت‌های تدوین و بروزرسانی با توجه به مطالعات بخش های قبل
۸. تدوین و بروزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط با سازه های پست های انتقال به منظور اصلاح بارگذاری، تحلیل و طراحی و اجرا و ساخت
۹. تعیین کارگروه‌های تخصصی و نهایی‌سازی دستورالعمل‌ها

در بخش بعد پروژه، سامانه جامع ارزیابی، پایش و مقاومسازی، با هدف تشخیص وقوع آسیب‌های مختلف و پیش‌بینی گسترش آنها و تخمین عمر باقیمانده در سازه‌های پست‌های انتقال به منظور ارزیابی، پایش سلامت، ارائه طرح مقاومسازی و اجرای برنامه مدیریت نگهداری در فیدر بخش انتقال، در ۳ نمونه پست رده ۴۰۰-۲۳۰، ۲۳۰-۱۳۲ و ۱۳۲-۶۳ در شرایط واقعی بصورت **پایلوت**، اجرا و اعتبارسنجی می‌شوند. لذا ابتدا مشاوران ذی صلاح با توجه به برگزاری مناقصه شناسایی شده و بعد از برگزاری **دوره آموزشی**، مرحله پایلوت انجام می‌شود. در این پروژه به منظور مقایسه و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی، سیستم‌های سنتی و ساده‌تر پایش سلامت شامل بازرسی و ارزیابی غیر مخرب (NDE) نیز علاوه بر سیستم‌های پیشرفته SHM، مد نظر قرار دارد. طرح پایلوت بر اساس مطالعات امکان‌سنجی و بر اساس بهترین روش (که ممکن است شامل ترکیبی از روش‌های SHM و NDE باشد) ارائه خواهد گردید. مراحل کلی بخش اجرایی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. تهیه اسناد فنی مناقصات انتخاب شرکتهای مشاور پس از هماهنگی و برگزاری توسط کارفرما در شرکت توانیر
۲. تهیه مواد آموزشی و تدریس نحوه پایش سلامت و ارزیابی سازه و ارائه طرح بهسازی در طی حداکثر ۳ دوره پس از هماهنگی و برگزاری توسط کارفرما در شرکت توانیر برای شرکتهای مشاور

۳. برگزاری حداکثر دو جلسه میان شرکت‌های برق منطقه‌ای و مشاوران تحت پوشش هر شرکت جهت بررسی چگونگی پیشرفت کار و رفع مشکلات احتمالی
٤. بررسی سازه‌های پایلوت (۳ پست) توسط مشاور و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی و ارائه طرح نهایی و بهینه برای ارزیابی و پایش سلامت پست‌ها
٥. اجرا و بهره‌برداری از طرح ارزیابی و پایش سلامت سازه‌های پست های انتقال و اعتبارسنجی آنها و سپس ارائه طرح بهسازی بر اساس نتایج ارزیابی و پایش
٦. اخذ گزارشات تهیه شده از شرکت‌های مشاور و بررسی و ارزشیابی نتایج پیاده سازی فرآیند پایش سلامت، ارزیابی و طرح بهسازی تهیه شده و اصلاح سامانه جامع در صورت نیاز

پروژه ۱۴: اجرای پایلوت ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت انتقال برق و ارائه راهکارهای مقاوم سازی

در این پروژه، با توجه به نتایج حاصل از تدوین دانش فنی کسب شده در پروژه ردیف ۵، روش ها و دستورالعمل‌های لازم در اختیار کارفرمایان و مشاوران قرار خواهد گرفت بگونه‌ای که بتوانند با مراجعه به آمار عملکردی دکل‌های یک خط انتقال در منطقه مورد نظر و بررسی وضعیت موجود، انجام تست‌ها و آزمایشات مورد نیاز و تکمیل داده‌ها و اطلاعات با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی، به **ارزیابی عملکرد** و **تخمین عمر باقیمانده** دکل های خط پایلوت بپردازند. جهت انجام پروژه، دکل انتقال نیرو به صورت دو جزء سازه برج و پی در نظر گرفته می‌شوند و شرح خدمات بر اساس دو بخش کلی ارزیابی عملکرد و تخمین عمر بر اساس دو رده ولتاژی ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت استخراج گردد. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. ارزیابی عملکرد (life assessment) برج
۲. ارزیابی عملکرد (life assessment) فونداسیون برج
۳. ارزیابی عملکرد جامع دکل‌های خطوط انتقال کشور (life assessment)
٤. تخمین عمر دکل‌های انتقال پایلوت
٥. ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی و افزایش عمر

پروژه ۱۵: افزایش تاب‌آوری و بهبود چرخه عمر سازه‌های خطوط انتقال نیرو با بکارگیری مواد نانوساختار و اجرای نمونه پایلوت

فناوری نانو را می توان در حوزه‌های مختلفی در ارتباط با سازه‌های انتقال صنعت برق بکار برد که به عنوان نمونه می‌توان به کاربرد آن در بهبود کیفیت بتن‌ها، بهسازی خاک، تولید بتن‌های خود ترمیم شونده، تولید روکش‌های ضد خوردگی فولاد، تولید روکش‌های ضد آب و تولید روکش‌های ضد حریق اشاره نمود. در این پروژه با توجه به نتایج استخراج شده از پروژه آینده پژوهشی "بکارگیری مواد نانو ساختار در سازه‌های صنعت برق" در گروه سازه، بررسی و ارائه حوزه‌های مختلف کاربرد فناوری نانو در سازه‌های صنعت برق به همراه ارائه روش‌ها و

رویکردهای بکارگیری آن و اکتساب دانش و فناوری‌های مورد نیاز، مورد نظر می‌باشند. در نهایت اجرای پایلوت در ۵۰ کیلومتر خط انتقال در دستور کار قرار خواهد گرفت. مراحل کلی به شرح ذیل است:

۱. جمع‌آوری و دسته‌بندی انواع مواد نانوساختار کاربردی در سازه‌های انتقال صنعت برق به همراه مزایا و معایب هریک
۲. بررسی پیش زمینه‌های لازم جهت بکارگیری تکنولوژی مواد نانو ساختار
۳. اولویت‌بندی بکارگیری مواد نانو ساختار به تفکیک سازه‌های انتقال (برج و فونداسیون)
٤. بررسی پیاده‌سازی مواد نانو ساختار در بهبود عملکرد، چرخه عمر و افزایش تاب‌آوری و انتخاب گزینه‌های برتر
٥. تخمین هزینه‌ها و روش های اجرا و پیاده‌سازی
٦. اجرای پایلوت در سازه‌های انتقال ۵۰ کیلومتر خط انتقال به منظور افزایش تاب‌آوری و بهبود چرخه عمر

پروژه ۱۶: امکان‌سنجی و بررسی گزینه‌های مختلف سرپوشیده نمودن پست‌های انتقال با رویکرد پدافند غیرعامل و حفاظت از مخاطرات محیطی و اجرای یک نمونه پایلوت ۱۳۲کیلوولت

با مسقف شدن پست‌های انتقال، علاوه برحفظ معماری شهری؛ توجه به محیط زیست و کاهش حوادث ناشی از شرایط جوی، ملاحظات پدافند غیر عامل نیز در نظر گرفته شده است. در این پروژه ابتدا سوابق موضوعی بررسی، در بخش دوم، پست شاهد بررسی شده و تجهیزات آسیب‌پذیر پست‌ها دسته‌بندی می‌شود. در بخش سوم سه نوع سازه مختلف بررسی، هزینه‌های مرتبط با آن استخراج و دو گزینه برتر با توجه به در نظر داشتن دو نوع تهویه طبیعی (با حداقل تجهیزات) و اجباری طراحی تفصیلی می‌گردد، در بخش چهارم ملاحظات مربوط به تاسیسات مکانیکی (تهویه هوا و ...) و الکتریکی بررسی و نقشه‌های اجرایی برای دو نوع تهویه طبیعی و اجباری تهیه می‌شود و در نهایت بعد از تجمیع نقشه‌های اجرایی هر دو نوع پست و برآورد اقتصادی نهایی، یک نمونه پایلوت پست ۱۳۲ کیلوولت اجرا می‌گردد.

شناسنامه پروژه های طرح تدوین دانش فنی و پیاده‌سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های توزیع برق

پروژه ۱: شناسایی را هکارها و فناوری‌های نوین‌به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید‌پلیه‌های شبکه توزیع

یکی از مهمترین‌ترین و پرمصرفترین مولفه‌های شبکه توزیع، پایه‌های هوایی است. انواع مختلفی از پایه‌های هوایی در نقاط مختلف ایران استفاده شده است. از انواع فوق می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- پایه‌های چوبی گرد
- پایه‌های فلزی (قابی شکل، مشبک و تلسکوپی)
- پایه‌های بتنی معمولی و پیش تنیده (H شکل و گرد)

پایه‌های هوایی موجود و شناخته شده در کشور اغلب از جنس بتنی است و به ندرت از دیگر انواع پایه ها استفاده میشود و این به دلیل موجود بودن سابقه طراحی، ضوابط مشخص شده مربوط به این نوع پایه ها در آیین نامه و کارخانه های بیشمار تولیدی است. پایه های بتنی مدتها است در شمار فراوان و در طیف گسترده ای از نقاط کشور تولید و مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. بعد از زلزله های بزرگی همچون منجیل و بم و پس از تدوین آیین نامه هایی همچون "دستورالعمل ارزیابی و بهسازی شبکه توزیع" نگاه ویژه‌ای به عملکرد مولفه‌های شبکه توزیع شد. یکی از جدی‌ترین مسائلی که به عنوان نقطه ضعف مطرح گردید پایین آمدن عمر پایه‌های بتنی در طول مدت بهره‌برداری بود. از طرفی به دلیل محدودیت‌های بهره‌برداری و در نظر گرفتن هزینه‌های اجرا نیاز به بازبینی طرح‌های فوق و بهبود ساختار پایه‌های موجود است لذا برای داشتن شبکه‌ای ایمن در طول مدت بهره‌برداری و در هنگام رخداد سوانح بایستی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری و کاهش کیفیت پایه‌های توزیع شناسایی شده و همچنین، فناوری‌های نوین در ساخت پایه‌ها مورد بررسی و استفاده قرار گیرند. با توجه به اینکه در افق زمانی ۵ الی ۱۰ ساله آینده، استفاده از این پایه ها در کشور مرسوم خواهد بود، برنامه ریزی جهت بهبود پایه های شبکه توزیع ضروری به نظر می رسد. در این راستا پروژه ی فوق تحت عنوان "شناسایی راهکارها و فناوری های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شیکه توزیع" تعریف گردید. مقصود از فناوری های نوین، تکنولوژی های جدید و در حال توسعه سال های اخیر است که می‌تواند به منظور افزایش عمر و کیفیت ساخت پایه ها بکار گرفته شود. هدف اصلی این پروژه علاوه بر بررسی خرابی ها و فناوری های جدید و ارائه راهکارهای کلی به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع، تعیین و اولویت بندی عناوین پروژه ها و برنامه‌هایی است که پیاده و اجرایی شدن آنها منجر به بهبود پایه های شبکه توزیع گردد. مراحل کلی پروژه به شرح ذیل است:

۱. تبیین مبانی مطالعات افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع
۲. مطالعات اولیه و گردآوری انواع آسیب های وارده به پایه های هوایی شبکه توزیع و دلایل کاهش عمر و کیفیت
۳. بررسی مستندات و دستورالعمل های ابلاغی و شناسایی کاستی ها
٤. فناوری‌ها و دانش‌های مرتبط با افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع
٥. طرح ها و پروژه های پیشنهادی مرتبط با افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع

پروژه ۲: تهیه بانک اطلاعاتی جامع وضعیت پایه‌های هوایی نصب شده در شبکه‌های توزیع کشور و نحوه پراکندگی آنها بر روی بستر GIS و تحلیل آماری داده‌ها

در حال حاضر، نحوه پراکندگی و موقعیت پایه‌های توزیع کشور در نقشه‌ها و لایه‌های GIS مشخص می‌باشد؛ ولی در زمینه نوع پایه، جنس و عمر، سازنده، وضعیت فعلی و ... اطلاعات آن جامع و کامل نیست. از طرف دیگر، می‌توان با توجه به فناوری‌های توسعه یافته در بسترهای نرم‌افزاری، ماژول‌های اطلاعاتی پایه‌ها به ماژول‌های پهنه‌بندی اقلیمی، تعمیر و نگهداری و ... متصل شود تا شاهد یکپارچگی لحظه‌ای و آنلاین در مدیریت عمر پایه‌ها باشیم. در این راستا، گردآوری داده ها و اطلاعات به شرح زیر در شرکت‌های توزیع کشور و مرتب‌سازی و ذخیره آنها در یک بانک اطلاعات مکانی جامع بر بستر GIS، مورد نظر می‌باشد:

- نوع و جنس مصالح پایه‌های هوایی نصب شده و مشخصات ساخت (سازنده) آنها
- سوابق مشخصات آسیب‌های مشاهده شده در پایه های هوایی (شامل نوع و شدت اسیب) نصب شده و عوامل ایجاد آنها
- سوابق عمر مفید و اقدامات تعمیر، نگهداری و جایگزینی پایه‌ها و هزینه های آنها
- سوابق خسارات وارده (شامل خرابیهای ایجاد شده و خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم) بر پایه های توزیع کشور ناشی از مخاطرات محیطی
- مشخصات کارگاه های تولید پایه های شبکه توزیع در کشور و سوابق ارزیابی و نظارت بر کارگاه‌های تولیدی

بر اساس اطلاعات گردآوری شده، تحلیل‌های آماری زیر انجام خواهند شد:

- بررسی وضعیت پایه‌های هوایی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های اخذ شده از جنبه‌های مختلف (فراوانی و نرخ آسیب‌های مختلف، فراوانی علل، میانگین عمر مفید پایه‌ها در شرایط مختلف، هزینه های تعمیرات و جایگزینی و ...)
- تحلیل آماری عوامل شناسایی شده مؤثر در کاهش کیفیت و عمر پایه‌ها و تعیین میزان نقش و اهمیت نسبی عوامل مختلف
- برآورد میزان فرسودگی شبکه توزیع در کل کشور

پروژه ۳: تدوین دانش فنی و ارائه روش‌های پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در پایه‌های هوایی شبکه توزیع و روشنایی و راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

یکی از مهمترین اجزای شبکه‌های توزیع هوایی، پایه‌ها هستند که وظیفه نگهداشتن سیم‌های هادی یا تجهیزات روشنایی در موقعیت مناسب را بر عهده دارند. پایه‌های هوایی عمدتاً از جنس بتن مسلح (با مقطع گرد یا H شکل) و با فونداسیون دفنی بوده و در برخی مواضع از پایه‌های فولادی، چوبی، کامپوزیتی و چدنی نیز استفاده می‌شود. پایه‌های هوایی و فونداسیون آنها طی قرار گرفتن در معرض شرایط محیطی و بهره‌برداری، به دلایل مختلف (از جمله کاستی‌های موجود در ضوابط و دستورالعمل‌ها، خطاها و عدم رعایت ضوابط طراحی، عدم کیفیت مصالح و ساخت، شرایط نامساعد محیطی، وقوع حوادث طبیعی یا انسانی) دچار انواع آسیب‌ها می‌شوند. پایه‌های آسیب دیده با اعمال بارهای مکانیکی به مراتب کمتر از سطح طراحی به آنها، تخریب شده و شبکه توزیع از این بابت متحمل خسارات مالی و جانی (سقوط سیمبانان حین تخریب پایه‌های آسیب دیده) می‌شود. موارد متعددی از پایه‌های آسیب دیده در شبکه‌های توزیع در سطح شهرها قابل مشاهده می‌باشند. هدف از انجام این پروژه، تدوین روش‌هایی برای تشخیص و آشکارسازی آسیب‌ها و میزان شدت آنها با استفاده از رویکردهای مختلف پایش سلامت سازه (شامل بازدید و بازرسی، تست‌های غیرمخرب، تحلیل ارتعاشات محیطی یا اجباری) و ارائه راهکارهایی جهت تعمیر و ترمیم آسیب‌ها و تقویت و افزایش عمر مفید پایه‌ها و درنهایت، تهیه دستورالعمل جهت ایجاد وحدت رویه در پیاده‌سازی نظام‌مند روش‌های فوق در حوزه‌های بهره‌برداری و نگهداری شرکت‌های توزیع است. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. گردآوری و بررسی مستندات علمی و فنی (گزارشات فنی، مقالات، کتاب‌ها) در خصوص روش‌های مختلف پایش سلامت، تشخیص آسیب، تعمیر و ترمیم آسیب‌های سازه‌ای در پایه‌های توزیع (و یا سازه‌های مشابه) در دنیا
۲. تدوین روش‌های تشخیص آسیب و پایش سلامت برای انواع پایه‌های توزیع و فونداسیون آنها (با رویکردهای بازدید و بازرسی، تست‌های غیرمخرب و تحلیل ارتعاشات محیطی یا اجباری و تأکید بر سهولت اجرا با توجه به تعداد زیاد پایه‌ها) و اعتبارسنجی آنها با انجام آزمون روی نمونه‌های واقعی
۳. ارائه راهکارها و روش‌های تعمیر و ترمیم آسیب‌های پایه‌های توزیع و فونداسیون آنها (با لحاظ فناوری‌های نوین و تأکید بر سهولت و عملی بودن روش‌های پیشنهادی) و بررسی اثربخشی آنها با استفاده از آزمون (به همراه تهیه رویه آزمون و معیارهای پذیرش پایه‌های تعمیر شده)
٤. تهیه پیش‌نویس دستورالعمل پایش سلامت، نگهداری و تعمیرات پایه‌های هوایی توزیع و روشنایی
٥. اجرای دستورالعمل در مناطق منتخب (در تعامل با کارفرما) بصورت پایلوت و اصلاح دستورالعمل بر اساس بازخوردهای اجرای آن در مناطق پایلوت و تهیه نسخه نهایی دستورالعمل

پروژه ۴: اصلاح فرآیندهای طراحی، ساخت و نصب پایه‌های هوایی شبکه توزیع و روشنایی با هدف افزایش کیفیت و عمر مفید آنها به همراه به‌روزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط

این پروژه مانند پروژه شماره ۱ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه پست‌های هوایی (بخش‌های نگهدارنده ترانس)، زمینی و زیرزمینی (ساختمان و فونداسیون‌های تجهیزات) انجام خواهد شد.

پروژه ۵: نظارت عالیه بر انجام ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه توزیع برق کشور در برابر زلزله و ارائه طرح‌های مقاومسازی

پیرو تحمیل خسارات گسترده به اجزای مختلف شبکه توزیع برق کشور در زلزله‌های گذشته، دستورالعمل ارزیابی آسیب‌پذیری و مقاومسازی مؤلفه‌های شبکه توزیع برق در برابر زلزله، طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۰ در پژوهشگاه نیرو تدوین شده و در سال ۱۳۹۱، توسط شرکت توانیر به شرکت‌های توزیع برق جهت اجرا ابلاغ گردید. با گذشت حدود ۸ سال از ابلاغ، پیاده‌سازی و اجرای این دستورالعمل در شرکت‌های توزیع بنا به دلایل مختلف با موانعی روبرو بوده و جز در موارد معدود، بصورت اثربخش در سطح کشور انجام نشده است. (به عنوان نمونه می‌توان به آسیب‌های وارده به شبکه توزیع در زلزله سال ۱۳۹۶ کرمانشاه اشاره نمود) بر این اساس در این پروژه، ارائه خدمات نظارت عالیه به شرکت‌های توزیع در سطح کشور در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری مؤلفه‌های سازه‌ای اصلی شبکه‌های توزیع در برابر زلزله و ارائه طرح‌های مناسب برای مقاومسازی آنها در چهارچوب دستورالعمل فوق‌الذکر، مورد نظر می‌باشد. مؤلفه‌های اصلی مورد نظر در این پروژه شامل پایه‌های توزیع هوایی و پایه‌های روشنایی، پست‌های هوایی، پست‌های زمینی و زیرزمینی (ساختمان و تجهیزات) و خطوط توزیع زمینی (مدفون) می‌باشند. مراحل کلی پروژه بشرح ذیل می‌باشد:

۱. ارزیابی وضعیت شرکت‌های توزیع کشور از لحاظ اجرای دستورالعمل و اخذ تجربیات، بازخوردها و چالش‌های آن
۲. نظارت عالیه بر اجرای ارزیابی لرزه‌ای سریع مؤلفه‌های شبکه و تعیین موارد اولویت‌دار در هر شرکت توزیع
۳. نظارت عالیه بر اجرای ارزیابی لرزه‌ای تفصیلی برای بخش‌های اولویت‌دار در هر شرکت توزیع
٤. نظارت عالیه بر ارائه و پیاده‌سازی طرح‌های تفصیلی مقاومسازی مؤلفه‌های آسیب‌پذیر شبکه در هر شرکت توزیع
٥. بروزرسانی دستورالعمل ارزیابی و مقاومسازی لرزه‌ای شبکه توزیع بر اساس بازخوردهای حاصل از پیاده‌سازی آن در شرکت‌های توزیع
٦. تدوین دستورالعمل کاربردی طراحی لرزه‌ای شبکه توزیع در حال توسعه

پروژه ۶: توسعه دانش فنی و ارائه روش‌های پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در پست‌های هوایی، زمینی و زیرزمینی و راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

این پروژه مانند پروژه شماره ۱ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه پست‌های هوایی (بخش‌های نگهدارنده ترانس)، زمینی و زیرزمینی (ساختمان و فونداسیون‌های تجهیزات) انجام خواهد شد.

پروژه ۷: توسعه دانش فنی و ارائه روش‌های پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در سازه و فونداسیون ساختمان‌های مهم شبکه توزیع (ساختمان کنترل، دیسپاچینگ و مدیریت بحران) و راهکارهای ترمیم و تعمیر آنها به همراه تدوین دستورالعمل اجرایی

این پروژه مانند پروژه شماره ۱ است که فعالیت‌های آن در مورد سازه و فونداسیون ساختمان‌های شبکه توزیع انجام خواهد شد.

پروژه ۸: توسعه ابزارهای کاربردی ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع برق در برابر مخاطرات طبیعی بر اساس شاخص‌های قابلیت اطمینان و ریسک

در راستای سیاست‌های کلان صنعت برق در خصوص تأمین برق بصورت پایدار و قابل اطمینان، نظام‌نامه مدیریت ریسک وزارت نیرو در سال ۱۳۹۵ به کلیه شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو (اعم از مادرتخصصی و تابعه) ابلاغ گردید. اهداف کلی این نظام نامه شامل تأمین پایدار آب و برق به منظور خدمت‌رسانی بی‌وقفه، مؤثر، مطمئن و ایمن به مشترکین، تاب‌آوری، کنترل و کاهش ریسک و آسیب‌پذیری و ایمن‌سازی تأسیسات و شریان‌های حیاتی در برابر سوانح طبیعی و غیرمترقبه می‌باشد. اولین گام در زمینه مدیریت و کاهش ریسک‌های حاصل از حوادث، برآورد و ارزیابی از میزان ریسک بصورت کمی است. ارزیابی ریسک و مدیریت آن، یک ابزار پشتیبان تصمیم‌سازان، مدیران و صاحبان سرمایه‌ها و تأسیسات صنایع مختلف است. مفهوم ریسک در این حوزه عبارتست از احتمال پیامدهای نامطلوب انسانی، اقتصادی، اجتماعی و امنیتی ناشی از مخاطرات طبیعی (زلزله ، سیل، طوفان و ...) یا حوادث غیرمترقبه که بر اجزای در معرض خطر (سازه ها، تأسیسات و ...) ایجاد می‌شود. در نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو تصریح شده که تمامی سطوح سازمانی وزارت نیرو موظفند که جهت مدیریت ریسک سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه، اقداماتی شامل شناسایی و ارزیابی خطر، آسیب‌پذیری و ریسک تأسیسات و شبکه‌های برق و اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده برای طراحی اقدامات مناسب جهت پاسخگویی به ریسک‌ها را انجام دهند. در ادامهٔ فعالیت‌های مربوط به پایش سلامت و تشخیص آسیب‌ها در سازه‌ها، ارزیابی عملکرد با هدف تعیین کفایت سازه در انجام عملکرد مورد انتظار آن تحت اثر انواع بارهای وارده، باید انجام شده و مبنای تصمیم‌گیری‌های صاحبان قرار گیرد. بر این اساس در این پروژه، دانش فنی مربوط به تحلیل و ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع برق با استفاده از شاخصهای قابلیت اطمینان، ریسک و تاب آوری تحت اثرات مخاطرات محیطی، توسعه داده می‌شود. بدین منظور، شاخص‌های عملکردی مربوطه، تعیین شده و به صورت کمی و با استفاده از مدل‌های احتمالاتی پارامترهای مؤثر در آنها (شامل مخاطرات، پاسخ سازه‌ها، آسیب‌پذیری آنها، خسارات مالی حاصل از آسیب سازه‌ها و زمان و هزینه بازیابی) محاسبه می‌شوند. از شاخص‌های عملکردی فوق می‌توان به عنوان ابزارهایی برای تصمیم‌گیری در خصوص برنامه‌های بهینه برای بهسازی و ایمن‌سازی سازه‌ها استفاده نمود. همچنین با انجام تحلیل حساسیت شاخص‌ها نسبت به اجزای مختلف مؤثر در آن (از قبیل سازه‌ها و مخاطرات مختلف) می‌توان مهمترین اجزای مؤثر بر آنها را تعیین نموده و برای انجام اقدامات ایمن‌سازی، اولویت‌بندی نمود. با استفاده از ارزیابی و تخمین شاخص‌های عملکردی در زمان‌های آینده با

لحاظ تغییرات مورد انتظار در ویژگی‌های سازه و مخاطرات در آینده، می‌توان عمر باقیمانده سازه را نیز تخمین زد که توسعه دانش و مدل‌های مورد نیاز این کار نیز در پروژه، مد نظر قرار دارد. در انتها نیز راهکارهای اجرایی فنی و مدیریتی برای ایمن‌سازی سازه‌های شبکه توزیع در برابر مخاطرات محیطی ارائه خواهند شد. مراحل اجرایی کلی پروژه بصورت زیر است:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه رویکردها و روش‌های مختلف ارزیابی عملکرد سازه‌های شبکه توزیع (یا سیستم‌های مشابه) و طراحی چهارچوب کلی ارزیابی عملکرد آنها بر اساس تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان، ریسک و تاب‌آوری

۲. تعیین نوع و پارامترهای شدت مخاطرات محیطی موثر در عملکرد سازه‌های شبکه توزیع و توسعه مدل احتمالاتی برای مخاطرات مورد نظر

۳. تدوین روش‌ها و الزامات گردآوری اطلاعات موجود سازه‌های شبکه توزیع و انجام بازدید و ارزیابی وضعیت اولیه (کیفی) و جامع (کمی) آسیب‌پذیری سازه‌های شبکه توزیع (شامل برداشت اطلاعات جامع سازه‌ها، تعیین مشخصات سازه‌ها با استفاده از روش‌های شناسایی سیستم، انجام آزمون‌های شناسایی مورد نیاز، تهیه مدل بروزشده و واقعی از سازه‌ها و تحلیل پاسخ سازه‌ها به بارهای حاصل از مخاطرات محیطی و شرایط عملکردی) و توسعه مدل‌های احتمالاتی آسیب‌پذیری سازه‌ها در سطوح مختلف خطر و آسیب.

٤. توسعه روش‌های محاسبه شاخص‌های عملکردی سازه‌های شبکه توزیع (تهیه مدل احتمالاتی برآورد خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم و زمان بازیابی حاصل از سطوح مختلف آسیب سازه‌ها و اثرات آنها بر عملکرد کلی شبکه توزیع، محاسبه شاخص‌های عملکردی بصورت تفکیکی برای سازه‌ها و مخاطرات مختلف و تجمیعی) و تهیه نرم‌افزارهای کاربردی در این خصوص

٥. توسعه روش‌ها و مدل‌های احتمالاتی برای پیش‌بینی عملکرد آینده و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های شبکه توزیع با لحاظ پارامترهای مؤثر متغیر در زمان

٦. ارائه راهکارهای کلی با هدف ایمن‌سازی و بهبود شاخص‌های عملکردی و افزایش عمر باقیمانده سازه‌های شبکه توزیع با لحاظ فناوری‌های نوین

۷. تدوین دستورالعمل اجرایی برای انجام ارزیابی عملکرد و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های شبکه توزیع

پروژه ۹: توسعه دانش فنی و ابزارهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت بهینه ساخت و نگهداری سازه‌های شبکه توزیع در دوره عمر آنها، بر اساس کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر و تدوین دستورالعملهای مرتبط

در این پروژه، دانش فنی و ابزارهای مورد نیاز (نرم‌افزار) جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه ساخت (با هدف کاهش هزینه‌های ساخت) و نگهداری سازه‌های شبکه توزیع ، بر اساس محاسبه و کمینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر سازه با لحاظ سناریوهای مختلف نگهداری، پایش سلامت، تعمیر و مقاومسازی تدوین خواهد شد. در تدوین و

توسعه دانش و ابزارهای مورد نظر، از رویکردهای نوین ارائه شده در حوزه‌های نگهداری تجهیزات شامل RCM، RBM، CMMS و ... نیز استفاده خواهد شد. مراحل اجرایی کلی پروژه بصورت زیر است:

۱. گردآوری، مطالعه و بررسی مستندات، ادبیات فنی و منابع موجود در زمینه رویکردها و روش‌های بهینه سازی مدیریت نگهداری سازه‌ها و زیرساخت‌ها
۲. توسعه دانش فنی و ابزارهای محاسبه هزینه چرخه عمر سازه‌های شبکه توزیع با لحاظ پارامترهای وابسته به زمان
۳. ارائه راهکارها و روش‌های فنی و مدیریتی با هدف کاهش هزینه‌های ساخت سازه‌های شبکه توزیع
٤. توسعه دانش فنی و ابزارهای بهینه‌سازی برنامه نگهداری و پایش سلامت سازه‌های شبکه توزیع با هدف کمینه سازی هزینه چرخه عمر آنها
٥. تهیه دستورالعمل اجرایی جهت پیاده‌سازی دانش فنی تدوین شده در شبکه توزیع کشور

پروژه ۱۰: پیاده‌سازی و اجرای پایش سلامت، ارزیابی عملکرد، تخمین عمر و ارئه راهکارهای ایمن‌سازی سازه‌های شبکه توزیع در ۲ فیدر توزیع دارای اولویت بصورت پایلوت و نظارت بر پیاده سازی در سایر فیدرها بر حسب اولویت

در این پروژه، سیستم کلی پایش سلامت و نگهداری طراحی شده در پروژه‌های قبلی برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد ۲ تیپ مختلف از فیدرهای توزیع در کشور به ترتیب اولویت، اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به‌روز رسانی و افزایش کارآیی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این پروژه همچنین، رایزنی‌های لازم با ذینفعان در خصوص پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت در سایر فیدرهای توزیع اولویت‌دار (تحت نظارت پژوهشگاه نیرو) نیز صورت گرفته و نظارت بر پروژه‌های اجرایی مربوطه نیز، انجام خواهد شد. مراحل اجرایی پروژه برای هریک از فیدرهای توزیع منتخب بصورت زیر است:

۱. اولویت‌بندی شرکتهای توزیع کشور و تعیین ۲ فیدر توزیع دارای اولویت از تیپ‌های مختلف (از دیدگاه سازه) با استفاده از داده‌های حاصل از پروژه ۴
۲. پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت جهت ارزیابی وضعیت موجود و تشخیص آسیب‌های سازه‌های فیدر توزیع
۳. انجام ارزیابی عملکرد و تعیین شاخص‌های عملکرد سازه‌های فیدر توزیع و تخمین عمر باقیمانده هریک از آنها
٤. ارائه راهکارهای ترمیم و تعمیر آسیب‌ها به همراه ایمن‌سازی کلی سازه‌های فیدر توزیع با لحاظ فناوری‌های نوین
٥. تهیه برنامه بهینه برای اقدامات پایش سلامت، نگهداری، ارزیابی عملکرد و ایمن‌سازی سازه‌های فیدر توزیع در آینده
٦. نظارت بر پروژه‌های اجرایی پایش سلامت و مقاومسازی در فیدرهای اولویت‌دار

پروژه ۱۱: تدوین دانش فنی و دستورالعمل طراحی، ساخت و آزمون نوعی پایه‌های نوین شبکه توزیع

پایه‌های هوایی موجود و شناخته شده در کشور اغلب از جنس بتنی با مقطع H شکل است و به ندرت از دیگر انواع پایه ها استفاده می‌شود و این به دلیل موجود بودن سابقه طراحی، ضوابط مشخص شده مربوط به این نوع پایه‌ها در آیین‌نامه و کارخانه‌های بیشمار تولیدی است. یکی از مهم ترین مسائلی که به عنوان نقطه ضعف این نوع پایه‌ها مطرح گردیده است، کاهش عمر مفید آنها به دلایل مختلف از جمله خوردگی و عدم وجود بازدیدهای دوره ای جهت تعمیر و نگهداری پایه‌های بتنی در طول مدت بهره‌برداری است. توسعه و بکارگیری انواع دیگر پایه‌های هوایی در شبکه توزیع بسته به شرایط اقلیمی و مسائل فنی و اقتصادی در نقاط مختلف کشور می‌تواند کمک شایانی به افزایش عمر مفید و کیفیت پایه‌ها نموده و موجب صرفه‌جویی اقتصادی شود. انواع مختلف پایه‌های نوین مانند پایه‌های کامپوزیتی FRP، پایه‌های بتنی با میلگرد کامپوزیتی، پایه‌های آلومینیومی، پایه‌های هیبریدی، پایه‌های چدنی نشکن و پایه‌های ارتقاء یافته با بتن‌های ویژه و یا مواد نانوساختار را می‌توان نام برد که توسعه دانش فنی طراحی، ساخت و آزمون آنها به همراه تهیه دستورالعمل اجرایی، در این پروژه مورد نظر می‌باشد.

پروژه ۱۲: بررسی انواع روش های جدید امحاء، بازیافت و بکارگیری مجدد مصالح پایه های توزیع فرسوده

پایه‌های شبکه توزیع نیز همانند سایر سازه‌ها در انتهای عمر خود باید برداشته شده و در صورت نیاز و بر اساس برنامه‌ریزی صورت گرفته، با پایه‌های جدید جایگزین شوند. زمان انتهای عمر پایه و اسقاط آن بر اساس معیارهای مختلفی (مانند انتهای عمر اقتصادی، انتهای عمر عملکردی، فرسودگی قابل توجه و شکست در اثر حوادث) قابل تعیین بوده و موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه نگهداری با هدف کمینه‌سازی هزینه چرخه عمر است. یکی از مهمترین موضوعات مطرح در این خصوص، امحاء پایه‌های از رده خارج با هدف ایجاد کمترین آسیب زیست‌محیطی و کمترین هزینه است. با توجه به آمار نگران‌کننده بالا و رشد روز افزون زباله‌های ساختمانی و همچنین عواملی نظیر رشد زیرساخت کشورها و همچنین کاهش دسترسی به فضای اولیه تولید مصالح و نگرانی‌های زیست‌محیطی موجبات افزایش راهکارهای بازیافت مصالح (علی‌الخصوص مصالح بتنی و سیمانی) بیشتر گردیده و لزوم استفاده از بازیافت مصالح با کمترین هزینه و بیشترین بهره‌وری را پررنگ‌تر خواهد کرد. در خصوص پایه های توزیع نیز، مسلماً بازیافت پایه‌ها یا مصالح آنها نسبت به امحاء ترجیح داشته و تلاش‌های مطالعاتی و اجرایی متعددی در نقاط مختلف دنیا در این راستا انجام شده که عمده آنها مربوط به پایه‌های چوبی (با توجه به قدیمی‌تر بودن، رایج بودن بیشتر آنها در بسیاری از نقاط دنیا و قابلیت بهتر بازیافت) می‌باشد. در حال حاضر پایه های چوبی و بتنی که بیشترین آمار استفاده، عمر و میزان فرسودگی را در شبکه توزیع کشور دارند، در

اولویت بازیافت مصالح قرار دارند. در این پروژه، امکانسنجی و بررسی روشها و راهکارهای مختلف برای امحاء و یا بازیافت مصالح انواع پایه های توزیع و تدوین روش اجرایی و الزامات فنی هریک از آنها، مورد نظر می‌باشد.

پیوست ۳: معرفی اجمالی نهادهای مرتبط با نگاشت نهادی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

❖ وزارت نیرو

وزارت نیرو یکی از مهمترین وزارتخانه‌های اقتصادی دولت محسوب می‌شود. میزان اعتبارات سالیانه این وزارتخانه به طور طبیعی چند برابر برخی از وزارتخانه‌ها است. تامین و توزیع آب و برق با کیفیت مطلوب که از حیاتی‌ترین نیازهای جامعه است، مهمترین هدف این وزارتخانه محسوب می‌شود. اما می‌توان مهم‌ترین اهداف وزارت نیرو را به شرح زیر در چند محور ذکر کرد:

- حفاظت، نگهداری، بهره‌برداری و بهبود کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی.
- رضایت و اقناع مردم با تامین، تصفیه و توزیع مناسب آب بهداشتی سالم و دائمی برای انواع مصارف.
- بالابردن بهداشت محیط شهرها و روستاها با طراحی و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب.
- تامین نیازهای انرژی با کیفیت مطلوب و تمام وقت برای انواع مصارف شهروندان
- دیدگاه بلند مدت (دورنگر) به صیانت از منابع آب و انرژی و انتقال آن به نسل‌های آینده
- وظایف و ماموریت‌های این وزارتخانه در بخش برق شامل موارد زیر می‌باشد:
- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق در شهرها و روستاهای سراسر کشور
- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها، سیاست‌ها، برنامه‌ها، قوانین و آیین‌نامه‌های صنعت برق و تعرفه‌های بهای مصرف و اشتراک برق به طور سالیانه جهت ارائه به دولت و مجلس و اجرای آن‌ها
- برنامه‌ریزی جهت انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی مرتبط با فعالیت شرکت و هماهنگی و برنامه‌ریزی آموزشی به‌منظور ارتقاء سطح علمی کارکنان صنعت برق کشور
- جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و ایجاد زمینه‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در اجرای طرح‌های تولید و انتقال برق درسراسر کشور
- عضویت درکمیته و کنوانسیون‌های جهانی انرژی و کسب و تبادل اطلاعات لازم به منظور استاندارد کردن و ارتقاء فعالیت‌های صنعت برق کشور
- هدفمند کردن میزان مصرف برق و یارانه‌ها برابر استانداردهای جهانی
- سیاست‌گذاری، نظارت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه به منظور اجرای به موقع طرح‌های برق در راستای پیشبرد اهداف کلان صنعت برق کشور

❖ معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)

وظایف حاکمیتی بخش انرژی:

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در زمینه صیانت و بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی کشور
- برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور به منظور حصول اطمینان از تأمین و عرضه انرژی مورد نیاز بخش‌های گوناگون

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای شناسایی و در اختیار گرفتن انرژی های دست نیافته (انرژی‌های نو) و حمایت و ترویج کاربرد آن
- نظارت بر نحوه استفاده از انواع انرژی به منظور رعایت رفاه مردم و حفظ منابع انرژی کشور
- تعیین الگوی مصرف انواع انرژی با رعایت مصالح کشور و حفظ حقوق مردم
- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی به منظور مدیریت مصرف انرژی
- تدوین استانداردها و مقررات لازم برای تولید، مصرف و تبدیل انرژی در کلیه بخش‌های اقتصادی و اجتماعی
- حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فناوری و منابع انسانی در بخش انرژی
- تولید آمار و اطلاعات پایه بخش انرژی و تسهیل دسترسی به آن‌ها
- برنامه‌ریزی برای اصلاح ساختار مصرف انرژی و اعطای تسهیلات مالی و فنی لازم در بخش انرژی
- حذف انحصار، ایجاد و توسعه رقابت و حمایت از بخش غیردولتی برای مشارکت در فعالیت‌های بخش انرژی با هدف افزایش کارایی و حفظ حقوق مردم
- تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین مرتبط با بخش انرژی
- تعیین نرخ انواع انرژی
- کاهش، شفاف‌سازی و هدفمند کردن یارانه
- ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن

وظایف حاکمیتی بخش برق :

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان و نظارت بر اجرای طرح‌های توسعه در حد حصول اطمینان از تامین برق مورد نیاز
- تصویب و ابلاغ استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای تنظیم اثرات خارجی صنعت و رعایت حقوق مشترکین و مصالح جامعه و نظارت بر اجرای آن‌ها در زمینه‌های فنی، زیست محیطی، ایمنی و ارائه خدمات به مشترکین
- کاهش، شفاف‌سازی و هدف‌مند کردن یارانه‌ها
- تصویب تعرفه‌های فروش برق
- تهیه و تصویب مقررات و آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ناظر بر روابط شرکت‌های فعال در بازار برق و نظارت بر اجرای آن‌ها
- ایجاد و توسعه رقابت بر آن بخش از امور صنعت برق که امکان رقابت در آن‌ها وجود دارد
- تشویق و حمایت از سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در صنعت برق
- تسهیل دسترسی عمومی به آمار و اطلاعات صنعت برق
- نظارت بر اجرای قوانین و برنامه‌ریزی برای تحقق سیاست‌های مصوب کشور در رابطه با صنعت برق و تامین هزینه اجرای سیاست‌ها و طرح‌های غیراقتصادی از دید بنگاه برق

- حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فناوری و منابع انسانی در صنعت برق
- ظرفیت‌سازی و حمایت از صنایع داخلی
- تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین و مقررات مرتبط
- ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن

❖ **دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)**

در معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، دفتری تحت عنوان دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی شکل گرفته است که با رویکرد حاکمیتی و با بهره‌گیری از دستاوردهای گذشته، به امر تدوین و به‌روزرسانی استانداردها، مقررات و دستورالعمل‌های فنی مورد نیاز صنعت بپردازد. بطور کلی نتایج نهایی فعالیت‌های صنعت برق از طریق کارآمدی و اثربخشی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت آشکار می‌شود و جامعه و مسئولین آن را از دو طریق درک می‌نمایند:

- تاثیرگذاری مثبت برکیفیت زندگی مردم
- تاثیرگذاری مثبت برتوسعه پایدار ملی

برای دستیابی به این نتایج، امور برق و انرژی وزارت نیرو در موارد زیر بر صنعت برق و تعاملات آن نظارت عالیه داشته و اعمال حاکمیت می‌نماید:

- حفاظت از حقوق متقابل مشتریان و بخش عرضه برق
- حفظ پایایی و امنیت سیستم قدرت کشور
- بهره‌وری بخش عرضه برق
- مدیریت تقاضای برق
- تعاملات صنعت برق با محیط‌زیست
- خوداتکایی علمی و فنی صنعت برق
- بازرگانی برق (بازرگانی داخلی و خارجی)
- توازن و پایداری اقتصادی صنعت برق

ابزار معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو برای نظارت عالیه و اعمال حاکمیت عبارتند از: سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌های ملی، مقررات، استانداردها، ضوابط فنی، نقشه‌های راه فناوری، نظامنامه‌ها، آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، ایجاد شرایط مناسب ملی و بین‌المللی.

دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی، به عنوان یک دفتر از معاونت امور برق و انرژی، مسئولیت تدوین استانداردها و مقررات فنی، مدیریت ظرفیت‌سازی برای استقرار و تحقق و نیز نظارت بر اجرا و بهبود مداوم آن‌ها را، در تمامی موارد هشت‌گانه فوق، با اثرگذاری مستقیم و یا با واسطه، بر عهده دارد.

ذکر این نکته ضروری است که دستیابی شهروندان، صنایع و سازمان‌ها به برق، الزاماً از طریق شبکه سراسری انجام نمی‌پذیرد بلکه استفاده از شبکه‌ها و ظرفیت‌های محلی و خصوصی نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد که در این زمینه‌ها نیز استانداردها و مقررات فنی کاربرد گسترده‌ای دارند.

❖ معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی وزارت نیرو

وظایف حاکمیتی بخش برنامه‌ریزی و امور اقتصادی :

- مطالعات و آینده‌نگری همه جانبه شرایط محیطی و جهانی صنعت آب و برق
- تدوین برنامه دوربرد و راهبردی وزارت نیرو
- تلفیق برنامه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت بخش‌های مختلف صنعت آب و برق
- تلفیق، تدوین و ارائه لایحه بودجه وزارت نیرو
- نظارت دقیق، مستمر و مؤثر بر اجرای برنامه
- تهیه و تدوین گزارش عملکرد برنامه
- تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایت از بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری غیردولتی و خارجی
- برنامه‌ریزی جهت اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی و خصوصی‌سازی صنعت
- مطالعات و بررسی ظرفیت‌های داخلی صنعت آب و برق
- تدوین سیاست‌های توسعه کارآفرینی در وزارت نیرو
- انجام امور مربوطه به دبیرخانه مجامع عمومی شرکت‌های تابعه
- نظارت بر قراردادهای مرتبط با صنعت آب و برق
- مطالعات و بررسی اقتصاد کلان صنعت آب و برق
- مطالعات و بررسی بازار بین‌المللی مرتبط با وزارت نیرو
- تنظیم سیاست‌ها و روابط اقتصاد خارجی وزارت نیرو
- تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایتی از صادرکنندگان مرتبط با صنعت آب و برق
- تدوین سیاست‌های راهبری بازار آب و برق
- تنظیم مقررات مربوط به بازار آب و برق
- تدوین و استقرار سیاست‌های توسعه رقابت در بازارهای آب و برق

❖ معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی

وظایف حاکمیتی بخش تحقیقات و منابع انسانی:

- برنامه‌ریزی جامع منابع انسانی صنعت آب و برق
- تدوین سیاست‌ها و راهبری منابع انسانی
- مطالعه و بررسی و تنظیم سیاست‌های افزایش انگیزش و کارآمدی منابع انسانی

- بررسی و تدوین راهکارهای استقرار ارزش‌های انسانی در سازمان
- مطالعات، برنامه‌ریزی و ساماندهی امر مدیریت و ارائه الگوی مناسب مدیریتی
- راهبری تحول اداری صنعت آب و برق و ارتقاء سلامت اداری
- مطالعات، تدوین، اصلاح و استقرار ساختار سازمانی، سیستم‌ها و روش‌های کارآمد در وزارت نیرو
- تدوین و ارائه طرح‌های ارتقاء کیفیت و بهبود بهره‌وری صنعت آب و برق
- تدوین سیاست‌های آموزش و تحقیقات صنعت آب و برق
- ساماندهی ارتباطات با مراکز آموزشی و پژوهشی درون و برون صنعت آب و برق
- تدوین سیاست‌ها و استراتژی توسعه فناوری
- تدوین و استقرار نظام راهبری و توسعه آموزش
- راهبری برنامه‌های آموزش‌های تخصصی مورد نیاز صنعت
- هدایت هیات‌های امناء مراکز آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق
- مطالعه و بررسی مستمر فناوری‌های نوین اطلاعاتی مورد نیاز صنعت
- تدوین نظام ارتباطات بهنگام در صنعت آب و برق
- تدوین و استقرار نظام آماری و اطلاعاتی در وزارت نیرو
- مدیریت و راهبری اطلاعات علمی، اسناد و کتابخانه
- ایجاد بانک اطلاعاتی صنعت و بروزرسانی آن
- مطالعه و ارائه سیستم‌های مکانیزه جهت ارائه خدمات به مشترکین صنعت آب و برق

❖ **دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)**

ماموریت اصلی این دفتر، توسعه آموزش، تحقیقات و فناوری در صنعت آب و برق بوده و اهم برنامه‌ها و وظایف مرتبط با این ماموریت عبارت است از

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی آموزش، تحقیقات و فناوری
- تسهیل و بهینه‌سازی فرآیند انجام آموزش، تحقیقات و فناوری
- تعمیق و توسعه فعالیت‌های آموزش، تحقیقات و فناوری
- بررسی و تحلیل نیازهای آموزش، تحقیقات و فناوری
- تسهیل و تنظیم تعاملات آموزش، تحقیقات و فناوری
- پایش، ارزیابی و تحلیل وضعیت آموزش، تحقیقات و فناوری

❖ **شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق (توانیر)**

موضوع فعالیت شرکت توانیر: مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در صنعت برق، انجام هرگونه فعالیت در راستای تأمین برق مطمئن و اقتصادی برای کلیه مصارف خانگی، عمومی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و غیره

اعم از سرمایه‌گذاری، مدیریت و نظارت بر ایجاد و بهره‌برداری از تأسیسات و انجام کلیه معاملات مربوط به برق که برای تحقق اهداف شرکت لازم می‌باشد از طریق شرکت‌های زیرمجموعه و یا درصورت لزوم با تصویب مجمع عمومی توسط خود شرکت موارد زیر از جمله وظایف شرکت می‌باشد.

- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاست‌ها و برنامه‌های بلندمدت و میان مدت صنعت برق و ارایه آن به وزارت نیرو
- اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو
- تهیه طرح‌های لازم برای توسعه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع برق و ارایه آن به‌وزارت نیرو جهت اخذ مجوز
- سرمایه‌گذاری در تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق
- اتخاذ تدابیر و راهکارهای لازم به منظور حصول اطمینان از اجرای صحیح و به‌موقع طرح‌های توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات
- راهبری و پایش شبکه سراسری برق از طریق شرکت‌های زیرمجموعه و همچنین ایجاد سازوکارهای لازم برای توسعه رقابت در امر تولید، خرید و فروش برق از جمله ایجاد سیستم‌ها و انجام عملیات بازار و بورس برق
- تدوین و پیشنهاد تعرفه‌های برق به وزارت نیرو
- خرید و فروش عمده برق در داخل و خارج کشور از طریق شرکت‌های زیرمجموعه
- اخذ هرگونه وام و تسهیلات مالی از منابع داخلی و خارجی، عرضه اوراق قرضه و مشارکت داخلی و پیش فروش انشعاب و انرژی برق و سایر روش‌های تأمین منابع مالی با اخذ مجوز از مراجع قانونی ذیربط
- مدیریت، توسعه و تأمین منابع مالی صنعت برق و استفاده بهینه از این منابع از طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی فی‌مابین شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه
- انجام عملیات لازم به منظور نظارت در نحوه استفاده از انرژی برق به نمایندگی از طرف وزارت نیرو و همچنین ترویج فرهنگ مدیریت مصرف به منظور بهینه‌سازی مصرف و کاهش مصارف غیرضروری
- بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع‌رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات موردنیاز صنعت برق کشور
- حمایت از توسعه فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی در زمینه‌های تخصصی مرتبط با صنعت برق و پشتیبانی از برنامه‌های تربیت متخصصان موردنیاز صنعت برق‌کشور.
- حمایت از تحقیقات و فعالیت‌های علمی و توسعه منابع انسانی و سایر عوامل موثر در بهبود مدیریت و بهره‌وری صنعت برق کشور
- مدیریت و هماهنگی تجاری، فنی و برنامه‌ای بین شرکت‌های زیرمجموعه و هدایت و هماهنگی آن‌ها در جهت سیاست‌های تعیین شده از طرف وزارت نیرو و دولت
- نظارت بر امور مدیریت و نظام مالی شرکت‌های زیرمجموعه و انجام بازرسی وحسابرسی‌های لازم

- تدوین مقررات و استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای حسن اجرای امور و استفاده بهینه از امکانات و تأسیسات صنعت برق و ارایه آن‌ها به وزارت نیرو و همچنین انجام عملیات لازم به منظور نظارت بر اجرای آن‌ها به نمایندگی وزارت نیرو
- پیشنهاد و پیگیری درخواست‌های عمومی صنعت برق از دولت
- انجام هرگونه عملیات مالی، معاملات، سرمایه‌گذاری، تشکیل شرکت، مشارکت‌در مؤسسات و شرکت‌های دیگر که مرتبط با موضوع شرکت باشد، با رعایت مقررات مربوط
- مبادرت به هرگونه فعالیت که با هدف شرکت مرتبط باشد

❖ **دفتر امور تحقیقات برق (توانیر)**

شرح وظایف دفتر امور تحقیقات برق :

- حمایت، هدایت، راهبری موسسات و مراکز علمی و پژوهشی به منظور انجام تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی در صنعت برق
- کمک به توسعه و رشد مراکز تحقیقاتی
- ترغیب موسسات و مراکز علمی به تدوین طرح‌ها و پژوهش‌های کاربردی
- تدوین نظام‌های اصلاح و بهبود فرایندها
- سیاست‌گذاری در بخش تحقیقات شرکت‌های زیرمجموعه
- ارتقاء دانش مدیریت تحقیق و توسعه در شرکت‌های زیرمجموعه
- استقرار طرح‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی‌کاربردی انجام شده در شرکت‌های زیرمجموعه
- تدوین شاخص‌ها و معیارهای تحقیقات در زمینه مختلف (ارزیابی، کنترل و استاندارد)
- نظارت عالیه و راهبردی برشرکت‌های زیرمجموعه
- تعامل با دستگاه‌ها و سازمان‌ها برای پیشبرد امور تحقیقات
- شناسائی پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های ارتقاء و بهبود فرایندهای پژوهش و تحقیقاتی در شرکت‌های موفق داخلی و خارجی (benchmark)
- تعامل با مرکز پژوهش ملی و بین‌المللی
- ظرفیت‌سازی در شرکت‌ها برای مدیریت برانجام تحقیقات کاربردی (پیشنهاد تقویت ساختار - توانمندسازی کارکنان و ...)
- توسعه و گسترش تبادلات علمی و تحقیقاتی ملی و بین‌المللی در صنعت برق
- توسعه و بکارگیری سرمایه انسانی کارآمد و دانشگرا در بخش تحقیقات صنعت برق
- تطبیق سیاست‌های صنعت برق با نیازهای آن
- ارزیابی نظام‌ها و فعالیت‌های تحقیقاتی و استاندارد به منظور اصلاح و بهبود فرآیندها

- ظرفیت‌سازی در ستاد و شرکت‌های زیرمجموعه به منظور استقرار مطلوب نظام‌ها (ایجاد دانش، مهارت، شرایط و قابلیت‌های مورد نیاز)
- مطالعات در زمینه تجارب گذشته و تحلیل وضع موجود جهت تنظیم فعالیت‌های آینده‌پژوهشی
- استقرار نظام یادگیری

❖ شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

در بحبوحه سخت ترین سال های جنگ تحمیلی که تاسیسات صنعتی ایران یکی پس از دیگری با بمباران‌های پی در پی تخریب می‌شدند، تصمیم‌گیران بر آن شدند که ۸ سال پس از پیروزی انقلاب اسلامی و قطع دست بیگانگان از منابع ملی، در سال ۱۳۶۶ نسبت به تشکیل شرکت برق ایران در قالب معاونت طرح و توسعه شرکت توانیر اقدام ورزند. پس از آن به مدت ۱۰ سال این تشکیلات جدید برای حفظ تاسیسات، بازسازی و ایجاد ظرفیت‌های جدید تلاش کرد تا در نهایت در سال ۱۳۷۵ سازمان توسعه برق ایران به عنوان یکی از بازوهای اجرایی وزارت نیرو شکل گرفت. هیأت وزیران در جلسات ۹۲/۱۲/۲۸ و ۸۹/۷/۲۷ براساس پیشنهادهای مشترک وزارتخانه های نیرو و امور اقتصادی و دارایی به استناد ماده (۱۳) قانون اجرای سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی (مصوب ۱۳۶۸) و ماده واحده قانون استفساریه در خصوص اختیار اصلاح اساسنامه سازمان‌ها، شرکت‌ها و مؤسسات دولتی و وابسته به دولت (مصوب۱۳۷۷)، اساسنامه «شرکت سهامی سازمان توسعه برق ایران» را به «شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی» اصلاح و تصویب کرد. با تایید این اساسنامه در تاریخ ۹۳/۱۱/۱۲ توسط شورای نگهبان روند تبدیل سازمان توسعه برق ایران به شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی وارد مرحله نهایی گشت و این شرکت در تاریخ ۱۳۹۴/۷/۱۵ فعالیت رسمی خود را آغاز کرد. اهداف شرکت عبارتند از:

- ساماندهی فعالیت‌های تصدی دولت در زمینه تولید نیروی برق حرارتی متصل به شبکه انتقال و فوق توزیع برق کشور
- راهبری شرکت‌های زیرمجموعه و برنامه‌ریزی، مدیریت، توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌های یادشده در چارچوب سیاست‌های وزارت نیرو و تسهیل مشارکت بخش غیردولتی در تولید برق حرارتی
- وظایف و مأموریت‌های شرکت به شرح زیر می‌باشند:
- برنامه‌ریزی و مدیریت (توسعه و بهره‌برداری) ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب برنامه‌های جامع و کلان وزارت نیرو
- ساماندهی و مدیریت شرکت‌های تولید کننده برق حرارتی که تمام یا بخشی از سهام آنها متعلق به دولت است
- توسعه ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب مقررات مربوط
- همکاری با نهادهای ذیربط برای واگذاری نیروگاههای دولتی و سهام دولت در شرکت‌های تولید نیروی برق به بخش غیردولتی و افزایش سهم این بخش در تولید برق در چارچوب مقررات مربوط

- انجام تمهیدات لازم برای جلب مشـــارکت بخش غیردولتی برق در احداث نیروگاه‌های جدید و توســـعه ظرفیت و بهینه‌سازی نیروگاه‌های موجود، در جهت تحقق برنامه های مصوب وزارت نیرو
- اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو
- مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در شرکت‌های زیرمجموعه
- اتخاذ تدابیر لازم و همکاری برای واگذاری بخشی از سهام شرکت از طریق بورس اوراق بهادار
- انجام حمایت لازم برای افزایش بهره وری عوامل تولید در شرکت‌های زیرمجموعه
- اخذ هرگونه تسـهیلات مالی، عرضـه اوراق مشـارکت و سـایر روش‌های تامین منابع مالی با رعایت موزارین قانونی
- مدیریت، توسـعه و تأمین منابع مالی و اسـتفاده بهینه از طریق برقراری تسـهیلات و گردش منابع مالی بین شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه
- اسـتفاده بهینه از سود حاصل از سرمایه‌گذاری‌ها و سایر منابع داخلی شرکت و شرکت‌های تابع در راسـتای حمایت از بخش خصـوصـی در جهت احداث، توسـعه و بهینه‌سـازی تاسـیسـات و تامین تجهیزات وخدمات تولید برق. شـرکت می‌تواند با تایید وزارت نیرو با اسـتفاده از منابع فوق به احداث ، توسـعه و بهینه‌سـازی تاسیسات تولید برق دولتی مبادرت ورزد.
- ارتقای بازده نیروگاه‌های حرارتی با توســـعه روش‌هایی مانند تولید همزمان برق و حرارت و برودت و تولید آب شیرین با استفاده از حرارت بازیافتی
- انجام اقدامات لازم و اعمال حمایت برای کاهش انتشـــار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای ناشـــی از تولید برق حرارتی
- حمایت از سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر با استفاده از ظرفیت نهادهای مالی و منابع داخلی شرکت
- مدیریت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه و هدایت آنها در جهت سیاست‌های تعیین شده از طرف وزارت نیرو
- نظارت بر مدیریت و نظام مالی شرکت‌های تابع
- انجام هرگونه عملیات اجرایی، مهندســـی، بازرگانی، مالی، معاملات و ســـرمایه گذاری، تشـــکیل شـــرکت، مشارکت در موسسات و شرکت‌های دیگر که در راستای سیاست‌های وزارت نیرو و مرتبط با موضوع شرکت باشند، با رعایت قوانین و مقررات مربوط
- انجام و حمایت از فعالیت‌های پژوهشی، نوآوری و فن‌اوری در حوزه فعالیت شرکت

❖ سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

بر اسـاس ماده ۸ قانون اصـلاح الگوی مصـرف انرژی و در راسـتای ارتقاء بهره وری و اسـتفاده هر چه بیشـتر از منابع تجدیدپذیر، لایحه تاســیس ســازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق(ســاتبا) که از ادغام سازمان انرژی های نوایران(سانا) و سازمان بهره وری انرژی ایران(سابا) شکل گرفته است، توسط هیئت محترم

وزیران تقدیم مجلس شورای اسلامی گردید. لایحه مذکور پس از بررسی و تایید در کمیسیون های تخصصی، در جلسه مورخ ۹۵/۹/۲۴ در صحن علنی مجلس به تصویب رسید و در تاریخ ۹۵/۱۰/۱۵ به تائید شورای محترم نگهبان رسید. قانون ۱۳ ماده ای تشکیل ساتبا پس از ابلاغ توسط ریاست محترم مجلس شورای اسلامی، طی شماره ۱۳۴۷۵۸ مورخ ۹۵/۱۰/۳۰، توسط ریاست محترم جمهور جهت اجرا به وزارت نیرو ابلاغ شد .

در ماده ۱ قانون تشکیل ساتبا آمده است که این سازمان به منظور ارتقای بهره‌وری انرژی و استفاده هرچه بیشتر از منابع تجدیدپذیر و پاک از طریق فراهم نمودن زیرساخت‌های لازم در کشور و افزایش بهره‌وری عرضه انرژی و کاهش تلفات انتقال، توزیع و مصرف انرژی در کشور و استفاده از روش های تولید برق تجدیدپذیر و پاک، تشکیل می‌شود. در ماده ۲ به کارگیری بخش خصوصی و حمایت از مشارکت آن، تدوین سیاست های تشویقی در جهت حمایت از شرکت های دانش بنیان، عملیاتی نمودن استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در سطح صنعتی و انجام وظایف دولت برای تحقق اهداف سازمان، بعنوان موضوع فعالیت سازمان مورد تاکید قرار گرفته است.

❖ پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو به منظور تحقق بخشی از وظایف پژوهشی وزارت نیرو و نیز ارتقاء کیفی امور آن وزارتخانه، تاسیس گردید. پژوهشگاه نیرو سازمانی دولتی است که مسئولیت راهبری تحقیقات وابسته به صنعت برق و انرژی ایران را برعهده دارد. پژوهشگاه نیرو درسال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده" برق"، "تولیدنیرو" و "انتقال و توزیع نیرو "از شورای گسترش آموزش عالی به‌طور رسمی کار خود را آغاز و در سال ۱۳۷۷ با اخذ دو مجوز جدید پژوهشکده‌های "انرژی و محیط زیست" و "کنترل و مدیریت شبکه" را نیز به مجموعه خود افزود و در ادامه با ایجاد" مراکزشیمی و مواد"،" توسعه فناوری توربین‌های بادی"و" آزمایشگاه‌های مرجع" فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید.

با توجه به نقش زیربنایی صنعت برق در رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور، پژوهشگاه نیرو با انجام پروژه‌های بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای به منظور پاسخگویی بهتر و بیشتر به نیازهای صنعت برق و رفع مشکلات آن و دستیابی به فناوری‌های نوین اقدام به تعریف پروژه برنامه استراتژیک خود همراستا با خواسته‌ها و برنامه‌های استراتژیک وزارت نیرو و برنامه توسعه پنجم کشور نموده و در سال۱۳۸۷پس از تبیین بیانیه‌های ماموریت، چشم‌انداز و ارزش‌های سازمانی با تحلیل محیط داخل و خارج و همچنین مطالعات تطبیقی در عرصه بین‌المللی استراتژی‌ها و اهداف پژوهشگاه را تدوین و در سال ۱۳۸۹با استفاده از متدولوژی کارت امتیازی متوازن(BSC) با اجرای برنامه‌ها و دستیابی به اهداف کمی راه رسیدن به چشم‌انداز را هموار نموده است.

فلسفه وجودی ماموریت پژوهشگاه نیرو شامل ارتقاء فناوری، توسعه پژوهش و نوآوری جهت افزایش توانمندی، رقابت‌پذیری و بهره‌وری صنعت برق و انرژی کشور است.

محصـولات وخدمات این ماموریت تکمیل چرخه مدیریت نوآوری و فناوری صـنعت برق و انرژی ازطریق موارد زیر است.

- انجام تحقیقات توسعه‌ای و کاربردی و بنیادی در حوزه صنعت برق وانرژی
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلندمدت و با ریسک بالای صنعت برق و انرژی
- مدیریتِ تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای صنعت برق و انرژی
- آینده‌نگاری، سیاست‌پژوهی و برنامه‌ریزی فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- اکتساب فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و بکارگیری در صنعت برق و انرژی
- تهیه استانداردها و ارائه خدمات آزمایشگاهی و ارزیابی کیفیت تجهیزات و سیستم‌های صنعت برق وانرژی
- طراحی و توسـعه زیرسـاخت‌های مورد نیاز جهت ایجاد مراکز و شـرکت‌های نوآور در حوزه صـنعت برق و انرژی
- ایجاد و توسـعه شـبکه فناوری میان دانشـگاه‌ها، مراکزپژوهشـی و قطب‌های علمی پژوهشـی داخل و خارج کشور درحوزه صنعت برق و انرژی

❖ **مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو):**

از جمله اهداف و ماموریت‌های مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- رفع مشـکلات و نیازهای فنی صـنعت برق کشـور از طریق جذب، پذیرش و حمایت از شـرکت‌های فناور مستعد
- فراهم نمودن زمینه ارتقاء کمی وکیفی آن‌ها در جهت تکمیل چرخه توسعه فناوری آن‌ها
- حاکمیت دیدگاه کاربردی، تفکر تجاری‌سازی و حرکت نتیجه محور در فعالیت‌های علمی و پژوهشی
- استقرار چهارچوب‌های مدیریتی و اقتصادی در پروژه‌ها و طرح‌های فنی
- استفاده از پتانسیل صنعت برق و انرژی کشور در بخش‌های دولتی و خصوصی، به ویژه پژوهشگاه نیرو
- روان‌سازی مقررات و تسهیل فرآیندهای کاری و مدیریتی مربوط
- ایجاد و راهبری شبکه ملی مراکز رشد مرتبط با حوزه برق وانرژی
- هموار نمودن مسیر توسعه کسب و کار بین‌المللی
- کمک به راه‌اندازی و مدیریت صندوق‌های حمایت مالی ریسک‌پذیری

❖ **پارک‌های علم و فناوری**

یک "پارک علمی" سـازمانی اسـت که بوسـیله متخصصـین حرفه‌ای مدیریت می‌شـود و هدف اصـلی آن افزایش ثروت در جامعه از طریق ارتقاء فرهنگ نوآوری و رقابت در میان شـرکت‌های حاضـر در پارک و مؤسـسـه‌های متکی بر علم و دانش است. اهداف پارک‌های علم و فناوری در ذیل تشریح شده است.

- گسترش و تقویت روح پژوهش و تفکر علمی در جامعه
- تلاش منظم و مستمر به منظور رویارویی با نیازهای حال و آینده
- کمک به توسعه هماهنگ بخش‌های مختلف از جمله دانشگاه‌ها و صنایع از طریق برقراری ارتباط سازمان یافته
- رشد و پرورش خلاقیت‌ها و ایجاد روحیه کارآفرینی در فارغ‌التحصیلان
- زمینه‌سازی مناسب جهت تجاری نمودن تحقیقات
- وظایف پارک‌های علم و فناوری
- سازماندهی امکانات تحقیق و توسعه برای ایجاد پیوند بین منابع و مهارت‌های دانشگاه‌ها و مراکز علمی و فناوری و صنعتی
- جهت دادن مؤثر جامعه علمی کشور به سوی تحقیق در رشته‌های مورد نیاز
- برنامه‌ریزی و ایجاد زمینه مناسب به منظور کاربردی و تجاری کردن نتایج تحقیقات
- ایجاد فضای مناسب علمی و پژوهشی برای جذب دانشمندان و متخصصان داخل و خارج از کشور
- ارتقاء دانش فنی متخصصین برای بروز خلاقیت‌ها و نوآوری‌ها در زمینه فناوری
- دستیابی به آخرین اطلاعات و دانش فنی مورد نیاز به منظور کسب و ایجاد فناوری برتر به منظور رقابت در جامعه جهانی
- اشاعه فرهنگ و سازماندهی فعالیت‌های جمعی تحقیقاتی و فناوری و استفاده از امکانات پارک‌ها
- ایجاد بستر مناسب برای فعالیت واحدها و مؤسسه‌های علمی و فناوری غیردولتی و دولتی در پارک

۵-۷-منابع و مراجع فصل پنجم

[۱]. "روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق"، راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم»، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲

[۲]. "روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو"، شرکت آینده اندیشان افق بهسان، تابستان ۱۳۹۹

[3]. http://www.ishmii.org

[4]. http://www.samco.org/

[۵]. اکبری گرکانی، امیر، "تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه‌های شبکه انتقال و فوق توزیع"، گزارش مرحله اول (PCVPN18/T1)، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹

[۶]. "اطلس فرونشست کشور"، سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۹۸

[۷]. "آمار تفصیلی صنعت برق ایران-تولید نیروی برق سال ۱۳۹۸"، شرکت مادر تخصصی توانیر، تیر ۱۳۹۹.

[۸]. "آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، مرکز تحقیقاات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳

[9]. Ramirez-Vazquez, I., Hernández-Corona, R., & Salgado-Talavera, J. E. (2016), “Composite materials as an alternative to replace steel members on lattice power transmission towers”, Journal of Materials in Civil Engineering, 28(3), 04015151.

[10]. Heerkens, G. R. (2002), “Project management”, McGraw Hill Professional, DOI: 10.1036/0071394494

فصل ششم

٦- بازنگری برنامه ارزیابی و به روزرسانی

٦-١-مقدمه

هر برنامه‌ریزی نیازمند ارزیابی بوده و بدون آن نمی‌توان از اجرای برنامه اطمینان حاصل نمود. هدفی که این ارزیابی دنبال می‌کند، متناسب و به‌روز کردن بخش‌های مختلف سند راهبردی تدوین شده با شرایط حاضر است. در سند توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق نیز نمی‌توان بدون ارزیابی، به نحوه عملکرد و اثربخشی ارکان مختلف سند (که براساس نقشه‌راه این سند صورت می‌گیرد) پی برد. مبنای ارزیابی، مقایسه میان دو حالت حال و گذشته است. به منظور ارزیابی لازم است شاخص‌های عملکردی و اثربخشی تعریف شده تا بتوان در طول زمان با بررسی وضعیت شاخص‌ها، میزان پیشرفت ارکان مختلف سند را مشخص کرد. علاوه بر تعیین شاخص‌ها، می‌بایست مشخص گردد که چه ساختارهای نظارتی، در چه مقاطع زمانی و چگونه باید ایجاد شوند تا پروژه‌های اجرایی مختلفی را که برای حصول به اهداف نقشه‌راه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق صورت می‌گیرد مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین با توجه به اینکه نقشه‌راه یک سند زنده و پویا برای تحرکات بخش‌های مختلف صنعت برق کشور در جهت حصول به اهداف این صنعت می‌باشد، ضرورت دارد در بازه‌های زمانی مشخصی به بازنگری و بروزرسانی این سند پرداخته شود. در پاسخ به نتیجه حاصل از ارزیابی، لازم است تا تصمیم مقتضی در خصوص انجام اقدام تدافعی، اقدام اصلاحی، و یا ارزیابی مجدد فرایند اتخاذ شود. تا زمانیکه نتیجه ارزیابی انحراف منفی زیادی را نشان ندهد، انجام اقدام تدافعی، به معنی پافشاری بر اجرای برنامه‌های گذشته، مناسب خواهد بود. در شرایطی که نیاز به اصلاح در بخشی از سند تدوین شده احساس شود، اقدامات اصلاحی به معنای تنظیم مجدد برخی از ارکان سند انجام می‌شود. در نهایت، زمانی که مفروضات کلیدی برنامه به وضوح اعتبار خودرا از دست بدهد، انجام اقدامات تدافعی و اصلاحی مفید نبوده و باید به ارزیابی مجدد و تدوین دوباره سند پرداخته شود. [١]

در این مرحله از پروژه، برنامه‌ریزی لازم جهت انجام این بازنگری‌ها در زمان‌های آینده مشخص خواهد شد. در ادامه به ترتیب، فرآیند بازنگری شده ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ساختار نظارت و به‌روزرسانی آن بررسی شده است.

٦-٢-ارزیابی سیاست و هم‌راستایی ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها

تحلیل تأثیرات بخشی از حوزه بزرگ‌تری از مطالعات سیاستی یعنی "ارزیابی سیاست[1]" است. ارزیابی سیاست نیز همچون بسیاری از مفاهیم مربوط به مطالعات سیاستی دارای تعاریف مختلفی است که در ادامه بدان پرداخته می‌شود. در ادامه نیز، مفهوم هم‌راستایی ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

[1]- Program Evaluation

٦-٢-١- ارزیابی سیاست

تعاریف ارائه شده برای ارزیابی سیاست عبارتند از:

- تلاش برای درک تأثیر رفتار انسان و به‌ویژه ارزش‌یابی تأثیرات یک برنامه خاص بر جنبه‌هایی از رفتار که به‌عنوان اهداف این مداخله منظور شده است [۲].
- ارزیابی اثربخشی یک برنامه ملی در تحقق اهداف خود یا ارزیابی اثربخشی نسبی دو یا چند برنامه در تحقق اهداف مشترک خود [۳].
- ارزیابی نظام‌مند عملیات و یا نتایج یک برنامه یا سیاست در مقایسه با مجموعه‌ای از استانداردهای صریح یا ضمنی به‌عنوان راهی برای کمک به بهبود آن برنامه یا سیاست [۴].

آنچه در همه تعاریف ارزیابی سیاست مشترک است و آنچه ارزیابی سیاست را از سایر مطالعات سیاستی متفاوت می‌سازد، تمرکز آن بر پیامدهای واقعی ناشی از اجرای سیاست یا برنامه و یا قضاوت در مورد این پیامدها بر مبنای نوعی ملاک (هنجاری) است. ارزیابی سیاست، یک فعالیت هنجاری است که به وسیله آن، آنچه هست با آنچه باید باشد مقایسه می‌شود. بنابراین، ارزیابی سیاست به معنای تعیین ارزش یک سیاست یا برنامه بر مبنای تعدادی معیار است؛ و تلاشی نظامند برای تعیین "خوبی" یا "ارزشمندی" آن‌هاست. البته باید توجه داشت که ارزیابان سیاست‌ها و اهداف از تمامی روش‌های علوم اجتماعی (و به‌ویژه روش‌های کمّی) استفاده می‌کنند. با این حال، ارزیابی سیاست فاقد ساختاریافتگی است.

تقاضا برای ارزیابی سیاست، امری فراگیر است که هم در بخش عمومی و هم در بخش خصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ارزیابی می‌تواند به شکل‌های مختلفی از مطالعات آکادمیک و گزارش‌های مشاوران مدیریت گرفته تا بازنگری‌های رسمی توسط نهادهای دولتی و مدیران برنامه‌ها انجام شود. بر این اساس، منطقی است که حوزه ارزیابی سیاست بیشتر به‌عنوان یک حوزه کاربردی تلقی شود تا یک حوزه آکادمیک که بسیاری از مؤلفان نیز به این موضوع اشاره کرده‌اند. مثلاً ویس[1] به این نکته پرداخته است که جهت‌گیری ارزیابی سیاست بیشتر به سمت بهبود و اصلاح سیاست است تا تولید دانش عمومی و اگر دانشی هم به این ترتیب تولید شود غالباً خاص برنامه و سیاست مورد نظر است و معمولاً قابل تعمیم به سیاست‌ها و برنامه‌های مختلف نیست [۱۰].

هرچند ارزیابی سیاست دارای چند مفهوم محوری است، ولی از سوی دیگر موضوعی متغیر و فاقد مرزهای روشن است که می‌تواند برای افراد مختلف معانی متفاوتی داشته باشد. تحت عنوان ارزیابی سیاست چندین رویکرد مفهومی مجزا وجود دارد که از "تحلیل تأثیر" فراتر می‌روند. متأسفانه هیچ تعریفی از قلمرو و زیرشاخه‌های ارزیابی سیاست که مقبولیت عمومی داشته باشد وجود ندارد. البته برخی محققان همچون اسمیت و لیکاری[2] تلاش کرده‌اند دسته‌بندی‌هایی ارائه کرده و به این موضوع نظم دهند [۱۰]. تحلیل تأثیرات همیشه حول سه محور

[1]- Weiss
[2]- Smith & Licari

شامل مسئله (یا مشکل)، فعالیت و نتیجه مورد نظر انجام می‌شود. مسئله عبارت است از نتیجه یا شرایطی که رضایت‌بخش نیست و انتظار می‌رود بدون دخالت از طریق یک برنامه یا سیاست عمومی کماکان نامناسب باقی بماند. فعالیت عبارت است از رویدادی که توسط انسان هدایت می‌شود و سیاست را تشکیل می‌دهد؛ یعنی اقداماتی که زیر نظر دولت برای برخورد با یک مسئله انجام می‌شوند. نتیجه مورد نظر عبارت است از متغیری که برای ارزیابی تأثیر (پیامد) یک سیاست عملاً سنجیده می‌شود [۵].

بنابراین، تحلیل تأثیرات با پاسخ نظام‌مند به این سوال که "چه کاری انجام شده است؟" سروکار دارد و این کار را با شناسایی و سنجش نتیجه مورد نظر و آزمون عملی رابطه آن با سیاست یا برنامه مورد نظر انجام می‌دهد. این موضوع از نظر تئوری ساده به نظر می‌رسد، ولی در عمل می‌تواند دشوار باشد. مثلاً تحلیل تأثیرات به‌شدت به نحوه انتخاب "متغیر وابسته" بستگی دارد که همان نتیجه مورد انتظار است. نتیجه مورد انتظار باید دو کارکرد کلیدی داشته باشد. اول اینکه باید جنبه‌ای از مسئله را عملیاتی سازد[1] و دوم اینکه باید متغیری باشد که بتوان بین آن و برنامه/ سیاست رابطه علّی برقرار کرد.

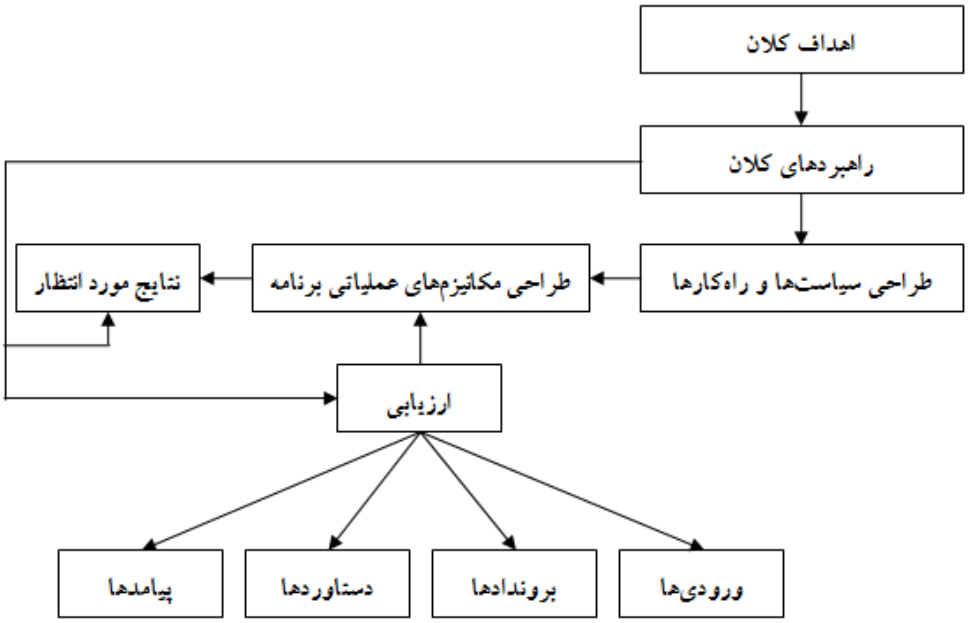
یکی از مسائلی که سیاست‌گذاری عمومی به‌طور عام و تحلیل تأثیرات به‌طور خاص با آن روبه‌روست، موضوع هنجارها و ملاحظات هنجاری است. در بسیاری از موارد، اهداف سیاست‌های اتخاذ شده چندان روشن نیستند و در نتیجه، ذینفعان مختلف اهداف مختلفی را به یک سیاست واحد نسبت می‌دهند. حتی ممکن است باورهای متفاوتی نسبت به روابط علّی بین "وسیله" و "هدف" وجود داشته باشد و این باورهای متفاوت، معانی سیاستی متفاوتی داشته باشند. از سوی دیگر، قضاوت در مورد اینکه سیاستی موفق بوده یا شکست خورده مستلزم این است که ابتدا مشخص شود کدام اهداف سیاست و چگونه باید مورد سنجش قرار گیرند. در بسیاری از موارد، همین انتخاب به تنهایی می‌تواند نتیجه ارزیابی را تغییر دهد. مثلاً اگر در زمینه سیاست‌های آموزشی بخواهیم عملکرد آموزشی را مورد سنجش قرار دهیم و مشخص کنیم که آیا یک سیاست خاص به اهداف خود رسیده است یا خیر، استفاده از روش‌هایی مثل تست‌های استاندارد، نرخ فارغ‌التحصیلان و امثال این‌ها می‌توانند نتایج کاملاً متناقضی را نشان دهند [۱۰].

٦-٢-٢- همراستایی ارزیابی با اقدامات و برنامه‌ها

ارزیابی هنگامی اثربخش خواهد بود که هم‌راستا و منطبق با مأموریت و اهداف برنامه انجام پذیرد. همانطور که در شکل ۱-۶ دیده می‌شود، ابتدا می‌بایست اهداف کلانی را که برنامه به‌دنبال آن‌هاست، استخراج نمود. سپس باید مشخص شود برنامه از چه راهبردی برای تحقق این اهداف استفاده می‌کند. در طراحی مکانیزم‌های عملیاتی یک برنامه سیاستی، مشخص می‌شود چه ورودی‌هایی به چه برون‌دادها[2]، دستاوردها[3] و پیامدهایی[4] تبدیل

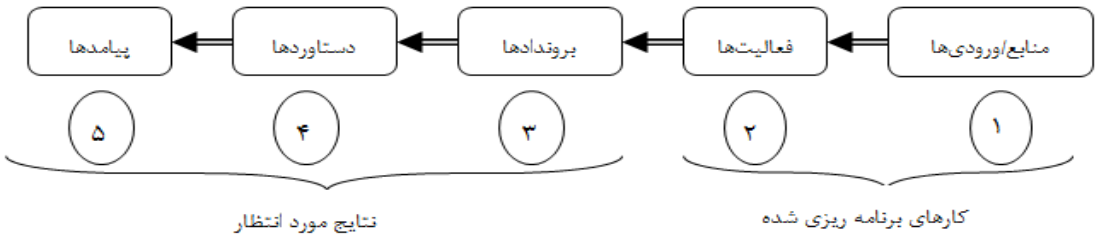
[1]- Operationalize
[2]- Outputs
[3]- Results
[4]- Outcomes

می‌شـــوند. بنابراین تمرکز اصـــلی ارزیابی بر همین مؤلفه‌ها اســـت. بازخوردهای ارزیابی هم می‌تواند به بهبود مکانیزم‌های عملیاتی منجر شود و هم اصلاح راهبردهای برنامه را به‌دنبال داشته باشد.



شکل ۱-۶- منطق ارزیابی اهداف و سیاست‌ها

یکی از مفاهیمی که در ادبیات سیاست‌گذاری برای رعایت ارتباط ورودی‌ها، برون‌دادها، دستاوردها و پیامدها به دفعات مورد استفاده قرار می‌گیرد "مدل منطقی[1]" است. مدل منطقی نه تنها در طراحی سیاست مورد استفاده قرار می‌گیرد، بلکه می‌توان از آن برای ارزیابی سیاست نیز استفاده نمود. علی‌رغم کاربردهای گسترده، این مدل بر منطقی روشن و ساده استوار است. بطور کلی، مدل منطقی روشی نظامند و تصویری[2] است که برای درک ارتباط میان منابعی که در برنامه مورد اســـتفاده قرار گرفته، فعالیت‌هایی که برنامه‌ریزی شـــده و تغییرات و نتایجی که رسیدن به آن‌ها دنبال می‌شود، به‌کار می‌رود. (شکل ۲-۶)



شکل ۲-۶- مدل منطقی ارزیابی

[1]- Logic model
[2]- Visual

اغلب مدل‌های منطقی، تصویری از نحوه کار برنامه هستند. این مدل از کلمات و تصاویر برای تشریح توالی فعالیت‌ها و ارتباط آنها با نتایج مورد انتظار استفاده می‌کند. مؤلفه‌های اصلی یک مدل منطقی را می‌توان در دو گروه اصلی "کارهای برنامه‌ریزی شده" و "نتایج مورد انتظار" و در پنج گام متوالی شرح داد:

کارهای برنامه‌ریزی شده: به تشریح منابعی که گمان می‌رود برای اجرای برنامه نیاز هستند و فعالیت‌هایی که قصد انجام آنها وجود دارد، می‌پردازد.

- منابع: عبارتند از منابع انسانی، مالی، سازمانی و ارتباطی که برای انجام برنامه مورد نیاز می‌باشند. در برخی مراجع از آنها به عنوان "ورودی" نیز نام برده شده است.
- فعالیت‌های برنامه: عبارتند از فرآیندها، ابزارها، رخدادها، فناوری و اقداماتی که بصورت آگاهانه و در راستای نیل به نتایج و یا تغییرات مورد انتظار صورت می‌پذیرند.

نتایج مورد انتظار: عبارتند از کلیه نتایج مطلوب برنامه شامل برون‌دادها، دستاوردها و پیامدها.

- بروندادها: محصولات مستقیم فعالیت‌های برنامه‌اند و ممکن است شامل انواع، سطوح و اهدافی از خدمات باشند که توسط برنامه ارائه می‌شود.
- دستاوردها: عبارت است از تغییرات در رفتار، دانش، مهارت، وضعیت و سطح کارکرد افرادی که در برنامه مشارکت دارند. دستاوردها می‌توانند به دو گروه کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم شوند. دستاوردهای کوتاه‌مدت در بازه ۱ تا ۳ سال محقق می‌شوند؛ حال آنکه دستاوردهای بلندمدت ۴ تا ۶ سال زمان نیاز دارند. "پیامدهای" دستاوردهای بلند مدت در بازه ۷ تا ۱۰ سال خود را نشان می‌دهند.
- پیامدها: عبارتند از خواسته‌های اساسی و یا تغییرات ناخواسته‌ای که در سازمان، جامعه یا سیستم بر اثر اجرای برنامه در مدت ۷ تا ۱۰ سال اتفاق می‌افتند [۷].

٦-۳-قالب‌های ارزیابی سیاست و تحلیل تأثیرات

ارزیابی نظام‌مند سیاست‌ها و تحلیل تأثیرات آن‌ها مشتمل بر مقایسه است، مقایسه‌ای به‌منظور یافتن تغییرات به‌وجود آمده در اثر برنامه‌های سیاستی. این مقایسه در حالت ایده‌آل باید به اندازه‌گیری تفاوت بین اتفاقات به‌وقوع پیوسته، با اتفاقاتی بپردازد که در صورتی اجرا نشدن برنامه‌ها پدید می‌آمد. اندازه‌گیری اتفاقات به‌وقوع پیوسته در شرایط بعد از اعمال برنامه‌ها دشوار نیست. مشکل اصلی در برآورد وضعیت در صورت به‌اجرا درنیامدن برنامه‌ها و مقایسه دو وضعیت باهم است. این تفاوت باید ناظر بر اعمال برنامه‌ها باشد و نه سایر تغییراتی که به‌طور همزمان در جامعه به‌وقوع پیوسته است. با توجه به اهمیت این موضوع، چهار قالب کلی برای ارزیابی سیاست و تحلیل تأثیرات درنظر می‌گیرند که در ادامه این بخش توضیح داده شده‌اند.

٦-٣-١- مقایسه وضعیت قبل و بعد از برنامه[1]

یکی از رایج‌ترین قالب‌های تحلیل سیاست‌ها و برنامه‌ها، استفاده از نوع مقایسه قبل با بعد است. در این قالب، وضعیت در دو نقطه یکی قبل از اجرای برنامه‌ها و دیگری بعد از اجرای آن مورد مقایسه باهم قرار می‌گیرند. گروه‌های هدف در تحلیل تأثیرات مقایسه‌ای قبل و بعد جایگاه محوری دارند. در این حالت، اگرچه فرآیند دستیابی به تأثیر سیاست‌ها کوتاه و آسان است، اما نمی‌توان به‌راحتی و با اطمینان مشخص نمود که تا چه حد نتایج از اعمال برنامه‌ها و سیاست‌ها ناشی شده‌اند و تا چه حد اثر سایر تغییرات محیطی هم‌زمان در جامعه بوده‌اند.

٦-٣-٢- مقایسه روند گذشته و وضعیت بعد برنامه[2]

برآورد بهتری از آنچه در اثر اجرای یک برنامه به‌وقوع پیوسته را می‌توان با مقایسه روند وضعیت گذشته در زمان حاضر (پس از اجرای برنامه‌های سیاستی) بدست آورد. سپس با مقایسه این حالت تصویر شده از گذشته با شرایط پدید آمده پس از اجرای واقعی برنامه‌ها می‌توان به تحلیل تأثیرات سیاست‌ها رسید. در این روش لازم است تا برای ترسیم روند وضعیت از گذشته تا به زمان اجرای سیاست‌ها، اطلاعات راجع به گروه‌های هدف در بازه‌های زمانی مختلف گردآوری شود. این قالب از حالت مقایسه قبل و بعد بهتر بوده و نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌آورد، اما نیازمند تلاش بیشتر در فرآیند ارزیابی است.

٦-٣-٣- مقایسه وضعیت در دو حالت بود یا نبود برنامه[3]

روش رایج دیگر برای ارزیابی، مقایسه میان وضعیت بخش‌هایی است که تحت تأثیر سیاست موردنظر قرار گرفته‌اند با سایر بخش‌هایی که تحت اثر نبوده‌اند. در این حالت، مقایسه تنها در زمان بعد از اجرای برنامه‌های سیاستی انجام می‌شود، اما میان دو بخش مختلف (تحت تأثیر سیاست و فارغ از آن). همچنین به‌منظور افزودن بر دقت این قالب، می‌توان تحلیل تأثیرات وضعیت گذشته (قبل اجرای برنامه) را در هر دو بخش مشاهده نمود و تفاوت آن‌ها را درک کرد. سپس با اجرای برنامه و مقایسه دوباره میان وضعیت دو بخش، می‌توان به‌روشنی دریافت که چه حدی از تفاوت میان وضعیت دو بخش به‌دلیل اعمال برنامه سیاستی بوده و چه حدی مرتبط با تفاوت در ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی بخش‌های مورد مطالعه.

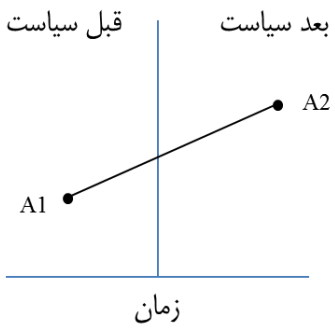
[1]- Before-after comparison
[2]- Project trend line versus postprogram comparisons
[3]- Comparsions between jurisdictions with and without programs

٦-٣-٤- مقایسه وضعیت گروه‌های کنترل و آزمایشی قبل و بعد از اجرای برنامه

این قالب از تحلیل تأثیرات به‌عنوان یک روش مرسوم مشتمل بر انتخاب دو گروه تحت کنترل و آزمایشی است که از همه لحاظ به‌هم شبیه هستند، اما در یکی از آن‌ها (گروه آزمایشی) برنامه سیاستی اجرا شده ولی در دیگری خیر. در این حالت، مقایسه وضعیت دو گروه بعد از اجرای سیاست در یکی از آنها می‌تواند به‌طور دقیق بیان‌کننده تأثیرات سیاست‌ها باشد. این قالب، دقیق‌ترین نتایج ارزیابی سیاست‌ها را در میان سایر روش‌ها به‌همراه می‌آورد.

قالب‌های چهارگانه فوق در شکل ۳-۶ نشان داده شده‌اند.

قالب ۱ – قبل و بعد



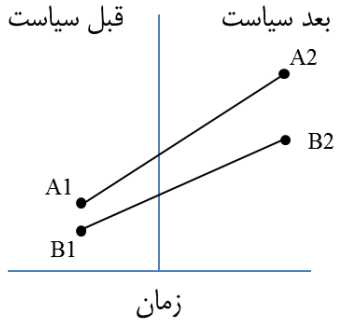
A1-A2 تاثیر سیاست

قالب ۲ – تصویر گذشته و بعد از اجرا



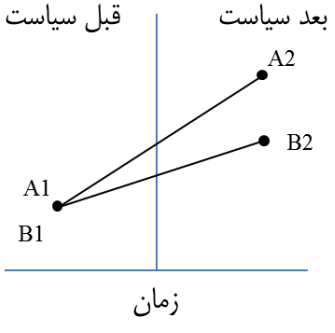
A1-A2 تاثیر سیاست

قالب ۳ – با و بدون اجرای سیاست



Aتاثیر سیاست، B فارغ از سیاست
(A2-A1)-(B2-B1) تاثیر سیاست

قالب ۴ – گروه کنترل شده و آزمایشی



Aتاثیر سیاست، B فارغ از سیاست
A و B هر دو مشابه
A2-B2 تاثیر سیاست

شکل ۳-۶- قالب‌های تحلیل تأثیرات سیاست

٦-٤-گام‌های عمومی ارزیابی سیاست و انواع روش‌های ارزیابی

فارغ از نوع و روش ارزیابی و درجه پیچیدگی آن، به‌صورت کلی مراحل انجام یک ارزیابی را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد:

- تعیین اهداف و مخاطبان (ذینفعان ارزیابی)
- طراحی سؤالات و فرضیات ارزیابی
- مشخص‌کردن منابع در دسترس، زمان لازم و سطح مناسب تلاشی که می‌بایست صورت پذیرد
- انتخاب روش (های) ارزیابی و تجزیه و تحلیل
- انتخاب و یا طراحی مدل مناسب ارزیابی و رویکرد جمع‌آوری اطلاعات
- جمع‌آوری و ترکیب اطلاعات
- تجزیه و تحلیل و تفسیر اطلاعات
- تدوین گزارش ارزیابی
- ارائه و انتشار نتایج

در میان این‌گام‌ها، انتخاب روش ارزیابی و تحلیل به‌عنوان محور اصلی در ارزیابی و پایش سیاست‌ها و برنامه‌ها قرار می‌گیرد. روش‌های متنوعی برای ارزیابی وجود دارد که در عین داشتن مشابهت‌هایی، هر کدام مزایا و معایب مخصوص به خود را دارا می‌باشند. هر کدام از این روش‌ها برای اهداف خاصی طراحی شده‌اند. به‌عنوان مثال برخی از آن‌ها برای ارزیابی در مراحل اولیه یک برنامه مناسب‌اند و برخی دیگر برای ارزیابی در مراحل انتهایی برنامه به‌کار می‌آیند. بنابراین حتی ممکن است برای یک برنامه با گذشت زمان، از روش‌های متعدد ارزیابی استفاده شود.

از منظر زمانی، روش‌های ارزیابی به دو دسته کلی ارزیابی پیش از پیاده‌سازی و ارزیابی در حین و پس از پیاده‌سازی تقسیم می‌شوند. همچنین از منظر روش تحقیق، روش‌های ارزیابی را می‌توان به سه دسته روش‌های کمّی، آماری، روش‌های مدل‌سازی و روش‌های کیفی تقسیم‌بندی کرد. در روش‌های کمّی و آماری مانند پیمایش، با انجام تحلیل‌های آماری بر روی داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده، ارزیابی سیاست‌ها انجام می‌پذیرد. در روش‌های مدل‌سازی مانند روش‌های اقتصادسنجی، با استفاده از توابع و مدل‌های ریاضی/اقتصادی، به ارزیابی تأثیرات سیاست‌ها پرداخته می‌شود. در روش‌های کیفی نیز مانند موردکاوی نیز مشاهدات و داده‌های کیفی مبنای قضاوت ما در مورد اثرات سیاست‌ها می‌باشد [۶].

مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی که می‌توانند برای تحلیل تأثیرات سیاست‌ها و برنامه‌ها در اسناد ملی فناوری مورد استفاده قرار بگیرند به قرار زیر هستند:

٦-٤-١- پیمایش نوآوری[1]

در طی سه دهه گذشته تلاش‌های زیادی جهت سنجش و ارزیابی نوآوری صورت گرفته است. سازمان توسعه همکاری‌های اقتصادی (OECD) با انتشار دستورالعمل‌های متعددی در خصوص ارزیابی‌های مرتبط با نوآوری و فناوری که اصطلاحاً به دستورالعمل‌های فراسکاتی[2] معروفند (دستورالعمل فراسکاتی، دستورالعمل پتنت، دستورالعمل اسلو و غیره) تلاش کرده است تا در زمینه ارزیابی، استانداردهای بین‌المللی را ایجاد کند. تشریح روش‌های ارزیابی و تفسیر داده‌ها در این دستورالعمل‌ها، در کنار وجود بانک‌های اطلاعات و داده‌های متنوع[3] باعث شد در دهه ۹۰ کشورهای اروپایی برای ارزیابی سیاست‌ها، از پیمایشی استفاده کنند که به پیمایش نوآوری معروف شد.

روش پیمایش نوآوری در ابتدا، به‌عنوان ابزاری جهت جمع‌آوری و تفسیر داده‌ها و نه ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما اخیراً محققان زیادی پیمایش نوآوری را به‌عنوان روشی برای پرداختن به تأثیرات و پیامدهای سیاست‌های تحقیق و توسعه دولتی مورد توجه قرار داده‌اند. به‌نظر می‌رسد در آینده با توجه به افزایش داده‌های جمع‌آوری‌شده پیرامون موضوعات مرتبط با نوآوری، استفاده از روش پیمایش برای ارزیابی سیاست‌های نوآوری دولتی افزایش یابد [۸]. اولین پیمایش نوآوری در اروپا، در سال ۱۹۹۲ و بر اساس دستورالعمل اسلو صورت گرفت. این پیمایش‌ها مجدداً در سطح اتحادیه اروپا در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۰ برگزار شد. تجربه این سه پیمایش، ضمن آنکه امکان‌پذیری پیمایش نوآوری را ثابت کرد، نشان داد اینگونه پیمایش‌ها می‌تواند نتایج قابل توجهی برای سیاست‌گذاران داشته باشد.

در پیمایش نوآوری، نوآوری عبارت است از محصول یا فرایند نو و یک بنگاه در صورتی نوآور معرفی می‌شود که در یک دوره زمانی سه‌ماهه موفق به طراحی حداقل یک محصول یا فرایند نو و یا بهبود در فرایندها و محصول‌های موجود شده باشد. معیار "نو" بودن، جدید بودن در بنگاه است که لزوماً به‌معنای جدید بودن در بازار نمی‌باشد. اطلاعات پیمایش از طریق توزیع پرسشنامه در نمونه‌هایی از جامعه آماری جمع‌آوری می‌شود، هرچند در برخی موارد تمام بنگاه‌های بزرگ تحت پوشش پیمایش قرار می‌گیرند. مهم‌ترین موضوعاتی که در یک پیمایش نوآوری مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از:

- عوامل مؤثر بر نوآوری فناورانه
  - اهداف نوآوری در بنگاه‌ها
  - منابع اطلاعاتی بنگاه‌ها
  - موانع نوآوری در بنگاه‌ها

[1]- Innovation survey

[2]- FRASCATY – Family manuals

[3]. از دهه ۷۰، گروه‌های پژوهشی شروع به جمع‌آوری داده‌هایی در مورد وضعیت نوآوری در بنگاه‌ها نمودند که وجود این اطلاعات و داده‌ها یکی از عوامل طراحی دستورالعمل اسلو بوده است.

- فعالیت‌ها و هزینه‌های نوآوری در بنگاه‌ها
  - فعالیت‌های تحقیق و توسعه
  - همکاری‌های فناورانه
  - خرید و تجهیز ماشین‌آلات
  - محافظت از دانش و فناوری
- ویژگی‌های بنگاه‌های نوآور
  - اندازه بنگاه‌های نوآوری
  - بخش اقتصادی که بنگاه‌های نوآور در آن فعالیت می‌کنند
  - مالکیت بنگاه‌های نوآوری
  - ارتباط با سایر بنگاه‌ها مؤسسات دولتی
  - سرمایه‌گذاری در دارایی‌های نامشهود
- پیامدهای نوآوری
  - فروش ناشی از محصولات نو
  - فروش ناشی از محصولاتی که نه‌تنها برای بنگاه بلکه در سطح بازار نیز جدید می‌باشند
  - تأثیر نوآوری بر صادرات و رقابت‌پذیری بنگاه‌ها در سطح بین‌المللی
  - تأثیر نوآوری بر اشتغال
  - تأثیر نوآوری بر ساختار مهارتی نیروی کار

اما پیمایش نوآوری چگونه می‌تواند برای ارزیابی برنامه‌ها و سیاست‌های نوآوری مورد استفاده قرار گیرد؟ هر ارزیابی سیاست نیازمند وجود اطلاعات کافی و دقیق در مورد موضوع سیاست مورد تحلیل است. پیمایش نوآوری بخشی از اطلاعاتی که برای ارزیابی برنامه‌ها و سیاست‌های نوآوری دولت‌ها لازم است را فراهم می‌آورد. این اطلاعات می‌تواند تصویر واضحی از وضعیت نوآوری در بنگاه‌ها و میان آن‌ها را به نمایش بگذارد [۱۰]. در پیمایش نوآوری در خصوص مشارکت بنگاه‌ها در برنامه‌های نوآوری دولتی سؤالاتی طراحی شده است. در سومین پیمایش نوآوری اتحادیه اروپا، این سؤالات در سه سطح سیاست‌های اتحادیه اروپا، سیاست‌های دولتی و سیاست‌های منطقه‌ای و محلی طراحی شده بود. در برخی پیمایش‌های نوآوری مانند پیمایش نوآوری ایتالیا، سؤالات بیشتر و دقیق‌تری در خصوص سیاست‌های نوآوری دولت طراحی شده است. با تحلیل نتایج پیمایش نوآوری می‌توان به ارزیابی برخی سیاست‌های نوآوری دولت پرداخت. به‌عنوان مثال می‌توان فهمید چه کسانی از یارانه‌های تحقیق و توسعه دولت سود برده‌اند؟ بنگاه‌های کوچک و متوسط در مقایسه با بنگاه‌های بزرگ چه سهمی از کمک‌های دولت را دریافت کرده‌اند؟ چه بخش‌های اقتصادی از تسهیلات دولتی منتفع شده‌اند؟ مقایسه پاسخ سؤالاتی از این دست، با اهدافی که برای سیاست نوآوری در نظر گرفته شده است، ارزیابی مناسبی از سیاست ارائه می‌دهد. بایستی توجه داشت هرچند پیمایش بیشتر برای ارزیابی سیاست نوآوری مورد استفاده قرار گرفته است، اما این ابزار می‌تواند برای ارزیابی سایر سیاست‌ها و حتی سیاست‌های عمومی نیز بکار رود. در واقع پیمایش ابزاری

تحلیلی است که از طریق توزیع پرسشنامه و با جمع‌آوری اطلاعات از سایر منابع در یک جامعه یا نمونه آماری و با استفاده از تحلیل‌های آماری به ارزیابی یک سیاست می‌پردازد. مراحل انجام یک پیمایش عبارتند از:

۱. طراحی مدل مفهومی پیمایش (ارتباط و تأثیر متغیرها)؛
۲. تعریف متغیرهای مدل مفهومی؛
۳. شناسایی منابع اطلاعاتی که متغیرها از طریق آن‌ها اندازه‌گیری می‌شوند؛
٤. شناسایی جامعه و یا نمونه آماری؛
٥. طراحی و توزیع پرسشنامه؛
٦. جمع‌آوری پرسشنامه و اطلاعات از سایر منابع؛
۷. تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات جمع‌آوری‌شده؛ و
۸. تفسیر نتایج و ارائه اقدام یا پیشنهاد.

پیمایش مانند هر ابزار دیگری مزایا و معایب متعددی دارد. مهم‌ترین مزایای این روش عبارتند از:

- با توجه به سهولت جمع‌آوری اطلاعات گسترده در روش پیمایش، می‌توان گستره وسیع‌تری از موضوعات را تحت پوشش ارزیابی قرار داد و از نقطه‌نظرات افراد و شرکت‌های بیشتری بهره جست.
- در پیمایش می‌توان نشانگرها و متغیرهای زیادی راجع به ورودی‌ها، نتایج و پیامدهای یک برنامه را اندازه‌گیری و تحلیل کرد.
- در پیمایش می‌توان علاوه بر استفاده از اطلاعات پرسشنامه‌ها، از اطلاعات سایر بانک‌های داده‌ها و منابع در ارزیابی بهره جست.
- پیمایش قابلیت ترکیب با سایر روش‌ها ازجمله روش‌های ریاضی و اقتصادی را دارا می‌باشد.
- اگر پیمایش با رویکردهای قضاوت خبرگان مانند پنل همراه شود، می‌تواند تحلیل‌های پویاتری از ارزیابی ارائه نماید.

معایب عمده روش پیمایش نیز عبارتند از:

- دقت اطلاعاتی که از پرسشنامه و بر اساس قضاوت ذهنی افراد جمع‌آوری می‌گردد، همواره محل تردید است.
- ارزیابی دقیق و درست ورودی‌ها، پیامدها و نتایج بر اساس سنجش متغیرها همواره ممکن نیست. بسیاری از پیامدها و نتایج قابل تبدیل و اندازه‌گیری از طریق متغیرها نیستند.
- در بسیاری مواقع، مدت‌زمانی لازم است تا سیاست و یا برنامه، تأثیر و پیامدهای خود را آشکار کند. غالباً در روش پیمایش مدت زمان تأثیرات برنامه در نظر گرفته نمی‌شود.

به‌هر حال پیمایش بهترین روش ارزیابی سیاست نیست، اما در برخی موارد، مخصوصاً در مواردی که نیاز به ارزیابی سیاست‌های کلان و در سطح وسیعی می‌باشد، این روش می‌تواند روش مناسبی به‌شمار آید.

٦-٤-٢- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌سازی اقتصاد کلان و شبیه‌سازی[1]

مدل‌های اقتصادسنجی تلاش می‌کنند به ارزیابی پیامدها و آثار اقتصادی سیاست‌ها و برنامه‌ها بپردازند. در این نوع مدل‌ها، سیاست‌گذاران نتایج مورد انتظار گزینه‌ها و انتخاب‌های سیاستی را تحلیل و مقایسه می‌کنند. اینگونه مدل‌سازی و شبیه‌سازی بر اساس سناریوها با توجه به ماهیت پدیده‌های اقتصادی که غالباً پیچیده، غیرخطی و همراه با بازخوردهای متعدد است، بسیار مناسب می‌باشد.

با توجه به اینکه رفاه اجتماعی، غایت غالب سیاست‌ها و برنامه‌های دولت می‌باشد و وضعیت اقتصادی مهم‌ترین عامل مؤثر بر رفاه اجتماعی به‌شمار می‌رود، ارزیابی آثار اقتصادی برنامه‌های سیاستی از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان است. معمولاً تأثیر اسناد ملی فناوری‌های راهبردی بر متغیرهای اقتصادی مستقیم و ساده نیست، بلکه این تأثیر از طریق سایر متغیرهای واسطه و میانجی و به‌واسطه روابط علت و معلولی متعدد اعمال می‌شود. به‌عنوان مثال نمی‌توان به آسانی و بر اساس تجزیه و تحلیل‌های حاصل از پیمایش در خصوص تأثیر یک سند ملی بر متغیرهای اقتصادی نظیر اشتغال، رشد اقتصادی و یا بهره‌وری قضاوت کرد [۹].

یک مدل اقتصادسنجی کلان مجموعه‌ای از معادلات ساختاری است که بر اساس مبانی اقتصادی و برای تشریح اقتصاد و یا برخی از اجزای آن تدوین شده است. در این مدل‌ها دو دسته معادله وجود دارد: رفتاری[2] و فردی[3]. همچنین در این مدل‌ها، دو نوع متغیر وجود دارد: متغیرهای درون‌زا که به ساختار اقتصادی (داخلی) می‌پردازند و متغیرهای برون‌زا که ارتباطات و تأثیرات بین‌المللی را بررسی می‌کنند.

٦-٤-٢-١- شرایط استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی کلان

باید توجه داشت که استفاده از این مدل‌ها برای ارزیابی برنامه‌هایی بزرگ مقیاسی مناسب است که تأثیرات اقتصادی و اجتماعی کلان و در سطح بین‌المللی دارند. بنابراین استفاده از آن برای برنامه‌های کوچک با سطح تأثیر محدود توصیه نمی‌گردد. استفاده از این روش نیازمند برخی الزامات است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- در دسترس‌بودن حجم زیادی از اطلاعات اقتصادی-اجتماعی
- درجه بالایی از خبرگی و تخصص
- زمان و هزینه کافی

علاوه بر این الزامات، روش فوق برای مواقعی که برنامه اقدامات و سیاست‌ها پیامدهای اقتصادی مشهود دارد مناسب است.

٦-٤-٢-٢- مراحل استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی

استفاده از این روش‌ها مستلزم پیمودن ۹ گام زیر است:

[1]- Econometric models: Macroeconomic modeling and simulation
[2]- Behavioural
[3]- Identities

۱. تعریف اهداف مدل و امکان‌پذیری سنجش آن: ابتدا باید مشخص شود آیا سیاستی که قرار است ارزیابی شود، می‌تواند بر متغیرهای کلان اقتصادی تأثیر بگذارد یا نه؟ به‌عبارتی آیا پیامدهای اقتصادی قابل ملاحظه‌ای از سیاست متصور است یا نه؟ اگر پاسخ به سوال فوق مثبت است، این تأثیر چه میزان پیش‌بینی می‌شود و آیا این تأثیر کل اقتصاد را متأثر می‌سازد و تنها بر بخش و یا بخش‌هایی مؤثر است؟ برای اندازه‌گیری و ارزیابی این تأثیر چه متغیرهایی را می‌بایست اندازه‌گیری کرد و آیا اندازه‌گیری این متغیرها، پاسخ‌هایی را که تحلیل‌گر به‌دنبال آن‌هاست، ارائه می‌دهند یا نه؟

۲. بررسی در دسترس‌بودن داده‌ها: در این مرحله می‌بایست مشخص کرد چه داده‌هایی برای ارزیابی مورد نیاز است و آیا تمام داده‌های مورد نیاز در دسترس می‌باشد یا نه؟ همچنین در این مرحله می‌بایست نحوه مواجهه با داده‌های ناقص و یا مخدوش را روشن نمود.

۳. طراحی مدل مفهومی: در این گام متغیرهای اساسی مدل، روابط علّی و معلولی این متغیرها، ابعاد و اجزای اصلی مدل مفهومی، مبانی زیربنایی و مطالعات تجربی صورت‌گرفته در این زمینه مشخص می‌شود. همچنین باید مشخص کرد آیا مدل مفهومی طراحی‌شده متناسب با واقعیت وضعیت موجود می‌باشد و یا نیاز به اصلاحات و تغییرات دارد؟

۴. جمع‌آوری و تحلیل و تبدیل داده‌ها: هرچند روش‌های اقتصادسنجی نیاز به حجم عظیمی از داده‌ها دارند، اما داده‌های خام موجود در بانک‌های داده، به‌ندرت در این معادلات قابل استفاده‌اند. بنابراین معمولاً به یک فرایند تبدیل بر روی داده‌های خام نیاز است تا این داده‌ها قابلیت استفاده در مدل را داشته باشند.

۵. طراحی معادلات اقتصادسنجی مدل[1]: در این مرحله معادلات اقتصادسنجی مدل تخمین زده می‌شوند. به‌عبارتی در این مرحله مدل نظری به مدل اقتصادسنجی تبدیل می‌شود. برای این کار ابتدا سری داده‌های معینی انتخاب می‌شوند که فرض می‌شود مقادیر متغیرهای موجود در مدل را نمایندگی می‌کنند. سپس فرض می‌گردد که متغیرهای نظری بر متغیرهایی که داده‌های انتخاب‌شده را ایجاد کرده‌اند، منطبق هستند، در نتیجه متغیرهای داده‌های واقعی در مدل جایگزین متغیرهای نظری می‌شوند. سپس یک جمله خطای تصادفی به معادله اضافه می‌شود و با تعریف فروضی بر روی جمله خطا، مدل آزمون می‌گردد.

۶. تست و کالیبره‌کردن مدل: حتی اگر با تخمین دقیقی، معادلات اقتصادسنجی طراحی شده باشند. ممکن است در عمل این معادلات به‌علت تأثیر متغیرهای بیرونی، نادیده‌گرفتن برخی پدیده‌ها و یا کیفیت نامناسب برخی داده‌ها، عملکرد ضعیفی از خود به‌نمایش بگذارند. در این مرحله، معادلات اقتصادسنجی مجدداً با داده‌های واقعی تنظیم می‌شوند و در صورت لزوم تغییراتی در معادلات و یا داده‌های مورد استفاده صورت می‌پذیرد. پس از این مرحله معادلات می‌توانند برای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

۷. شبیه‌سازی وضعیت پایه و تحلیل حساسیت: برای ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر عملکرد و وضعیت اقتصادی، بهتر است مشخص شود این عملکرد و وضعیت در صورت عدم وجود این سیاست‌ها چه حالتی پیدا می‌کرد. با این

[1]- Econometric estimations of equations of the model

اقدام، می‌توان وضعیت پایه را با فرض نبود این سیاست‌ها مدل‌سازی و طراحی کرد. فعالیت دیگری که در این مرحله انجام می‌شود، تحلیل حساسیت[1] است. با تحلیل حساسیت می‌توان متوجه شد که نتایج مدل تا چه حد به تغییرات ارزش متغیرهای مدل حساس‌اند. یعنی در چه بازه‌ای ارزش هر کدام از متغیرهای مدل را می‌توان تغییر داد، بدون آنکه در نتایج مدل تغییری ایجاد شود.

۸. شبیه‌سازی وضعیت در صورت اجرای سیاست‌ها: در این حالت مقادیری که برای متغیرهای برون‌زا، ابزارهای سیاستی و سایر متغیرها به‌دست آمده است وارد عمل می‌شود و تأثیرات آن‌ها بر مدل و نتایج مدل اندازه‌گیری می‌گردد.

۹. تفسیر نتایج: با مقایسه نتایج مراحل ۷ (شبیه‌سازی وضعیت پایه) و ۸ (شبیه‌سازی وضعیت در صورت اجرای سیاست‌ها) می‌توان به ارزیابی مفیدی از سیاست‌ها پرداخت.

باید توجه داشت با این روش می‌توان ارزیابی‌های پیش از پیاده‌سازی و پس از پیاده‌سازی را انجام داد. در موفق‌ترین تحلیل‌های اقتصادسنجی صورت‌گرفته تاکنون، حجم وسیعی از داده‌های اقتصادی مربوط به یک بازه زمانی قابل توجه (در حدود ۲۰ سال و یا حتی بیشتر از آن) جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحلیل‌ها داده‌هایی مربوط به متغیرهای اقتصادی اجتماعی نظیر تولید ناخالص ملی، تولید ناخالص ملی بر سرمایه، رشد بهره‌وری تولید، اشتغال، نرخ واقعی دستمزدها، قیمت‌ها، نرخ بهره، نرخ برابری ارزها و داده‌هایی مرتبط با توسعه فناوری‌های راهبردی باشند هزینه‌های تحقیق و توسعه بخش دولتی و بخش خصوصی، انباشت سرمایه انسانی[2]، سرریز دانش و اطلاعاتی در خصوص ابزارهای سیاستی و برنامه‌های توسعه فناوری مثل معافیت‌های مالیاتی فعالیت‌های تحقیق و توسعه و یارانه‌های این فعالیت جمع‌آوری شده است.

به‌هر حال در این روش مهم‌ترین ورودی، داده‌های معتبر و دقیق در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد و بدون در اختیار داشتن این داده‌ها، روش اقتصادسنجی کارایی لازم را نخواهد داشت.

٦-٤-٣- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌های اقتصادسنجی خرد[3]

اقتصاد خرد به بررسی عملکرد و وضعیت واحدهای اقتصادی در یک کشور می‌پردازد. واحدها می‌توانند شرکت‌ها (به‌عنوان مثال وقتی قصد بررسی وضعیت انتقال فناوری وجود دارد) و یا حتی افراد (به‌عنوان نمونه وقتی قصد مطالعه وضعیت اشتغال وجود دارد) باشند. از لحاظ مبانی نظری، روش اقتصادسنجی خرد مشابه اقتصادسنجی کلان می‌باشد. تفاوت عمده این دو روش سطح تجزیه و تحلیل و نوع متغیرها و داده‌های مورد استفاده آن‌هاست.

از نظر روش‌شناسی، مدل‌های اقتصادسنجی خرد به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

[1]- Sensitivity analysis
[2]- Human capital stock
[3]- Arvanitis and Keilbach, 2002

- مدل‌هایی که از داده‌های مربوط به وضعیت گذشته بنگاه‌هایی که سیاست‌های مذکور در مورد آن‌ها اعمال شده است و یا از مشوق‌ها و مزایای در نظر گرفته‌شده استفاده کرده‌اند بهره می‌برند و آن را با وضعیت کنونی آن‌ها مقایسه می‌کنند.
- مدل‌هایی که از داده‌های مربوط به وضعیت همزمان بنگاه‌هایی که سیاست مذکور در مورد آن‌ها اعمال شده است و یا از مشوق‌های در نظر گرفته شده استفاده کرده‌اند و بنگاه‌هایی که این سیاست‌ها در مورد آن‌ها اعمال نشده است و یا از این مشوق‌ها استفاده نکرده‌اند بهره‌برداری می‌کنند و ارزیابی‌ها را بر اساس مقایسه وضعیت این دو گروه از بنگاه‌ها انجام می‌دهد.

اگر از داده‌های گذشته بنگاه‌هایی که اهداف سیاست‌ها بوده‌اند استفاده گردد، باید متوجه متغیرهایی بود که خارج از سیاست‌ها، منجر به تغییر وضعیت این بنگاه‌ها از گذشته تاکنون شده‌اند. اگر از این نکته غلفت گردد، علت اصلی تغییر داده‌های گذشته تا حال، سیاست‌های طراحی شده تفسیر می‌شود، حال آنکه ممکن است در واقعیت، علل و دلایل دیگری سبب این تحولات شده باشند که آن‌ها لحاظ نشده‌اند. همچنین اگر داده‌های مربوط به دو دسته از بنگاه‌های مشمول سیاست و بنگاه‌هایی که در دامنه تأثیر این سیاست قرار نداشته‌اند استفاده گردد، باید متوجه عوامل و دلایلی بود که خارج از سیاست‌های تدوین‌شده منجر به تغییر داده‌های این دو گروه بنگاه‌ها می‌شوند. اگر این نکته مورد توجه قرار نگیرد، تفاوت در داده‌های این دو گروه را ناشی از سیاست‌های طراحی‌شده می‌دانیم. در صورتی که ممکن است این تفاوت‌ها ناشی از سایر عوامل و دلایلی باشید که ارتباطی به این سیاست‌ها نداشته‌اند (مانند ساختار صنعت و بازار).

٦-٤-٣-١- شرایط استفاده از روش اقتصاد سنجی خرد

روش اقتصادسنجی خرد مواقعی برای استفاده مناسب است که شرایط زیر مهیا باشد:

- دلایل کافی برای تأثیر سیاست‌ها در سطح بنگاه‌ها و سازمان‌ها وجود داشته باشد
- اهداف سیاستی به‌صورت مستقیم و یا از طریق برخی شاخص‌ها قابل اندازه‌گیری باشند
- ارتباط میان تأثیر و پیامدهای سیاستی در سطح بنگاه‌ها و سازمان‌ها با ابزارهای طراحی‌شده با تئوری‌های اقتصادی موجود توجیه‌پذیر باشد
- داده‌های متغیرهای اندازه‌گیری برای تعداد زیادی از بنگاه‌ها موجود باشد
- داده‌های کافی از وضعیت بنگاه‌ها قبل از پیاده‌سازی سیاست و یا وضعیت موجود بنگاه‌هایی که مشمول سیاست نمی‌باشند وجود داشته باشد.

٦-٤-٣-٢- مراحل پیاده‌سازی مدل

مراحل پیاده‌سازی مدل‌های اقتصادسنجی خرد تا حد زیادی شبیه مراحل اجرای مدل‌های اقتصادسنجی کلان می‌باشد که در بخش قبل توضیح داده شده است. این مراحل به‌ترتیب عبارتند از:

- تعریف متغیرهای هدف: تعیین متغیرهایی که اهداف سیاست‌های طراحی شده بوده‌اند. این اهداف می‌توانند شامل هدف‌های اولیه، ثانویه و نهایی باشند. با مشخص‌شدن این متغیرها در واقع مدل مفهومی ارزیابی ما مشخص می‌شود.
- طراحی مدل اقتصادسنجی: مدل اقتصادسنجی بر اساس مدل مفهومی مشخص شده و بر مبنای تئوری‌های اقتصادی و با در نظر گرفتن ملاحظاتی در خصوص امکان جمع‌آوری داده‌ها طراحی می‌شود.
- انتخاب روش اقتصادسنجی مناسب: بر اساس مدل اقتصادسنجی و داده‌های جمع‌آوری‌شده، روش مناسب اقتصادسنجی انتخاب می‌شود.
- اجرای مدل اقتصادسنجی: در این مرحله بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، مدل اقتصادسنجی اجرا می‌شود و برآوردهایی از متغیرهای مدل ارائه می‌شود.
- تفسیر نتایج: مرحله آخر نیز تفسیر نتایج اقتصادسنجی خرد است.

٦-٤-٣-٣- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

یکی از مهم‌ترین مزایای روش اقتصادسنجی خرد این است که تحلیل ارزیابی بر اساس رابطه علت معلولی میان متغیرهایی صورت می‌گیرد که این رابطه علت معلولی خود ریشه در تئوری‌های اقتصادی دارد. بنابراین از لحاظ نظری، روش کاملاً معتبری است. همچنین این روش برای ارزیابی تأثیر یک سیاست، بر مجموعه بنگاه‌ها و یا سازمانی که تحت تأثیر مستقیم این سیاست قرار داشته‌اند (مثلاً بنگاه‌هایی که از مشوق‌های پیش‌بینی‌شده استفاده کرده‌اند) بسیار مناسب است. اما هنگامی که منظور ارزیابی، تأثیر غیرمستقیم این سیاست بر سایر بنگاه‌هایی که مشمول این سیاست نبوده‌اند (به‌عنوان مثال اثرات سرریز دانش، یا ارزیابی تأثیر سیاست بر یک بخش) این روش به‌تنهایی کافی نیست. در این مواقع می‌توان از ترکیب این روش با سایر روش‌ها مانند اقتصادسنجی کلان استفاده کرد.

مهم‌ترین ضعف مدل‌های اقتصادسنجی وابستگی شدید آن‌ها به حجم انبوهی از داده‌ها در یک بازه زمانی طولانی می‌باشد. از سوی دیگر، حجم زیاد اطلاعات، هزینه و زمان این پروژه‌ها را افزایش می‌دهد. همانگونه که نیاز به تخصص بالا از نقطه‌ضعف‌های دیگر این نوع ارزیابی است. عدم اختیار و اقتدار لازم برای دسترسی به این حجم از اطلاعات و الزام بنگاه‌ها به ارائه سایر اطلاعات مورد نیاز را نیز باید به فهرست فوق اضافه کرد. همانطور که مشاهده می‌شود، اغلب نقطه ضعف‌های این روش به نحوه اجرا و مشکلات جمع‌آوری و دسترسی داده‌ها اشاره دارد. در حالیکه این روش از لحاظ تئوریک روش بسیار معتبری به‌شمار می‌رود.

٦-٤-٤- مدل‌های اقتصادسنجی: اندازه‌گیری بهره‌وری

معمولاً بهره‌وری و افزایش بهره‌وری به‌عنوان یکی از اهداف مهم اغلب سیاست‌ها در نظر گرفته می‌شود. سطح تجزیه و تحلیل در ارزیابی بهره‌وری می‌تولند بهره‌وری نیروی کار، بهره‌وری یک واحد اقتصادی (سطح خرد)، بهره‌وری یک بخش صنعتی (سطح میانی) و یا بهره‌وری در یک منطقه یا کشور (سطح کلان) باشد. مطالعات

صورت‌گرفته نشان می‌دهد بهره‌وری می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل اختلاف درآمد سرانه کشورهای مختلف باشد. بر همین اساس افزایش بهره‌وری به‌عنوان هدف نهایی اغلب اسناد ملی فناوری‌های راهبردی در نظر گرفته شده است. اسناد ملی فناوری‌های راهبردی ممکن است افزایش بهره‌وری در سطح خرد، میانی و کلان را هدف گرفته باشند. روش اندازه‌گیری بهره‌وری میزان موفقیت این سیاست‌ها در افزایش بهره‌وری را بررسی می‌کند. مهم‌ترین چالش این روش، تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری است. به‌عبارت دیگر، شناسایی متغیرهای کنترلی مهم‌ترین مساله مدل اقتصادسنجی اندازه‌گیری بهره‌وری است. با توجه به اینکه شناسایی و اندازه‌گیری متغیرهای کنترل در سطح میانی و کلان با دشواری‌های فراوانی روبه‌رو است، این روش در سطح خرد امکان‌پذیری بالاتری دارد.

با این روش پروژه‌های زیادی در سطح خرد انجام شده است که در مهم‌ترین آن‌ها، تأثیر سیاست‌های آزادسازی بر افزایش بهره‌وری در سطح واحدهای تولیدی اندازه‌گیری شده است. برخی پروژه‌ها نیز با این روش سرریزهای فناوری میان بنگاه‌ها را اندازه‌گیری کرده‌اند.

٦-٤-٤-١- روش انجام

برای ارزیابی بهره‌وری، مراحل زیر باید انجام شوند:

- شناسایی واحدهای نمونه: برای انجام ارزیابی بهره‌وری نیاز به دو گروه نمونه از بنگاه‌ها است. گروه اول بنگاه‌هایی هستند که به‌نظر می‌رسد سیاست‌های طراحی‌شده تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری آن‌ها داشته است و گروه دوم بنگاه‌هایی‌اند که سیاست‌های مورد ارزیابی، افزایش بهره‌وری آن‌ها را مد نظر نداشته‌اند.
- طراحی مدل اقتصادسنجی: مدل اقتصادسنجی سنجش بهره‌وری بر اساس تابع تولید طراحی می‌شود. تابع تولید، تابعی است که ارتباط میان ورودی‌ها و بروندادهای یک فعالیت اقتصادی را مشخص می‌کند.
- جستجو و جمع‌آوری اطلاعات مناسب: در این مرحله می‌بایست، اطلاعات لازم از ورودی‌ها و بروندادهای متناسب با مدل اقتصادسنجی جمع‌آوری شوند.
- اجرای مدل اقتصادسنجی: در این مرحله بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده، مدل اقتصادسنجی اجرا می‌گردد.
- تفسیر نتایج: بر اساس اطلاعات حاصل از اجرای مدل اقتصادسنجی، تأثیر سیاست‌ها بر افزایش بهره‌وری مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد.

٦-٤-٤-٢- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

یکی از بزرگ‌ترین محدودیت‌های این روش نحوه سنجش خروجی‌هاست. اندازه‌گیری "ارزش افزوده" کار دشواری است که محاسبه آن همواره با ابهاماتی همراه است. چالش دیگر این روش، تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری است. پارامترهای متعددی بر بهره‌وری یک واحد تولیدی مؤثرند که تفکیک میزان تأثیر هر یک از آن‌ها و ارزیابی تأثیر سیاست‌ها به‌عنوان یکی از این عوامل از مسائل اصلی این روش است.

٦-٤-٥- ارزیابی توسط خبرگان[1]

استفاده از پنل خبرگان[2] و ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی[3] از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی سیاست مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی توسط خبرگان غالباً بر اساس قضاوت جمعی از متخصصان و صاحب‌نظران صورت می‌گیرد. مبنای قضاوت، اطلاعات و برداشت‌های تجربی و شخصی و یا تحلیل و تفسیر شواهد و اطلاعاتی است که ممکن است حاصل ارزیابی از طریق سایر روش‌ها بوده باشند. ارزیابی از طریق خبرگان هم برای ارزیابی سیاست‌ها پس از اجرا و هم برای ارزیابی سیاست‌ها پیش از اجرا مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از روش "ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی" برای ارزیابی پروژه‌ها قبل از اجرا به‌منظور تخصیص منابع مالی و حمایت‌ها بسیار معمول است. پنل‌های خبرگان برای ارزیابی سیاست‌ها پس از اجرا نیز بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها در مواقعی که اطلاعات و شواهد کافی وجود ندارد و ارزیابی پیامدهای اقتصادی اجتماعی برنامه‌ها و پروژه‌ها از سایر روش‌ها قابل اندازه‌گیری نیست، تصویری کلی از کیفیت و تأثیر این سیاست‌ها ارائه می‌دهد. روش پنل به‌خصوص هنگامی که ارزیابان علاقه‌مند به بررسی جنبه‌های جدیدی از تأثیرات سیاستی هستند بسیار مؤثر است. تنوع تخصصی و ذهنیتی گروه خبرگان، منبع بزرگی از ایده‌های نویی است که می‌تواند بر کیفیت ارزیابی مؤثر واقع شود.

گروه خبرگان می‌توانند علاوه بر اظهار نظر مراجع به نتایج و پیامدهای یک سیاست، در مورد روند کلی ارزیابی و مدیریت ارزیابی نیز پیشنهاداتی ارائه کنند که در ارزیابی‌های آینده از آنها استفاده شود. این موضوع مزیتی است که در سایر روش‌ها کمتر به چشم می‌خورد.

٦-٤-٥-١- شرایط استفاده از خبرگان

استفاده از نظرات خبرگان از منعطف‌ترین روش‌های ارزیابی سیاست است. اما برای استفاده از آن می‌بایست شرایطی مهیا باشد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- اعضای جامعه علمی با دانش کافی و خبرگان مرتبط با حوزه ارزیابی در دسترس بوده و برای مشارکت در فرایند ارزیابی تمایل داشته باشند.
- توقعات و سؤالات از گروه خبرگان باید در حد دانش و آگاهی آنها باشد. پیش‌فرض روش‌های استفاده از نظرات خبرگان، بهره‌برداری از دانش تخصصی و انباشتی حاصل از تجربه و دانش این افراد است.

٦-٤-٥-٢- روش انجام روش استفاده از خبرگان

برای ارزیابی با استفاده از نظر خبرگان، مراحل زیر باید انجام شوند:

[1]- Expert panels and peer review
[2]- Expert panels
[3]- Peer review

- مشخص‌شدن موضوعات مورد بحث: در روش‌های استفاده از نظرات خبرگان، قبل از هر چیزی می‌بایست موضوعاتی که خبرگان قرار است راجع به آن‌ها نظر دهند، مشخص شود. معمولاً این موضوعات توسط کارفرما (نهاد ارزیابی‌کننده) تعیین می‌شود.
- انتخاب رئیس پنل یا گروه خبرگان: با توجه به موضوعات مورد بحث، فردی با دانش و تجربه بالای تخصصی و مدیریتی به‌عنوان رئیس پنل انتخاب می‌گردد.
- انتخاب اعضای پنل با گروه خبره: با هماهنگی و مشارکت کارفرما و رئیس پنل، اعضای خبرگان انتخاب می‌گردند.
- برنامه‌ریزی پنل: زمانبندی و نحوه اجرای فرایند ارزیابی توسط اعضا و با مشارکت کارفرما مشخص می‌شود.
- شناسایی و پشتیبانی نیازهای اطلاعاتی پنل: در این مرحله کلیه شواهد، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای قضاوت و تصمیم‌گیری گروه خبرگان شناسایی، تهیه و در اختیار آن‌ها قرار داده می‌شود.
- اجرای ارزیابی: اعضای پنل، مدیریت رئیس پنل در خصوص موضوعات مورد بحث مطابق برنامه‌ریزی انجام‌شده به جمع‌بندی می‌رسند.

٦-٤-٥-٣- داده‌های مورد نیاز

هرچند در این روش، برخلاف روش‌های کمّی که پیشتر توضیح داده شد، عملیات خاصی بر روی داده‌ها صورت نمی‌پذیرد. اما داده‌ها به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی قضاوت خبرگان اهمیت زیادی دارند. داده‌ها می‌بایست دقیق و کافی بوده و ساختار آن‌ها به‌گونه‌ای باشد که خبرگان بدون نیاز به انجام عملیات پردازش بتوانند آن را تفسیر و تحلیل کنند.

٦-٤-٥-٤- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

روش‌های استفاده از نظرات خبرگان روش‌های منعطف و اثربخشی هستند که هم برای ارزیابی‌های پس از پیاده‌سازی و هم برای ارزیابی‌های پیش از پیاده‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به نسبت سایر روش‌ها، این روش کم‌هزینه است. هرچند برگزاری پنل در مقایسه با ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی هزینه‌های پشتیبانی بیشتری را می‌طلبد. در موضوعاتی که به حوزه‌های خاص و محدودی از علم و تخصص مربوط می‌شوند بهتر است از روش ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی استفاده گردد و در حوزه‌های کلان‌تر از پنل. استفاده از ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی برای ارزیابی و انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه و حمایت از آن‌ها بسیار معمول است.

استفاده از پنل خبرگان برای ارزیابی سیاست در موضوعات مناقشه برآیند که نیاز به اجماع و توافق گروه‌های متعدد دارد، توصیه می‌شود.

٦-٤-٦- مطالعه میدانی و مطالعه موردی

در مطالعه میدانی به‌جای مطالعه موضوع تحت شرایط کنترل‌شده، به مشاهده مستقیم در شرایط واقعی پرداخته می‌شود. مطالعه میدانی نیازمند استفاده از طیف وسیعی از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف است. مطالعه موردی یکی از روش‌های مطالعه میدانی است که در ارزیابی سیاست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه موردی، ارزیاب به تعامل اجتماعی مستقیم با موضوع ارزیابی می‌پردازد. ارزیابی با این روش مستلزم استفاده از روش‌ها و داده‌های کمّی و کیفی از قبیل پیمایش، تحلیل محتوا، تحلیل آماری داده‌های ثانویه و نهایتاً مشاهده مستقیم است. ارزیابی نهایی نوعی از استنتاج تفسیری است که بر اساس این منابع اطلاعاتی و روش‌های تحلیلی متعدد استخراج می‌شود. مطالعه میدانی و مطالعه موردی از روش‌های تحقیق کیفی در علوم اجتماعی می‌باشند که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. برای ارزیابی سیاست به‌روش مطالعه میدانی با مطالعه موردی، لازم است ارزیاب با بررسی و مشاهده دقیق شامل گفتگو و مصاحبه با ذی‌نفعان مختلف سیاست، بررسی اسناد و مدارک، تحلیل داده‌های کمّی از پیامدها و اثرات سیاست‌ها و سایر روش‌ها به مطالعه سیاست و نتایج آن بپردازد.

٦-٥-جمع‌بندی و ارائه روش پیشنهادی برای ارزیابی

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، ارزیابی سیاست‌ها و اهداف بیش از آنکه از ماهیتی نظری برخوردار باشد، متعلق به حوزه اجرا و عملیاتی است. اجرایی بودن این حوزه، ضرورت نوآوری در روش پیشنهادی برای بخش پایش و ارزیابی اسناد ملی فناوری را کم‌رنگ می‌نماید. بنابراین، آنچه در این قسمت لازم است تا به‌عنوان روش پیشنهادی بر آن تأکید گردد، ارائه یک جمع‌بندی از روش‌ها و قالب‌های موجود ارزیابی و واگذاری تصمیم برای انتخاب روش مناسب به سیاست‌گذار و اجراکنندگان سند است.

تاکنون با مرور ادبیات صورت پذیرفته، تعریف، جایگاه، قلب‌های عمومی و گام‌های ارزیابی و تحلیل تأثیرات مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این بررسی، پایش و ارزیابی سیاست‌ها و اهداف عبارت است از مطالعه تأثیر مجموعه‌ی هدایت‌شده‌ای از راهبردها، سیاست‌ها، اقدامات و برنامه‌ها بر وضعیت اهداف کلان و خرد و تعیین چرایی موفق بودن یا ناکام بودن دستیابی به این اهداف. بر اساس این تعریف، یکی از مهمترین نکاتی که باید در ارزیابی سیاست‌ها مورد توجه قرار بگیرد همراستایی این ارزیابی با جهت‌گیری‌های بالادستی است. چارچوب کلی گام‌هایی که باید در مؤلفه برنامه ارزیابی و به‌روزرسانی اسناد ملی توسعه فناوری‌های راهبردی طی شود شامل ۳ مرحله اساسی است که در ادامه تشریح می‌گردد:

٦-٥-١- تدوین شاخص‌های ارزیابی کارایی و اثربخشی

در این گام، می‌بایست انواع شاخص‌های اندازه‌گیری کننده اهداف خرد و کلان هر یک از فناوری‌ها احصاء شوند. در این گام، می‌بایست شاخص‌های مربوط به راستی‌آزمایی ارکان جهت‌ساز همانند اهداف کلان و هم شاخص‌های مرتبط با برنامه اقدامات و سیاست‌ها مانند اهداف خرد را احصاء و بررسی نمود. نکته مهم و قابل تأمل این است که این شاخص‌ها می‌بایست هم خروجی‌ها و هم پیامدها را ارزیابی کنند؛ به عبارت دیگر هم شاخص‌های مرتبط با اثربخشی می‌بایست تدوین و ارزیابی گردند و هم شاخص‌های مرتبط با کارایی.

٦-٥-٢- تدوین مکانیزم ارزیابی

روش‌های مختلفی در مرور ادبیات برای ارزیابی و تحلیل تأثیرات نام برده شد که هرکدام آن‌ها ویژگی‌ها و نقاط قوت و ضعف مربوط به خود را داشتند. سیاست‌گذار یا ارزیابی‌کننده یک سند ملی توسعه فناوری لازم است تا با توجه به شرایط خاص مرتبط با موضوع خود، از روش (های) متناسب ارزیابی (پیمایش نوآوری، مدل‌های اقتصادسنجی (کلان، خرد، بهره‌وری)، ارزیابی توسط خبرگان، مطالعات موردی و تحلیل شبکه) بهره گیرد. به‌منظور فراهم‌آوری بستر تصمیم‌سازی برای سیاست‌گذاران، می‌توان جدولی مقایسه‌ای از روش‌های مختلف ارزیابی ارائه نمود. جدول ۱-۶ با ارائه خلاصه‌ای از ویژگی‌های هر روش از ابعاد مبنای روش، نقاط ضعف و قوت، جنس داده‌های موردنیاز و شرایط استفاده، سیاست‌گذاران را در انتخاب متناسب‌ترین روش با موضوع سند راهبردی کمک می‌کند.

جدول ۱-۶- ویژگی‌های روش‌های مختلف ارزیابی

روش	مبنای نظری	ضعف	قوت	نوع داده‌ها	شرایط استفاده
پیمایش نوآوری	جمع‌آوری و تحلیل گستره‌ی وسیعی از داده‌ها مبتنی بر نظرات خبرگان	وجود خطر جانبدارانه بودن نظرات افراد متخصص - عدم درنظرگیری فاصله زمانی تأثیر سیاست‌ها در ارزیابی	برخورداری از نظرات افراد متخصص و در محوریت قرار دادن موضوع نوآوری	کمی-کیفی	ارزیابی سیاست‌های کلان که اثرگذاری بر شاخص‌های ملی نوآوری دارند
اقتصادسنجی-کلان	معادلات ساختاری بر اساس مبانی اقتصاد و برای توضیح روابط علی معلولی میان اجزا	دشواری در جمع‌آوری حجم زیادی از اطلاعات اقتصادی-اجتماعی معتبر و دقیق در یک بازه زمانی مشخص-زمان و هزینه بالا	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و تنایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	ارزیابی تأثیر سیاست-های کلان بر فاکتورهای رفاه اقتصادی کشور

روش	مبنای نظری	ضعف	قوت	نوع داده‌ها	شرایط استفاده
اقتصادسنجی- خرد	بررسی عملکرد و وضعیت واحدهای اقتصادی بر مبنای معادلات ساختاری	عدم توانایی در درنظرگیری در تأثیرات غیرمستقیم سیاست‌ها مانند اثرات سرریز دانش - وابستگی شدید آن‌ها به حجم انبوهی از داده‌ها در یک بازه زمانی طولانی -	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و نتایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر مجموعه بنگاه‌ها و یا سازمان (سطح خرد)
اقتصادسنجی- بهره‌وری	بررسی بهره‌وری واحدهای اقتصادی بر مبنای روش‌های اقتصادسنجی	دشواری در حوزه سنجش خروجی (ارزش افزوده) - تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و تنایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	بررسی تأثیر سیاست‌ها در سطح خرد
گروه کنترل	جمع‌آوری اطلاعات بر مبنای نظرات خبرگان و تحلیل آن‌ها بر اساس روش‌های آماری		تفکیک اثرات سیاستی از سایر عوامل تأثیرگذار بر شاخص‌های رشد بنگاه‌ها	کمی	ارزیابی کارایی و اثربخشی سیاست‌ها در سطح خرد
تحلیل هزینه- فایده	بررسی اثرات مثبت و منفی اجتماعی- اقتصادی ناشی از اعمال سیاست‌ها با استفاده از روش‌های کمی‌سازی	دشواری در محاسبه هزینه‌ها و فایده‌ها در زمانی آینده (عدم قطعیت بالا)	همه‌جانبه بودن: پوشش کامل هزینه‌ها و فایده‌های مشهود و نامحسوس، در افق زمانی حال و آینده و در گروه‌های هدف	کمی- کیفی	ارزیابی تعداد محدودی پروژه‌های بزرگ و نه تعداد زیادی پروژه کوچک
ارزیابی توسط خبرگان	جمع‌بندی نظرات متخصصین	کم‌هزینه بودن	دقت کمتر در مقایسه با سایر روش‌ها	کیفی	شرایطی که اطلاعات و داده‌های کافی برای تحلیل‌های کمی وجود ندارد – در شرایط و که اختلاف‌نظر بر سر آن‌ها زیاد است
مطالعات موردی	پیمایش، تحلیل محتوا، تحلیل آماری و مشاهده مستقیم شرایط واقعی و نتیجه‌گیری بر اساس آن	برخورداری از طیف گسترده‌ای از ورودی‌های داده مشتمل بر مشاهده مستقیم	پرهزینه بودن و زمان	کمی- کیفی	در شرایطی که ارزیاب به تعامل اجتماعی مستقیم با موضوع ارزیابی

روش	مبنای نظری	ضعف	قوت	نوع داده‌ها	شرایط استفاده
بهینه‌گزینی	یادگیری از مقایسه عملکرد یک واحد با نمونه‌های موفق و ناموفق	بهره‌گیری از تجارب موفق و ناموفق سایر کشورها (واحدها) در طراحی سیاست‌ها	نادیده‌گرفتن تمام جنبه‌های اثرات سیاست – خطر ناهمخوانی مکانی زمانی از مطالعات تطبیقی	کیفی	یادگیری‌های حاصله می‌بایست به‌عنوان یک ورودی در طراحی و یا ارزیابی سیاست مدنظر سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار گیرد

بر مبنای این جدول، سیاست‌گذار می‌تواند نیازهای مسئله خود را با ویژگی‌های بیان شده برای هر روش تطبیق داده و مکانیزم و یا روش مناسب ارزیابی را برگزیند. با توجه به اینکه روش ارزیابی توسط خبرگان نسبت به سایر روش‌ها دقیق تر و کم هزینه تر می باشد، در این سند از این روش برای ارزیابی اهداف کلان و خرد با توجه به شاخص های تعیین شده استفاده می شود.

٦-٥-٣- تدوین ساختار نظارت و به‌روزرسانی

پس از تدوین شاخص‌های ارزیابی و تدوین مکانیزم ارزیابی، می‌بایست ساختار نظارت و به‌روزرسانی سند تعیین گردد. عموماً هر سند ملی توسعه فناوری می‌بایست هر چند سال یکبار، مورد بازنگری قرار گرفته و بررسی مجدد شود. این موضوع به دلیل این است که هم خود فناوری در حال تغییر و تحول است، هم شرایط محیطی آن فناوری اعم از محیط اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی آن فناوری در حال تغییر است و هم توانمندی شرکت‌ها و بنگاه‌های داخلی تغییر نموده و متناسب با این تغییرات هم ارکان جهت‌ساز، هم برنامه اقدامات و سیاست‌ها و برنامه عملیاتی می‌بایست بازنگری، اصلاح و تکمیل گردد.

با توجه به موارد فوق، می‌بایست ساختاری متشکل از تمامی ذینفعان در زمینه توسعه سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور، اعم از سازمان‌ها و ارگان‌های دولتی، دانشگاهیان و پژوهشگران و متخصصین و همچنین صاحبان صنایع و بنگاه‌های خصوصی تأثیرگذار وظیفه ارزیابی و به‌روزرسانی را بر عهده داشته باشد. این ارزیابی و به‌روزرسانی هم می‌تواند موردی و مقطعی بنا به ضرورت بوده و اهداف تعیین شده برای هریک از فناوری ها را بازنگری کند و هم می‌تواند به طور منظم هر ۳ یا ۵ سال یکبار به منظور بازنگری و اصلاح این اهداف رخ دهد. با توجه به اینکه اهداف تعیین شده در نقشه راه هر یک از فناوری ها از نظر زمانی با یکدیگر تفاوت دارند، در نتیجه در این سند ارزیابی به صورت موردی برای هریک از این فناوری ها انجام خواهد شد [۱۰].

٦-٦-فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مکانیزمی که در این سند برای ارزیابی تحقق برنامه‌های سند در نظر گرفته شده است شامل مراحل اصلی زیر می‌باشد:

۱- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی
۲- شناسایی منابع اطلاعاتی برای اندازه‌گیری شاخص‌ها
۳- جمع‌آوری اطلاعات و مقایسه با معیارهای کمّی تعیین شده
۴- تفسیر نتایج و ارائه پیشنهاد

مرحله اول از مکانیزم ارزیابی سند که شامل تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد قبل از اجرایی شدن سند صورت می‌پذیرد. در این مرحله برای ارکان مختلف سند که شامل چشم‌انداز، اهداف و اقدامات می‌باشد تعدادی شاخص تعریف می‌شود. پس از آغاز اجرایی شدن سند و تشکیل واحد متولی اجرای سند توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق در پژوهشگاه نیرو، منابع اطلاعاتی که می‌توان میزان شاخص‌ها را با کمک آنها تعیین کرد، شناسایی شده و طی دوره‌های زمانی مشخص مقادیر شاخص‌ها اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت لزوم بازنگری‌های لازم صورت می‌پذیرد. در ادامه شاخص‌های سند توسعه پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی در سازه‌های صنعت برق و نحوه دستیابی به آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

٦-٦-١- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

شاخص، استانداردی است که دستیابی به آن نشان‌دهنده نیل به مقصد می‌باشد. جزئیات شاخص‌ها تعیین‌کننده طرز اندازه‌گیری دامنه دستیابی به اهداف عینی در زمان‌های مختلف می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها می‌توانند کمی، کیفی و یا رفتاری باشند. شاخص‌ها همان ابزار نظارت بر پیشرفت سطوح راهبردی هستند که ناظر بر طبق آنها میزان تحقق آن سطح را اندازه‌گیری می‌نماید. از همین‌رو شاخص‌ها می‌بایست ابعاد مختلف سطوح راهبردی را مورد توجه قرار دهند به شکلی که پیشرفت امور بر اساس شاخص‌ها تضمین‌کننده تحقق کامل اقدامات گردد. در همین راستا شاخص‌ها باید مشخص‌کننده ابعاد ذیل باشند: [۱۰]

الف) کمیت (چقدر)
ب) کیفیت (چگونه)
ج) زمان (چه موقع)
د) محل (کجا)

در برخی از شاخص‌ها ممکن است ابعاد چهارگانه فوق قابل تعریف نباشند، به عنوان مثال ممکن است محل در مورد یک شاخص فنی تعریف پذیر نباشد که در این حالت از بررسی این بعد خاص صرفنظر می‌شود. شاخص‌ها باید با ملاحظه ویژگی‌های زیر تعریف شوند:

الف) اساسی بودن: یعنی جنبه اساسی یک سطح خاص را منعکس نماید.

ب) واقعی بودن: هر شاخص باید منعکس‌کننده یک واقعیت - و نه تصور ذهنی - بوده و برای همگان مفهوم واحدی را القا نماید.

ج) قابل قبول بودن: باید بتوان تغییرات شاخص را به تحقق یا عدم تحقق مقصود منتسب نمود.

د) مبتنی بر داده‌های قابل کسب بودن: داده‌های لازم برای اندازه‌گیری شاخص می‌بایست در دسترس باشد [۱۰].

٦-٦-١-١- تعریف شاخص‌های سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد مطرح شده، در این بخش شاخص‌ها در دو سطح کلان و خرد طراحی شده‌اند. با پیمایش شاخص‌های کلان می‌توان تحقق چشم‌انداز و اهداف کلان را بررسی کرده و با تعریف شاخص‌های خرد در سطح اقدامات می‌توان میزان تحقق اقدامات را ارزیابی نمود. در ادامه شاخص‌های تعیین شده برای بررسی تحقق چشم‌انداز، اهداف و اقدامات در جدول ۲-۴ الی جدول ۵-۶ آورده شده‌اند. لازم به ذکر است که اصلی‌ترین منفعت حاصل از توسعه و پیاده‌سازی نظام پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق، کاهش پی‌آمدهای حاصل از خسارات سازه‌ای (شامل انواع پی‌آمدهای مستقیم اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و انسانی و پی‌آمدهای غیر مستقیم حاصل از اخلال در سرویس‌دهی شبکه برق) و بهینه‌سازی هزینه‌های نگهداری سازه‌ها خواهد بود که اثربخشی آن اساساً در بازه زمانی بلندمدت حاصل خواهد شد. با این وجود، سعی شده که در این بخش، شاخص‌هایی معرفی گردند که بتوان در افق زمانی ۱۰ ساله سند، میزان پیشرفت و اثربخشی اقدامات و پروژه‌های مربوطه را ارزیابی نمود.

جدول ۲-۶- شاخص شناسایی شده برای چشم انداز سند توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱	کاهش هزینه نگهداری سازه‌های صنعت برق	متوسط هزینه سالانه نگهداری سازه‌ها (شامل هزینه تعمیرات پیشگیرانه، هزینه تعمیرات اصلاحی پس از حوادث و هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از حوادث) در یک بازه زمانی زیاد (مثلاً ۱۰ سال) قبل از سال پایه (سال شروع واقعی سند که می‌تواند ۱۳۹۹ یا ۱۴۰۰ منظور شود) و در انتهای افق زمانی سند نیز تعیین می‌شود که مقدار اخیر باید حداقل ۵ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش داشته باشد.
۲	تاب‌آوری سازه های تولید، انتقال و توزیع	از زمان پیاده سازی نتایج سند، باید شاخص‌های تاب‌آوری سازه‌های صنعت برق (بر اساس محاسبه) در برابر مخاطرات محیطی افزایش

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
		یابد. بطوریکه کاهش هزینه و زمان بازیابی سازه‌ها در صورت وقوع خرابی نسبت به هزینه انجام فعالیت‌های سند توجیه داشته باشد.

جدول ۳-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای اهداف کلان سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱	کاهش هزینه نگهداری سازه‌های صنعت برق	متوسط هزینه سالانه نگهداری سازه‌ها (شامل هزینه تعمیرات پیشگیرانه، هزینه تعمیرات اصلاحی پس از حوادث و هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از حوادث) در یک بازه زمانی زیاد (مثلاً ۱۰ سال) قبل از سال پایه (سال شروع واقعی سند که می‌تواند ۱۳۹۹ یا ۱۴۰۰ منظور شود) و در انتهای افق زمانی سند نیز تعیین می‌شود که مقدار اخیر باید حداقل ۵ درصد نسبت به مقدار اولیه خود کاهش داشته باشد.
۲	طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع	از زمان پیاده سازی نتایج سند، باید طول عمر مفید سازه‌های صنعت برق (بر اساس تخمین محاسباتی) ۲۰ الی ۵۰ درصد افزایش یابد. بطوریکه ارزش افزوده حاصله نسبت به هزینه انجام فعالیت‌های سند توجیه داشته باشد.
۳	تاب‌آوری سازه های تولید، انتقال و توزیع	از زمان پیاده سازی نتایج سند، باید شاخص‌های تاب‌آوری سازه‌های صنعت برق (بر اساس محاسبه) در برابر مخاطرات محیطی افزایش یابد. بطوریکه کاهش هزینه و زمان بازیابی سازه‌ها در صورت وقوع خرابی نسبت به هزینه انجام فعالیت‌های سند توجیه داشته باشد.
۴	پیاده‌سازی پایش سلامت، نگهداری و مقاومسازی در سازه های صنعت برق کشور	پیاده سازی در ۳۵ واحد نیروگاهی
		پیاده سازی در ۱۰ درصد سازه‌های شبکه انتقال
		پیاده سازی در ۱۰ درصد سازه‌های شبکه توزیع
۵	دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی فناوریهای نوین پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق	دانش فنی و بومی‌سازی ۶ مورد از فناوری‌های نوین
۶	تدوین یا به‌روزرسانی دستورالعملهای مرتبط با پایش سلامت و مقاومسازی سازه‌های صنعت برق	تدوین یا به‌روزرسانی ۱۵ دستورالعمل‌های مرتبط
۷	تدوین قوانین پیشنهادی جهت ایجاد الزام به انجام نگهداری و پایش سلامت و مقاوم‌سازی سازه‌های صنعت برق	تدوین حداقل ۳ قانون (یا بخشنامه درون صنعت) پیشنهادی

جدول ۴-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱	تعداد پایان نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی حمایت شده در سال (تا اول سال ششم اجرای سند)	۲۰ پایان نامه کارشناسی ارشد درسال ۱۰ پایان‌نامه دکترا در سال ۲ طرح پژوهشی دانشگاهی در سال
۲	تعداد پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه در سال (شامل پروژه های فنی سند)	۵۰ پروژه (تا انتهای افق زمانی سند)
۳	تعداد نشست‌های برگزار شده در سال با متولیان پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنایع دیگر	برگزاری ۴ نشست در سال برای هر طرح
۴	تعداد کنفرانس‌های تخصصی برگزارشده در سال که پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق از حوزه‌های اصلی آن است	برگزاری ۱ کنفرانس در سال
۵	تعداد موسسات بین‌المللی پایش سلامت سازه که ایران به عضویت آنها در آمده است	عضویت در یک موسسه بین المللی
۶	برگزاری همایش و جلسات هم اندیشی تخصصی	۲ جلسه در سال برای هر طرح
۷	وضعیت بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه	نرم‌افزار پایگاه داده طراحی شده
۸	وضعیت قوانین و دستورالعمل‌های بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	تدوین و ابلاغ قوانین به تاسیسات اصلی صنعت برق
۹	تعداد همایش‌های برگزار شده در سال جهت آگاه‌سازی مدیران از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه	برگزاری یک همایش در سال
۱۰	وضعیت تاثیر شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق	اضافه کردن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به فرم‌های ارزیابی عملکرد
۱۱	تعداد دوره‌های آموزشی برگزار شده در سال برای مهندسین عمران شاغل در صنعت برق	برگزاری یک دوره آموزشی در سال
۱۲	وضعیت دوره آموزشی و دروس اختیاری میان‌رشته‌ای اضافه شده به دروس مهندسی عمران	اضافه شدن یک درس میان‌رشته‌ای
۱۳	شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	انجام پروژه مطالعاتی اولویت‌بندی تجهیزات مورد نیاز انجام پروژه تحقیقاتی امکان‌سنجی مالی تامین تجهیزات

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱۴	وضعیت طراحی مدل مناسب کسب و کار	انجام پروژه طراحی مدل کسب و کار
۱۵	تعداد دوره‌های آموزشی برگزار شده جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها	برگزاری دو دوره آموزشی در سال (از سال ششم)
۱۶	تعداد کارگروه‌های تخصصی در صنعت برق که متولیان اجرای سند در آن شرکت داشته باشند	حداقل یک کارگروه برای هر طرح
۱۷	تعداد محصولات تجاری‌سازی شده از نتایج فعالیت‌های تحقیقاتی سند	تجاری‌سازی حداقل ۳ محصول فناورانه بومی‌سازی شده

جدول ۵-۶- شاخص‌های شناسایی شده برای پروژه‌های فنی توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق

ردیف	پروژه های فنی	شاخص
۱	طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش تولید برق	• گزارش پروژه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل پایش سلامت و تشخیص آسیب سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل ارزیابی عملکرد و تخمین عمر سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل مدیریت بهینه نگهداری سازه‌ها • راهکارهای ایمن‌سازی و بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر مخاطرات محیطی • اجرای موفقیت‌آمیز پایلوت‌ها • استانداردهای به‌روزشده طراحی سازه‌ها
۲	طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش انتقال برق	• گزارش پروژه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل پایش سلامت و تشخیص آسیب سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل ارزیابی عملکرد و تخمین عمر سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل مدیریت بهینه نگهداری سازه‌ها • راهکارهای ایمن‌سازی و بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر مخاطرات محیطی • اجرای موفقیت‌آمیز پایلوت‌ها • طرح دکل‌های موقت انتقال • طرح دکل‌ها و مقره‌های خودکراس‌آرم کامپوزیتی • طرح سرپوشده کردن پست‌های انتقال
۳	طرح پایش سلامت در سازه‌های بخش توزیع برق	• گزارش پروژه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل پایش سلامت و تشخیص آسیب سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل ارزیابی عملکرد و تخمین عمر سازه‌ها • نرم‌افزار و دستورالعمل مدیریت بهینه نگهداری سازه‌ها • راهکارهای ایمن‌سازی و بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر مخاطرات محیطی • اجرای موفقیت‌آمیز پایلوت‌ها • راهکارهای افزایش عمر مفید پایه‌های بتنی

ردیف	پروژه های فنی	شاخص
		• دانش فنی و دستورالعمل‌های طراحی و ساخت پایه‌های نوین هوایی توزیع (پایه‌های کامپوزیتی، پایه‌های بتنی با میلگرد کامپوزیتی، پایه‌های چدنی نشکن، پایه‌های هیبریدی، پایه‌های با بتن‌های پرمقاومت و با کارآیی بالا)

پیشرفت پروژه‌های سند با استفاده از شاخص‌های کنترل پروژه (گانت زمانی، منحنی S و سایر شاخص‌های تدوین شده توسط دفتر برنامه‌ریزی و کیفیت)، قابل سنجش می‌باشند. همچنین ارزیابی پیشرفت و اثربخشی کلی سند نیز بر اساس روالی که توسط معاونت فناوری پژوهشگاه نیرو برای کلیه اسناد توسعه فناوری تدوین شده، قابل انجام می‌باشد.

٦-٧-تدوین ساختار نظارت، به‌روزرسانی و مکانیزم ارزیابی

٦-٧-١- ساختار نظارت و به‌روزرسانی

همان‌طور که اشاره شد، به منظور تحقق اهداف سند لازم است سازوکاری اندیشیده شده و ساختار نظارتی برای آن تعیین گردد. وزارت نیرو وظیفه سیاست‌گذاری کلان، هماهنگی و نظارت کلان بر اجرای این سند را بر عهده دارد. وظیفه اجرای فعالیت‌های سند (شامل واگذاری پروژه‌ها، ارائه گزارش‌های فنی و مدیریتی، پیگیری و تصویب پروژه‌ها در سازمان‌های ذینفع جهت تأمین منابع مالی، نظارت بر حسن انجام پروژه‌ها و تحویل‌گیری نتایج آنها، بازنگری سند در مقاطع زمانی مورد نیاز و ...) بر عهده واحدی با عنوان سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در پژوهشگاه نیرو قرار دارد. این واحد با ایجاد سازوکارهای لازم و استفاده از نهادهای مختلف در چهارچوب ضوابط مصوب پژوهشگاه نیرو، ضمن انجام تصمیم‌گیری‌های لازم، وظیفه نظارت بر تحقق اهداف سند و ارزیابی پیشرفت کار را نیز بر عهده دارد. از جمله وظایف اصلی این واحد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه پایش سلامت و نگهداری در سازه‌های صنعت برق و اجرای دستورالعمل‌های ابلاغی
- نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند اعم از اقدامات غیرفنی و پروژه‌های اجرایی
- تدوین و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی و اتخاذ تصمیمات اصلاحی
- بررسی طرح‌ها و برنامه‌های بخشی و فرابخشی، و نظارت بر اجرای صحیح اقدامات
- رایزنی برای تأمین بودجه‌های مورد نیاز پروژه‌های اجرایی و اقدامات غیرفنی
- جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده برای مرکز، لازم است ساختاری برای واحد در نظر گرفته شود، که ساختار مصوب در پژوهشگاه، در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. شایان ذکر است که بنابر تغییرات ساختاری ایجاد شده در پژوهشگاه نیرو در سال ۱۴۰۰، واحد اجرایی با عنوان "سند" حذف شده و "طرح"

جایگزین آن گردید. بر این اساس، طرح‌های سه‌گانه زیرمجموعه سند بطور مستقل عهده‌دار وظایف عنوان شده برای سند در حوزه مربوط به خود می‌باشند.



شکل ۴-۶- ساختار سند توسعه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

شرح وظایف مجری طرح و کمیته راهبری در "دستورالعمل راهبری طرح‌های تحقیقات کاربردی و توسعه فناوری" که توسط دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۶ تدوین و ابلاغ شده، ارائه شده است. همچنین اهم وظایف مدیر طرح نیز که در "آئین‌نامه وظایف و اختیارات ارکان

طرح/پروژه" در سال ۱۴۰۰ توسط مدیریت برنامه‌ریزی و کیفیت پژوهشگاه نیرو تهیه و ابلاغ گردید بصورت زیر می‌باشد:

- تهیه و بروزرسانی منشور طرح
- دبیری جلسات کمیته راهبری طرح
- تهیه برنامه عملیاتی و بودجه سالانه طرح
- تهیه RFP برای برونسپاری پروژه و انجام فرآیند برونسپاری از طریق فراخوان مطابق دستورالعمل مربوطه
- اجرای عملیات و فعالیت‌های مورد نیاز به منظور رسیدن به اهداف طرح
- شناسایی پروژه‌های مرتبط به طرح که در خارج از پژوهشگاه انجام شده و استفاده از نتایج آنها
- نظارت بر اجرای صحیح پروژه‌های طرح و قراردادهای مربوطه
- تجمیع و تلفیق نتایج پروژه‌ها در جهت اهداف طرح، پیگیری تحقق منافع طرح
- شرکت در جلسات شورای پژوهش و فناوری با دعوت دبیر شورای مربوطه
- پیشنهاد ناظر پروژه‌ها به کمیته راهبری یا شورای پژوهش و فناوری پژوهشکده
- پیگیری تأمین منابع مالی در اجرای زیرپروژه‌ها و عملیات مورد نیاز طرح (جذب مشارکت بخش خصوصی)
- بکارگیری نتایج و برنامه‌های طرح در صنعت (از طریق پروژه‌های پایلوت و عملیاتی)
- مدیریت دانش در حوزه‌های علمی و تخصصی و ایجاد بانک اطلاعاتی از محققین و صاحب‌نظران مرتبط
- تهیه گزارش‌های مدیریتی، مالی و پیشرفت طرح در مقاطع مختلف و ارائه به رئیس پژوهشکده مربوطه و کمیته راهبری
- مدیریت ارتباطات و ذینفعان طرح
- اجرای فرآیند اختتام طرح تا مرحله تأیید نهایی
- برگزاری جلسات هم‌اندیشی، نشست ها و سمینارهای تخصصی مرتبط با طرح
- اعزام همکاران به مأموریت مربوط به فعالیت‌های طرح با توافق مدیر گروه مربوطه
- انجام کلیه امور مدیریت طرح مطابق با آئین‌نامه‌ها و فرم‌های مصوب

٦-٧-٢- مکانیزم عملکرد

با توجه به وظایف مطرح شده برای سند، می‌بایست مکانیزمی اندیشیده شود که به عنوان چارچوبی برای انجام فعالیت‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. همان‌طور که اشاره شد، از جمله وظایف اصلی سند توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد. لذا مجری سند و مدیران طرح‌ها جهت انجام وظایف درنظر گرفته شده می‌بایست جلسات منظم فصلی برگزار کرده و در فاصله بین جلسات از طریق همکاری و اخذ آمار و گزارش‌ها از دستگاه‌های متولی

حوزه‌های مرتبط، شاخص‌های تعیین شده را ارزیابی کرده و پس از نهایی‌سازی و تلفیق آن‌ها گزارش آن را در دوره‌های زمانی ۶ ماهه به کمیته راهبری اعلام نمایند.

اعضای ساختار سند موظفند طبق نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها، اقدامات لازم را جهت اطمینان از تحقق سند در افق ۱۰ساله، اتخاذ کنند.

همچنین طرح‌های زیرمجموعه سند موظفند به رصد فناوری‌های مرتبط و در حال توسعه در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حوزه مربوط به خود بپردازند و گزارش آن را طی دوره‌های زمانی ۲ ساله به کمیته راهبری ارائه نمایند.

با توجه به روند تحولات و نیز وضعیت پیشرفت سند، لازم است حداکثر سه سال پس از اجرایی شدن پروژه‌های سند با توجه به نتایج به دست آمده از آمار خرابی‌ها و همچنین نتایج حاصل از پروژه‌های تدوین دانش فنی، سند مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد.

وضعیت پیشرفت بر اساس شاخص‌های اهداف کلان، پروژه‌ای فنی و اقدامات مدیریتی مشخص می‌شود. در صورتی که پس از گذشت ۳ سال از آغاز اجرای سند، میزان تحقق هر یک از شاخص‌های درنظر گرفته شده تا آن مقطع زمانی به طور میانگین کمتر از ۳۰ درصد باشد، کمیته راهبری سند باید نسبت به توقف اجرا اقدام نماید و تصمیمات لازم را اتخاذ کند. در صورتی که میزان تحقق شاخص‌ها کمتر از ۷۰ درصد باشد بایستی سند از سوی کمیته راهبری مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد. همچنین در صورت تحقق بیش از ۷۰ درصد شاخص‌های مذکور، کمیته راهبری می‌تولند با بررسی گلوگاه‌ها و موانع موجود بر سر راه تحقق کامل هر یک ازاقدامات و برنامه‌ها نسبت به رفع آنها و ادامه اجرای سند اقدام نماید.

٦-٨-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش ضمن بررسی مدل‌های ارزیابی، مکانیزمی جهت بررسی و ارزیابی خروجی‌های مورد انتظار سند طراحی گردید که شامل مراحل اصلی زیر می‌باشد:

- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی
- شناسایی منابع اطلاعاتی برای اندازه‌گیری شاخص‌ها
- جمع‌آوری اطلاعات و مقایسه با معیارهای کمی تعیین شده
- تفسیر نتایج و ارائه پیشنهاد

در ادامه شاخص‌های مورد نیاز جهت ارزیابی سند راهبردی پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ارائه گردید. در این بخش خروجی‌های مورد انتظار و شاخص‌های ارزیابی پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی طراحی و در جدول ۲-۴ الی جدول ۵-۶ ارائه گردیدند.

سپس در ادامه، ساختار نظارت، به‌روزرسانی و مکانیزم ارزیابی پیشنهاد گردید. در این راستا مشخص گردید که وزارت نیرو وظیفه سیاست‌گذاری کلان، هماهنگی و نظارت کلان بر اجرای این سند را برعهده دارد.

کمیته‌های راهبری طرح‌های زیرمجموعه سند، با پشتیبانی علمی و فنی گروه سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، به عنوان متولی اجرای سند فوق‌الذکر بر نحوه اجرای این سند نظارت می‌کند و بازنگری‌های لازم در سند و گزارش کلان مربوطه را در فواصل زمانی مشخص ارائه خواهد نمود. این کمیته با ایجاد ساز و کارهای لازم و استفاده از نهادهای مختلف، ضمن انجام تصمیم‌گیری‌های لازم، وظیفه نظارت بر تحقق اهداف سند و ارزیابی پیشرفت کار را بر عهده دارد. لذا اعضای کمیته جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده باید جلسات منظم فصلی برگزار کرده و در فاصله بین جلسات از طریق همکاری و اخذ آمار و گزارش‌ها از دستگاه‌های متولی حوزه‌های مرتبط، شاخص‌های تعیین شده را ارزیابی کرده و پس از نهایی‌سازی و تلفیق آنها گزارش آن را در دوره‌های زمانی ۶ ماهه به وزارت نیرو اعلام نماید. اعضای کمیته موظفند طبق نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها، اقدامات لازم را جهت اطمینان از تحقق سند درافق زمانی ۱۰ ساله سند، اتخاذ کنند. همچنین طرح‌ها موظفند به رصد فناوری‌های مرتبط و در حال توسعه در این حوزه بپردازند و گزارش آن را طی دوره‌های زمانی ۲ ساله ارائه نمایند. با توجه به روند تحولات و نیز وضعیت پیشرفت سند، لازم است سند طی دوره‌های زمانی حداکثر ۳ ساله مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد.

٦-٩-منابع و مراجع فصل ششم

[۱]. "روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو"، شرکت آینده اندیشان افق بهسان، تابستان ۱۳۹۹

[2]. Haveman, Robert. 1987. Policy Evaluation Research after Twenty Years. Policy Studies Journal 16: 191–218.

[3]. Wholey, Joseph S., et al. 1970. Federal Evaluation Policy.Washington, DC: The Urban Institute.

[4]. Weiss, Carol H. 1998. Evaluation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

[5]. Mohr, Lawrence. 1995. Impact Analysis for Program Evaluation. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage.

[6]. Polt and Rojo, 2002, evaluation methodologies. chapter in RTD evaluation toolbox. IPTS technical report series, EUR 20382 EN.

[7]. Kellogg, W. K., 2004. Logic model development guide. Michigan: WK Kellogg Foundation

[8]. Licht and Sirilli, 2002, innovation survey, chapter in RTD evaluation toolbox, IPTS technical report series, EUR 20382 EN.

[9]. Capron, H., & Cincera, M. 2000. Technological performance. In The National Innovation System of Belgium (pp. 175-198). Physica-Verlag HD.

[۱۰]. مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، روش‌شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی، تهران، ۱۳۹۲.