پژوهشگاه نیرو

NRI-ER-1030-PMEPN32-01-L

تهیه نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های صنعت آب و برق



نام مدیر پروژه: علی صالحی شبستری

نام مجری: احسان توکی

DOI: 10.30503/nripress.2020.282


بسم الله الرحمن الرحيم

تهیه نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های صنعت آب و برق

مدیر پروژه:

علی صالحی شبستری

همکار/همکاران پروژه:

مهدی اکرمی نیا

علیرضا بزرگی (ناظر)

مجری:

احسان توکلی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

کد گزارش: NRI-ER-1030-PMEPN32-01-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.282

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی

تهیه نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های صنعت آب و برق / علی صالحی شبستری. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۲۰۶ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. صالحی شبستری، علی، اکرمی نیا، مهدی، بزرگی، علیرضا، همکاران پروژه. ۲. توکلی، احسان، مجری. ۳. پژوهشگاه نیرو، کارفرما. ۴. حرارت و سیالات، محور اصلی پروژه.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی

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 علی صالحی شبستری متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح 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. علی صالحی شبستری

۲. مهدی اکرمی نیا

۳. علیرضا بزرگی (ناظر)

پیشگفتار

گزارش حاضر در راستای انجام پروژه « تهیه نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های صنعت آب و برق» تهیه شده است. در این گزارش ابتدا مبانی نقشه راه شامل اهداف موضوع و محدوده مطالعات و تبیین ویژگی‌های سیستم پمپاژ تدوین شده و سپس فاز هوشمندی فناوری در قالب شناسایی حوزه‌های فناورانه و آینده پژوهی فناوری انجام شده است. در ادامه چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای توسعه فناوری شرح داده شده است. سپس نقشه راه و برنامه عملیاتی شامل پروژه‌های اجرایی، زمانبندی و بودجه‌ریزی، تقسیم کار ملی و ترسیم رهنگاشت تدوین شده است. در خاتمه نیز برنامه ارزیابی و به روز رسانی نقشه راه ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

پیشگفتار ..... أ

۱-تدوین مبانی نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهرهبرداری پمپهای صنعت آب و برق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- پمپ و مفاهیم اولیه مربوط به آن ۲

۱-۲-۱- تعریف پمپ ۲

۱-۲-۲- انواع پمپ ۲

۱-۲-۲-۱- پمپهای جابجایی مثبت ۲

۱-۲-۲-۲- پمپهای گریز از مرکز ۶

۱-۲-۳- عملکرد پمپ ۹

۱-۲-۳-۱- منحنی مشخصه پمپ ۹

۱-۲-۳-۲- منحنی مصرف یا انرژی پمپ ۱۰

۱-۲-۳-۳- منحنی بازده پمپ ۱۱

۱-۲-۳-۴- کاویتاسیون و منحنی هد مثبت خالص مکش (NPSH) پمپ ۱۱

۱-۳- وضعیت سیستمهای پمپاژ ۱۲

۱-۳-۱- مقدمه ۱۲

۱-۳-۲- کاربرد پمپ در نیروگاه ۱۳

۱-۳-۲-۱- پمپهای سیکل بخار ۱۳

۱-۳-۲-۲- پمپهای سیستم خنک‌کن اصلی ۱۴

۱-۳-۲-۳- پمپهای سیستم خنک‌کن کمکی ۱۵

۱-۳-۲-۴- پمپهای سیستم سوخت رسانی ۱۶

۱-۳-۲-۵- پمپهای سیستم روغنکاری توربین ۱۶

۱-۳-۲-۶- پمپهای فرآیند شیمیایی ۱۷

۱-۳-۲-۷- پمپهای نیروگاه برق آبی ۱۸

۱-۳-۳- طراحی پمپ ۱۸

۱-۳-۳-۱- طراحی هیدرولیکی ۱۸

۱-۳-۳-۲- طراحی مکانیکی و دینامیک و ارتعاشات ۱۹

۱-۳-۴- ساخت پمپ ۱۹

۱-۳-۴-۱- ساخت محفظه پمپ ۲۰

۱-۳-۴-۲- ساخت پروانه ۲۰

۱-۳-۴-۳- ساخت محور ۲۰

۱-۳-۴-۴- رنگ ۲۰

۱-۳-۵- تست پمپ ۲۱

۱-۳-۵-۱- بازرسیهای حین ساخت ۲۱

۱-۳-۵-۲- بازرسیهای حین مونتاژ ۲۲

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۳-۵-۳-۱- بازرسیهای پس از ساخت ۲۲
۶-۳-۱- تعمیر و نگهداری پمپ ۲۳
1-3-6-1- فایل‌های تعمیر و نگهداری پمپ ۲۳
1-3-6-2- تعمیرات و بازرسی‌های پمپ‌های گریز از مرکز ۲۴
۳-۶-۳-۱- خرابی‌های پمپ‌های گریز از مرکز ۲۵
۴-۶-۳-۱- خرابی‌های پمپ‌های جابجایی مثبت ۲۷
۵-۶-۳-۱- ریشه‌یابی علل خرابی پمپ‌ها ۲۸
۶-۶-۳-۱- عوامل اثرگذار در تغییر راندمان پمپ سیستم ۳۰
۷-۶-۳-۱- فناوری تعمیر و نگهداری در نیروگاه‌های کشور ۳۱
1-4- نتیجه‌گیری ۳۴
۱-۴-۱- محدوده موضوعی مطالعات ۳۴
۲-۴-۱- افق زمانی مطالعات ۳۶
۲-هوشمندی فناوری پمپ‌های صنعت آب و برق ۳۷
۱-۲- شناسایی حوزه‌های فناورانه ۳۸
۱-۱-۲- تاریخچه توسعه فناوری پمپ‌ها ۳۸
۲-۱-۲- زمینه‌های توسعه فناوری بر اساس نوع پمپ ۳۸
۱-۲-۱-۲- پمپهای گریز از مرکز ۳۹
۲-۲-۱-۲- پمپهای دیافراگمی ۴۴
۳-۲-۱-۲- پمپهای پیچی ۴۷
۴-۲-۱-۲- آب‌بندهای مکانیکی ۴۷
۳-۱-۲- انعطاف‌پذیری در عملکرد ۴۸
۱-۳-۱-۲- محرک‌های سرعت متغیر الکتریکی ۴۸
۲-۳-۱-۲- محرک‌های سرعت متغیر هیدرولیکی ۵۲
۳-۳-۱-۲- چالش‌های فناوری محرک‌های سرعت متغیر ۵۵
۴-۱-۲- دیجیتال سازی ۵۵
۱-۴-۱-۲- گام اول: واحد پایش دیجیتال ۵۵
۲-۴-۱-۲- گام دوم: الگوریتم‌های مشخصه ارتعاشات ۵۶
۳-۴-۱-۲- گام سوم: بهبود نقطه کاری ۵۷
۴-۴-۱-۲- گام چهارم: تنظیم پمپ با کنترل نرم‌افزاری ۵۷
۵-۱-۲- ساخت افزایشی ۵۸
۶-۱-۲- تست ۵۸
۱-۶-۱-۲- طبقه‌بندی تست‌ها ۵۸
۲-۶-۱-۲- دقت تست ۵۹
۳-۶-۱-۲- روش تست ۵۹

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۲-۱-۷- تعمیر و نگهداری ۶۰
۲-۱-۷-۱ روش‌های سنتی تعمیر و نگهداری ۶۰
۲-۱-۷-۲ روش‌های نوین تعمیر و نگهداری ۶۱
۲-۱-۷-۳ تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط ۶۳
۲-۱-۷-۴ ادوات ابزار دقیق برای تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط پمپ‌ها ۶۴
۲-۱-۷-۵ فناوری تشخیص عیب ۶۷
۲-۱-۷-۶ فناوری پیشبینی (پیش آگهی) عیب ۷۸
۲-۱-۷-۷ هزینه چرخه عمر و نقش آن در تعمیر و نگهداری ۸۵
۲-۱-۸- بهرهبرداری ۸۶
۲-۱-۸-۱ بهرهبرداری از پمپ‌های نیروگاهی ۸۶
۲-۱-۸-۲ فناوریهای واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در پمپ‌ها ۹۰
۲-۱-۹- شناسایی سازندگان مطرح پمپ در عرصه جهانی و داخلی ۹۱
۲-۱-۹-۱ شرکت‌های بزرگ فعال در زمینه پمپ در جهان ۹۲
۲-۱-۹-۲ شرکت‌های دانشبنیان فعال در زمینه پمپ در ایران ۹۶
۲-۲- آینده پژوهی فناوری ۹۷
۲-۲-۱- مقدمه ۹۷
۲-۲-۲- مطالعه روند بازار ۹۷
۲-۲-۲-۱ آینده بازار پمپ‌ها ۹۸
۲-۲-۲-۲ آینده بازار پمپ‌های صنعتی ۹۸
۲-۲-۲-۳ آینده بازار پمپ‌های نیروگاهی ۱۰۰
۲-۲-۳- تحلیل اختراعات ۱۰۱
۲-۲-۳-۱ پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه ۱۰۲
۲-۲-۳-۲ پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی ۱۰۲
۲-۲-۳-۳ پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری ۱۰۳
۲-۲-۳-۴ پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق ۱۰۴
۲-۲-۳-۵ پمپ‌های پیچی ۱۰۵
۲-۲-۳-۶ پمپ‌های دیافراگمی ۱۰۶
۲-۲-۳-۷ پمپ‌های دارای کوپلینگ ۱۰۷
۲-۲-۳-۸ کنترل پمپ با تغییر سرعت ۱۰۸
۲-۲-۳-۹ کنترل شرایط مایع پمپ شونده ۱۰۹
۲-۲-۳-۱۰ کنترل شرایط پمپ ۱۰۹
۲-۲-۳-۱۱ خلاصه تحلیل اختراعات ۱۱۰
۲-۳- نتیجه‌گیری ۱۱۱
۲-۳-۱- مقدمه ۱۱۱

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۳-۲-۲- هوشمندی فناوری ۱۱۲
۳-تدوین چشم انداز، اهداف و راهبردها ۱۱۳
۳-۱- تدوین چشم انداز فناوری ۱۱۴
۳-۱-۱- مقدمه ۱۱۴
۳-۱-۲- مفاهیم و روش‌های تدوین چشم انداز ۱۱۴
۳-۱-۲-۱- مدل دیوید ۱۱۶
۳-۱-۲-۲- مدل ۵ چرا ۱۱۶
۳-۱-۲-۳- مدل پاتریک لوئیس ۱۱۶
۳-۱-۲-۴- مدل استوارت ۱۱۶
۳-۱-۲-۵- مدل برت نینوس ۱۱۷
۳-۱-۲-۶- مدل آلیسون ۱۱۷
۳-۱-۲-۷- مدل لاتام ۱۱۷
۳-۱-۲-۸- مدل کیگلی ۱۱۸
۳-۱-۲-۹- تدوین اصول ارزشی ۱۱۸
۳-۱-۲-۱۰- مدل مک میلان ۱۱۸
۳-۱-۲-۱۱- جمع‌آوری ورودی‌های اولیه ترسیم چشم انداز ۱۱۹
۳-۱-۲-۱۲- تدوین بیانیه اولیه چشم انداز ۱۱۹
۳-۱-۲-۱۳- تأیید و نهایی سازی بیانیه اولیه چشم انداز ۱۲۰
۳-۱-۲-۱۴- دریافت بازخورد از سایر مراحل ۱۲۰
۳-۱-۳- فرآیند تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۲۱
۳-۱-۳-۱- افق زمانی چشم انداز ۱۲۱
۳-۱-۳-۲- حوزه کاربرد و سطح رقابت پذیری ۱۲۱
۳-۱-۳-۳- نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی حاصل از توسعه فناوری ۱۲۲
۳-۱-۳-۴- اهداف ذکر شده در اسناد بالادستی ۱۲۲
۳-۱-۳-۵- حوزه فعالیت ۱۲۳
۳-۱-۳-۶- تحلیل نظرات خبرگان در ارتباط با بیانیه چشم انداز ۱۲۴
۳-۲- تعیین اهداف کلان توسعه فناوری ۱۲۷
۳-۲-۱- مقدمه ۱۲۷
۳-۲-۲- روش تدوین اهداف کلان ۱۲۷
۳-۲-۲-۱- مدل کارت امتیازی متوازن ۱۲۷
۳-۲-۲-۲- مدل پیرس و رابینسون ۱۲۸
۳-۲-۲-۳- مدل ترکیبی فیلیپس ۱۲۸
۳-۲-۲-۴- مدل اعرابی ۱۲۸
۳-۲-۲-۵- ویژگی‌های اهداف کلان ۱۲۸

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۳-۲-۲-۶- روش تدوین اهداف کلان توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۲۹
۳-۲-۳- فرآیند تدوین اهداف کلان توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۳۱
۳-۲-۳-۱- تحلیل نظرات خبرگان در ارتباط با ابعاد اهداف کلان..... ۱۳۱
۳-۲-۴- جمع‌بندی اهداف کلان..... ۱۳۲
۳-۳- تدوین راهبردهای توسعه فناوری..... ۱۳۲
۳-۳-۱- مقدمه..... ۱۳۲
۳-۳-۲- مرور ادبیات راهبرد توسعه فناوری..... ۱۳۳
۳-۳-۲-۱- مفاهیم و روش اولویت‌بندی فناوری..... ۱۳۳
۳-۳-۲-۲- اکتساب فناوری..... ۱۳۷
۳-۳-۳- راهبرد توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۳۸
۳-۳-۳-۱- رویکرد توسعه و اولویت‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۳۸
۳-۳-۳-۲- اولویت‌بندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی بر اساس شاخص‌های جذابیت و توانمندی..... ۱۳۹
۳-۳-۳-۳- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۰
۳-۳-۳-۴- ارزیابی جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۱
۳-۳-۳-۵- تحلیل نتایج جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۳
۳-۳-۳-۶- ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۴
۳-۳-۴- سبک اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۷
۳-۴- نتیجه‌گیری..... ۱۴۹
٤-تدوین نقشه راه و برنامه عملیاتی..... ۱۵۱
۴-۱- تدوین پروژه‌های اجرایی..... ۱۵۲
۴-۱-۱- مقدمه..... ۱۵۲
۴-۱-۲- روش تدوین نقشه راه..... ۱۵۳
۴-۱-۳- تدوین پروژه‌های اجرایی نقشه راه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۵۴
۴-۱-۳-۱- طراحی..... ۱۵۴
۴-۱-۳-۲- ساخت..... ۱۵۴
۴-۱-۳-۳- تعمیر،نگهداری و بهره‌برداری..... ۱۵۵
۴-۲- زمان‌بندی و بودجه‌ریزی..... ۱۵۵
۴-۳- تقسیم کار ملی..... ۱۵۶
۴-۳-۱- مقدمه..... ۱۵۶
۴-۳-۲- سیاستگذاری..... ۱۵۷
۴-۳-۲-۱- نگاه رو به جلو..... ۱۵۷
۴-۳-۲-۲- نگاه بیرون گرا..... ۱۵۷
۴-۳-۲-۳- نوآوری، انعطاف و خلاقیت..... ۱۵۸
۴-۳-۲-۴- رویکرد مبتنی بر شواهد..... ۱۵۸

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

۴-۳-۲-۵- فراگیر بودن..... ۱۵۸
۴-۳-۲-۶- پیوستگی و کل نگری..... ۱۵۹
۴-۳-۲-۷- یادگیری از تجربیات..... ۱۵۹
۴-۳-۲-۸- ارتباطات ۱۵۹
۴-۳-۲-۹- ارزیابی ۱۵۹
۴-۳-۲-۱۰- بازنگری ۱۵۹
۴-۳-۳- تنظیم ۱۶۰
۴-۳-۳-۱- فرمان و کنترل ۱۶۰
۴-۳-۳-۲- خود تنظیمی ۱۶۱
۴-۳-۳-۳- تنظیم مبتنی بر تشویق..... ۱۶۱
۴-۳-۳-۴- مکانیسم‌های مبتنی بر بازار ۱۶۲
۴-۳-۴- تسهیل کننده ۱۶۲
۴-۳-۵- ارائه دهنده کالا و خدمات..... ۱۶۳
۴-۳-۵-۱- ارائه کننده خدمات آموزشی و پژوهشی..... ۱۶۳
۴-۳-۵-۲- ارائه کننده خدمات صنعتی ۱۶۳
۴-۳-۶- نگاشت نهادی ۱۶۳
۴-۴- ترسیم رهنگاشت ۱۶۷
۴-۴-۱- مقدمه..... ۱۶۷
۴-۴-۲- رهنگاشت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۶۸
۵-تدوین برنامه ارزیابی و بروزرسانی ۱۷۰
۵-۱- شاخص‌های ارزیابی ۱۷۱
۵-۱-۱- مقدمه..... ۱۷۱
۵-۱-۲- فرآیند ارزیابی..... ۱۷۱
۵-۱-۲-۱- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی ۱۷۲
۵-۱-۳- شناسایی شاخص‌های ارزیابی..... ۱۷۲
۵-۱-۳-۱- شاخص‌های اهداف کلان..... ۱۷۳
۵-۱-۳-۲- شاخص‌های توسعه ساختار..... ۱۷۳
۵-۱-۳-۳- شاخص‌های تحقیق و توسعه ۱۷۳
۵-۲- تدوین ساختار نظارت، بروزرسانی و مکانیزم ارزیابی ۱۷۳
۵-۲-۱-۱- شرح وظایف کمیته آموزش ۱۷۴
۵-۲-۱-۲- شرح وظایف کمیته پژوهش ۱۷۴
۵-۲-۱-۳- شرح وظایف کمیته پشتیبانی..... ۱۷۵
۵-۲-۱-۴- مکانیزم عملکرد ۱۷۵
۵-۲-۱-۵- جمع‌بندی ۱۷۵

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

٦-مراجع فارسی ۱۷۷
۷-مراجع لاتین ۱۸۰

فهرست شکلها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۱-۱: نمای شماتیک یک پمپ چرخدندهای ۳
شکل ۱-۲: نمونهای از یک پمپ پیچی ۴
شکل ۱-۳: نمای شماتیک یک پمپ تیغهای ۴
شکل ۱-۴: انواع پمپهای رفت و برگشتی و نحوه جابجایی مایع در آنها ۵
شکل ۱-۵: نمای شماتیک یک پمپ خطی ۶
شکل ۱-۶: نمای شماتیک یک پمپ گریز از مرکز و مثلث سرعتها ۷
شکل ۱-۷: نمای شماتیک پروانه یک پمپ گریز از مرکز شعاعی و مثلث سرعتها ۸
شکل ۱-۸: نمای شماتیک پروانه یک پمپ گریز از مرکز محوری ۸
شکل ۱-۹: نمای شماتیک پروانه و پمپ مختلط ۹
شکل ۱-۱۰: منحنی مشخصه یک پمپ گریز از مرکز و محل تقاطع آن با منحنی سیستم ۱۰
شکل ۱-۱۱: منحنی انرژی یک پمپ گریز از مرکز ۱۰
شکل ۱-۱۲: منحنی بازده یک پمپ گریز از مرکز ۱۱
شکل ۱-۱۳: منحنی هد مثبت خالص مکش برای یک پمپ گریز از مرکز ۱۲
شکل ۱-۱۴: سهم پمپها و سایر تجهیزات مبتنی بر جابجایی سیال از برق مصرفی الکتروموتورهای صنعتی [2] ۱۳
شکل ۱-۱۵: شبیهسازی سه بعدی جریان سیال داخل پروانه یک پمپ [3] ۱۹
شکل ۱-۱۶: تست بالانس استاتیکی یک پمپ چند طبقه [5] ۲۱
شکل ۱-۱۷: علل ریشهای خرابی پمپهای گریز از مرکز در تأسیسات هستهای کشورهای OECD [8] ۲۹
شکل ۱-۱۸: حالتهای خرابی پمپهای بحرانی در یک پالایشگاه نفت عربستان [11] ۳۰
شکل ۱-۱۹: شماتیک نیروگاه آبادان و سنسورهای نصب شده ۳۳
شکل ۱-۲۰: سهم نیروگاههای مختلف در تولید ناویژه انرژی برق در سال ۱۳۹۵ [۶] ۳۴
شکل ۱-۲۱: درصد مصرف داخلی نیروگاههای کشور به تفکیک نوع نیروگاه [۶] ۳۵
شکل ۲-۱: پمپ دارای پوسته رینگی ۴۰
شکل ۲-۲: پمپ دوپوسته شامل پوسته رینگی داخلی و پوسته خارجی که لولههای مکش و رانش به آن متصل است ۴۰
شکل ۲-۳: پمپ دارای پوسته بازشو به صورت محوری با آرایش پروانههای پشت به پشت ۴۱
شکل ۲-۴: پمپ دیافراگمی بادی فلزی (سمت راست) و پلاستیکی (سمت چپ) ۴۶
شکل ۲-۵: اجزای تشکیل دهنده یک پمپ دوپیچ ۴۷
شکل ۲-۶: شمای کلی یک کنترل کننده الکتریکی موتور الکتریکی با سرعت متغیر ۴۹
شکل ۲-۷: نمودار تغییر لغزش ۵۱
شکل ۲-۸: منحنی افزایش ولتاژ برای جبران افت ولتاژ ۵۲
شکل ۲-۹: اصل فوئتینگر مبنای کوپلینگ هیدرودینامیکی: ۱- ایمپر (چرخ اول) ۲- سیال عامل در گردش ۳- چرخ توربین (چرخ دوم) ۵۳
شکل ۲-۱۰: نمای برش خورده نوع سادهای از درایورهای سرعت متغیر (کوپلینگ هیدرودینامیکی سرعت متغیر): ۱- ایمپلر (چرخ اول) ۲- چرخ توربین (چرخ دوم) ۳- پوسته ۴- محفظه ۵- مخزن روغن ۶- پمپ روغن ۷- مجرای اسکوپ ۸- خنک کن روغن ۵۴

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۲-۱۱: تحلیل داده‌های عملکردی پمپ توسط پمپ‌متر ساخت شرکت KSB ۵۶
شکل ۲-۱۲: محرک MyFlow به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که دبی عبوری از پمپ را با تنظیمات ساده‌ای کاهش و یا افزایش دهد ۵۷
شکل ۲-۱۳: طبقه‌بندی روش‌های پیش‌بینانه ۶۲
شکل ۲-۱۴: نمونه‌ای از تحلیل امضای جریان برق مصرفی موتور ۶۶
شکل ۲-۱۵: هفت لایه معماری سیستم باز در ساختار تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط ۶۹
شکل ۲-۱۶: دو مرحله اصلی فرآیند تشخیص عیب ۷۱
شکل ۲-۱۷: ساختار کلی تشخیص و جداسازی عیب ۷۲
شکل ۲-۱۸: روش‌های تشخیص عیب مبتنی بر مدل و مبتنی بر داده ۷۲
شکل ۲-۱۹: تشخیص عیب و پایش برخط (روشهای مبتنی بر FFT، LSE، NN و RLS) [37] ۷۳
شکل ۲-۲۰: بلوکهای ساختاری تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط، CM، RUL و SHM [42] ۷۴
شکل ۲-۲۱: دستهبندی و تعریف روشهای پیش آگهی، AI و RUL [42] ۷۵
شکل ۲-۲۲: پیشآگهی مبتنی بر مدل فیزیکی در پیشبینی عمر مفید باقیمانده ۷۸
شکل ۲-۲۳: پیشآگهی و فرآیند ارزیابی ۸۰
شکل ۲-۲۴: عمر مفید باقیمانده [46] ۸۰
شکل ۲-۲۵: روش‌های پیش‌آگهی ۸۱
شکل ۲-۲۶: روش مبتنی بر مدلسازی فیزیکی [48] ۸۳
شکل ۲-۲۷: روش مبتنی بر تجربه ۸۴
شکل ۲-۲۸: سنسور LiqTec گراندفوس به منظور خاموش کردن پمپ در حالت کارکرد خشک [52] ۹۳
شکل ۲-۲۹: رینگ آب بند معلق بین پوستهها در پمپ ساخت شرکت گراندفوس [52] ۹۴
شکل ۲-۳۰: پروانه Shurricane ساخت شرکت ابارا [55] ۹۵
شکل ۲-۳۱: مقایسه نیروی محوری در طراحیهای مختلف شراد پشت پروانه پمپهای عمودی [55] ۹۶
شکل ۲-۳۲: پیشبینی تقاضای انرژی اولیه کشورهای مختلف دنیا در سال ۲۰۳۵ میلادی [58] ۱۰۰
شکل ۲-۳۳: تعداد اختراعات پمپهای گریز از مرکز تک مرحلهای با مکش دوگانه طی دو دهه اخیر ۱۰۲
شکل ۲-۳۴: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای گریز از مرکز تک مرحلهای با مکش دوگانه ۱۰۲
شکل ۲-۳۵: تعداد اختراعات پمپهای گریز از مرکز چند مرحلهای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی طی دو دهه اخیر ... ۱۰۳
شکل ۲-۳۶: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای گریز از مرکز چند مرحلهای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی ۱۰۳
شکل ۲-۳۷: تعداد اختراعات پمپهای گریز از مرکز چند مرحلهای دارای پوسته بازشو به صورت محوری طی دو دهه اخیر .. ۱۰۴
شکل ۲-۳۸: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای گریز از مرکز چند مرحلهای دارای پوسته بازشو به صورت محوری ۱۰۴
شکل ۲-۳۹: تعداد اختراعات پمپهای گریز از مرکز مستغرق طی دو دهه اخیر ۱۰۵
شکل ۲-۴۰: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای گریز از مرکز مستغرق ۱۰۵
شکل ۲-۴۱: تعداد اختراعات پمپهای پیچی طی دو دهه اخیر ۱۰۶

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۲-۴۲: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای پیچی..... ۱۰۶
شکل ۲-۴۳: تعداد اختراعات پمپهای دیافراگمی طی دو دهه اخیر ۱۰۷
شکل ۲-۴۴: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای دیافراگمی..... ۱۰۷
شکل ۲-۴۵: تعداد اختراعات پمپهای دارای کوپلینگ طی دو دهه اخیر..... ۱۰۷
شکل ۲-۴۶: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپهای دارای کوپلینگ ۱۰۸
شکل ۲-۴۷: تعداد اختراعات کنترل پمپ با تغییر سرعت طی دو دهه اخیر..... ۱۰۸
شکل ۲-۴۸: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل پمپ با تغییر سرعت ۱۰۸
شکل ۲-۴۹: تعداد اختراعات کنترل شرایط مایع پمپ شونده..... ۱۰۹
شکل ۲-۵۰: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل شرایط مایع پمپ شونده ۱۰۹
شکل ۲-۵۱: تعداد اختراعات کنترل شرایط پمپ..... ۱۱۰
شکل ۲-۵۲: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل شرایط پمپ ۱۱۰
شکل ۳-۱: فرآیند تدوین چشم انداز..... ۱۱۹
شکل ۳-۲: فرآیند کلی تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی ۱۲۱
شکل ۳-۳: افق زمانی چشم انداز توسعه فناوری پمپ های نیروگاهی ۱۲۵
شکل ۳-۴: اولویت نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۲۶
شکل ۳-۵: ویژگی‌های اهداف کلان ۱۲۹
شکل ۳-۶: روش تدوین اهداف کلان..... ۱۳۰
شکل ۳-۷: قابلیت کاهش هزینه چرخه عمر طی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی..... ۱۳۱
شکل ۳-۸: قابلیت ارتقای راندمان مصرف انرژی طی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۳۲
شکل ۳-۹: قابلیت ارتقای ضریب دسترسی طی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۳۲
شکل ۳-۱۰: ارزیابی ماتریس جذابیت و توانمندی ۱۳۴
شکل ۳-۱۱: ماتریس قابلیت ـ جذابیت..... ۱۳۵
شکل ۳-۱۲: تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت و توانمندی ۱۳۶
شکل ۳-۱۳: چرخه عمر فناوری‌ها و راهبرد کسب فناوری ۱۳۹
شکل ۳-۱۴: ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۵
شکل ۳-۱۵: اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت ـ توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس ۱۴۵
شکل ۳-۱۶: تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی ۱۴۶
شکل ۳-۱۷: الگوریتم روش اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی..... ۱۴۹

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۱-۱: علائم و عوامل معمول در خرابی پمپ‌های گریز از مرکز [۵ و 7]..... ۲۶

جدول ۱-۲: علائم خرابی و شماره ردیف فهرست عوامل احتمالی آن در پمپ‌های جابجایی مثبت [۵]..... ۲۷

جدول ۱-۳: منشأ و عامل احتمالی خرابی در پمپ‌های جابجایی مثبت [۵]..... ۲۷

جدول ۱-۴: هفت عامل خرابی پمپ‌های گریز از مرکز در کارخانه‌های فرآیندی ایالات متحده [9] ۲۹

جدول ۱-۵: فهرست پمپ‌های نیروگاهی مورد نظر برای تدوین نقشه راه توسعه فناوری..... ۳۵

جدول ۱-۶: آمار واردات پمپ‌های صنعتنی در سال ۱۳۹۷ [12]..... ۳۶

جدول ۲-۱: مزایای محرک‌های سرعت متغیر هیدرولیکی ۵۴

جدول ۲-۲: انواع پمپ‌های نیروگاهی تولید شده توسط شرکت فلوسرو [51] ۹۲

جدول ۲-۳: خلاصه نتایج تحلیل اختراعات..... ۱۱۰

جدول ۲-۴: دادههای در دسترس به منظور شناسایی مشخصات و اجزای فناوری ۱۱۱

جدول ۳-۱: بررسی اسناد بالادستی ۱۲۲

جدول ۳-۲: جمعبندی ابعاد و گزینههای پیشنهادی در تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپهای نیروگاهی..... ۱۲۴

جدول ۳-۳: مشخصات پاسخ دهندگان به پرسشنامهها..... ۱۲۵

جدول ۳-۴: اولویت حوزه کاربرد و رقابت پذیری فناوری..... ۱۲۵

جدول ۳-۵: اولویت حوزه فعالیت در توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۲۶

جدول ۳-۶: وزن سؤالات پرسشنامه ارزیابی جذابیت توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی [۱۶]..... ۱۴۱

جدول ۳-۷: وزن سؤالات پرسشنامه ارزیابی توانمندی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی [۱۶]..... ۱۴۱

جدول ۳-۸: نتایج جذابیت توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۲

جدول ۳-۹: نتایج توانمندی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۲

جدول ۳-۱۰: نتایج توانمندی حوزه‌های توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۲

جدول ۳-۱۱: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۳

جدول ۳-۱۲: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۳

جدول ۳-۱۳: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت حوزه‌های توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۳

جدول ۳-۱۴: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی حوزه‌های توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۴

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۳-۱۵: روش اکتساب فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۴۹
جدول ۴-۱: عناوین طرحها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری طراحی پمپهای نیروگاهی ۱۵۵
جدول ۴-۲: عناوین طرحها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری ساخت پمپهای نیروگاهی ۱۵۵
جدول ۴-۳: عناوین طرحها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری تعمیر،نگهداری و بهرهبرداری از پمپهای نیروگاهی۱۵۵
جدول ۴-۴: نگاشت نهادی توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی.....۱۶۵
جدول ۴-۵: متولیان اقدامات غیرفنی در توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۶۶
جدول ۴-۶: رهنگاشت توسعه فناوری پمپهای نیروگاهی ۱۶۸
جدول ۵-۱: شاخصهای اهداف کلان در جهت تحقق چشمانداز ۱۷۳

مقدمه

گزارش حاصل مشتمل بر پنج فصل است. در فصل اول، ابعاد موضوع و محدوده مطالعات نقشه راه در راستای انجام فاز اول پروژه تدوین شده است. در این فصل ابتدا مقدمه‌ای درباره انواع پمپ‌ها بیان شده و سپس کاربرد پمپ‌ها در صنعت نیروگاهی و وضعیت سیستم‌های پمپاژ در داخل کشور از منظر ساخت، تست، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس محدوده موضوعی و افق زمانی مدنظر این نقشه راه به منظور بررسی و تحلیل تحولات فناوری و نیز برنامه‌ریزی جهت توسعه فناوری، تعیین شده است.

در این فصل دوم، حوزه‌های فناورانه پمپ شامل تاریخچه توسعه فناوری، زمینه‌های توسعه فناوری و سازندگان مطرح پمپ در عرصه داخلی و خارجی مورد شناسایی قرار گرفت. سپس با استفاده از گزارش‌های موجود در خصوص وضعیت آینده پمپ‌ها و نیز تحلیل اختراعات، آینده پژوهی فناوری انجام شد و در نهایت فناوری‌های مورد نظر جهت تدوین چشم‌انداز توسعه فناوری مشخص گردید.

در فصل سوم ابتدا تدوین چشم‌انداز فناوری با ترسیم دورنمایی از اهداف در افق زمانی تحلیل صورت گرفته است. سپس اهداف کلان به منظور شفاف نمودن مسیر رسیدن به چشم‌انداز طرح گردیده و در ادامه راهبردهای توسعه فناوری مشخص گردیده است. در نهایت نتایج این فاز درج شده است.

در فصل چهارم ابتدا تدوین پروژه‌های اجرایی صورت گرفته است. سپس زمانبندی و بودجه‌ریزی تخمینی مورد نیاز برای انجام پروژه‌ها طرح گردیده و در ادامه نگاشت نهادی و تقسیم کار ملی مشخص گردیده است. در نهایت در این فصل رهنگاشت ترسیم شده است.

در فاز پنجم (نهایی) گزارش، شاخص‌های ارزیابی تعیین و ساختار نظارت، بروزرسانی و مکانیزم ارزیابی تدوین شده است.

DOI:

۱- تدوین مبانی نقشه راه فناوری طراحی، ساخت، تست، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های صنعت آب و برق

۱-۱-مقدمه

در این فصل ابتدا تعریفی از پمپ ارائه شده و سپس دو دسته‌بندی کلی پمپ‌ها یعنی پمپ‌های جابجایی مثبت و پمپ‌های گریز از مرکز معرفی شده‌اند. هر کدام از این دو دسته پمپ خود شامل انواع مختلفی هستند که در این فصل شرح داده خواهد شد.

۱-۲-پمپ و مفاهیم اولیه مربوط به آن

۱-۲-۱- تعریف پمپ

پمپ وسیله‌ای برای جابجایی مکانیکی یا فیزیکی مایعات است. پمپ این کار را با دریافت انرژی مکانیکی از یک منبع خارجی و انتقال آن به سیالی که از آن عبور می‌کند، انجام میدهد. این منبع انرژی خارجی ممکن است الکتروموتور، موتور و یا انرژی بادی باشد. در نتیجه کار پمپ، انرژی سیال پس از خروج از پمپ افزایش می‌یابد. در پمپ‌ها تغییرات انرژی سیال عمدتاً به صورت تغییر فشار سیال مشاهده می‌گردد. اندازه پمپها از ابعاد میکروسکوپی برای کاربردهای پزشکی تا ابعاد بزرگ صنعتی متغیر است. کاربردهای پمپ‌ها نیز بسیار گسترده است که از آن جمله میتوان به بیرون کشیدن آب از چاه در کشاورزی، خنک کردن آب و تزریق سوخت در خودرو، تزریق نفت و گاز و چرخش آب در برج خنک‌کن در نیروگاهها و ... اشاره نمود [1].

۱-۲-۲- انواع پمپ

پمپ‌ها انواع متعددی دارند اما به طور کلی می‌توان آنها را به دو دسته کلی پمپ‌های جابجایی مثبت[1] و پمپ‌های گریز از مرکز[2] تقسیم کرد. در ادامه درباره این دو دسته‌بندی توضیحات بیشتری ارائه شده است.

۱-۲-۲-۱- پمپ‌های جابجایی مثبت

این پمپها مقدار مشخصی از سیال را به دام انداخته و آن را وادار به حرکت به سمت لوله تخلیه میکنند. یک پمپ جابجایی مثبت دارای یک حفره منبسط شونده در بخش مکش و یک حفره منقبض شونده در بخش تخلیه است. با انبساط حفره در سمت مکش، مایع به پمپ وارد شده و با انقباض حفره در بخش تخلیه، از آن خارج می‌شود.

در این پمپ‌ها حجم جابجا شده به فشار تخلیه بستگی نداشته و در هر چرخه کاری ثابت است. به همین دلیل دبی این پمپ‌ها در یک سرعت دورانی مشخص، ثابت است. البته در عمل فشار زیاد باعث افزایش نشتی داخلی شده و دبی پمپ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در قسمت تخلیه پمپ‌های جابجایی مثبت نباید شیر بسته باشد. چرا که باعث ترکیدگی خط لوله و یا وارد آمدن آسیب جدی به پمپ خواهد شد. به همین دلیل استفاده از یک شیر اطمینان در قسمت تخلیه ضروری است.

[1] Positive displacement pumps

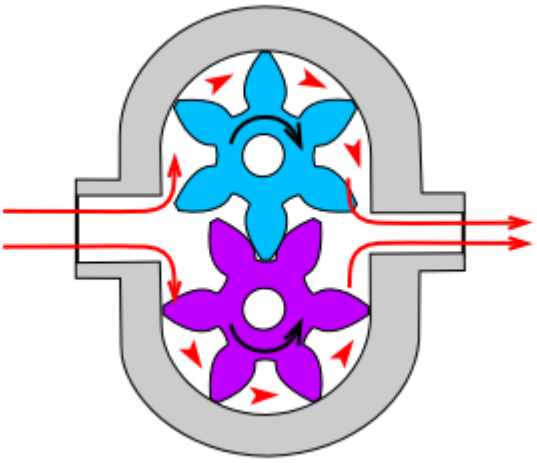
[2] Centrifugal pumps

طبقه‌بندی پمپ‌های جابجایی مثبت بر اساس روش جابجا کردن سیال انجام می‌شود که در ادامه به انواع آن اشاره خواهد شد.

- **پمپ‌های چرخشی[1]**

پمپ‌های جابجایی مثبت چرخشی، سیال را با چرخش حرکت میدهند. خلأ ایجاد شده توسط چرخش پمپ، مایع را به درون پمپ می‌کشد. کارایی این پمپ‌ها بسیار بالاست چرا که خود این پمپ‌ها به صورت طبیعی هوا را از خطوط لوله خارج می‌کنند و نیازی به تخلیه جداگانه هوا وجود ندارد. این پمپ‌ها البته نقاط ضعفی نیز دارند. به دلیل ماهیت آنها، لقی بین محور و پوسته پمپ میبایست بسیار کوچک باشد. به همین دلیل سرعت چرخش آن‌ها می‌بایست نسبتاً کم باشد. اگر سرعت پمپ‌های جابجایی مثبت چرخشی بالا باشد، ممکن است جریان سیال باعث سایش تدریجی پوسته پمپ شود. این سایش باعث افزایش لقی[2] شده و به مایع امکان لغزش داده و باعث کاهش کارایی پمپ می‌گردد. پمپ‌های جابجایی مثبت چرخشی خود شامل سه دسته اصلی هستند.

اولین دسته پمپ‌های چرخنده‌ای[3] می‌باشد. این پمپ‌ها ساده‌ترین نوع پمپ‌های چرخشی هستند. جهت چرخش این چرخنده‌ها خلاف یکدیگر است به طوری که در قسمت مکش سبب به دام افتادن مایع میان دندانه‌ها و پوسته بیرونی شده و در قسمت تخلیه مایع را از پمپ خارج می‌سازد. در شکل زیر نمای شماتیک این پمپ نشان داده شده است. اگر تعداد دندانه‌ها زیاد و ابعاد آنها کوچک باشد دبی به صورت پایدار و ثابت خواهد بود. اما اگر دندانه‌ها بزرگ و تعداد آن‌ها کم باشد جریان مایع در قسمت تخلیه به حالت ضربانی تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۱: نمای شماتیک یک پمپ چرخنده‌ای

دسته دوم پمپ‌های پیچی[4] هستند. این پمپ‌ها نسبت به پمپ‌های چرخنده‌ای پیچیده‌تر بوده و به صورت دو یا سه پیچ با رزوه‌هایی در جهت مخالف یکدیگر ساخته می‌شوند. جهت چرخش این پیچ‌ها نیز خلاف یکدیگر است. هر پیچ بر روی یک شفت سوار می‌شود. شفت‌ها با هم موازی بوده و به وسیله چرخنده‌هایی که بین آن‌ها قرار گرفته است در کنار یکدیگر و به

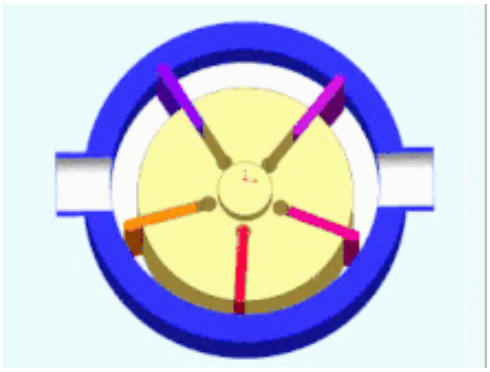
[1] Rotary pumps
[2] Clearance
[3] Gear pumps
[4] Screw pumps

صورت همزمان به گردش در می‌آیند. چرخش پیچ‌ها در خلاف جهت یکدیگر باعث مکش مایع به داخل پمپ و حرکت در فضای میان رزوه‌ها و در نهایت تخلیه مایع می‌شود. مانند دیگر پمپ‌های چرخشی، لقی بین اجزای متحرک پمپ و پوسته در این نوع پمپ بسیار کوچک است.



شکل ۱-۲: نمونه‌ای از یک پمپ پیچی

دسته سوم، پمپ‌های تیغه‌ای هستند. در این پمپ‌ها روتور به صورت یک استوانه است که داخل پوسته استوانه‌ای به صورت غیرهم‌مرکز قرار گرفته است. هنگام چرخش روتور، تیغه‌های متصل به آن مایع را بین روتور و پوسته به دام انداخته و آن را به سمت خروجی هدایت می‌کنند. در شکل زیر نمای شماتیک این پمپ نشان داده شده است.



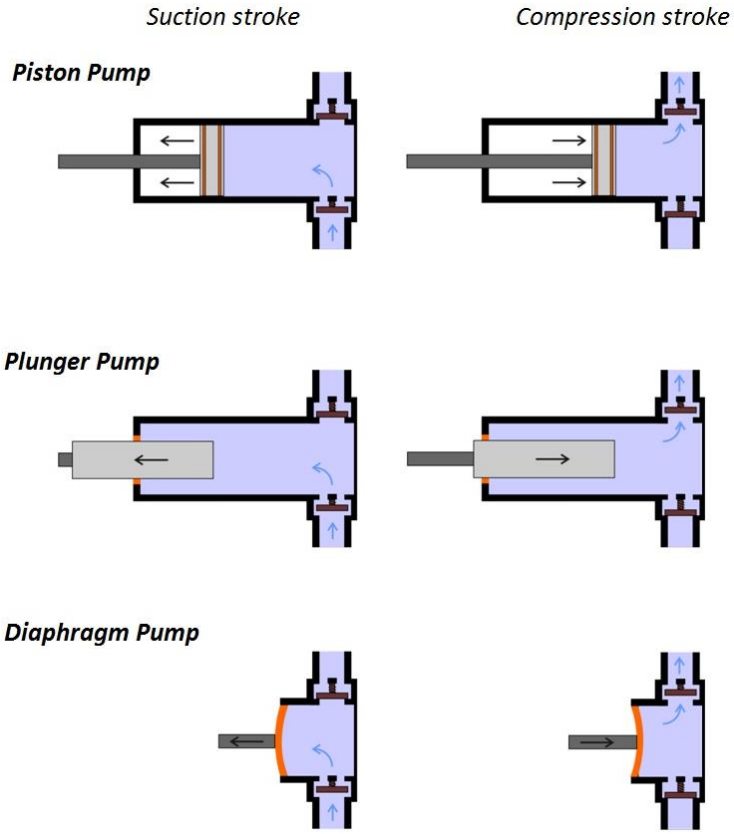
شکل ۱-۳: نمای شماتیک یک پمپ تیغه‌ای

- **پمپ‌های رفت و برگشتی[1]**

در این نوع از پمپ‌های جابجایی مثبت، از حرکت نوسانی یک یا چند پیستون، پلانجر[2] و یا دیافراگم برای مکش و تخلیه مایع استفاده می‌شود. در ساختمان این پمپ‌ها شیرهای یک‌طرفه به منظور محدود کردن حرکت سیال در جهت مطلوب تعبیه شده‌اند. هنگام مکش، پیستون یا پلانجر به سمت بیرون حرکت می‌کند تا فشار محفظه پمپ کاهش یابد. با حرکت مجدد پیستون یا پلانجر به سمت داخل، فشار محفظه افزایش یافته و شیر تخلیه باز شده و مایع محبوس در محفظه با سرعت تخلیه می‌شود. پمپ‌های رفت و برگشتی ممکن است شامل یک یا چند محفظه باشد. همچنین ممکن است فرآیند مکش و تخلیه در آن‌ها در هر دو جهت حرکت پیستون یا پلانجر انجام پذیرد. در حال حاضر از پمپ پیستونی برای پمپاژ

[1] Reciprocating pumps
[2] Plunger

سیالات دارای ویسکوزیته بالا مانند سیمان یا نفت سنگین و در شرایط خاصی که دبی کم و مقاومت در برابر هد زیاد باشد استفاده می‌شود. به منظور حفظ راندمان این پمپ‌ها لازم است شیرهای آن به طور مرتب بازرسی و در صورت نیاز تعمیر شوند.



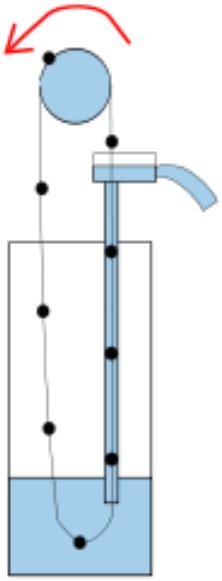
شکل ۱-٤: انواع پمپ‌های رفت و برگشتی و نحوه جابجایی مایع در آن‌ها

- **پمپ‌های خطی[1]**

این نوع پمپ‌ها که بعضاً به پمپ زنجیری[2] نیز معروف هستند، دارای ساختار ساده‌ای مشتمل بر یک زنجیر است که بر روی آن در فواصل مساوی دیسک‌هایی نصب شده است. یک قسمت از این زنجیر در مخزن مایعی که قرار است پمپ شود قرار گرفته است. با کشیده شدن این زنجیر از داخل یک لوله که قطر آن اندکی بیش از قطر دیسک‌های متصل به زنجیر است، مایع بین دیسک‌ها حبس شده و جابجا می‌شود. در شکل زیر نمای شماتیک پمپ خطی نشان داده شده است [1].

[1] Linear-type pumps
[2] Chain Pump

DOI:



شکل ۱-۵: نمای شماتیک یک پمپ خطی

۲-۲-۱-۲- پمپ‌های گریز از مرکز

در این پمپ‌ها با افزایش سرعت سیال، انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. سپس در اثر فرم دیفیوزر پوسته پمپ، هد جنبشی مجدداً به هد فشاری تبدیل شده و خود را به صورت افزایش فشار و کاهش سرعت در قسمت تخلیه پمپ نشان می‌دهد. تبدیل انرژی جنبشی به فشار را می‌توان با استفاده از قانون اول ترمودینامیک یا در واقع قانون برنولی بیان نمود. تفاوت اصلی پمپ‌های گریز از مرکز با پمپ‌های جابجایی مثبت در نحوه عملکرد آن‌ها هنگام بسته بودن شیر است. همان طور که گفته شد در پمپ‌های جابجایی مثبت مایع به صورت فیزیکی جابجا می‌شود. به همین دلیل با بسته بودن شیر در خروجی پمپ، فشار به صورت مداوم افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به وارد آمدن آسیب به خط لوله یا پمپ خواهد شد. اما پمپ‌های گریز از مرکز قابلیت کار در حالت بسته بودن شیر خروجی را (لااقل برای یک مدت زمان کوتاه) دارا می‌باشند. پمپ‌های گریز از مرکز به علت شکل ساده ساختمانی، نسبت پایین حجم به قدرت مصرفی و تنوع فراوان موارد مصرف، نسبت به سایر پمپ‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. ساختمان اصلی این پمپ‌ها شامل اجزای زیر است:

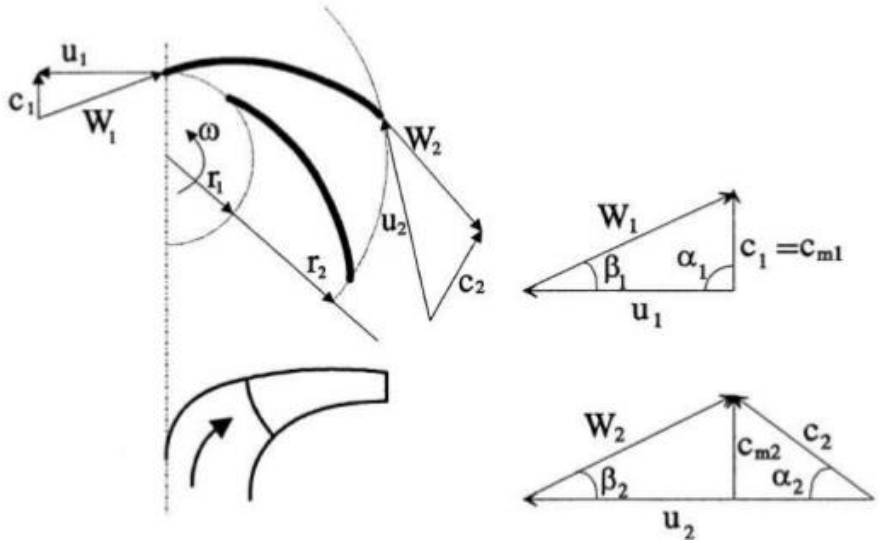
- پخش کننده[1]: که وظیفه اصلی آن هدایت سیال از محیط خارج تا ورود به پمپ است.
- یک یا چند پروانه[2]: که هر یک دارای تعدادی پره می‌باشند. انتقال انرژی به سیال در این قسمت انجام می‌شود.
- دیفیوزر[3]: که مقداری از انرژی جنبشی سیال را به انرژی پتانسیل تبدیل می‌کند.
- جمع کننده یا حلزونی[4]: که در ضمن، پوسته پمپ را تشکیل می‌دهد. سیال پس از خروج از دیفیوزر وارد این قسمت شده و سپس به خارج از پمپ هدایت می‌گردد.

---

[1] Distributer
[2] Impeller
[3] Diffuser
[4] Volute

لازم به ذکر است که در همه پمپ‌ها، قسمت دیفیوزر لزوماً به صورت یک قسمت مستقل وجود ندارد و در بسیاری از مواقع این قسمت حذف می‌گردد.

در شکل زیر چرخ یک پمپ گریز از مرکز به عنوان نمونه نشان داده شده است. سیال با سرعت مطلق C_1 تحت زاویه مطلق α_1 وارد چرخ می‌شود. چرخ نیز با سرعت دورانی ω در حال چرخش است. مقدار سرعت محیطی چرخ در ورود U_1 از رابطه $U_1 = R_1 \frac{2\pi\omega}{60}$ به دست می‌آید و راستای آن عمود بر شعاع چرخ است. سیال نسبت به چرخ نیز دارای سرعت نسبی W است که زاویه آن با فرض موازی بودن خطوط جریان سیال با امتداد پره‌ها برابر β_1، یعنی زاویه ورودی پره می‌باشد. (زاویه بین مماس بر پره و جهت مخالف سرعت محیطی U، زاویه پره نامیده می‌شود که در شکل برابر با β_1 و β_2، به ترتیب در ورود و خروج، نشان داده شده است.) سه بردار C_1، U_1 و W_1 مثلثی تشکیل می‌دهند که به نام مثلث سرعت‌ها معروف است.



شکل ۱-٦: نمای شماتیک یک پمپ گریز از مرکز و مثلث سرعت‌ها

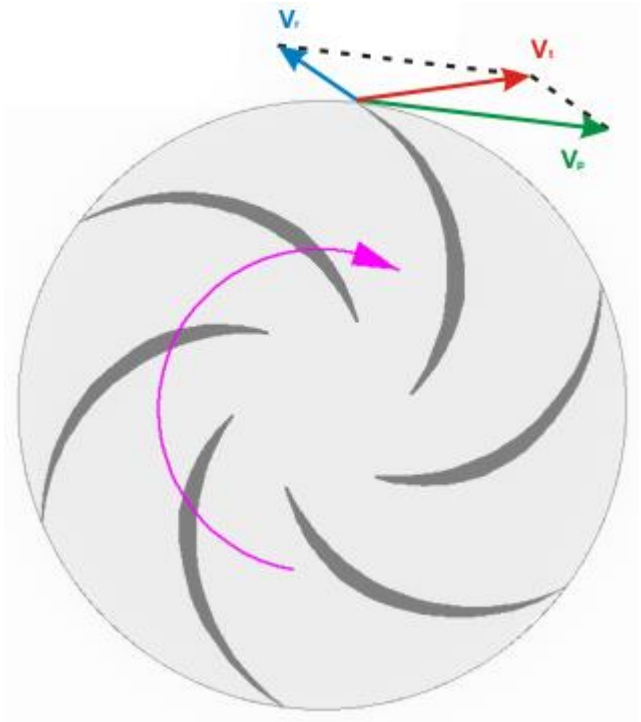
مثلث سرعت‌ها را می‌توان در هر نقطه از مسیر حرکت سیال رسم نمود ولی دو مثلث سرعت‌ها در ورود و خروج چرخ از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. عملاً قدرت منتقل شده از چرخ به سیال با توجه به این دو مثلث به دست می‌آید. تصاویر سرعت مطلق در امتداد سرعت محیطی U با C_U و عمود بر آن با C_m نشان داده می‌شود که به ترتیب اولی نماینده گشتاور منتقل شده و دومی نشان دهنده دبی عبوری از چرخ است.

پمپ‌های گریز از مرکز معمولاً به سه دسته شعاعی، محوری و مختلط تقسیم‌بندی می‌شوند [۱].

- **پمپ‌های شعاعی[1]**

در پمپ‌های گریز از مرکز شعاعی، مایع در راستای محور دوران وارد پمپ شده و در اثر چرخش پروانه، سرعت آن افزایش می‌یابد. سپس در جهت شعاعی و با زاویه مناسبی که در طراحی در نظر گرفته شده است خارج می‌شود. در شکل ۱-۷ نمای شماتیک پروانه یک پمپ گریز از مرکز شعاعی همراه با مثلث سرعت نشان داده شده است.

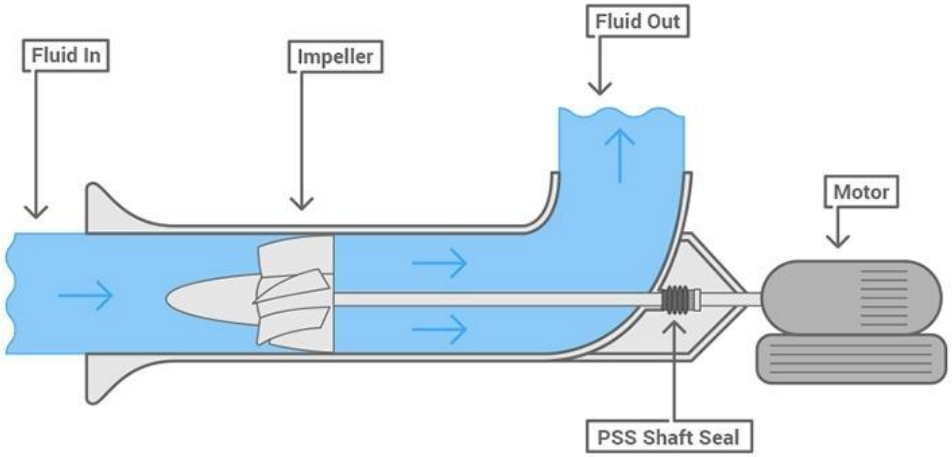
[1] Radial-flow pumps



شکل ۱-۷: نمای شماتیک پروانه یک پمپ گریز از مرکز شعاعی و مثلث سرعت‌ها

- **پمپ‌های محوری**[1]

تفاوت پمپ‌های محوری با پمپ‌های شعاعی در این است که در پمپ‌های محوری جهت ورود و خروج جریان یکسان و در راستای محور دوران پمپ می‌باشد. پمپ‌های محوری معمولاً دبی بیشتری نسبت به پمپ‌های شعاعی دارند اما فشار آن‌ها بسیار پایین‌تر است.

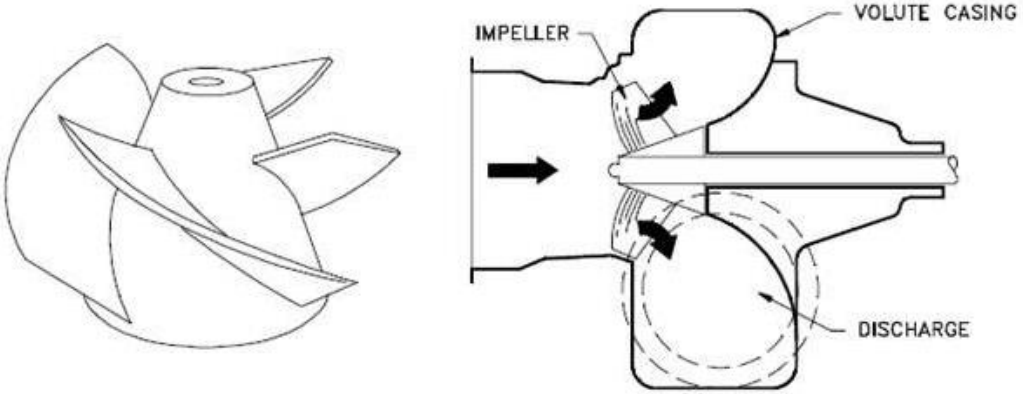


شکل ۱-۸: نمای شماتیک پروانه یک پمپ گریز از مرکز محوری

[1] Axial-flow pumps

- **پمپ‌های مختلط[1]**

علاوه بر پمپ‌های شعاعی و محوری، پمپ‌های مختلط نیز وجود دارند که در آن‌ها زاویه خروج جریان نسبت به محور دوران چیزی بین صفر تا ۹۰ درجه می‌باشد. به همین دلیل پمپ‌های مختلط نسبت به پمپ‌های محوری در فشار بیشتری کار می‌کنند. همچنین دبی آن‌ها نسبت به پمپ‌های شعاعی بیشتر است [۱].



شکل ۱-۹: نمای شماتیک پروانه و پمپ مختلط

۳-۲-۱- عملکرد پمپ

برای استفاده از پمپ، دسترسی به اطلاعاتی در زمینه قدرت و توان پمپ، اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل، کارخانه‌های پمپ‌سازی، آزمایش‌هایی را بر روی پمپ‌های تولیدی خود انجام داده و نمودارهای عملکرد پمپ را با استفاده از این آزمایش‌ها، رسم می‌کنند. معمولاً، منحنی‌های عملکرد پمپ‌ها در یک دور خاص (۱۴۵۰ دور در دقیقه یا ۲۹۰۰ دور در دقیقه) رسم می‌گردد. لازم به ذکر است که منحنی‌های عملکرد عمدتاً برای پمپ‌های گریز از مرکز ارائه می‌شوند. در ادامه مهمترین منحنی‌های عملکرد پمپ و نیز مفهوم نقطه کار پمپ به صورت مختصر شرح داده شده است.

۱-۳-۲-۱- منحنی مشخصه پمپ

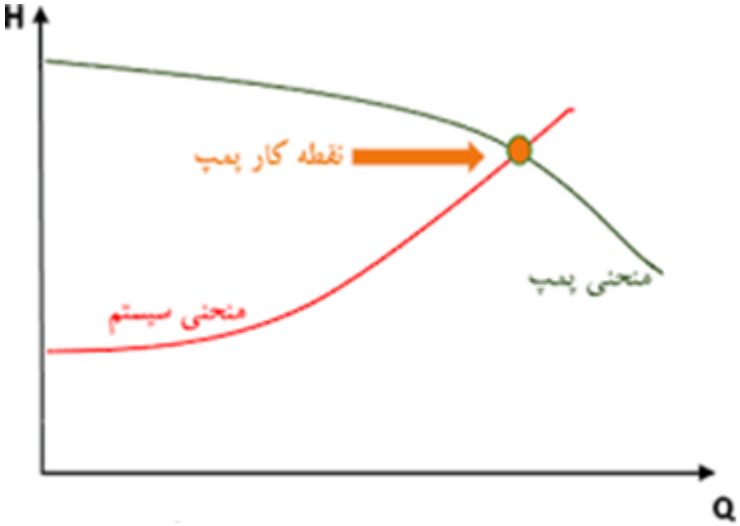
این منحنی که ارتفاع آب‌دهی یا هد پمپ (H) را بر حسب دبی پمپ (Q) نشان می‌دهد. هد پمپ طبق تعریف مقدار انرژی مفیدی است که توسط پمپ به واحد وزن سیال منتقل می‌شود. این کمیت مستقل از وزن مخصوص سیال است. به این معنی که یک پمپ در سرعت دورانی ثابت، ارتفاع مساوی برای تمامی سیالات بدون توجه به وزن مخصوص آن‌ها تولید می‌نماید. با استفاده از منحنی مشخصه پمپ و با در نظر گرفتن مشخصات فشار و دبی مورد نیاز، می‌توان مناسب‌ترین پمپ را انتخاب نمود. منحنی مشخصه پمپ‌های گریز از مرکز در حالت کلی به صورت سهمی بوده و معمولاً نقطه ماکزیمم آن بر روی محور هد (H) قرار گرفته و یا به آن بسیار نزدیک است.

عملکرد پمپ در یک سیستم پمپاژ علاوه بر منحنی مشخصه پمپ به منحنی دیگری نیز وابسته است که به آن منحنی سیستم یا منحنی مقاومت مدار گفته می‌شود. هد مقاومت مدار شامل تغییرات هد کل سیال از ابتدا تا انتهای مدار (برای مدار

[1] Mixed-flow pumps

DOI:

بسته مساوی با صفر) به اضافه افت هد در مدار می‌باشد. محل برخورد منحنی مشخصه با منحنی سیستم (مقاومت مدار)، نقطه کاری یک پمپ در یک مدار خاص را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۰: منحنی مشخصه یک پمپ گریز از مرکز و محل تقاطع آن با منحنی سیستم

۱-۲-۳-۲- منحنی مصرف یا انرژی پمپ

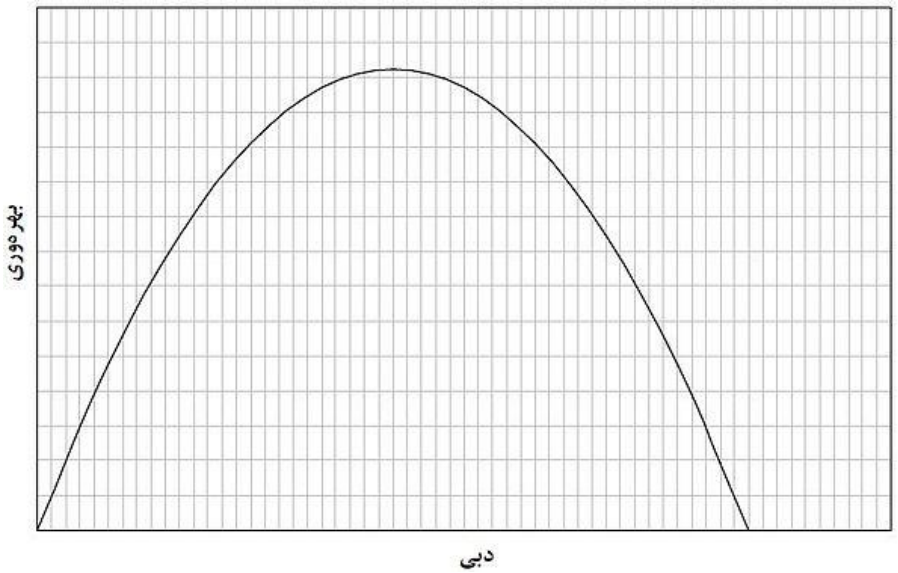
این منحنی که توان مصرفی (P) را بر حسب دبی نشان می‌دهد، با توجه به الگوی دبی و فشار متناسب با آن رسم می‌شود. در پمپ‌های گریز از مرکز، منحنی انرژی صعودی است. به این معنی که با افزایش دبی، مصرف انرژی پمپ بیشتر خواهد شد.



شکل ۱-۱۱: منحنی انرژی یک پمپ گریز از مرکز

۳-۳-۲-۱- منحنی بازده پمپ

بازده یا راندمان پمپ (η) به صورت نسبت توان مفید (توانی که به وسیله پمپ به سیال داده می‌شود) به توان مصرفی یا توان روی محور (توانی که موتور روی محور پمپ قرار می‌دهد) تعریف می‌شود. اختلاف ناشی از توان مصرفی و توان مفید ناشی از تلفات مختلف نظیر تلفات هیدرولیکی و مکانیکی در داخل پمپ می‌باشد. منحنی راندمان پمپ بر حسب دبی نشان داده شده و معمولاً به صورت سهمی شکل است. به این معنی که در مقدار دبی معینی، پمپ بیشترین بهره‌وری را از نظر مصرف انرژی خواهد داشت. معمولاً سعی بر این است که نقطه کار پمپ در حوالی نقطه ماکزیمم راندمان باشد.



شکل ۱-۱۲: منحنی بازده یک پمپ گریز از مرکز

۴-۳-۲-۱- کاویتاسیون و منحنی هد مثبت خالص مکش (NPSH) پمپ

هر مایعی بسته به فشاری که در آن قرار دارد در دمای معینی تبخیر می‌شود. هر گاه در حین جریان مایع داخل پروانه یک پمپ، فشار از فشار تبخیر مایع در دمای مربوطه کمتر شود، حباب‌های بخاری به وجود می‌آید که به همراه مایع به نقطه‌ای دیگر با فشار بالاتر حرکت می‌نمایند. اگر در محل جدید فشار مایع به اندازه کافی زیاد باشد، حباب‌های بخار در این محل تقطیر شده و در نتیجه ذراتی از مایع از مسیر اصلی خود منحرف شده و با سرعت‌های فوق العاده زیاد به اطراف و ازجمله پره‌ها برخورد می‌نمایند.

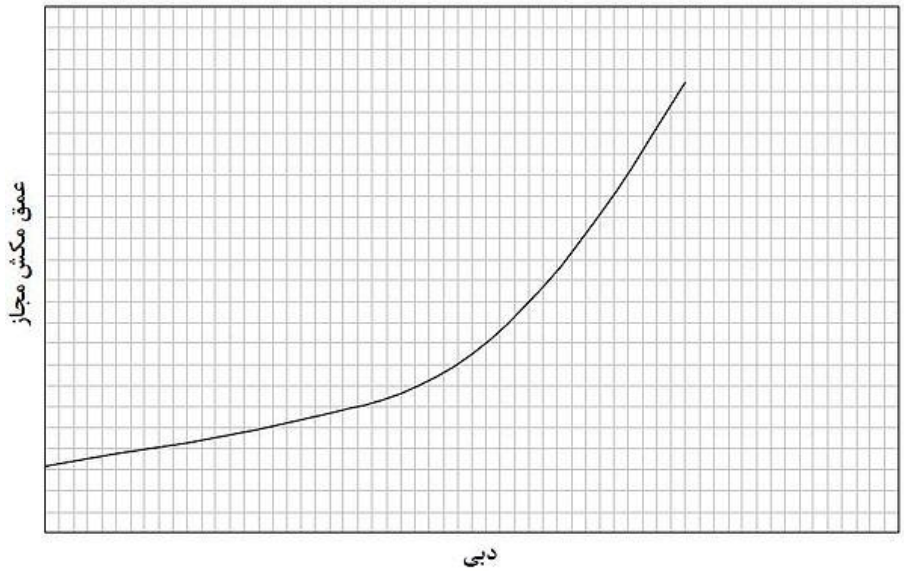
در چنین مکانی بسته به شدت برخورد، سطح پره‌ها خورده شده و متخلخل می‌گردد. این پدیده را کاویتاسیون می‌نامند. پدیده کاویتاسیون برای پمپ بسیار خطرناک بوده و ممکن است پس از زمانی کوتاه پروانه پمپ از بین برود. لذا باید از به وجود آمدن چنین پدیده‌ای جلوگیری به عمل آید.

در پمپ‌های گریز از مرکز به هنگام ورود مایع به داخل پروانه، به علت افزایش سرعت، فشار به صورت موضعی پایین می‌آید و در نقطه‌ای نزدیک به دهانه ورودی پروانه، به حداقل خود می‌رسد. اگر در این نقطه (نقطه حداقل فشار) فشار مایع از فشار بخار بیشتر باشد، مایع در طول حرکت خود در داخل پروانه، همواره در یک فاز باقی مانده و پدیده کاویتاسیون به وجود نخواهد آمد.

به منظور حصول اطمینان از عدم وقوع کاویتاسیون، کمیتی به نام حداقل هد مثبت خالص مکش ($NPSH_R$) به صورت اختلاف حداقل هد کل سیال لازم در دهانه ورودی پمپ (برای جلوگیری از وقوع کاویتاسیون) و هد فشار بخار سیال در دمای مربوطه تعریف می‌شود:

$$NPSH_R = \frac{p_{0_{min}}}{\rho g} + \frac{{V_0}^2}{2g} - \frac{p_V}{\rho g} \qquad ۱-۱$$

که در معادله فوق $p_{0_{min}}$ حداقل فشار استاتیک سیال در دهانه پمپ برای جلوگیری از وقوع کاویتاسیون، V_0 سرعت سیال در دهانه مکش پمپ و p_V فشار بخار سیال در دمای مربوطه می‌باشد. منحنی حداقل هد مثبت خالص مکش ($NPSH_R$) بر حسب دبی رسم می‌شود که برای اغلب پمپ‌های گریز از مرکز صعودی است. یعنی با افزایش دبی، $NPSH_R$ نیز افزایش می‌یابد و احتمال کاویتاسیون بیشتر می‌شود [۱].

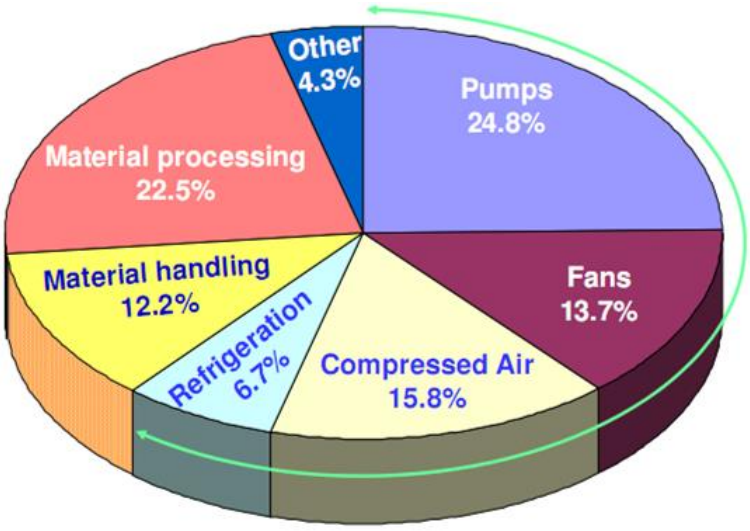


شکل ۱-۱۳: منحنی هد مثبت خالص مکش برای یک پمپ گریز از مرکز

۱-۳-وضعیت سیستم‌های پمپاژ

۱-۳-۱- مقدمه

سیستم‌های پمپاژ تا ۳۰ درصد از کل برق مصرفی توسط موتورهای الکتریکی صنعتی را به خود اختصاص می‌دهند. به عنوان مثال در ایالات متحده سهم پمپ‌ها از کل برق مصرفی توسط موتورهای الکتریکی صنعتی حدود ۲۵ درصد و مجموع سهم پمپ‌ها، فن‌ها، کمپرسورها و تجهیزات سردسازی حدود ۶۰ درصد است [2].



شکل ۱-۱٤: سهم پمپ‌ها و سایر تجهیزات مبتنی بر جابجایی سیال از برق مصرفی الکتروموتورهای صنعتی [2]

با توجه به این آمار می‌توان به جایگاه و اهمیت پمپ‌ها در صنعت پی برد. یکی از صنایعی که در آن پمپ‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند صنعت نیروگاهی است. در بخش‌های بعدی این فصل موارد کاربرد پمپ‌ها در این صنعت به تفکیک نیروگاه‌های حرارتی (سیکل بخار و سیکل گاز) و نیروگاه‌های برق‌آبی تشریح شده است. پس از آن وضعیت سیستم‌های پمپاژ در داخل کشور از منظر ساخت، تست و تعمیر و نگهداری مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲-۳-۱- کاربرد پمپ در نیروگاه

در این بخش ابتدا کاربرد پمپ‌های اصلی و مهم در نیروگاه‌های حرارتی (چرخه ترکیبی، بخار و گاز) مورد بررسی قرار گرفته است. از آن جا که اشتراکات و مشابهت‌های فراوانی میان پمپ‌های به کار رفته در انواع نیروگاه‌های حرارتی وجود دارد، به جای نوع نیروگاه، چرخه‌ها یا زیرسیستم‌های نیروگاه حرارتی مبنای دسته‌بندی پمپ‌ها از نظر کاربرد قرار گرفت. این زیرسیستم‌ها شامل سیکل بخار (در نیروگاه بخار یا چرخه ترکیبی)، سیستم خنک‌کن اصلی (در نیروگاه بخار یا چرخه ترکیبی)، سیستم خنک‌کن کمکی (در همه نیروگاه‌های حرارتی)، سیستم سوخت‌رسانی (در همه نیروگاه‌های حرارتی)، سیستم روغن‌کاری توربین (در نیروگاه چرخه ترکیبی یا نیروگاه گازی) و فرآیندهای شیمیایی (در همه نیروگاه‌های چرخه ترکیبی و بخار) می‌باشد.

همچنین با توجه به تفاوت ماهیت نیروگاه‌های برق‌آبی با نیروگاه‌های حرارتی، پمپ‌های پرکاربرد این نوع نیروگاه‌ها به صورت جداگانه معرفی شده‌اند.

۱-۲-۳-۱- پمپ‌های سیکل بخار

- **پمپ تخلیه آب کندانسور[1]**

[1] Condensate Extraction Pump (CEP)

در خروجی کندانسور، پمپ یا پمپ‌هایی برای تخلیه آب از چاهک کندانسور به سمت هوازدا[1] قرار می‌گیرند. در سیستم‌هایی که فاقد هوازدا هستند پمپ‌های منبع کندانس می‌توانند نقش پمپ‌های تغذیه را هم بازی کنند مشروط بر این که از نظر فشار، دما و آبدهی از کیفیت لازم برخوردار باشند. با توجه به این که ورودی این پمپ‌ها از کندانسور بوده و کندانسور نیز همیشه تحت خلأ می‌باشد، بحث کاویتاسیون در این پمپ‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این پمپ‌ها معمولاً از نوع عمودی معلق چند طبقه (نوع VS6 بر اساس استاندارد API 610) ساخته می‌شوند.

- **پمپ آب تغذیه بویلر[2]**

یکی از مهمترین و بزرگترین پمپ های نیروگاه پمپ آب تغذیه بویلر می باشد که باید بتواند آب تغذیه سیکل را با فشار مناسب به بویلر برساند (معمولاً پمپ آب تغذیه بیش از یکی بوده و یکی از آن ها به صورت ذخیره در سیستم می‌باشد) این پمپ‌ها معمولاً دارای چندین مرحله از نوع سانتریفوژ بوده که در هر مرحله فشار را تا اندازه‌ای بالا می‌برد و در انتها فشار خروجی از پمپ به نحوی است که علاوه بر افت فشار در مسیر تا درام، فشار لازم و تنظیم شده‌ای را در درام می‌دهد. در بعضی نیروگاه‌ها که بویلر فشار بالایی لازم داشته باشد فشار اولیه (مکش) پمپ تغذیه بویلر را پمپ دیگری تأمین کرده که بوستر پمپ نامیده می‌شود.

- **پمپ گردش آب بویلر[3]**

در بویلرهای دارای گردش اجباری، از این پمپ برای به گردش در آوردن آب استفاده می‌شود. این پمپ جزء پمپ‌های خاص بوده و در شرایط فشار و دمای بسیار بالایی کار می‌کند. به دلیل دمای بالای آب در این پمپ‌ها، مواد به کار رفته در ساخت دیفیوزر، نازل، پروانه و محور آن‌ها دارای درصد کروم بالایی می‌باشد. این پمپ‌ها معمولاً از نوع عمودی بوده و در مسیر خروجی آب از درام بالای بویلر به درام پایین واقع شده‌اند تا افت فشار آب در مسیر بویلر را جبران نمایند.

۲-۲-۳-۱- پمپ‌های سیستم خنک‌کن اصلی

سیستم خنک‌کن یکی از اجزای اصلی نیروگاه می‌باشد که عملکرد آن به صورت مستقیم روی راندمان کلی نیروگاه تأثیر می‌گذارد. با توجه به شرایط محل ساخت نیروگاه مانند محدودیت‌های زیست محیطی، میزان دسترسی به آب خنک‌کن و موارد دیگر نوع سیستم خنک‌کن انتخاب می‌شود. به طور کلی می‌توان سیستم‌های خنک‌کن نیروگاهی را به چهار دسته تقسیم کرد:

- سیستم خنک‌کن یکبارگذر
- سیستم خنک‌کن تر یا برج خنک‌کن تر
- سیستم خنک‌کن خشک شامل سیستم خنک‌کن خشک مستقیم (ACC) و سیستم خنک‌کن خشک غیر مستقیم (Heller)
- سیستم خنک‌کن دوگانه

[1] Deaerator

[2] Boiler Feed Water Pump (BFWP)

[3] Boiler Circulating Pump (BCP)

- **پمپ گردش آب خنک‌کن**

این پمپ یکی از پمپ‌های اصلی سیکل بخار بوده و آب خنک‌کن را در مدار سیستم خنک‌کن اصلی به گـردش در مـی‌آورد. در نیروگاه‌های دارای برج خنک‌کن به دلیل ارتفاع نسبتاً بالای آب در برج، از این انرژی پتانسیل برای تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز پمپ‌های گردش آب استفاده می‌شود. به این صورت که معمولاً یک هیدورتوربین به صورت کوپل با پمپ و موتـور بر روی یک شفت افقی قرار می‌گیرد تا با استفاده از انرژی پتانسیل گرانشـی آب در مسـیر برگشـت، از بـار موتـور کاسـته و بخشی از توان مورد نیاز پمپ را تأمین نماید. این پمپ‌ها معمولاً تک مرحله‌ای هستند.

- **پمپ انتقال آب**

این پمپ‌ها از نوع گریز از مرکز مستغرق بوده و وظیفه آن‌ها کنترل سطح آب کندانسور، کنترل تعادل آب در سیستم خنـک-کن اصلی و یا تخلیه آب سیستم خنک‌کن در موارد ضروری است. هنگام پایین بودن سطح آب کندانسور، این پمپ‌هـا آب را از مخازن ذخیره تعبیه شده در زیرزمین به سیستم خنک‌کن منتقل می‌کنند تا سطح آب کندانسور افزایش یابد. همچنین اگـر حجم آب موجود در کل سیستم خنک‌کن بیش از حد مورد نیاز باشد، این پمپ‌ها آب را از مخازن ذخیـره بـه بیـرون سیسـتم منتقل می‌کنند.

- **پمپ دلوج**[1]

این پمپ‌ها از نوع گریز از مرکز مستغرق بوده و وظیفه آن‌ها، تأمین آب به منظور افزایش عملکرد خنک‌کاری در سمت هوای پیک کولرها در ایام تابستان است. همچنین این پمپ‌ها در مواقع ضروری (قبل از زمستان) با تخلیه مخزن ذخیـره آب دلـوج در سیستم فاضلاب نیروگاه، سیستم دلوج را تخلیه می‌کنند تا در سرمای زمستان یخ نزند.

۳-۲-۳-۱- پمپ‌های سیستم خنک‌کن کمکی

سیستم خنک‌کن کمکی به واسطه سیال گردشی آب، جهت خنک کردن سیال‌های خنک‌کن متعلقات جانبی تجهیزات اصلی نیروگاه به کار می‌رود. لذا صفت کمکی در مقایسه با سیستم خنک‌کن اصلی (که وظیفه خنک کردن و چگالیده کردن بخار خروجی توربین را به عهده دارد) به این سیستم داده شده است. مهم‌ترین مصرف کننده‌های سیستم عبارت اند از:

- کولرهای روغن توربین
- کولرهای هوای ژنراتور
- کولرهای روغن و پمپ آب تغذیه سیکل
- کولرهای نمونه‌گیری
- کمپرسورها

البته بسته به نوع نیروگاه تعداد مصرف کننده‌های فوق ممکن است تغییر کند و تعدادی مصرف کننده اضافه شـده و یـا کـم گردد. به عنوان مثال در نیروگاه‌های گازی، تنها مصرف کننده‌های توربین و ژنراتور وجود دارند.

- **پمپ گردش آب**

این پمپ‌ها از نوع گریز از مرکز افقی بوده و وظیفه گردش آب در سیستم خنک کن کمکی را بر عهده دارند.

[1] Deluge pump

- **پمپ انتقال آب**

این پمپ‌ها از نوع گریز از مرکز عمودی مستغرق بوده و وظیفه آن‌ها کنترل تعادل جریان آب در سیستم خنک‌کن کمکی است. در صورتی که سطح آب در مخزن انبساط پایین باشد و مدار خنک‌کن کمکی نیاز به آب داشته باشد، این پمپ‌ها آب را از مخزن ذخیره به سیستم گردش آب منتقل می‌کنند. اگر سطح آب مخزن ذخیره بیش از حد بالا باشد، این پمپ‌ها آب را از سیستم خنک‌کن کمکی خارج می‌کنند. همچنین این پمپ‌ها در مواقع لازم آب سیستم خنک‌کن را نیز می‌توانند تخلیه کنند.

- **پمپ دلوج**

این پمپ‌ها نیز از نوع مستغرق بوده و به منظور افزایش عملکرد خنک‌کاری در سمت هوای مبدل‌های سیستم خنک کن کمکی استفاده می‌شوند.

۴-۲-۳-۱- پمپ‌های سیستم سوخت رسانی

- **پمپ تخلیه[1]**

وظیفه اصلی این پمپ، پر کردن مخزن ذخیره سوخت و یا تخلیه آن در مواقع ضروری است. این پمپ از نوع گریز از مرکز افقی و تک مرحله‌ای بوده و معمولاً طبق استاندارد EN 733 ساخته می‌شود.

- **پمپ جریان دهنده**

وظیفه اصلی پمپ جریان دهنده، دریافت سوخت از مخزن ذخیره سوخت و جریان دادن آن به سمت سیستم سوخت توربین می‌باشد. این پمپ‌ها، عموماً به شکل یک مجموعه دوتایی بعد از فیلترهای اصلی سوخت نصب می‌شوند؛ در صورت از کار افتادن یا افت فشار یکی از آن‌ها، پمپ دوم به صورت اتوماتیک وارد مدار می‌گردد. این پمپ نیز از نوع گریز از مرکز افقی و تک مرحله‌ای بوده و معمولاً بر اساس استاندارد EN 733 ساخته می‌شود.

- **پمپ تزریق[2]**

این پمپ، سوخت را با فشار مناسب به درون انژکتورهای محفظه احتراق تزریق می‌نماید. در توربین‌های صنعتی، عموماً از پمپ‌های پیچی استفاده می‌شود تا بتوانند فشار لازم برای پاشش سوخت به درون محفظه احتراق را فراهم نمایند. فشار خروجی پمپ تزریق عموماً درحدود ۷۰ بار بوده و به وسیله یک الکتروموتور دو یا چهار قطبی گردانده می‌شود.

۵-۲-۳-۱- پمپ‌های سیستم روغنکاری توربین

وظایف سیستم روغن‌کاری توربین به شش دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

- کنترل ارتعاشات شفت توربین
- روان‌کاری و تولید فشار هیدرو استاتیک جهت لیفتینگ و بلند کردن شفت توربین
- خنک‌کاری یاتاقان‌ها و انتقال حرارت تولید شده در یاتاقان‌ها
- دور کردن آلودگی از یاتاقان‌ها
- محافظت از سطوح فلزی در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی شیمیایی

[1] Unloading pump

[2] Injection pump

- کاهش اصطکاک

مهم ترین وظیفه سیستم روغن‌کاری توربین، کنترل ارتعاشات و عبور از فرکانس طبیعی در زمان دور دادن توربین است، زیرا در ماشین‌های بزرگ (مثل توربین‌ها)، بلبرینگ معمولاً توان عبور از فرکانس طبیعی را ندارد و برای عبور از آن، به فیلم روغن احتیاج دارد. در سیستم روغنکاری توربین از چهار نوع پمپ زیر استفاده می‌شود:

- **پمپ جکینگ**

این پمپ از نوع گریز از مرکز بوده و از آن به منظور بلند کردن شفت توربین از زمان شروع به کار توربین تا زمان وارد عمل شدن سیستم روغن‌کاری استفاده می‌شود. همچنین این پمپ در زمان خاموش شدن توربین نیز وظیفه روغن‌کاری را بر عهده می‌گیرد.

- **پمپ روغن کمکی**

پس از آن که سرعت دورانی توربین به حد معینی (حدود ۵۴۰ دور در دقیقه) رسید پمپ جکینگ از کار افتاده و به جای آن پمپ کمکی که از نوع گریز از مرکز می‌باشد، وارد مدار می‌شود.

- **پمپ روغن اضطراری**

این پمپ از نوع گریز از مرکز بوده و برای مواقع خاص خرابی پمپ کمکی در نظر گرفته شده است.

- **پمپ روغن اصلی**

پمپ روغن اصلی توسط شفت توربین به چرخش در می‌آید. به همین دلیل سرعت چرخش آن متناسب با سرعت چرخش توربین می‌باشد. در نتیجه سرعت این پمپ در زمان راه‌اندازی یا خاموش شدن توربین کم شده و عمل روغن‌کاری را به خوبی انجام نمی‌دهد. اما بر عکس در زمانی که توربین در سرعت طراحی خود قرار دارد عمل روغن‌کاری توسط این پمپ انجام می‌گیرد.

۶-۲-۳-۱- پمپ‌های فرآیند شیمیایی[1]

- **پمپ احیا و انتقال رزین**

این پمپ از نوع گریز از مرکز افقی (OH1 طبق استاندارد API 610) بوده و معمولاً طبق استاندارد EN 733 ساخته می‌شود.

- **پمپ انتقال اسید**

این پمپ از نوع گریز از مرکز افقی (OH1 طبق استاندارد API 610) بوده و طبق استانداردهای EN 22858، ISO 2858 و ISO 5199 ساخته می‌شود.

- **پمپ انتقال سود سوزآور**

این پمپ از نوع گریز از مرکز افقی (OH1 طبق استاندارد API 610) بوده و طبق استانداردهای EN 22858، ISO 2858 و ISO 5199 ساخته می‌شود.

[1] Chemical Process Pumps (CPP)

- **پمپ‌های دوزینگ**

این پمپ‌ها از نوع دیافراگمی بوده و شامل پمپ دوزینگ آمونیاک (NH_3)، پمپ دوزینگ هیدرازین (N_2H_4)، پمپ دوزینگ فسفات، پمپ دوزینگ سود سوز آور ($NaOH$) و پمپ دوزینگ اسید سولفوریک (H_2SO_4) می‌باشد [۲].

۷-۲-۳-۱- پمپ‌های نیروگاه برق آبی

- **پمپ روغن شیر پروانه‌ای**

از شیر پروانه‌ای برای جداسازی توربین آبی از تونل آب‌بر استفاده می‌شود. در ضمن به منظور قطع جریان آب در مواقع اضطراری نیز از شیر پروانه‌ای استفاده می‌شود. در این شیرها برای تأمین فشار مورد نیاز روغن (حدود ۴۰ بار) در سروموتورها پمپ‌های روغن به کار گرفته شده اند.

- **پمپ روغن گاورنر**

برای تنظیم میزان آب ورودی به توربین (فرانسیس)، پره‌های راهنمایی تعبیه شده که به موازات محور توربین در قسمت متحرک نصب شده‌اند. این پره‌ها به صورت همزمان و لحظه‌ای در یک جهت حرکت می‌کنند و مقدار حرکت آن‌ها بستگی به میزان آب کنترل شده دارد. از گاورنر برای کنترل و تنظیم خودکار حرکت پره‌های راهنما استفاده می‌شود. برای تأمین فشار روغن مورد نیاز در سروموتورهای توربین از پمپ‌های روغن گاورنر استفاده می‌شود که از نوع گریز از مرکز می‌باشند.

- **پمپ آب خنک‌کن**

از سیستم آب خنک‌کن به منظور خنک‌کاری روغن روانکاری یاتاقان‌ها، رادیاتورهای ژنراتور و ... استفاده می‌شود. وظیفه پمپ‌های آب خنک‌کن گردش آب در این سیستم است. این پمپ‌ها نیز از نوع گریز از مرکز می‌باشند [۳].

۳-۳-۱- طراحی پمپ

معمولاً طراحی پمپ در قسمت تحقیق و توسعه شرکت‌های سازنده پمپ صورت می‌پذیرد. طراحی در دو بخش هیدرولیکی و مکانیک و دینامیک ارتعاشات انجام می‌شود که در ادامه هر کدام از این دو بخش به صورت مختصر توضیح داده شده‌اند.

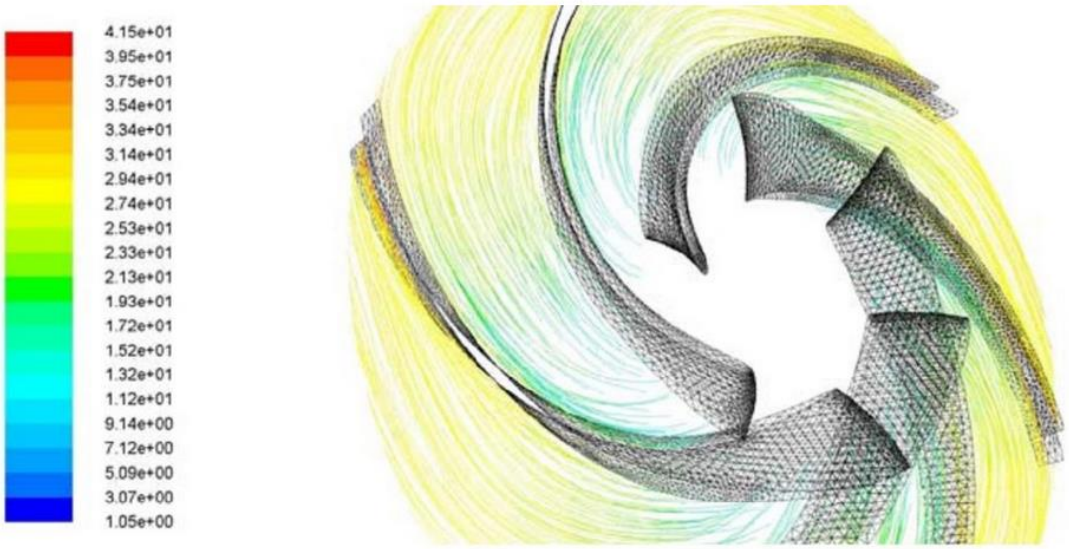
۱-۳-۳-۱- طراحی هیدرولیکی

در بخش طراحی هیدرولیکی، اخیراً استفاده از ابزارهای CFD[1] بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. چرا که با استفاده از تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی می‌توان جریان پیچیده داخل پمپ را شبیه‌سازی نمود و عملکرد پمپ را پیش‌بینی کرد. همچنین به کمک روش‌های عددی، بسیاری از مشکلات موجود را می‌توان سریع‌تر و ارزان‌تر از روش‌های آزمایشگاهی حل نمود.

در طراحی هیدرولیکی ابتدا طراحی با توجه به سفارش مشتری انجام شده و در صورت لزوم با استفاده از CFD، علاوه بر شبیه‌سازی و تحلیل عددی جریان داخل پمپ، پدیده کاویتاسیون نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین مدل‌های نیمه

[1] Computational Fluid Dynamics (CFD)

تجربی و عددی به منظور تعیین عملکرد هیدرولیکی پمپ و استخراج منحنی‌های مشخصه آن توسعه داده می‌شود. صحه‌گذاری طراحی هیدرولیکی پس از آزمایش نمونه ساخته شده انجام خواهد گرفت [3].



شکل ۱-۱۵: شبیه‌سازی سه بعدی جریان سیال داخل پروانه یک پمپ [3]

۱-۳-۳-۲- طراحی مکانیکی و دینامیک و ارتعاشات

در این بخش از طراحی به منظور انجام تحلیل‌های مکانیکی پوسته، محور و شاسی پمپ و تحلیل‌های روتوردینامیکی، روش FEM[1] به کار برده می‌شود. با اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی، امکان تحلیل مکانیکی و ارتعاشاتی پمپ در بارگذاری‌های مختلف وجود دارد.

همچنین در این بخش، طراحی وتحلیل تنش پوسته پمپ (شبیه‌سازی تست فشار هیدروستاتیک)، طراحی روتور و یاتاقان‌ها و تعیین عمر آن‌ها، تعیین ضریب اطمینان استاتیکی و خستگی محور پمپ، تحلیل مودال و تعیین فرکانس طبیعی، سرعت‌های بحرانی و شکل مودهای ارتعاشی و تعیین پاسخ روتور به نامیزانی نیز انجام می‌پذیرد [3].

۱-۳-۴- ساخت پمپ

با توجه به روند ساخت پمپ‌های گریز از مرکز در کارخانه‌های داخلی می‌توان برای ساخت پمپ‌های صنعتی (با سیال آب) مراحل زیر را برشمرد:

- ساخت محفظه پمپ
- ساخت پروانه

[1] Finite Element Method (FEM)

- ساخت محور
- مونتاژ مجموعه
- تست
- رنگ
- بسته‌بندی [۴]

در ادامه چهار مرحله ساخت محفظه، پروانه، محور و رنگ به اختصار شرح داده شده‌اند. در مورد تست پمپ نیز در بخش بعدی به تفصیل توضیح داده شده است.

۱-۴-۳-۱- ساخت محفظه پمپ

ساخت محفظه پمپ شامل فعالیت‌های زیر است:

- تهیه مواد اولیه و بازرسی مواد و تهیه گواهی آنالیز آن‌ها و مقایسه آن با ویژگی‌های مواد
- ریخته‌گری محفظه و بازرسی چشمی و ابعادی و مقایسه با نقشه
- ماشینکاری محفظه و بازرسی چشمی و ابعادی و مقایسه آن با نقشه
- تست نشتی محفظه بر مبنای استانداردهای رایج نظیر ISO 9908

۲-۴-۳-۱- ساخت پروانه

ساخت پروانه پمپ شامل مراحل زیر است:

- تهیه مواد اولیه و بازرسی مواد و تهیه گواهی آنالیز آن‌ها و مقایسه آن با ویژگی‌های مواد
- ریخته‌گری پروانه و بازرسی چشمی و ابعادی و مقایسه با نقشه
- ماشینکاری پروانه و بازرسی چشمی و ابعادی و مقایسه آن با نقشه
- بالانس قطعه طبق استانداردهای رایج نظیر ISO 1940/1

۳-۴-۳-۱- ساخت محور

ساخت محور پمپ شامل مراحل زیر است:

- تهیه مواد اولیه و بازرسی مواد و تهیه گواهی آنالیز آن‌ها و مقایسه آن با ویژگی‌های مواد
- ماشینکاری پروانه و بازرسی چشمی و ابعادی و مقایسه آن با نقشه

۴-۴-۳-۱- رنگ

در این مرحله ابتدا سطح قطعه برای رنگ‌کاری مهیا شده و رنگ پایه آماده‌سازی می‌شود. پس از رنگ زدن، می‌بایست ضخامت و چسبندگی رنگ مورد آزمایش قرار گیرد [۴].

DOI:

۵-۳-۱- تست پمپ

هر کالای صنعتی نیاز به انواع تست و بازرسی حین ساخت و پس از ساخت دارد. در ساخت پمپ‌های گریز از مرکز ایستگاه-های بازرسی متنوعی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱-۵-۳-۱- بازرسی‌های حین ساخت

- **تست بالانس استاتیکی و دینامیکی پروانه**

در تمامی تجهیزات دوار تست بالانس اساسی ترین تست می باشد. هیچ تجهیز دواری بدون انجام عملیات بالانس استاتیکی و دینامیکی امکان کارکرد مناسب نخواهد داشت. در فرآیند تولید پروانه و یا روتور پمپ های سانتریفوژ به ناچار نابالانسی ایجاد می شود. نابالانسی باعث لنگش پروانه و افزایش نیروهای دینامیکی، ارتعاشات مخرب و کاهش عمر یاتاقان ها می شود. در بالانس استاتیکی، پروانه پمپ با قرارگیری بین دو تیغه تراز بالانس می شود. در بالانس دینامیکی پروانه پمپ با قرارگیری بر روی دستگاه بالانس دینامیکی در دور معینی بالانس می گردد. بر خلاف تصور عمومی، در صورتی که پروانه پمپ به صورت استاتیکی بالانس شود حتماً از لحاظ دینامیکی بالانس می باشد. و در بالانس دینامیکی نیازی نیست پروانه پمپ در دور نامی تست شود و در واقع بالانس دینامیکی پروانه وابسته به دور چرخش آن نمی باشد. تست بالانس معمولاً بر اساس استاندارد ISO 1940/1 انجام خواهد گرفت [4].



شکل ۱-۱۶: تست بالانس استاتیکی یک پمپ چند طبقه [5]

- **تست‌های مواد**

مواد و متریال به کاررفته در اجزای پمپ ممکن است از آلیاژهای متفاوتی ساخته شود. همچنین ممکن است روش تولید آنها متفاوت باشد. تست ها و بازرسی های مختلفی برای مواد به کار رفته در پمپ وجود دارد. هدف از این بازرسی‌ها اطمینان از کیفیت مواد و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از عیوب مواد پس از ساخت می‌باشد. انواع مهم تست‌های مواد به شرح ذیل می باشد:

- تست آنالیز شیمیایی: هدف از انجام این تست بررسی ترکیب شیمیایی مواد از منظر درصد عناصر مختلف در ساخت قطعه می‌باشد. معمولاً نمونه‌ای از قطعه جهت انجام آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه‌های مرجع ارسال می‌گردد و نتایج آن به صورت برگه‌های گزارش دریافت می‌شود.
- تست‌های مکانیکی: تست کشش، سختی و صافی سطح از مهمترین تست‌های مکانیکی مواد می‌باشد. این تست‌ها نیز مانند آنالیز شیمیایی معمولاً توسط آزمایشگاه‌های مرجع انجام می‌گیرد و نتایج آن در برگه‌های تست شیت گزارش می‌گردد.
- تست‌های غیرمخرب: انواع تست‌های غیر مخرب جهت تشخیص عیوب ساختاری و میکروسکوپیک انجام می‌گیرد. انواع تست های مایع نافذ، التراسونیک، ذرات مغناطیس و رادیوگرافی جهت انواع قطعات ریخته‌گری شده و یا فورج ممکن است به کار رود. هر یک از این تست‌ها در شرایط خاص خود می‌بایست انجام شود و این طور نیست که هر قطعه‌ای امکان و یا نیاز به انجام تمام آزمایش‌های فوق داشته باشد.
- تست هیدرواستاتیکی: یکی از مهمترین تست‌های محفظه‌های فشار پمپ‌ها تست هیدرواستاتیکی می‌باشد. این تست معمولاً با آب تمیز انجام می‌گیرد و معمولاً محفظه فشار پمپ به مدت ۳۰ دقیقه تحت ۱.۵ برابر فشار طراحی تحت فشار قرار داده می‌شود. هدف از انجام این تست اطمینان از توانایی پوسته در مواجهه با فشار طراحی حین کارکرد در شرایط واقعی و نیز اطمینان از عدم نشتی ناشی از مونتاژ پمپ می‌باشد.

۲-۵-۳-۱- بازرسی‌های حین مونتاژ

بازرسی‌های حین مونتاژ به مجموعه بازرسی‌هایی اطلاق می‌گردد که هدف از آن جلوگیری از پیش بارگذاری قطعات فشاری و همترازی مجموعه قطعات دوار نسبت به قطعات ثابت می‌باشد. معمولاً هر سازنده دستورالعمل‌های ویژه‌ای جهت مونتاژ صحیح پمپ‌ها دارد که معمولاً بازرسین می‌بایست آن را مورد بررسی قرار دهند.

۳-۵-۳-۱- بازرسی‌های پس از ساخت

- **تست عملکرد**

اصلی ترین تست پمپ که ممکن است تمامی ایرادات و اشکالات حین طراحی و یا ساخت در آن بروز کند تست عملکرد می‌باشد. یک پمپ بدون انجام تست عملکرد یعنی تست نشده است! البته ممکن است تمامی پمپ‌های ساخته شده در یک خط تولید، مورد تست عملکرد واقع نشوند اما به صورت نمونه‌ای حتماً تست خواهند شد. هدف از انجام این تست به دست آوردن منحنی‌های عملکرد پمپ و همچنین ثبت پارامترهایی نظیر ارتعاشات، سر و صدا و یا کنترل دمای یاتاقان‌ها می‌باشد. تست عملکرد موقعی کامل انجام شده است که حداقل پارامترهای دبی، هد، آمپر جذبی، ولتاژ، توان مصرفی، ارتعاشات یاتاقان در سه جهت، سطح نویز و همچنین NPSH در پنج نقطه از منحنی عملکرد ثبت و گزارش شود. مطابق با استاندارد

ISO 9906 دو نقطه از این پنج نقطه می‌بایست در بازه مثبت و منفی پنج درصدی دبی نقطه بیشترین بازده قرار گیرد و سه نقطه دیگر در نواحی دورتر محدوده عملکرد پمپ انتخاب شود به طوری که نقاط بیشترین هد و دبی مجاز را پوشش دهد. ممکن است تست NPSH تنها در صورت قید در موارد قرارداد انجام شود. همان طور که اشاره شد تست‌های عملکرد معمولاً مطابق با استاندارد ISO 9906 انجام می‌گیرد.

- **تست مکانیکی**

در این تست پمپ به مدت ۴ ساعت در نقطه کاری استارت می شود. تمامی پارامترهای مربوط به تست عملکرد به همراه دمای یاتاقان‌ها در ابتدای آزمایش ثبت می‌شود. پس از اتمام ۴ ساعت مجدداً پارامترهای فوق اندازه‌گیری می‌شود. میزان تغییر پارامترهای فوق می‌بایست در حد عرف و یا ناچیز باشد. البته دمای یاتاقان‌ها نباید بیشتر از ۴۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته باشد. هدف از انجام این تست حصول اطمینان از عملکرد مکانیکی پمپ پس از مونتاژ می‌باشد.

- **تست ارتعاش و سر و صدا**

این تست به منظور بررسی انطباق ارتعاشات پمپ و سر و صدای تولید شده با مقادیر مجاز انجام می‌شود. معمولاً در این تست از استاندارد ISO 10816 استفاده می‌شود. این استاندارد پمپ‌ها را به دو دسته پمپ‌های دارای قابلیت اطمینان بالا برای کاربردهای بحرانی (Category I) و پمپ‌های غیربحرانی برای مایعاتی که خطرناک نیستند (Category II) تقسیم کرده است.

- **تست ضخامت و چسبندگی رنگ**

تنها پس از انجام موفقیت آمیز آزمایش‌های فوق، دستگاه مطابق با مشخصات فنی موجود رنگ‌آمیزی می‌شود. تست چسبندگی رنگ و تست ضخامت رنگ در نقاط مختلف دستگاه معیاری جهت پوشش‌دهی مناسب دستگاه می‌باشد. رایج‌ترین روش تست چسبندگی رنگ، تست چسب نواری است که معمولاً مطابق با استاندارد ASTM D 3359-09 انجام داده می شود [4].

۶-۳-۱- تعمیر و نگهداری پمپ

تعداد بسیار کمی از پمپ‌های صنعتی به دلیل شکستگی شفت، پره و یا ایجاد شکاف در محفظه حلزونی راهی تعمیرگاه می‌شوند. در حالی که بیشتر پمپ‌هایی که کارشان به تعمیرگاه می‌کشد به علت خرابی یاتاقان یا آب‌بند مکانیکی است. از طرف دیگر بیشتر تکنسین‌های پمپ در طول حیات کاریشان وقت خود را صرف روغنکاری، تعویض یاتاقان‌ها، واشرها و آب‌بندهای مکانیکی می‌کنند. در تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات صنعتی همیشه تأکید بر طراحی مناسب و نیز کارایی حداکثری دستگاه بوده است اما این شیوه در بیشتر موارد جواب درستی نخواهد داد.

مهندسین و تکنسین‌ها وقت خود را بیشتر صرف تعویض قطعات معیوب کرده و در بهترین حالت به روش نگهداری پیش‌گیرانه متوسل می‌شوند تا زمان مورد نیاز برای تعویض یک قطعه را به تعویق بیاندازند. اما آن‌ها معمولاً سعی نمی‌کنند علت خرابی یک قطعه را پی‌جویی و تحلیل نمایند [۵].

۱-۶-۳-۱- فایل‌های تعمیر و نگهداری پمپ

در بیشتر واحدهای صنعتی، اطلاعاتی نظیر سازنده، سال خرید، شماره سریال و مدل پمپ در فایلی برای کاربردهای عمومی تعبیه شده است. بعضی واحدها نیز نام سازنده، مدل، نام روغن و تعداد دفعات روغنکاری را در جدول روغنکاری ذکر می‌کنند.

برای سایر موراد نیز اطلاعات کلیدی را با مقداری سعی و تلاش می‌توان گردآوری و ذخیره نمود.
ثبت اطلاعات کامل تعمیر و نگهداری پمپ که در جای قابل دسترسی ذخیره شده باشد، ابزار باارزشی برای تشخیص مشکلات، سفارش تعمیر قطعات، تهیه و تنظیم جداول روغنکاری و تعمیر و نگهداری محسوب می‌شود. همچنین فایل‌های تعمیر و نگهداری برای تعیین عملکرد پمپ در طول تغییرات فرآیند مفید هستند. با ثبت دقیق پیشینه تجهیزات می‌توان دوره بازرسی یا نقاطی که باید مورد بازرسی قرار گیرند را مشخص نمود. در برخی پمپ‌ها نیز با این اطلاعات می‌توان خرابی‌های دوره‌ای را پیش‌بینی کرد. در مجموع این خرابی‌ها و معایب در قالب‌هایی نظیر جنس قطعات، نصب، تعمیر و نگهداری و عملیات قابل دسته‌بندی می‌باشند.
همان طور که گفته شد گردآوری و ثبت اطلاعات دقیق و مناسب در مورد پیشینه پمپ امکان تحلیل ریشه‌ای را فراهم می‌کند. نتیجه این تحلیل در بازرسی و تعمیر دقیق، تغییر روش عملیات، تعداد دفعات روغنکاری و بازرسی بهتر هنگام نصب یک قطعه جدید یاری‌رسان خواهد بود. سازماندهی داده‌ها به صورت منظم و تاریخ‌دار برای تشخیص مشکلات، پیش‌بینی خرابی قبل از وقوع آن برای تعمیرکار پمپ نیز مفید خواهد بود.
لازم به یادآوری است که ثبت یک پیشینه تعمیر و نگهداری ساده اما کامل از هر پمپ، به مراتب باصرفه‌تر از روش‌های تعمیر همراه با سعی و خطا خواهد بود. با استفاده از این اطلاعات می‌توان فهرست قطعات را بر اساس نیاز واقعی سیستم و نه فهرست توصیه شده به وسیله سازنده پمپ تهیه نمود [۵].

۲-۶-۳-۱- تعمیرات و بازرسی‌های پمپ‌های گریز از مرکز

این مراقبت‌ها را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم کرد:

- نگهداری، تعمیرات و بازرسی‌های معمول و همیشگی
- تعمیرات و بازرسی‌های سه ماهه
- تعمیرات و بازرسی‌های سالانه

اگر پمپ در یکی از شرایط زیر در حال فعالیت باشد، باید فاصله‌ی بین بازرسی‌ها را کاهش داد:

- سیال پمپ شونده دارای ذرات ساینده باشد.
- سیال پمپ‌شونده دارای ذرات خورنده باشد.
- در محیط نصب پمپ، امکان جمع شدن گازها و قابلیت اشتعال وجود داشته باشد [6].
- **بازرسی‌های معمول**

مهم‌ترین بازرسی‌های مورد نیاز عبارتند از:

- بازرسی شرایط روانکاری یاتاقان‌ها
- بازرسی شرایط آب‌بندی پمپ و عدم نشتی از محفظه آب‌بند
- بازرسی سطح روغن و بررسی شرایط آن در روغن‌نمای یاتاقان‌ها
- بررسی وجود سر و صدا و ارتعاش غیرعادی
- بررسی دمای یاتاقان‌ها
- بررسی وجود نشتی در پمپ و لوله‌کشی‌ها
- بررسی شرایط خروجی پمپ مانند فشار
- بررسی دمای بدنه پمپ

موارد ذکر شده به سادگی قابل بازبینی و بررسی هستند و نباید آن‌ها را دست کم گرفت. گاهی تنها یک بازرسی ساده، پمپ را از تخریب نجات می‌دهد و باعث صرفه‌جویی در هزینه می‌شود [6].

- **بازرسی‌های سه ماهه**

فعالیت‌های زیر در زمره بازرسی‌های سه ماهه قرار می‌گیرند:

- حصول اطمینان از محکم بودن پیچ‌ها (پیچ‌های فونداسیون پمپ و پیچ‌های پایه موتور بررسی شوند)
- بررسی شرایط آب‌بند (آب‌بند مکانیکی ، بازدید شده و در صورت لزوم تعویض شود)
- تعویض روغن (معمولاً روغن را هر سه ماه یک‌بار و پس از ۲۰۰۰ ساعت کارکرد تعویض می‌کنند. اگر شرایط محیطی نامناسب باشد و یا شرایط دیگری وجود داشته باشد که باعث ایجاد آلودگی در روغن شود، روغن زودتر از موعد مقرر تعویض می‌گردد)
- حصول اطمینان از همراستایی محور (همراستایی محور بررسی شده و در صورت نیاز دوباره تنظیم شود) [6]

- **بازرسی‌های سالانه**

شامل بررسی توان مصرفی موتور، بررسی دبی پمپ و بررسی فشار سیال ورودی و خروجی می‌باشد. در صورتی که عملکرد پمپ متناسب با شرایط فرآیندی نباشد می‌بایست پمپ دمونتاژ شده و قطعات ان مورد بازبینی واقع شوند. در صورتی که قطعات دچار ساییدگی شده باشند می‌بایست تعویض گردند [6].

- **بازدید و نگهداری از پمپ‌های نیروگاهی**

دستور العمل بازدید و نگهداری پمپ‌ها و فن‌های نیروگاهی شامل ۱۰ مرحله زیر است:

- دمونتاژ یاتاقان‌ها و بازدید از آن‌ها
- بازدید از پروانه پمپ یا فن
- بازدید از روتور
- بازدید از رینگ‌های آب‌بندی
- بازدید از آب‌بند[1]
- اندازه‌گیری خمش شفت
- اندازه‌گیری لقی شفت و مقادیر تست شیت‌ها
- بازدید از پوسته
- تست غیرمخرب
- بررسی هم‌محور بودن[2]

۳-۶-۳-۱- خرابی‌های پمپ‌های گریز از مرکز

برای حل مشکل خرابی پمپ ابتدا باید علت و عامل اصلی خرابی شناخته شده و یک راه حل دائمی برای آن پیدا کرد. فرآیند منطقی و مورد قبول برای تعیین علت اصلی به شرح زیر است:

[1] Seal

[2] Check Alignment

- تعیین دقیق مشکل (مثال: سر و صدای پمپ، فشار تخلیه پایین و ...)
- بررسی و جستجو در علائم و شواهد (مثال: فشار کم نشان داده شده توسط فشارسنج قسمت تخلیه)
- حصول اطمینان از صحت علائم (مثال: تنظیم بودن فشارسنج تخلیه)
- مشخص نمودن عوامل ایجاد کننده یک علامت خاص (مثال: چه عواملی سبب کاهش فشار تخلیه می‌شود؟)

در صورتی که تمام علائم به یک عامل مکانیکی ختم شوند، احتمالاً مشکل به تعمیر ونگهداری مربوط می‌شود. اما اگر علامت‌ها نشان دهنده عامل هیدرولیکی باشند، به احتمال زیاد مشکل به طراحی یا بهره‌برداری برمی‌گردد. در مواردی که دلیل خرابی و مشکل مشخص نیست، بررسی وسیع‌تری لازم است. در این بررسی‌ها استفاده از تجارب عرضه کننده پمپ برای مشخص کردن عامل اصلی توصیه می‌شود. معمولاً شرکت‌های سازنده پمپ، علائم و عوامل اصلی محتمل درخرابی پمپ‌ها را به صورت جدول ارائه می‌دهند. این جداول گرچه با هم تفاوت‌هایی دارند اما به طور کلی به هم شبیه هستند. به عنوان نمونه یک از جداول تعیین عوامل اصلی محتمل درخرابی پمپ‌های گریز از مرکز در زیر آمده است [۵].

جدول ۱-۱: علائم و عوامل معمول در خرابی پمپ‌های گریز از مرکز [۵ و 7]

علامت	عامل محتمل هیدرولیکی	عامل محتمل مکانیکی
سر و صدای پمپ	کاویتاسیون مکش هوا لیفت مکش زیاد ناکافی بودن NPSHa	خمش شفت لرزش و تکان خوردن پره ساییدگی یاتاقان‌ها
دبی تخلیه کم و ناکافی	هد تخلیه زیاد ناکافی بودن NPSHa	آسیب دیدگی یا ساییدگی پره اندازه نامناسب شیر یک طرفه مکش هوا یا گرفتگی هوا در مسیر مکش مسدود شدن مسیر پره یا لوله‌ها
عدم آبدهی پمپ	ناکافی بودن NPSHa مکش هوا	سرعت دورانی پایین مسدود شدن مسیر پروانه
فشار کم تخلیه	راه‌اندازی نامناسب پمپ ناکافی بودن سرعت ناکافی بودن NPSHa	مسدود شدن مسیر پره یا لوله‌ها سرعت نامناسب پره بسته بودن شیر تخلیه مکش هوا یا گرفتگی هوا در مسیر مکش
پالس فشاری	ناکافی بودن NPSHa	مکش هوا یا گرفتگی هوا در مسیر مکش وجود حباب در مایع مسدود شدن مسیر پره
کم بودن فشار	کافی نبودن سرعت وجود هوا یا گاز در مایع پمپ	قطر بسیار کوچک پره آسیب دیدگی یا ساییدگی پره سرعت نامناسب پره‌ها
مصرف زیاد انرژی	هد بسیار کم و دبی زیاد جریان	خمش شفت

	چگالی یا ویسکوزیته بالا	لرزش پره سرعت نامناسب پره‌ها
داغ شدن یاتاقان‌ها	فشار مکش بالا فاصله گرفتن از نقطه طراحی	شکسته شدن پروانه ناهمراستایی محور روغنکاری ناکافی بالانس نبودن پروانه

۴-۶-۳-۱- خرابی‌های پمپ‌های جابجایی مثبت

مشابه آن چه در بخش قبل گفته شد درباره خرابی پمپ‌های جابجایی مثبت نیز جداولی موجود است. در این جا نمونه‌ای از این جداول آمده است. در جدول ۱-۲ علائمی که نشان دهنده خرابی پمپ بوده و باعث ارسال آن به کارگاه می‌گردد، فهرست شده است. این علائم به ستون دیگری از عوامل که برحسب شماره فهرست شده‌اند متصل می‌گردد. عوامل شماره-گذاری شده در جدول ۱-۳ با عنوان منشأ مشکل در یک ستون و عامل احتمالی (راه حل پیشنهادی) در ستون دیگر مشخص شده‌اند [۵].

جدول ۱-۲: علائم خرابی و شماره ردیف فهرست عوامل احتمالی آن در پمپ‌های جابجایی مثبت [۵]

علامت	شماره ردیف فهرست عوامل احتمالی
عدم تخلیه مایع	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و ۹
سر و صدا	۶، ۱۰، ۱۱، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹
فرسودگی سریع	۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۲۰ و ۲۳
عملکرد کمتر از ظرفیت	۳، ۵، ۶، ۷، ۹، ۲۱ و ۲۲
افت مکش بعد از راه‌اندازی	۱، ۲، ۶، ۷ و ۱۰
مصرف انرژی بالا	۱۴، ۱۶، ۱۷ و ۲۰

جدول ۱-۳: منشأ و عامل احتمالی خرابی در پمپ‌های جابجایی مثبت [۵]

ردیف	منشأ	عامل احتمالی
۱	مکش	عدم هواگیری و راه‌اندازی درست پمپ
۲		غوطه‌ور نشدن لوله مکش
۳		مسدود شدن صافی
۴		نشت شیر یک طرفه
۵		لیفت مکش بسیار زیاد
۶		ورود هوا در لوله‌های مکش
۷		ناکافی و کوچک بودن لوله‌های مکش
۸	سیستم	نامناسب بودن دور موتور
۹		سرعت کم

۱۰		مقدار ناکافی مایع
۱۱		فشار یا مقاومت بالا در قسمت تخلیه
۱۲		وجود سنگریزه با آشغال در مایع
۱۳		خشک گردی پمپ
۱۴		ویسکوزیته بالای مایع پمپ
۱۵		وجود مانع در مسیر تخلیه
۱۶	مکانیکی	کوپلینگ تنظیم نشده و نامیزان
۱۷		خم شدن شفت موتور
۱۸		خرابی و نشتی در شیر اطمینان
۱۹		واپیچش بدنه پمپ در اثر کرنش لوله
۲۰		مکش هوا از طریق آب‌بند
۲۱		شیر اطمینان نامناسب
۲۲		سفت شدن نوار آب‌بند
۲۳		خوردگی

۵-۶-۳-۱- ریشه‌یابی علل خرابی پمپ‌ها

با توجه به ضعف داده‌های داخلی در خصوص علل خرابی پمپ‌ها، به منظور ریشه‌یابی علل خرابی پمپ‌ها به مقالات و گزارش‌های خارجی مراجعه گردید. یکی از این گزارش‌ها با دامنه وسیعی از داده‌ها، گزارش تهیه شده توسط کمیته امنیت تأسیسات هسته‌ای[1] است که یکی از زیرمجموعه‌های آژانس انرژی اتمی کشورهای OECD[2] می‌باشد. این گزارش در راستای پروژه‌ای با هدف تبادل بین‌المللی داده‌های مربوط به خرابی‌های دارای علل مشترک، تهیه شده است. موارد بررسی شده در پروژه مذکور شامل حالت‌هایی است که در آن در عملکرد دو یا چند قطعه در بازه زمانی مربوطه اختلال ایجاد شود؛ به طوری که این اختلال مستقیماً ناشی از یک دلیل مشترک باشد.

با توجه به آن چه گفته شد، موارد خرابی پمپ‌های گریز از مرکز به کار رفته در تأسیسات هسته‌ای کشورهای مختلف شامل کانادا، فنلاند، فرانسه، آلمان، ژاپن، اسپانیا، سوئد، سوئیس، بریتانیا و ایالات متحده، از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۹ میلادی، که شامل ۳۵۳ مورد بود، جمع‌آوری گردید. پایگاه داده جمع آوری شده شامل نوع اختلال، ریشه اصلی اختلال، عوامل تشدید کننده، روش تشخیص و کارهای صورت گرفته برای اصلاح است. این موارد بر اساس مد خرابی، درجه اختلال، علائم خرابی، دلیل خرابی و جنبه های فنی خطا تحلیل شدند. پس از این تحلیل چهار حالت خرابی زیر برای پمپ‌های گریز از مرکز شناسایی گردید:

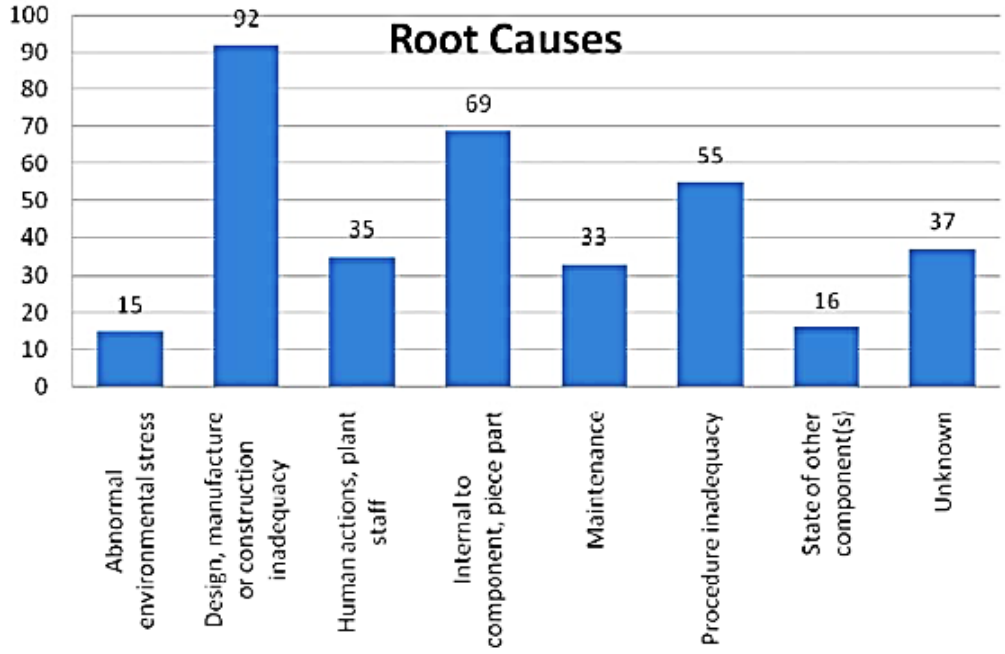
- عدم کارکرد (۶۰ درصد موارد)
- عدم شروع به کار (۳۷ درصد موارد)
- نشتی خارجی (۲ درصد موارد)

[1] Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)

[2] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)

- عدم خاموش شدن (۱ درصد موارد)

تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌ها در نمودار زیر آمده است. مهمترین علت ریشه‌ای خرابی‌ها طراحی و ساخت نامناسب (۲۶ درصد موارد) بوده است. پس از آن خرابی اجزای داخلی (۲۰ درصد موارد) که معمولاً به دلیل سایش، خوردگی یا خستگی اتفاق می‌افتد، بیشترین فراوانی را داشته است. بعد از این دو عامل، نامناسب بودن برنامه بهره‌برداری و نگهداری (۱۶ درصد موارد)، عوامل ناشناخته، خطای انسانی (۱۰ درصد موارد) که شامل خطاهای تصادفی و نیز پیروی نکردن از فرآیند تعریف شده برای ساخت، تست، بهره‌برداری و نگهداری می‌شود و نیز مشکلات مربوط به تعمیر و نگهداری (۹ درصد موارد) بیشترین سهم را در خرابی‌ها داشته اند [8].



شکل ۱-۱۷: علل ریشه‌ای خرابی پمپ‌های گریز از مرکز در تأسیسات هسته‌ای کشورهای OECD [8]

بررسی نحوه شناسایی خرابی‌ها حاکی از این بوده است که در یک چهارم موارد، خرابی وقتی شناسایی شده است که پمپ قادر به پاسخگویی به تقاضا نبوده است. این آمار نسبتاً بالا حاکی از آن است که فرآیندهای شناسایی خطا و خرابی همیشه مؤثر نیستند. البته لازم به ذکر است که حدود نیمی از موارد خرابی نیز هنگام فرآیندها و برنامه‌های تست و نگهداری کشف شده‌اند. همچنین حدود ۲۱ درصد خرابی‌ها هنگام پایش وضعیت پمپ معلوم شده‌اند [8].

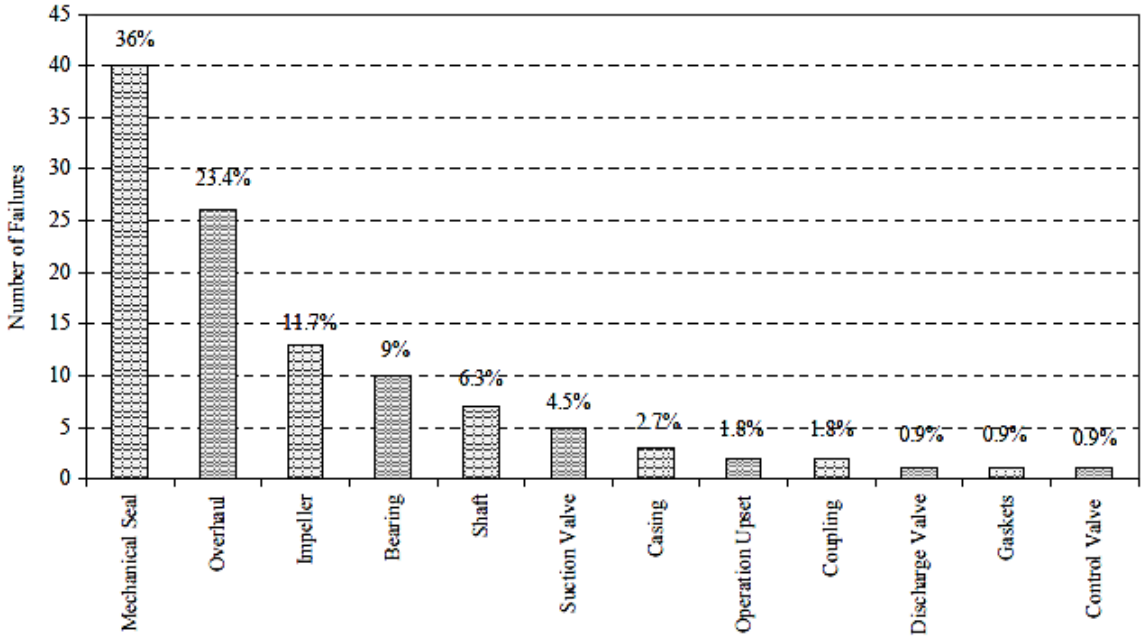
در کتاب دیگری با بررسی وضعیت تعمیر و نگهداری پمپ‌های گریز از مرکز در کارخانه‌های فرآیندی ایالات متحده، هفت عامل اصلی خرابی پمپ‌ها شناسایی شده است. این هفت عامل به شرح ذکر شده در جدول زیر است. همان طور که در این جدول نیز مشخص است، مشکلات ناشی از تعمیر و نگهداری و نیز مونتاژ و نصب عامل بیش از نیمی از خرابی پمپ‌های گریز از مرکز می‌باشند [9].

جدول ۱-٤: هفت عامل خرابی پمپ‌های گریز از مرکز در کارخانه‌های فرآیندی ایالات متحده [9]

ردیف	علت	فراوانی
۱	مشکلات تعمیر و نگهداری	۳۰ درصد

۲	اشکالات مونتاژ و نصب	۲۵ درصد
۳	شرایط کاری نامنطبق بر طراحی	۱۵ درصد
۴	بهره‌برداری نامناسب	۱۲ درصد
۵	خطا در ساخت یا فرآیند	۸ درصد
۶	طراحی اشتباه	۶ درصد
۷	اشکال مواد	۴ درصد

در مقاله دیگری که مربوط به تحلیل خرابی پمپ‌های به کار رفته در صنعت برق (هسته‌ای و زغال‌سنگی) جمهوری چک می‌باشد، قطعات و اجزایی که بیشترین نرخ خرابی را داشته‌اند مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. بیش از نیمی از خرابی‌ها مربوط به آب‌بند مکانیکی پمپ بود. همچنین ۱۷ درصد خرابی‌ها به سیستم روغنکاری و ۸ درصد به یاتاقان‌ها مربوط می‌شد [10]. همچنین بررسی خرابی‌های پمپ‌های حساس و با نرخ خرابی بالا در یکی از پالایشگاه‌های نفت عربستان منتج به نمودار زیر گردید [11].



شکل ۱-۱۸: حالت‌های خرابی پمپ‌های بحرانی در یک پالایشگاه نفت عربستان [11]

همان طور که در نمودار فوق مشخص است، بیشترین خرابی‌ها مربوط به آب‌بند مکانیکی، پروانه و یاتاقان بوده است. مورد دوم که با عنوان اورهال مشخص شده مربوط به وضعیتی است که در آن پمپ به دلیل نامعلومی خراب شده است و می‌بایست برای تعمیر اساسی به کارگاه سازنده فرستاده شود [11].

۶-۶-۳-۱- عوامل اثرگذار در تغییر راندمان پمپ سیستم

تغییر راندمان پمپ‌ها یا ناشی از افزایش تلفات پمپ بوده و یا ناشی از تغییر نقطه کار آن می‌باشد. در ادامه این دو علت تشریح شده‌اند [۵].

- **تغییر راندمان ناشی از تلفات**

تغییرات راندمان ناشی از وجود تلفات مختلف نظیر تلفات هیدرولیکی و مکانیکی در داخل پمپ مربوط به تعمیر و نگهداری پمپ می‌باشد. از جمله این عوامل تاثیرگذار می‌توان به افزایش فاصله بین پره و پوسته پمپ و افزایش نشتی داخلی در پمپ، ایجاد خوردگی یا کاویتاسیون در پره‌های پمپ و ایجاد زنگ زدگی پره‌های پمپ را نام برد [۵].

- **تغییر راندمان ناشی از تغییر نقطه کار**

اختلاف راندمان پمپ در دبی و هدی که پمپ غالباً در آن کار می‌کند با راندمان حالت طراحی در دبی و هدی که پمپ باید در آن کار کند مبین اختلاف نقطه کار پمپ با حالت طراحی است یا به عبارتی تغییرات راندمان ناشی از تغییر نقطه کار پمپ در سیستم می‌باشد. این مسئله مربوط به طراحی و بهره‌برداری پمپ می‌باشد. در توضیح حالت دوم لازم به ذکر است که موقعیت نقطه کار پمپ نسبت به نقطه ماکزیمم راندمان پمپ (با توجه به دبی نقطه کار پمپ) در منحنی دبی ـ راندمان در یکی از سه حالت زیر است:

- نقطه کار پمپ تا ۳ درصد اطراف نقطه ماکزیمم راندمان است. به عبارتی دبی نقطه کار پمپ در محدوده ۳ درصدی اطراف نقطه ماکزیمم راندمان باشد. این حالت بهترین حالت است.
- نقطه کار پمپ در سمت چپ نقطه راندمان ماکزیمم پمپ قرار گیرد که نشان دهنده انتخاب نامناسب پمپ است. در این حالت با نزدیک کردن نقطه کار پمپ به نقطه ماکزیمم راندمان، توان مصرفی پمپ افزایش می‌یابد که بدترین حالت است.

نقطه کار پمپ در سمت راست نقطه ماکزیمم است که مبین انتخاب نامناسب پمپ است. در این حالت با نزدیک کردن نقطه کار پمپ به نقطه راندمان ماکزیمم، توان مصرفی پمپ کاهش می‌یابد [۵].

۷-۶-۳-۱- فناوری تعمیر و نگهداری در نیروگاه‌های کشور

تولد بخش تولید صنعت برق همراه با به کارگیری فناوری های بهره برداری، نگهداری و تعمیرات بوده است، به گونه‌ای که در بسیاری از موارد بخش تولید با بخش بهره برداری ، نگهداری و تعمیرات مترادف منظور شده است. در بخش تولید صنعت برق ایران تاکنون فعالیتهای قابل توجهی در حوزه بهره برداری، نگهداری و تعمیرات صورت گرفته است . در این بخش، مختصری از پیدایش رویکرد سیستماتیک در حوزه بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در نیروگاههای کشور و برخی از اقدامات انجام شده در این عرصه به اجمال مورد بررسی قرار می گیرد.

- **پیدایش نگاه سیستماتیک به تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری در نیروگاه‌های کشور**

در گذشته با ورود واحدهای نیروگاهی به کشور، عموما بهره برداری، نگهداری و تعمیرات نیروگاههای احداث شده در کشور بـر اساس دستورالعملهای سازنده صورت می پذیرفته است. توسعه انواع واحدهای نیروگاهی اعم از بخاری، گازی و سیکل ترکیبی موجب گردید که دیدگاههای جدیدی در این زمینه ایجـاد گـردد. از جملـه ایـن اقـدامات مـی تـوان بـه ایـده مـدون نمـودن استانداردهای نگهداری و تعمیرات واحدهای نیروگاهی کشور در اوایل دهه هفتاد اشاره کـرد . در ایـن راسـتا دفتـر مهندسـی و نظارت بخش تولید صنعت برق همگون سازی و استاندارد کردن نوع و مدت تعمیرات واحدهای بخاری و گازی را در دستور کار خود قرار داد.

از جمله خروجی‌های طرح مذکور می‌توان به توسعه و استاندارد سازی برخی از فعالیت‌هـای حـوزه بهـره بـرداری، نگهـداری و تعمیرات اشاره نمود. به گونه‌ای که برنامه نگهداری و تعمیرات واحدهای نیروگاهی تحت عنوان PM به عنـوان

حداقل‌های لازم مطرح گردید. در تداوم توسعه این الگو و با ورود نسلهای جدید از انواع واحدهای نیروگاهی به بخش تولید صنعت برق، دفترمذکور وظایف زیر را بر عهده گرفت:

- هماهنگی در تهیه دستورالعمل و استانداردهای بهره‌برداری تجهیزات نیروگاههای بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی
- مشاوره فنی با نیروگاهها در جهت رفع مشکلات بهره‌برداری
- نظارت و تائید فنی کیفی و کمی بهره‌برداری نیروگاهها
- بررسی حوادث نیروگاهها و تهیه گزارش فنی در جهت جلوگیری از تکرار و پیشنهاد جهت رفع حوادث
- همکای با دفتر برنامه‌ریزی و نیروگاهها در جهت تهیه و تدوین برنامه‌های تعمیراتی با توجه به شرایط بهره‌برداری
- همکاری با سایر بخش‌های ستادی توانیر و وزارت نیرو در رابطه با مسائل بهره‌برداری نیروگاه‌ها
- همکاری در تخصیص بودجه جاری و بهینه‌سازی و سرمایه‌گذاری نیروگاهها و نظارت عالیه در اجرای آن
- همکاری در تأیید صلاحیت شرکت‌های بهره‌برداری نیروگاهها
- همکاری در تهیه استانداردهای بهره‌برداری نیروگاهها
- همکاری در پروژه‌های تحقیقاتی و نمونه‌سازی ساخت داخل قطعات نیروگاهی
- نظارت عالی بر پروژه‌های علمی، کاربردی صنعت برق که توسط سازمان‌های ذیربط و مراکز تحقیقاتی در جهت رفع مشکلات بهره‌برداری نیروگاهها تهیه می‌شود.
- بررسی و پیشنهاد ارائه رفع مشکلات بهره برداری نیروگاهها و هماهنگی در رفع آنها و انعکاس آن به سازمان توسعه برق ایران و شرکت‌های مهندسی مشاور جهت جلوگیری از تکرار در سایر پروژه‌ها
- هماهنگی با سایر گروهها در رابطه با برنامه‌ریزی و نظارت بر اجرا جهت کاهش حوادث نیروگاهها ناشی ازعدم بهره‌برداری صحیح
- همکاری در برگزاری سمینارهای تخصصی و آموزش در بخش بهره برداری نیروگاهها در جهت ارتقاء فنی و تخصصی پرسنل بهره‌برداری نیروگاهها

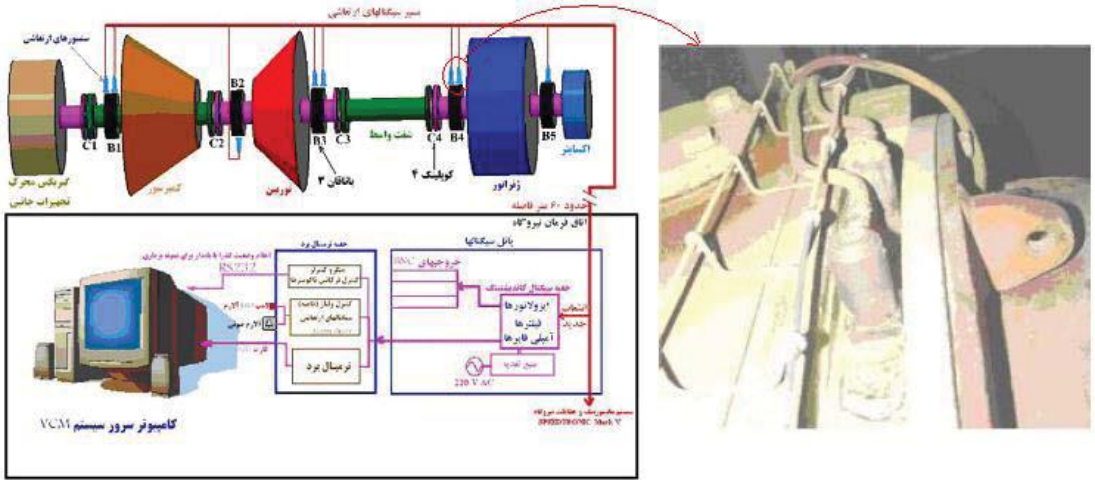
با توجه به تجدید ساختار صورت گرفته در بخش تولید صنعت برق و کاهش متخصصین حوزه های گوناگون در دفتر فنی تولید، برخی از وظایف مورد اشاره به نهادهای دیگر نظیر انجمن صنفی نیروگاههای ایران (اصنا) واگذار گردید. با این وجود همچنان خلأهای فنی و مدیریتی در این حوزه به خوبی احساس می‌گردد. به همین دلایل کیفیت انجام فعالیتهای حوزه بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در نیروگاههای کشور از تنوع بسیار قابل توجهی برخوردار است. به گونه‌ای که سطح ارائه خدمات بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در برخی از نیروگاههای کشور با نیروگاههای مشابه در کشورهای پیشرفته قابل رقابت است. بالعکس در برخی از نیروگاههای کشور وضعیت بهره بردای و نگهداری و تعمیرات در وضعیت بسیار نامطلوبی قرار دارد.

- **برخی از اقدامات صورت گرفته در نیروگاه‌های کشور**

جهت ارائه تصویری از وضعیت بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در نیروگاههای کشور، در ادامه به پاره ای از اقدامات قابل توجه (فراتر از وضعیت معمول) در حوزه بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در برخی از نیروگاههای کشور پرداخته می شود.

- پیاده سازی سیستم عیب‌یابی مرکزی با آنالیز ارتعاشات در نیروگاه آبادان: سیستم تحت وب مانیتورینگ و عیب یابی مرکزی واحدهای نیروگاهی (به نام VCM تحت وب) با استفاده از روش آنالیز ارتعاشات در گروه

مکانیک پژوهشگاه نیرو طراحی شده و بر روی ۴ مجموعه توربین ـ ژنراتور نیروگاه گازی آبادان پیاده‌سازی شده است. این سیستم از دو بخش سخت افزاری (شامل سنسورها، سیگنال کاندیشنرها و کارت A/D و ...) و نرم افزاری (شامل قسمتهای دریافت و ذخیره داده ها در کامپیوتر و آنالیز داده ها بمنظور شناسایی عیوب ماشین ها) تشکیل شده است. این سیستم امکان مانیتورینگ مستقیم و ثبت پارامترهای ارتعاشی ماشینهای دوار را از راه دور فراهم نموده و قابلیت کنترل حدود آلارم و خطر و ذخیره سازی اطلاعات و آنالیز آنها را به منظور عیب یابی دارا می باشد . با پیاده‌سازی این سیستم دسترسی به اطلاعات واحدهای نیروگاهی بصورت مستقیم (on-line) از طریق اینترنت در هر مکانی میسر بوده و تیم پروژه با تفسیر این اطلاعات بدون نیاز به مراجعه به نیروگاه علاوه بر توانایی بررسی وضعیت نیروگاه و تفسیر گزارشهای نرم افزار، می‌تواند بصورت پیوسته مشاوره لازم در زمینه عیب یابی و تحلیل وضعیت ماشین های دوار اصلی نیروگاه را ارائه نماید. سنسورهای ارتعاشی به کار رفته در نیروگاه آبادان از نوع سرعت سنج بوده و همگی در راستای قائم نصب شده اند.



شکل ۱-۱۹: شماتیک نیروگاه آبادان و سنسورهای نصب شده

- مانیتورینگ ارتعاشات در نیروگاه گازی ری: در نیروگاه ری با عمری در حدود ۲۵ سال انواع مختلف توربین گازی با عمرهای مختلف نصب شده است. واحدهای موجود در این نیروگاه شامل ۸ واحد هیتاچی قدیمی مدل ۱۰، GE واحد هیتاچی جدید مدل ۶، واحد AEG مدل ۶، GE واحد آسک مدل فیات ۸، واحد فیات ۳، واحد میتسوبیشی می باشد. برای اندازه گیری ارتعاش در توربین‌های F5 مستقر در این نیروگاه از سه سنسور شتاب استفاده می‌شود که هر سه در جهت عمودی روی پوسته‌های یاتاقان کمپرسور، یاتاقان ژنراتور و توربین نصب شده اند. سیگنال خروجی سنسورهای شتاب در نیروگاه ری تا اطاق کنترل محلی منتقل می‌شود . در آنجا مقادیر ارتعاشات هر سه سنسور بر روی یک اندیکاتور با یک سوییچ توسط اپراتور قابل قرائت می باشد. مقدار ارتعاشات یک سنسور در آن واحد بر روی اندیکاتور قابل مشاهده است و امکان مشاهده هر سه مقدار ارتعاشات بطور همزمان وجود ندارد. مقدار ارتعاشات در بازرسی عمومی در دیتاشیت ثبت می‌شود . بدین ترتیب سوابق ارتعاشی واحدها فقط شامل مقدار Overall در دفاتر قابل دسترسی می باشد و امکان تحلیل ارتعاشات وجود ندارد . به خاطر بازه زمانی بین قرائت مقدار ارتعاشات، در صورت افزایش ارتعاش هیچ آلارمی داده نمی‌شود و امکان

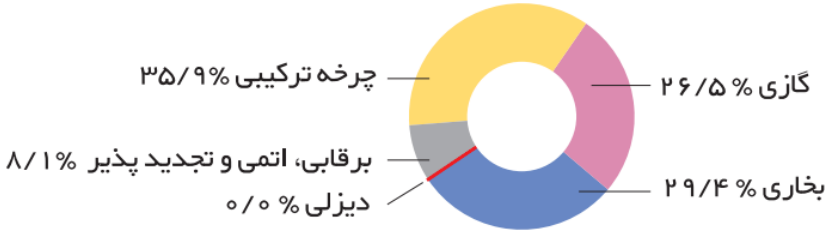
حفاظت ماشین وجود ندارد . سیستم اندازه گیری ارتعاشات در نیروگاه ری یک سیستم ابتدایی با حداقل تجهیزات است و در وضعیت فعلی بـرای پیـاده سـازی پـایش وضـعیت ارتعاشات در نت پیشبینانه مناسب نمی باشد.

۴-۱-نتیجه‌گیری

در این فصل با توجه به مطالعات انجام شده در فصل‌های پیشین و مقایسه اهمیت پمپ‌های مختلف نیروگاهی، پمپ‌هایی که محدوده موضوعی مطالعات را تشکیل می‌دهند مشخص شده اند. همچنین افق زمانی مطالعات نیز به منظور بررسی و تحلیل تحولات فناوری و نیز برنامه‌ریزی جهت توسعه فناوری، تعیین شده است.

۱-۴-۱- محدوده موضوعی مطالعات

طبق آمار توانیر، حدود ۹۱/۸ درصد از تولید ناویژه[۱] انرژی برق نیروگاهی در سال ۱۳۹۵، سهم نیروگاه‌های حرارتی بوده است. در این بین بیشترین سهم را به ترتیب نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، بخار و گاز داشته‌اند [۶].

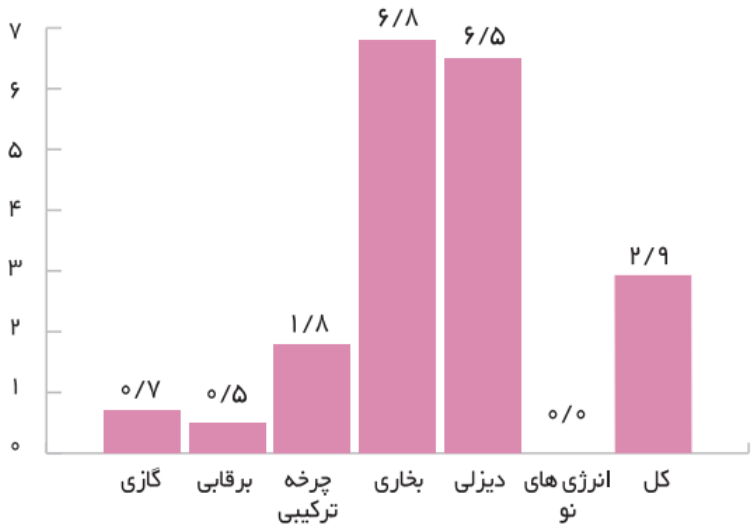


شکل ۱-۲۰: سهم نیروگاه‌های مختلف در تولید ناویژه انرژی برق در سال ۱۳۹۵ [٦]

همین آمار نشان می‌دهد حدود ۲/۹ درصد از ۲۸۹ هزار گیگاوات‌ساعت تولید ناویژه برق صرف مصارف داخلی نیروگاه‌ها شده است. البته باید توجه داشت که مصارف داخلی نیروگاه‌ها متوازن نیست. به عنوان مثال نیروگاه‌های بخار دارای مصرف داخلی بسیار بالا (به طور متوسط ۶/۸ درصد) و نیروگاه‌های گازی و برق‌آبی دارای مصرف داخلی پایین (به ترتیب ۰/۷ درصد و ۰/۵ درصد) هستند [۶].

[۱] جمع انرژی تولیدی مولدهای برق یک نیروگاه که در طی یک دوره زمانی معین (مثلاً یکسال) روی پایانه خروجی مولدها بر حسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت اندازه گیری می شود.

DOI:



شکل ۱-۲۱: درصد مصرف داخلی نیروگاه‌های کشور به تفکیک نوع نیروگاه [٦]

بنابراین با در نظر گرفتن میزان تولید هر کدام از انواع نیروگاه‌ها و نیز درصد مصارف داخلی آن‌ها می‌توان دریافت که حدود ۷۰ درصد مصرف داخلی نیروگاه‌های کشور سهم نیروگاه‌های بخار و بیش از ۲۰ درصد مصرف داخلی نیروگاه‌های کشور سهم نیروگاه‌های چرخه ترکیبی است. از آن جا که بیشتر مصارف داخلی در نیروگاه‌ها به الکتروموتور پمپ‌ها، فن‌ها و نظایر این تجهیزات تعلق دارد می‌توان تخمینی از تعداد و حجم این تجهیزات در نیروگاه‌های مختلف به دست آورد.

به همین دلیل هدف مطالعات در این پروژه، پمپ‌های نیروگاه‌های بخار و سیکل ترکیبی انتخاب گردید. با توجه به وجود سیکل بخار در نیروگاه سیکل ترکیبی، اشتراکات و مشابهت‌های فراوانی بین پمپ‌های این دو نوع نیروگاه وجود دارد. در نهایت بر اساس اطلاعات گردآوری شده از سه نیروگاه سیکل ترکیبی [۷] می‌توان خلاصه‌ای از با اهمیت‌ترین پمپ‌های نیروگاهی از منظر اثرگذاری بر کارکرد نیروگاه و نیاز به قطعات یدکی را مطابق جدول زیر ارائه نمود. با توجه به آن چه گفته شد شش نوع پمپ زیر به دلیل کاربرد و اهمیت بالا در نیروگاه‌های حرارتی و نیز دریافت اعلام نیازهای متعدد از واحدهای مختلف برای تأمین قطعات یدکی، محدوده موضوعی مطالعات در پروژه حاضر است.

جدول ۱-۵: فهرست پمپ‌های نیروگاهی مورد نظر برای تدوین نقشه راه توسعه فناوری

دسته‌بندی پمپ	نام پمپ	نوع پمپ	محدوده توان	قطعات یدکی پرمصرف
سیکل بخار	تغذیه آب بویلر	گریز از مرکز چندطبقه افقی	بیش از ۱۰۰۰ کیلووات	پروانه، آب‌بند مکانیکی، یاتاقان ژورنال، یاتاقان تراست، شفت
	آب کندانس	گریز از مرکز چندطبقه عمودی	۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات	پروانه، شفت، آب‌بند مکانیکی، بوش گرافیتی
سیستم خنک‌کن	گردش آب خنک‌کن	گریز از مرکز	بیش از ۱۰۰۰	پروانه، شفت، آب‌بند

اصلی			کیلووات	مکانیکی
سیستم سوخت‌رسانی	تزریق سوخت	چرخشی پیچی	۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلووات	آب‌بند مکانیکی
سیستم روغن‌کاری توربین	پمپ‌ها روغن اصلی، کمکی، اضطراری و جکینگ	گریز از مرکز	تا ۵۰ کیلووات	پروانه و شفت
فرآیندهای شیمیایی	دوزینگ	رفت و برگشتی دیافراگمی	تا ۵۰ کیلووات	دیافراگم، پکینگ

لازم به ذکر است که در اغلب موارد، پمپ‌های فوق یا قطعات یدکی مورد نیاز آن‌ها از خارج از کشور وارد می‌شوند. طبق آمار ارائه شده از سوی اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی استان تهران در سال ۱۳۹۷ بیش از ۲۲۳ میلیون دلار صرف واردات انواع پمپ و قطعات یدکی آن‌ها به کشور شده است که عمده آن مربوط به پمپ‌های گریز از مرکز بوده است. در جدول زیر آماری از واردات پمپ‌های مختلف آمده است [12].

جدول ۱-٦: آمار واردات پمپ‌های صنعتی در سال ۱۳۹۷ [12]

نوع پمپ	ارزش واردات در سال ۱۳۹۷ (میلیون دلار)
گریز از مرکز	۸۵/۸
چرخشی پیچی	۲/۹
رفت و برگشتی دیافراگمی	۱/۰
اجزا و قطعات همه پمپ‌ها	۳۲/۰

با توجه به این آمار می‌توان دریافت که اهمیت پمپ‌های گریز از مرکز از نظر ارزش بازار، بسیار بیشتر از سایر پمپ‌های صنعتی است.

۲-۴-۱- افق زمانی مطالعات

با توجه به نوع پمپ‌های در نظر گرفته شده و قطعات آن‌ها و با در نظر داشت مدت زمان لازم برای توسعه فناوری آن‌ها، افق زمانی مطالعات به صورت میان مدت (۵ ساله) تعیین شده است.

۲- هوشمندی فناوری پمپ‌های صنعت آب و برق

۱-۲-شناسایی حوزه‌های فناورانه

در این فصل ابتدا تاریخچه‌ای از توسعه فناوری پمپ‌ها ارائه شده و سپس حوزه‌های توسعه فناوری مورد شناسایی قرار گرفته‌اند.

۱-۱-۲- تاریخچه توسعه فناوری پمپ‌ها

اولین وسیله برای بالا بردن آب را مصریان در حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح اختراع کردند. در حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد ارشمیدس پمپ پیچی را طراحی کرد که هنوز هم برای پمپاژ مایعات و ذرات جامد استفاده می‌شود. طرح اولین پمپ گریز از مرکز نیز در سال ۱۴۷۵ میلادی توسط یک مهندس ایتالیایی به نام فرانچسکو مارتینی۱ به منظور جابجا کردن گل و لای ارائه شد. در سال ۱۶۳۶ میلادی یک مهندس آلمانی به نام پاپنهایم۲ پمپ چرخ‌دنده‌ای دارای دو چرخ‌دنده با دندانه‌های عمیق را اختراع نمود که امروزه نیز از آن برای روغن‌کاری موتورها استفاده می‌شود. پمپ پاپنهایم با استفاده از یک آسیاب آبی به گردش در می‌آمد و از آن برای ایجاد فواره آب استفاده می‌شد. پمپ پلانجری نیز توسط ساموئل مورلاند۳ انگلیسی در سال ۱۶۷۵ میلادی اختراع شد که آب‌بند آن چرمی بود.

اولین پمپ گریز از مرکز نیز توسط دنیس پاپین۴ فرانسوی در سال ۱۶۸۷ میلادی اختراع شد که دارای پره‌های صاف بود. در سال ۱۸۵۱ میلادی جان اپولد۵، مخترع انگلیسی، نخستین پمپ گریز از مرکز با پره‌های منحنی را ارائه نمود. در سال ۱۸۵۹ میلادی جیکوب ادسون۶ اولین پمپ دیافراگمی را اختراع کرده و با تأسیس یک شرکت در شهر بوستون اقدام به تولید و فروش این نوع پمپ نمود. در سال ۱۹۰۵ میلادی پمپ‌های گریز از مرکز چند طبقه توسعه پیدا کردند.

در دهه ۱۹۸۰ میلادی کنترل‌های الکترونیکی به صنعت پمپ وارد شدند که باعث افزایش راندمان انرژی گردید و در سال ۲۰۰۱ میلادی شرکت فلوسرو۷ پمپ‌های دارای محرک فرکانس متغیر را به بازار عرضه کرد [13]. در حال حاضر نیز عمده فناوری‌های جدید در حوزه دیجیتالی سازی، کنترل، پایش وضعیت و عیب یابی می‌باشد که در ادامه در خصوص آن‌ها توضیحاتی ارائه شده است.

۲-۱-۲- زمینه‌های توسعه فناوری بر اساس نوع پمپ

در این بخش زمینه‌های توسعه فناوری پمپ‌ها در قالب پمپ‌های گریز از مرکز، پمپ‌های دیافراگمی، آب‌بندهای مکانیکی، انعطاف‌پذیری در عملکرد، دیجیتال‌سازی، تست و نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌ها مطالعه شده است.

---

[1] Francesco di Giorgio Martini
[2] Pappenheim
[3] Sir Samuel Moreland
[4] Denis Papin
[5] John Appold
[6] Jacob Edson
[7] Flowserve

۱-۲-۱-۲- پمپ‌های گریز از مرکز

فناوری ماشین‌های دوار نقش مهمی در صنایع پایین دستی ایفا می‌کند. معمولاً شرایط کاری این تجهیزات در فرآیندهای یک کارخانه سخت است و به همین دلیل نقش حیاتی در عملکرد یک کارخانه یا تأسیسات دارند. در این بین پمپ‌های گریز از مرکز به دلیل این که تقریباً در همه فرآیندهای یک کارخانه به کار می‌روند، اهمیت ویژه‌ای دارند.

بازار پمپ‌های گریز از مرکز شامل گستره وسیعی از کاربردهای فرآیندی است. به همین دلیل پیکربندی‌های متعددی برای این پمپ‌ها توسعه پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به پمپ‌های تک مرحله‌ای، پمپ‌های چند مرحله‌ای، پمپ‌های دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی۱، پمپ‌های دارای پوسته بازشو به صورت محوری۲، پمپ‌های افقی و پمپ‌های عمودی اشاره نمود.

پمپ‌های افقی متداول‌ترین پمپ‌ها در کاربردهای پایین دستی هستند. این پمپ‌ها در گستره وسیعی از فشار (تا ۴۰۰ بار) و دما (تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد) کار می‌کنند. در حالی که پمپ‌های عمودی در گستره محدودتری به کار می‌روند به ویژه در شرایطی که هد مکش مثبت خالص کمی در دسترس باشد یا دما بسیار پایین باشد.

ضوابط فنی و استانداردهای صنعتی بازیگران اصلی در صنعت ماشین‌های دوار است. استاندارد انستیتوی نفت امریکا (API 610) و کدهای انستیتوی هیدرولیک۳ راهنمای کامل و گسترده‌ای در زمینه پمپ‌ها ارائه کرده‌اند که کل فرآیند ساخت پمپ را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. این استانداردها اغلب حوزه‌ها از مهندسی اولیه تا تولید نهایی را در بر می‌گیرد. استاندارد API 610 چندین بار مورد بازنگری واقع شده و معیارهای آن از تلرانس‌های راندمان به سمت تلرانس‌های توان جذب شده حرکت کرده است. همچنین معیارهای این استاندارد برای محدوده ارتعاشات نیز به منظور طول عمر بیشتر دستگاه ارتقا یافته است [14].

- **پمپ‌های گریز از مرکز افقی یک طبقه**

پمپی که هد آن توسط یک پروانه تأمین می‌شود پمپ یک طبقه نامیده می‌شود. بیشتر پمپ های گریز از مرکز یک طبقه برای سرویس در فشارها و دماهای متوسط در نظر گرفته شده اند. برای پوسته پمپ‌های یک طبقه معمولاً از چدن استفاده می‌شود که دارای استحکام لازم برای فشارهای ایجاد شده می‌باشد. برای فرآورده‌های نفتی خورنده یا خطرناک، ممکن است لازم باشد فولاد ریخته‌گری یا فولاد ضد زنگ ریخته‌گری شده به کار رود [15].

- **پمپ‌های گریز از مرکز افقی چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی**

قدیمی‌ترین نوع پمپ‌های دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی، پمپ‌های دارای پوسته رینگی۴ هستند. هنگامی که یک مرحله پمپ قادر به تأمین فشار مورد نیاز نباشد، دو یا چند واحد با پوسته بازشو به صورت شعاعی، در کنار هم قرار گرفته و با پیچ۵ محکم می‌شوند. در طراحی‌های بعدی این نوع پمپ، مراحل پمپ همراه با قطعات مربوط به مکش و تخلیه در دو انتها، همگی با استفاده از پیچ‌های درازی در کنار یکدیگر محکم می‌شدند. (نوع BB4 در استاندارد API 610) این پمپ‌ها با اشکال جدی در موقع بازکردن قطعات و دوباره سرهم کردن آن‌ها مواجه می‌شوند. چرا که برای هر بار سرویس این پمپ‌ها

---

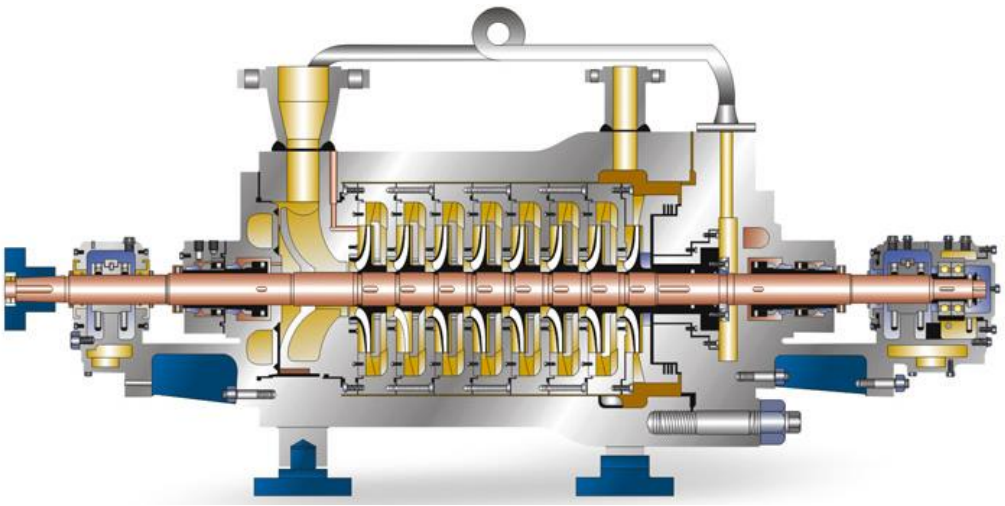
[1] Radially split
[2] Axially split
[3] Hydraulic Institute
[4] Ring-section
[5] Bolt

لازم است اتصال قسمت مکش و تخلیه با لوله‌کشی جدا شود. همچنین یکی دیگر از اشکالات اساسی این پمپ‌ها نشتی است که ناشی از ساختار پوسته متعدد و غیر یکپارچه آن می‌باشد.



شکل ۲-۱: پمپ دارای پوسته رینگی

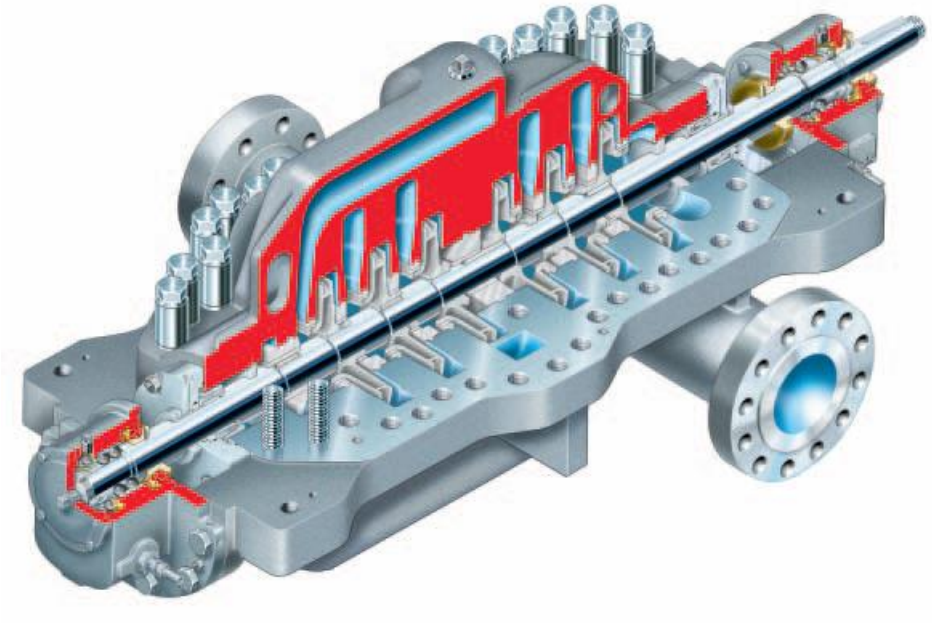
برای رفع این اشکال، از طراحی دو پوسته‌ای استفاده شد. ایده اصلی این است که بخش‌های اصلی پمپ (شامل مراحل رینگی شکل) مشابه با پمپ‌های دارای پوسته رینگی در قالب یک پوسته داخلی در کنار یکدیگر قرار گرفته و پوسته بیرونی این بخش داخلی را در بر بگیرد. فضای بین این دو پوسته در فشار خروجی مرحله آخر پمپ قرار دارد. نازل‌های مکش و تخلیه با یکدیگر قطعه یکپارچه پوسته بیرونی را تشکیل می‌دهند (نوع BB5 در استاندارد API 610). به این ترتیب در مواقع سرویس می‌توان بخش داخلی را از پوسته خارجی بیرون کشید. بدون این که نیازی به قطع اتصالات لوله‌کشی به قسمت‌های مکش و تخلیه پمپ باشد. علاوه بر این، احتمال نشتی پمپ به دلیل استفاده از پوسته یکپارچه خارجی کاهش می‌یابد [15].



شکل ۲-۲: پمپ دوپوسته شامل پوسته رینگی داخلی و پوسته خارجی که لوله‌های مکش و رانش به آن متصل است

- **پمپ‌های گریز از مرکز افقی چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری**

در این پمپ‌ها، پوسته توسط یک صفحه افقی که از محور پمپ می‌گذرد، به دو قسمت تقسیم شده است. در این پمپ‌ها قسمت مکش و تخلیه هر دو بر روی یک نیمه پوسته قرار دارند. به این ترتیب نیمه دیگر پوسته را می‌توان به منظور بازرسی پمپ برداشت. بدون این که باعث تغییر در وضعیت یاتاقان‌ها و یا لوله‌کشی شود. (نوع BB3 در استاندارد API 610) این پمپ‌ها فشار محدودی (تا حدود ۱۴۰ بار) را می‌توانند تأمین نمایند. در این پمپ‌ها، جهت قرار گرفتن حلزونی‌ها با هم متفاوت است. این کار به دلیل بالانس شدن نیروهای شعاعی صورت می‌گیرد همچنین پروانه‌ها نیز به صورت رو به رو یا پشت به پشت قرار می‌گیرند تا نیروی محوری کاهش یابد [15].



شکل ۲-۳: پمپ دارای پوسته بازشو به صورت محوری با آرایش پروانه‌های پشت به پشت

- **پمپ‌های گریز از مرکز عمودی**

در این نوع پمپ‌ها، محور به صورت عمودی قرار گرفته است. پمپ‌های گریز از مرکز عمودی به دو نوع چاله خشک۱ یا چاله مرطوب۲ تقسیم می‌شوند. پمپ‌های چاله خشک توسط هوا احاطه شده‌اند و پمپ‌های چاله مرطوب یا به طور کامل یا تا حدی در مایع مستغرق می‌باشند. در پمپ‌های عمودی مایع به نقطه‌ای در بالا یا زیر کف نگهدارنده تخلیه می‌شود. لذا پمپ-های عمودی به عنوان واحدهای تخلیه بالای زمین یا تخلیه زیرزمینی محسوب می‌شوند [15]. پمپهای عمودی کاربرد زیادی درسیستم‌های استخری دارند که در بسیاری از موارد در سیستم‌های خنک‌کاری با ظرفیت بالا به کار رفته و توان مصرفی بالایی نیز دارند.

[1] Dry Pit
[2] Wet Pit

- **ارتقای پمپ‌های گریز از مرکز**

با توجه به تلاش مدیران کارخانه‌ها و تأسیسات صنعتی برای رقابت‌پذیری بیشتر در بازار، تقاضا برای ارتقای عملکرد پمپ‌های گریز از مرکز و کاهش هزینه‌های آن بیشتر شده است. در این بین تحولات فناوری مواد فلزی نقش برجسته‌ای داشته است. چرا که در حین عملکرد، پمپ‌ها در معرض خوردگی، سایش و خستگی قرار می‌گیرند. از منظر طراحی نیز انتخاب مواد مناسب برای طول عمر تجهیز ضروری می‌باشد.

امروزه فناوری مواد باعث مقاومت بهتر پمپ در برابر شرایط خشنِ کاری شده است. فرآیندهای متالورژی سبب کنترل بهتر شیمی مواد شده است. از این مواد می‌توان به فولادهای داپلکس (CD4MCu) یا برخی از گریدهای خاص فولادهای رسوب سخت شونده[1] 17-4-PH، که معمولاً در ساخت شفت‌ها استفاده می‌شود، اشاره نمود. در برخی از موارد نیز از فرآیندهای خلاقانه‌ای نظیر پوشش پلاسما یا لیزر برای سخت گردانی سطحی استفاده می‌شود که مقاومت را در برابر سایش افزایش می‌دهد.

توسعه روش‌های محاسبات عددی مبتنی بر اجزاء محدود (FEM) به درک بهتری از میدان تنش در اجزای پمپ منجر شده است. در طراحی‌های مدرن تجهیزات دوار از مزایای نرم‌افزارها در ارزیابی دقیق اجزای مختلف پمپ نظیر یاتاقان‌ها، پیستون‌های تعادل و اندازه‌گذاری لقی‌ها استفاده می‌شود.

یکی دیگر از مسائل تأثیرگذار بر پمپ‌های گریز از مرکز کاویتاسیون است. در گذشته بهره‌برداران باتجربه پمپ‌ها کاویتاسیون را با توجه به صدای به خصوص آن تشخیص می‌دادند. پیشرفت‌های اخیر در مطالعه ارتعاشات حاکی از این است که می‌توان کاویتاسیون را با استفاده از تبدیل فوریهٔ سریع (FFT2[2]) تشخیص داد که خود زمینه را برای عیب‌یابی اتوماتیک فراهم آورده است. رویکرد متداول در کنترل کاویتاسیون بر مبنای طراحی فرآیند با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان برای هد مکش مثبت خالص مورد نیاز (NPSHr) می‌باشد. همچنین با اندازه‌گیری فشار، دما و سرعت سیال در نزدیک‌ترین نقطه به دهانه مکش می‌توان کاویتاسیون را پایش نمود. سیستم پایش وضعیت دائمی در گذشته تنها برای موارد معدودی استفاده می‌شد. چرا که هزینه پایش وضعیت، به ویژه در ماشین‌های کوچک، بالا بود. فراهم شدن امکان تهیه کنترل کننده‌های منطقی در بازار، این شرایط را تغییر داده است و امروزه حتی پمپ‌های گریز از مرکز کوچک نیز می‌توانند از این سیستم کنترل و پایش وضعیت بهره‌مند شوند.

مورد دیگری که همواره به ارتقای فناوری پمپ‌ها کمک کرده است توسعه روش‌های تست پمپ است. فراهم بودن سیستم‌های پیشرفته اندازه‌گیری ارتعاشات حجم قابل توجهی از داده‌ها را در اختیار قرار می‌دهد. این داده‌ها به مهندسین مسئول انجام آزمایش این امکان را می‌دهد که ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و پارامترهای مکانیکی نظیر دبی جریان و کاویتاسیون را استخراج نماید.

همچنین دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) سبب توسعه فرآیند ساخت پمپ شده است. باید توجه داشت که طراحی هیدرولیکی سه‌بعدی جریان داخل پروانه پمپ یک فرآیند ظریف و پیچیده است. افزایش توان محاسباتی و در دسترس بودن کدهای قابل اطمینان سبب ارتقای مداوم فرآیند طراحی پمپ‌های گریز از مرکز شده و امکان یکپارچه‌سازی تجربه ساخت و پیش‌بینی‌های شبیه‌سازی را فراهم آورده است. کدهای تجاری کنونی امکان مدل‌سازی پیشرفته جریان‌های لزج و غیرلزج و نیز استفاده از معادلات مختلف جریان مغشوش را برای کاربر فراهم می‌کنند. همچنین این کدها الگوریتم‌هایی برای شبیه‌سازی مناطق دوار توربوماشین‌ها دارند. البته باید توجه داشت که زنجیره طراحی نهایتاً با تست تجهیز در کارگاه سازنده

[1] Precipitation hardening

[2] Fast Fourier Transform

تکمیل می‌شود. اما استفاده از CFD سبب طراحی‌های بهتر شده و زمان مورد نیاز برای اصلاح و تغییر طراحی را کاهش داده است. شبیه‌سازی کامپیوتری به سازندگان این اجازه را می‌دهد که کانال‌های هیدرولیکی را به منظور دستیابی به اهداف مشخص طراحی بهینه‌سازی نمایند. اهمیت این موضوع زمانی آشکار می‌شود که از امکان انطباق و یکپارچه‌سازی طراحی هیدرولیکی CFD با طراحی به کمک کامپیوتر یا ساخت به کمک کامپیوتر (CAD/CAM) به منظور بهینه‌سازی طراحی هیدرولیکی برای ساخت استفاده نمود [15].

- **سیستم‌های کنترل**

توسعه سیستم‌های کنترل یکی از زمینه‌های مهم برای ارتقای فناوری پمپ‌ها است. داده‌های مربوط به صنایع اروپا حاکی از این است که بیشترین مصرف انرژی مربوط به موتورهای محرکه پمپ‌ها است. در تأسیسات صنعتی موتورهای محرکه پمپ حدود ۷۶ درصد کل انرژی را مصرف می‌کنند. با وجود این هزینه بالا، کنترل پمپ‌های دارای مصرف انرژی پایین در گذشته مورد توجه نبوده است. این امر به ویژه در مقایسه با پمپ‌های بزرگ که در حال حاضر از سیستم‌های کنترل پیشرفته استفاده می‌کنند مشهود بود. علت این موضوع پایین بودن نسبت فایده به هزینه در مورد پمپ‌های دارای مصرف انرژی پایین است. چرا که اضافه کردن سیستم کنترل به این پمپ‌ها هزینه‌های ایستگاه پمپاژ را به میزان قابل توجهی افزایش می‌داد.

یکی از رویکردهای سازندگان در گذشته فراهم کردن قطعات یدکی پمپ هنگام نصب آن بود. این رویکرد سبب افزایش هزینه اولیه پمپ‌ها می‌شد. در این رویکرد بسیاری از پمپ‌ها تا زمان تخریب کار می‌کردند. هزینه نیروی کار و تعویض قطعه مربوط به این رویکرد در محاسبات اولیه طراحی کارخانه وارد نمی‌شد اما در عوض در فهرست هزینه‌های بهره‌برداری قرار می‌گرفت. امروزه نصب یکی سیستم کنترل مخصوص حتی برای پمپ‌های کوچک و کم مصرف نیز می‌تواند توجیه‌پذیر باشد. استفاده از محرک‌های فرکانس متغیر۱ (VFD) برای کنترل پمپ‌ها می‌تواند سبب صرفه‌جویی چشمگیر در مصرف انرژی شود. صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز با استفاده از سیستم‌های کنترل پیشرفته مبتنی بر تشخیص خودکار امکان پذیر است.

سیستم‌های کنترل پیشرفته پمپ‌ها با استفاده از حداقل حسگرهای ممکن از ایده اتوماسیون کامل پیروی می‌کنند. این هدف با استفاده از مدل‌های مبتنی بر عملکرد۲ (PBM) دست یافتی است. این مدل‌ها به دلیل افزایش توان محاسباتی سیستم–های PLC توسعه یافته‌اند و امکان کنترل تجهیز، حفاظت و عیب‌یابی خودکار را فراهم می‌آورند. پمپ‌های دارای پایش وضعیت در مقایسه با سیستم‌هایی که پایش نمی‌شوند هزینه اولیه بالاتری دارند اما هزینه–های نگهداری، تعمیرات و نیز مدت زمان خاموشی آن‌ها کمتر خواهد شد.

مزیت اصلی این نوع سیستم‌ها، قابلیت کنترل چندمتغیره VFD و PBM است. کاربر پارامترهای کنترل فرآیند را تنظیم کرده و سیستم اطلاعات مربوط به این پارامترها را به صورت پیوسته پایش می‌کند. این روش به صورت خودکار کنترل تجهیز را بر مبنای پارامترهایی که نیاز به مداخله کنترلی دارند قرار می‌دهد. در مقایسه با شیر کنترلی، محرک‌های فرکانس متغیر سبب کاهش مصرف و افزایش راندمان انرژی می‌شوند. PBM به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که کارایی مورد انتظار یک تجهیز در شرایط کاری مشخص را پیش‌بینی کند. با استفاده از اندازه‌گیری‌ها نیز می‌توان عملکرد واقعی سیستم را مشاهده نمود. مقایسه عملکرد مورد انتظار و عملکرد واقعی می‌تواند امکان تشخیص خودکار عیوب (معمولاً کاویتاسیون و تخریب مکانیکی) را فراهم آورده و پروتکل حفاظتی را فعال‌سازی کند.

[1] Variable Frequency Drive

[2] Performance Based Models

روندهای متعددی در حوزه فناوری پمپ‌ها در حال توسعه هستند. بسیاری از سازندگان در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی و طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر پژوهش می‌کنند. استفاده از این دو روش ذکر شده، امکان بهینه‌سازی طراحی برای کاربری‌های خاص را فراهم می‌آورد. در مقایسه با روش متداول مبتنی بر انتخاب پمپ از روی کاتالوگ، فرآیند طراحی سفارشی به بهره‌برداران امکان یافتن پربازده‌ترین گزینه را می‌دهد. همچنین گسترش سیستم‌های کنترل جدید همراه با PMB در کنار الگوریتم‌های عیب‌یابی خودکار مزایای جدیدی را برای بهره‌برداران پمپ‌ها ایجاد می‌کند. استفاده از VFD نیز امکان مدیریت بهتر عملکرد پمپ را فراهم کرده و باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. به علاوه هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش داده و مدت زمان فعال بودن پمپ را افزایش می‌دهد. یکپارچه‌سازی روش‌های ذکر شده در واقع کلید عملکرد موفق نسل آینده پمپ‌های گریز از مرکز است [15].

۲-۲-۱-۲- پمپ‌های دیافراگمی

این پمپ از نوع پمپ‌های جابجایی مثبت است که دارای یک غشاء انعطاف‌پذیر به همراه تعدادی شیر یک‌طرفه۱ می‌باشد که به وسیله آن‌ها مایع داخل محفظه پمپ شده و از آن خارج می‌شود. از این پمپ‌ها برای انتقال مایعات و نیز اندازه‌گیری استفاده می‌شود که ظرفیت آن‌ها تا حدود ۷۰ متر مکعب در ساعت است. تنوع این پمپ‌ها بالا بوده و قابلیت کار کردن با انواع سیالات شامل مواد شیمیایی، پودرهای خشک، افزودنی‌های غذایی، چسب‌ها، رنگ‌ها، محصولات دارویی، پسماند و فاضلاب را دارند.

مشخصه اصلی همه پمپ‌های دیافراگمی عدم وجود آب‌بند و پکینگ۲ است که به معنی این است که از این پمپ‌ها می‌توان در کاربری‌هایی که در آن‌ها صفر بودن نشتی ضروری است استفاده نمود. پمپ‌های دیافراگمی در سه نوع عمده پمپ‌های دیافراگمی مکانیکی، پمپ‌های دیافراگمی هیدرولیکی و پمپ‌های دیافراگمی بادی عرضه می‌شوند که در ادامه این انواع توضیح داده شده اند.

- **پمپ‌های دیافراگمی مکانیکی**

از این پمپ‌ها در صنایع مختلف از جمله ساخت و ساز، شیمیایی و تصفیه آب استفاده می‌شود. کاربرد این پمپ‌ها در صنایع شیمیایی و تصفیه آب برای انتقال یا تزریق مواد شیمیایی در فرآیندها می‌باشد. فشار این پمپ‌ها در این کاربری تا حدود ۱۷ بار می‌تواند باشد. این پمپ‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به سادگی می‌توان ظرفیت آن‌ها را تنظیم نمود. بنابراین قادر به تزریق حجم دقیق و تعیین شده‌ای از یک ماده شیمیایی می‌باشند. جنس این پمپ‌ها متفاوت بوده و می‌تواند PVC، پلی-پروپیلن، فولاد ضد زنگ ۳۱۶ و یا مواد دیگر باشد. همچنین دیافراگم‌ها از جنس PTFE ساخته می‌شوند. شیر یک طرفه استفاده شده در این پمپ‌ها از نوع توپی می‌باشد. کاربرد این پمپ‌ها شامل تزریق اسید و باز به منظور کنترل pH، کلرزنی و غیره می‌باشد. نیروی محرکه پمپ‌های دیافراگمی مکانیکی خود شامل دو نوع الکترومغناطیسی (سلنوئید) و موتور الکتریکی است.

پمپ‌های الکترومغناطیسی (یا الکترونیکی) برای کاربری‌های نیازمند به توان پایین است که در آن ظرفیت پمپ کمتر از ۱۰۰ لیتر در ساعت می‌باشد. این پمپ‌ها که عمدتاً برای اندازه‌گیری استفاده می‌شوند دارای یک مدار کنترل الکترونیکی هستند که به یک الکترومگنت پالس می‌فرستد و سبب حرکت دیافراگم می‌شود. هر پالس الکترونیکی سبب یک تخلیه می‌گردد. پس از

[1] Check valve
[2] Packing

تخلیه مجموعه‌ای از فنرها دیافراگم را مجدداً به حالت اولیه باز می‌گردانند که سبب مکش مایع به داخل محفظه پمپ شده و پمپ را برای تخلیه بعدی آماده می‌کند. ویژگی دیگر این پمپ‌ها امکان تنظیم قدرت پالس است که می‌توان به وسیله آن تزریق مایع را به صورت یکنواخت‌تری انجام داد. ظرفیت پمپ نیز با تنظیم نرخ تزریق تنظیم می‌شود. ترکیب این تنظیمات امکان کارکرد پمپ در بازه وسیعی از ظرفیت را فراهم می‌آورد. پیشرفت‌های اخیر در کنترل‌های الکترونیکی امکان کنترل دستی دبی پمپ با کنترل سیگنال از ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر، دریافت پالس‌های دیجیتال از خارج (مثلاً دبی‌سنج) و یا کامپیوتر را فراهم کرده است. برای پمپ‌هایی که در فشار پایین کار می‌کنند تعمیر و نگهداری سالانه کافی است اما با افزایش فشار دیافراگم و شیرهای یک‌طرفه می‌بایست سریع‌تر تعویض شوند.

پمپ‌های دیافراگمی با نیروی محرکه موتور الکتریکی برای کار در محدوده ظرفیت ۱۰ لیتر تا ۱ مترمکعب در ساعت طراحی شده‌اند. چون این پمپ‌ها از نوع جابجایی مثبت هستند ظرفیت آن‌ها با استفاده از شیر خفگی قابل تنظیم نیست. البته مکانیسم‌های دیگری برای تنظیم دبی در این پمپ‌ها طراحی شده است. در دبی‌های بالا می‌بایست نوسانات فشاری ناشی از عملکرد پمپ کنترل شود. چرا که این نوسانات باعث شتاب‌گیری و کاهش سرعت مداوم سیال در خط لوله می‌شود. برای این منظور از دمپ‌کننده‌های پالس در لوله خروجی و بعضاً لوله ورودی استفاده می‌شود.

- **پمپ‌های دیافراگمی هیدرولیکی**

این نوع پمپ‌ها برای فشار بالا طراحی شده‌اند. فشار این پمپ‌های دیافراگمی می‌تواند تا ۵۰۰ بار نیز افزایش یابد. ظرفیت این پمپ‌ها با تنظیم طول جابجایی دیافراگم یا نرخ حرکت آن تنظیم می‌شود. خطای دبی تزریق شده در این پمپ‌ها پایین و در حد ۱ درصد است و امکان تأمین دبی تا میزان ۱۰۰ متر مکعب در ساعت را دارند. دیافراگم‌هایی که فشار کاری آن‌ها بیش از ۳۰۰ بار است لازم است از مواد مقاوم‌تری مانند فولاد ضد زنگ ۳۱۶ یا PEEK ساخته شوند.

- **پمپ‌های دیافراگمی بادی**

پمپ‌های دیافراگمی بادی می‌توانند به طور نامحدود خشک کار کنند و نیز ظرفیت تخلیه را به طور نامحدود به صفر برسانند. متداول ترین انواع پمپ‌های دیافراگمی بادی، پمپ‌های دیافراگم دوتایی (پمپ‌های دوپلکس) هستند. این پمپ شامل دو محفظه دیافراگم و دو دیافراگم قابل انعطاف است. دیافراگم‌ها از طریق میله اتصال به یکدیگر متصل شده و در لبه‌های بیرونی به هم چسبیده‌اند. دو دیافراگم به طور همزمان در جهت خطی مشابه حرکت می‌کنند.

در این پمپ‌ها هوای فشرده تولید شده توسط کمپرسور باعث جابجایی دیافراگم‌ها و در نهایت مکش و تخلیه در پمپ می‌گردد. به این صورت که ابتدا هوای فشرده پشت دیافراگم سمت چپ رفته و هر دو دیافراگم را به طرف چپ حرکت می‌دهد. در حالی که هوای پشت دیافراگم سمت راست در اثر این حرکت به اتمسفر تخلیه می‌شود. پس از کامل شدن این مرحله یک شیر توزیع هوا جهت هوای فشرده ورودی را تغییر داده و آن را به پشت دیافراگم سمت راست هدایت می‌کند. در نتیجه هر دو دیافراگم به سمت راست حرکت کرده و هوا از محفظه سمت چپ به اتمسفر تخلیه می‌شود. این حرکت مداوم رفت و برگشتی همراه با عملکرد درست شیرهای یک طرف داخل پمپ باعث مکش و تخلیه نوبتی هر یک از دو محفظه شده و به صورت کلی جریان دائمی از مایع پمپ شونده را برقرار می‌کند.



شکل ۲-٤: پمپ دیافراگمی بادی فلزی (سمت راست) و پلاستیکی (سمت چپ)

در زیر ویژگی‌های جالب توجه پمپ‌های دیافراگمی بادی آمده است:

- با خاموش شدن پمپ مصرف انرژی نیز صفر می‌شود. مصرف هوا متناسب با دبی مایع پمپ شونده است. لذا در دبی صفر هوایی نیز مصرف نخواهد شد. این ویژگی سبب می‌شود تا بتوان از این پمپ‌ها در کاربری‌هایی که در آن‌ها دبی در محدوده وسیعی از صفر تا مقادیر زیاد تغییر می‌کند استفاده نمود.
- فشار تخلیه برای یک دبی معین و نیز فشار هوای معلوم ثابت است و به چگالی مایع پمپ شونده بستگی ندارد. چرا که فشار (و نه هد) در درجه اول توسط فشار هوا تعیین می‌شود. در حالی که در پمپ‌های گریز از مرکز هد ثابت بوده و فشار متناسب با چگالی مایع تغییر می‌کند.
- تعریف NPSH برای پمپ‌های دیافراگمی بادی مشابه با هر پمپ رفت و برگشتی دیگر است. مقدار هد مکش مثبت خالص مورد نیاز زمانی اندازه‌گیری می‌شود که بازده حجمی پمپ در سرعت و دبی ثابت حدود ۳ درصد افت کند.

کاربرد اصلی پمپ‌های دیافراگمی بادی برای پمپاژ دوغاب‌های دارای مواد ساینده است. چرا که سرعت مایع در شیرهای یک طرفه و محفظه پمپ از سرعت آن در لوله بیشتر نیست. از طرف دیگر به دلیل عدم وجود قطعات لغزنده یا دورانی با لقی‌های پایین و کم بودن سرعت، مقدار سایش حداقلی خواهد بود. از آن جا که این پمپ‌ها می‌توانند هم هوا و هم مایعات را پمپاژ کنند، قابلیت پمپاژ پودرها را نیز دارند. در این حالت هوا نقش محیط سیال برای پودر را ایفا کرده و پودر به صورت سوسپانسیون عمل خواهد نمود.

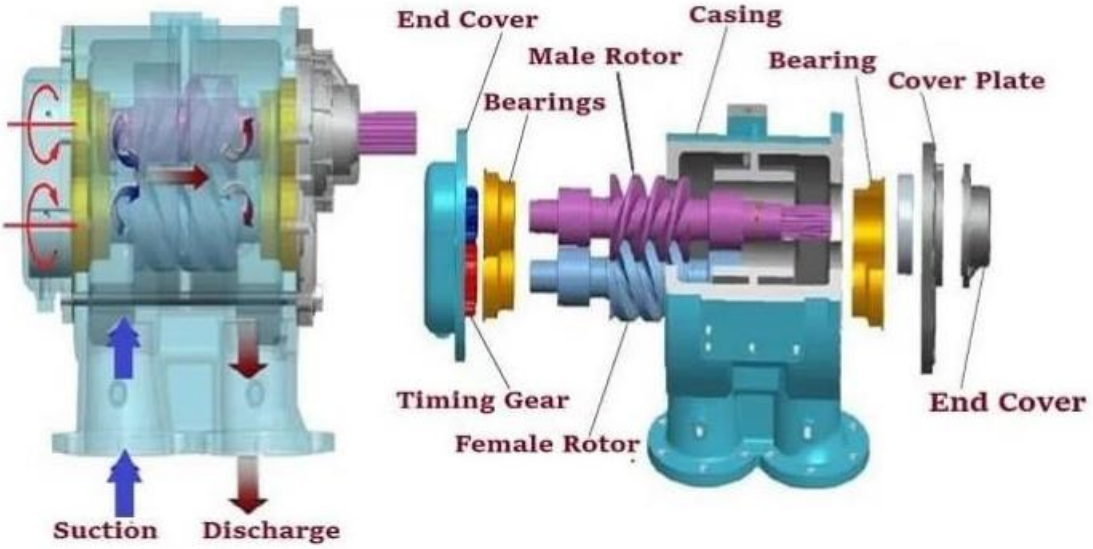
برای کنترل فشار پمپ می‌توان از یک رگولاتور فشار هوا در خط هوای فشرده ورودی استفاده نمود. همچنین شیر کنترل جریان هوا در این خط می‌تواند دبی مایع پمپ شونده را کنترل کند [15].

۳-۲-۱-۲- پمپ‌های پیچی

همان طور که در گزارش قبلی گفته شد، در صنعت برق پمپ‌های پیچی را معمولاً در کاربردهایی مانند روغنکاری یاتاقان و چرخدنده، تزریق سوخت با فشار بالا، انتقال سوخت ، روغن جکینگ و غیره یافت می‌شوند. پمپ پیچی نوعی پمپ جابجایی مثبت است که از دو یا چند پیچ استفاده می‌کند تا مایعات را تحت فشار قرار داده و آن‌ها را در سیستم حرکت دهد. پیچ‌ها مایع را گرفته و در عین حال با افزایش فشار، آن را از طرف دیگر خارج می‌کنند. امروزه دو نوع اصلی پمپ پیچی وجود دارد که در ادامه توضیح داده شده است.

- **پمپ دو پیچ**

این پمپ ها با استفاده از دو پیچ متداخل مانند آنچه در بالا توضیح داده شد کار می‌کنند. پمپ اغلب مجهز به چرخ دنده‌های زمان‌بندی[1] است که در خارج از محفظه پمپاژ قرار داشته و با روغن روانکاری می‌شود تا اطمینان حاصل شود که دو پیچ به درستی می‌چرخند. در این طراحی، لازم نیست که پیچ‌ها در تماس مستقیم با یکدیگر باشند که به افزایش عمر پمپ کمک می‌کند.



شکل ۲-۵: اجزای تشکیل دهنده یک پمپ دوپیچ

- **پمپ سه‌پیچ**

در این پمپ از یک پیچ محرک که با دو پیچ دیگر متداخل است برای ایجاد فشار و حرکت مایع استفاده می‌شود. در این طراحی پیچ‌ها با هم تماس پیدا می‌کنند که این امر پمپ را فقط به استفاده از مایعات تمیز محدود می‌کند [16].

۴-۲-۱-۲- آب‌بندهای مکانیکی

در موارد متعددی از پمپ‌های سرعت متغیر برای ارتقای راندمان و نیز افزایش انعطاف‌پذیری در عملکرد استفاده می‌شود. در این گونه پمپ‌ها معمولاً از ارزیابی آب‌بندهای مکانیکی در بازه عملکرد پمپ چشم‌پوشی شده و ارزیابی تنها در حداکثر

[1] Timing Gear

سرعت کاری انجام می‌گیرد. با توجه به اثرات محدوده کاری متغیر بر عملکرد آب‌بند مکانیکی، ارزیابی این قطعه در پمپ‌های سرعت متغیر برای سازندگان پمپ، سازندگان آب‌بند مکانیکی و نیز مصرف کننده نهایی پمپ اهمیت دارد. این ارزیابی می‌بایست شامل ارزیابی سرعت، فشار، دما و دبی سیستم آب‌بند باشد.

علاوه بر شرایط کاری، نحوه ساخت پمپ و پروانه آن نیز می‌تواند بر عملکرد آب‌بند مکانیکی اثرگذار باشد. همچنین برخی کاربری‌ها نظیر پمپاژ سیالات مختلف با خصوصیات مختلف و نیز نوسانات فشار و دما نیز می‌تواند بر عملکرد آب‌بند اثرگذار باشد.

برای آب‌بندی استراتژی‌های مختلفی وجود دارد که این استراتژی‌ها مبتنی بر برقرار کردن توازن میان نشتی و سایش می‌باشند. چرا که میزان سایش (اصطکاک) یک آب‌بند با افزایش نشتی آن کاهش می‌یابد و برعکس با افزایش سایش، نشتی آب‌بند کاهش می‌یابد. با توجه به رابطه نشتی و سایش و نیز با طراحی مدرن و استفاده از مواد کارآمد تقریباً می‌توان انواع آب‌بند مکانیکی با سطوح مختلف عملکردی را در اختیار داشت.

استفاده از گرافیت‌های کربنی به عنوان ماده آب‌بند در فشارهای کاری بیش از ۸۰ بار می‌بایست با ارزیابی دقیق صورت پذیرد. کاربیدهای سیلیکونی یکی از مواد سخت و مقاوم به سایش هستند که علاوه بر خواص مکانیکی خوب، خواص فشار ـ سرعت (PV) مناسبی نیز دارند. کامپوزیت‌های کاربید سیلیکون و گرافیت، دوام آب‌بند و مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی را افزایش می‌دهند. همچنین خواص فشار ـ سرعت فوق‌العاده‌ای دارند. از این مواد در فشارهای کاری بالا استفاده می‌شود. کاربید تنگستن نیز یک ماده سخت و مقاوم به سایش است اما عملکرد فشار ـ سرعت آن مناسب نیست و مستعد خرابی در اثر حرارت می‌باشد [17].

۳-۱-۲- انعطاف‌پذیری در عملکرد

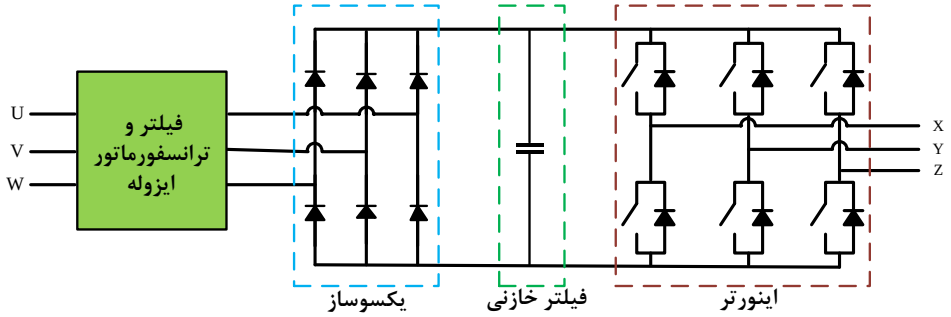
می‌توان گفت اصلی‌ترین توسعه‌ای که در فناوری پمپ‌ها صورت گرفته است مبتنی بر نیاز عملیاتی بهره‌بردار بوده و آن نیاز توانایی تغییر کارکرد پمپ است. به این نیاز به تدریج با تغییر در منبع محرک پمپ پاسخ داده شده است. به این صورت که کنترل سرعت پمپ به عنوان یک جایگزین برای کنترل پمپ با شیر مطرح است. چرا که در روش قبلی به دلیل ایجاد مانع بر سر راه جریان، انرژی قابل توجهی به هدر می‌رفت. نیاز به تغییر عملکرد پمپ در یک تأسیسات صنعتی نیاز تازه‌ای نیست اما امکان پاسخگویی به این نیاز به تازگی فراهم شده است. موتورهای ارتقا یافته امروزی همراه با فناوری محرک‌های سرعت متغیر راه حل پاسخ به تغییر الگوی بار یا تقاضا را در اختیار بهره‌برداران قرار داده‌اند. در ادامه این فناوری‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۱-۲-۱- محرک‌های سرعت متغیر الکتریکی

استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور موتور، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور، فن و یا پمپ را به طور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می‌توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در تنظیم کننده‌های مکانیکی جلوگیری نمود. با استفاده از درایو موتورها بار تطبیق داده شده و هر گونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می‌گردد. همچنین کنترل سرعت دقیق و متعاقب آن توان خروجی قابل دسترسی بوده و با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی، استهلاک قسمت‌های کنترل‌کننده در حد بسیار پایین خواهد بود.

درایوها دستگاه‌هایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل می‌کنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است. برای این منظور، یک درایو نخست برق

شبکه را به ولتاژ DC تبدیل کرده و سپس آن‌را با استفاده از یک اینورتر[1] مجدداً به ولتاژ AC با فرکانس و ولتاژ متغیر تبدیل می‌کند. در شکل زیر قسمت‌های اصلی یک درایو ولتاژ پایین نشان داده شده است [18-19].



شکل ۲-٦: شمای کلی یک کنترل کننده الکتریکی موتور الکتریکی با سرعت متغیر

- **مزایای استفاده از محرک دورمتغیر الکتریکی**

با استفاده از کنترل دور متغیر الکتریکی، با کنترل دقیق سرعت موتور می‌توان مزایای زیر را برای سیستم فراهم کرد [18 و 20]:

- کنترل سرعت به جای اتلاف انرژی: اتلاف حدود ۲۰ درصد از این توان در شیرهای خفه کن که به منظور کنترل جریان سیال به کار می‌رود، باعث هدر رفتن حجم عظیمی از انرژی می‌شود. همچنین به منظور تطبیق سرعت موتور با پمپ یا فن متصل به آن از کوپل‌های هیدرولیکی یا پنوماتیکی با بازدهی پایین استفاده می‌شود که بخش دیگری از انرژی نیز در این قسمت‌ها به هدر می‌رود. با استفاده از درایوها نیاز به استفاده از شیرهای خفه کن و کوپل هیدرولیکی و پنوماتیکی از بین می‌رود و بازدهی سیستم به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد.
- بهبود عملکرد سیستم‌های پمپ و فن: با استفاده از درایو در پمپ‌ها و فن‌ها، می‌توان به سیستم قابلیت بالایی در کنترل جریان سیال داد و سرعت پاسخ‌گویی سیستم را بالا برد مخصوصاً در هنگامی که پمپ و فن رفتاری غیرخطی داشته باشند این قابلیت بیشتر خود را آشکار می‌کند. همچنین با استفاده از درایو می‌توان مشکل بروز ناپایداری در کنترل شیرهای خفه کن در هنگامی که شیر کمتر از ۱۰ درصد مقدار بازشدگی نامی خود باز است را از میان برد. همچنین هرگونه کاهش سرعتی که توسط درایو حاصل می‌شود، باعث کاهش فرسایش پمپ و فن به خصوص در محدوده پروانه، یاتاقان‌ها و درزگیرها می‌شود. با استفاده از درایو در پمپ‌ها به همراه سیستم مانیتور فشار جریان مسیر ورودی، می‌توان درایو را به منظور مقابله با بروز کاویتاسیون در سیستم آماده سازی کرد. فشار ناشی از تغییر ناگهانی مسیر آب که به ضربه قوچ[2] معروف است، می‌تواند به ادوات موجود در مسیر جریان مانند پروانه‌ها، شیرها و حتی لوله‌ها و اتصالات لوله آسیب وارد کند. با استفاده از درایو در پمپ‌ها می‌توان میزان فشار آب را به صورت مرحله به مرحله افزایش داد تا از آسیب به قطعات جلوگیری کرد.
- بهبود بازده موتور: یکی دیگر از مزایای استفاده از درایوها، بهبود بازده خود موتور است. درایو به موتور این اجازه را می‌دهد که نزدیک به نقطه کار بهینه خود کار کند. درایو می‌تواند گروهی از منحنی‌های عملکرد جدید را برای موتور ایجاد کند و به همین ترتیب نیز موتوری که با استفاده از درایو کنترل می‌شود می‌تواند منحنی‌های عملکرد

[1] Inverter
[2] Water Hammer

جدیدی را برای پمپ یا فن متصل به آن ایجاد کند. در هر دو صورت، برخورد منحنی عملکرد موتور با منحنی مشخصه بار متصل، نقطه کار درون محدوده عملکرد بهینه سیستم را حاصل می‌کند. با استفاده از درایوها می‌توان خطای ناشی از بزرگ‌تر بودن موتور از میزان مورد نیاز را تصحیح کرد و با کاهش سرعت موتور تا اندازه مورد نیاز، بازدهی کار آن‌ها را بالا برد. بنابراین درایوها را می‌توان حتی در کاربردهایی که نیاز به کنترل سرعت ندارند نیز استفاده کرد. با مقایسه درایوها با سایر روش‌های کنترل سرعت، می‌توان دریافت که با استفاده از درایو خبری از تلفات ناشی از لغزش بین موتور و بار نیست.

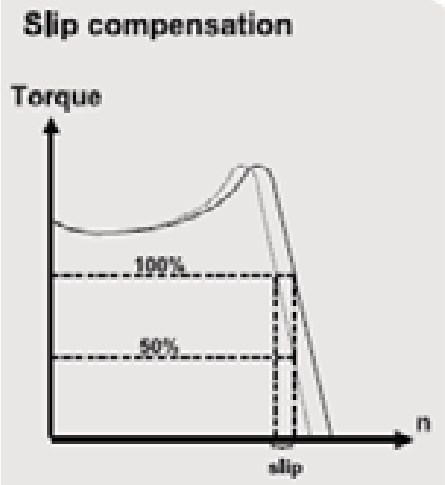
- راه‌اندازی نرم۱: موتورهای موجود در شبکه، در هنگام راه‌اندازی جریان راه‌اندازی حدود ۶ برابر جریان راه‌اندازی موتور را از شبکه می‌کشند که این جریان زیاد به شبکه آسیب وارد می‌کند۲. راه‌اندازهای نرم نوعی از ادوات الکترونیک قدرت هستند که در خط تغذیه موتور قرار می‌گیرند و با اضافه کردن پله‌پله ولتاژ تغذیه تا مقدار نامی ولتاژ موتور، مقدار جریان راه‌اندازی آن را کم می‌کنند و استرس وارده بر سیستم را کم می‌کنند. این قابلیت پایداری ولتاژ شین تغذیه کننده موتور را بهبود بخشیده، جریان راه‌اندازی را کم کرده و با این کاهش جریان، ابعاد ترانسفورماتور تغذیه کننده موتور و سایر ادوات کنترلی متصل را نیز کم می‌کند. همچنین افت ولتاژهای منجر به قطع سیستم۳ نیز کاهش می‌یابد و خطر آسیب رسیدن به سایر مصرف‌کننده‌های متصل به شبکه نیز کاهش می‌یابد. درایوها می‌توانند به عنوان راه‌انداز نرم نیز در شبکه عمل کنند و جریان راه‌اندازی موتورها را تا ۱/۵ برابر میزان جریان نامی کم کنند و با کاهش استرس وارده بر موتور از فرسودگی عایق‌ها بکاهند. هر موتور در هر بازه معینی از زمان، قابلیت استارت به میزان محدودی را دارا است. راه‌اندازهای نرم با کاهش بار گرمایی روی موتور، به موتور این قابلیت را می‌دهند تا در همان بازه زمانی معین به تعداد بیشتری استارت شود و به بهبود فرآیند کنترل کمک شایانی می‌کند. لازم به ذکر است که راه‌اندازی نرم موتور برای خود بار نیز مفید است و در بارهای حساس از آسیب‌های احتمالی جلوگیری می‌کند.
- تصحیح ضریب توان: طراحی داخلی درایو باعث می‌شود تا بتوان ضریب توان موتور را از دید شبکه بهبود بخشید. با نصب درایو بر روی موتور، توان راکتیو عمدتاً بین موتور و لینک DC گردش کرده و توان راکتیو بین موتور و شبکه تبادل نمی‌شود. ضریب توان بالاتر باعث کاهش اندازه جریان خط و کاهش تلفات خطوط متصل کننده و ترانسفورماتورها می‌شود. موتوری که به درایو مجهز است، ضریب توانی در حدود ۰/۹۸ دارد و این مقدار در مقایسه با ضریب توان ۰/۸۳ موتوری که به صورت مستقیم و بدون واسطه به شبکه متصل باشد، مقدار بسیار خوبی است. همچنین ضریب توان موتوری که از درایو استفاده می‌کند با تغییر شرایط کاری موتور تغییر نمی‌کند. درایو می‌تواند به صورت یکسوساز فعال عمل کرده و با پیش فاز کردن و یا پس فاز کردن جریان و تامین توان راکتیو مورد نیاز شبکه، به تصحیح ضریب توان سیستم بپردازد که می‌تواند برای کل شبکه مفید باشد.
- جبران لغزش: به هنگام افزایش گشتاور بار در موتورهای بدون درایو، سرعت موتور به مانند نمودار نشان داده شده افت می‌کند که این عمل در برخی از موارد برای کل سیستم مشکل‌ساز است.

---

[1] Soft Starter

[۲] موتورهایی که بدون واسطه ادوات الکترونیک قدرتی و به طور مستقیم به شبکه متصل هستند به نام موتورهای مستقیم متصل به خط (Direct-On-Line) معروف می‌باشند.

[3] Trip



شکل ۲-۷: نمودار تغییر لغزش

برای جبران این لغزش، درایو منحنی گشتاور – سرعت خروجی موتور را تغییر داده به طوری که با افزایش گشتاور بار، سرعت تغییری نداشته باشد. جبران لغزش به صورت یک تابع پیش‌فرض بر روی اکثر سیستم‌های درایو قرار داده شده است.

- کنترل نقطه مرجع سرعت: درایوها چیزی بیش از یک کنترل‌کننده سرعت می‌باشند. بیشتر درایوها دارای یک کنترل‌کننده PID[1] قابل برنامه‌ریزی می‌باشند که می‌تواند موتور را در یک نقطه مرجع گشتاور و سرعت نگه دارد. با استفاده از این کنترل‌کننده PID تأخیر زمانی سیستم کم شده و امکان پاسخ سریع برای سیستم را فراهم می‌کند. این قابلیت برای کاربردهایی که نیاز به تغییر مداوم گشتاور به هنگام داشتن سرعتی دقیق و مشخص است، بسیار کارآمد خواهد بود.

  برنامه‌ریزی درایو به همراه کتابخانه‌هایی مرجع است که شامل توابع لازم برای ادوات خاص مانند پمپ‌ها، فن‌ها و ... است. توابع موجود در این کتابخانه‌ها دارای مشخصه‌های از پیش تعریف شده برای استفاده در این ادوات می‌باشند که به طور خاص برای استفاده در این ادوات بهینه شده‌اند.

- حفاظت و پایش مداوم موتور: درایوها به صورت ذاتی دارای ادوات و توابعی هستند که به منظور مانیتور و حفاظت از موتور به کار می‌رود. درایوها موتور را از شبکه جدا می‌کنند و با این مجزا سازی، استرس‌هایی که به علت مشکلات کیفیت توان شبکه مانند تغییرات دامنه ولتاژ، هارمونیک و ... به موتور وارد می‌شود به طور کامل حذف می‌شود. بسیاری از حفاظت‌های حیاتی که برای کارکرد موتور نیاز است احتیاج به نصب ادواتی مجزا دارد. مهم‌ترین و معمول‌ترین حفاظت‌های مورد نیاز برای موتور عبارتند از: حفاظت اتصال کوتاه ـ جریان بالا، فاز نامتعادل، خطای فاز به زمین، دمای موتور، قفل رتور

  همچنین با استفاده از درایوها می‌توان شرایط خطا در کارکرد سیستم مانند رها شدن کوپل مکانیکی بین بار و موتور را مانیتور کرد و همچنین می‌توان قطع یکی از فازهای متصل به ورودی را نیز تشخیص داد و به اپراتور اعلام کرد. این امکانات موجود در درایوها به همراه قابلیت اعلام خطا در سیستم و حتی برطرف کردن برخی از

[1] Proportional-Integral-Derivative

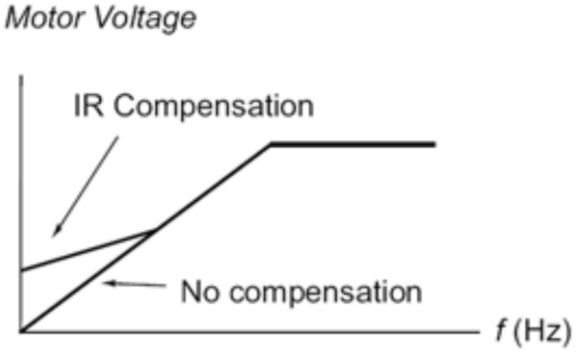
خطاهای موجود در سیستم این امکان را می‌دهد تا از اثرات خطاهای موجود در هر سیستم تا حد زیادی بکاهد. برای مثال هنگامی که سیستم افزایش دمای بیش از اندازه ممکن را اعلام می‌کند، درایو می‌تواند به صورت اتوماتیک میزان بار را کم کند تا هم دمای سیستم پایین بیاید و هم سیستم بتواند به کار خود ادامه بدهد تا زمان تعمیرات سیستم فرا برسد.

- افزایش سرعت بیش از حد مجاز: با توجه به توانایی درایوها در تغییر ولتاژ و فرکانس ورودی موتور، می‌توان موتور را به بیش از سرعت نامی آن رساند که این عمل با اتصال مستقیم موتور به شبکه امکان‌پذیر نیست. این قابلیت افزایش سرعت می‌تواند نیاز به افزایش سرعت لحظه‌ای را در بسیاری از موارد بدون نیاز به افزایش سایز موتور و ادوات مربوطه برطرف سازد. افزایش سرعت ۵ تا ۲۰ درصدی با توجه به توانایی درایوها و استفاده از موتوری بزرگ‌تر از شرایط طراحی، مشکلی را در کارکرد سیستم ایجاد نخواهد کرد.

بارهایی که به گشتاور متغیر نیازمندند، مانند پمپ‌ها و فن‌ها، نیاز به توانایی افزایش گشتاور و سرعت سریع دارند؛ لذا نیاز است که موتور در برخی لحظات فراتر از مقادیر نامی خود کار کند. بنابراین با استفاده درایوها می‌توان سرعت عملکرد سیستم را بدون افزایش هزینه بالا برد.

- تحمل نوسانات ولتاژ: این ویژگی درایوها در تمامی شبکه‌ها به خصوص شبکه‌های ضعیف که تغییرات بار بر روی آن‌ها تأثیر نامطلوب دارد و باعث افت ولتاژهای لحظه‌ای می‌شود بسیار کارآمد خواهد بود. درایو به موتور این اجازه را می‌دهد تا بتواند بدون نیاز به توقف عملکرد در هنگام بروز این افت ولتاژها، به کار خود ادامه دهد.

تقویت ولتاژ و جبران افت ولتاژ اهمی: در سرعت‌های پایین و هنگام راه اندازی (کمتر از ۲۰ هرتز)، درایو می‌تواند ولتاژ را به صورت لحظه‌ای افزایش دهد تا گشتاور راه‌اندازی موتور زیاد شود بدون این که مشکل جریان راه‌اندازی بالا وجود داشته باشد. این افزایش ولتاژ ممکن است که در سیستم‌های با بار کم باعث افزایش دمای کارکرد شود. افزایش ولتاژی که به منظور جبران افت ولتاژ اهمی نیز است، بایستی متناسب با جریان بوده تا بتواند به درستی نیازهای سیستم را تامین کند. این افزایش ولتاژ در نمودار زیر نشان داده شده است.



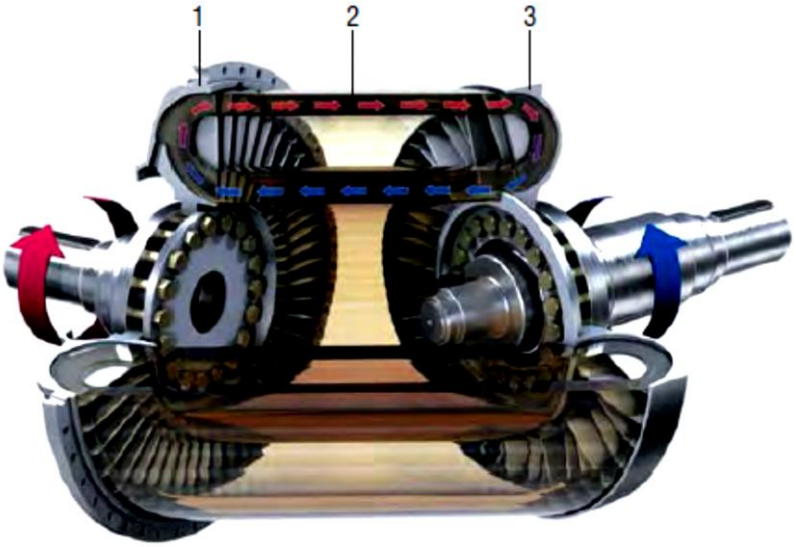
شکل ۲-۸: منحنی افزایش ولتاژ برای جبران افت ولتاژ

البته در سیستم‌های درایو مدرن نیازی به افزایش ولتاژ به منظور افزایش گشتاور راه‌اندازی نبوده و با استفاده از کلیدزنی‌های پیچیده، گشتاور راه‌اندازی چند برابر گشتاور نامی ایجاد می‌شود.

۲-۳-۱-۲- محرک‌های سرعت متغیر هیدرولیکی

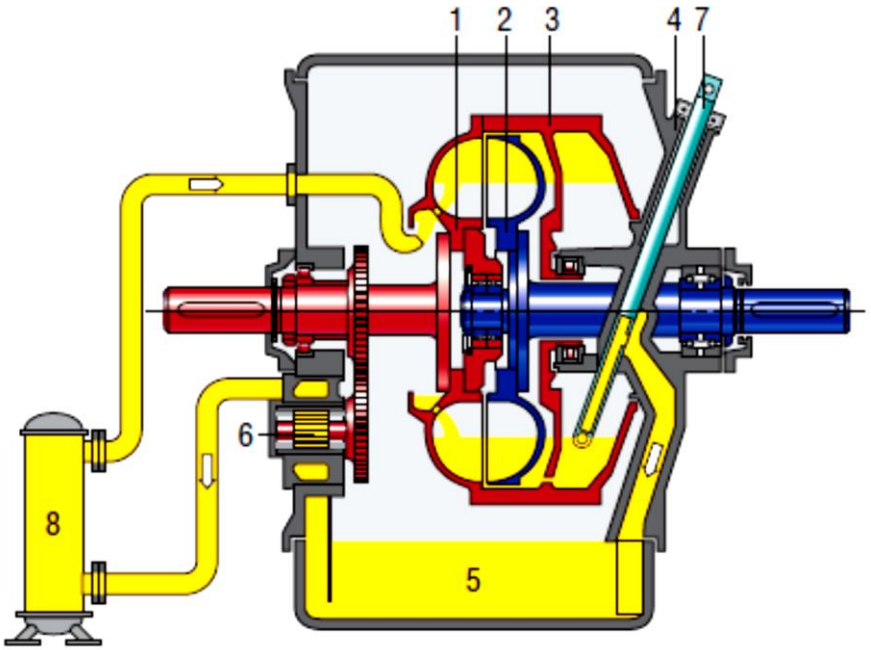
علاوه بر کنترل سرعت الکتریکی به وسیله تغییر فرکانس در ورودی موتور، با استفاده از درایورهای سرعت متغیر هیدرولیکی

می‌توان سرعت را در خروجی موتور متناسب با فعالیت مورد نظر تغییر داد. این درایورها به ویژه برای سیستم‌های دارای تلفات اصطکاکی بالا، سیستم‌های دارای تغییرات دبی زیاد و یا سیستم‌های دارای ساعات کارکرد طولانی مناسب‌تر هستند.
درایورهای سرعت متغیر هیدرولیکی یکی از ابزارهای مورد استفاده برای کنترل سرعت در پمپ‌ها بوده و هدف اصلی از کاربرد آن‌ها صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. درایورهای سرعت متغیر هیدرولیکی بر مبنای اصل فوئتینگر عمل می‌کنند. در این روش توان ورودی محرک اولیه (چرخ اول) که به صورت انرژی مکانیکی است به انرژی جنبشی سیال عامل تبدیل شده و در چرخ توربین (چرخ دوم) مجدداً به انرژی مکانیکی تبدیل می‌گردد. چرخ دوم به قسمت متحرک متصل است. برای تغییر سرعت قسمت متحرک می‌بایست روغن پر شده در سیستم را تنظیم نمود. به همین منظور مجرایی به نام مجرای اسکوپ[1] در این سیستم در نظر گرفته شده است که میزان روغن داخل محفظه را تنظیم می‌کند. مزایای ذکر شده برای این سیستم در جدول زیر بیان شده است [21].



شکل ۲-۹: اصل فوئتینگر مبنای کوپلینگ هیدرودینامیکی: ۱- ایمپر (چرخ اول) ۲- سیال عامل در گردش ۳- چرخ توربین (چرخ دوم)

[1] Scoop tube



شکل ۲-۱۰: نمای برش خورده نوع ساده‌ای از درایورهای سرعت متغیر (کوپلینگ هیدرودینامیکی سرعت متغیر): ۱- ایمپلر (چرخ اول) ۲- چرخ توربین (چرخ دوم) ۳- پوسته ٤- محفظه ٥- مخزن روغن ٦- پمپ روغن ۷- مجرای اسکوپ ۸- خنک کن روغن

جدول ۲-۱: مزایای محرک‌های سرعت متغیر هیدرولیکی

مزیت	نتیجه حاصله
طراحی مکانیکی ساده	کاهش هزینه تعمیر و نگهداری و زمان‌های تعمیرات
در دسترس بودن و قابلیت اطمینان بالا	پایداری فرآیند
طراحی کم حجم[۱]	کاهش فضای مورد نیاز و کاهش هزینه سرمایه گذاری اولیه
راه اندازی موتور بدون بار	راه اندازی در شرایط نامساعد شبکه برق
ویژگی‌های مربوط به میرایی ارتعاشات	عدم انتقال شوک در موتور و یا در قسمت متحرک
سیستم روغن‌کاری یکپارچه	سیستم جداگانه ای برای روغن‌کاری موتور و پمپ نیاز نیست و روغن‌کاری توسط کوپلینگ انجام می‌شود.

باید به این نکته نیز توجه داشت که استفاده از درایورهای سرعت متغیر هیدرولیکی نیاز به تغییر در ساختار قرارگیری سیستم فن یا پمپ دارد. زیرا به منظور قرارگیری درایور سرعت متغیر هیدرولیکی، نیاز به جابجایی موتور و پمپ و یا فن متصل به آن به منظور ایجاد فضای کافی برای قرار دادن درایور است و با جا به جا کردن این ادوات نیاز به ساخت فونداسیون جدید، تغییر لوله کشی‌ها و مجراهای متصل به وسیله مکانیکی و یا تغییر کابل‌کشی متصل به موتور نیز وجود دارد که خود هزینه‌بر است [21].

[۱] حجم کم طراحی در این بخش اشاره به فضای اشغال شده فیزیکی کم‌تر درایورهای سرعت متغیر هیدرولیکی نسبت به درایورهای سرعت متغیر الکتریکی دارد.

۲-۱-۳-۳- چالش‌های فناوری محرک‌های سرعت متغیر

هر چند که این فناوری فرصت‌های جدید را ایجاد کرده اما چالش‌های جدیدی را نیز با خود آورده است. اصلی‌ترین چالش نیز حصول اطمینان از به کار بستن درست این فناوری است تا منجر به حصول بهترین نتیجه ممکن شده و برای سیستم ارزش افزوده (در قالب کاهش هزینه کلی) ایجاد کند. محرک‌های سرعت متغیر به تنهایی قادر نیستند راندمان بالا و یا قابلیت اطمینان را تضمین کنند. روند انطباق بیشتر عملکرد پمپ با نیاز سیستم همچنان ادامه خواهد داشت و بلکه شدت نیز خواهد گرفت. چرا که گزینه ارتقای راندمان پمپ دور از دسترس است و در عوض این سیستم پمپاژ است که می‌تواند پتانسیلی برای صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌ها باشد.

با توجه به آن چه گفته شد به نظر می‌رسد نسل بعدی صرفه‌جویی‌های قابل توجه، مربوط به رویکردی است که در آن مجموعه‌ای از بهینه‌سازی‌های سیستم پمپاژ در نظر گرفته می‌شود. در این رویکرد ترکیب مناسبی از مناسب‌ترین تکنولوژی‌ها برای یک کاربرد خاص در نظر گرفته می‌شود.

بدون نگاه کردن جزیره‌ای به پمپ و با همراستا بودن کنترل و پایش وضعیت برای انطباق با شرایط کاری در سیستم‌های پویا، کاهش هزینه‌ها امکان‌پذیر است. چرا که با برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری بر مبنای تجهیزات پایش وضعیت می‌توان قابلیت اطمینان پمپ‌ها را بالا برد [22].

۲-۱-۴- دیجیتال سازی

تجهیزات اندکی در صنعت هستند که مانند پمپ با سبک و سیاق سنتی به کار برده می‌شوند. اما این تجهیزات نیز می‌بایست با مقتضیات عصر دیجیتال‌سازی وفق داده شوند. شرایط عملکرد یک پمپ ممکن است در طول عمر کاری آن تغییر کند و در اغلب موارد، امکان این که پمپ در شرایطی غیر از شرایط بهینه خود کار کند وجود دارد. سال‌هاست که کارشناسان شرکت KSB به دنبال راهی برای بهینه‌سازی عملکرد پمپ، بدون استفاده از تحلیل‌های پیچیده و یا تعویض آن هستند.

در حال حاضر دیجیتال‌سازی پتانسیل عظیمی برای این امر ایجاد کرده است. هر چند ایجاد رویکردهای جدید و بهره‌برداری از آن‌ها در عمل مدتی به طول خواهد انجامید. این کار در یک مرحله قابل انجام نیست. بلکه نیازمند مراحل مختلف و درگیر شدن اجزا و قطعات گوناگون می‌باشد. البته در نهایت منجر به پیاده‌سازی مفاهیم عملی و هوشمند شده و ارزش افزوده قابل توجهی را برای بهره‌بردار ایجاد می‌کند.

۲-۱-۴-۱- گام اول: واحد پایش دیجیتال

واحد پایش وضعیت شرکت KSB که با نام «پمپ متر» شناخته می‌شود در شکل زیر نشان داده شده است. این واحد شامل حسگرهای فشار و بخش‌های تحلیل و نمایش می‌باشد.



شکل ۲-۱۱: تحلیل داده‌های عملکردی پمپ توسط پمپ‌متر ساخت شرکت KSB

دو حسگر موجود در پمپ فشارهای مکش و تخلیه را اندازه‌گیری می‌کنند. پمپ متر با استفاده از این اطلاعات اختلاف فشار را محاسبه کرده و وضعیت نقطه کاری پمپ را تعیین می‌کند. اطلاعات نقطه کاری پمپ به صورت لحظه‌ای بروزرسانی شده و بر روی منحنی مشخصه پمپ نمایش داده می‌شود. همچنین در صورتی که دبی پمپ بیش از حد کم یا زیاد باشد بر روی نمایشگر به بهره‌بردار هشدار داده می‌شود.

این واحد به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که پس از راه‌اندازی به سرعت نقطه کار پمپ را ارزیابی کرده و بر اساس آن تنظیمات مورد نیاز را بر روی پمپ یا فرآیند اعمال کند. همچنین می‌تواند دریابد که ریسک دسترس‌پذیری پمپ چقدر است و آیا پمپ در باصرفه‌ترین وضعیت خود کار می‌کند یا خیر؟ علامت چشمک‌زن EFF بر روی نمایشگر پمپ متر به کاربر هشدار می‌دهد که پتانسیل قابل توجهی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی وجود دارد.

۲-۴-۱-۲- گام دوم: الگوریتم‌های مشخصه ارتعاشات

تحلیل‌های اشاره شده در قبل می‌بایست بیش از این ساده‌سازی شده و قابل فهم تر باشند. در آینده به جای استفاده از سنسورهای داخل جریان سیال، این امکان وجود دارد که داده‌های ارتعاش پمپ ذخیره شده و به حافظه ابری منتقل شود. این کار دو مزیت دارد: اول این که استفاده از روش‌های متداول اندازه‌گیری جریان سیال همیشه آسان نیست. به عنوان مثال وقتی که سیال پمپ شونده یک ماده شیمیایی باشد. دوم این که دسترسی به حافظه ابری به این معنی است که تکنسین‌ها بدون نیاز به حضور در محل امکان کسب اطلاع از وضعیت عملکرد پمپ را خواهند داشت.

فاز پایلوت این گام با انتخاب صد پروژه در دست انجام است. از اندازه‌گیری‌های موازی انجام شده توسط پمپ متر نیز برای اعتبارسنجی نتایج سنسورهای ارتعاشات استفاده شده است. علاوه بر این، شرکت KSB به صورت همزمان به بهینه‌سازی الگوریتم‌ها ادامه می‌دهد. با استفاده از این نتایج می‌توان تشخیص دهد که کدام یک از گزینه‌های ممکن شامل استفاده از سیستم کنترل حلقه بسته، تغییر تنظیمات عملکردی یا خرید یک پمپ جدید توجیه بیشتری دارد. بررسی داده‌های پمپ در شرکت انجام شده و بر مبنای آن بهره‌بردار یک فایل پی‌دی‌اف را، که به صورت خودکار ایجاد شده، دریافت می‌کند که حاوی توصیه‌های شفاف و پیشنهادهای بهبود می‌باشد.

۳-۴-۱-۲- گام سوم: بهبود نقطه کاری

سؤال بعدی این است که پیشنهادهای بهبود اشاره شده در گام قبلی چگونه اجرایی می‌شوند؟ روش متداول این است که بهره‌بردار یک تکنسین شرکت را برای این کار فرا بخواند. اما در آینده این امکان وجود دارد که تنظیم پمپ با استفاده از نرم‌افزار انجام گیرد.

در شکل زیر ترکیبی از موتور الکتریکی و محرک MyFlow نشان داده شده است که مبنای کار آن کنترل سرعت پمپ است. رویکرد متداول منطبق کردن هد و دبی پمپ با شرایط کاری بهینه پمپ در پمپ‌های سرعت ثابت، تراشیدن پروانه بود. در روش جدید، ولتاژ موتور توسط اینورتر نصب شده بر روی آن تنظیم شده و در نتیجه می‌توان از این موتور تقریباً در هر شبکه برقی استفاده کرد.



شکل ۲-۱۲: محرک MyFlow به بهره‌بردار این امکان را می‌دهد که دبی عبوری از پمپ را با تنظیمات ساده‌ای کاهش و یا افزایش دهد

۴-۴-۱-۲- گام چهارم: تنظیم پمپ با کنترل نرم‌افزاری

هرچند این مزایا کار بهره‌بردار پمپ را آسان‌تر می‌کند اما برای انطباق پمپ با نیازهای انقلاب چهارم صنعتی کافی نیست. گام بعدی در این راه بهینه‌سازی پمپ با تراشیدن «مجازی» پروانه است. در ادامه چرخه عمر محصول، با استفاده از یک گوشی هوشمند، امکان تغییر سرعت پمپ متناسب با نیازهای عملکردی وجود دارد که این کار به نوعی مانند تراشیدن پروانه عمل می‌کند منتها به صورت مجازی.

در این روش برخلاف تراشیدن مکانیکی، لزومی به توقف فرآیند کاری پمپ نیست. با این کار می‌توان در صورت انحراف هد و دبی نقطه کار از نقطه بهینه، راندمان را افزایش داده و در مصرف انرژی صرفه‌جویی به عمل آورد. چرا که تغییر سرعت همیشه با تغییر توان مصرفی در ارتباط است. بهینه‌سازی عملکرد پمپ در این روش بسیار سریع بوده و با استفاده از گوشی هوشمند، تبلت و یا ابزارهای مشابه به راحتی صورت می‌پذیرد.

این یکی از جنبه‌هایی است که در آینده نقش مهمی در انتخاب پمپ ایفا خواهد نمود. چرا که برای پوشش محدوده وسیعی از عملکرد، به سایزهای معدودی از پمپ‌ها احتیاج است. از طرف دیگر علی‌رغم تغییر شرایط کاری، راندمان پمپ‌ها تقریباً

ثابت باقی خواهد ماند. مزیت دیگر این کار در کاهش پیچیدگی‌های هیدرولیکی پمپ‌ها تا حدود ۵۰ درصد است که سبب کاهش زمان و هزینه مورد نیاز برای طراحی پمپ و انجام امور اداری مربوطه است [23].

۵-۱-۲- ساخت افزایشی

در مرجع [24] روشی را برای طراحی و ساخت قطعات توربوماشین بهینه شده با استفاده از بهینه سازی توپولوژی۱ و ساخت افزایشی۲ به طور همزمان پیشنهاد می‌کند. این روش استفاده از بهینه سازی توپولوژی به منظور کسب بهترین پیکربندی از اجزای روتوری از منظر هر دو رفتار ایستا و پویا با کاهش وزن کلی را ارائه می دهد. در نهایت، جزء بهینه سازی شده با استفاده از مواد مناسب که می تواند عملکردهای مکانیکی را تضمین کند، تولید می شود. استراتژی پیشنهادی به یک پروانه دو بعدی مورد استفاده برای کمپرسورهای سانتریفوژ برای اثبات اثر بخشی رویکرد مبتنی بر بهینه سازی توپولوژی همزمان با ساخت افزایشی اعمال شده است. گرچه این رویکرد تا پیش از این به طور گسترده برای کمپرسورها و اکسپندرهای سانتریفیوژ مورد استفاده قرار نگرفت، اما کاربرد آن بر روی اجزای روتور و استاتور می تواند منتهی به مزایای متعددی از جمله: تنظیم فرکانس های طبیعی، کاهش سطح استرس، و وزن سبک تر بخش چرخان گردد. این اهداف را می توان به تنهایی یا در ترکیب، انجام یک یا چندین تحلیل بهینه سازی رسید. در نهایت، معرفی فناوری های ساخت افزایشی به عنوان منابع تولید استاندارد می تواند مزایای معقولی را با توجه به زمان تولید و در دسترس بودن قطعات به ارمغان بیاورد. چنین جنبه هایی در زمینه نفت و گاز، هنگام برخورد با پروژه های جدید و همچنین برای عملیات خدماتی ضروری است [24].

۶-۱-۲- تست

هر گونه بهبود در عملکرد پمپ‌ها زمانی به تأیید می‌رسد که تست شده باشد. همزمان با ارتقای عملکرد پمپ‌ها، روش‌های تست آن‌ها نیز پیشرفته تر شده است. در مورد پمپ‌های بسیار بزرگ، مدلی از آن‌ها تست می‌شود تا بر اساس نتایج آن طراحی نمونه پمپ بهبود یابد. هر پمپی فارغ از ابعاد یا نوع آن می‌بایست قبل از عرضه به مشتری به نحوی مورد آزمایش قرار گرفته باشد. هدف از تست پمپ معمولاً یکی از دو مورد زیر است:

- بررسی ارتقای انجام شده در طراحی یا عملکرد پمپ
- تعیین این که آیا موارد قراردادی رعایت شده است یا نه؟ با استفاده از تست می‌توان عملکرد مشخص شده در قرارداد و عملکرد واقعی را با یکدیگر مقایسه نمود.

در اغلب موارد، سازنده پمپ یک گزارش تست تهیه کرده و مشخصات عملکردی پمپ را تأیید می‌نماید. در این بخش روش و اصول انجام تست، محاسبه و گزارش‌دهی آمده است [15].

۱-۶-۱-۲- طبقه‌بندی تست‌ها

تست‌ها را می‌توان به چهار دسته زیر تقسیم نمود:

---

[1] Topology Optimition

[2] Additive Manufacturing

- **تست در محل فروشنده**

این تست در محل کارخانه سازنده پمپ و در شرایط ایده‌آل و کنترل شده انجام می‌پذیرد و معمولاً دقیق‌ترین تست است.

- **تست در محل**

در این حالت پمپ در محل و شرایط اصلی نصب قرار می‌گیرد. دقت این تست بستگی به ابزارهایی دارد که اندازه‌گیری‌ها با آن صورت می‌گیرد. در صورت توافق طرفین، تست در محل می‌تواند مبنای پذیرش پمپ واقع شود.

- **تست شاخص**

این تست نوعی از تست در محل است که به عنوان استانداردی برای مقایسه سایش، تغییر شرایط و ارزیابی تعمیرات اساسی استفاده می‌شود. تست‌های شاخص می‌بایست حتی المقدور با روش، ابزار و نفرات مشابه انجام شده و همه رخدادهای مربوطه به طور دقیق ثبت شود تا تاریخچه کامل و قابل مقایسه‌ای از نتایج را به دست بدهد.

- **تست مدل**

این تست قبل از طراحی نمونه اولیه انجام شده و نسبتاً دقیق است. از این تست‌ها در مواردی که نمونه اصلی بسیار بزرگ است یا به مقایسه نتایج عملکرد چند مدل احتیاج است و یا در مواردی که لازم است طراحی مورد بررسی دقیق قرار گیرد، استفاده می‌شود [15].

۲-۶-۱-۲- دقت تست

دقت تست‌ها به ابزارهای اندازه‌گیری، نصب مناسب آن‌ها و مهارت تکنسین مربوطه بستگی دارد. تکنسین یا مهندس مسئول تست می‌بایست ار دانش کافی در رابطه با مشخصات و محدودیت‌های ابزارهای اندازه‌گیری برخوردار باشد تا بتواند با استفاده از آن‌ها حداکثر دقت ممکن را حصول کند. در مورد تست‌های انجام شده در محل فروشنده، مقدار مجاز انحراف و نوسان ابزارهای اندازه‌گیری در استاندارد مشخص شده است.

- **ابزارهای اندازه‌گیری**

همه ابزارهای اندازه‌گیری می‌بایست قبل از تست کالیبره شده و همه داده‌های کالیبراسیون از پیش تهیه شده باشند. در صورت نیاز می‌بایست تأییدیه کالیبراسیون ابزارها و روش انجام کالیبراسیون پیش از تست ارائه شود. پس از تست نیز کلیه ابزارهای اندازه‌گیری می‌بایست مجدداً کالیبره شده و در صورت وجود تفاوت بین کالیبراسیون قبل و بعد از تست بیش از حد مجاز، تست مجدداً تکرار شود.

- **تلرانس‌ها**

تلرانس‌های مجاز عملکرد پمپ معمولاً در مشخصات آن ذکر می‌شود. خریدار می‌بایست از محدوده تلرانس‌ها پیش از سفارش پمپ آگاه باشد [15].

۲-۶-۱-۳- روش تست

قرارداد بین خریدار و فروشنده می‌بایست در خصوص این که آیا لازم است در تست نقاط عملکردی خاصی پوشش داده شود، شفاف باشد. همه طرفین می‌بایست در مورد تاریخ تست، ستاپ مورد نیاز، شرایط، ابزارهای اندازه‌گیری و کالیبراسیون آن‌ها، نحوه انجام محاسبات و دقت نتایج توافق داشته باشند. نمایندگان هر یک از طرفین می‌بایست از فرصت حضور برابر در زمان تست برخوردار باشند.

- **اندازه‌گیری‌های مورد نیاز**

پارامترهای مورد نیاز جهت اندازه‌گیری معمولاً شامل هد، توان، NPSH و سرعت می‌باشد. در مورد سرعت پمپ، بهتر است که موتور اصلی استفاده شود. اما در صورتی که امکان آن وجود نداشته باشد می‌توان نتایج به دست آمده در سرعت تست را به سرعت نامی آن تصحیح نمود [15].

۷-۱-۲- تعمیر و نگهداری

در این بخش ابتدا سیستم‌های مختلف تعمیر و نگهداری که شامل سیستم‌های اجرا تا شکست (اصلاحی)، پیشگیرانه و پیش‌بینانه است معرفی می‌شود. سپس تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه با توجه به اینکه فناوری رو به رشد و نوظهوری است مورد بررسی عمیق قرار می‌گیرد. پایه و اساس این روش تعمیر و نگهداری مبتنی بر اندازه‌گیری است که در سیستم‌های تعمیر و نگهداری به آن سیستم‌های تحت نظارت مبتنی بر شرایط۱ یا CBM می‌گویند. در بخش CBM ادوات اندازه‌گیری معرفی می‌شوند. در ادامه روش های تشخیص و پیش آگهی عیب در روش تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه بررسی خواهد شد.

۷-۱-۲-۱- روش‌های سنتی تعمیر و نگهداری

استراتژی‌های نگهداری فعلی که توسط بسیاری از شرکت‌ها پیاده سازی می‌شوند معمولاً شامل روش اجرا تا شکست۲ (اصلاحی) و یا روش نگهداری پیشگیرانه۳ (نگهداری مبتنی بر زمان۴ TBM) می‌باشد که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

- **تعمیر و نگهداری اصلاحی**

در روش اجرا تا شکست که گاهی به آن تعمیرات اصلاحی۵ نیز اطلاق می‌شود سیستم یا قطعه مورد نظر تا مادامی که توانایی داشته باشد در حال سرویس است و بعد آن دچار تلاشی می‌شود. در واقع این روش برای تعمیر آسیبی که در حال حاضر رخ داده است استفاده می شود. معمولاً هنگامی که این نوع نگهداری انجام شود، فرایند ساخت متوقف می شود، تولید را کاهش و هزینه ها را افزایش می دهد. زمان تعمیر را نمی توان پیش بینی کرد و نه می‌توان هزینه های ناشی از شکست و در نتیجه اغتشاشات در خط تولید را پیش بینی کرد. بنابراین نگهداری اصلاحی بر روی دارایی هایی با بحرانیت پایین اعمال می شود که عیوب آن ها باعث مشکلات زمانی یا اقتصادی بزرگی نگردد. این روش اغلب برای تجهیزات خاص که در آن روش های دیگر پر هزینه تر خواهد بود استفاده می‌شود.

مشکل این روش هزینه زمانی و پولی است که از دست می‌رود. به ویژه هنگامی که پمپ در زمان‌های اوج استفاده دچار مشکل شود و از مدار خارج شود. به منظور دور زدن این موضوع، برخی از شرکت‌ها سیستم‌های یدکی را فراهم کرده‌اند که یا به طور همزمان اجرا می‌شوند یا تنها زمانی روشن می‌شوند که پمپ اولیه دچار اشکال شود. اگر چه این امر ممکن است

---

[1] Condition-Based Monitoring (CBM)

[2] Run-to-Fail Method

[3] Preventative Maintenance Method

[4] Time-Based Maintenance (TBM)

[5] Corrective Maintenance

تداوم فرایند را تضمین کند، اما در دراز مدت، این یک راه حل پرهزینه است به دلیل آنکه که عمر پمپ معیوب می‌توانست تمدید شود و اگر قبل از خرابی مورد توجه قرار می‌گرفت، امکان کاهش هزینه تعمیرات وجود می‌داشت.

- **تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه**

در روش نگهداری پیشگیرانه، در بازه‌های زمانی خاصی سیستم یا قطعات مورد نظر مورد بررسی قرار می‌گیرند تا در صورت مشاهده نقصی تعمیر و نگهداری گردد. این نوع تعمیر و نگهداری در افق زمانی برنامه ریزی شده است و هدف آن جلوگیری از خرابی ها است. بر خلاف تعمیر و نگهداری اصلاحی، چون از قبل برنامه ریزی شده است، در طول زمان تولید انجام نمی شود. قصد این نوع نگهداری کاهش تعداد مداخلات اصلاحی، انجام بررسی‌های دوره‌ای و جایگزینی اجزای فرسوده است. این نوع تعمیر و نگهداری درخواستی است، چرا که نیاز به نظارت سختگیرانه و توسعه توسط پرسنل واجد شرایط است.

روش های نگهداری پیشگیرانه تلاشی برای کاهش زمان خارج از خط[1] بودن است. این امر ممکن است به این معنی باشد که بخش هایی از پمپ جایگزین می شوند، نه به این دلیل که قرار است شکست بخورند، بلکه به این دلیل که عمر برنامه‌ریزی شده آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در نتیجه بخش‌هایی که هنوز عمر مفید باقی مانده[2]ای دارند گاهی جایگزین می‌شوند که روش غیر بهینه نگهداری را بر اساس هزینه برای قطعات، نیروی کار، و زمان فراهم می‌کند. علاوه بر این، به دلیل شرایط پیش‌بینی نشده، بخش هایی از پمپ ممکن است در بین زمان های سرویس دهی شکست بخورد و در نتیجه حوادث فاجعه بار احتمالی رخ دهد [25].

۲-۷-۱-۲- روش‌های نوین تعمیر و نگهداری

دو روش نوین تعمیر و نگهداری دیگر که به طور گسترده‌ای استفاده نمی‌شوند شامل تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط[3] (CBM) و تعمیر و نگهداری پیش‌بینی کننده[4] است. از آنجا که گزارش شده است که ۹۹ درصد شکست های مکانیکی دارای علائم مشخص و قابل توجهی می‌باشند، این دو روش از این علائم برای تعیین وضعیت فعلی ماشین استفاده می‌کنند، و برای روش دومی، تلاش می کنند تا وضعیت آینده ماشین را در یک بازه زمانی مشخص پیش‌بینی کنند. با توجه به ظهور کامپیوتر پردازش سریع، سنسورهای از راه دور و نرم افزار پایگاه داده، روش‌های تعمیر و نگهداری کامپیوتری با بهره گیری از دانش متخصص و همچنین تصمیم‌گیری‌های الگوریتمی برای استفاده در تنظیمات صنعتی امکان‌پذیرتر می‌شوند [25].

اساس روش های تعمیر و نگهداری الگوریتمی مبتنی بر کامپیوتر بر مبنای روش‌های تشخیص و پیش آگهی عیب است که در ادامه توضیح مختصر و بعدتر به طور تفضیلی شرح داده می شود. با توجه به گسترش سریع فناوری تعمیر و نگهداری پیش بینی کننده و مؤثر بودن آن در افزایش عمر و کاهش هزینه های نگهداری و افزایش بازده کاری، در این گزارش تأکید ویژه ای بر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه صورت می‌پذیرد. در این حوزه نیز، مباحث تشخیص عیب و پیش‌بینی عیب بررسی می‌گردد.

تشخیص عیب، فرایندی شامل ردیابی یک عیب با شناسایی علائم آن، به کارگیری دانش و تجزیه و تحلیل نتایج آزمون است که مستلزم کسب اطلاعات از طریق حسگرها، پردازش اطلاعات با استفاده از الگوریتم های پیشرفته پردازش سیگنال،

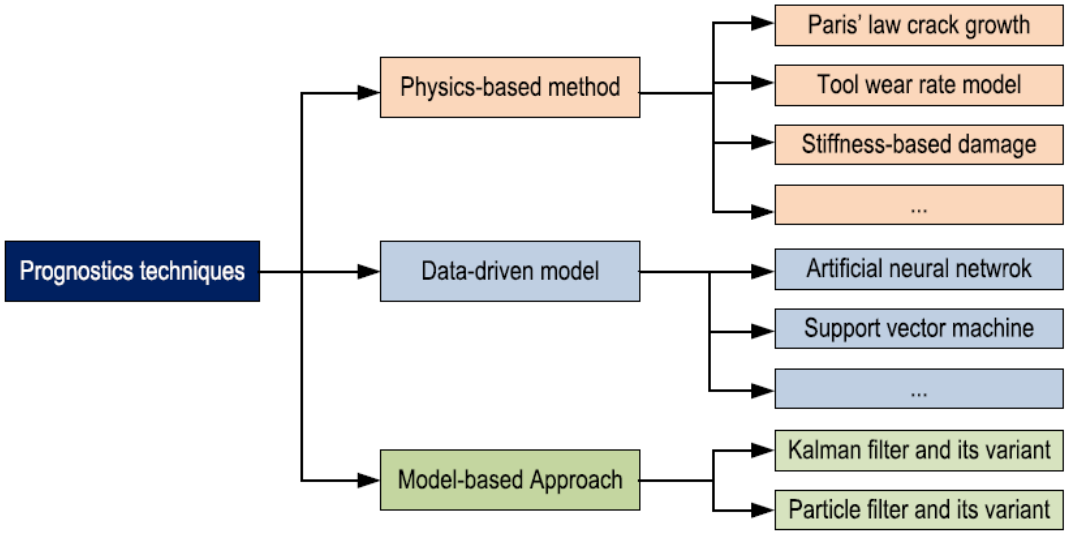
[1] off-line time

[2] Remaining Useful Life (RUL)

[3] Condition based maintenance (CBM)

[4] predictive maintenance

و استخراج ویژگی های مورد نیاز برای طبقه بندی کارآمد یا شناسایی عیوب است. شناسایی عیوب و پس از آن اقدام درمانی می تواند بهره وری را افزایش و هزینه‌های نگهداری را کاهش دهد. روش های یادگیری ماشین به منظور تشخیص عیب به طور فزاینده ای در بخش های صنعتی مانند ساخت، خودروسازی، صنایع دریایی، و هوافضا برای به حداکثر رساندن زمان بهره‌برداری تجهیزات و به حداقل رساندن هزینه های نگهداری و عملیاتی استفاده می شود بهره جسته می شود [26].
نگهداری پیش بینی کننده[1] از الگوریتم های پیش بینی کننده برای تعیین عمر مفید باقی مانده (RUL) ماشین استفاده می کند. برای این کار، به تشخیص عیب و پیش بینی تخریب قبل از وقوع آن، با استفاده از داده های آماری مربوط به بدترین شکست های مرتبط به استفاده و زمان در خدمت می پردازد. بسته به مکانیسم مدلسازی و اطلاعات اعمالی، روش های پیش بینی را می توان به سه دسته شامل رویکرد مبتنی بر فیزیک، رویکرد داده محور، و رویکرد مبتنی بر مدل [27–28] همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده طبقه بندی کرد. رویکرد مبتنی بر فیزیک به طور معمول رفتارهای فیزیکی یک سیستم را توصیف می کند که از اصول اولیه به عنوان یک سری معادلات دیفرانسیل معمولی یا جزئی طبق قانون فیزیک استفاده می کند. رویکرد داده محور به دانش فیزیکی تکیه نمی کند، و مدلی را می سازد که نشان دهنده رابطه زمینه ای میان عیوب و داده‌های یک سیستم است. در مقایسه با دو روش اولیه ذکر شده، رویکرد مبتنی بر مدل از روش های مبتنی بر فیزیک و داده محور بهره می برد، و به این شکل که از مدل‌های موجود در دانش کنترل مانند تابع تبدیل، فضای حالت بهره برده می شود و پارامترهای آن توسط داده های تجربی بدست آید [29–30]. در میان رویکردهای مبتنی بر مدل، تکنیک فیلتر ذرات توجه تحقیقات زیادی را افزایش می دهد از آنجا که فرایندهای تخریب ماشین آلات معمولا با غیر خطی بودن و غیر گوسی بودن در کاربردهای واقعی مشخص می شود [28 و 31–32].



شکل ۲-۱۳: طبقه‌بندی روش‌های پیش‌بینانه

لازمه استفاده از هر روشی برای پیش بینی و تشخیص عیب در پمپ ها داشتن داده و اطلاعات سنسوری از آن است. لذا در قسمت بعدی تمامی حسگرهای قابل استفاده در پمپ ها معرفی می شود.

[1] Predictive maintenance

۳-۷-۱-۲- تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط

CBM با هدف تعیین وضعیت تجهیزات انجام می پذیرد، به طوری که عملیات امن، کارآمد، و اقتصادی باقی ماند. تکنیک های مانیتورینگ با هدف اندازه گیری متغیرهای فیزیکی است که نشان دهنده وضعیت ماشین و مقایسه آن ها با مقادیر طبیعی است تا مشخص شود که آیا ماشین در وضعیت خوبی قرار دارد یا رو به زوال است. CBM فرض می کند ویژگی های قابل اندازه گیری و قابل مشاهده ای که شاخص هایی از وضعیت ماشین هستند وجود دارد.

CBM ارزیابی پارامترهای وابسته به زمان انتخاب شده را مطالعه می‌کند و روندهایی را که نشان دهنده وجود یک عیب, شدت آن, و زمان محتمل به شکست را شناسایی می کند. تصمیم گیری به موقع از وقوع عیوب اجتناب می کند و امکان شکست فاجعه بار را از بین می برد. این روش می تواند در حالی که ماشین در حال اجرا است انجام شود.

CBM از سه مرحله کلیدی تشکیل شده است:

- کسب اطلاعات (جمع آوری اطلاعات) ، برای به دست آوردن داده های مربوط به سلامت سیستم.
- پردازش داده ها (دست زدن به اطلاعات) ، برای رسیدگی و تجزیه و تحلیل داده ها و یا سیگنال های جمع آوری شده در مرحله ۱ برای درک بهتر و تفسیر داده ها.
- تصمیم گیری تعمیر و نگهداری (تصمیم گیری)، توصیه به سیاست های تعمیر و نگهداری کارآمد است.

در ادامه مراحل پیاده سازی CBM تشریح شده است.

- **کسب داده**

اکتساب داده ها فرایندی برای جمع آوری و ذخیره سازی داده های مفید (اطلاعات) از دارایی های فیزیکی به منظور CBM است. این امر گامی ضروری در اجرای برنامه CBM برای عیوب ماشین آلات (یا شکست، معمولاً ناشی از یک یا چند عیب) است. داده های جمع آوری شده در یک برنامه CBM را می توان به دو نوع اصلی دسته بندی کرد: داده های رویداد و داده های مبتنی بر پایش وضعیت. داده های رویدادی شامل اطلاعات در مورد آنچه اتفاق افتاده است (به عنوان نمونه، نصب، شکست، تعمیرات اساسی، و غیره، همراه با علل) و / یا آنچه انجام شد (به عنوان نمونه، تعمیر جزئی، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، تعویض روغن و غیره) برای دارایی فیزیکی مدنظر است. داده های نظارت بر وضعیت اندازه گیری های مربوط به وضعیت سلامت/وضعیت دارایی فیزیکی هستند. این موارد بسیار تطبیق پذیر هستند و می توانند شامل ارتعاش، آکوستیک، تجزیه و تحلیل روغن، دما، فشار، رطوبت، آب و هوا یا داده های محیط زیستی و غیره باشند.

- **پردازش داده**

پردازش داده ها از دو مرحله تشکیل شده است. اول تصفیه کردن داده ها؛ این مرحله مهم است زیرا معمولاً داده ها به صورت دستی وارد می شوند. این امر منجر به خطاهای مکرر، نیاز به تمیز کردن داده ها برای افزایش احتمال تمیز بودن داده ها (بدون خطا) می شود. مرحله دوم تجزیه و تحلیل داده ها است. انواع مدل ها، الگوریتم ها، و ابزار برای تجزیه و تحلیل وجود دارد؛ انتخاب بستگی به انواع داده های جمع آوری شده دارد

- **پشتیبانی از تصمیم‌گیری تعمیر و نگهداری**

آخرین مرحله از برنامه CBM تصمیم گیری تعمیر و نگهداری است. تصمیم‌گیری درست و کارآمد برای تعیین اقدامات تعمیر و نگهداری بسیار مهم است. تکنیک های پشتیبانی تصمیم نگهداری در یک برنامه CBM را می‌توان به دو دسته اصلی تشخیص ها و پیش آگهی ها تقسیم کرد. تشخیص عیوب بر شناسایی عیوب در هنگام رخ دادن تمرکز می‌کند. پیش آگهی ها قبل از رخ دادن اقدام به پیش بینی عیوب ها یا شکست ها می کنند. بدیهی است که پیش آگهی ها برتر از

تشخیص ها هستند به این معنا که پیش آگهی ها یا می توانند از عیوب یا شکست ها جلوگیری کنند، یا آماده باشند (با قطعات یدکی و منابع انسانی) برای مشکلات، در نتیجه هزینه های نگهداری برنامه ریزی نشده را کاهش می دهند.

۴-۷-۱-۲- ادوات ابزار دقیق برای تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط پمپ‌ها

تمامی روش های مبتنی بر CBM بر روی یک پمپ مستلزم تعیین وضعیت پمپ با استفاده از اندازه‌گیری‌های سنسورهای غیرتهاجمی است، در واقع تمام روش‌های CBM از یک یا چند نوع حسگر استفاده می‌کنند که داده‌ها را جمع‌آوری، تفسیر، تجزیه و تحلیل می کنند تا به وضعیت و یا عمر پیش بینی شده ماشین آلات دست یابند. ابزارهای غیر متداول و همچنین روش های استانداردی وجود دارند که برای تعیین وضعیت فعلی پمپ مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از پارامترهای ابزار دقیق و متغیر های اندازه گیری شده به شرح ذکر شده در ادامه است [25].

- **آزمایش دماسنجی**

آزمایش دماسنجی (ترمومتریک) که در آن خوانش های دما بالادست و پایین دست پمپ گرفته می شود، برای پیدا کردن مشکلاتی که باعث تغییر در دمای قطعات سیال یا ماشین می شوند، استفاده شده است. این کار با قرار دادن دو سنسور تست در دو طرف پمپ انجام می شود. تغییرات دما در نتیجه تبدیل ناکارایی در پمپ به گرما، مشخص می شود. برای جلوگیری از خطا، هر نوع چرخش دوباره۱ سیال در مدار، چه در ورودی و چه در خروجی، باید حذف شود و همچنین این روش برای جریان با سرعت بسیار کم یا صفر قابل اجرا نیستند. آسیب یاتاقانی ممکن است در افزایش درجه حرارت خود یاتاقان نشان دهد، اما نه در افزایش دمای سیال. همین اتفاق برای تلفات در آب‌بندهای مکانیکی نیز ممکن است رخ دهد. این روش میتواند مفید باشید به شرطی که شرایط حالت ثابت را بتوان قبل از خوانش حسگر ایجاد نمود [33].

- **دوربین حرارتی**

دوربین حرارتی (ترموگرافی) که مشابه با سنجش قبلی است، از دوربین ویژه‌ای (مادون قرمز) برای اسکن سطح پمپ و لوله های اطراف برای ایجاد پروفایل دما در مقیاس رنگ استفاده می کند. بر اساس همان اصول آزمایش ترمومتریک، ترموگرافی همچنین می تواند مشکلات یاتاقان، ناهمترازی، و آب بندها را که منجر به تغییراتی در دمای خود جسم می شود، ضبط کند، در حالی که این موارد در آزمایش ترمومتری ظاهر نمی شوند [33].

- **جابجایی سنجی**

سنسورهای جابه جایی سنجی غیر تماسی برای تعیین مدار شفت ایده آل هستند که از آن می توان برای تشخیص مشکلات ناشی از ناهمترازی و فرکانسهای موجود در سیستم استفاده نمود. با این حال، به دلیل مشکلات نصب مانند دسترسی محدود به شفت ها، این نوع حسگرها به ندرت برای بررسی پمپ استفاده می شوند. درعوض از شتاب سنج های سه محوری نصب شده بر روی پمپ برای تعیین ارتعاشات آنها استفاده می شود. تجزیه و تحلیل FFT2 در رابطه با سنسورها، برای حذف نویز تصادفی و استخراج فرکانس های یافت شده در سیگنال استفاده می‌شود. آنالیزرهای الکترونیکی مجهز به صفحه نمایش ال سی دی برای به دست آوردن داده های مورد نظر در دسترس هستند که توسط چند شرکت شناخته شده، تولید و عرضه می‌شوند. در مقاله بیب و همکاران جزئیات همبستگی بین فرکانس های ارتعاش خاص و حالت های خطا که در یک پمپ گریز از مرکز رخ می دهد، شرح داده شده است [33]

---

[1] Recirculation

[2] Fast Fourier Transform

- **بازرسی چشمی**

بازرسی چشمی را می توان با استفاده از بوروسکوپ نوری، فیبرسکوپ نوری یا فیبرسکوپ تلویزیونی (دیجیتال) انجام داد. بوروسکوپ های نوری وضوح خوبی را فراهم می کنند اما قادر به مشاهده اجسام در یک گوشه نیستند. الیاف نوری به عنوان یک بسته از الیاف شیشه ای تشکیل شده است که توانایی مشاهده اطراف گوشه ها را با هزینه وضوح کمتر نسبت به بوروسکوپ فراهم می کند. فیبرسکوپ های دیجیتال از یک دوربین تلویزیونی کوچک برای نمایش تصویر بر روی مانیتور استفاده می کنند [33].

- **روش‌های مافوق صوت**

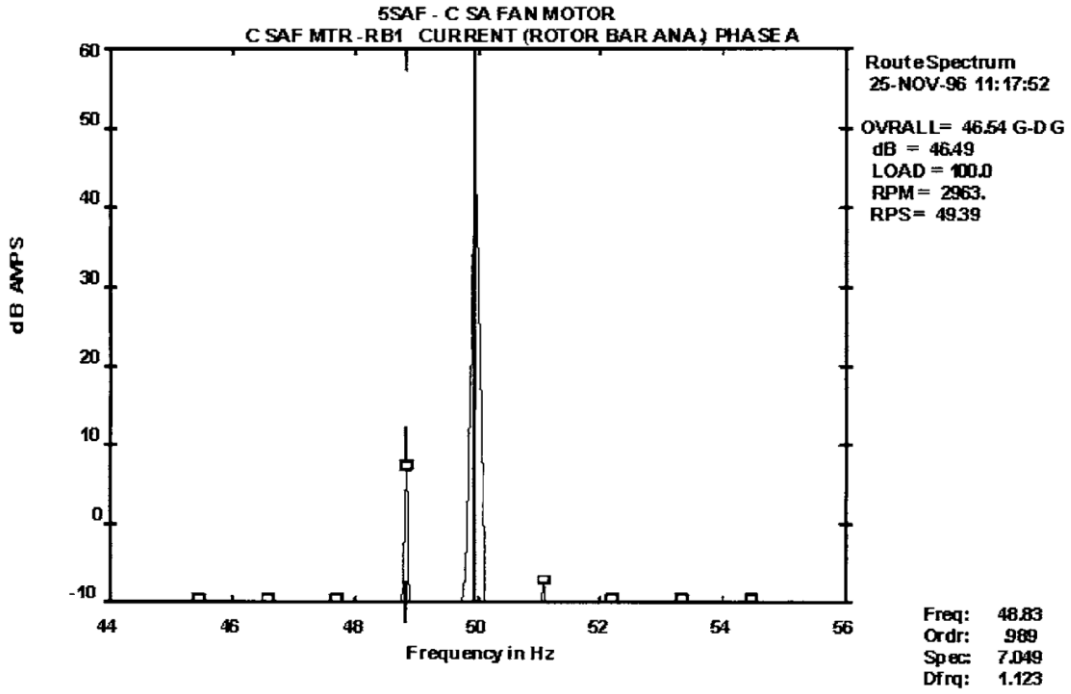
روش های مافوق صوت برای پیدا کردن ترک خوردگی در اجزای پمپ و استخراج اندازه و مکان وقوع آن می تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای بررسی ضخامت پوشش لوله های اطراف پمپ استفاده می شود. مهارت قابل توجهی برای انجام این نوع بازرسی مورد نیاز است [33].

- **تحلیل روغن‌کاری**

تحلیل روغن کاری یک روش آزمون پس داده در طول زمان در CBM بوده است. ذرات موجود در روغن روان کننده ها می توانند فرایند سایش رخ داده در داخل یک پمپ را توصیف کنند. سایش سطوح روغن کاری شده باعث می شود ذرات کوچکی از مواد جدا و در روان کننده های در حال پمپاژ، حمل شوند. سایش طبیعی و جدایش ذرات بر روی یک پمپ می تواند منجر به ظهور ذراتی تا به قطر ۸ میکرومتر شود گردد. تجزیه و تحلیل روغن کاری همچنین شامل تعیین مقدار ذرات حاضر (معمولا با واحد ppm). سایش غیرطبیعی منجر به ایجاد ذرات بزرگتری می شود که حداقل ۵۰ میکرومتر یا بیشتر هستند. شکل ذرات باقی مانده سایش نیز در تشخیص مفید است [33].

- **تحلیل جریان برق مصرفی**

تحلیل امضای (شکل) جریان مصرفی موتور پر استفاده ترین روش در CBM است. تجزیه و تحلیل جریان موتور می تواند آسیب به روتور را آشکار کند، که به عنوان باندهای جانبی، زمانی که بار بالاتر از ۵۰٪ از حداکثر آن در طیف جریان حرکتی ظاهر می شوند. این آسیب را می توان در تحلیل ارتعاش نیز نشان داد. تنظیمات توصیه شده برای تجزیه و تحلیل امضای جریان موتور در محدوده فرکانس صفر تا۸۰ هرتز است. در این حالت سرعت روتور باید حتما معلوم باشد تا فرکانس لغزش (فرکانس ac منهای فرکانس روتور) و باندهای جانبی بدست آید [33].



شکل ۲-۱٤: نمونه‌ای از تحلیل امضای جریان برق مصرفی موتور

- **حسگر فشار**

یک حسگر فشار فیبر نوری با بهره گیری از یک تداخل سنج فابری ـ پروت توسط صنایع FFPI ایجاد شد که قادر است خوانش های فشار یک سیال را که دماهایی بیش از ۷۰۰ درجه فارنهایت دارد به دست آورد. تغییرات فشار سیال باعث ایجاد کرنش های اندکی در فیبر می شود که پس از آن منجر به تغییر بزرگی در قدرت نوری منعکس شده می‌شود. این حسگر جدید بر روی یک پمپ گریز از مرکز دو مکشه با توان ۱۲۵ اسب بخار و در سرعت دورانی ۳۶۰۰ دور در دقیقه آزمایش شد [34].

- **حسگر ارتعاش**

حسگرهای ارتعاش بی سیم می توانند به منظور به دست آوردن اطلاعات از مکانهایی با دسترسی سخت بر روی ماشین ها مورد استفاده قرار گیرند. برای استفاده از حسگرهای بی سیم برای CBM، سیستم کلی باید شامل یک آرایه شبکه حسگر، فرستنده بی سیم با مبدل آنالوگ به دیجیتال، نقطه دسترسی بی سیم، کامپیوتر اکتساب داده ها با قابلیت آماده سازی سیگنال، ماژول نرم افزار با تشخیص عیب و تشخیص الگو، سیستم آرشیو داده ها، یک پایگاه داده، و یک ماژول نرم افزار تشخیصی هوشمند باشد. فن آوری بی سیم توانایی نظارت مداوم بر پمپ های گریز از مرکز را فراهم می نماید. این نوع سیستم در راکتور ایزوتوپ شار بالا در آزمایشگاه ملی اوک ریج پیاده سازی شده است [35].

- **میکروفون**

میکروفن‌ها برای تشخیص کاویتاسیون و دیگر مشکلات هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفته اند که در آن‌ها سیگنال ارتعاشی صوتی دامنه بالا ایجاد می شود و به راحتی می توان آن ها را ثبت و تجزیه و تحلیل کرد تا فرکانس های آن مشخص شود. در نتیجه، تحقیقات در تعیین این که کدام فرکانس های صوتی در آغاز و در ادامه برخی مشکلات هیدرولیکی

(عمدتاً کاویتاسیون) وجود دارند، انجام شده است و این که اگر این فرکانس ها منحصر به فرد باشند به عنوان شاخص برای حالت تشخیص عیب مورد استفاده قرار گیرند.

برخی تحقیقات در زمینه آکوستیک، با استفاده از میکروفن ها، برای تعیین سودمندی این روش در تشخیص کاویتاسیون انجام شده است. کادینا از آکوستیک برای تعیین آغاز کاویتاسیون در یک پمپ گریز مرکز استفاده کرد. در پژوهش ایشان مشخص شد که افزایش متمایزی در دامنه نصف فرکانس چرخش تیغه پروانه در هنگام آغاز کاویتاسیون وجود دارد [25].

توبیانی و همکاران با استفاده از اندازه گیری های ویبرو آکوستیک معمولی، پارامترهای مختلف بدون بعدی را یافته است که می تواند برای تشخیص کاویتاسیون بر روی پمپ گریز از مرکز استفاده شود. در این پژوهش دو شتاب سنج یکسان با پهنای باند ۲۰ هرتز تا ۱۰ کیلوهرتز بر روی پوشش پمپ در سمت مکش و تخلیه پمپ قرار داده شد. مشخص شد که شتاب سنج سمت مکش نسبت به سمت تخلیه نسبت به کاویتاسیون حساس تر است. آکوستیک پمپ با استفاده از یک میکروفن برای نویز هوابرد و یک هیدروفون برای آکوستیک مایع اندازه گیری شد. هر حسگر دارای پهنای باند ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز است. مشخص شد که ارتعاش هر دو عامل پیک۱ و کورتوسیس۲ با وقوع کاویتاسیون روند کاهش تدریجی را نشان می دهد. علاوه بر این از آنتروپی طیفی۳ که شاخصی از اختلال در سیستم است استفاده شد.

مشخص شده است که روندهای صوتی۴ بیشتر با پیشرفت کاویتاسیون سازگار هستند، در حالی که روند ارتعاش آغاز کاویتاسیون را خیلی زودتر نشان می‌دهند. این امر ممکن است به این دلیل باشد که اندازه گیری های صوتی می‌توانند دینامیک کلی بیشتری از پمپ را نسبت به ارتعاشات سطحی به دست آمده در یک موقعیت محلی ضبط کنند [36].

- **نشر آوایی**

نشر آوایی (AE) یک موج گذرا است که توسط انرژی کرنشی حاصل از تغییر شکل یا آسیب در داخل یا سطح یک ماده، به وجود می‌آید. منابع AE شامل ضربه، خستگی چرخه ای، اصطکاک، توربولانس، از بین رفتن ماده، کاویتاسیون، نشت و غیره است. مزیت این امر در مقایسه با تجزیه و تحلیل ارتعاش، تشخیص نقص و یا شکست قبلی است. محدودیت های این روش در پردازش، تفسیر، و طبقه بندی اطلاعات از داده های اکتسابی نهفته است. امبا و همکاران موج گذرا را با اختصاص یک بخش به کاویتاسیون در پمپ به طور مفصل بررسی کرده اند [35].

۵-۷-۱-۲- فناوری تشخیص عیب

تشخیص عیب فرایند ردیابی یک عیب با شناسایی علائم آن، با به کارگیری دانش، و تجزیه و تحلیل نتایج آزمون است. تشخیص دقیق عیوب در سیستم های پیچیده مهندسی مستلزم کسب اطلاعات از طریق حسگرها، پردازش اطلاعات با استفاده از الگوریتم های پردازش سیگنال پیشرفته، و استخراج ویژگی های مورد نیاز برای طبقه بندی کارآمد یا شناسایی عیوب است. شناسایی عیوب و اقدامات درمانی بعدی می تواند بهره وری را افزایش دهد و هزینه های نگهداری را در کاربردهای مختلف صنعتی کاهش دهد. روش های یادگیری ماشین (ML) شامل استخراج ویژگی ها، انتخاب ویژگی ها، و

---

[1] Peak factor

[۲] Kurtosis کشیدگی برابر با گشتاور چهارم نرمال شده‌است، به عبارت دیگر کشیدگی معیاری از تیزی منحنی در نقطه ماکزیمم است. مقدار کشیدگی برای توزیع نرمال برابر ۳ می‌باشد.

[3] Spectral entropy

[4] Acoustic trends

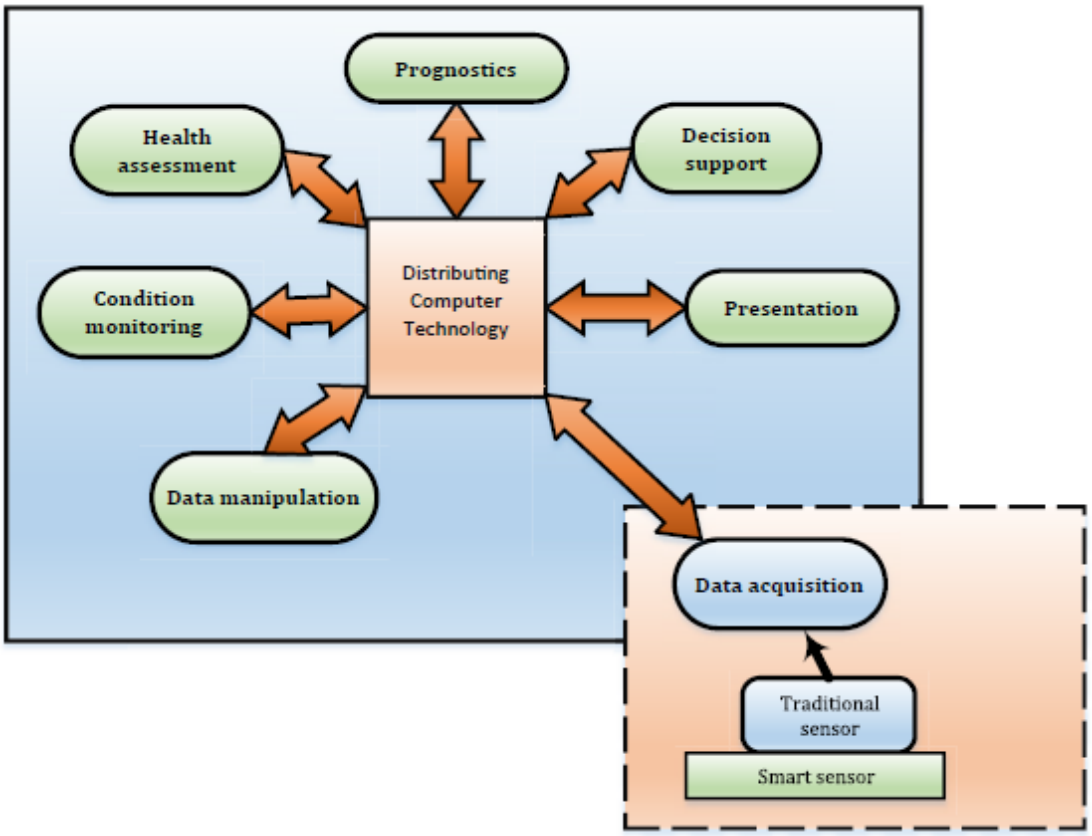
طبقه بندی عیوب، رویکرد سیستماتیکی را برای تشخیص عیب ارائه می دهند و می توانند در محیط های خودکار یا بدون سرنشین مورد استفاده قرار گیرند. این امر به طور فزاینده ای در بخش های صنعتی مانند ساخت، خودروسازی، دریایی، و هوافضا برای به حداکثر رساندن آپ تایم تجهیزات و به حداقل رساندن هزینه های نگهداری و عملیاتی مورد استفاده قرار می گیرند.

تشخیص عیب موضوع بررسی‌های متعدد در طول دهه های گذشته بوده است. محققان در رشته های متنوعی مانند پزشکی، مهندسی، علم، کسب و کار، و امور مالی متدولوژی هایی را برای تشخیص شرایط معیوب (شکست) یا ناهنجاری، اشاره یا جداسازی اینکه کدام جزء/جسم در یک سیستم/فرایند معیوب است، توسعه داده اند، و در مورد تأثیر بالقوه یک جزء معیوب بر سلامت سیستم تصمیم می گیرند. اخیراً فعالیت های تحقیق و توسعه در این زمینه، با نیاز به حفظ تجهیزات قدیمی، بهبود قابلیت اطمینان آن ها و در دسترس قرار دادن آن ها افزایش یافته است.

معماری سیستم باز (OSA1) CBM، هفت سطح فعالیت را برای ادغام کسب داده ها، پردازش سیگنال، نظارت بر وضعیت (CM)، ارزیابی سلامت، پیش بینی، پشتیبانی تصمیم، و ارائه پیشنهاد می‌کند. شکل زیر، معماری هفت لایه OSA CBM را به تصویر می کشد. سطح پیشنهادی پشتیبانی تصمیم، اطلاعات لازم را برای حمایت از یک سیستم «تصمیم به عمل»، بر اساس خروجی‌های لایه پیش بینی، محدودیت های خارجی، اهداف، مشوق های مالی و غیره جمع آوری و ادغام می کند. به موازات آن، استانداردهای سازمان استانداردهای بین المللی (ISO) تلاش کرده اند تا چارچوب مفهومی مدل های پردازشی را با هدف ارائه ماژول های اساسی CBM/PHM2 از اکتساب داده ها و تجزیه و تحلیل گرفته تا ارزیابی سلامت، ارزیابی پیش بینی، و تولید مشاوره ارائه نمایند [37]

[1] Open system architecture

[2] Prognostic Health Monitoring



شکل ۲-۱۵: هفت لایه معماری سیستم باز در ساختار تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط

در ادامه تعاریف اصلی و مبانی حوزه تشخیص عیب بررسی می شود. تعاریف این حوزه با ترکیب ابزارهای تشخیص عیب ماشین و چارچوب CBM/PHM تکامل یافته اند. جامعه CBM/PHM هنوز بر روی یک واژگان استاندارد شده به توافق نرسیده است.

- **تعاریف اولیه بر مبنای ارتش ایالات متحده**
- تشخیص عیب[1]: تشخیص، ایزوله کردن و شناسایی یک وضعیت شکست قریب الوقوع یا در حال آغازِ جزء آسیب دیده (شامل زیر سیستم یا سیستم) که هنوز در حال کار بوده اما شروع به تخریب کرده است.
- تشخیص شکست[2]: تشخیص، ایزوله کردن، و شناسایی یک جزء (شامل زیر سیستم یا سیستم) که فعالیت خود را متوقف کرده است.

برای تخمین عمر باقی مانده[3] یا زمان شکست یک جزء شکست خورده، یعنی برای انجام پیش بینی عیب و به حداکثر رساندن آپ تایم از طریق CBM، تعیین دقیق و حذف آلارم های کاذب در شرایط شکست قریب الوقوع یا آغاز شکست،

[1] Fault diagnosis
[2] Failure diagnosis
[3] Remaining Useful Life (RUL)

ضروری است. هدف طراح دستیابی به بهترین عملکرد ممکن از یک روال تشخیص داده شده با به حداقل رساندن مثبت کاذب (FPs) و منفی کاذب (FNs) در حالی که کاهش تاخیر زمانی بین شروع و تشخیص / انزوا از یک رویداد عیب است [37]. لازم به ذکر است که منظور از مثبت کاذب تشخیص رویدادی مثبت توسط ماشین است در حالی که ان رویداد به وقوع نپیوسته است، همچنین منفی کاذب به همین ترتیب به این معنی است که ماشین واقعه ای را منفی ارزیابی (عدم وقوع) نموده است در حالی که اتفاق افتاده است.

یک عیب۱ نشان دهنده تغییر غیرمنتظره عملکرد سیستم است، اگرچه ممکن است نشان دهنده یک شکست فیزیکی نباشد. اصطلاح خرابی۲ نشان دهنده شکست جدی یک جزء یا کارکرد سیستم است که منجر به رفتار انحرافی قابل توجهی از کل سیستم می شود. در مقابل، اصطلاح عیب نشان دهنده یک خرابی است که به طور قابل توجهی بر رفتار عادی سیستم تأثیر نمی گذارد

- **تعاریف اولیه بر مبنای IFAC**

یک عیب آغازین (نرم) نشان دهنده یک عیب پیوسته کوچک و اغلب به آرامی در حال توسعه است. اثرات آن بر روی سیستم، در آغاز، تقریباً غیرقابل توجه است. یک عیب سخت یا ناگهانی نامیده می شود اگر اثرات آن بر روی سیستم بزرگتر باشد و سیستم را بسیار نزدیک به حد رفتار قابل قبول می‌کند.

یک عیب در صورتی متناوب نامیده می شود که اثرات آن بر روی سیستم برای دوره های زمانی قطع شده پنهان باشد [38]. اگرچه یک عیب ممکن است در لحظه ای که رخ می دهد قابل تحمل باشد، اما باید در اسرع وقت تشخیص داده شود، چرا که ممکن است در طول زمان منجر به عواقب جدی شود.

سیستم تشخیص عیب یک سیستم نظارتی است که برای تشخیص عیوب و تشخیص محل و اهمیت آن ها در یک سیستم استفاده می شود. این سیستم وظایف زیر را انجام می دهد:

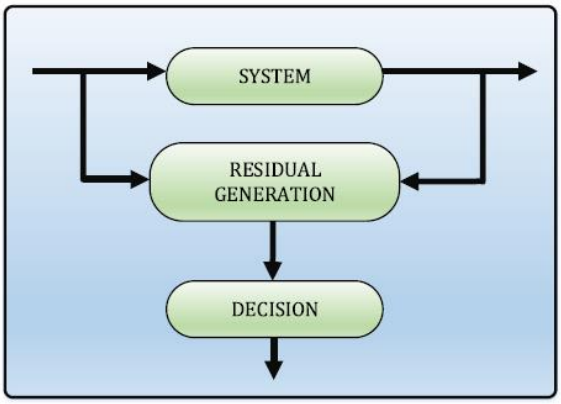
- تشخیص عیب۳ برای نشان دادن اینکه آیا یک عیب در سیستم رخ داده است، یا نه
- جداسازی عیب٤ برای تعیین محل عیب
- شناسایی عیب٥ برای تخمین اندازه و ماهیت عیب.

دو وظیفه اول یعنی تشخیص و جداسازی به عنوان مهم ترین مورد توجه قرار می گیرد، بنابراین تشخیص عیب اغلب به سادگی تشخیص عیب و جداسازی نامیده می شود. سیستم کنترل قابل تحمل عیب، یک سیستم کنترل شده است که به دنبال عیوب رخ داده در سیستم بتواند مستمراً به عملکرد قابل قبول خود ادامه می دهد. یکی از ویژگی های مهم چنین سیستمی پیکربندی مجدد خودکار است، هنگامی که یک خرابی تشخیص داده می شود و جدا می‌شود. سهم تشخیص عیب در یک سیستم کنترل تحمل عیب، تشخیص و جداسازی عیوب است، بنابراین کاربران می‌توانند تصمیم بگیرند که چگونه پیکربندی مجدد را انجام دهند [39].

[1] Fault
[2] Failure
[3] Fault detection
[4] Fault isolation
[5] Fault identification

- **فرآیند تشخیص عیب**

تشخیص عیب مبتنی بر مدل به عنوان «تعیین عیب ها در یک سیستم با مقایسه اندازه گیری های سیستم در دسترس با یک داده قبلی که توسط مدل تحلیلی/ریاضی سیستم نشان داده می شود، از طریق تولید کمیت‌های باقی مانده[1] و تحلیل آن ها تعریف شده است. باقی مانده یک شاخص عیب است که وضعیت معیوب سیستم نظارت شده را منعکس می کند» [40]
مشکلی که هنگام استفاده از یک مدل تحلیلی برای یک سیستم داده شده رخ می دهد این است که به دلیل اغتشاشات و نویز نمی تواند عدم قطعیت‌ها را کاملاً مدل کند. دینامیک غیرمدل شده و عدم قطعیت‌های دیگر منجر به تفاوت بین خروجی مدل تحلیلی و خروجی سیستم می‌شود. این تفاوت ها ممکن است باعث شود که باقی‌مانده‌ها نشان دهنده عیوب اشتباه باشد. یک سیستم تشخیص عیب مقاوم، در حالی که مقاوم به مدل سازی عدم قطعیت و نویز است، حساسیت رضایت بخش به عیب فراهم می کند [40]. یکی از چالش‌های اصلی در طراحی یک سیستم تشخیص عیب مقاوم این است که بتوان آن را قادر به تشخیص عیوب در حال آغاز نمود. اثرات یک عیب بر روی یک سیستم تقریباً در ابتدا غیرقابل توجه است؛ بنابراین، اثرات عدم قطعیت‌ها بر روی سیستم می‌تواند این اثرات کوچک را پنهان کند [40].
وظیفه تشخیص عیب دارای دو مرحله اصلی است: تولید باقی مانده و تصمیم گیری [41]. تولید باقی مانده یک روش برای استخراج علائم عیب از سیستم، با استفاده از اطلاعات ورودی و خروجی در دسترس است. مولد باقی مانده الگوریتمی است که برای تولید باقی مانده استفاده می شود [41]. تصمیم گیری به بررسی سیگنال های باقی مانده برای تثبیت اگر عیبی رخ داده باشد و اگر چنین است، برای منزوی کردن آن اشاره دارد [39].

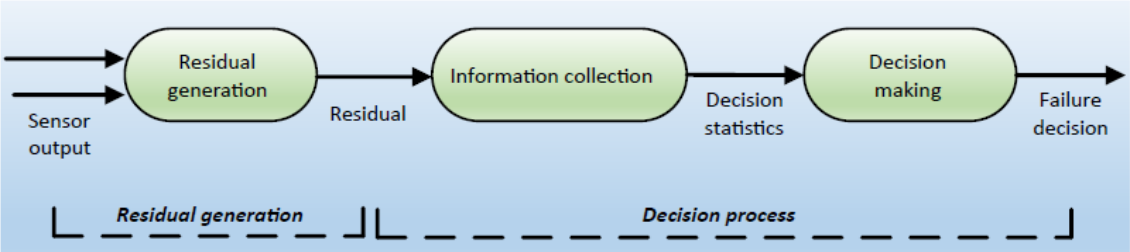


شکل ۲-۱۶: دو مرحله اصلی فرآیند تشخیص عیب

استراتژی های تشخیص عیب و ایزوله سازی آن[2] در سال های اخیر توسعه یافته اند و سودمندی گسترده ای در انواع دامنه های کاربرد پیدا کرده اند. اصطلاح FDI در اینجا برای دلالت بر تشخیص عیب و تعیین یک جزء/زیر سیستم عیب خاص به کار می رود زیرا در ادبیات فنی رواج دارد. یک ساختار کلی FDI در شکل زیر به تصویر کشیده شده است. در این شکل، یک سیگنال باقی مانده که نشان دهنده انحرافی از شرایط عملیاتی استاندارد است، با مقایسه، به عنوان مثال، خروجی یک مدل با خروجی سیستم واقعی تولید می شود. بر اساس این سیگنال می توانیم در مورد وضعیت عملیاتی ماشین آلات تصمیم

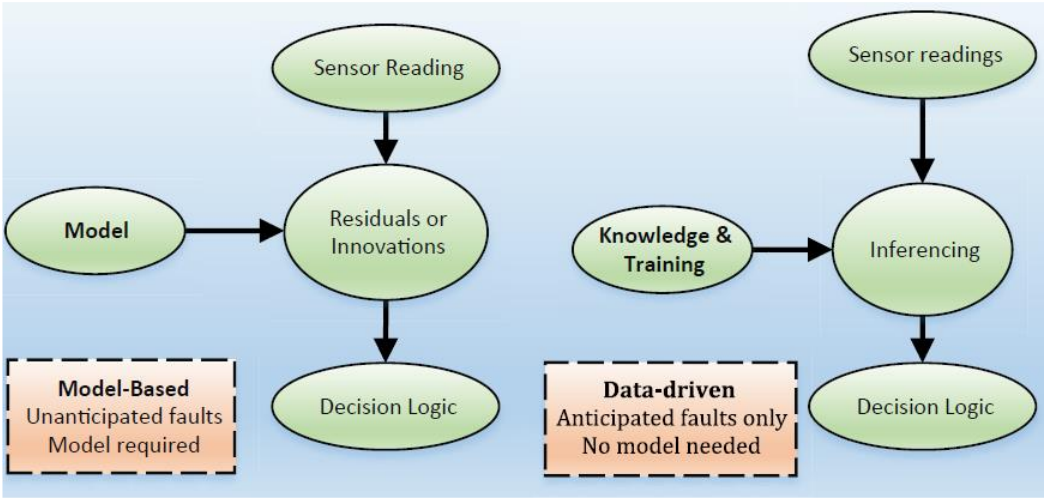
[1] residuals quantities
[2] Fault Detection and Isolation (FDI)

گیری کنیم. روش های تولید باقی مانده می تواند بر اساس مشخصات آماری سیگنال زمانی، شناسایی سیستم، تکنیک های حوزه فرکانس و غیره باشد [37]



شکل ۲-۱۷: ساختار کلی تشخیص و جداسازی عیب

فن آوری‌های فعال کننده به طور معمول در دو دسته عمده قرار می‌گیرند: مدل محور۱ و داده محور۲، همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است.



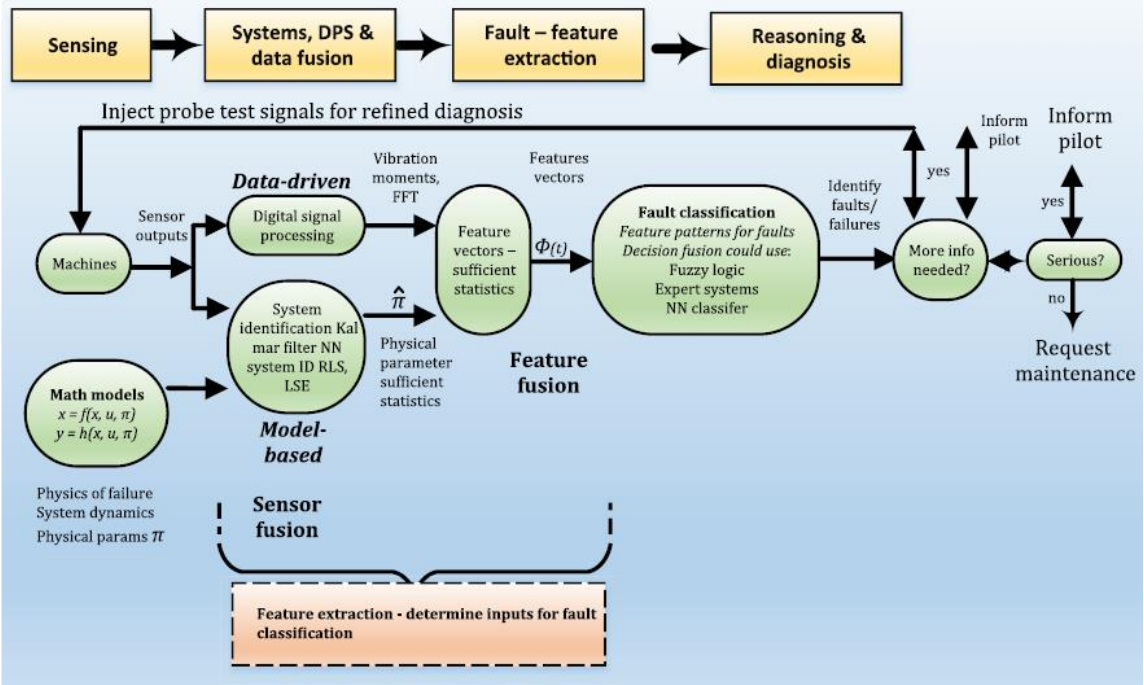
شکل ۲-۱۸: روش‌های تشخیص عیب مبتنی بر مدل و مبتنی بر داده

تکنیک های مبتنی بر مدل به یک مدل دینامیکی دقیق از سیستم تکیه می کنند و قادر به تشخیص حتی عیوب پیش بینی نشده هستند. آنها از خروجی سیستم واقعی و خروجی مدل برای تولید «اختلاف» و یا باقی مانده (نوآوری) استفاده می نمایند، که به عنوان اختلاف بین دو خروجی که نشان دهنده یک وضعیت عیب بالقوه است. در روشی دیگر از بانک فیلترها برای مشخص کردن هویت جزء عیب واقعی استفاده می شود. تکنیک های داده محور اغلب تنها به شرایط عیب پیش بینی شده می پردازد، با ساخت عیب «مدل» یا مجموعه ای از مدلها، مانند شبکه های عصبی (NNs)، سیستم های متخصص، و غیره، که باید با الگوهای عیب نمونه اولیه شناخته شده (داده ها) آموزش دیده و سپس به صورت آنلاین برای تعیین هویت جزء معیوب به کار گرفته شوند [37].

[1] Model based
[2] Data driven

- **تشخیص برخط**

یک طرح کلی برای مانیتورینگ و تشخیص عیب برخط در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۹: تشخیص عیب و پایش برخط (روش‌های مبتنی بر FFT، LSE، NN و RLS) [37]

شکل بالا تمامی روش آنلاین مورد نیاز برای نظارت و تشخیص را نشان می دهد. اجزای عمده این روش جمع آوری داده‌ها از طریق خروجی‌های حسگر و سپس ساخت یک بردار ویژگی با اطلاعات کافی در مورد وضعیت فعلی ماشین به منظور امکان شناسایی عیب و طبقه بندی آن است. اطلاعات موجود در بردار ویژگی را می‌توان به سه وسیله به دست آورید:

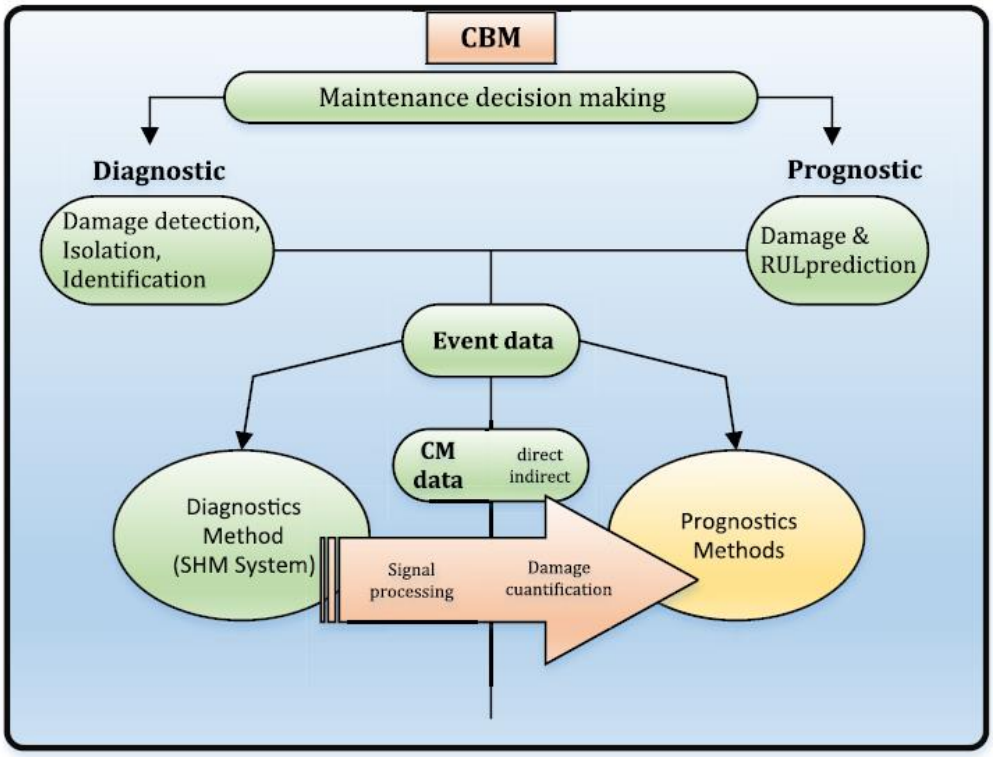
- با استفاده از روش های مدل محور (مانند شناسایی پارامترهای مدل فیزیکی با استفاده از فیلتر کالمن یا مربعات خطای بازگشتی)
- با استفاده از روش های داده محور (مانند گشتاور ارتعاشی، اطلاعات طیف فرکانسی ارتعاشی)
- رگرسیون آماری و خوشه بندی بر روی داده های موجود عملکرد دستگاه

هنگامی که بردار ویژگی فعلی به دست آمده است، از آن به عنوان ورودی به یک بلوک طبقه بندی عیب استفاده می‌شود که می‌تواند شامل انواع مختلفی از الگوریتم‌های تصمیم گیری باشد. $\Phi[x(t)]$ در شکل بالا شامل علائم وضعیت عیب است، در حالی که کتابخانه الگوی عیب[1] (FPL) حاوی اطلاعات تشخیصی از نظر الگوهای عیب شناخته شده است. تکنیک های زیادی برای ایجاد FPL برای طبقه بندی عیب به کار گرفته شده اند، از جمله مدل سازی فیزیکی، تکنیک های آماری، داده‌های تاریخی عیب ـ آزمون، سیستم های خبره مبتنی بر قواعد، سیستم های استدلالی، منطق فازی، شبکه های عصبی و غیره است [37].

[1] fault pattern library (FPL)

CBM همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است، یک استراتژی نگهداری مقرون به صرفه است که در آن برنامه های نگهداری بر اساس نتایج ارائه شده از سیستم های تشخیص و سیستم های پیش بینی پیش بینی می‌شود. سیستمهای تشخیص وضعیت آسیب را از طریق تشخیص، ایزوله سازی، و شناسایی با استفاده از داده‌های جمع آوری شده از نظارت بر سلامت ساختاری[1] مشخص می‌کند. بر اساس اطلاعات تشخیصی، سیستم‌های پیش بینی رفتار آینده آسیب و عمر باقی مانده RUL[2]، به عبارت دیگر، زمان/چرخه های باقی مانده قبل از آنکه تعمیر و نگهداری مورد نیاز باشد، را پیش بینی می کنند. داده های جمع آوری شده که هم برای تشخیص‌ها و هم برای پیش آگهی‌ها مهم هستند را می توان به دو نوع طبقه بندی کرد:

- داده های رویدادی و یا اجرا به شکست داده‌ها
- داده‌های CM که ارائه اطلاعات در مورد آسیب، مانند میزان سایش، اندازه ترک، سیگنال لرزش، ذرات باقی مانده در روغن، و ترموگرافی، و مواردی از این دست است.



شکل ۲-۲۰: بلوک‌های ساختاری تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط، CM، RUL و SHM [42]

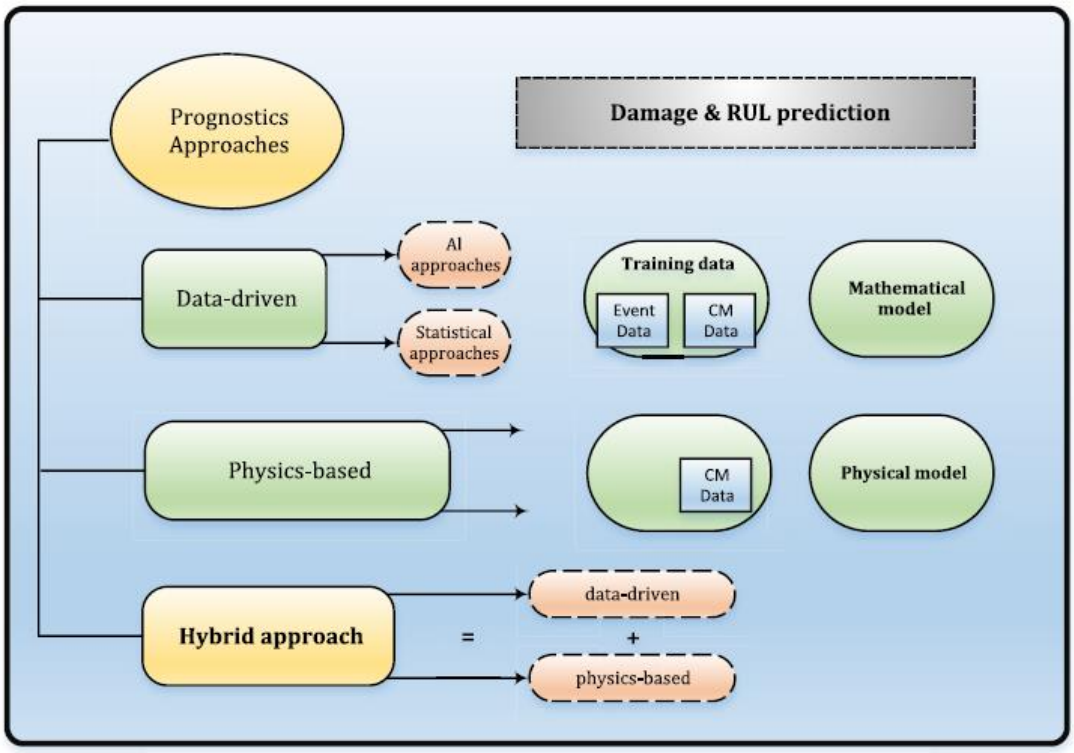
چندین مقاله مروری از روش های تشخیصی و تعدادی از نشریات در مورد تشخیص ها، پردازش سیگنال، و کمی‌سازی آسیب وجود دارد. به عنوان مثال جاردین و همکاران [43] یک بررسی کلی از سیستمهای تشخیصی و سیستمهای پیش بین از نظر اجرای CBM و تصمیم گیری ارائه می دهند. بیشتر بررسی ها یک مقایسه ساده از روش های مختلف را تنها برای

[1] structural health monitoring
[2] Remaining Useful Life (RUL)

یک برنامه خاص ارائه می دهند. علاوه بر این، بیشتر بر روی یک الگوریتم تمرکز می کنند، به جای تفسیر الگوریتم در زمینه سیستم های پیش بین.

به طور کلی، روش های پیش آگهی را می توان در رویکردهای داده محور[1]، مبتنی بر فیزیک[2]، و هیبرید[3] دسته بندی کرد، همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است. رویکردهای داده محور از اطلاعات داده هایی که قبلاً جمع آوری شده بودند (داده های آموزشی) برای شناسایی ویژگی های حالت آسیب در حال حاضر اندازه گیری شده و پیش بینی روند آینده استفاده می کنند. رویکردهای مبتنی بر فیزیک فرض می کنند که یک مدل فیزیکی توصیف کننده رفتار آسیب در دسترس است؛ آنها مدل فیزیکی را با داده های اندازه گیری شده ترکیب می کنند تا پارامترهای مدل را شناسایی کنند و رفتار آینده را پیش بینی کنند. دو تفاوت عمده بین رویکردهای مبتنی بر داده و فیزیک وجود دارد:

- در دسترس بودن یک مدل فیزیکی
- استفاده از داده های آموزشی برای شناسایی ویژگی های حالت آسیب.



شکل ۲-۲۱: دسته‌بندی و تعریف روش‌های پیش آگهی، AI و RUL [42]

- **روش‌های داده محور**

رویکردهای داده محور از اطلاعات داده های مشاهده شده برای شناسایی ویژگی های پیشرفت آسیب و پیش بینی حالت آینده بدون استفاده از هیچ مدل فیزیکی خاصی استفاده می کنند. در عوض، آنها از مدل های ریاضی و/یا پارامترهای وزن

[1] Data Driven
[2] Physics Based
[3] Hybrid

استفاده می کنند که از داده های آموزشی به دست آمده در شرایط مختلف استفاده تعیین می شوند. از آنجا که رویکردهای داده محور به روند داده ها بستگی دارد که اغلب ویژگی متمایزی را در نزدیکی پایان عمر نشان می دهند، در پیش بینی رفتارهای نزدیک به آینده به ویژه نسبت به پایان عمر قدرتمند هستند [44]. این روش ها را می توان به طور خلاصه در لیست زیر گرد آوری کرد:

Analytical learning
Artificial neural networks (ANNs)
Backpropagation
Boosting
Bayesian statistics
Case-based reasoning
Decision tree learning
Inductive logic programming
Gaussian process regression
Kernel estimators
Learning automata
Minimum message length (decision trees, decision graphs, etc.)
Naive Bayes classifier
Nearest neighbor algorithm
Probably approximately correct learning
Ripple down rules
Symbolic machine learning (ML) algorithms
Subsymbolic ML algorithms
SVMs
Random forests
Ensembles of classifiers
Ordinal classification
Data preprocessing
Handling imbalanced data sets
Statistical relational learning
Proaftn, a multicriteria classification algorithm [45].

از منظر فنی تمامی روش‌های بالا در قالب سیستم های یادگیر قابل مطالعه هستند و چنانکه مشخص است سیستم های یادگیر را می توان در سه حوزه اصلی طبقه بندی کرد

- یادگیری با نظارت
- یادگیری بدون نظارت
- یادگیری تقویتی

که دو روش آولیه در سیستم‌های پیش‌بین بسیار مورد استفاده قرار می گیرد و روش اخری در سیستم های تصمیم ساز می تواند به کارگرفته شود.

- **روش‌های مبتنی بر فیزیک**

رویکردهای مبتنی بر فیزیک یک مدل آسیب فیزیکی را با داده های اندازه گیری شده ترکیب می کنند تا رفتار آینده تخریب یا آسیب را پیش بینی کنند و RUL را پیش بینی کنند، همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است. رفتار یک مدل فیزیکی بستگی به پارامترهای به دست آمده از آزمایش های آزمایشگاهی دارد یا در زمان واقعی تخمین زده می شود، بر اساس داده های اندازه گیری شده تا زمان فعلی. RUL با پیشبرد حالت آسیب، همان طور که توسط منحنی های خط تیره در شکل زیر نشان داده شده است پیش بینی می شود تا زمانی که به آستانه خاصی برسد.

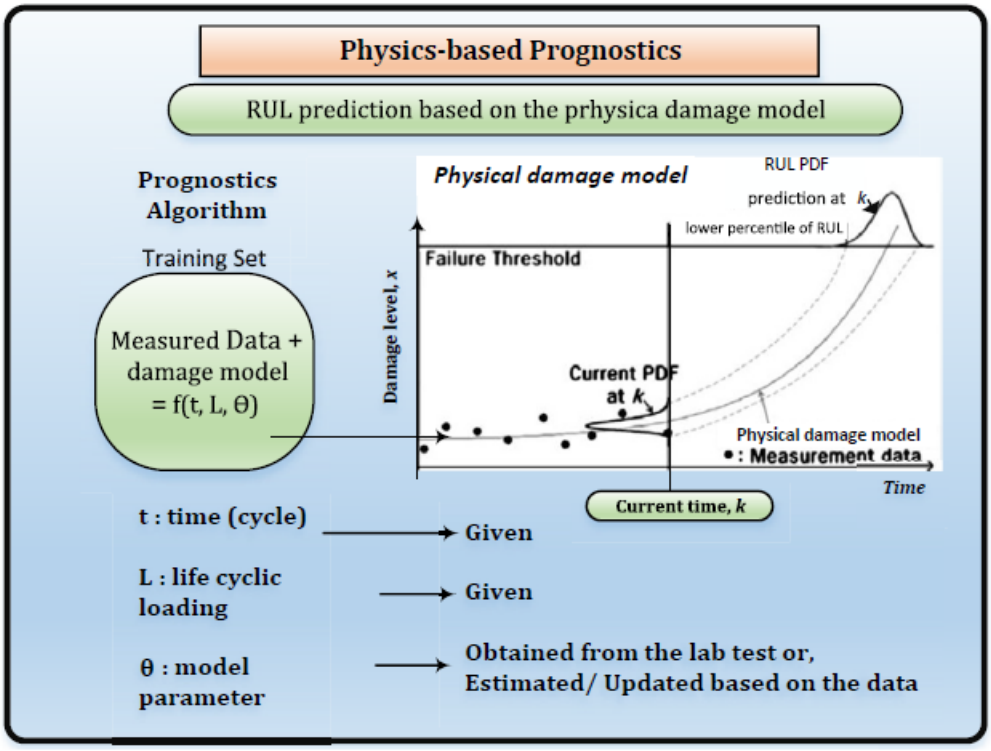
مدل های فیزیکی پر استفاده در این دسته شامل مدلهای رشد ترک و مدلهای المان محدود (FEA) هستند. مدلهای رشد ترک به دلیل انکه از منظر مهندسی رشد مناسبی داشته اند و به درک بالایی در پدیده ترک ایجاد کرده اند مورد توجه قرار گرفته اند. همچنین روش های مبتنی بر المان محدود نیز به دلیل مشابه بسیار مورد توجه هستند.

شبیه سازی FEA را می توان در بسیاری از موقعیت های مختلف برای تقریب رفتار سیستم ها هنگامیکه که شرایط کاری تغییر نماید و یا زمانی که عیب ظاهر شود و پیشرفت کند، اعمال شود. بنابراین، سودمندی FEAs برای تشخیص عیب این است که آنها پتانسیل تعیین نحوه تغییر یک وضعیت سیستم را هنگامی که یک عیب یا ناهنجاری وجود دارد، ارائه می دهند. این وضعیت سیستم باید در قالب یک مقدار متغیر اندازه گیری شود، به طور رسمی به عنوان برآورد حالت شناخته می شود، یا باید از سیگنال یک سیستم به صورت یک ویژگی استخراج شود. البته فرض بر این است که حالت یا ویژگی مورد بررسی هم در مدل FEA و هم در سیستم کاری واقعی رفتار مشابهی داشته باشد.

بسته به رفتار یک یا چند مورد از این حالت ها یا ویژگی ها، ممکن است نه تنها برای تشخیص وجود یک عیب بلکه برای ارزیابی بزرگی و مرحله توسعه آن نیز امکان پذیر باشد. علاوه بر این، می توان از نتایج حاصل از شبیه سازی های FEA تحت شرایط عملیاتی مختلف برای مقایسه عملکرد نسبی استفاده کرد.

علاوه بر این، نتایج حاصل از شبیه سازی های FEA تحت شرایط عملیاتی مختلف می تواند برای مقایسه عملکرد نسبی حالت ها یا ویژگی های مختلف تحت این موقعیت های متغیر مورد استفاده قرار گیرد.

بنابراین، این نتایج به ما اجازه می دهند تا یک لیست یا جدول ایجاد کنیم که نشان می دهد چه ویژگی هایی به بهترین وجه سلامت سیستم را تحت شرایط خاص توصیف می کنند. به عنوان مثال، جدول ممکن است مشخص کند که یک ویژگی برای تشخیص یک عیب در شرایط عملیاتی تورک های پایین یک موتور بهتر است، در حالی که دیگری در تورک های بالا بهتر است. توجه داشته باشید که یک ویژگی بهتر می تواند به انواع چیزهایی که بسته به علاقه ما اشاره نماید, مانند حساسیت پاسخ, ایمنی صدا, واریانس آماری, و غیره. این فرایند انتخاب ویژگی ها بسته به شرایط عملیاتی، انتخاب ویژگی نامیده می شود.



شکل ۲-۲۲: پیش‌آگهی مبتنی بر مدل فیزیکی در پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده

۶-۷-۱-۲- فناوری پیش‌بینی (پیش آگهی) عیب

نگهداری انواع دارایی ها هم در بخش صنعتی و هم در بخش علمی به طور فزاینده ای دارای اهمیت است. صنایع می خواهند تکنیک های نگهداری خود را بهبود بخشند تا طول عمر تجهیزات خود را افزایش دهند. تمام تجهیزات در طول زمان رو به وخامت خواهند رفت، چرا که تحت ولتاژ یا بار خاصی در محیط واقعی عمل می کند و در نتیجه فعالیت های نگهداری بیشتر با افزایش سن مورد نیاز است.

تعمیر و نگهداری ترکیبی از روش های مختلف، ابزار، و تکنیک در تلاش برای کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری در حالی که به دنبال افزایش قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، و امنیت تجهیزات است. رایج ترین نوع نگهداری نگهداری اصلاحی (که تعمیر و نگهداری برنامه ریزی نشده نیز نامیده می شود، یا تعمیر و نگهداری اجرا به شکست) است که تنها در خرابی ها صورت می گیرد. نگهداری پیشگیرانه بر اساس زمان (که تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده نیز نامیده می شود) یک فاصله دوره ای برای انجام نگهداری پیشگیرانه بدون در نظر گرفتن وضعیت بهداشتی یک دارایی فیزیکی تعیین می کند.

با توسعه سریع تکنولوژی مدرن، محصولات به طور فزاینده ای پیچیده شده اند در حالی که کیفیت بهتر و قابلیت اطمینان بالاتر مورد نیاز است. این امر هزینه نگهداری پیشگیرانه را بالا می برد. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به هزینه عمده بسیاری از شرکت های صنعتی تبدیل شده است. بنابراین بسیاری از شرکت ها هم اکنون در حال پیاده سازی تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط (CBM) هستند.

پیش آگهی ها اساساً سعی می کنند با توجه به وضعیت فعلی دارایی و عملیات، بقای باقی مانده زمانی را قبل از اینکه یک عیب یا شکست رخ دهد، پیش بینی کنند. به عبارت دیگر، پیش آگهی ها بر اساس پیش بینی عمر مفید باقی مانده

(RUL) یک سیستم بر اساس نظارت بر شرایط دارایی و تجزیه و تحلیل بعدی اطلاعات و داده های جمع آوری شده برای یک کار داده شده رخ می دهد.

با پیش آگهی، صنایع به طور بالقوه می توانند هزینه های هر دو تعمیر و نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی را کاهش دهند. اگر بتوانند پیش بینی کنند که یک ماشین یا دارایی چه زمانی ممکن است شکست بخورد، قادر خواهند بود از فعالیت های نگهداری جلوگیری یا محدود کنند. پیش آگهی ها عمدتاً بر اساس مدل های ریاضی برای پیش بینی RUL هستند.

این مدل ها با استفاده از یکی از چهار رویکرد مبتنی بر تجربه، مبتنی بر داده ها، مبتنی بر مدل، و متدولوژی ترکیبی (که بعداً مورد بحث قرار گرفت) ساخته شده اند.

یک مثال معمولی در کاربرد پیش آگهی ها استفاده از مدل هایی برای مدل سازی شروع خستگی و انتشار ترک ها در اجزای ساختاری است. از نمونه های دیگر می توان به مطالعه تخمین RUL برای سازه های پل با استفاده از یک سیستم بر اساس تجربه یا مطالعه ارتعاشات در ماشین های چرخان با استفاده از یک رویکرد داده محور اشاره کرد. هدف این بخش مروری بر ادبیات مربوطه در مورد تکنیک های پیش آگهی و استفاده از آن ها در حوزه صنعتی است.

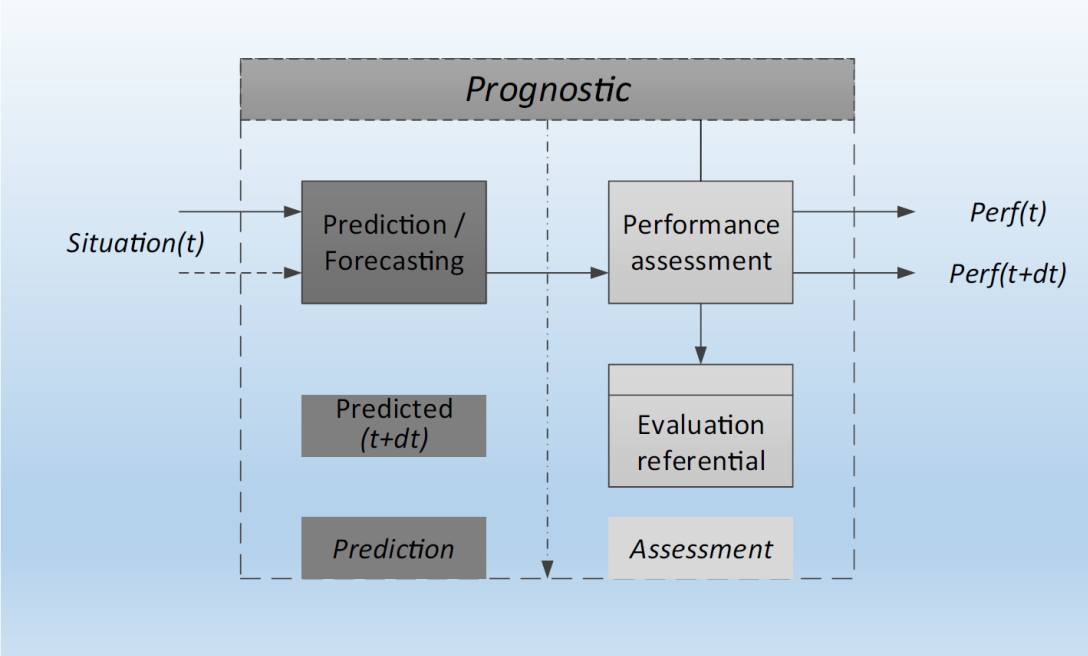
- **نقش پیش‌بینی در تعمیر و نگهداری**

مفهوم قابلیت اطمینان در قرن بیستم پس از پایان جنگ جهانی دوم ظاهر شد. بخش های تعمیر و نگهداری در حال حاضر نه تنها به دنبال رفع عیوب بلکه به دنبال جلوگیری از آنها است. این امر، شامل ایجاد یک وظیفه جدید در بخش های تعمیر و نگهداری است: کارکنانی که هدف شان مطالعه این بود که چه تعمیر و نگهداری باید انجام شود تا از شکست ها جلوگیری شود. با ظهور عصر کامپیوتر، تعمیر و نگهداری با معرفی فناوری های جدید دوباره تغییر کرد.

- **روش‌های پیش‌بینی عیوب**

پیش آگهی ها به یک رشته مهندسی اطلاق می شود که بر پیش بینی زمانی متمرکز است که در آن یک سیستم یا یک جزء دیگر عملکرد مورد نظر خود را انجام نخواهد داد. این عدم عملکرد اغلب شکست فراتر از آن است که دیگر نمی توان از سیستم برای برآورده کردن اهداف مورد نظر خود استفاده کرد. بنابراین، زمان پیش بینی شده تبدیل به RUL سیستم یا جزء می شود، یک مفهوم مهم در تصمیم گیری برای کاهش احتمالی. پیش آگهی ها عملکرد آینده را با ارزیابی میزان انحراف یا تخریب یک سیستم یا جزء از شرایط عملیاتی عادی مورد انتظار آن پیش بینی می کنند. علم پیش آگهی بر اساس تجزیه و تحلیل حالت های شکست، تشخیص نشانه های اولیه سایش و پیری، و شرایط عیب است. این نشانه ها در یک مدل انتشار آسیب همبستگی دارند. پیش آگهی ها به طور بالقوه می توانند در CBM مورد استفاده قرار گیرند.

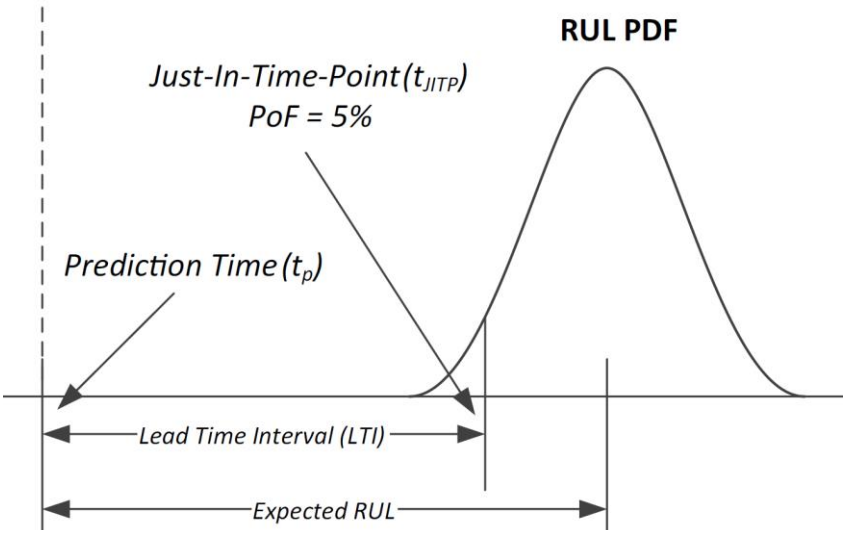
پیش آگهی ها باید بر اساس معیارهای ارزیابی باشند؛ محدودیت ها به خود سیستم و اهداف عملکرد بستگی دارد. پیش آگهی را می توان به دو زیر بخش تقسیم کرد: نخست، پیش بینی سیر تکاملی یک موقعیت در زمان داده شده، دوم، ارزیابی موقعیت با استفاده از یک شاخص ارزیابی.



شکل ۲-۲۳: پیش‌آگهی و فرآیند ارزیابی

- **عمر مفید باقیمانده**

یک مفهوم اصلی پیش آگهی RUL است، خروجی تولید شده توسط یک الگوریتم پیش آگهی که توزیع را در زمان احتمال تکرار شکست تجهیزات را توصیف می کند. شکل زیر مفاهیم کلیدی RUL را نشان می دهد. در زمان tP، یک پیش بینی انجام می شود و تخمینی از RUL تولید می شود. هنگامی که RUL تولید شده است، سوال بعدی این است که چه زمانی برای انجام تعمیر و نگهداری اصلاحی انجام گردد. در حالت ایده آل، زمان انتخاب شده برای عمل تعمیر و نگهداری از شکست تجهیزات اجتناب خواهد کرد و به حداکثر عمر مفید تجهیزات می رساند.



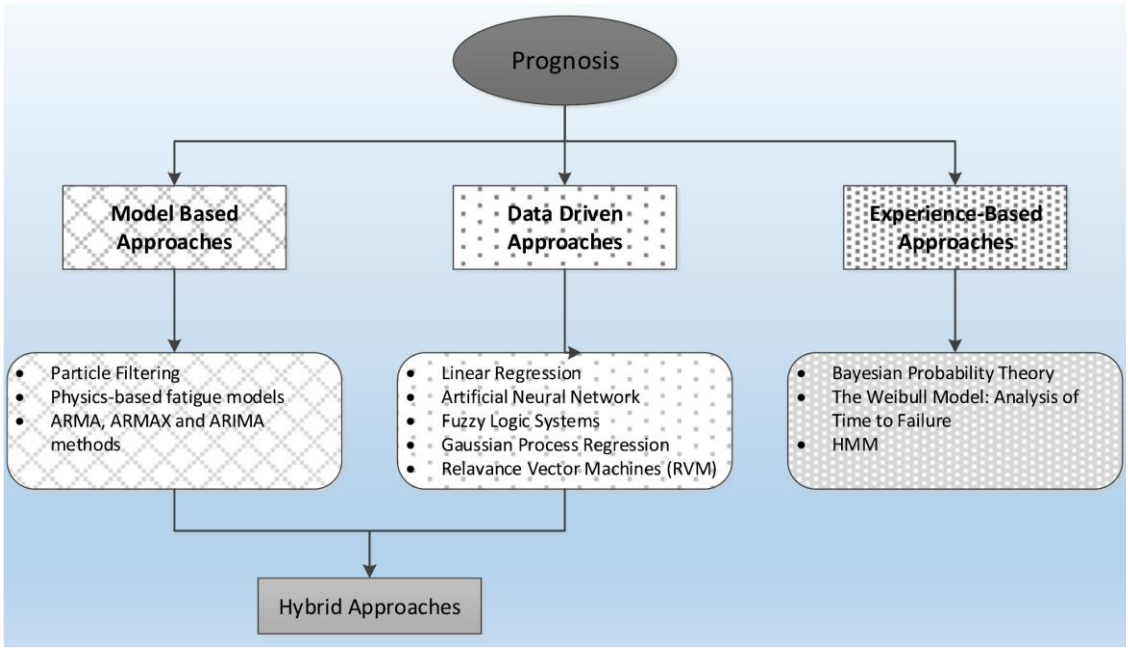
شکل ۲-۲۴: عمر مفید باقیمانده [46]

برای توسعه نیازمندیهای یک الگوریتم پیش بین، بیشینه قابل قبول احتمال شکست۱ (PoF) بایستی مورد توجه قرار گیرد. این مقدار بیشترین میزان قابل قبول ریسک شکست تجهیزات را تعریف می کند، که بالاتر از آن تجهیزات دیگر عمل نمی نمایند، زیرا که ریسک شکست از حد مورد نظر فراتر رفته است. با استفاده از این، بیشینه قابل قبول احتمال شکست و تخمین عمر مفید باقی مانده (RUL)، متغیری مهم به نام نقطه زمانی ورود۲ (JITP) می توان تعریف نمود. زمان JITP اخرین نقطه زمانی که در ان تعمیر و نگهداری اصلاحی بایستی صورت پذیرد تا از عبور از بیشینه قابل قبول احتمال شکست (PoF) تجهیزات عملیاتی مانع شود را تعریف می کند.

در کاربردهای دنیای واقعی، انتخاب بیشینه قابل قبول احتمال شکست (PoF) معمولا نیاز به توجه چند فاکتور شامل ایمنی، بحرانی بودن و ملاحظات اقتصادی است.

در برخی از سناریوها، جایی که توجهات ایمنی در اولویت است، نیازمندی ممکن است کاهش تا حد امکان شکست در سرویس باشد، بنابراین مقادیر محافظه کارانه برای بیشینه قابل قبول احتمال شکست (PoF) ممکن است انتخاب شود. از سویی دیگر، اپراتور یک سیستم ممکن است مقادیر بالاتر مقادیر بیشینه قابل قبول احتمال شکست (PoF) را بپذیرد در جاییکه که افزایش عمر مفید قطعات گران قیمت اقتصادی تر از اجتناب از شکست باشد. یک مثال از چنین سناریویی می تواند استفاده از سر الماس تجهیزات ماشین کاری باشد.

در شکل ، بیشینه قابل قبول احتمال شکست (PoF) ٪۵ برای بیان واضح مفهوم فرض شده است. هنگامیکه که JITP مشخص می شود، بازه زمانی پیش رو۳ (LTI) می تواند محاسبه شود. LTI به عنوان بازه زمانی بین t_p و t_{JITP} تعریف می شود



شکل ۲-۲۵: روش‌های پیش‌آگهی

[1] Maximum allowable probability of failure (PoF)

[2] Just-in time-point (JITP)

[3] Lead Time Inteval (LTI)

در ادبیات موضوع، عمر مفید باقی مانده به دو معنا بکار برده می شود. در برخی موارد، به معنای یافتن توزیع RUL است. در برخی موارد دیگر به معنای یافتن امید ریاضی RUL است.

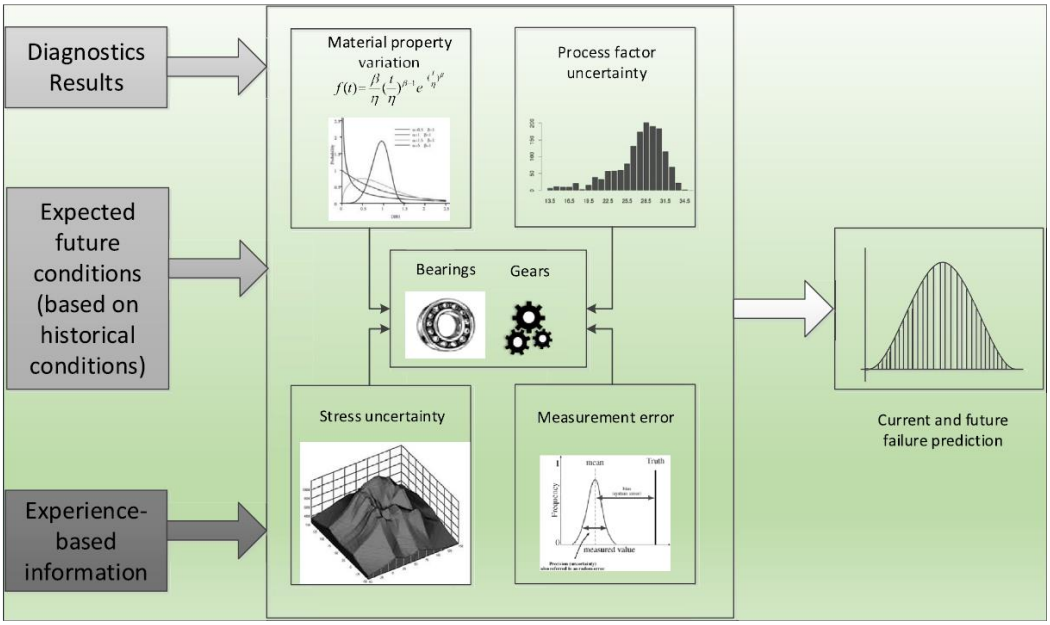
- **روش‌های محاسبه عمر مفید باقیمانده**

رویکردهای فنی به ساخت مدل های پیش بینی را می توان به طور گسترده به رویکردهای مبتنی بر داده، رویکردهای مبتنی بر مدل، و رویکردهای مبتنی بر تجربه یا نمادین طبقه بندی کرد. در ادامه این روش‌ها و رویکردها توضیح داده می‌شوند.

- روش‌های مبتنی بر مدل: پیش بینی های مبتنی بر مدل تلاش می کنند تا درک فیزیکی (مدل های فیزیکی) سیستم را در برآورد RUL بگنجاند. مدل سازی می تواند در سطوح مختلف، به عنوان مثال، سطوح خرد و کلان انجام شود. در سطح میکرو (که سطح مواد نیز نامیده می شود)، مدل‌های فیزیکی بر اساس یک سری معادلات پویا هستند که روابط را در یک زمان یا چرخه تحت بار، بین آسیب (یا تخریب) یک سیستم/جزء و شرایط محیطی و عملیاتی تعریف می‌کنند که تحت آن سیستم/جزء عمل می شود. مدل‌های سطح میکرو اغلب مدل های انتشار آسیب نامیده می‌شوند.

مدل‌های سطح کلان مدل‌های ریاضی در سطح سیستم هستند؛ آن‌ها رابطه بین متغیرهای ورودی سیستم، متغیرهای حالت سیستم، و متغیرها/خروجی های سیستم را اندازه گیری می‌کنند. مدل اغلب یک بازنمایی تا حدودی ساده شده از سیستم است، به عنوان مثال، یک مدل پارامتر توده‌ای [47]. به طور کلی روش‌های مبتنی بر مدل فرض می‌کنند که یک مدل ریاضی دقیق را می‌توان از اصول اولیه شکل داد. این روش‌ها اغلب از باقی مانده‌ها به عنوان ویژگی استفاده می‌کنند؛ باقی‌مانده‌ها نتایج چک‌های سازگاری بین اندازه‌گیری‌های یک سیستم واقعی و خروجی‌های یک مدل ریاضی هستند. پیش فرض این است که باقی‌مانده‌ها در حضور خرابی‌ها بزرگ است و کوچک در حضور اختلالات طبیعی، نویز، و خطاهای مدل‌سازی است.

مزیت اصلی رویکردهای مبتنی بر مدل، توانایی آن‌ها در گنجاندن درک فیزیکی از سیستم تحت نظارت است. علاوه بر این، در بسیاری از موقعیت‌ها، تغییرات در بردارهای ویژگی ارتباط نزدیکی با پارامترهای مدل دارند، و یک نگاشت عملکردی بین پارامترهای رانش شده و ویژگی‌های پیش‌بینی انتخاب شده می‌تواند برقرار شود. همچنین اگر درک تخریب سیستم بهبود یابد، می توان مدل‌ها را برای افزایش دقت و پرداختن به مشکلات عملکرد ظریف تطبیق داد. در نتیجه می توانند به طور قابل توجهی از رویکردهای داده محور پیشی بدارند (بخش بعدی را ببینید). اما این رابطه بسته با یک مدل ریاضی نیز ممکن است یک ضعف باشد: گرفتن رفتار سیستم می تواند دشوار، حتی غیرممکن باشد. علاوه بر این ، برخی از نویسندگان فکر می کنند نظارت و ابزار پیش بینی باید تکامل یابند همانطور که سیستم تکامل می یابد. شماتیک شکل ۱۴ نشان دهنده پیش آگهی های مبتنی بر فیزیک (رویکرد مبتنی بر مدل) است.



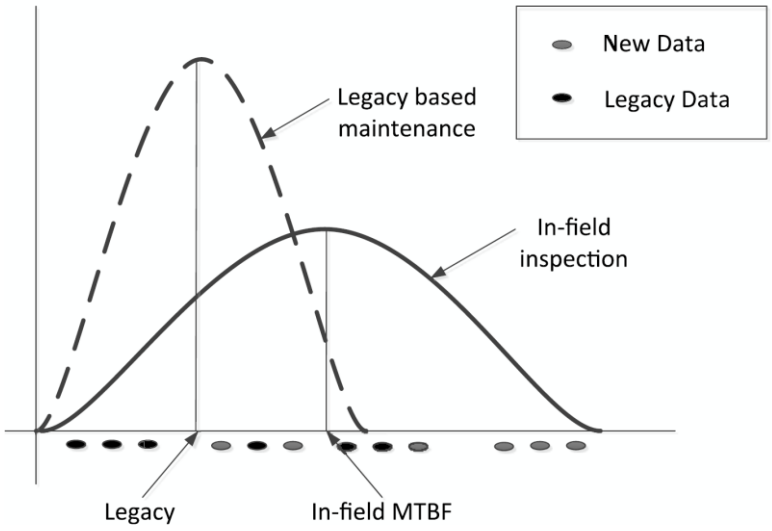
شکل ۲-۲۶: روش مبتنی بر مدلسازی فیزیکی [48]

- روش‌های مبتنی بر داده: در بسیاری از موقعیت‌ها پیچیدگی سیستم‌های تحت نظر، استخراج مدل‌های قوی و دقیق برای پیش آگهی را غیرممکن می‌کند. با این حال، داده‌های تاریخی که رفتار سیگنال های اندازه گیری شده یا ویژگی های استخراج شده را از مرحله عیب برآمده تا شکست تجهیزات ضبط می کنند، اغلب در دسترس هستند. در چنین مواردی، روش های داده محور با استفاده از چنین داده هایی شروع به مدل چگونگی تکامل چنین سیگنال ها و ویژگی هایی را رای یش بینی های RUL استفاده می نماید.

رویکردهای پیش آگهی داده محور به طور معمول یکی از دو استراتژی را اتخاذ می‌نمایند. اولی یک فرایند دو مرحله ای است. کاهش ابعاد مناسب، استخراج ویژگی ها، یا تکنیک های تطبیق الگو به کار گرفته می شوند تا سیگنال ها یا ویژگی های سیستم را بر روی یک آسیب تک بعدی، تخریب، یا شاخص سلامت نگاشت کند. از نظر فنی، این گام اول تحت قلمرو تشخیص عیب قرار می گیرد از آنجا که با تجزیه و تحلیل رویدادهای قبلی سرو کار دارد. هنگامی که سطح فعلی تخریب شناسایی می شود، آن را به آینده برونیابی می نماید تا از یک آستانه بحرانی از پیش تعریف شده فزونی یابد. طیفی از تکنیک ها را می توان در هر دو مرحله به کار برد. استراتژی دوم این است که به طور مستقیم رابطه بین سیگنال ها یا ویژگی های استخراج شده و عمر باقی مانده از سیستم را مدل سازی کنیم. در این وضعیت، عمر باقی مانده سیستم خروجی تولید شده توسط مدل ها است.

- روش‌های تجربی: اگر یک مدل فیزیکی از یک زیر سیستم یا جزء غایب باشد و شبکه حسگر کافی برای ارزیابی وضعیت وجود نداشته باشد، یک مدل پیش آگهی مبتنی بر تجربه ممکن است تنها جایگزین باشد. این مدل دارای کم‌ترین پیچیدگی است و نیاز به سابقه شکست یا توصیه های «طراحی جانبی» جزء تحت عملیات مشابه دارد. به طور معمول، شکست و / یا داده های بازرسی از سیستم های قدیمی کامپایل شده، و توزیع Weibull و یا توزیع آماری دیگر برای داده‌ها فیت می‌شوند. نمونه‌ای از این نوع توزیع در شکل ۱ نشان داده شده است. اگرچه ممکن است ساده انگارانه باشد، یک توزیع پیش آگهی مبتنی بر تجربه می تواند برای استخراج برنامه های شیوه تعمیر و نگهداری مبتنی بر بازه زمانی استفاده شود که می تواند در فواصل منظم به روز شود. یک مثال از برنامه ریزی

تعمیر و نگهداری برای یک جزء بحرانی پایین با یک یا چند یا بدون پارامترهای حس شده است. در این مورد، پیش آگهی زمانی که جزء شکست خواهد خورد و یا به یک وضعیت غیر قابل قبول تنزل می یابد تنها بر اساس تجزیه و تحلیل تجربه گذشته و یا توصیه های سازنده تجهیزات اصلی خواهد بود. بسته به پیچیدگی نگهداری و بحرانی بودن مرتبط با جزء، سیستم پیش آگهی ممکن است برای یک تعمیر و نگهداری بازه‌ای راه اندازی شود (برای مثال، جایگزینی هر 1000 ± 20 ساعت کارکرد عملیاتی موثر) و به روز شدن هنگامیکه داده‌های بیشتر در دسترس شوند. داشتن پایگاه داده تعمیر و نگهداری خودکار برای استفاده از پیش آگهی های مبتنی بر تجربه مهم است [46].



شکل ۲-۲۷: روش مبتنی بر تجربه

ساده ترین رویکردهای پیش آگهی بر جمع آوری داده‌های آمار تکیه می‌کنند که اطلاعات نرخ شکست تاریخی سیستم ها یا قطعات را بررسی می‌کند. چنین داده‌هایی می‌توانند برای توسعه مدل‌های عمر–استفاده که نشان دهنده توزیع های نرخ شکست در طول زمان هستند استفاده شود. این رویکردها در توسعه برنامه های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مفید هستند که در آن انجام تعمیر و نگهداری بر اساس میانگین زمان بین شکست ها انجام می شود، که از مدل های عمر ـ کارکرد مشتق شده است.

با این حال، آن‌ها فاقد توانایی قابلیت پیش بینی هستند و به این ترتیب نمی توان آن ها را واقعا تکنیک های پیش بینی و پیش آگهی توصیف کرد. در عین حال قابلیت استفاده گسترده ای در سیستم ها یا اجزایی بحرانی پایین یا هزینه پایین یا در شرایطی که داده های حسگر، که می تواند برای استنباط وضعیت مورد استفاده قرار گیرد، موجود نیستند، خواهند داشت [49].

- روش‌های ترکیبی: این رویکرد سعی دارد قدرت هر دو روش مبتنی بر داده و رویکردهای مبتنی بر مدل را مهار کند. در حقیقت ، به ندرت موردی را مشاهده می کنیم که فقط از یک مدل استفاده شود. رویکردهای ترکیبی را می توان به دو نوع تقسیم کرد: همجوشی تخمین اولیه و بعد تخمین همجوشی.

همجوشی اولیه معمولاً وقتی داده‌ای روی زمین وجود نداشته باشد، اعمال می‌شود. این امر، می‌تواند در شرایطی اتفاق بیفتد که تشخیص قبل از وقوع خرابی سیستم عملکرد خوبی در تشخیص خطاها انجام می‌دهد. در نتیجه، تقریباً هیچ اطلاعاتی در مورد شکست وجود ندارد. اما برای سیستم تعمیر و نگهداری، همیشه مفیدتر است که بداند

از عمر مفید باقی‌مانده استفاده بهتری می‌کند در حالی که از تعمیر و نگهداری بدون برنامه (معمولاً با هزینه بیشتر) اجتناب کند. همجوشی اولیه همچنین می تواند توسط فرایندی خارج از فرآیند ترکیبی آنلاین انجام شود. این امر مستلزم استفاده از یک مدل شبیه سازی مبتنی بر فیزیک است تا درک رابطه پاسخ حسگرها به حالتهای خطا در حالت آنلاین بدست آید. ابتدا می توان از داده ها برای شناسایی وضعیت فعلی عیب استفاده کرد. سپس داده‌ها را می‌توان برای تعیین میزان گسترش خسارت ردیابی کرد. سرانجام ، می توان از مدل انتشار بر اساس داده های خاص برای پیش بینی عمر باقیمانده استفاده کرد [26].

از همجوشی ثانویه (پس از تخریب) می توان برای کاهش دامنه عدم اطمینان رویکردها بر اساس داده‌ها یا مدل‌ها ضمن بهبود دقت استفاده کرد. مفهوم اساسی این است که چندین منبع اطلاعاتی می توانند عملکرد یک تخمینگر را بهبود بخشند. این اصل با موفقیت در زمینه طبقه‌کننده‌های همجوشی اعمال شده است. در این حالت، از خروجی طبقه بندهای متعدد برای دستیابی به نتیجه بهتر از هر طبقه بندکننده‌ی منفرد استفاده می‌شود. در زمینه پیش‌بینی روندها، می‌توان تلفیق را با تخصیص ارزیابی کیفی به هر تخمینگر منفرد بر مبنای انواع ورودی‌ها، به عنوان مثال، روش‌های ابتکاری، عملکرد شناخته شده پیشین، پیش بینی افق و مقاوم بودن پیش بینی انجام داد. به طور خلاصه، مزیت روش ترکیبی این است که لزوماً به مدل های با کیفیت بالا یا حجم زیاد داده نیاز ندارد. علاوه بر این، به صورت مکمل کار می کند ، شهود یک مدل را حفظ می کند اما داده های مشاهده شده را توضیح می دهد و به مدیریت عدم اطمینان کمک می کند. اما از آنجا که هم به داده و هم به مدل نیاز دارد ، خطر مدل های نادرست یا داده های نویزی که ممکن است رویکرد را مغرضانه جلوه دهند وجود دارد [26].

۷-۷-۱-۲- هزینه چرخه عمر و نقش آن در تعمیر و نگهداری

سیستم های پمپاژ تقریباً ۲۰ درصد تقاضای انرژی الکتریکی جهان را تشکیل می دهند که در برخی از کارخانه‌های صنعتی، مصرف انرژی پمپ‌ها ۲۵ تا ۵۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. سیستم های پمپاژ گسترده هستند. این سیستم‌ها خدمات خانگی ، خدمات تجاری و کشاورزی ، خدمات آب / فاضلاب شهری و خدمات صنعتی برای صنایع غذایی ، صنایع شیمیایی ، پتروشیمی ، دارویی و مکانیکی را ارائه می‌دهند. انرژی مورد استفاده توسط سیستم به طراحی پمپ ، طراحی نصب و نحوه عملکرد سیستم بستگی دارد. لذا پمپ و سیستم باید با دقت با یکدیگر مطابقت داشته باشند تا از کمترین هزینه های انرژی و نگهداری ، عمر تجهیزات و سایر مزایا بهره‌مند شوند.

قیمت خرید اولیه قسمت کمی از هزینه چرخه عمر برای پمپ های با کارکرد زیاد است. درک همه اجزای سازنده کل هزینه مالکیت، فرصتی برای کاهش چشمگیر هزینه های انرژی، عملیاتی و نگهداری فراهم می کند. کاهش مصرف انرژی و اتلاف نیز دارای مزایای مهم زیست محیطی است. تجزیه و تحلیل هزینه چرخه زندگی (LCC) ابزاری مدیریتی است که می تواند به شرکت ها کمک کند ضایعات را به حداقل برسانند و برای بسیاری از انواع سیستم ها، از جمله سیستم های پمپاژ، بازده انرژی را به حداکثر برسانند.

هزینه چرخه عمر (LCC) هر تجهیز ، کل هزینه آن تجهیز در طول عمر خود است که شامل خرید، نصب، بهره برداری، نگهداری و دفع آن تجهیز است. اجزای آنالیز هزینه چرخه زندگی معمولاً شامل هزینه های اولیه، هزینه نصب و راه اندازی، هزینه های انرژی، هزینه های بهره برداری، هزینه های نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های از کار افتادن، هزینه‌های زیست محیطی و هزینه‌های تخلیه و دفع است.

بسیاری از سازمان ها فقط هزینه خرید اولیه و نصب سیستم را در نظر می گیرند. منافع اساسی طراح یا مدیر کارخانه این است که قبل از نصب تجهیزات جدید بزرگ یا انجام یک تعمیرات اساسی، هزینه چرخه عمر را در راه حل‌های مختلف ارزیابی کند. این ارزیابی جذاب ترین گزینه را از نظر مالی شناسایی می‌کند. با ادامه رقابت در بازارهای ملی و جهانی ، سازمان ها باید به طور مداوم به دنبال صرفه جویی در هزینه ها باشند که باعث بهبود سودآوری عملکرد آنها شود.
سیستم های موجود به دو دلیل فرصت بیشتری برای پس انداز از طریق استفاده از روشهای LCC نسبت به سیستمهای جدید فراهم می کنند. اول این که حداقل ۲۰ برابر سیستم‌های پمپاژی که هر ساله احداث می‌شوند، سیستم‌های پمپاژ از قبل نصب شده وجود دارد. دوم این که بسیاری از سیستم های موجود دارای پمپ یا کنترل‌های غیر بهینه هستند، زیرا تغییرات پمپاژ با گذشت زمان تغییر می کنند. برخی مطالعات نشان داده است که ۳۰ تا ۵۰ درصد از انرژی مصرف شده توسط سیستم‌های پمپ می تواند از طریق تجهیزات یا تغییرات سیستم کنترل صرفه جویی شود. علاوه بر دلایل اقتصادی استفاده از LCC ، بسیاری از سازمان ها از تأثیرات زیست محیطی مشاغل خود آگاه می شوند ، و بهره وری انرژی را به عنوان یکی از راه های کاهش انتشار آلایندگی و نگهداری منابع طبیعی لحاظ می‌کنند.

۸-۱-۲- بهره‌برداری

۱-۸-۱-۲- بهره‌برداری از پمپ‌های نیروگاهی

پمپ ها اجزای بسیار مهمی از نیروگاه‌های حرارتی (سیکل بخار) هستند. مهمترین کاربرد پمپ‌ها در سیکل بخار شامل تغذیه بویلر، تخلیه گرمکن‌ها و پمپ‌های خنک کننده کندانسور است. لازم به یادآوری است که که در گزارش مرحله اول فهرست این پمپ‌ها تهیه شده و هر کدام از آن‌ها شرح داده شدند. در ادامه درباره نگهداری و بهره‌برداری هر کدام از این پمپ‌ها توضیحاتی داده شده است.

- **پمپ آب تغذیه بویلر**

ترجیحاً توصیه می‌شود طرح کامل جانمایی سیستم آب تغذیه و نمودارهای تعادل گرما به سازنده ارائه شود. این کار باعث خواهد شد سازنده آرایش و پیکربندی مناسبی از تجهیز را به بهره‌بردار ارائه دهد که از لحاظ هزینه‌های عملیاتی یا نصب به صرفه‌تر باشد و یا این که با افزایش عمر تجهیز هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن کاهش یابد.

- ظرفیت پمپ: ظرفیت یک پمپ آب تغذیه با در نظر گرفتن حاشیه سرج سیستم[1] و نیز فرسایش پمپ و اضافه کردن این مقادیر به حداکثر دبی مورد نیاز بویلر به دست می‌آید. معمولاً این حاشیه دبی بسته به سایز بویلر بین ۵ تا ۱۰ درصد است.

  تأمین دبی بویلر ممکن است توسط یک پمپ و یا ترکیب موازی چند پمپ یکسان صورت گیرد. آرایش پمپ‌های آب تغذیه برای نیروگاه‌ها بسته به ترجیح بهره‌برداران و مهندسان متفاوت است. برخی از بهره‌بردارن تنها از یک پمپ تغذیه برای بویلر تا توان ۱۳۰۰ مگاوات نیز استفاده کرده‌اند. سایر بهره‌برداران از پمپ یدکی موازی استفاده می‌کنند تا در دسترس بودن نیروگاه به دلیل زمان لازم برای تعویض قطعات پمپ اصلی از بین نرود.

[1] System surge

بویلرهای بازیافت در یک سیکل ترکیبی معمولاً به دبی و فشارهای متنوعی از آب یا بخار نیاز دارند. به همین دلیل ممکن است برای فشارهای بالا، میانی و پایین از پمپ‌های تغذیه جداگانه‌ای استفاده شود یا این که از یک پمپ فشار بالای چندطبقه استفاده شود که بخشی از دبی در فشار میانی یا پایین از طبقات میانی آن استخراج شود.

- مکش پمپ: اگر مکش پمپ از یک هوازدا باشد، هد مکش مثبت خالص (NPSH) برابر با اختلاف هد استاتیک بین سطح آب در هوازدا و خط مرکزی پمپ منهای افت اصطکاکی لوله‌کشی خواهد بود. از لحاظ تئوی هد مکش مثبت خالص مورد نیاز (NPSHr) مستقل از دمای کاری است. اما در عمل می‌بایست دمای کاری را در تعیین ارتفاع نصب پمپ در نظر گرفت. همچنین برای محافظت از پمپ در شرایط گذرا می‌بایست یک حاشیه اطمینان برای مقدار تئوری هد مکش مثبت خالص مورد نیاز در نظر گرفت. از طرف دیگر فشار خروجی پمپ‌های استخراج آب از کندانسور می‌بایست به مقدار کافی باشد تا فشار مکش پمپ تغذیه از مقدار مجاز کمتر نشود.

برای حفظ هد مکش مثبت خالص پمپ تغذیه در شرایط افت بار ناگهانی توربین بخار، لازم است نسبت حجم آب در هوازدا به حجم آب در لوله‌کشی منتهی به پمپ تغذیه به اندازه کافی بزرگ باشد. راه‌های دیگری که برای کنترل NPSH پمپ تغذیه در شرایط افت بار ناگهانی توربین وجود دارد عبارتند از: ۱-ورود بخش کوچکی از بخار بویلر به هوازدا از طریق شیر فشارشکن به منظور تعدیل نرخ کاهش فشار در هوازدا و ۲- ورود بخشی از آب خنک خروجی از پمپ استخراج از کندانسور به پمپ تغذیه به صورت مستقیم (مسیر کنارگذر) بدون عبور از هوازدا به منظور پایین آوردن دمای آب ورودی به پمپ تغذیه

در برخی از موارد به منظور تأمین فشار مکش لازم در ورودی پمپ آب تغذیه از بوستر پمپ استفاده می‌شود. در صورت استفاده از این پمپ، ارتفاع هوازدا می‌تواند کمتر باشد. چرا که NPSH مورد نیاز در ورودی پمپ آب تغذیه توسط بوستر پمپ تأمین خواهد شد. سرعت دورانی بوستر پمپ‌ها معمولاً کمتر از پمپ آب تغذیه اصلی بوده و دارای یک یا دو طبقه می‌باشند. به منظور کاهش مقدار NPSHr، طبقه اول این پمپ‌ها دارای مکش دوگانه است. بوستر پمپ می‌تواند با استفاده از جعبه دنده به همان محرک پمپ اصلی متصل باشد و یا این که دارای موتور الکتریکی جداگانه‌ای باشد.

- فشار تخلیه پمپ: فشار تخلیه پمپ آب تغذیه می‌بایست برابر با مجموع حداکثر فشار درام بویلر و نیز افت‌های اصطکاکی و کنترلی مسیر بین خروجی پمپ تا ورودی درام است. این مقدار معمولاً بین ۱۱۵ تا ۱۲۵ درصد فشار درام است.

علاوه بر این مطلب، شیب منحنی هد ـ دبی نیز اهمیت دارد. هر چه این شیب تندتر باشد، زاویه بین منحنی سیستم و منحنی پمپ بزرگتر بوده و در نتیجه حساسیت پمپ نسبت به تغییرات مقاومت مدار کمتر می‌شود. این شیب با نسبتی به نام RTSO1 سنجیده می‌شود. این پارامتر، نسبت هد پمپ در شرایط دبی صفر به هد پمپ در بهترین نقطه عملکرد است. بنابراین به منظور عملکرد پایدار پمپ، پارامتر RTSO می‌بایست به اندازه کافی بزرگ باشد. البته باید این نکته را نیز در نظر داشت که اگر مقدار این پارامتر بیش از حد بزرگ باشد فشار طراحی محفظه پمپ و سیستم لوله‌کشی بعد از تخلیه پمپ را بیش از حد افزایش خواهد داد. چرا که فشار پوسته پمپ و لوله‌کشی بر اساس هد پمپ در دبی صفر تعیین می‌شود. به طور معمول پارامتر RSTO برای پمپ‌های آب تغذیه بین ۱۲۰ تا ۱۳۵ درصد است.

[1] Rise to shutoff

- کنترل پمپ: پمپ‌های آب تغذیه‌ای که با سرعت ثابت کار می‌کنند توسط شیر کنترل می‌شوند تا هد خروجی پمپ را تا میزان هد مورد نیاز بویلر کاهش دهند. هر چه بار سیستم کاهش یابد مقدار افت فشار این شیرها افزایش می‌یابد. به همین دلیل کنترل پمپ با این سیستم همراه با هدر رفت بخشی از انرژی است. به علاوه افت فشار مداوم بر روی شیرها می‌تواند هم به پمپ و هم به این شیرهای کنترلی آسیب برساند. به دلیل اتلاف انرژی، توان پمپ‌های آب تغذیه سرعت ثابت معمولاً بیش از حدود ۶۷۰۰ کیلووات نیست. پمپ‌های بزرگتر عموماً سرعت متغیر هستند و با تغییر سرعت کنترل می‌شوند.
- ساختار پمپ: پمپ‌های آب تغذیه چندطبقه معمولاً دارای پوسته باز شونده به صورت محوری و یا باز شونده به صورت شعاعی هستند. هر کدام از این پوسته‌های مزایا و محدودیت‌های خود را دارد که در مورد آن‌ها قبلاً توضیحاتی ارائه شده است.
- پمپ‌های فشار بالا و سرعت بالا: با افزایش فشار بویلرها، هد پمپ‌های آب تغذیه نیز افزایش یافته است. این افزایش هد غالباً به صورت اضافه شدن به طبقات پمپ است که باعث افزایش خمیدگی روتور و کاهش سرعت بحرانی آن می‌شود. به همین دلیل عمر پمپ نیز کاهش می‌یابد. یک راه حل منطقی برای رفع این مشکل افزایش هد پمپ در هر طبقه است. طی دهه ۱۹۷۰ میلادی حداکثر هد هر طبقه از حدود ۲۴۰ متر به ۹۰۰ متر افزایش یافت. این افزایش با افزایش سرعت دورانی پمپ از حدود ۳۰۰۰ دور در دقیقه به حدود ۶۰۰۰ دور در دقیقه میسر گردید. البته این افزایش سرعت دورانی باعث افزایش احتمال کاویتاسیون در پروانه طبقه اول پمپ می‌شد. به همین دلیل طراحی مجرای عبور آب و نیز مواد مورد استفاده در پروانه طبقه اول ارتقا یافت.
- **پمپ استخراج آب کندانسور**

فشار مکش در پمپ‌های آب کندانس بسیار پایین است. مقدار NPSH در این پمپ‌ها بر اساس عمق مرکز اولین پروانه نسبت به سطح آب در چاه گرم کندانسور محاسبه می‌شود. به دلیل این که چاه گرم کندانسور تا حد امکان در ارتفاع پایینی قرار دارد، مقدار هد مکش مثبت خالص در دسترس برای پمپ کندانس حدود ۰/۶ تا ۱/۲ متر است. به همین دلیل افت اصطکاکی در قسمت مکش این پمپ‌ها باید تا حد امکان کم باشد. از این رو لوله‌کشی چاه گرم به پمپ باید در حد امکان مستقیم باشد. به دلیل کم بودن هد مکش مثبت خالص در دسترس این پمپ‌ها، سرعت دورانی آن‌ها نیز کم و در حدود ۱۴۶۰ دور در دقیقه و در پمپ‌های با دبی کمتر حدود ۷۳۰ دور در دقیقه است.

- انواع پمپ‌های کندانس: سابقاً از پمپ‌های چندطبقه افقی با پوسته‌های پیچیده و پروانه‌های دارای مکش دوگانه برای پمپ‌های کندانس استفاده می‌شد. اما امروزه از پمپ‌های عمودی چندطبقه به عنوان پمپ کندانس استفاده می‌شود. طول این پمپ‌ها NPSH لازم برای پروانه طبقه اول را فراهم آورده و چندطبقه بودن آن‌ها نیز امکان طراحی آن‌ها برای محدوده وسیعی از هد و دبی را میسر ساخته است. طبقه اول پمپ‌های کندانس عمودی ممکن است به صورت دومکشه باشد. در صورت استفاده از پروانه دو مکشه، به ازای دبی و سرعت دورانی یکسان، هد مکش مثبت خالص کمتری مورد نیاز است. به همین دلیل پمپ‌های دومکشه طول مورد نیاز برای مجموعه پمپ را کاهش می‌دهند. این مزیت پروانه دومکشه برای پمپ‌های با دبی بالاتر بیشتر حائز اهمیت است. چرا که NPSHr آن‌ها بیشتر و هزینه نصب آن‌ها نیز بالاتر است.

پمپ‌های کندانس بسیار نزدیک به چاه گرم کندانسور قرار گرفته و لوله مکش آن‌ها نیز به قدری کوتاه است که تلفات اصطکاکی در آن ناچیز می‌باشد. اما بعضاً در مسیر لوله مکش صافی نصب می‌شود که باید به افت

اصطکاکی آن‌ها و نیز تمیز کردن مداوم آن‌ها توجه داشت. در برخی از موارد این افت فشار اصطکاکی به حدی بوده است که سبب کاویتاسیون در پمپ استخراج آب کندانس شده است.

پمپ‌های آب کندانس عمودی با استفاده از الکتروموتور کار می‌کنند. سرعت دورانی آن‌ها معمولاً ثابت و در محدوده ۱۵۰۰ یا ۱۸۰۰ دور در دقیقه است. پمپ‌های بزرگتر با دبی بیش از ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت موتوهایی با سرعت ۱۰۰ یا ۱۲۰۰ دور در دقیقه دارند.

جنس بدنه این پمپ‌ها معمولاً از چدن است و پروانه‌های آن‌ها از فولاد ضد زنگ یا فولادهای کرم‌دار ساخته می‌شوند. امروزه به جای یاتاقان‌های برنزی از یاتاقان‌های کربنی یا انواع دیگر غیرفلزی استفاده می‌شود. علت این امر نیز حساسیت پره توربین بخار به وجود هر گونه مس در جریان سیال است.

- تنظیم پمپ‌های کندانس: در سیکل‌های بسته در صورتی که پمپ آب کندانس قبل از پمپ آب تغذیه قرار گرفته باشد، تنظیم دبی دو پمپ با استفاده از شیر کنترل پمپ آب تغذیه انجام می‌شود. اما در سیستم‌های باز که در آن‌ها هوازدا بین دو پمپ قرار دارد، پمپ آب کندانس می‌بایست جدا از پمپ آب تغذیه تنظیم شود. در این صورت از روش‌های محدود کردن NPSHa، شیر کنترلی، بای‌پس کردن بخشی از دبی به چاه گرم کندانسور و یا تغییر سرعت برای تنظیم پمپ استفاده می‌شود. البته لازم به ذکر است که روش محدود کردن NPSHa امروزه به ندرت استفاده می‌شود. چرا که در این روش کنترل، پمپ در اغلب موارد در حالت کاویتاسیون قرار دارد.

در خروجی پمپ آب کندانس می‌توان یک شیر کنترلی قرار داد که با استفاده از محل قرارگیری شناور چاه گرم کندانسور، دبی پمپ را تنظیم کند. این کار باعث حذف کاویتاسیون در پمپ می‌شود اما مصرف انرژی آن را کمی بالا خواهد برد. این مکانیسم بازه عملکردی وسیعی ندارد. علاوه بر این، در پاسخ به تغییرات سریع بار کند است که اغلب باعث سرج می‌شود. این شرایط گذرا معمولاً علت ریشه‌ای خرابی یاتاقان–های رانشی[1] و جابجایی روتور در راستای محوری است. محل قرارگیری شیر یک طرفه در لوله خروجی پمپ نیز مهم است. به منظور جلوگیری از به دام افتادن هوا و نیز ضربه قوچ هنگام راه‌اندازی می‌بایست شیر یک طرفه پایین تر از سطح چاه گرم کندانسور نصب شود.

در کنترل با استفاده از بای‌پس، شناور چاه گرم شیر کنترل مسیر کنارگذر را تنظیم می‌کند تا میزان برگشت آب به چاه گرم کنترل شود. در شرایط حداکثر جریان آب کندانس، شناور در بالاترین سطح خود قرار داشته و شیر کنترل مسیر کنارگذر کاملاً بسته است. لذا تمام جریان آب کندانس به سیستم تحویل داده می‌شود. با خروج آب از چاه گرم، شناور به تدریج پایین آمده و شیر کنترل مسیر کنارگذر اندک اندک باز می‌شود. واکنش کند سیستم شناور به تغییرات بار می‌تواند همان اثرات منفی شیر کنترلی را داشته باشد. در این شیوه مصرف انرژی بیشتر است چرا که پمپ همواره می‌بایست در حداکثر ظرفیت خود کار کند.

همانند پمپ‌های آب تغذیه، یا هر پمپ پُر توان دیگری، پمپ‌های آب کندانس بزرگ نباید به مدت طولانی در شرایط دبی کم کار کنند. چرا که این کار علاوه بر هدررفت انرژی سبب افزایش ریسک خرابی پمپ می‌شود. در این موارد می‌بایست از کنترل دور برای تنظیم دبی پمپ استفاده شود.

[1] Thrust bearing

- **پمپ گردش آب خنک‌کاری کندانسور**

این پمپ‌ها آب خنک‌کاری را دورن کندانسور به جریان می‌اندازند. منبع آب خنک‌کاری ممکن است منابع طبیعی مانند دریا و رودخانه باشد و یا از منبع مصنوعی مانند برج خنک‌کن استفاده شود. در حالت اول، سیستم خنک‌کاری باز و در حالت دوم بسته نامیده می‌شود. شرایط تعمیر و نگهداری پمپ‌های گردش آب خنک‌کاری کندانسور در هر دو سیستم باز و بسته مشابه یکدیگر است. البته معمولاً پمپ‌های سیستم بسته به هد بیشتری نیاز دارند که علت آن نیاز به بالا رفتن ارتفاع آب گردشی در برج خنک‌کن است. در سیستم‌های خنک‌کاری بسته می‌بایست تبخیر آب گردشی در نظر گرفته شود چرا که باعث افزایش غلظت مواد خورنده خواهد شد. در سیستم‌های باز نیز غلظت ذرات معلق جامد در آب خنک‌کاری مهم است.

- انواع پمپ‌های آب خنک‌کاری کندانسور: این پمپ‌ها ممکن است عمودی یا افقی باشند. سال‌های زیادی پمپ‌های گریز از مرکز دو مکشه افقی سرعت پایین بر انواع دیگر ترجیح داده می‌شدند. این پمپ‌ها امکان دسترسی بهتر به قطعات داخلی را فراهم آورده و دمونتاژ آن‌ها در صورت نیاز به تعمیر راحت‌تر است. اما امروزه در اغلب نیروگاه‌های بخار جدید از پمپ‌های عمودی با دبی ۱۴۰۰۰ متر مکعب در ساعت تا ۶۸۰۰۰ مترمکعب در ساعت استفاده می‌کنند. دبی پمپ گردش آب خنک‌کاری در برخی از نیروگاه‌های بزرگ به ۱۱۰۰۰۰ متر مکعب در ساعت هم می‌رسد.
- ویژگی‌های عملکرد: این پمپ‌ها معمولاً هد پایینی دارند. لذا محاسبه افت مسیر گردش آب بسیار حائز اهمیت است. به عنوان مثال در محاسبه افت مسیری که تنها به ۵ متر هد نیاز دارد، اگر هد مورد نیاز نیم متر اضافه برآورد شود به معنی ۱۰ درصد مصرف انرژی بیشتر است [15].

۲-۸-۱-۲- فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در پمپ‌ها

فناوری های بصری سازی، واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در چند سال اخیر کاربردهای متنوعی ازجمله در طراحی بازیها، آموزش و سلامت داشته اند [۸]. واقعیت مجازی و واقعیت افزوده ازسوی مؤسسات و شرکتهای معتبری مانند IEEE و HP جزء فناوریهای مؤثر سال ۲۰۱۹ معرفی شده اند [۸]. تعریف کلی هریک از این سه فناوری بهصورت زیر است:

۱. بصری سازی: این مفهوم به شکل عمومی روشی برای قابل درک کردن اطلاعات ازطریق نمایش دیداری برای انسان است که رسم گراف و یا ترسیم حرکت یک شیء متحرک نمونه هایی از آن هستند. بصری سازی به فناوری هایی اشاره دارد که قابلیت مشاهدهٔ فرایندها و اجزای فیزیکی و مجازی سیستم (که می تواند بسیار پیچیده باشد) را فراهم می کند. این فناوری به طیف گسترده ای از فناوری های سخت افزاری و نرم افزاری اشاره دارد که با تعریف ساختمان داده هایی جهت ثبت اطلاعات، ارائهٔ جلوه های بصری از آنها را فراهم و داده ها را به شکل تصویری و گرافیکی ارائه می کند.

داده ها ممکن است ابعاد مختلف (دوبعدی و سه بعدی) و یا انواع گوناگونی داشته باشند. پیش از نمایش اطلاعات به صورت بصری عموماً فرایند مدلسازی روی داده ها اعمال می شود تا نحوهٔ بصری سازی داده ها در قالب مدل هایی (مانند مدلهای هندسی) توصیف گردد.

مباحثی همچون تعریف توابع کتابخانه های گرافیکی و حتی استفاده از پردازشگرهایی که فرایند ساخت مدل های بصری را تسریع می بخشند، همواره از چالش های مطرح در این حوزه بوده اند. فناوری بصری سازی با قابلیت استفاده از طیف گسترده ای از فناوری ها می تواند برای تولید مدل هایی استفاده گردد که در حالت واقعی وجود دارد. این نگرش می تواند باعث فناوری دیگری به نام واقعیت مجازی شود. همچنین می توان از بصری سازی برای واقعیت هایی افزوده بر حقیقت موجود در جهان استفاده کرد که چنین نگرشی باعث به وجود آمدن واقعیت افزوده می گردد.

۲. واقعیت مجازی: این فناوری برای ارائهٔ اطلاعات واقعی به صورت مجازی مورد نیاز است. در واقع محیطی مجازی در اختیار کاربر قرار می گیرد و تصاویر ایجاد شده به وسیلهٔ کامپیوتر به او نشان داده می شود. در انقلاب ناشی از تحولات دیجیتال، بسیاری از موجودات و فرایندها در فضای واقعی امکان تبدیل شدن به موجودات و فرایندهای مجازی را پیدا کرده اند. بسیاری از صنایع نیز برای مقاصد متفاوتی مانند آموزش، تعمیرات و یا مدیریت می توانند از مزایای این فناوری استفاده نمایند. لازم به ذکر است که تمامی چالش های بصری سازی در این شاخه نیز وجود دارد و برای پیاده سازی فناوری واقعیت مجازی، باید جوانب مختلف سخت افزاری و نرم افزاری نیز مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

نمونه ای از کاربرد فناوری، واقعیت مجازی در پایش و بررسی بخشهای یک سیستم است. فرایند پایش مجازی از دید اپراتور به این صورت است که یک بازدید مجازی از تمام جزئیات سیستم ارائه داده می شود و کاربران می توانند عملکرد سیستم را در لحظه مشاهده نمایند.

۳. واقعیت افزوده: این فناوری یکی دیگر از شاخه های بصری سازی است که در آن واقعیتی که تنها در فضای مجازی موجودیت دارد با فضای فیزیکی درهم آمیخته می شوند و یک واقعیت با عنوان واقعیت افزوده را ایجاد می کنند. لذا در این فناوری، یک محتوای گرافیکی به دنیای واقعی افزوده می شود کاربر آن را مشاهده می کند.

افزودن محتوای دیجیتال موردنظر به دنیای واقعی با نمایشگرهای ویدئویی یا نوری انجام می شود که با نگاه کردن به آنها فضای واقعی زمینه نیز مشاهده می شود (HMD1) .پیشرفت و گسترش نسل های نوین فناوری‌های محاسباتی و ارتباطی تأثیر مهمی در اجرای AR داشته است. واقعیت افزودهٔ موبایل یکی از حوزه های محبوب و رو به رشد در بازارهای تجاری بوده است [۸].

این فناوری کاربردهای گسترده ای در صنایع برای بخش های طراحی، ساخت، پایش و نگهداری داشته است. به عنوان نمونه میتوان راه اندازی و یا اضافه کردن یک تجهیز به یک سیستم را درنظر گرفت. در این صورت، قبل از نصب آن تجهیز می توان آن را به صورت مجازی به سیستم واقعی اضافه کرد و عملکرد آن را مورد بررسی قرار داد. برای مثال در مرجع [50] از واقعیت افزوده برای تعمیر و نگهداری پمپ استفاده شده است. صلاحیت کارکنانی که فرایندهای تکنولوژیکی را اداره می کنند، مستقیماً بر ایمنی تولید تأثیر می گذارد. با این حال صلاحیت کارکنان نمی تواند عامل انسانی را به طور کامل کنار بگذارد.

در این مرجع اشاره شده است که امروزه فناوری های زیادی وجود دارند که می توانند تأثیر عامل انسانی را بر تضمین ایمنی تولید به حداقل برسند یا از بین ببرند. فناوری واقعیت افزوده نمونه ای از این فناوری است. امروزه فناوری های واقعیت افزوده و فرایند ادغام فناوری های صنعتی به سطح جدیدی از توسعه حرکت می کند. این فناوری ها تجربه عظیمی دارند که در مدت زمان طولانی انباشته شده است. این سطح جدید توسط این ترکیب تجربه و یکپارچه سازی، به سطحی در دسترس تبدیل می شود که سود بیشتر به شرکت به ارمغان می آورد و می تواند پایه ای برای فن آوری های کاملا جدید باشد [50].

۹-۱-۲- شناسایی سازندگان مطرح پمپ در عرصه جهانی و داخلی

در این بخش سازندگان مطرح پمپ در داخل و خارج از کشور مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. این کار در تکمیل شناسایی حوزه فناورانه مؤثر است.

[1] Head-Mounted Displays

۱-۹-۱-۲- شرکت‌های بزرگ فعال در زمینه پمپ در جهان

شرکت‌های مطرح و بزرگ جهانی فعال در زمینه پمپ که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از شش شرکت فلوسرو، گراندفوس، ITT، سولزر، تیتان و ابارا که در ادامه توضیحاتی درباره محصولات هر کدام و فناوری‌های نوین عرضه شده توسط آن‌ها آمده است.

- **شرکت فلوسرو**

این شرکت امریکایی یکی از شرکت‌های پیشرو در بازار جهانی پمپ‌های صنعتی است. این شرکت سازنده انواع پمپ تک مرحله‌ای، پمپ‌های BB، پمپ‌های عمودی، پمپ‌های مستغرق و پمپ‌های جابجایی مثبت می‌باشد. در جدول زیر فهرست پمپ‌های تولید شده توسط این شرکت برای کاربرد نیروگاهی آمده است. این شرکت انواع قطعات پمپ از جمله آب‌بندهای مکانیکی را نیز تولید می‌کند. این آب‌بندها در انواع کارتریجی، خشک، فلزی و ... عرضه می‌شوند.

جدول ۲-۲: انواع پمپ‌های نیروگاهی تولید شده توسط شرکت فلوسرو [51]

Pump Category	Sub-Category	Boiler Feed	Boiler Feed Booster	Condensate Extraction	Cooling Water	Flue Gas Desulfurization	Geothermal Well Services	Heat Transfer Fluids	Molten Salt Transfer	Transformer Cooling	Auxiliary Services	Nuclear Service
Overhung	Chemical Process—ASME (ANSI), ISO										X	X
	API Process	X	X					X			X	X
	Slurry and Solids Handling					X					X	
	Industrial Process	X	X		X						X	
Between Bearings	Single Case—Axially Split	X	X	X	X						X	X
	Single Case—Radially Split	X	X			X		X			X	X
	Double Case	X									X	X
Vertical	Wet-Pit				X		X		X	X	X	X
	Double Case	X		X								X
	Deep Well Submersible Motor				X		X			X	X	
	Slurry and Solids Handling					X			X		X	
	Sump								X		X	X

علاوه بر ساخت پمپ، شرکت فلوسرو ممیزی کامل سیستم‌های پمپاژ را انجام داده و ضمن شناسایی مشکلات عملکردی، راه حل‌هایی را با توجه به محاسبات هزینه چرخه عمر ارائه می‌دهد. این شرکت برنامه تحت وبی با عنوان FlowSelex را

به منظور انتخاب پمپ ارائه کرده است که اطلاعات گسترده‌ای شامل منحنی‌های عملکرد، داده‌های هیدرولیکی، نقشه‌های جانمایی کلی و نیز جداول ساخت را در اختیار مشتریان می‌گذراند [51].

- **شرکت گراندفوس**

این شرکت دانمارکی گستره وسیعی از پمپ‌های چند مرحله‌ای مورد نیاز در صنایع با کاربری انتقال آب، خنک‌کاری روانکارها و غیره را تولید می‌کند. همچنین این شرکت تولید کننده آب‌بندهای کارتریجی با قابلیت تحمل دما تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

شرکت گراندفوس یک حسگر کارکرد خشک با عنوان LiqTec را به عنوان اختراع به ثبت رسانده است که در صورت کارکرد بدون آب سریعاً پمپ را خاموش کرده و از شکست احتمالی در اثر کارکرد خشک پمپ جلوگیری می‌کند. چرا که در صورت کارکرد خشک، معمولاً آب‌بند شفت و یاتاقان‌ها بلافاصله داغ شده و آسیب می‌بینند.



شکل ۲-۲۸: سنسور LiqTec گراندفوس به منظور خاموش کردن پمپ در حالت کارکرد خشک [52]

همچنین شرکت گراندفوس با استفاده سه ارتقای خلاقانه پروانه و آب‌بند، راندمان پمپ‌های تولیدی خود را حدود ۱۰ درصد افزایش داده است. این ارتقاها سبب کاهش سایز موتور نیز خواهد شد که علاوه بر کاهش هزینه‌های جاری پمپ سبب کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نیز می‌گردد:

- اولین ارتقا مربوط به کاهش نشتی داخلی پمپ به سبب اختلاف فشار است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از این است فاصله لقی حدود ۰/۴ میلی‌متری بین پروانه و محفظه پمپ سبب کاهش ۵ درصدی راندمان هیدرولیکی خواهد شد. این ارتقا توسط رینگ آب‌بند معلق[1] بین پوسته‌ها صورت گرفته است.

[1] Floating seal ring



شکل ۲-۲۹: رینگ آب بند معلق بین پوسته‌ها در پمپ ساخت شرکت گراندفوس [52]

- ارتقای دوم با طراحی بهینه پروانه و کاهش جریان‌های گردابه‌ای و اصطکاک انجام یافته است. این کار با استفاده از فناوری جوش لیزری میسر شده است.
- ارتقای سوم با استفاده از ابزارها و فرآیندهای توسعه داده شده در شرکت گراندفوس میسر شده که سبب بهبود هندسی محصولات و تلرانس‌ها شده است.

سرعت پمپ‌های گراندفوس می‌تواند با موتور دور متغیر کنترل شود. همچنین امکان کنترل و پایش وضعیت از راه دور پمپ نیز وجود دارد. به علاوه ویژگی راه‌اندازی نرم در این پمپ‌ها از ضربه قوچ جلوگیری کرده و صدای ناشی از فشار پشت شیرها را کاهش می‌دهد.

باید توجه داشت که هزینه تعمیر و نگهداری پمپ در طول چرخه عمر خود معمولاً از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر است. لذا پایش وضعیت پمپ و رسیدگی به موقع به مشکلات آن بسیار حائز اهمیت است. لذا این شرکت یک سیستم مدیریت از راه دور مبتنی بر اینترنت را به منظور پایش وضعیت، مدیریت و گزارش‌دهی تأسیسات پمپاژ طراحی کرده است.

شرکت گراندفوس سالانه حدود ۵۵ میلیون دلار صرف تحقیق و توسعه می‌کند. یکی از موارد توسعه داده شده توسط این شرکت، نرم‌افزار WinCAPS است که در آن به مشتری امکان ارزیابی راندمان پمپ و نیز مقایسه هزینه چرخه عمر پمپ‌های مختلف را می‌دهد [52].

- **شرکت ITT**

این شرکت امریکایی انواع پمپ‌های عمودی، پمپ‌های چند طبقه فشار بالا (به منظور استفاده در تغذیه آب بویلر و یا اسمز معکوس)، سیستم کنترل PumpSmart (به منظور کنترل پیشرفته ،حفاظت از پمپ، بهینه‌سازی عملکرد، جلوگیری از خرابی، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها) و سیستم پایش وضعیت پیشگیرانه با نام ProSmart (با قابلیت جمع-آوری و تحلیل داده‌های ماشین در هر ۵ ثانیه و هشدار خودکار تغییر کارکرد پمپ) را تولید می‌کند.

تأسیسات تست پمپ این شرکت قابلیت آزمایش پمپ تا ظرفیت ۹۰۰۰۰ مترمکعب در ساعت و توان ۶۰۰۰ کیلووات را دارد [53].

- **شرکت سولزر**

این شرکت سوئیسی نیز انواع پمپ‌های Barrel casing، Ring section، Axially split، یک طبقه و عمودی را به منظور استفاده در صنایع نیروگاهی تولید می‌کند.

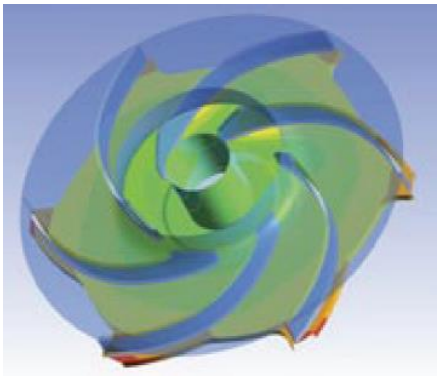
- **شرکت تیتان**

این شرکت امریکایی در بوستون تگزاس واقع شده و در زمینه تولید پمپ‌های پالایشگاهی، پتروشیمی، آب و فاضلاب، نفت، فرآیندهای صنعتی، معدن، ساخت و ساز و غیره فعالیت می‌کند [54].

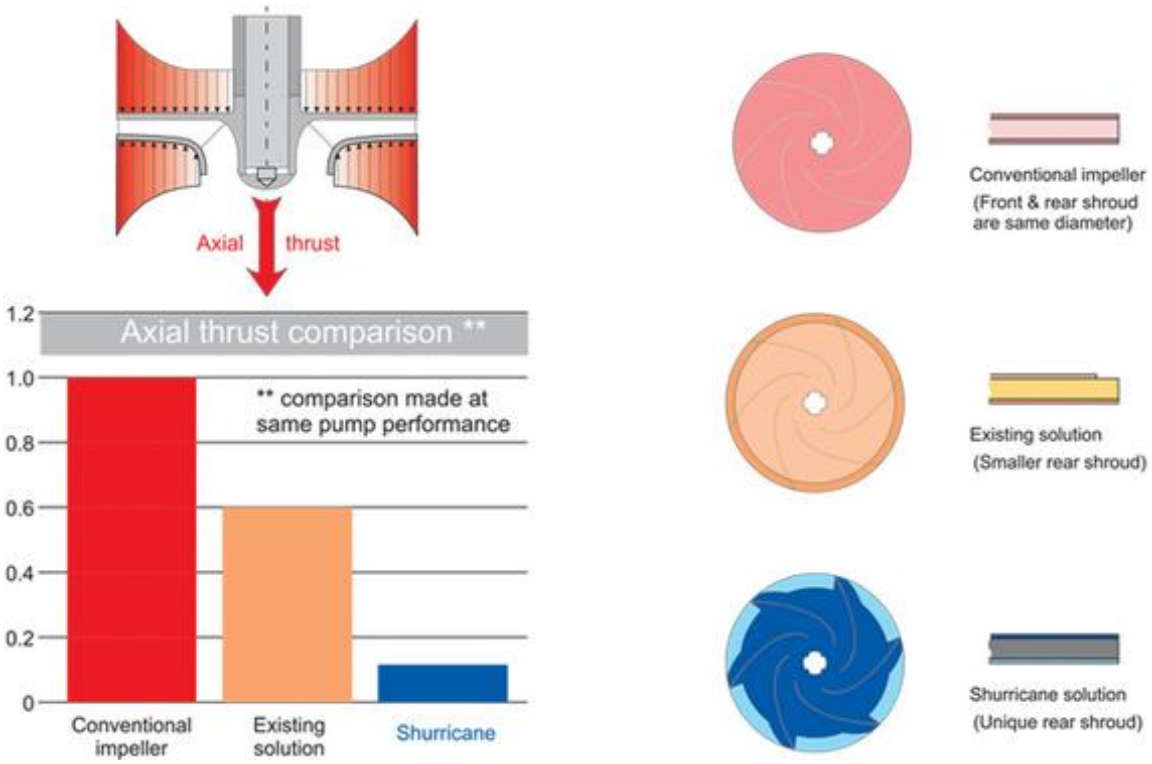
- **شرکت ابارا**

این شرکت ژاپنی در سه حوزه کسب و کار ماشین‌آلات مبتنی بر سیالات (پمپ، کمپرسور و برج خنک کن)، تأسیسات تصفیه فاضلاب و ماشین‌کاری دقیق فعال است.

یکی از پروژه‌های موفق تحقیق و توسعه این شرکت، ساخت پروانه‌ای با نام Shurricane در پمپ‌های عمودی تا ظرفیت ۹۰ متر مکعب بر ساعت می‌باشد که نیروی محوری را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. در این طراحی شراد پشت پروانه هندسه خاصی دارد که در شکل زیر قابل مشاهده است. به این ترتیب تا توان ۳۰ کیلووات نیازی به یاتاقان اضافی یا هر گونه تغییر دیگری در موتور وجود ندارد. همچنین عمر یاتاقان موتور افزایش یافته و هزینه آن به دلیل عدم نیاز به یاتاقان تراست بزرگتر، کاهش می‌یابد.



شکل ۲-۳۰: پروانه Shurricane ساخت شرکت ابارا [55]



شکل ۲-۳۱: مقایسه نیروی محوری در طراحی‌های مختلف شراد پشت پروانه پمپ‌های عمودی [55]

۲-۹-۱-۲- شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در زمینه پمپ در ایران

در این بخش به معرفی شرکت‌های دانش بنیان داخلی و فعالیت‌های مهم صورت گرفته توسط آن‌ها پرداخته می‌شود.

- **شرکت پتکو**

شرکت تولید پمپ های بزرگ و توربین آبی با نام اختصاری پمپ و توربین (پتکو)، در سال ۱۳۷۱ با سرمایه‌گذاری سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران تأسیس شده و در سال ۱۳۷۸ به بهره برداری رسید. در سال ۱۳۸۷ سهام این شرکت به بخش خصوصی (گروه صنعتی سدید) واگذار شد.

این شرکت جهت طراحی و ساخت سفارشی پمپ‌های مورد نیاز صنایع مختلف از جمله نفت، گاز، پتروشیمی، صنایع نیروگاهی، خطوط انتقال آب و توربین‌های آبی کوچک و متوسط بنا شده است. همچنین تأمین قطعات یدکی، نظارت بر نصب و راه‌اندازی، خدمات پس از فروش، تعمیرات و ارائه مشاوره مهندسی در حیطه کاری این شرکت می‌باشد. کارخانه شرکت پمپ و توربین در منطقه صنعتی قراملک در شهر تبریز واقع شده که مجهز به ماشین‌آلات وتجهیزات سبک، نیمه سنگین، سنگین و آزمایشگاه توربو ماشین می‌باشد. لازم به ذکر است این آزمایشگاه گواهینامه صلاحیت تست پمپ را از مؤسسه استاندارد ایران دارا می‌باشد.

از جمله مهمترین پروژه های اجرا شده توسط این شرکت می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ساخت الکتروپمپ‌های افقی دومکشه آب کولینگ مجتمع‌های پتروشیمی مارون، ایلام، اروند، فجر و زاگرس
- ساخت ۳۴ دستگاه توربوالکتروپمپ برج‌های خنک‌کن نیروگاه‌های سیکل ترکیبی برای شرکت مپنا
- ساخت الکتروپمپ خط لوله آبرسانی به اصفهان برای شرکت آب منطقه‌ای اصفهان

- ساخت ۱۱ دستگاه الکتروپمپ گریز از مرکز عمودی (VS4) جهت پروژه انتقال فراورده‌های نفتی از بندرعباس به اصفهان
- ساخت ۸ دستگاه پمپ عمودی (OH3) به کارفرمایی شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
- **شرکت پترو رهان پمپ**

شرکت پترو رهان پمپ، طراح و سازنده پمپ از سال ۱۳۸۶ در طراحی و ساخت سفارشی پمپ‌های مورد نیاز صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، دریایی، شیمیایی، معدن، اطفاء حریق، خمیر کاغذ، آبرسانی، پساب‌های صنعتی، روغن‌های حرارتی و غیره فعال می‌باشد.

این شرکت توان ساخت پمپ‌های گریز از مرکز در انواع OH1، OH2، OH3، BB1، BB2، BB3، BB4،VS1، VS2، VS3، VS4، VS5، VS6، VS7، پمپ رفت و برگشتی پلانجری، پمپ کنترل حجمی (دوزینگ)، پمپ دنده ای و پمپ پیچی را داشته و در سال ۱۳۹۵ به عنوان طراح و سازنده پمپ‌های گریز از مرکز API610، پمپ‌های رفت و برگشتی پلانجری API674، پمپ کنترل حجمی (دوزینگ) API675، پمپ دنده‌ای و پمپ پیچی تأیید صلاحیت شده و در فهرست سازندگان مورد تأیید شرکت ملی نفت ایران (AVL) ثبت گردید.

- **شرکت بهریز پمپ سامان**

شرکت بهریز پمپ سامان از سال ۱۳۸۶ فعالیت خود را در زمینه ساخت پمپ‌ها و قطعات مورد نیاز صنایع آب، نیروگاهی، معدن، نفت، گاز و پتروشیمی آغاز نموده و محصولات آن شامل پمپ‌های اسلاری، پمپ‌های آب فشارقوی دارای سیستم بازیافت انرژی، پمپ‌های فرآیندی و توربوشارژر می‌باشد. همچنین این شرکت اولین طراح و سازنده پمپ‌های فشار قوی دارای سیستم بازیافت انرژی در ایران است.

- **شرکت صنایع پمپیران**

شرکت صنایع پمپیران در سال ۱۳۵۴ تأسیس گردیده و تولید انواع پمپ و الکتروموتورهای شناور را تحت لیسانس KSB آلمان آغاز نمود. هم اکنون این شرکت انواع پمپ‌های شناور، عمودی طبقاتی، افقی طبقاتی، دومکشه و غیره را تولید می‌کند.

۲-۲-آینده پژوهی فناوری

۱-۲-۲- مقدمه

در این بخش با استفاده از مطالعات روند بازار و نیز تحلیل اختراعات، آینده پژوهی فناوری در خصوص پمپ‌های صنعت نیروگاهی انجام گرفته و حوزه‌های در حال رشد شناسایی شده‌اند.

۲-۲-۲- مطالعه روند بازار

از آن جا که بازار نقش مهمی در توسعه فناوری دارد، مطالعه بازار و شناسایی روندهای آینده آن می‌تواند به آینده پژوهی فناوری کمک کند. از این رو در این بخش با استناد به سه گزارش مطالعه بازار، ابتدا آینده بازار جهانی پمپ‌ها به صورت کلی مورد بررسی قرار گرفته و سپس به صورت ویژه به پیش‌بینی روند بازار پمپ‌های صنعتی و پمپ‌های نیروگاهی که موضوع اصلی این پروژه است پرداخته می‌شود.

۱-۲-۲-۲- آینده بازار پمپ‌ها

برآورد می‌شود که بازار جهانی پمپ‌ها با متوسط نرخ رشد ۵/۶ درصد در سال به رقم ۸۴/۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۲ برسد. بیشترین رشد در این بین مربوط به کشورهای در حال توسعه (آسیا، افریقا و خاورمیانه) است. بازار آسیا و اقیانوسیه همچنان بزرگترین بازار خواهد بود و کشور چین نیز بیشترین سهم را در این بازار در اختیار خواهد داشت. از طرف دیگر کمترین نرخ رشد نیز مربوط به اروپای غربی است. علت این امر بلوغ صنایع مصرف کننده پمپ و نیز کوچکتر شدن صنعت نفت و گاز در این کشورها است. در بین صنایع مختلف، صنایع تولید مواد شیمیایی (به دلیل نیاز به پمپ‌های خاص و دارای کاربری‌های ویژه) و صنایع تولید فلزات اولیه (به دلیل نیاز به پمپ‌های خنک‌کن و پمپ‌های جابجایی مواد) بیشترین رشد را خواهند داشت. البته در کنار این موارد، کاهش قیمت نفت به عنوان یک عامل منفی در بازار عمل کرده و به سازندگان تجهیزاتی مانند پمپ و کمپرسور برای کاهش حاشیه سودشان فشار آورده است.

نکته بعدی رشد سریع تجهیزات مبتنی بر اینترنت اشیاء در صنعت است. فناوری «پمپاژ هوشمند» سبب کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌گردد. همچنین از زمان خرابی پمپ‌ها نیز خواهد کاست. افزایش قابلیت پایش وضعیت پمپ باعث می‌شود که مسائل و مشکلات احتمالی قبل از این که بحرانی شده و هزینه زیادی به بهره‌بردار تحمیل کند، شناسایی شده و مرتفع گردند. اجزای هوشمندی که در این سیستم به کار می‌روند عبارتند از:

- حسگرهای جمع‌آوری داده‌های عملکرد پمپ که به صورت پیوسته داده‌ها را ارسال کرده و برای پایش وضعیت و بهینه‌سازی عملکرد پمپ استفاده می‌شوند.
- حسگرهای هوشمند که خرابی پمپ را تشخیص داده و به صورت آنی به بهره‌بردار هشدار می‌دهند.
- قابلیت کنترل پمپ با استفاده از اینترنت از طریق گوشی‌های هوشمند یا ابزارهای دیگر
- درایوهای سرعت متغیر قابل انطباق با شرایط متغیر عملکرد پمپ

توسعه این ابزارها و سایر اجزا، زمینه‌های کلیدی رشد برای سازندگان پمپ است. البته باید توجه داشت که آموزش کاربران نهایی به همان اندازه اهمیت دارد. چرا که در بسیاری از موارد کاربران نسبت به اینترنت اشیاء ابراز بی‌میلی می‌کنند و این عدم استقبال، ناشی از عدم آشنایی با این مسائل یا عدم شناخت مزایای این فناوری است [56].

۲-۲-۲-۲- آینده بازار پمپ‌های صنعتی

بازار جهانی پمپ‌های صنعتی در سال ۲۰۱۸ میلادی بالغ بر ۵۹/۲ میلیارد دلار بود که پیش‌بینی می‌شود با رشد متوسط سالیانه ۵/۹ درصد به بیش از ۹۳/۶ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۶ میلادی برسد. پمپ‌های گریز از مرکز با ۷۳ درصد، بیشترین سهم از بازار پمپ‌های صنعتی را به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است که پمپ‌های دیافراگمی در جایگاه دوم قرار دارند. عوامل متعددی بر این رشد تأثیر دارند که از جمله عوامل مثبت می‌توان به افزایش شهرنشینی و توسعه زیرساخت‌ها، افزایش بهای نفت خام، افزایش راندمان انرژی، افزایش سرمایه‌گذاری در کشورهای در حال توسعه، افزایش تأسیسات تصفیه آب و فاضلاب و پیشرفت فناوری اشاره نمود.

در آینده رقابت شدید بر سر کاهش هزینه‌های ساخت، اثر مهمی بر تقاضای مصرف کنندگان خواهد داشت. سازندگان عمده با راهبردهای جدیدی نظیر توسعه کسب و کار، تملک و غیره سعی در ارتقای رشد بازار پمپ‌های صنعتی دارند. به عنوان

مثال در ماه آوریل سال ۲۰۱۹ میلادی، شرکت ابارا بین‌الملل۱ به عنوان یکی از شرکت‌های زیرمجموعه ابارا به منظور توسعه پمپ‌های کرایوژنیک با گروه الیوت در ایالات متحده ادغام شد. همچنین در سال ۲۰۱۷ میلادی جنرال الکتریک شرکت بیکر هافس۲ را تملک کرده و فعالیت‌های مربوط به تجهیزات و خدمات نفت و گاز را در قالب این شرکت ادغام کرده است.

بیشترین سهم را در این بین منطقه آسیا و اقیانوسیه خواهد داشت که دارای بیشترین رشد بازار پمپ‌های صنعتی می‌باشد. این منطقه نیمی از بازار پمپ‌های صنعتی در سال ۲۰۲۶ میلادی را به خود اختصاص خواهد داد. دلیل این امر افزایش شدید فعالیت‌های عمرانی در این کشورها است. که تقاضا برای پمپ‌های صنعتی را افزایش داده است. عامل دیگر تقاضای صنایع تولیدی و فرآیندی است. همچنین افزایش تقاضا برای پمپ‌های انتقال و استخراج نفت و گاز نیز اثر مثبتی بر رشد پمپ‌های صنعتی داشته است. اثر افزایش بهای نفت خام نیز در همین راستا ارزیابی می‌شود. بازار امریکای شمالی نیز از رشد پایداری برخوردار خواهد بود که ناشی از واحدهای صنعتی متعدد موجود در این منطقه و نیز افزایش تقاضا به دلیل صنعت نفت شیل ایالات متحده است.

پمپ‌های با ظرفیت بالا حدود نیمی از بازار پمپ‌های صنعتی را به خود اختصاص داده‌اند. چرا که کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند. پمپ‌های دارای ظرفیت متوسط نیز حدود یک‌سوم بازار پمپ‌های صنعتی را به خود اختصاص خواهند داد.

صنایع شیمیایی عموماً با دماهای بالا یا مایعات خورنده سر و کار دارند. این صنایع عموماً از پمپ‌های گریز از مرکز و یا بوستر پمپ برای انتقال مواد شیمیایی استفاده می‌کنند. بیشترین رشد را در بخش مدیریت آب و فاضلاب با نرخ متوسط ۷/۱ درصد شاهد خواهیم بود. این بخش با ۲۳ میلیارد دلار ارزش بازار در سال ۲۰۲۶ میلادی بیشترین سهم را در مقایسه با سایر بخش‌ها خواهد داشت.

سازندگان اصلی پمپ‌های صنعتی با توجه به سهم بازار عبارتند از:

- فلوسرو۳ (ایالات متحده امریکا)
- گراندفوس۴ (دانمارک)
- آی‌تی‌تی۵ (ایالات متحده امریکا)
- سولزر۶ (سوئیس)
- تیتان۷ (ایالات متحده امریکا)
- ابارا۸ (ژاپن) [57]

[1] Ebara International Corp.
[2] Baker Hughes
[3] Flowserve Corporation
[4] Grundfos Holding A/S
[5] ITT Inc.
[6] Sulzer Ltd.
[7] Titan Manufacturing Inc.
[8] Ebara Corp.

۳-۲-۲-۲- آینده بازار پمپ‌های نیروگاهی

در نگاه بلند مدت، به نظر می‌رسد مصرف همه سوخت‌های مدرن طی ۲۵ سال آینده به صورت مداوم افزایش یابد. البته به جز زغال سنگ که به نظر می‌رسد با کاهش مصرف ۰/۲ درصدی مواجه شود. همچنین ظرفیت نیروگاه‌های نصب شده در جهان از حدود ۶۲۹۲ گیگاوات در سال ۲۰۱۵ میلادی به حدود ۹۴۱۷ گیگاوات در سال ۲۰۳۰ میلادی افزایش خواهد یافت که در نتیجه آن مقدار برق تولید شده از حدود ۲۴۲۴۰ تراوات‌ساعت به حدود ۳۳۵۶۰ تراوات‌ساعت خواهد رسید. به منظور پاسخگویی به افزایش تقاضای برق، تولید برق بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰ میلادی حدود ۳۸/۵ درصد رشد خواهد داشت که توأم با رشد ۴۹/۷ درصدی ظرفیت نیروگاه‌های نصب شده خواهد بود.

به دلیل رشد اقتصادی آسیا، تقاضای انرژی در این منطقه به شدت افزایش خواهد یافت. این تقاضا در حال حاضر حدود ۳۰ درصد تقاضای جهانی است. از شکل زیر مشخص است که تقاضای انرژی اولیه بیشتر ناشی از منطقه آسیا و اقیانوسیه خواهد بود که در آن چین و هند به ترتیب با تقاضای انرژی ۴۰۶۰ میلیون تن نفت معادل و ۱۵۴۰ میلیون تن نفت معادل صدرنشین هستند.



شکل ۲-۳۲: پیش‌بینی تقاضای انرژی اولیه کشورهای مختلف دنیا در سال ۲۰۳۵ میلادی [58]

با توجه به این که پیش‌بینی می‌شود گاز در همه کشورهای OECD به تدریج جای زغال‌سنگ را به عنوان منبع تولید برق بگیرد، منفعت قابل توجهی نصیب سازندگان پمپ خواهد شد. صنعت برق تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۷ میلادی حدود ۱ میلیارد دلار صرف خرید پمپ کرده است که از این بین پمپ‌های گریز از مرکز سهم ۶۷ درصدی دارند. همچنین پمپ‌های دیافراگمی، چرخشی و رفت و برگشتی به ترتیب ۱۲ درصد، ۱۲ درصد و ۹ درصد سهم این بازار را بخود اختصاص داده‌اند. انتظار می‌رود بیشترین سهم پمپ‌ها در آینده بازار برق تجدیدپذیر متعلق به آسیا باشد [58].

با توجه به آن چه گفته شد، در زمینه بازار پمپ‌های نیروگاهی شواهد حاکی از رشد پیوسته بازار است. تقاضای این بازار در سال ۲۰۱۸ میلادی حدود ۴ میلیون واحد بوده است. رشد این بازار بیشتر تحت تأثیر افزایش تقاضای انرژی به ویژه در مناطق در حال توسعه است. یکپارچه‌سازی فناوری‌های نوین شامل حسگرهای پایش وضعیت پارامترهای مختلف در پمپ‌های نیروگاهی نیز رو به افزایش است.

تأمین هد و دبی بالا یکی از دلایل کاربرد گسترده پمپ‌های گریز از مرکز در صنعت نیروگاهی است. تقاضای این پمپ‌ها تحت تأثیر ابعاد کوچک و هزینه‌های کم آن‌ها بالاست. پیش‌بینی می‌شود تقاضای پمپ‌های گریز از مرکز در منطقه آسیا و اقیانوسیه (به ویژه در چین، هند و ژاپن) رشد پیدا کند که علت آن افزایش تقاضای برق و مشوق‌های دولتی است.
تقاضای پمپ‌های نیروگاهی در نیروگاه‌های زغال‌سنگی و نفتی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده و در انتهای سال ۲۰۱۸ میلادی به رقم ۱،۴۰۰،۰۰۰ عدد رسید که علت آن توسعه نیروگاه‌های جدید زغال‌سنگی و نفتی در کشورهای مختلف است. به گفته آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) تولید زغال‌سنگ پس از افت دو ساله در سال ۲۰۱۷ میلادی به میزان ۳ درصد رشد پیدا کرد. بیشتر این رشد تولید مربوط به کشورهای چین و هند است. به علاوه نیروگاه‌های زغال‌سنگ با اختصاص ۳۰ درصد از سهم تولید برق جهان، بزرگترین منبع تولید انرژی هستند. به منظور ارتقای راندمان و انعطاف‌پذیری عملکرد نیروگاه‌ها، تلاش‌های بسیاری برای ارتقای طراحی نیروگاه‌های زغال‌سنگی و پمپ‌های نیروگاهی صورت گرفته است. در نیروگاه‌های زغال‌سنگی از فناوری‌های چرخه فوق بحرانی و بسیار فوق بحرانی استفاده می‌شود. در سال‌های آینده در منطقه جنوب شرق آسیا چالش‌هایی در توسعه این نیروگاه‌ها وجود خواهد داشت که دلیل آن تمرکز بر تولید برق با استفاده از منابع سبز است.
کشورهای آسیا و اقیانوسیه با افزایش تقاضا برای برق مواجه‌اند. با توجه به مقررات جدید دولتی و استانداردهای آلایندگی، کشورهای این منطقه به منابع پاک‌تر انرژی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر توجه بیشتری پیدا کرده‌اند. با توجه به این نکات، تقاضای پمپ‌های نیروگاهی در این منطقه به ۲ میلیون واحد در سال ۲۰۱۸ میلادی رسید.
پیش‌بینی می‌شود به منظور پاسخ به افزایش تقاضای برق جهانی، ظرفیت نیروگاه‌های نصب شده تا سال ۲۰۴۰ میلادی به میزان ۵۶۵ گیگاوات رشد کند. همچنین پیش‌بینی می‌شود انرژی‌های تجدیدپذیر بیشترین سهم از ظرفیت نصب شده تولید برق در سال ۲۰۴۰ میلادی را به خود اختصاص خواهند داد.
برآورد می‌شود پمپ‌های کوچک (تا ظرفیت ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت) بیشترین رشد را در سال‌های آینده خواهند داشت. دلیل رشد تقاضا برای این پمپ‌ها هزینه کمتر و سایز کوچکتر موتور است که منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شود. پیش‌بینی رشد بازار پمپ‌های نیروگاهی حاکی از رشد پایدار تا سال ۲۰۲۸ میلادی با نرخ رشد متوسط ۳/۷ درصد در سال (از نظر تعداد) می‌باشد [59].

۳-۲-۲- تحلیل اختراعات

برای تحلیل اختراعات ثبت شده در زمینه پمپ‌های صنعتی ابتدا با مراجعه به کدهای CPC اختراعات، دسته‌بندی زیر برای پمپ‌های مورد نظر در کاربری صنعت برق شناسایی شدند که هم شامل دسته‌بندی از نظر انواع پمپ‌ها و هم شامل دسته‌بندی از منظر موارد مربوط به پمپ (نظیر کوپلینگ و کنترل) است (لازم به ذکر است که کد F04 مربوط به پمپ‌ها است):

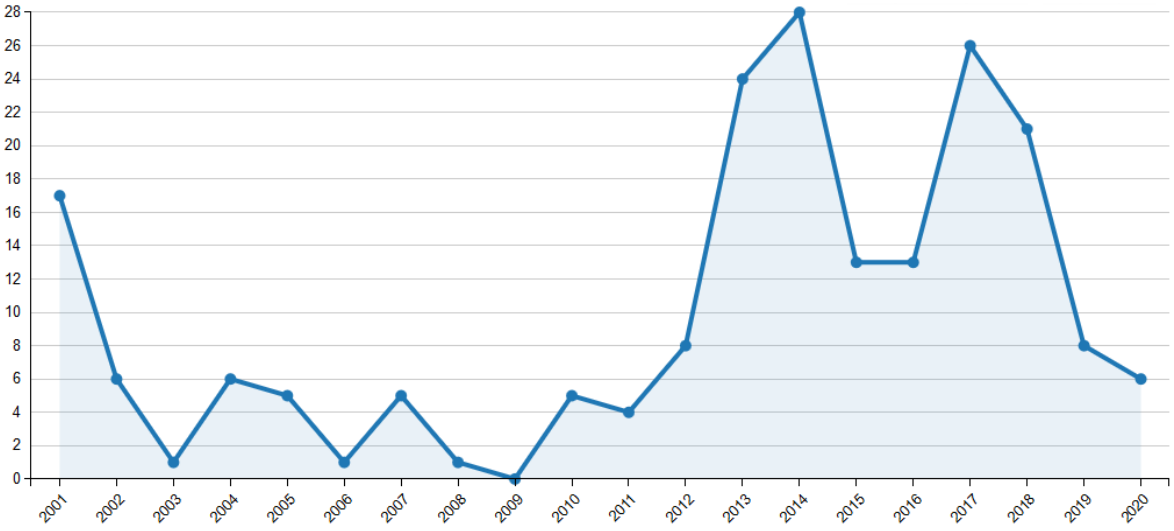
- پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه (F04D1/006)
- پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی (F04D1/066)
- پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری (F04D1/06)
- پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق (F04D13/08)
- پمپ‌های پیچی (F04C18/084 و F04C2/084)
- پمپ‌های دیافراگمی (F04B43/02 و F04B45/04)
- پمپ‌های دارای کوپلینگ (F04D13/021)

- کنترل پمپ با تغییر سرعت (F04D15/0066)
- کنترل شرایط مایع پمپ شونده (F04D15/0218)
- کنترل شرایط پمپ (F04D15/0245)

در ادامه اختراعات ثبت شده در هر کدام از این موارد به صورت کلی تحلیل شدند.

۱-۳-۲-۲- پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۷۰۸ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است:



شکل ۲-۳۳: تعداد اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه طی دو دهه اخیر

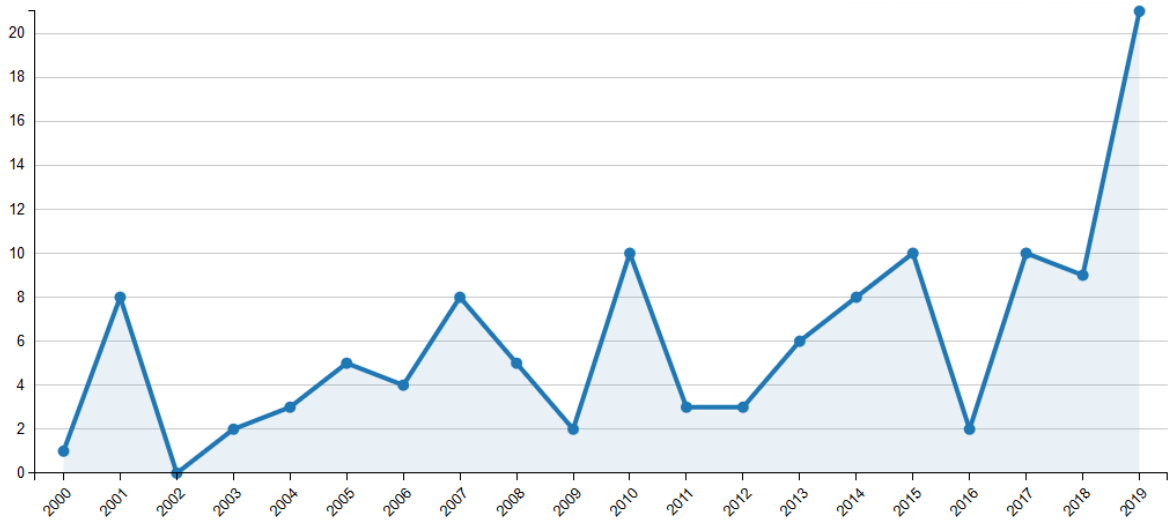
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-۳٤: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه

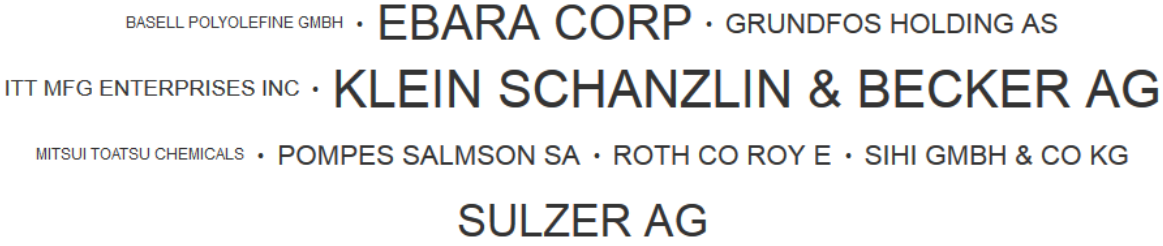
۲-۳-۲-۲- پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۴۲۳ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است:



شکل ۲-۳۵: تعداد اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی طی دو دهه اخیر

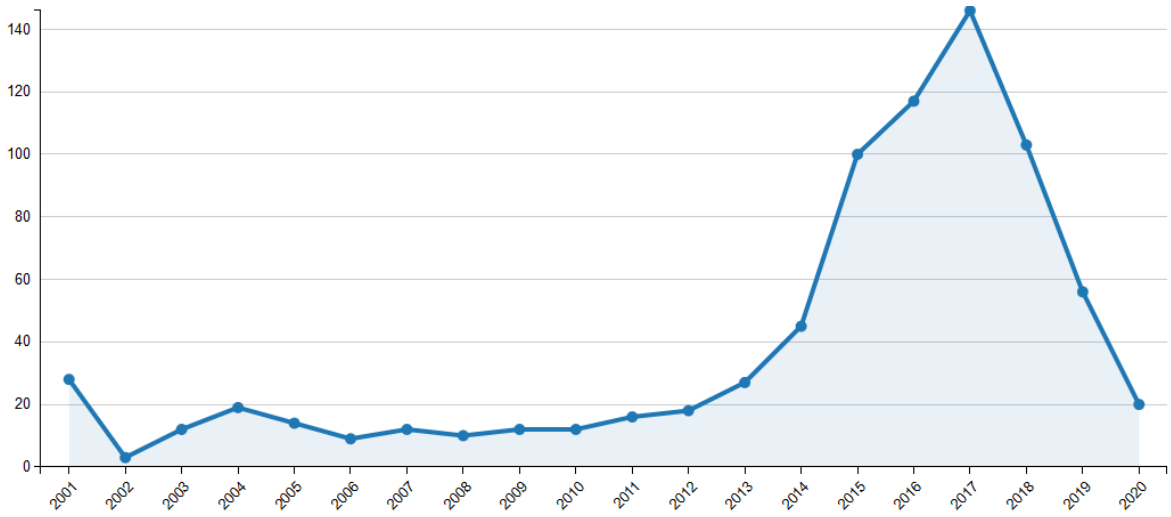
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-۳۶: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی

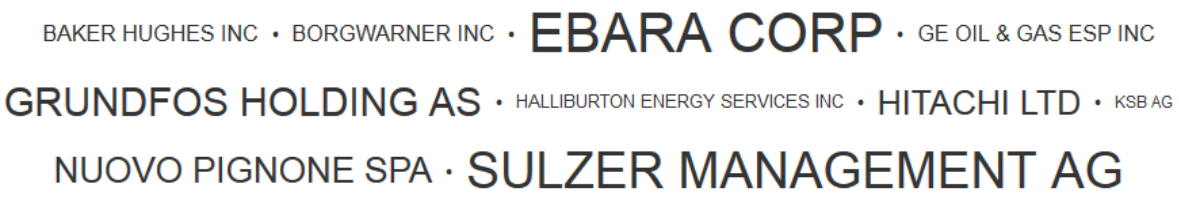
۳-۳-۲-۲- پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۱۲۷۴ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است:



شکل ۲-۳۷: تعداد اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری طی دو دهه اخیر

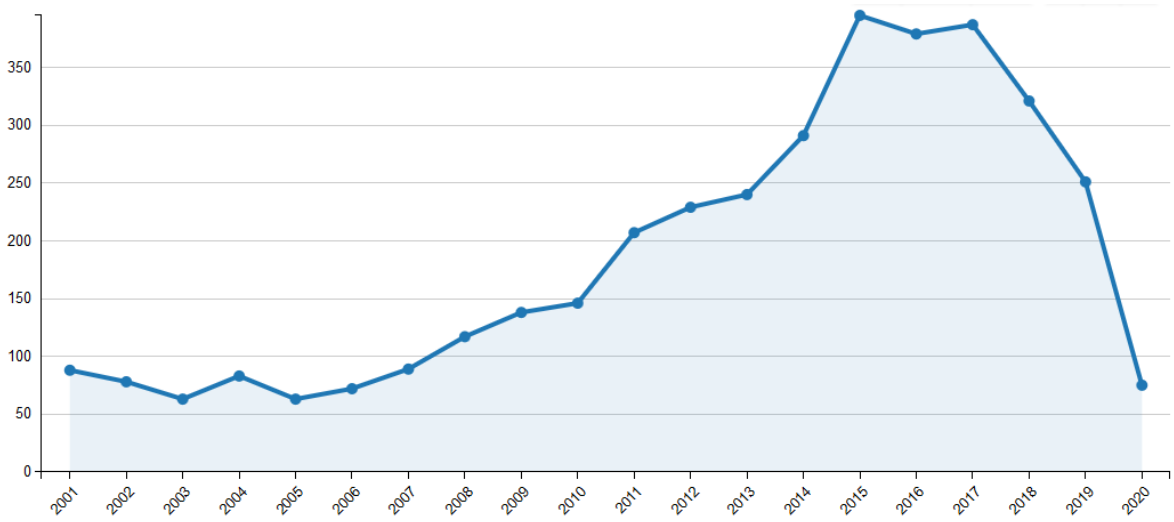
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-۳۸: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری

۴-۳-۲-۲- پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۵۴۸۴ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است. لازم به ذکر است حدود یک چهارم اختراعات (۱۳۴۵ مورد) به منظور کاربرد در استخراج نفت می‌باشد. نزدیک به یک پنجم اختراعات (۱۰۴۸ مورد) نیز مربوط به نحوه کنترل این پمپ‌ها بوده است. همچنین ۱۵ درصد اختراعات (۸۲۹ مورد) در ارتباط با محفظه پمپ است.



شکل ۲-۳۹: تعداد اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق طی دو دهه اخیر

ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:

BAKER HUGHES A GE CO LLC · BAKER HUGHES INC · EBARA CORP

GE OIL & GAS ESP INC · GEN ELECTRIC · HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC · SCHLUMBERGER CA LTD

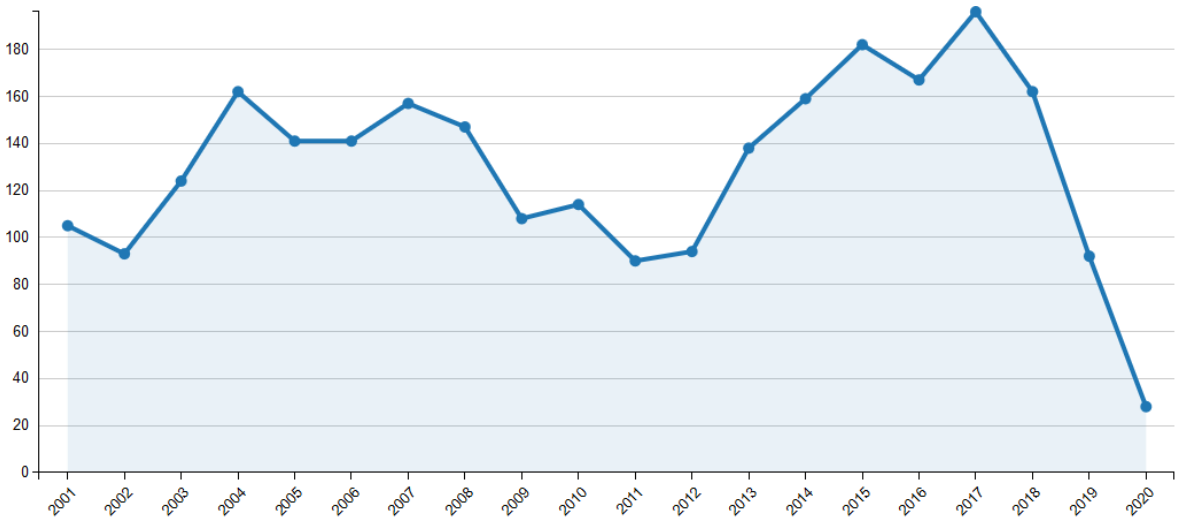
SCHLUMBERGER HOLDINGS · SCHLUMBERGER SERVICES PETROL

SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORP

شکل ۲-۴۰: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق

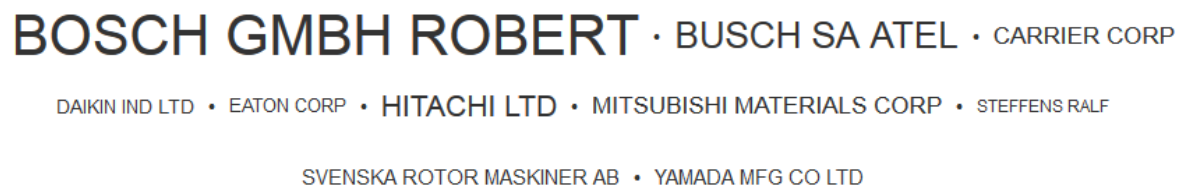
۵-۳-۲-۲- پمپ‌های پیچی

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۴۴۰۲ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است. لازم به ذکر است حدود ۱۴ درصد اختراعات (۶۰۹ مورد) در ارتباط با ساخت این پمپ‌ها است.



شکل ۲-٤۱: تعداد اختراعات پمپ‌های پیچی طی دو دهه اخیر

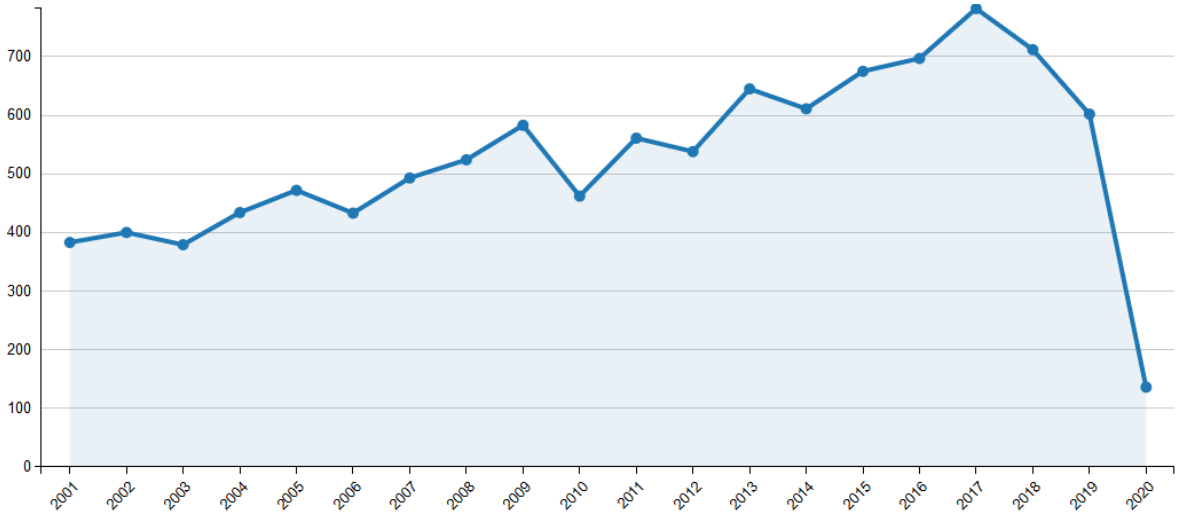
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-٤۲: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های پیچی

۶-۳-۲-۲- پمپ‌های دیافراگمی

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۱۷۳۰۹ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است. لازم به ذکر است حدود ۱۲ درصد اختراعات (۲۰۳۸ مورد) در ارتباط با نحوه کنترل این پمپ‌ها است.



شکل ۲-٤۳: تعداد اختراعات پمپ‌های دیافراگمی طی دو دهه اخیر

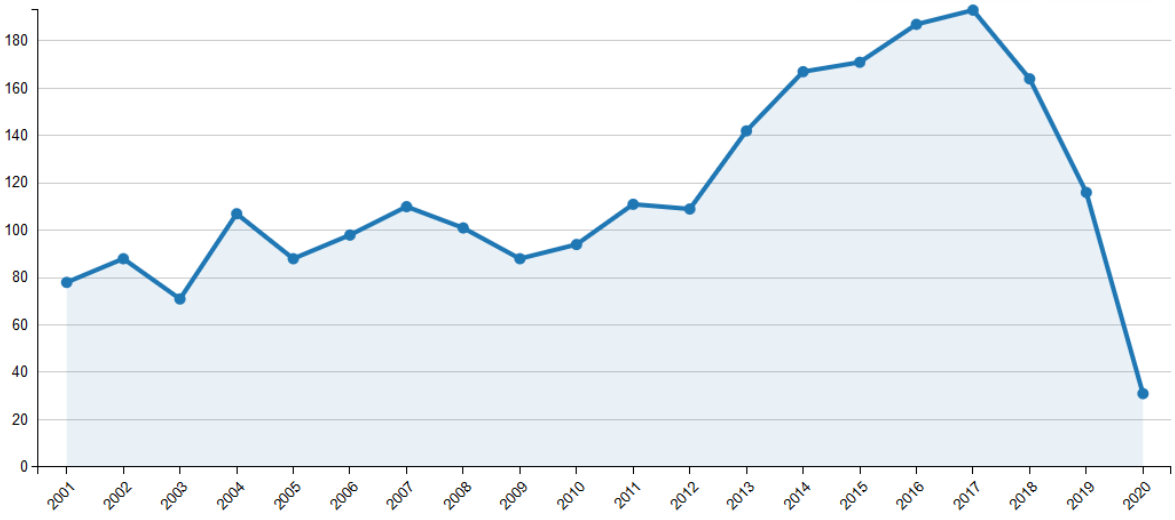
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-٤٤: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های دیافراگمی

۷-۳-۲-۲- پمپ‌های دارای کوپلینگ

کل اختراعات ثبت شده در مورد این نوع پمپ‌ها، ۳۷۴۳ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است. لازم به ذکر است حدود ۱۴ درصد اختراعات (۵۲۳ مورد) در ارتباط با نحوه کنترل این پمپ‌ها است. حدود ۱۳ درصد از اختراعات (۴۸۰ مورد) در ارتباط با کلاچ یا ترمز دینامو‌الکتریکی است. همچنین حدود ۱۲ درصد از اختراعات (۴۶۵ مورد) در ارتباط با محفظه این پمپ‌ها می‌باشد.



شکل ۲-٤۵: تعداد اختراعات پمپ‌های دارای کوپلینگ طی دو دهه اخیر

ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:

AISIN SEIKI • ASKOLL HOLDING SRL • BORGWARNER INC

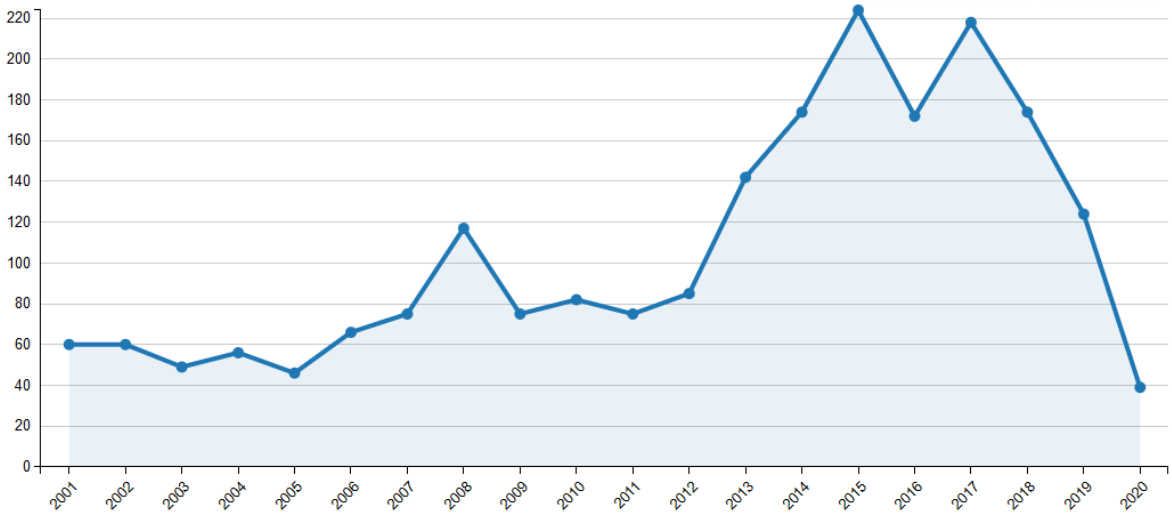
EBM PAPST ST GEORGEN GMBH & CO • IND SALERI ITALO SPA • IWAKI CO LTD • KSB AG

PIERBURG PUMP TECHNOLOGY GMBH • RUHRPUMPEN GMBH • TERUMO CORP

شکل ۲-٤٦: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات پمپ‌های دارای کوپلینگ

۸-۳-۲-۲- کنترل پمپ با تغییر سرعت

کل اختراعات ثبت شده در مورد کنترل پمپ با تغییر سرعت، ۲۷۸۱ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است.



شکل ۲-٤٧: تعداد اختراعات کنترل پمپ با تغییر سرعت طی دو دهه اخیر

ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:

EBARA CORP • GEN ELECTRIC • GRUNDFOS AS

GRUNDFOS HOLDING AS • ITT MFG ENTERPRISES INC • KSB AG

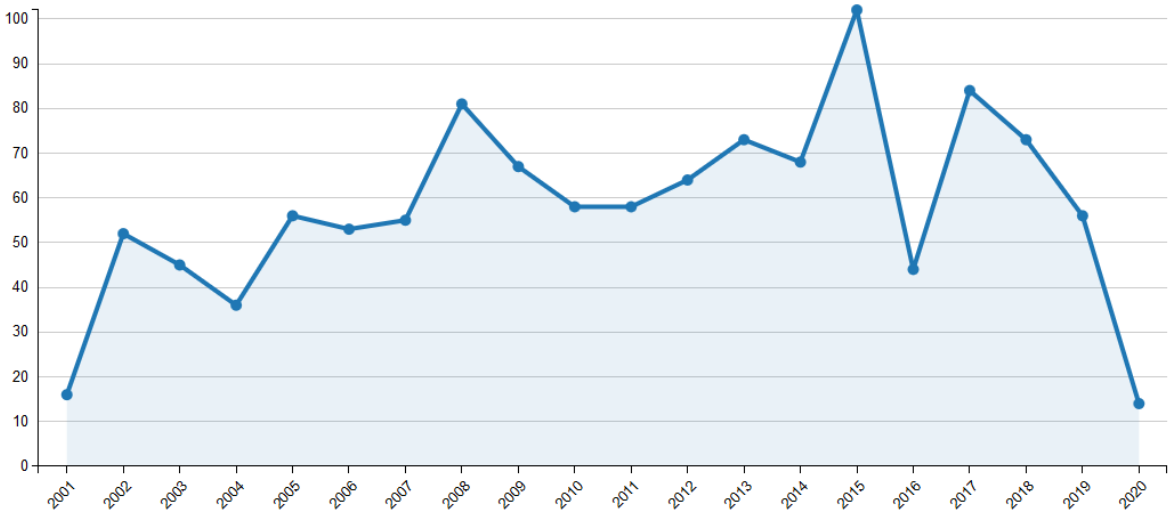
PENTAIR WATER POOL & SPA INC • WILO SE • XYLEM IP HOLDINGS LLC

XYLEM IP MAN SARL

شکل ۲-٤٨: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل پمپ با تغییر سرعت

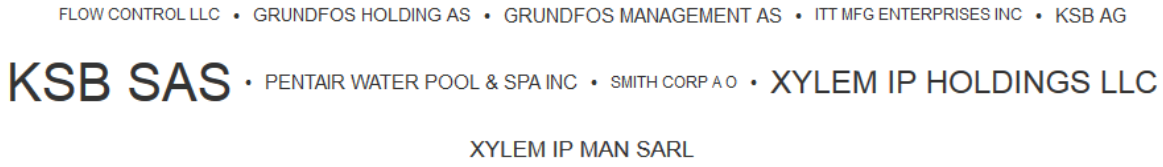
۹-۳-۲-۲- کنترل شرایط مایع پمپ شونده

کل اختراعات ثبت شده در مورد کنترل شرایط مایع پمپ شونده، ۱۷۶۵ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است.



شکل ۲-۴۹: تعداد اختراعات کنترل شرایط مایع پمپ شونده

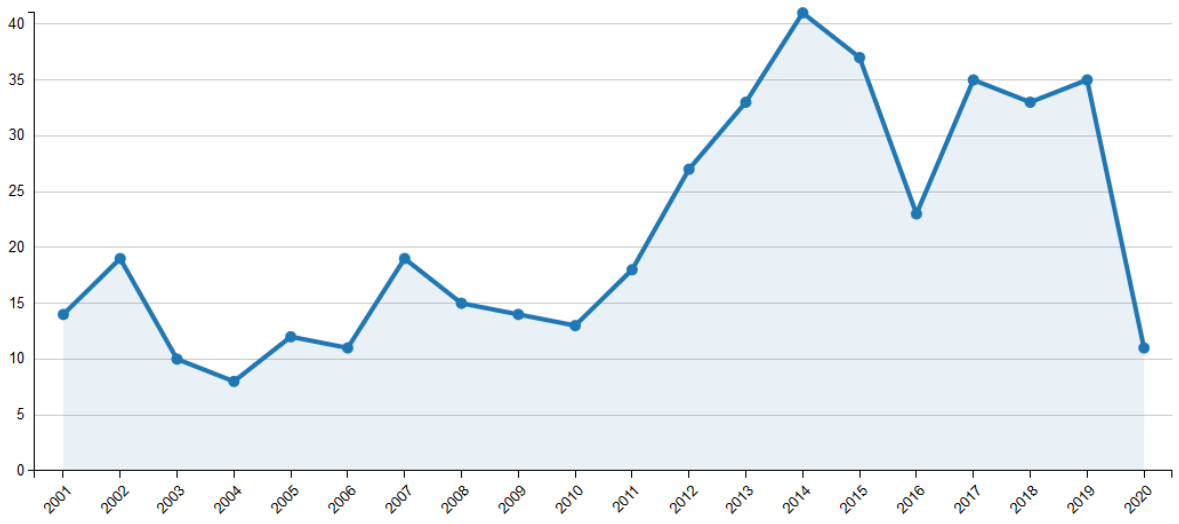
ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-۵۰: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل شرایط مایع پمپ شونده

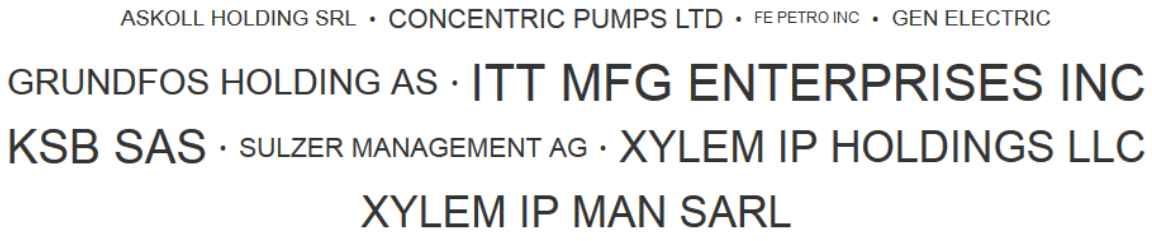
۱۰-۳-۲-۲- کنترل شرایط پمپ

کل اختراعات ثبت شده در مورد کنترل شرایط پمپ، ۷۱۹ مورد بوده که در زیر تعداد اختراعات ثبت شده در هر سال برای دو دهه اخیر آمده است.



شکل ۲-۵۱: تعداد اختراعات کنترل شرایط پمپ

ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات جهانی در این نوع پمپ‌ها به شرح شکل زیر می‌باشند:



شکل ۲-۵۲: ده شرکت برتر صاحب امتیاز اختراعات کنترل شرایط پمپ

۲-۲-۳-۱۱- خلاصه تحلیل اختراعات

با توجه به نتایج تحلیل اختراعات، می‌توان جدول خلاصه زیر را تهیه نمود. بر اساس جدول زیر می‌توان فناوری‌های پمپ-های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری، پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق، کنترل پمپ با تغییر سرعت و کنترل شرایط پمپ را جزء فناوری‌های در حال رشد قلمداد کرد. ضمناً می‌توان دریافت که نحوه کنترل پمپ‌ها و نیز محفظه آن‌ها (به ویژه در مورد پمپ‌های مستغرق) حوزه‌های اصلی توسعه فناوری است [60].

جدول ۲-۳: خلاصه نتایج تحلیل اختراعات

ردیف	عنوان	تعداد	موارد مرتبط	وضعیت فناوری
۱	پمپ‌های گریز از مرکز تک مرحله‌ای با مکش دوگانه	۷۰۸		بلوغ
۲	پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت شعاعی	۴۲۳		بلوغ

۳	پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای دارای پوسته بازشو به صورت محوری	۱۲۷۴		در حال رشد
۴	پمپ‌های گریز از مرکز مستغرق	۵۴۸۴	کنترل، محفظه	در حال رشد
۵	پمپ‌های پیچی	۴۴۰۲	ساخت	بلوغ
۶	پمپ‌های دیافراگمی	۱۷۳۰۹	کنترل	بلوغ
۷	پمپ‌های دارای کوپلینگ	۳۷۴۳	کنترل، کلاچ یا ترمز دینامومالکتریکی، محفظه	بلوغ
۸	کنترل پمپ با تغییر سرعت	۲۷۸۱		در حال رشد
۹	کنترل شرایط مایع پمپ شونده	۱۷۶۵		بلوغ
۱۰	کنترل شرایط پمپ	۷۱۹		درحال رشد

۳-۲-نتیجه‌گیری

۱-۳-۲- مقدمه

در این فصل با توجه به مطالعات انجام شده در فصل‌های پیشین شامل شناسایی حوزه های فناورانه و آینده پژوهی فناوری، نتیجه‌گیری به عمل آمده است. به منظور ارائه تصویر دقیق‌تری از میزان اعتبار نتایج به دست آمده در این بخش لازم است محدودیت‌های داده‌های در دسترس تشریح گردد. به منظور شناسایی مشخصات و اجزای فناوری پمپ‌های نیروگاهی، مکاتباتی با نیروگاه‌های منتخب و شرکت‌های سازنده صورت پذیرفته و نیز به مراکز دانشگاهی مراجعه گردید. علیرغم پیگیری به عمل آمده، آمار مربوط به وضعیت تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌ها به صورت مورد انتظار حاصل نشد تا تصویر دقیقی از وضعیت موجود در این حوزه بدهد. با این وجود سعی شد با استفاده ازسایر اطلاعات موجود این خلأ تا حدی جبران شود. در جدول زیر فهرست داده‌های در دسترس که مبنای تهیه این گزارش و گزارش فاز قبلی و فازهای بعدی بوده‌اند ذکر شده است.

جدول ۲-٤: داده‌های در دسترس به منظور شناسایی مشخصات و اجزای فناوری

ردیف	عنوان	کاربرد
۱	ارزش واردات پمپ‌های صنعتی به تفکیک نوع کلی پمپ (گریز از مرکز، پیچی و غیره) در سال ۱۳۹۷ ارائه شده توسط اتاق بازرگانی تهران	تعیین محدوده موضوعی مطالعات در گزارش مرحله اول
۲	آمار مصرف داخلی نیروگاه‌های کشور به تفکیکی نوع نیروگاه (گازی، ترکیبی و غیره) در سال ۱۳۹۵ ارائه شده توسط شرکت مادرتخصصی توانیر	تعیین محدوده موضوعی مطالعات در گزارش مرحله اول
۳	اعلام نیاز قطعات یدکی پرمصرف پمپ‌ها در سه نیروگاه سیکل ترکیبی به دفتر تحقیقات و ساخت داخل شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی	شناسایی قطعات یدکی پر مصرف در پمپ‌های نیروگاهی
۴	قرارداد تأمین قطعات یدکی پمپ آب تغذیه بویلر برای چهار نیروگاه سیکل	شناسایی قطعات یدکی پر

	ترکیبی	مصرف در پمپ‌های نیروگاهی
۵	گزارش چالش‌های پیش روی تولید پمپ‌های آب تغذیه بویلر تهیه شده توسط یکی از شرکت‌های مطرح سازنده پمپ	تعیین فهرست پروژه‌های توسعه فناوری در مرحله چهارم
۶	تحلیل اختراعات ثبت شده در حوزه پمپ با استفاده از پایگاه Patent Inspiration	آینده پژوهی توسعه فناوری

۲-۳-۲- هوشمندی فناوری

با توجه به بررسی حوزه‌های فناوانه و آینده‌پژوهی بر مبنای گزارش‌های موجود و تحلیل اختراعات می‌توان موارد زیر را به عنوان فناوری‌های اصلی جهت تدوین چشم‌انداز توسعه آن‌ها مورد شناسایی قرار داد:

- پمپ‌های گریز از مرکز چند طبقه دارای پوسته بازشو به صورت محوری (شامل آب‌بند و ساخت محفظه در فشارهای بالا)
- پمپ‌های دیافراگمی
- آب‌بندهای مکانیکی
- کنترل و تنظیم عملکرد پمپ‌ها (شامل دیجیتال‌سازی)
- تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌ها

۳- تدوین چشم انداز، اهداف و راهبردها

۱-۳-تدوین چشم انداز فناوری

۱-۱-۳- مقدمه

در این بخش چشم انداز حوزه‌های فناورانه پمپ در افق صنعت نیروگاهی که دورنمایی از دستیابی به اهداف در افق زمانی تحلیل است، مشخص شده و تصویر مطلوب و آرمان قابل دستیابی در این حوزه‌ها ارائه خواهد شد.

۲-۱-۳- مفاهیم و روش‌های تدوین چشم انداز

ارزیابی و بررسی شدت تغییرات و دگرگونی‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی نیازمند دیدگاه‌های راهبردی و افق‌های بلندمدت است، لذا تدوین برنامه‌هایی که بتوانند همانند چراغی در افق بلندمدت کشور روشن گردد. بیش‌ازپیش ضروری است. بدیهی است که در این روند اتخاذ رهیافتی استراتژیک نسبت به تعیین اولویت‌ها و جهت‌گیری‌های اساسی آینده کشور نمی‌تواند به برنامه‌ها و سیاست‌گذاری‌های کوتاه‌مدت محدود شود و نیاز به چشم‌اندازی با جهت‌گیری مشخص و روشن نیاز دارد.
واژه چشم‌انداز در زبان فارسی به معنی تصوری است که از آینده در نظر انسان مجسم می‌شود [۹]. چشم‌انداز را «دورنما», «منظر», «دیدگاه» و «تصویر مطلوب آینده», معنی کردند که از بین این‌ها تصویر مطلوب آینده و آرمان قابل‌دسترس از آینده که منظر و دورنمایی در افق بلندمدت دارد، کامل‌تر و جامع‌تر است. همچنین چشم‌انداز شامل تصویری مبتنی بر خلق آینده و از سوی دیگر مبتنی بر رؤیاها و آرزوها است و دارای ویژگی‌های جامع‌نگری، آینده‌نگری، ارزش‌گرایی و واقع‌گرایی است. چشم‌انداز ملی دستیابی به منافع ملی و اجرای قانون اساسی را مدنظر داشته و در پی ایجاد انگیزه برای همه ملت و همه اقشار جامعه است و ایجاد فرهنگ عمومی و مثبت با حفظ وحدت اجتماعی و یکپارچگی ملی از پیامدهای آن است [۱۰].
فرایند چشم‌انداز شامل ایجاد باورهای مشترک در جامعه و سپس خلق آینده و تصویر مشترک از آینده توسط متخصصان، آینده‌پژوهان و رهبران و سپس تبدیل آن به بینش عمومی، برای حرکت و انگیزه عمومی و جمعی در جامعه است، تدوین سند چشم‌انداز برای سازمان‌دهی مدیریت جامعه و نقش آن در شکل‌دهی به آینده جامعه، بسیار مهم است، چشم‌انداز به‌عنوان یک چارچوب پاسخگو در سطح ملی برای پاسخ دادن به این پرسش‌ها، مطرح می‌شود؛ ما کجا هستیم؟ کجا می‌خواهیم باشیم؟ چگونه می‌خواهیم به آنجا برسیم؟ که درنهایت با هدف‌گذاری ایده‌آل نقش تصورات آینده را برای اداره یک جامعه، ترسیم می‌کند. [۱۱]
شکل‌دهی به آینده در خلال شناسایی آینده‌های ممکن یا مطلوب، امکان رسیدن به سطوح مختلفی از تصمیمات را به وجود می‌آورد تا این تصمیمات تلاش‌ها را هماهنگ ساخته، منجر به ساخت چشم‌اندازی از آینده شود، بنابراین چشم‌اندازسازی در چارچوب آینده‌نگری قابل درک است و درواقع چشم‌اندازسازی یکی از خروجی‌ها و نتایج برنامه آینده‌نگاری است. این مفهوم به ساخت دیدگاه‌هایی مورد اجماع اشاره دارد که می‌توانند وضعیت‌های ممکنی از آینده را نشان دهند که این وضعیت‌ها برای گروهی از بازیگران بیشتر مطلوب است. آینده جایی نیست که به آنجا می‌رویم بلکه جایی است که آن را به وجود می‌آوریم و آینده همچنان در حال ساخته شدن است و جوامع می‌توانند آن را با اقدامات هدفمند خود شکل دهند. به همین دلیل جوامع می‌کوشند تا امور در حال وقوع، اموری که شاید اتفاق بیافتد، اموری که امکان بالقوه وقوع دارند و یا تحت شرایط خاص در آینده اتفاق خواهند افتاد را شناسایی کنند و در وقوع و یا عدم وقوع و کیفیت آن‌ها، دخالت داشته باشند [۱۲].

از گذشته تاکنون از روش‌های متعددی برای ساخت چشم‌انداز استفاده شده. در ژاپن تا چند دهه گذشته تکیه‌بر شهود فردی با یک حرکت هماهنگ جمعی و باور به آنچه می‌خواستند به آن برسند، عامل اصلی یک چشم‌انداز بود. در قرون گذشته نیز از پیش‌بینی، پیش‌گویی و امثال آن استفاده می‌شده است، لیکن در سیر تکامل روند تصویرسازی برای آینده جوامع و ملت‌ها، از روش‌های نوینی استفاده می‌شود. از رایج‌ترین و متحول‌ترین روش‌هایی که کاربرد عام در سراسر جهان دارد. چشم‌اندازسازی است. امروزه بهره‌گیری از روش‌های علمی چشم‌اندازسازی، جهت تصویرسازی از آینده، الزامی است.

اما نکته حائز اهمیت در مورد چشم‌اندازسازی آن است که این چشم‌انداز در سطحی کلان ساخته می‌شود. به‌این‌ترتیب تعادل سیاسی میان منافع و نظرات متنوع بخش‌های متفاوت یک کشور، ایجاد یک چشم‌انداز واحد را به امری دشوار تبدیل می‌سازد. چشم‌اندازسازی در سطح کلان، به‌آسانی ساخت چشم‌انداز در یک بنگاه اقتصادی نیست. همچنین در فعالیت چشم‌اندازسازی سعی می‌شود هماهنگی لازم میان چشم‌اندازهای حوزه‌های مختلف به وجود آید تا هم تعارضات میان چشم‌اندازها و هم کامل بودن هر چشم‌انداز حاصل شود [۱۳].

چشم‌انداز توسعه فناوری اگر به‌صورت دقیق، جامع و آینده‌نگرانه تعریف شده باشد، می‌تواند مسیر توسعه فناوری را همواره هدفمند و جهت‌دار نماید و مانند چراغی در افق بلندمدت، فراروی کنشگران مختلف (دولت، صنعت، دانشگاه) قرار گیرد. آگاهی کامل سیاست‌گذاران به چشم‌انداز توسعه فناوری نیز می‌تواند آن‌ها را در اتخاذ تصمیمات کلیدی و سیاست‌های اثرگذار یاری دهد. مطابق مطالعات چشم‌انداز مطلوب که اثرگذاری‌های بیان شده را داشته باشد بایستی ویژگی‌های ذیل را در برگیرد [۹]:

- قابل‌دستیابی در زمان موردنظر و کمیت‌پذیر
- برآیند آثار ناشی از مزیت‌های 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 درعین‌حال منحصربه‌فرد
- برانگیزاننده مشارکت همگانی و مشوق حرکت
- پیونددهنده حال و آینده به همدیگر (در عین آنکه باید واقع‌گرایانه باشد، مطابق با آرمان‌ها نیز باشد)
- اطمینان‌بخش و توجه برانگیز برای توجه 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 برنامه‌ریزی‌ها و اجرا آن‌ها
- نشان‌دهنده فرصت‌های موجود و راه بهره‌جویی از این فرصت‌ها

اکثر مدل‌های تدوین راهبرد ملی دارای گام تدوین چشم‌انداز مشخص و صریح می‌باشند. لکن برخی مدل‌ها نیز وجود دارند که به‌مراتب به وجود چنین عنصری در برنامه‌ریزی راهبردی ملی اشاره نکرده ولی به تدوین اهداف بلندمدت پرداخته‌اند. ضرورت تدوین چشم‌انداز در اسناد ملی توسعه فناوری از این بابت است که تعهد، انگیزه، هیجان و انرژی را در میان کنشگران دخیل در توسعه فناوری افزایش داده و مقصدی را برای رسیدن، ترسیم نمایند. چشم‌انداز یک رکن جهت‌ساز کلان، ساده و قابل‌انتقال را ترسیم کرده تا راهنمای گام‌های مختلف انتخاب، اکتساب و سیاست‌گذاری فناوری باشد.

در ادبیات مدیریت راهبردی، چشم‌انداز بر اساس مدل‌های مختلفی (به‌عنوان بخشی از فرآیند تدوین برنامه راهبردی توسعه) تعریف شده است. اگرچه غالب این مدل‌ها برای تدوین راهبرد در سطح بنگاه طراحی شده‌اند، اما می‌توان نتایج حاصل از بررسی این تعاریف متفاوت را برای طراحی چشم‌انداز در سطح ملی استفاده نمود. برای این منظور، در ادامه چند نوع از مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه که به تعریف چشم‌انداز پرداخته‌اند، بررسی می‌گردند.

۳-۱-۲-۱- مدل دیوید

بر اساس این مدل، بیانیه چشم‌انداز در بنگاه‌ها بر اساس پاسخ به سؤال «ما چه می‌خواهیم بشویم و به کجا می‌خواهیم برسیم؟» توسعه داده می‌شود. بیانیه چشم‌انداز باید کوتاه و ترجیحاً یک جمله باشد و از همه ذینفعانی که ممکن است ورودی و اطلاعاتی برای تدوین آن در اختیار داشته باشند، استفاده شود. برای مثال، چشم‌انداز یک مؤسسه حسابداری مدیریت عبارت است از: «رهبری جهانی در آموزش، تأییدکننده و گواهی دهنده و اجرای حسابداری مدیریت و مدیریت مالی».
بر اساس نظر دیوید، چشم‌انداز به‌عنوان یکی از فرآیندهای ابتدایی در تدوین راهبرد، به‌عنوان ورودی‌های اولیه و عناصر بالادست در تمام قدم‌های این فرآیند نقش ایفا می‌نماید. تدوین چشم‌انداز نیز با بررسی محیط داخل و خارج و نیز با دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت می‌پذیرد [61].

۳-۱-۲-۲- مدل 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 چشم‌انداز خود پی ببرید [۹].

۳-۱-۲-۳- مدل پاتریک لوئیس

چشم‌انداز به سؤال «چه چیزی می‌خواهیم ایجاد کنیم» پاسخ می‌دهد و یک تصویر ایده آل، واحد و جذاب از آینده ترسیم می‌نماید. چشم‌انداز تصویر جذابی از وعده‌هایی است که شور و اشتیاق و هیجان را در افراد و هنگام کار القا و الهام می‌کند. به زبان ساده چشم‌انداز مشترک، یک تصویر شفاف و مورد تائید ذینفعان می‌باشد که آینده را مشخص می‌کند.
به‌منظور مشخص و روشن نمودن و نیز تعریف فردای جدید، چشم‌انداز ساختاری را که راهنمای تمام تصمیم‌گیری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و کارها باشد، فراهم می‌آورد. چشم‌انداز برای رسیدن به آینده‌ای که معمولاً کمی دورتر از دسترس می‌باشد، بر روی قوت‌های سازمانی و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز می‌کند. چشم‌انداز یک نیروی محرک است که باعث یک تلاش و جستجوی بی‌پایان برای موفقیت و برتری می‌شود [62].

۳-۱-۲-۴- مدل استوارت

توماس استوارت قالبی را طراحی کرده که تدوین چشم‌انداز را برای هر جامعه‌ای تسهیل می‌نماید [۹]:

- جایگاه جامعه (رهبر، پیشرو، جهانی،...)
- کالا و خدمات (نوآور، ارزان، متنوع، باکیفیت،...)
- مشتریان و ذی‌نفعان (بازار جهانی، خلق ارزشی به ذینفعان،...)

- صنعت

۵-۲-۱-۳- مدل برت نینوس

برت نینوس روش نسبتاً پیچیده ولی جامع‌تری را برای تدوین چشم‌انداز معرفی کرده است که این روش شامل مراحل زیر می‌باشد [۹]:

- وضعیت فعلی جامعه، کسب‌وکار و نحوه فعالیت
- تعیین مرزهای چشم‌انداز (شناسایی ذینفعان و نیازهای آنان)
- تعیین جایگاه جامعه در محیط آتی
- ارزیابی و انتخاب چشم‌انداز نهایی

۶-۲-۱-۳- مدل آلیسون

در این مدل، چشم‌انداز تصویر راهنمای موفقیت است. بیانیه چشم‌انداز به سؤال «موفقیت چگونه است و شبیه چیست؟» جواب می‌دهد. چشم‌انداز باید گروه‌ها را به مبارزه و چالش بطلبد تا قابلیت‌هایشان را گسترش دهند و به اهدافشان برسند.
آلیسون در فرآیندی که برای مدیریت راهبردی طراحی نموده است، جایگاهی مشابه با دیوید برای تدوین مأموریت و چشم‌انداز قائل شده‌اند. او معتقد است که پس از کسب آمادگی و حصول مقدمات اولیه برنامه‌ریزی، اولین گام در فرآیند اصلی تدوین استراتژی (به‌عنوان رکن جهت‌ساز) باید تدوین چشم‌انداز مطلوب و آرمان باشد.
از نظر وی، بیانیه چشم‌انداز مؤثر باید هم چشم‌انداز داخل و هم چشم‌انداز خارجی را در نظر بگیرد. چشم‌انداز خارجی بر روی اینکه اگر بنگاه به اهدافش برسد جهان چگونه بهبود می‌یابد، تغییر می‌کند و متفاوت می‌شود، تمرکز دارد. هنگامی‌که چشم‌انداز خارجی بیان نمود که بنگاه چگونه برنامه‌ای برای تغییر جهان دارد، چشم‌انداز داخلی تعیین می‌شود.
در این مدل پیش‌نویس بیانیه چشم‌انداز با ایده‌ها و نگرشی که از بحث‌ها و گفتگوها بیرون می‌آید و نیز احساس و بینش مشترکی که از مسیر (جهت) و انگیزه ایجاد می‌شود، آغاز می‌گردد. تمامی ذینفعان باید در طوفان فکری ابتدایی و نیز بعضی از گفتگوها حاضر باشند [63].

۷-۲-۱-۳- مدل لاتام

در این شیوه هشت گام معرفی شده که به شرح زیر می‌باشند [۹]:

- گام اول: جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بنیادین
- گام دوم: طوفان ذهنی
- گام سوم: حذف اضافات
- گام چهارم: تدوین سند اولیه
- گام پنجم: تصحیح بیانیه
- گام ششم: آزمون معیارها
- گام هفتم: کسب تأیید یا تصحیح
- گام هشتم: ابلاغ چشم‌انداز

۸-۲-۱-۳- مدل کیگلی

به‌زعم کیگلی، چشم‌انداز رهبر، بر درک گذشته و حال دلالت دارد و مهم‌تر از آن، نقشه راهی 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 هریک از ارکان چشم‌انداز، کیگلی در فرآیندی با نام فرآیند برنامه‌ریزی رایزنی رهبری، نحوه تدوین چشم‌انداز را در گام‌های زیر خلاصه می‌کند [۹]:

- انتخاب افراد شرکت‌کننده در تدوین چشم‌انداز
- تدارک جلسه آشنایی مختصری برای تمام افراد گروه مرکزی
- تهیه و ارسال پرسشنامه برای هر یک از اعضا و گروه‌های مرتبط
- مصاحبه با افرادی که این شیوه را ترجیح می‌دهند- جمع‌آوری پاسخ‌ها و دسته‌بندی پاسخ‌های مشابه
- خلاصه کردن نتایج
- آماده‌سازی و ارسال کتاب داده‌ها برای اعضای گروه مرکزی

۹-۲-۱-۳- تدوین اصول ارزشی

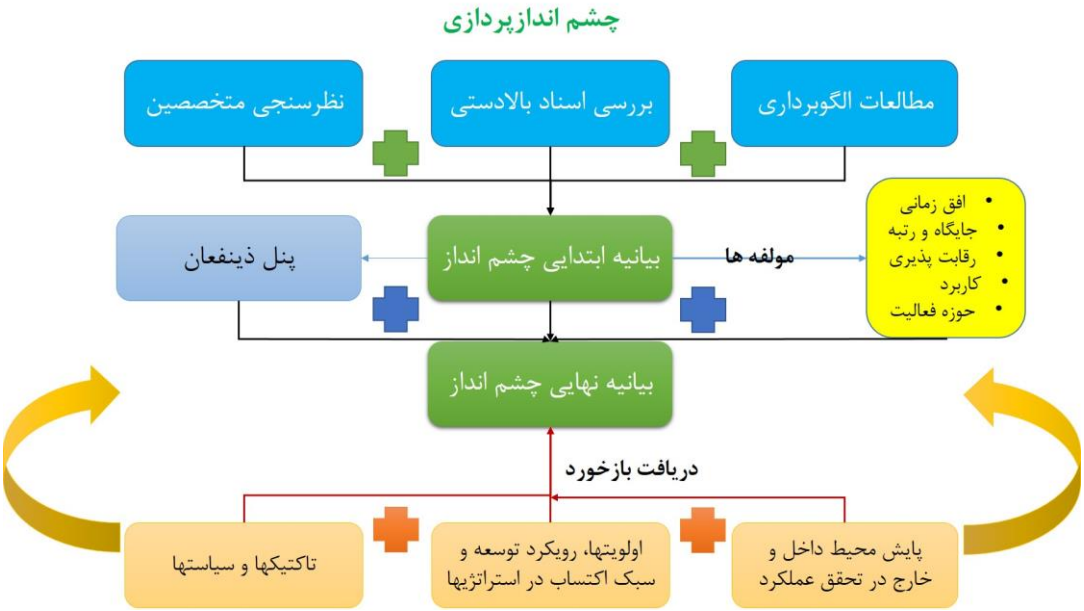
اصول ارزشی، اصول، باورها و ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فناورانه هستند که بر نوع نگاه به توسعه فناوری تأثیر می‌گذارد. درواقع این اصول به‌عنوان خط قرمزهایی هستند که از اعتقادات و باورهای کنشگران و ذینفعان توسعه فناوری برخاسته و ابعاد چشم‌انداز را شفاف و مرزبندی می‌کند. به‌عبارت‌دیگر چشم‌انداز باید با در نظرگیری ملاحظات این اصول ترسیم گردد [۹].

۱۰-۲-۱-۳- مدل مک میلان

چشم‌انداز تصویر ذهنی قوی از آنچه که ما در آینده می‌خواهیم بشویم، می‌باشد. چشم‌انداز ریشه در واقعیت دارد، اما روی آینده تمرکز می‌نماید. تدوین چشم‌انداز، فرآیندی شامل روشن نمودن ارزش‌ها، تمرکز بر روی مأموریت و گسترش افق با استفاده از بیانیه چشم‌انداز است. تدوین چشم‌انداز، راه و روش‌های خلاقانه برای چالش‌های کسب‌وکار فراهم می‌آورد و جرقه ارزیابی و یادگیری پیوسته در سازمان را به وجود می‌آورد.

از نظر وی دلایل تدوین چشم‌انداز سازمان عبارتند از: هماهنگی و متناسب کردن کار افراد مختلف، کمک به همه برای تصمیم‌گیری، ایجاد اصول و پایه‌ای برای برنامه‌ریزی کسب‌وکار، به چالش کشیدن اوضاع راحت و غیر ایده‌آل شرایط فعلی و ایجاد رفتارهای متجانس و موافق در افراد به‌صورت قابل‌توجه [62].

با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز کسب آگاهی از مطالعات تطبیقی صورت پذیرفته، ترسیم افق چشم‌انداز در پنج مرحله مطابق با شکل ۳-۱ به انجام می‌رسد. در این سند جهت چشم‌انداز پردازی از مدل مک‌میلان بهره گرفته شده است که در ادامه، ورودی‌ها و شیوه پردازش نتایج و حصول چشم‌انداز ارائه شده است.



شکل ۳-۱: فرآیند تدوین چشم انداز

۳-۱-۲-۱۱- جمع‌آوری ورودی‌های اولیه ترسیم چشم انداز

جمع‌آوری ورودی‌های لازم برای ترسیم چشم‌انداز از راه‌های زیر صورت می‌پذیرد:

- بررسی اسناد بالادستی: پیش از شروع هر بحث دیگر تدوین چشم‌انداز، ضروری است تا با بررسی اسناد بالادستی، طرح‌ها و راهبردهای کلان تدوین شده در سطوح بالاتر و اصول ارزشی توسعه فناوری موجود در جامعه، تصویری از بستر فعلی و نگاه‌های آینده پیرامون فناوری حاصل گردد. این تصویر در شکل دادن به مؤلفه‌های چشم‌انداز نقش مهمی بر عهده دارد.
- نظرسنجی متخصصین: بیان یک نتیجه بر پایه یک مجموعه شواهد یا انتظارات از آینده که از اطلاعات و منطق افراد آشنا با موضوع موردنظر حاصل می‌شود، یکی دیگر از راه‌های تأمین ورودی‌های لازم برای ترسیم افق چشم‌انداز است. اندیشه‌ها و تفکرات خبرگان حوزه فناوری از آینده پیش رو سهم قابل‌توجهی در ترسیم چشم‌انداز دارد.
- مطالعات الگوبرداری: استفاده از تجارب دیگر کشورها در زمینه توسعه فناوری‌های راهبردی روشی دیگر در ترسیم چشم‌انداز است. در این زمینه می‌توان از آینده‌های ترسیم شده در سایر کشورها، مانند هدف‌گذاری‌های بلندمدت، حوزه‌های کاربردی قابل تأکید و غیره برای تعیین افق چشم‌انداز داخلی بهره برد.

۳-۱-۲-۱۲- تدوین بیانیه اولیه چشم انداز

بیانیه اولیه چشم‌انداز توسط تحلیل‌گران و مشاوران تهیه می‌شود. در این مرحله بر مبنای ورودی‌های حاصل از مراحل قبل (هوشمندی فناوری، اطلاعات اولیه، اصول ارزشی)، به ترسیم افق چشم‌انداز در چارچوب اصول ارزشی تدوین شده پرداخته می‌شود. با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز با بهره‌گیری از مطالعات تطبیقی تدوین چشم‌انداز، لازم است تا به

مؤلفه‌های ضروری چشم‌انداز و نیز ویژگی‌های افق چشم‌انداز در سطح ملی توجه شود. بر این اساس، ویژگی‌های یک چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی به شرح زیر است:

- تدوین چشم‌انداز باید با بررسی محیط داخل و خارج و با نیز دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت گیرد.
- چشم‌انداز باید به تصویری شفاف و مورد تأیید همه ذینفعان منجر شود.
- چشم‌انداز باید در رسیدن به آینده‌ای که معمولاً کمی دورتر از دسترس می‌باشد، بر روی قوت‌ها و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز کند.
- در تدوین چشم‌انداز هم باید بر چگونگی تغییر محیط در خارج (چشم‌انداز خارجی) و نیز تصویر مطلوب در محیط داخل (چشم‌انداز داخلی) تمرکز صورت پذیرد.

همچنین، یک افق چشم‌انداز ملی باید دربرگیرنده مؤلفه‌های زیر باشد[1]:

- درنظرگیری بعد زمان و افق برنامه‌ریزی برای ایده‌آل‌های ذکر شده در بیانیه چشم‌انداز
- اشاره به جایگاه و رتبه عددی توانمندی فناورانه در منطقه و جهان
- ذکر اهداف بالادستی تعیین شده در اسناد قبلی
- درنظرگیری ملاحظات اصول ارزشی
- توجه به سطح رقابت‌پذیری فناوری تولیدی
- تعیین حوزه کاربرد فناوری
- اشاره به نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه
- تعریف کلی حوزه فعالیت (طراحی، تولید، به‌کارگیری)

۳-۱-۲-۱۳- تأیید و نهایی سازی بیانیه اولیه چشم انداز

چشم‌انداز تعریف شده توسط تحلیل‌گران و مشاوران در مرحله قبل باید برای نهایی شدن به تأیید کمیته راهبری مسئول توسعه فناوری، متشکل از خبرگان صنعت، دولت و دانشگاه برسد. این تأیید علاوه بر نمایش صحت آینده ترسیم شده، به همگرا شدن نظرات خبرگان در مورد هریک از مؤلفه‌های آینده فناوری نیز منجر می‌شود.

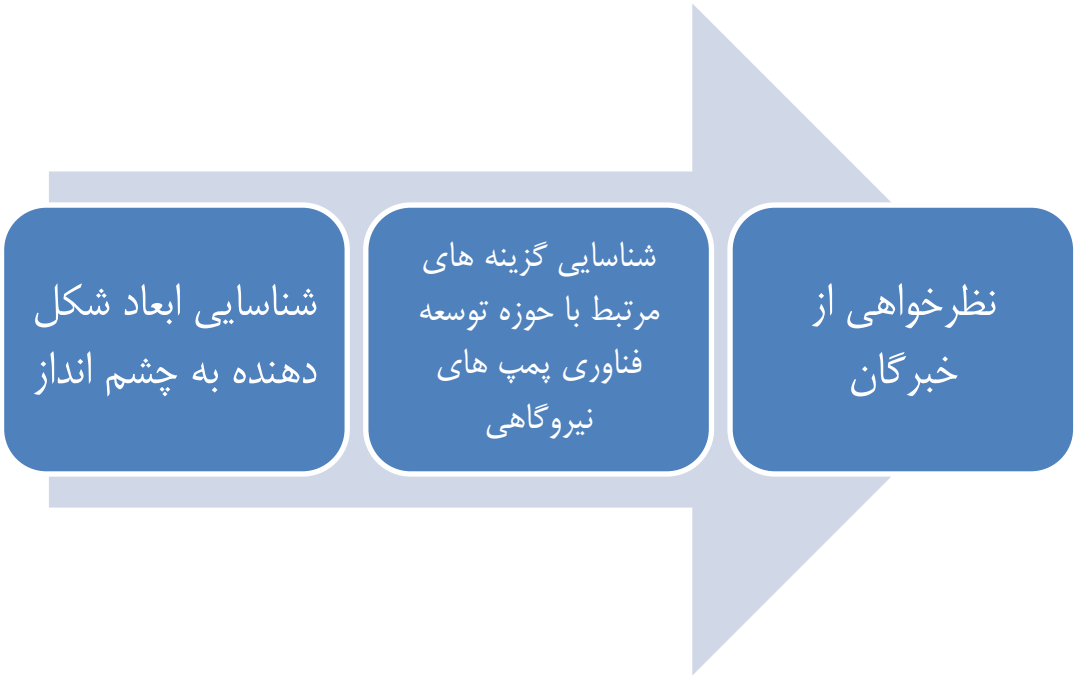
۳-۱-۲-۱۴- دریافت بازخورد از سایر مراحل

ترسیم چشم‌انداز باید در تعامل با گام‌های بعدی صورت پذیرد. به‌عبارت‌دیگر، چشم‌انداز تعریف شده در این بخش بدون دریافت بازخورد از سایر گام‌ها می‌تواند ماهیتی خارج از واقعیت و غیرعملیاتی داشته باشد؛ بنابراین در این گام لازم است تا چشم‌انداز اولیه تعریف شده با انجام هر گام (تعیین راهبردهای کلان، تحلیل عملکرد و وضع سیاست‌ها) موردبازنگری قرار گرفته و تغییرات لازم در مؤلفه‌های آن صورت پذیرد [62].

[1] یک بیانیه چشم‌انداز لزوماً دربرگیرنده تمام این مؤلفه‌ها باهم نیست. این‌ها درحقیقت مجموعه مؤلفه‌هایی هستند که وجود بعضی از آن‌ها مانند افق چشم‌انداز در بیانیه ضروری و اشاره به بعضی دیگر مانند جایگاه فناوری اختیاری است.

۳-۱-۳- فرآیند تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

فرآیند تدوین چشم‌انداز در این پروژه تفاوت ماهوی با فرآیند تشریح شده در فصل پیش نداشته و شامل دو بخش خواهد بود ابتدا ابعاد شکل‌دهنده به بیانیه چشم‌انداز و گزینه‌های قابل‌طرح در هر یک از ابعاد شناسایی شده و سپس در موارد مقتضی طی پرسشنامه‌ای نظرات خبرگان در ارتباط با ابعاد مذکور دریافت می‌شود.



شکل ۳-۲: فرآیند کلی تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

مطابق با مراحل پیش‌گفته در فصل اول، ابعاد سازنده بیانیه چشم‌انداز با توجه به ویژگی‌های موضوع توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی به‌طور اجمالی شامل افق زمانی چشم‌انداز، جایگاه و رتبه، اصول ارزشی، حوزه کاربرد، سطح رقابت‌پذیری، حوزه فعالیت و نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه فناوری و حوزه فعالیت می‌باشند.

۱-۳-۱-۳- افق زمانی چشم انداز

مطابق با آنچه در بخش ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مورداشاره قرار گرفت و با نظرخواهی از خبرگان، به منظور دستیابی به اهداف یک افق زمانی بلندمدت ۱۰ ساله در این مطالعه در نظر گرفته خواهد شد؛ بنابراین افق زمانی چشم‌انداز، افق ۱۴۱۰ خواهد بود.

۲-۳-۱-۳- حوزه کاربرد و سطح رقابت پذیری

همان‌طور که پیش‌ازاین در بخش ابعاد موضوع و محدوده مطالعات اشاره شد، محدوده مطالعه در سطح ملی بوده و نیروگاه‌های حرارتی دارای سیکل بخار یعنی نیروگاه‌های بخار و سیکل ترکیبی را شامل می‌شود. نیروگاه‌های تجدید پذیر

همچون برق‌آبی، زمین‌گرمایی و هسته‌ای در این پروژه جای ندارند. درنتیجه مطابق این محدوده مطالعه، چهار گزینه برای حوزه کاربرد و سطح رقابت پذیری قابل‌طرح می‌باشند که عبارتند از:

- نیروگاه‌های حرارتی خصوصی کشور
- نیروگاه‌های حرارتی دولتی کشور
- نیروگاه‌های حرارتی منطقه غرب آسیا (در حوزه‌های صادراتی)
- نیروگاه‌های حرارتی در سطح جهان (در حوزه‌های صادراتی)

۳-۳-۱-۳- نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی حاصل از توسعه فناوری

به‌طورکلی نتایج و مزایای حاصل از توسعه فناوری در حوزه پمپ‌های نیروگاهی ناظر بر مواردی چون خودکفایی و افزایش سهم محصولات داخلی در بازار کشور، رقابت پذیری، توسعه بازارهای بین‌المللی و افزایش صادرات، کاهش هزینه های ساخت، تعمیر و نگهداری، افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی، ارتقای حوزه پژوهش و ارتباط میان صنعت و دانشگاه، اشتغال‌زایی، افزایش ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان، دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری، ارتقای دانش و تخصص نیروی انسانی در حوزه های طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری و بهره برداری و توسعه ارتباط با شرکت های دانش بنیان حوزه برق و انرژی می‌باشند.

۳-۳-۱-۴- اهداف ذکر شده در اسناد بالادستی

بررسی اسناد بالادستی حاکی از این بود که به طور مشخص اهدافی در خصوص توسعه فناوری پمپ‌ها تعیین نشده است. با این وجود، اهداف و مواردی که در اسناد بالادستی به نوعی می‌توانند با موضوع این نقشه راه مرتبط باشند در ادامه ذکر شده‌اند.

جدول ۳-۱: بررسی اسناد بالادستی

نام سند	بخش مربوط به صنعت برق
سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو	بهره‌گیری از فناوری نوین بهره‌وری نیروی انسانی خلاق و متخصص افزایش خوداتکایی حمایت از مراکز پژوهشی مرتبط با فناوری‌های نوین توسعه ظرفیت تولید برق متناسب با نیاز
مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور	افزایش امنیت انرژی (پدافندی ـ فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا باکیفیت مناسب
سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات برای تبدیل شدن کشور به قطب تبادل و تأمین انرژی منطقه
سیاست‌های کلی نظام در زمینه انرژی	ارتقاء جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علم و فناوری جهان اسلام

نام سند	بخش مربوط به صنعت برق
	دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته
سیاست‌های کلی نظام در زمینه علم و فناوری	استفاده از فناوری‌های جدید و انتقال تکنولوژی دستیابی به روش‌ها و فناوری‌های نوین جهانی (انتقال فناوری و دانش فنی به کشور) و همگام‌سازی با روند سریع پیشرفت جهانی به‌روزرسانی 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
سند راهبردی انرژی کشور	توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات برای تبدیل شدن کشور به قطب تبادل و تأمین انرژی منطقه خوداتکایی در توسعه و کاربرد فناوری‌های پیشرفته با دانش‌بنیان نمودن حوزه انرژی ارتقاء امنیت عرضه انرژی مطمئن، پایدار و باکیفیت
طرح جامع انرژی کشور	ارتقاء امنیت عرضه انرژی مطمئن، پایدار و باکیفیت مناسب
سند اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری مصوب کمیسیون‌های تخصصی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	استفاده از فناوری‌های جدید و انتقال تکنولوژی دستیابی به روش‌ها و فناوری‌های نوین جهانی (انتقال فناوری و دانش فنی به کشور) و همگام‌سازی با روند سریع پیشرفت جهانی به‌روزرسانی 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
نقشه جامع علمی کشور	تثبیت جایگاه کشور در فناوری‌های نوین

به‌طور خلاصه می‌توان عناوین کلی که از قوانین و اسناد بالادستی به‌دست‌آمده را در موارد ذیل بیان کرد:

- شناسایی فناوری‌های نوین و انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های دارای مزیت نسبی
- دستیابی به فناوری‌های نیروگاهی با تکنولوژی بالا
- افزایش ایمنی و قابلیت ایمنی نیروگاه‌ها
- توسعه ظرفیت‌های تولید و نوسازی و بهینه‌سازی آن‌ها

۵-۳-۱-۳- حوزه فعالیت

حوزه فعالیت شامل حوزه‌های طراحی، ساخت، تست و بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپ‌های نیروگاهی است. توسعه فناوری در این حوزه‌ها خود شامل سطوح توانمندی مختلف از سطح به‌کارگیری فناوری‌های مناسب در حوزه تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری تا بومی‌سازی فناوری‌های دارای اولویت می‌باشد. در اینجا منظور از بومی‌سازی، توسعه درون‌زای حوزه‌های فناوری دارای اولویتی است که کشور در افق برنامه امکان توسعه آن‌ها را دارد.

۶-۳-۱-۳- تحلیل نظرات خبرگان در ارتباط با بیانیه چشم انداز

پس از شناسایی ابعاد و گزینه‌های قابل‌طرح، ذیل هر یک از ابعاد بیانیه چشم‌انداز، لازم است در ارتباط با برخی از گزینه‌ها که نیازمند قضاوت کارشناسی بیشتری برای انتخاب هستند، پرسشنامه‌ای تهیه شده و سپس این گزینه‌ها با نظرخواهی از خبرگان نهایی شوند. پرسشنامه چشم‌انداز توسعه فناوری طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپ‌های نیروگاهی در پیوست ارائه شده است. همچنین مشخصات خبرگان پاسخ‌دهنده به این پرسشنامه در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۲: جمع‌بندی ابعاد و گزینه‌های پیشنهادی در تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپ‌های نیروگاهی

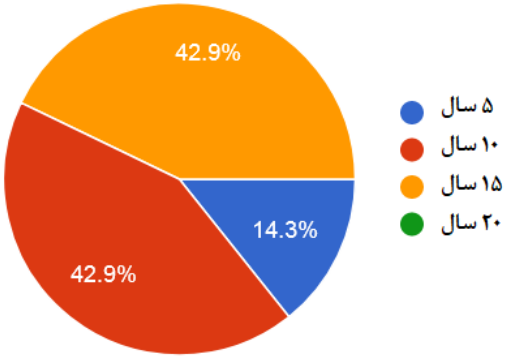
ابعاد مندرج در چشم‌انداز توسعه فناوری طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپ‌های نیروگاهی	گزینه‌های پیشنهادی
افق برنامه‌ریزی	۱۴۰۵ ۱۴۱۰ ۱۴۱۵ ۱۴۲۰
حوزه کاربرد فناوری و سطح رقابت پذیری	نیروگاه‌های حرارتی خصوصی کشور نیروگاه‌های حرارتی دولتی کشور نیروگاه‌های حرارتی منطقه غرب آسیا (در حوزه‌های صادراتی) نیروگاه‌های حرارتی در سطح جهان (در حوزه‌های صادراتی)
اهداف ذکر شده در اسناد بالادستی و نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه فناوری	خودکفایی و افزایش سهم محصولات داخلی در بازار کشور رقابت پذیری، توسعه بازارهای بین‌المللی و افزایش صادرات کاهش هزینه های ساخت، تعمیر و نگهداری افزایش راندمان و کاهش مصرف انرژی ارتقای حوزه پژوهش و ارتباط میان صنعت و دانشگاه اشتغال‌زایی افزایش ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری ارتقای دانش و تخصص نیروی انسانی در حوزه های طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری و بهره برداری توسعه ارتباط با شرکت های دانش بنیان
تعریف کلی حوزه فعالیت	به‌کارگیری تا بومی‌سازی فناوری‌های مناسب در حوزه: طراحی ساخت

	تست تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری

جدول ۳-۳: مشخصات پاسخ دهندگان به پرسشنامه‌ها

ردیف	نام	مسئولیت	سابقه (سال)
۱	مهندس فرهاد خسروی	رئیس مرکز توسعه فناوری طراحی و ساخت قطعات و تأمین ملزومات واحدهای تولید توان	۲۱
۲	مهندس بهزاد کریم زاد شریفی	کارشناس فروش شرکت پمپیران	۱۸
۳	دکتر سید مجید طالبی زنوزی	کارشناس کنترل کیفیت شرکت پمپیران	۸
۴	مهندس وحید صفدرخانی	معاون مهندسی شرکت مدیریت تولید برق یزد	۲۲
۵	مهندس محمدصادق باقرپور	مجری طرح توسعه فناوری توربین‌های بخار نیروگاهی	۱۶
۶	دکتر علی صالحی شبستری	مدیر پروژه تهیه نقشه راه توسعه فناوری طراحی، ساخت، تست، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری پمپ‌های نیروگاهی	۹
۷	دکتر علیرضا بزرگی	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اراک	۱۰

پرسش نخست در پرسشنامه در مورد افق زمانی معنی داری بود که خبرگان برای نقشه راه متصور بودند. همان‌طور که در شکل ۳-۳ مشاهده می‌گردد، بیش از پنجاه درصد خبرگان، افق زمانی ۱۰ سال و یا کمتر را انتخاب کردند. بنابراین با توجه به میانگین وزنی نظر خبرگان، افق زمانی ۱۰ سال برای چشم انداز توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی انتخاب شد.



شکل ۳-۳: افق زمانی چشم انداز توسعه فناوری پمپ های نیروگاهی

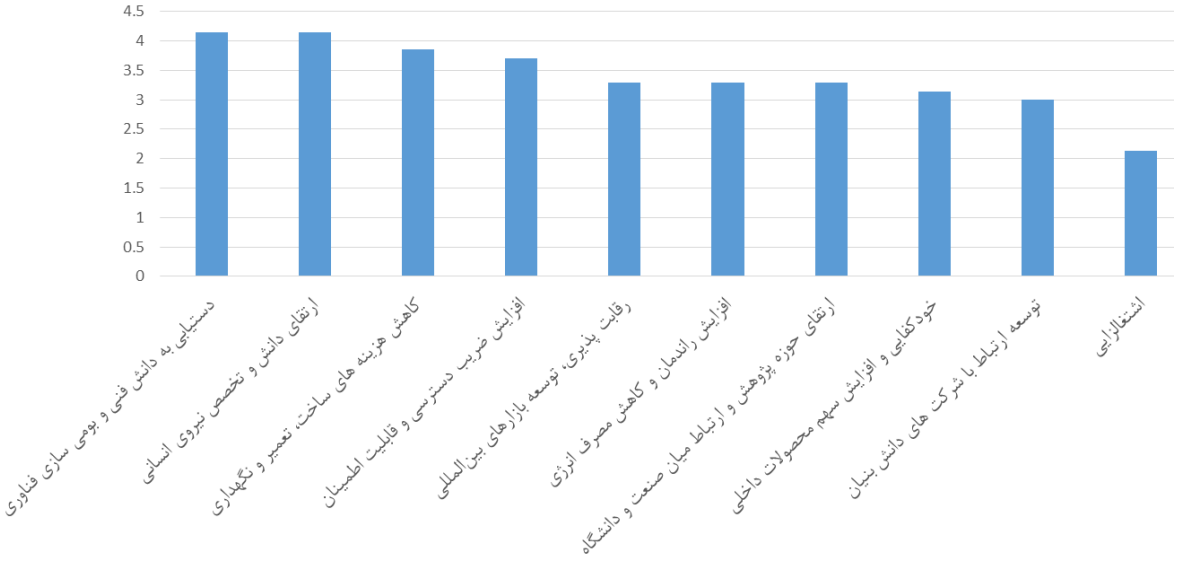
در پرسش دوم از خبرگان خواسته شد با دادن امتیاز صفر تا پنج، حوزه‌های چهارگانه کاربرد و رقابت پذیری فناوری‌های پمپ‌های نیروگاهی را اولویت بندی کنند. میانگین وزنی این امتیازها در جدول ۱-۳ آمده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد، از نظر خبرگان اولویت اصلی، تأمین نیاز نیروگاه‌های داخل کشور (چه دولتی و چه خصوصی) است و سایر گزینه‌ها امتیاز پایین‌تری دارند.

جدول ۳-٤: اولویت حوزه کاربرد و رقابت پذیری فناوری

حوزه کاربرد و رقابت پذیری فناوری	میانگین وزنی امتیاز
نیروگاه‌های حرارتی دولتی کشور	۴.۱۴

نیروگاه‌های حرارتی خصوصی کشور	۳.۷۱
نیروگاه‌های حرارتی منطقه غرب آسیا (در حوزه‌های صادراتی)	۲.۸۶
نیروگاه‌های حرارتی در سطح جهان (در حوزه‌های صادراتی)	۱.۲۹

نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه فناوری نیز در پرسش بعدی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اولویت بندی موارد ذکر شده در جدول ۳-۱ توسط خبرگان (با امتیازدهی از صفر تا پنج)، میانگین وزنی امتیاز هر مورد محاسبه و در نمودار ۳-۴ رسم شد. همان طور که در این نمودار قابل مشاهده است، دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری، ارتقای دانش و تخصص نیروی انسانی، کاهش هزینه های ساخت، تعمیر و نگهداری و افزایش ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان به‌عنوان اولویت‌های اول تا چهارم مطرح شده‌اند.



شکل ۳-٤: اولویت نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در پرسش چهارم، اولویت حوزه‌های کلی فعالیت با استفاده از میانگین وزنی امتیاز داده شده توسط نخبگان تعیین شد. همان طور که در جدول ۳-۴ مشاهده می‌شود، توسعه فناوری تست پمپ‌های نیروگاهی حائز اولویت بالایی تشخیص داده نشد

جدول ۳-۵: اولویت حوزه فعالیت در توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

حوزه کاربرد و رقابت پذیری فناوری	میانگین وزنی امتیاز
ساخت	۴
طراحی	۳.۴۳
تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	۳.۲۹
تست	۲.۷۱

در پایان با توجه به نظرات خبرگان و ابعاد مختلف چشم‌انداز، پیش‌نویس اولیه چشم‌انداز توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی در افق ۱۴۱۰ به‌صورت زیر مطرح شد که شامل افق زمانی، توجه به نتایج کلی، حوزه کاربرد و سطح فعالیت می‌شود.

" در افق ۱٤۱۰، با دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی فناوری در حوزه طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های نیروگاهی و با ارتقای دانش و تخصص نیروی انسانی، کاهش هزینه-

ها و افزایش ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان، جمهوری اسلامی ایران توانمند در زمینه ساخت طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های نیروگاهی مبتنی بر فناوری‌های مناسب بوده و توان تأمین نیازهای داخلی کشور در این حوزه را خواهد داشت. "

۲-۳-تعیین اهداف کلان توسعه فناوری

۱-۲-۳- مقدمه

یکی دیگر از گام‌های اساسی در تعیین ارکان جهت‌ساز، 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 "برای 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، اهداف بلندمدتی را دنبال می‌کنند و درنتیجه، برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و فعالیت‌های خود را بر اساس آن به‌صورت دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر انجام دهند.

۲-۲-۳- روش تدوین اهداف کلان

در روش‌شناسی پیشنهادی برای تدوین اسناد توسعه فناوری، 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 فناوری است. در طرف مقابل، رویکرد پایین به بالا نگاهی مسئله‌محور[1] به توسعه فناوری دارد. با استفاده از این رویکرد تمام مسائل و مشکلات موجود در مسیر توسعه فناوری نیز مورد هدف تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.
در منابع برنامه‌ریزی راهبردی در سطح بنگاه، مطالعات مختلفی با موضوعیت تدوین حوزه‌های اهداف تعیین شده است. در ادامه به‌طور خلاصه به بررسی این مدل‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۲-۲-۳- مدل کارت امتیازی متوازن

در مدل کارت امتیازی متوازن [۱۴]، حوزه اهداف عبارتند از:

- منظر مالی (سودآوری، رشد درآمد و افزایش بهره‌وری)
- منظر مشتری (تعین مشتریان مخاطب، تعیین ارزش‌های پیشنهادی بنگاه با توجه به مشتریان)
- منظر فرایندهای داخلی (روابط با تأمین‌کنندگان، تصمیم‌گیری در مورد 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)

[1] Issue-based

۲-۲-۳- مدل پیرس و رابینسون

در مدل پیرس و رابینسون، حوزه اهداف عبارتند از:

- توجه به مشتری، نوآوری، بهره‌وری
- توجه به بخش مالی، منابع انسانی، لحاظ کردن محیط خارجی [62]

۳-۲-۳- مدل ترکیبی فیلیپس

حوزه‌های اهداف بر اساس مدل ترکیبی فیلیپس عبارتند از:

- 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)
- منابع انسانی (ایجاد انگیزه برای ارائه کار بهتر)
- مسئولیت‌های اجتماعی (حفظ محیط‌زیست و حفظ ایمنی و بهداشت محیط کار)
- منابع اولیه (تلاش برای تأمین مواد اولیه موردنیاز از داخل کشور) [۱۰]

۴-۲-۳- مدل اعرابی

حوزه‌های اهداف بر اساس مدل اعرابی عبارتند از:

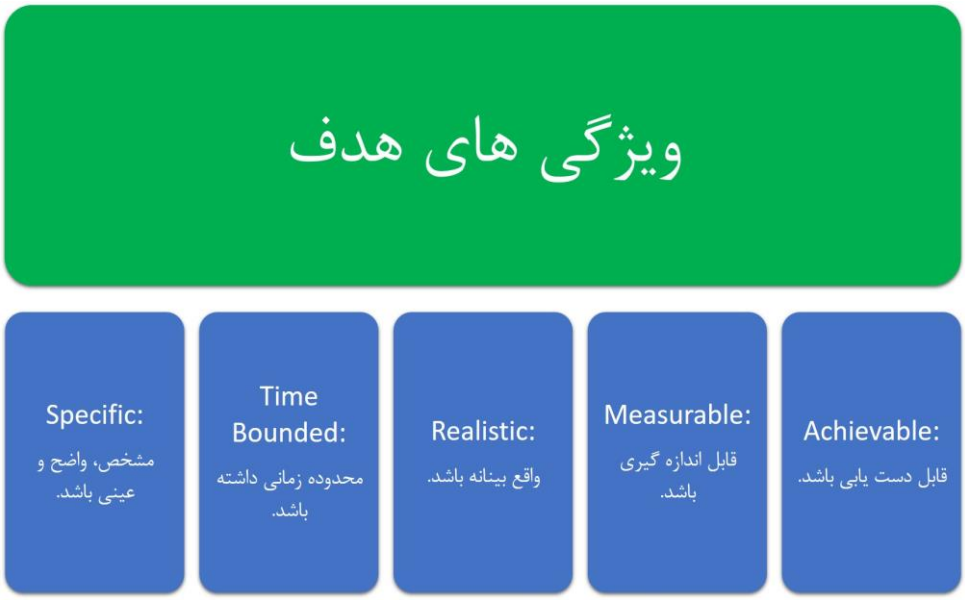
- سودآوری
- بهره‌وری (ساده‌سازی رویه‌ها و سیستم‌ها برمبنای استانداردهای جهانی)
- موضع رقابتی (ارتقای نقش و جایگاه در اقتصاد ملی، توسعه همکاری‌های بین‌المللی و منطقه‌ای)
- پیشرفت کارکنان (سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی و ظرفیت‌سازی)
- روابط کارکنان
- رهبری فناورانه
- مسئولیت اجتماعی (جلب رضایت، اعتماد و مشارکت خدمت‌گیرندگان) [۱۵]

۵-۲-۳- ویژگی‌های اهداف کلان

علاوه بر حوزه‌های هدف ذکر شده، ویژگی‌هایی نیز برای اهداف در سطح بنگاه در ادبیات اشاره شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- کاربردی بودن
- قابل اندازه‌گیری بودن
- در نظر داشتن محدودیت منابع
- قابل‌دستیابی بودن

- واضح بودن
- قابلیت انعطاف داشتن
- واقع‌گرایانه بودن
- قابل‌قبول بودن
- محدود به زمان بودن [62].



شکل ۳-۵: ویژگی‌های اهداف کلان

۳-۲-۲-۶- روش تدوین اهداف کلان توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

با در نظر داشتن مدل‌های هدف‌گذاری بنگاهی و نیز با کسب بینش از مطالعات موردی صورت پذیرفته، می‌توان به معرفی گام‌های ضروری در تدوین اهداف پرداخت. روش پیشنهادی زیر می‌تواند برای تدوین اهداف کلان در توسعه فناوری مورداستفاده قرار گیرد:

- **دریافت ورودی از نظرات خبرگان هم‌راستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی و هوشمندی فناوری**

در ابتدا لازم است تا از نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان توسعه فناوری 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 مؤلفه‌های موجود در چشم‌انداز و در نظر داشتن اصول ارزشی صورت می‌گیرد. درمجموع می‌توان این‌طور بیان نمود که اهداف ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

- **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 در نظر داشتن دو محور حوزه‌های هدف و ویژگی‌های هدف بپردازند. به‌عبارت‌دیگر، 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 می‌باشند، اما می‌توان یک حالت عمومی برای این حوزه‌ها ارائه نمود. این دسته‌بندی تنها به‌منظور سامان‌دهی ذهنی برنامه‌ریزان در تدوین اهداف اسناد راهبردی است و الزامی در پوشش همه‌جانبه آن‌ها در هر مورد مطالعاتی به وجود نمی‌آورد. به‌طورکلی چهار حوزه زیر را می‌توان به‌عنوان ابعاد ضروری تدوین اهداف کلان توسعه فناوری در سطح ملی در نظر داشت:

بازار: میزان موفقیت در تسلط نسبی بر بازار و افزایش سهم در بازار داخلی

ظرفیت‌سازی: رشد و پیشرفت دانش و فناوری، توسعه نیروی انسانی متخصص و افزایش ظرفیت و تیراژ تولید

مالی: کاهش هزینه‌های چرخه عمر، سودآوری و رشد درآمد

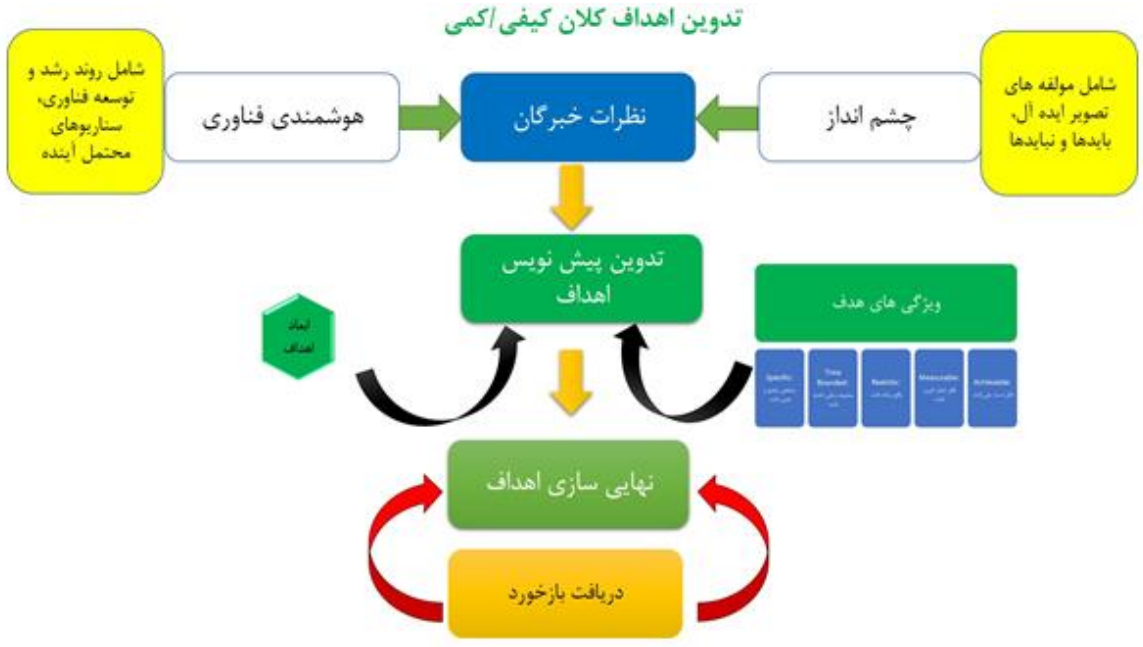
بهره‌وری (ارتقای راندمان، بهبود ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان)

- **تأیید و نهایی سازی 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.

- **دریافت بازخورد**

از آنجا که تدوین گام‌های مختلف سند در یک فرآیند تعاملی به وقوع می‌پیوندد، اهداف کلان تدوین شده در بخش قبل ممکن است با تدوین گام‌های بعدی سند دچار تغییر و اصلاح شوند. تدوین اهداف خرد (اهداف پایین به بالا) و دریافت تصویر واقعی‌تر از وضعیت موجود یکی از مهم‌ترین بازخوردهایی است که می‌تواند منجر به بازبینی در اهداف کلان شود. شکل زیر نمایش گرافیکی مراحل تدوین اهداف کلان را به‌طور خلاصه به نمایش می‌گذارد [62].



شکل ۳-٦: روش تدوین اهداف کلان

DOI:

۳-۲-۳- فرآیند تدوین اهداف کلان توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

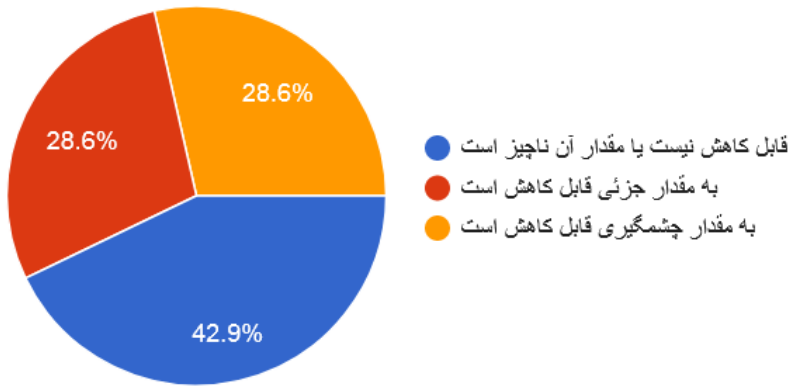
با تأکید بر مؤلفه‌های موجود در بیانیه چشم‌انداز و با در نظر داشتن اصول ارزشی می‌توان اهداف کلان را تدوین نمود. به‌عبارت‌دیگر می‌توان این‌طور بیان نمود که اهداف کلان، ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

به‌منظور نظرسنجی خبرگان در تدوین اهداف کلان، پرسشنامه‌ای جهت نظرسنجی از ۷ نفر از خبرگان صنعت پمپ‌های نیروگاهی تهیه شد. در این بعد، مهم‌ترین اهدافی که نیازمند نظرخواهی از خبرگان می‌باشند ناظر بر تبیین موقعیت عملکردی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی در افق چشم‌انداز می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر با توجه به این‌که اهداف کلان ترجمه چشم‌انداز در قالبی جزئی‌تر می‌باشند، توانمندی مطلوب کشور در طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌های نیروگاهی در چشم‌انداز می‌بایست به‌صورت درصد بومی‌سازی، ظرفیت تولید، مقدار کاهش هزینه‌های چرخه عمر و میزان بهبود راندمان و دسترس پذیری مشخص شود.

۳-۲-۳-۱- تحلیل نظرات خبرگان در ارتباط با ابعاد اهداف کلان

در پرسشنامه اهداف کلان توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی ابتدا پرسش‌های مربوط به میزان درصد بومی‌سازی قطعات و پمپ‌های اولویت دار نیروگاهی و ظرفیت تولید و ساخت داخل این پمپ‌ها تا افق ۱۴۱۰ مطرح شده‌اند که مطابق با نظر خبرگان (شامل افراد معرفی شده در جدول ۳-۲)، بیش از ۷۰ درصد پمپ‌های نیروگاهی و قطعات اصلی آن‌ها قابلیت ساخت داخل داشته و ظرفیت تولید پمپ‌های نیروگاهی در داخل کشور در پایان افق زمانی برنامه تا حدود ۷۰ درصد قابل افزایش است.

در رابطه با بحث مالی (کاهش هزینه چرخه عمر) پمپ‌های نیروگاهی، نظر اکثر خبرگان مبنی بر عدم امکان کاهش هزینه‌ها بود. پاسخ خبرگان به این سؤال در نمودار شکل زیر نشان داده شده است.



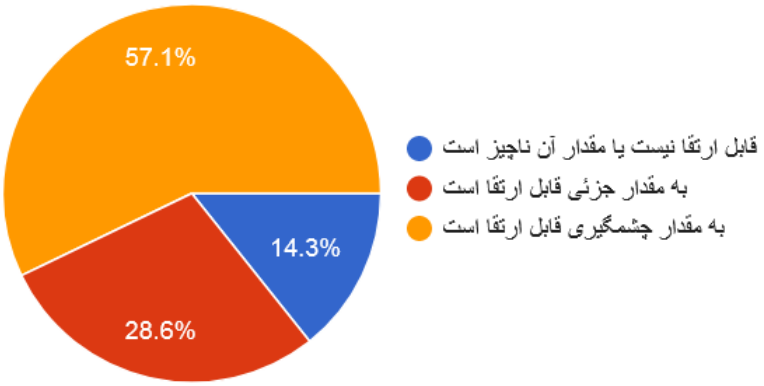
شکل ۳-۷: قابلیت کاهش هزینه چرخه عمر طی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

همان طور که در شکل زیر مشخص است، در خصوص راندمان انرژی مصرفی پمپ‌های نیروگاهی، اکثریت خبرگان قائل به امکان افزایش جزئی بودند.



شکل ۳-۸: قابلیت ارتقای راندمان مصرف انرژی طی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در خصوص ضریب دسترسی پمپ‌های نیروگاهی در حین بهره‌برداری، بیش از نیمی از خبرگان اعلام کردند که قابلیت ارتقای چشمگیری برای آن متصور هستند. در شکل زیر نظر خبرگان در این خصوص نشان داده شده است.



شکل ۳-۹: قابلیت ارتقای ضریب دسترسی طی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

۴-۲-۳- جمع‌بندی اهداف کلان

در این بخش پس از مرور مفاهیم و روش‌های تدوین اهداف کلان و بر اساس نظرات خبرگان صنعتی، اهداف کلان توسعه فناوری در جهت وصول چشم‌انداز ارائه شد. به‌طورکلی اهداف کلان در جهت افزایش سهم تولید داخل، افزایش ظرفیت تولید، بهبود جزئی راندمان و بهبود چشمگیر ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان پمپ‌های نیروگاهی می‌باشد.

۳-۳-تدوین راهبردهای توسعه فناوری

۱-۳-۳- مقدمه

در این بخش پس از بیان مفاهیم راهبرد ملی فناوری، فرآیند تدوین راهبرد توسعه فناوری طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های نیروگاهی تشریح خواهند شد. پس از آن روش اکتساب فناوری‌های منتخب تشریح خواهند گردید. لازم

به ذکر است مکانیسم انتخاب فناوری‌ها در این حوزه مبتنی بر فرآیند خاصی است که با توجه به اقتضائات این حوزه تدوین شده است.

۲-۳-۳- مرور ادبیات راهبرد توسعه فناوری

۱-۲-۳-۳- مفاهیم و روش اولویت‌بندی فناوری

تعیین اولویت‌های توسعه و انتخاب حوزه‌های برگزیده فناوری در قالب راهبرد پورتفولیو به انجام می‌رسد. زمانی که انتخاب اولویت‌ها موردنظر 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 حوزه‌های مهم و کلیدی فناورانه برای سرمایه‌گذاری و توسعه مشخص می‌گردد. نوع سؤالاتی که معمولاً جهت شناسایی فناوری‌های کلیدی پرسیده می‌شود از این قبیل است:

حوزه‌های کلیدی فناوری برای توسعه کدامند؟

فناوری‌های حیاتی که باید به‌وسیله منابع عمومی حمایت شوند، کدامند؟

چه معیارهایی باید به‌منظور انتخاب فناوری‌های حیاتی به کار گرفته شوند؟

شاخص‌های اندازه‌گیری هر معیار چیست؟

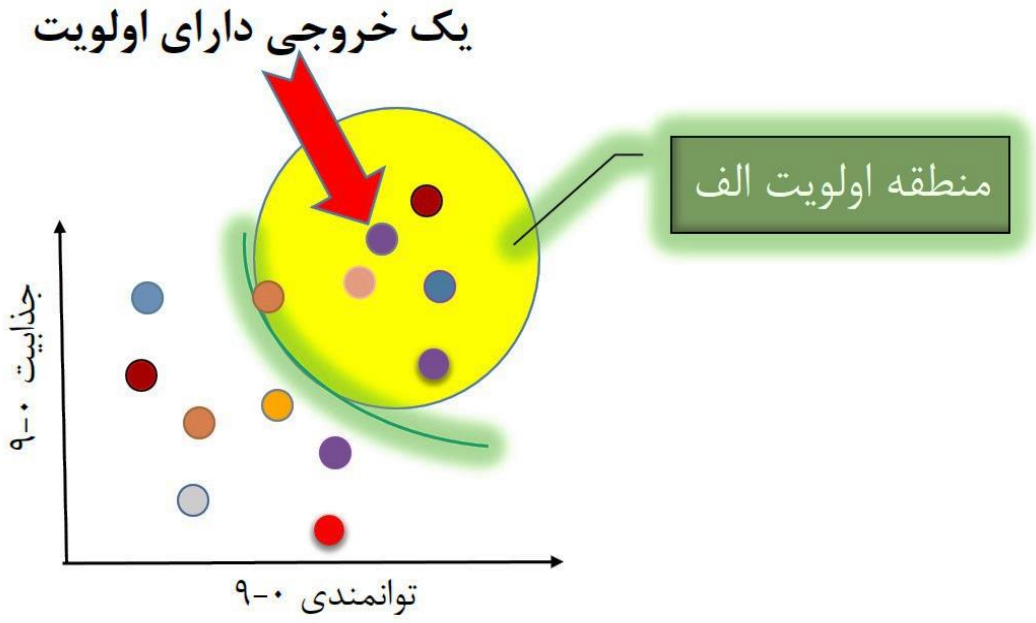
بر اساس معیارهای انتخاب شده، فناوری‌های اولویت‌دار برای توسعه و سرمایه‌گذاری کدامند؟

ازآنجاکه هدف راهبرد پورتفولیو اولویت‌بندی حوزه‌های فناورانه است، باید از روشی استفاده شود که قادر به برآوردن این مؤلفه باشد. از میان روش‌های مختلف، روش فناوری‌های حیاتی که به انتخاب فناوری‌های مهم با دو معیار جذابیت و امکان‌پذیری می‌پردازد، کاربرد فراوانی دارد. در این روش پیشنهادی، تعیین فناوری‌های برگزیده با استفاده از ماتریس دوبعدی جذابیت ـ توانمندی[1] صورت می‌پذیرد. [63]

واضح و مبرهن است که در هر سطح از شاخص‌ها و معیارهای خاص خود برای ارزیابی جذابیت (مطلوبیت) و یا توانمندی (امکان‌پذیری) استفاده خواهد شد.

[1] Bi-dimensional matrix of attractiveness-capability

DOI:



شکل ۳-۱۰: ارزیابی ماتریس جذابیت و توانمندی

در این روش، بر اساس دو دسته معیار جذابیت و توانمندی به مقایسه میان گزینه‌های مختلف پرداخته می‌شود. معیارهای جذابیت بیان‌کننده ابعاد ذاتی از گزینه‌ها است که برای سیاست‌گذار دارای مطلوبیت هستند. در مقابل، معیارهای توانمندی به دنبال ارزیابی پتانسیل‌های موجود در برگزیدن هریک از گزینه‌هاست. در این روش می‌توان هر یک از حوزه‌های فناوری را از نظر جذابیت و توانمندی، در ماتریس در نظر گرفت و حوزه‌های دارای جایگاه مناسب را انتخاب نمود.

برای ارزیابی جذابیت فناوری‌ها به‌طورمعمول می‌بایست معیارهایی تعیین شوند که به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

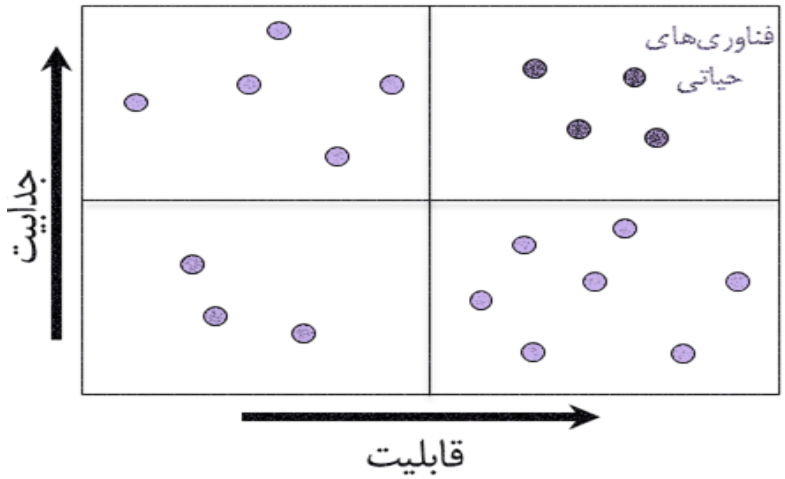
- اشتغال‌زایی
- ایجاد بازار برای مواد خام
- پتانسیل برای صادرات
- غرور ملی
- جلوگیری از خروج ارز
- صرفه‌جویی در هزینه‌های نیروی کار

مفهوم توانمندی نیز در ماتریس اولویت‌بندی بیانگر مجموع توانمندی‌های بالقوه و بالفعل، در سطح ملی و در زمینه توسعه فناوری است. برای انجام فرآیند ارزیابی توانمندی فناورانه مدل‌های مختلفی توسعه داده شده است بسیاری از مدل‌های موجود نیازمند ورود اطلاعات با میزان جزئیات فراوان هستند. در قبال دریافت این ورودی‌ها، مدل‌های بیان شده خروجی‌های مختلفی را به تحلیل‌گر ارائه می‌نمایند. به‌منظور کاستن از حجم ورودی‌های موردنیاز روش پیشنهادی و جلوگیری از تولید اطلاعات غیرضروری، لازم است تا مدلی انتخاب شود که با خروجی‌های موردنیاز معیار توانمندی در ماتریس اولویت‌بندی هم‌خوان باشد.

برخی از محققان به ارائه مدل‌های ارزیابی توانمندی بر مبنای سطوح توانمندی فناورانه پرداخته‌اند که می‌توانند مبنایی برای ارزیابی توانمندی‌های فناورانه در سطح ملی قرار گیرد. به این منظور برای شناسایی عمق توسعه فناورانه سطوح زیر را معرفی کرده‌اند:

- سطح صفر: (مصرف[1]) هیچ توسعه‌ای در کشور رخ نمی‌دهد. اگر فناوری وجود داشته باشد، به‌صورت محصول نهایی وارد شده است.
- سطح ۱: (مونتاژ) مونتاژ ساده قطعات؛ نوآوری محصول یا فرایند کم یا اصلاً صورت نمی‌گیرد.
- سطح ۲: (تطبیق) توسعه یا تولید نسبتاً پیچیده‌ای با همکاری گسترده خارجی، احتمالاً از طریق کسب لیسانس انجام می‌شود. ممکن است فعالیت‌هایی برای وفق دادن فناوری با شرایط داخلی صورت گیرد.
- سطح ۳: (در حال ترقی دادن[2]) شرکت‌های محلی فعالانه درگیر ترقی دادن برخی از مراحل توسعه (لزوماً نه تمامی مراحل) فناوری نسبتاً جدید هستند. به‌عنوان‌مثال ممکن است تحقیقات پایه و طراحی محصول در خارج صورت بگیرد، ولی شرکت‌های محلی در نوآوری فرایند و سایر مراحل پس از طراحی فعال باشند.
- سطح ۴: (جامع) تحقیقات پایه، تحقیقات کاربردی، طراحی و توسعه، نوآوری در فرایند و تولید نهایی در داخل کشور انجام می‌شود. فناوری‌ها و خدمات حامی اغلب در داخل کشور هستند. در این حالت کشور کاملاً قادر به انجام کلیه مراحل است ولی ممکن است بنا به دلایل اقتصادی یا سیاسی نتایج مرحله‌ای از توسعه را از کشور دیگری کسب نماید.

در مدل دیگری به‌منظور ارزیابی توانمندی فناورانه، ابتدا سطح مورد انتظار (ایده‌آل) از تسلط به فناوری مشخص گردیده و سطح تسلط فعلی نسبت به آن سنجیده می‌شود. مقایسه این دو سطح از توانمندی، بیانگر شکاف فناورانه کشور در آن حوزه می‌باشد. درنهایت پس از ارزیابی جذابیت و ارزیابی توانمندی در فناوری‌های شناسایی شده، ماتریسی مطابق با شکل زیر تدوین شده و تحلیل‌های مربوطه بر اساس آن انجام می‌گیرد.

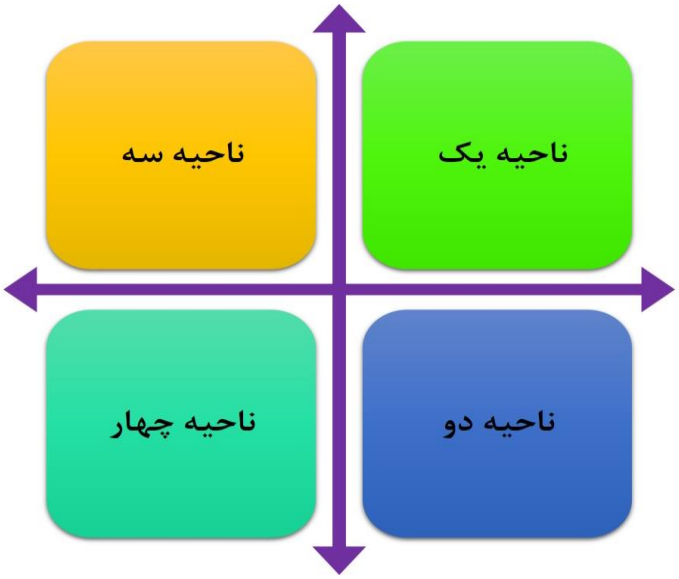


شکل ۳-۱۱: ماتریس قابلیت ـ جذابیت

[1] Use
[2] Advancing

DOI:

در این ماتریس، نحوه و موقعیت ترسیم خطوط متقاطع، بسته به موضوع موردمطالعه متفاوت بوده و بستگی به موقعیت مکانی فناوری‌های مختلف در ماتریس دارد. پس از تقسیم‌بندی نواحی ماتریس، چهار ناحیه ۱، ۲، ۳ و ۴ ایجاد می‌شود. هر ناحیه تصمیمات راهبردی متفاوتی را نسبت به فناوری‌ها و زیرفناوری‌های قرار گرفته در آن اعمال می‌نماید. معمولاً ترتیب اولویت‌دهی حوزه‌های فناورانه در این ماتریس به ترتیب نواحی ۱، ۲، ۳ و ۴ است.



شکل ۳-۱۲: تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت و توانمندی

با تقسیم ماتریس فوق به چهار ناحیه، نتایج زیر حاصل می‌گردد:

- ناحیه ۱ دربردارنده حوزه‌هایی است که امکان ساخت با طراحی بومی (به‌صورت جزئی یا کامل) آن‌ها در ده سال آینده وجود دارد و از جذابیت بالایی برخوردار هستند. در این زمینه دولت بایستی حمایت‌های لازم را در توسعه حوزه‌های فناورانه به عمل بیاورد.
- ناحیه ۲ شامل حوزه‌هایی از فناوری است که در ظرف ده سال آینده قابلیت ساخت آن‌ها در کشور می‌تواند فراهم شود، اما جذابیت آن‌ها پایین است. در این رابطه، لزومی به حمایت دولت در توسعه این بخش‌ها نیست و با فراهم آمدن توانمندی، توسعه این حوزه‌ها نیز به وقوع می‌پیوندد.
- ناحیه ۳ مشتمل بر حوزه‌هایی می‌شود که اگرچه جذابیت بالایی دارند اما تا ده سال آینده امکان ساخت بومی آن‌ها در کشور ایجاد نخواهد شد. در این حوزه‌ها، دولت باید با پیروی هوشمندانه، به دنبال کردن پیشروان فناوری پرداخته تا در آینده دور، امکان تولید بومی آن‌ها نیز محقق شود.
- ناحیه ۴ نیز بخش‌هایی را دربر دارد که نه جذابیت بالایی دارند و نه امکان ساخت آن‌ها ظرف ده سال آینده ایجاد شدنی است. این حوزه‌ها از حیطه تمرکز خارج هستند.

حوزه‌هایی که با توجه به این اولویت‌دهی و نیز نظر تصمیم‌گیران در نواحی قابل‌قبول قرار می‌گیرند، به‌عنوان اجزای برگزیده برای توسعه انتخاب می‌شوند.

۲-۲-۳-۳- اکتساب فناوری

در هر یک از حوزه‌های فناورانه اولویت‌بندی شده، یکی از سه سبک تحقیق و توسعه داخلی، همکاری فناورانه و خرید فناورانه برای توسعه فناوری انتخاب می‌گردد. تحقیق و توسعه داخلی متکی بر روش‌های آزمایشگاهی و تحقیقات پایه‌ای می‌باشد؛ اما سبک‌های همکاری فناورانه و خرید فناورانه مفهومی است که می‌تواند از روش‌های مختلف به انجام برسد. چهارده روش مختلف برای این حوزه وجود دارند که عبارتند از:

- تملک شرکتی۱: بنگاهی یک بنگاه دیگر را به تملک خود درمی‌آورد تا بتواند به فناوری یا شایستگی فناورانه موردنظر دست یابد.
- تملک آموزشی۲: بنگاهی جهت اکتساب فناوری، متخصصین مربوطه را استخدام و یا شرکت کوچک دیگر را به‌منظور در اختیار گرفتن افراد برخوردار از توانمندی‌های فناورانه و یا شایستگی‌های مدیریتی خریداری می‌کند.
- ادغام۳: در این روش بنگاه با بنگاهی دیگری که دارای فناوری و یا شایستگی فناورانه موردنظر می‌باشد ادغام‌شده و بنگاه جدیدی از ادغام این دو مورد به وجود می‌آید.
- خرید حق امتیاز۴: شرکت امتیاز تولید فناوری خاصی را به دست می‌آورد.
- مشارکت با سهام۵: در این روش شرکت اول سهام شرکت دوم را که دارای فناوری یا شایستگی فناورانه بوده می‌خرد ولی بر آن کنترل مدیریتی ندارد.
- سرمایه‌گذاری مشترک۶: شرکت‌ها از طریق سهام، سرمایه‌گذاری مشترک رسمی صورت داده و شرکت سومی به وجود می‌آید و هدف مشخص نوآوری فناوری دنبال می‌شود.
- تحقیق و توسعه مشترک۷: یک شرکت با شرکت‌های دیگر توافق می‌کند که مشترکاً روی یک فناوری و یا حوزه فناورانه فعالیت نمایند و هیچ‌گونه شراکتی در مالکیت به وجود نمی‌آید.
- قرارداد تحقیق و توسعه۸: شرکت می‌پذیرد که مؤسسات تحقیقاتی، دانشگاه و یا شرکت‌های نوآور کوچک در زمینه فناوری مشخص تحقیق نموده و هزینه‌های آن را بپردازد.
- سرمایه‌گذاری در تحقیقات۹: شرکت در زمینه تحقیقات اکتشافی در مؤسسات تحقیقاتی، دانشگاه یا شرکت‌های کوچک نوآور سرمایه‌گذاری نموده و فرصت‌ها و ایده‌ها را دنبال می‌نماید.
- اتحاد۱۰: شرکت منابع فناورانه را با شرکت‌های دیگر به اشتراک گذاشته و نیل به هدف کلی نوآوری فناورانه را تعقیب می‌کند.
- کنسرسیوم۱۱: چندین مؤسسه و شرکت مشترکاً تلاش می‌کنند به هدف کلی نوآوری فناورانه نائل شوند.

---

[1] Acquisition
[2] Educational Acquisition
[3] Merger
[4] Licensing
[5] Minority Equity
[6] Joint Venture
[7] Joint R&D
[8] R&D Contract
[9] Research Funding
[10] Alliance
[11] Consortium

- ایجاد شبکه[1]: شرکت شبکه‌ای از روابط را برقرار می‌سازد تا در همراهی با شتاب نوآوری فناورانه قرار داشته و فرصت‌ها و روندهای تکاملی را دنبال نماید.
- برون‌سپاری[2]: بنگاه فعالیت‌های فناورانه را از خود خارج نموده و صرفاً به خرید محصول فناوری اکتفا می‌کند.
- خرید خدمات مشاوره‌ای: شرکت در راستای توسعه فناوری فعالیت نموده و در این مسیر از خدمات مشاوره‌ای یک شرکت دارنده فناوری استفاده می‌نماید.

انتخاب هر یک از سبک‌های مذکور متأثر از وضعیت فناوری از جهت معیارهایی چون چرخه عمر فناوری، حجم بازار پیش رو و شکاف فناورانه بوده و برای تعیین یک روش از میان روش‌های سبک همکاری از معیارهای دیگری چون هزینه، ریسک و زمان دستیابی به فناوری نیز می‌توان استفاده نمود.

علاوه بر سه سبک فوق، مجموعه‌ای از روش‌های اکتساب غیررسمی نیز مطرح می‌باشند که قابلیت پیشنهاد در موارد خاص را دارند روش‌هایی از قبیل مهندسی معکوس، استخدام پرسنل فنی، تأسیس مراکز تحقیقاتی در کشورهای صاحب فناوری، جاسوسی صنعتی و ... .

۳-۳-۳- راهبرد توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

پس از شناخت چشم‌انداز و اهداف کلان، لازم است راهبردهای توسعه فناوری مرتبط با این اهداف مشخص شوند، به این منظور در گام اول می‌بایست رویکرد توسعه و اولویت‌های فناوری معین شده و در گام بعد نحوه اکتساب فناوری‌ها مشخص شوند.

راهبردها مجموعه جهت‌گیری‌های اصلی برای دستیابی به اهداف را مشخص می‌کنند. جهت تدوین راهبردهای این طرح، با توجه به چشم‌انداز نقشه راه، دو شاخص جذابیت و توانمندی در توعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی موردتوجه قرار گرفته است. جهت ارزیابی جذابیت، سؤالاتی مطرح شده و پرسشنامه‌ای تهیه شده که بر اساس این پرسشنامه و طبق نظر خبرگان، جذابیت به‌دست‌آمده است. برای ارزیابی توانمندی، معیارهای توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی، به‌طور مجزا ارزیابی شده و بعد از دسته‌بندی فناوری‌ها بر اساس معیار توانمندی، توانمندی توسعه هر یک از آن‌ها محاسبه شده است. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از جذابیت و توانمندی در توسعه فناوری‌های پمپ‌های نیروگاهی، ماتریس جذابیت – توانمندی ترسیم شده و با استفاده از این ماتریس اولویت‌بندی توسعه فناوری صورت گرفته و پس از تعیین روش اکتساب فناوری‌های مختلف، راهبردهای مربوط به داخلی سازی قطعات و تجهیزات پمپ‌های نیروگاهی تدوین گردیده است.

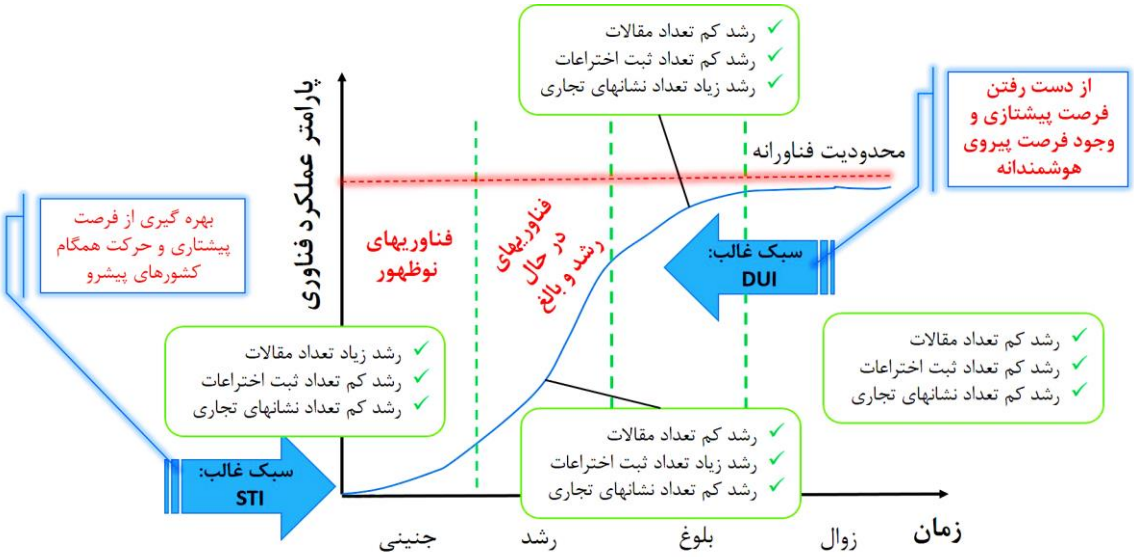
۱-۳-۳-۳- رویکرد توسعه و اولویت‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در حالت کلی می‌توان فناوری‌ها را از لحاظ چرخه عمر به دو دسته کلی فناوری‌های در حال معرفی و فناوری‌های در حال رشد و بالغ دسته‌بندی نمود.

بر این اساس رویکرد توسعه فناوری در کشورها متفاوت می‌باشد. بدین معنا که سبک غالب نوآوری در فناوری‌هایی در مراحل اولیه معرفی و رشد خود قرار دارند معمولاً روش نوآوری مبتنی بر تحقیق و توسعه داخلی (STI[3]) می‌باشد و برای

[1] Networking
[2] Outsourcing
[3] Science & Technology Innovation (STI)

فناوری‌هایی که در مراحل پایانی رشد و یا بلوغ خود قرار دارند، سبک غالب نوآوری مبتنی بر مبنای تعامل (DUI1) می‌باشد.



شکل ۳-۱۳: چرخه عمر فناوری‌ها و راهبرد کسب فناوری

در حقیقت هنگامی‌که فناوری در اوایل مراحل معرفی خود قرار دارد، کشورها سعی می‌کنند همگام با دیگر کشورها به توسعه فناوری بر مبنای منابع دانش داخلی خود اقدام نمایند، اما هنگامی‌که فناوری در بازارهای جهانی به بلوغ خود می‌رسد، به دلیل از دست رفتن فرصت پیشتازی کشورها سعی می‌کنند از فرصت پیروی هوشمندانه و همکاری با کشورهای دیگر اقدام به توسعه فناوری نمایند.

۲-۳-۳-۳- اولویت‌بندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی بر اساس شاخص‌های جذابیت و توانمندی

در این بخش ابتدا جذابیت فناوری‌های پمپ‌های نیروگاهی ارزیابی شده سپس توانمندی توسعه آن‌ها ارزیابی شده و درنهایت به‌منظور اولویت‌بندی، فناوری‌ها بر اساس شاخص‌های جذابیت و توانمندی مورد قرار گرفتند. در این روش پیشنهادی، تعیین فناوری‌های برگزیده با استفاده از ماتریس دوبعدی جذابیت توانمندی صورت می‌پذیرد. شاخص جذابیت بیان‌کننده 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 شاخص‌های جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی، مشخص گردیده و پرسشنامه‌ای برای ارزیابی این شاخص‌ها طراحی شده است. این پرسشنامه‌ها برای خبرگان و متخصصان ارسال شده و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها میزان جذابیت و توانمندی فناوری‌های مختلف را مشخص کرده است. سپس نتایج به‌دست‌آمده وارد ماتریس جذابیت ـ توانمندی شده و جایگاه هر فناوری در ماتریس جذابیت ـ توانمندی مشخص گردیده است. در ادامه روند اولویت‌بندی فناوری‌ها توضیح داده شده است.

[1] Doing, Using & Interacting (DUI)

۳-۳-۳-۳- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

جذابیت یک فناوری به ویژگی‌ها و موقعیت آن فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها برمی‌گردد. تعیین موقعیت نسبی جایگاه یک فناوری یا تجهیز از سوی متخصصان، میزان جذابیت آن را مشخص خواهد کرد. برای اندازه‌گیری جذابیت توسعه یک فناوری یا تجهیز 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 به‌کارگیری فناوری
- میزان اشتغال‌زایی ناشی از توسعه فناوری و...

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
- وضعیت دسترسی به منابع انسانی متخصص برای توسعه فن‌آوری
- وضعیت دسترسی به زیرساخت نرم موردنیاز برای توسعه فن‌آوری
- هماهنگی ذینفعان و نهادهای مسئول توسعه فن‌آوری و ...

جهت اولویت‌بندی فناوری پمپ‌های نیروگاهی پس از بررسی شاخص‌های جذابیت موجود در ادبیات، شاخص‌های جذابیت نهایی شدند. معیارهای ارزیابی جذابیت که هرکدام به‌صورت مجزا در مورد هر یک از پمپ‌های اصلی نیروگاهی پرسش خواهد شد، عبارتند از:

- میزان تقاضای نیروگاه‌ها برای پمپ مورد نظر
- میزان فوریت و اولویت نیاز کشور به پمپ مورد نظر
- هزینه دستیابی به دانش فنی یا بومی‌سازی پمپ مورد نظر

جهت اولویت‌بندی قطعات و تجهیزات نیروگاهی پس از بررسی شاخص‌های توانمندی موجود در ادبیات، شاخص‌های توانمندی قطعات و تجهیزات نیروگاهی نهایی شدند. معیارهای ارزیابی توانمندی ساخت داخل قطعات و تجهیزات نیروگاهی که هرکدام به‌صورت مجزا در مورد هر قطعه یا تجهیز نیروگاهی پرسش خواهد شد، عبارتند:

- وضعیت دانش فنی موجود در کشور برای توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد برای توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- وضعیت زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در دسترس جهت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

۴-۳-۳-۳- ارزیابی جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در این بخش به بررسی روش ارزیابی شاخص‌ها پرداخته می‌شود. 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.

در پرسشنامه‌های طراحی شده سعی شده است تا پرسشنامه‌ها تا حد ممکن گویا و موجز باشد تا برای فرد پاسخ‌دهنده خسته‌کننده نباشد. از طرف دیگر سؤالات به نحوی طراحی شده است که پاسخ آن‌ها توانایی تفکیک توانمندی فناوری‌های مورداستفاده را داشته باشد و از سؤالات دارای پاسخ مشترک یا بسیار شبیه هم برای فناوری‌های مختلف خودداری شده است. به‌منظور ارزیابی جذابیت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی پرسشنامه‌ای حاوی ۳ سؤال و به‌منظور ارزیابی توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی، پرسشنامه‌ای شامل ۶ سؤال برای خبرگان ارسال شد. معیارهای این پرسشنامه‌ها در بخش‌های قبل به‌تفصیل بیان شده است. همچنین پرسشنامه‌ها در پیوست الف تا ج به نمایش درآمده است.

با توجه به اهمیت متفاوت شاخص‌ها به سؤالات وزن‌های متفاوتی داده شده است. نسبت این وزن‌ها مطابق با سند راهبردی و نقشه راه طراحی و توسعه دانش فنی ساخت مواد و قطعات داغ نیروگاهی این معیارها می‌باشداز این رو، در معیارهای جذابیت به ترتیب اهمیت، میزان فوریت و اولویت نیاز کشور، میزان تقاضا و هزینه دستیابی به دانش به این شاخص‌ها وزن‌دهی شده که در جدول ۳-۶ قابل‌مشاهده است.

جدول ۳-٦: وزن سؤالات پرسشنامه ارزیابی جذابیت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی [١٦]

ردیف	معیارهای جذابیت توسعه فناوری	وزن
۱	میزان تقاضای نیروگاه‌ها برای پمپ مورد نظر	۰.۳۷
۲	میزان فوریت و اولویت نیاز کشور به پمپ مورد نظر	۰.۳۹
۳	هزینه دستیابی به دانش فنی یا بومی‌سازی پمپ مورد نظر	۰.۲۴

همچنین، در معیارهای توانمندی، وضعیت زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و وضعیت دانش فنی موجود در کشور نسبت به سایر شاخص‌ها اهمیت بیشتری داشته و وضعیت منابع مالی و منابع نیروی انسانی در درجات بعدی اهمیت قرار دارند. جدول ۳-۷ نشان‌دهنده وزن هریک از شاخص‌های توانمندی می‌باشد.

جدول ۳-۷: وزن سؤالات پرسشنامه ارزیابی توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی [١٦]

ردیف	معیارهای توانمندی توسعه فناوری	وزن
۱	وضعیت دانش فنی موجود در کشور برای توسعه فناوری	۰.۳
۲	وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری	۰.۲۱
۳	وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد برای توسعه فناوری	۰.۱۹
۴	وضعیت زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری	۰.۳

این پرسش‌ها از خبرگان ذکر شده در جدول ۳-۲ پرسیده شد و نتایج این پرسشنامه‌ها وارد نرم‌افزار اکسل شده و محاسبات لازم برای اولویت‌بندی انجام گرفت. برای پاسخگویی به هر سؤال فرد پاسخ‌دهنده می‌بایست عددی بین صفر تا پنج را انتخاب نماید. نحوه محاسبه برای فناوری‌های پمپ‌های نیروگاهی بدین‌صورت است که عدد توانمندی و جذابیت هر تجهیز یا قطعه، میانگین اعداد نسبت داده شده به سؤالات است و همچنین همان‌طور که اشاره شده هریک از سؤالات پرسشنامه

توانمندی و جذابیت، دارای اهمیت متفاوتی نسبت به سایر سؤالات می‌باشد لذا به هریک از سؤالات پرسشنامه توانمندی و جذابیت، ضریب اهمیتی نسبت داده شده و سؤالات وزن دهی شدند که در جدول‌های ۳-۶ و ۳-۷ قابل‌مشاهده است؛ بنابراین توانمندی و جذابیت هر یک از قطعات و تجهیزات نیروگاهی و نیز توانمندی حوزه‌های توسعه فناوری به صورت میانگین وزنی اهمیت هریک از سؤالات محاسبه شده است که عددی بین صفر تا پنج می‌باشد و در جدول‌های ۳-۸ تا ۳-۱۰ قابل‌مشاهده است. لازم به ذکر است که برای تحلیل جذابیت حوزه‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی از جدول ۳-۴ که اولویت این حوزه‌ها را مشخص کرده بود، استفاده خواهد شد.

جدول ۳-۸: نتایج جذابیت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	تجهیز	جذابیت
۱	پمپ آب تغذیه بویلر	۳.۹۵
۲	پمپ تخلیه آب کندانس	۳.۶۶
۳	پمپ گردش آب خنک کن	۳.۲۷
۴	پمپ تزریق سوخت	۲.۸۱
۵	پمپ های روغن (مربوط به سیستم روغنکاری توربین)	۲.۲۷
۶	پمپ های دوزینگ (مربوط به فرآیندهای شیمیایی)	۲.۸۸

جدول ۳-۹: نتایج توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	تجهیز	توانمندی
۱	پمپ آب تغذیه بویلر	۳.۱۷
۲	پمپ تخلیه آب کندانس	۳.۵
۳	پمپ گردش آب خنک کن	۳.۸۳
۴	پمپ تزریق سوخت	۳.۴۲
۵	پمپ های روغن (مربوط به سیستم روغنکاری توربین)	۳.۲۵
۶	پمپ های دوزینگ (مربوط به فرآیندهای شیمیایی)	۲.۵۸

جدول ۳-۱۰: نتایج توانمندی حوزه‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	حوزه توسعه فناوری	توانمندی
۱	طراحی	۳.۵۴
۲	ساخت	۳.۰۳
۳	تست	۳.۲۳
۴	تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	۳.۹۶

۵-۳-۳-۳- تحلیل نتایج جذابیت و توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در ابتدا می‌توان میزان جذابیت و توانمندی را تفکیک کرد و نتایج را بر اساس هریک از این دو معیار مرتب کرد. در ادامه به بررسی نتایج جذابیت و توامندی پمپ‌های نیروگاهی پرداخته شده است. نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت و توانمندی مربوط به پمپ‌های نیروگاهی در جدول‌های ۳-۱۱ و ۳-۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۱: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	تجهیز	جذابیت	توانمندی
۱	پمپ آب تغذیه بویلر	**۳.۹۵**	۳.۱۷
۲	پمپ تخلیه آب کندانس	**۳.٦٦**	۳.۵
۳	پمپ گردش آب خنک کن	**۳.۲۷**	۳.۸۳
۴	پمپ های دوزینگ (مربوط به فرآیندهای شیمیایی)	**۲.۸۸**	۲.۵۸
۵	پمپ تزریق سوخت	**۲.۸۱**	۳.۴۲
۶	پمپ های روغن (مربوط به سیستم روغنکاری توربین)	**۲.۲۷**	۳.۲۵

بر اساس جدول ۳-۱۱ به ترتیب پمپ آب تغذیه بویلر، تخلیه آب کندانس و پمپ گردش آب خنک‌کن (یعنی پمپ‌های اصلی سیکل نیروگاه بخار) بیشترین میزان جذابیت را با توجه به شاخص‌های جذابیت ذکر شده، دارا می‌باشند. همچنین بر اساس نتایج موجود جدول ۳-۱۲ به ترتیب پمپ گردش آب خنک‌کن، پمپ تخلیه آب کندانس و پمپ تزریق سوخت دارای بیشترین میزان توامندی جهت آغاز مسیر توسعه فناوری هستند.

جدول ۳-۱۲: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	تجهیز	جذابیت	توانمندی
۱	پمپ گردش آب خنک کن	۳.۲۷	**۳.۸۳**
۲	پمپ تخلیه آب کندانس	۳.۶۶	**۳.۵**
۳	پمپ تزریق سوخت	۲.۸۱	**۳.٤۲**
۴	پمپ های روغن (مربوط به سیستم روغنکاری توربین)	۲.۲۷	**۳.۲۵**
۵	پمپ آب تغذیه بویلر	۳.۹۵	**۳.۱۷**
۶	پمپ های دوزینگ (مربوط به فرآیندهای شیمیایی)	۲.۸۸	**۲.۵۸**

همچنین در ادامه نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت و توانمندی مربوط به حوزه‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی در جدول‌های ۳-۱۳ و ۳-۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۳: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت حوزه‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	حوزه	جذابیت	توانمندی
۱	ساخت	**٤**	۳.۰۳

۲	طراحی	**۳.٤۳**	۳.۵۴
۳	تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	**۳.۲۹**	۳.۹۶
۴	تست	**۲.۷۱**	۳.۲۳

بر اساس جدول ۳-۱۳ به ترتیب حوزه‌های ساخت، طراحی و تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری بیشترین میزان جذابیت را دارا می‌باشند. همچنین بر اساس نتایج موجود جدول ۳-۱۴ به ترتیب حوزه‌های تعمیر، نگهداری و بهره‌بردای، طراحی و تست دارای بیشترین میزان توامندی جهت آغاز مسیر توسعه فناوری هستند.

جدول ۳-۱٤: نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی حوزه‌های توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	حوزه	جذابیت	توانمندی
۱	تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	۳.۲۹	**۳.۹٦**
۲	طراحی	۳.۴۳	**۳.۵٤**
۳	تست	۲.۷۱	**۳.۲۳**
۴	ساخت	۴	**۳.۰۳**

۶-۳-۳-۳- ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

قسمت اصلی تحلیل نتایج با توجه به متدولوژی، از طریق تعیین جایگاه در ماتریس جذابیت- توانمندی صورت می‌گیرد. همان‌طور که 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 جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها و محاسبات لازم، هرکدام از ابعاد جذابیت و توانمندی تعیین شده‌اند و کافی است که این مقادیر در ماتریس نمایش داده شوند. ماتریس‌های اولیه‌ای که حاصل می‌شود در شکل ۳-۱۴ نمایش داده شده است.

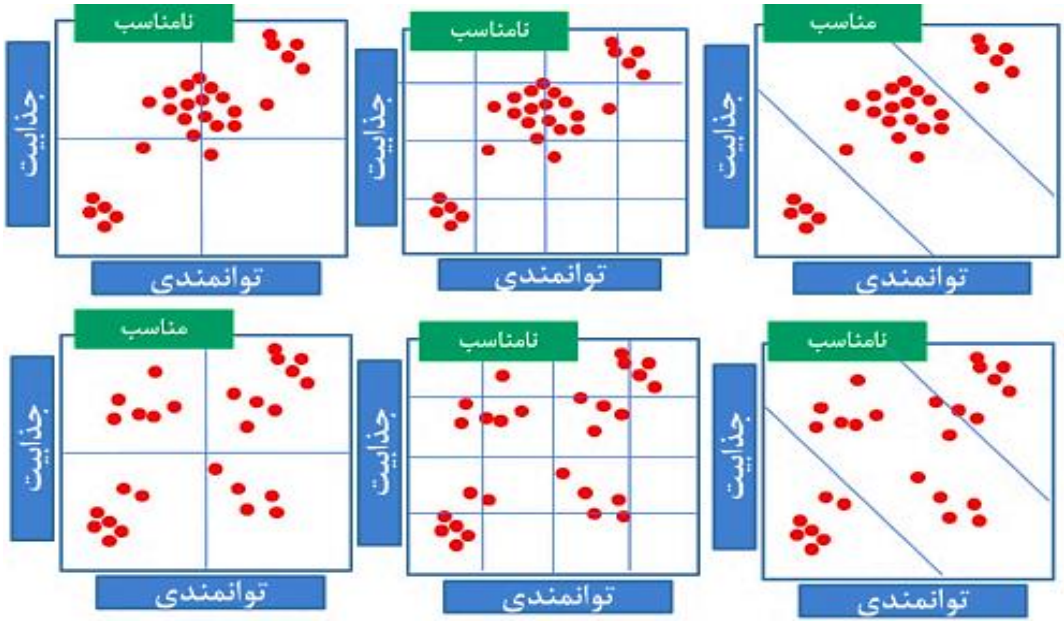
با توجه به ادبیات موضوع، این ماتریس باید به چند منطقه تقسیم شود تا بتوان بر اساس آن، دست به انتخاب زد. این ماتریس، بیانگر جایگاه جذابیت و توانمندی هریک از تجهیزات و یا حوزه‌های توسعه فناوری می‌باشد. در این ماتریس برای تقسیم‌بندی می‌توان از تقسیم به سه ناحیه با استفاده از خطوط شیب‌دار، چهار ناحیه و شانزده ناحیه استفاده نمود.

DOI:



شکل ۳-۱٤: ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

تعداد و نحوه تعیین نواحی در نظر گرفته شده در ماتریس جذابیت ـ توانمندی وابسته به پارامتر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت- توانمندی می‌باشد. درواقع ناحیه بندی در نظر گرفته شده باید به گونه‌ای انجام پذیرد که بتوان دسته‌های فناوری‌ها را از هم تمیز داد، به‌عبارت‌دیگر فناوری‌های دارای توانمندی و جذابیت تقریباً یکسان در یک ناحیه قرار گیرند. نحوه صحیح دسته‌بندی با توجه به پراکندگی زیر فناوری‌ها در ماتریس جذابیت – توانمندی در شکل ۳-۶ ارائه شده است. درمجموع 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 ۳-۱۵: اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت ـ توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس

در این میان با توجه به ماتریس و نوع انتخاب در این طرح از روش تقسیم چهار ناحیه استفاده شد. مواردی که در قسمت بالا و راست ماتریس قرار دارند دارای جذابیت و توانمندی نسبتاً بالایی هستند. در این ناحیه، استراتژی انتخابی توسعه درون‌زا است. توسعه درون‌زا یعنی توسعه‌ای که به‌صورت همه‌جانبه و در داخل کشور باید صورت گیرد و معمولاً از تحقیق و توسعه برای کسب یک فناوری شروع می‌شود. در حقیقت هنگامی‌که یک فناوری از جذابیت بالایی برخوردار است، چنانچه توانمندی دستیابی به آن فناوری نیز از میزان قابل‌قبولی برخوردار باشد، توسعه همه‌جانبه آن در کشور روش اکتساب مناسب آن فناوری خواهد بود.

مواردی که در ناحیه پایین و چپ ماتریس قرار گرفته‌اند دارای جذابیت و توانمندی به نسبت پایینی هستند؛ بنابراین از فناوری‌های این دسته باید چشم‌پوشی کرد و در حیطه توسعه فناوری جایی ندارند؛ زیرا هنگامی‌که 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. استراتژی مناسب برای این دسته از فناوری‌ها چشم‌پوشی می‌باشد.

سایر فناوری‌ها که در این دو ناحیه قرار ندارند وارد الگوریتم روش اکتساب شده و ممکن است روش‌های اکتساب مختلفی به هر فناوری نسبت داده شود مانند توسعه درون‌زا، انتقال فناوری و چشم‌پوشی و حتی ممکن است فناوری در داخل کشور وجود داشته باشد. شکل زیر نمایش‌دهنده هریک از قطعات و تجهیزات نیروگاهی در ماتریس جذابیت– توانمندی با تقسیم چهار ناحیه‌ای می‌باشد.



شکل ۳-۱۶: تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت ـ توانمندی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

با توجه به شکل بالا پمپ‌ها/حوزه‌های توسعه فناوری زیر در ناحیه چهارم ماتریس قرار دارند:

- پمپ‌های دوزینگ
- تست
- پمپ‌های روغن

با توجه به اینکه برای این موارد کمترین میزان جذابیت و توانمندی در کشور وجود دارد، لذا به نظر می‌رسد در صورت نبود تولید داخل بهترین راهکار چشم‌پوشی از توسعه فناوری آن‌ها باشد.

پمپ‌ها و حوزه‌های توسعه فناوری که در ناحیه سوم ماتریس قرار دارند دارای جذابیت بالا ولی توانمندی پایین هستند و بایستی مبتنی بر یک الگوریتم در بخش بعدی توصیف شده است، درباره اکتساب فناوری آن‌ها تصمیم‌گیری شود. این موارد به ترتیب زیر می‌باشند:

- پمپ آب تغذیه بویلر
- ساخت

پمپ‌ها و حوزه‌های توسعه فناوری که در ناحیه دوم ماتریس قرار دارند دارای جذابیت پایین ولی توانمندی بالا هستند و بایستی مبتنی بر یک الگوریتم در بخش بعدی توصیف شده است، درباره اکتساب فناوری آن‌ها تصمیم‌گیری شود. این موارد به ترتیب زیر می‌باشند:

- پمپ گردش آب خنک‌کن
- پمپ تزریق سوخت
- تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری

و در نهایت پمپ‌ها/حوزه‌های توسعه فناوری زیر در ناحیه یک ماتریس قرار دارند:

- پمپ تخلیه آب کندانس
- طراحی

با توجه به اینکه برای این تجهیزات و قطعات جذابیت و توانمندی بالایی وجود دارد، لذا می‌توان جهت توسعه فناوری ساخت داخل این قطعات و تجهیزات از رویکرد درون‌زا استفاده کرد.

۴-۳-۳- سبک اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی

در این قسمت تجهیزات و قطعاتی که نیاز است در مورد روش اکتساب آن‌ها تصمیم‌گیری شود وارد الگوریتم روش اکتساب می‌شوند. برای تعیین روش اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی، الگوریتمی طراحی شده است که در ادامه به‌تفصیل شرح داده خواهد شد.

جهت تعیین روش اکتساب آن دسته از فناوری‌هایی که در ناحیه ۲ و ۳ ماتریس جذابیت ـ توانمندی واقع شده‌اند، 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 وجود یا عدم وجود تولیدکننده داخلی می‌باشد. در گام‌های بعدی شروط دیگری موردبررسی قرار می‌گیرد که به شرح زیر است:

- تقاضای ریالی برای این تجهیز /قطعه به چه میزان است؟
- فرآیندهای ساخت این تجهیز /قطعه تا چه میزان در داخل کشور موجود می‌باشد؟
- آیا تقاضای این قطعه هزینه دستیابی به آن را پوشش می‌دهد؟
- هزینه تحقیق نسبت به انتقال فناوری چگونه است؟
- این تجهیز /قطعه در چه مرحله‌ای از چرخه عمر خود قرار دارد؟

با توجه به این شروط، روش اکتساب مشخص می‌گردد که در ادامه تمامی حالات ممکن موردبررسی قرار می‌گیرد:

اولین سؤال موجود در الگوریتم بررسی می‌شود که آیا تأمین‌کننده داخلی برای این فناوری وجود دارد یا خیر. درصورتی‌که تأمین‌کننده داخلی وجود داشته باشد ادامه داده نمی‌شود زیرا فناوری در داخل کشور وجود دارد در غیر این صورت به مراحل بعدی الگوریتم پرداخته می‌شود.

در مرحله بعد فاکتور بسیار مهم تقاضای ریالی پمپ/حوزه توسعه فناوری مطرح است. به کمک این سؤال پمپ/حوزه توسعه فناوری از فیلتری می‌گذرد که مشخص می‌کند چه مقدار برای کشور هزینه دارد. مواردی که تقاضای ریالی‌شان زیاد است از مواردی که تقاضای ریالی کمی دارند جدا می‌شود.

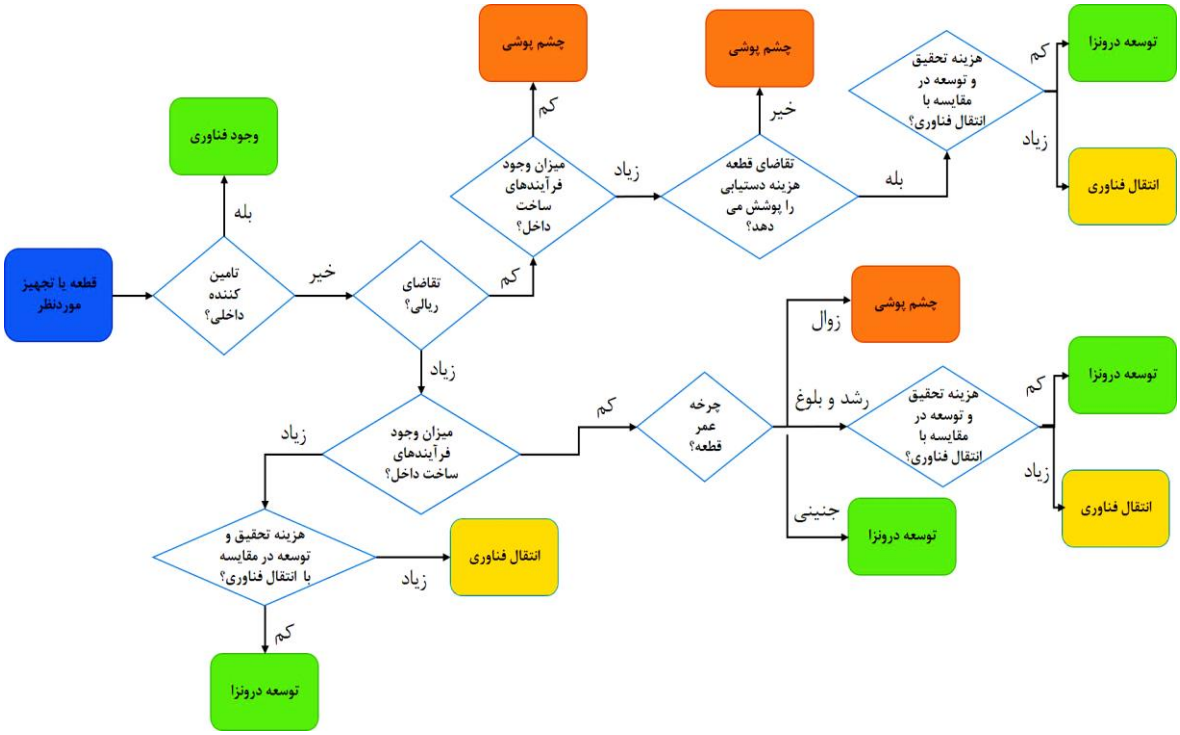
اگر تقاضای ریالی یک پمپ/حوزه توسعه فناوری کم باشد، بررسی می‌شود که فرآیندهای توسعه آن تا چه میزان در داخل کشور موجود می‌باشد. اگر فرآیندهای توسعه هم در داخل کشور به میزان زیادی موجود نباشد توسعه این پمپ/حوزه فناوری برای کشور اولویت ندارد و رویکرد چشم‌پوشی برای آن پیشنهاد می‌شود.

اما اگر تقاضای ریالی کم باشد ولی فرآیندهای توسعه تا حد زیادی در داخل کشور موجود باشد بررسی می‌گردد که آیا تقاضا هزینه دستیابی به آن را در داخل کشور توجیه می‌کند یا خیر. در واقع به بیان بهتر آیا دستیابی به این پمپ/حوزه توسعه فناوری در داخل کشور توجیه اقتصادی دارد یا خیر. درصورتی‌که میزان تقاضای ریالی به‌قدری کم باشد که دستیابی به پمپ/حوزه توسعه فناوری در داخل کشور توجیه نداشته باشد رویکرد چشم‌پوشی برای آن پیشنهاد می‌شود اما درصورتی‌که دستیابی به پمپ/حوزه توسعه فناوری در داخل کشور توجیه اقتصادی داشته باشد رویکرد پیشنهادی توسعه درون‌زا و یا انتقال فناوری می‌باشد به این صورت که هر رویکردی که هزینه کمتری برای کشور داشته باشد انتخاب می‌گردد.

در حالتی که تقاضای ریالی برای یک پمپ/حوزه توسعه فناوری زیاد باشد و فرآیندهای آن تا حد زیادی در داخل کشور موجود باشد، هزینه تحقیق با انتقال فناوری مقایسه می‌گردد و هرکدام هزینه کمتری داشت به‌عنوان رویکرد پیشنهادی انتخاب می‌شود.

اما اگر تقاضای ریالی برای پمپ/حوزه توسعه فناوری بالا باشد ولی فرآیندهای توسعه آن در داخل کشور وجود نداشته باشد، چرخه عمر پمپ/حوزه توسعه فناوری بررسی می‌گردد. اگر پمپ/حوزه توسعه فناوری در مرحله زوال باشد دستیابی به آن در داخل کشور منطقی نیست و رویکرد چشم‌پوشی پیشنهاد می‌گردد. اگر پمپ/حوزه توسعه فناوری در مرحله جنینی خود باشد می‌توان آن را در داخل کشور توسعه درون‌زا نمود و اگر در مرحله رشد و بلوغ خود باشد مجدداً هزینه‌های تحقیق را با انتقال فناوری مقایسه نموده و رویکرد ارزان‌تر به‌عنوان رویکرد پیشنهادی اعلام خواهد شد. تمامی این حالات را می‌توان در الگوریتم ارائه شده در شکل ۳-۱۷ مشاهده کرد.

DOI:



شکل ۳-۱۷: الگوریتم روش اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی

خروجی الگوریتم برای پمپ‌ها و حوزه‌های توسعه فناوری که در ناحیه ۲ و ۳ از ماتریس جذابیت ـ توانمندی قرار گرفته بودند، در جدول ۳-۱۵ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۵: روش اکتساب فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	پمپ/حوزه توسعه فناوری	روش اکتساب
۱	پمپ گردش آب خنک کن	توسعه درون زا
۲	پمپ آب تغذیه بویلر	توسعه درون‌زا
۳	پمپ تزریق سوخت	انتقال فناوری
۴	ساخت	توسعه درون‌زا
۵	تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	توسعه درون‌زا

۴-۳-نتیجه‌گیری

در فصل اول این گزارش، با استفاده از نظرخواهی از خبرگان حوزه پمپ‌های نیروگاهی، چشم انداز توسعه فناوری به صورت زیر تدوین شد:

در افق ۱۴۱۰، با دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی فناوری در حوزه طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های نیروگاهی و با ارتقای دانش و تخصص نیروی انسانی، کاهش هزینه‌ها و افزایش ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان، جمهوری اسلامی ایران توانمند در زمینه ساخت طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری پمپ‌های نیروگاهی مبتنی بر

فناوری‌های مناسب بوده و توان تأمین نیازهای داخلی کشور در این حوزه را خواهد داشت. سپس اهداف کلان توسعه فناوری در جهت افزایش سهم تولید داخل، افزایش ظرفیت تولید، بهبود جزئی راندمان و بهبود چشمگیر ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان پمپ‌های نیروگاهی معین شدند.

همچنین روش اکتساب فناوری پمپ‌ها/حوزه‌های توسعه فناوری زیر به صورت درون‌زا تعیین گردید:

- پمپ تخلیه آب کندانس
- پمپ آب تغذیه بویلر
- پمپ گردش آب خنک کن
- ساخت
- تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری
- طراحی

برای پمپ تزریق سوخت، انتقال فناوری به عنوان روش مناسب اکتساب تشخیص داده شده و برای پمپ/حوزه‌های توسعه فناوری زیر چشم‌پوشی از توسعه فناوری مناسب به نظر می‌رسد:

- پمپ‌های دوزینگ
- تست
- پمپ‌های روغن

۴- تدوین نقشه راه و برنامه عملیاتی

۱-۴-تدوین پروژه‌های اجرایی

۱-۱-۴- مقدمه

ره‌نگاشت برنامه‌ای راهبردی است که به توصیف گام‌های مورد نیاز یک سازمان برای دستیابی به اهداف و خروجی‌های بیان شده، می‌پردازد. این ابزار به وضوح روابطی میان فعالیت‌ها و اولویت‌ها تصویر می‌کند تا در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت پیاده‌سازی شوند. به علاوه یک ره‌نگاشت اثربخش شامل سنجه‌ها۱ و نقاط عطف۲ می‌باشد به طوری که امکان پایش منظم پیشرفت به سوی اهداف غایی ره‌نگاشت، به وجود آید.

ره‌نگاشت‌ها انواع گوناگونی دارند. ره‌نگاشت‌های مختص فناوری مقصودشان حمایت از توسعه یک نوع خاصی از فناوری می‌باشد. افرادی که به طور معمول در این فرآیند همکاری می‌کنند، شامل کارشناسان فنی، سیاستگذاران، تحلیلگران انرژی و پژوهشگران دانشگاهی می‌باشند که گرد هم می‌آیند تا به طراحی اهداف عملکردی، مسیرهای کاری۳ ، اولویت‌ها و چارچوب‌های زمانی برای تحقیق، توسعه، رونمایی و پیاده‌سازی یک فناوری، بپردازند.

تعریف آژانس بین‌المللی انرژی از ره‌نگاشت فناوری عبارت است از یک مجموعه پویا از نیازمندی‌های فنی، سیاستی، قانونی، مالی، بازاری و سازمانی شناسایی شده توسط کلیه ذی‌نفعان درگیر در تدوین ره‌نگاشت. تلاش‌ها بایست معطوف به تسهیم بهتر کلیه اطلاعات مرتبط با تحقیق، توسعه، رونمایی و پیاده‌سازیِ یک فناوری بین شرکت‌کنندگان باشد.

در ادامه تعاریف برخی از عبارات ارائه شده است:

- ره‌نگاشت: نوعی خاص از برنامه‌ریزی راهبردی ناظر بر طرح‌ریزی مجموعه فعالیت‌هایی است که یک سازمان می‌تواند طی چارچوب‌های زمانی خاص، برای دستیابی به اهداف و خروجی‌های بیان شده تعهد کند.
- ره‌نگاری: فرآیند تکاملی که طی آن یک ره‌نگاشت خلق، اجرا، پایش و در صورت لزوم به‌روزرسانی می‌شود.
- ذی‌نفعان: افراد مناسبی که در تحقق توسعه و پیاده‌سازی ره‌نگاشت ذی‌نفع‌اند، مانند نمایندگان دولت، صنعت، دانشگاه و سازمان‌های مردم‌نهاد.
- اجرا: فرآیند عملیاتی کردن ره‌نگاشت به واسطه انجام پروژه‌ها و اقدامات معطوف به خرده فعالیت‌ها و اولویت‌ها و همچنین به واسطه پایش پیشرفت با استفاده از یک سامانه ردگیری.

مخاطبان ره‌نگاشت بسته به نوع سندی که تدوین می‌شود تغییر می‌کنند. برای ره‌نگاشت‌های فناوری انرژی در سطح ملی، مخاطبان ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- تصمیم‌سازان دولتی و ملی در وزارتخانه‌های انرژی، محیط زیست، صنعت، منابع طبیعی و امور زیربنایی
- تصمیم‌سازان دولتی و ملی در وزارتخانه‌های دارایی یا امور اقتصادی
- سیاستگذاران ایالتی/استانی و محلی و تنظیم‌گران ملی
- تصمیم‌سازان بخش انرژی، به ویژه از صنایعی که مقادیر زیادی از انرژی را تولید یا مصرف می‌کنند (مانند صنعت برق، حوزه‌های منابع طبیعی و کشاورزی، و صنایع انرژی بر)

[1] Metrics
[2] Milestones
[3] Pathways

- کارشناسان پیشروی علمی، مهندسی، سیاستگذاری، علوم اجتماعی و کسب و کار که مشغول در پژوهش روی فناوری‌های خاص انرژی و سیاست‌های پشتیبان و مکانیسم‌های مالی مورد نیاز برای تسریع تجاری‌سازی می‌باشند
- سازمان‌های مردم‌نهاد درگیر در پژوهش و حمایت از انرژی پاک [64]

۲-۱-۴- روش تدوین نقشه راه

در این قسمت باید به معرفی (گام‌های) روشی برای تدوین برنامه عملیاتی پرداخت. این روش پیشنهادی باید قادر باشد تا به سؤالات مختلف فرآیند توسعه فناوری که تا این مرحله مورد توجه قرار نگرفته‌اند پاسخ داده شود؛ سؤالاتی نظیر:

- برنامه‌ها برای پاسخ‌گویی به کدام اهداف تدوین و اجرا می‌شود؟
- برنامه‌ها چگونه اولویت‌ها و ملاحظات تعریف شده در راهبردها، سیاست‌ها و اقدامات را عملیاتی می‌سازند؟
- گروه‌ها یا نهادهای اصلی هدف (یعنی هویت‌هایی که این قصد تأثیرگذاری بر رفتار آن‌ها را دارد) کدامند؟
- مجری یا مجریان این برنامه کدامند؟ و نحوه عمل آن‌ها چگونه است؟
- دوره زمانی اجرای برنامه چقدر است؟
- منابع موردنیاز و نتایج مورد انتظار از اجرای این برنامه‌ها کدامند؟

بر مبنای رویکرد چارچوب منطقی و روش تدوین برنامه عملیاتی فناوری از یک طرف، و نیز ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌های تدوین شده، در این قسمت لازم است تا روش پیشنهادی تدوین برنامه عملیاتی ارائه شود. این روش پیشنهادی متشکل از گام‌های زیر خواهد بود:

- درنظرگیری ارتباط برنامه عملیاتی با ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها: هر برنامه عملیاتی در ارتباط با یک و چند هدف بالادستی نوشته می‌شود. به‌عبارت دیگر، هدف اولیه یک سند توسعه فناوری در ابتدا برآورده ساختن ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها تعریف شده در مراحل قبل است. با توجه به منطقی که در فصول پیشین به‌عنوان فرآیند تدوین اسناد ملی راهبردی بیان شد، تدوین برنامه‌های عملیاتی نیز باید با توجه و درنظرگیری این فرآیند انجام گردد. برنامه‌های تدوین شده در مرحله اول باید همراستا با اهداف کلان و خرد تعریف شده در مراحل قبلی باشد. در مرحله دوم، برنامه‌های عملیاتی تدوین شده باید با راهبردها، اقدامات و سیاست‌های تدوین شده همخوان باشد. این کار را می‌توان با تحلیل موانع شناسایی شده در مرحله برنامه اقدامات و سیاست‌ها به انجام رساند. با درنظر داشتن موانع به شکل مشکلاتی که باید برای آن‌ها راه‌حل ارائه گردد، یک مشکل پیچیده به شکل آسانی حل خواهد شد، اگر علت و اثرات آن به‌طور کامل مورد تحلیل قرار گرفته باشد.
- تعیین پروژه‌ها: در این گام پروژه‌های ضروری به‌منظور برآورده کردن اهداف کلان و خرد و نیز محقق نمودن راهبردها، اقدامات و سیاست‌ها تعیین می‌شود. این پروژه‌ها، فعالیت‌هایی هستند که توسط کنش‌گران توسعه فناوری و در راستای راهبردهای کلان و سیاست‌های نوآوری تعریف می‌شود. اگر پروژه‌ها به‌طور صحیحی برنامه‌ریزی شوند، نتایج موردانتظار از انجام آن‌ها حاصل، و در نتیجه، اهداف میان‌مدت و بلندمدت نیز محقق می‌گردد. پروژه‌ها در فرآیندی توافقی و تعاملی و براساس نظر ذینفعان استخراج می‌گردد. اقداماتی تدوین شده در مراحل قبل هم راهنمای مناسبی برای طراحی پروژه‌ها هستند. به‌عبارت دیگر، برای تحقق هر اقدام یا سیاست اجرایی، وجود مجموعه‌ای از پروژه‌ها ضروری است.

- تعریف دوره‌های زمانی: هرچند پایداری و قابل پیش‌بینی بودن گاه به‌عنوان نکات مثبت در بعضی از انواع برنامه-های حمایتی برشمرده می‌شود، اما در عمل و به‌دلایل مختلف بهتر است این برنامه‌ها برای دوره‌های زمانی مشخص و محدود طراحی و اجرا شوند. از مهمترین مزایای محدود بودن زمان برنامه‌ها، می‌توان به روشن و محدود بودن بودجه موردنیاز، فراهم شدن امکانات ارزیابی بهتر نتایج و دستاوردها و امکان اصلاح، بازنگری و ایجاد تطابق بیشتر در برنامه‌ها با شرایط زمان اشاره کرد. بر این اساس، لازم است تا دوره زمانی اجرایی هر برنامه را در این گام مشخص نمود.
- برنامه‌ریزی منابع: برنامه‌ریزی منابع با هدف اجرایی نمودن اقدامات تعریف شده صورت می‌پذیرد. این برنامه‌ریزی را باید قبل از اجرایی کردن اقدامات به انجام رساند. منظور از منابع موردنیاز در این گام دانش فنی، ابزارآلات و تجهیزات و منابع مالی است. در صورت وجود منابع موردنیاز، برنامه‌ریزی منابع بیانگر چگونگی و اولویت‌بندی استفاده از آن‌هاست. اما در شرایطی که منابع موجود نباشد، برنامه‌ریزی به‌معنی چگونگی دستیابی به منابع از طریق خرید، همکاری و یا تولید منابع موردنیاز است.
- ترسیم ره‌نگاشت برنامه عملیاتی: پس از تعریف پروژه‌ها و برنامه‌های عملیاتی، برنامه‌ریزی منابع و تعیین مجریان، در گام آخر برنامه عملیاتی لازم است تا ارتباط میان آن‌ها مشخص شده و خلاصه نتایج آن در قالب ره‌نگاشت برنامه عملیاتی ارائه شود.

۳-۱-۴- تدوین پروژه‌های اجرایی نقشه راه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

همانطور که در فاز سوم این پروژه تشریح گردید، تجهیزات و حوزه‌های فناورانه شناسایی شده توسط ماتریس جذابیت ـ توانمندی مبتنی بر تحلیل داده‌های پرسشنامه‌های مربوط به خبرگان جهت ساخت داخل اولویت بندی شدند. بر این اساس، فناوری‌های مرتبط با طراحی، ساخت، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌های آب تغذیه بویلر، تخلیه آب کندانس و گردش آب خنک‌کن و زیرمجموعه آن‌ها که بخش گسترده‌تری از اولویت‌های جذابیت و توانمندی را پوشش می‌دهند، به عنوان اولویت های مورد نظر برای توسعه درون‌زا جهت ترسیم ره نگاشت توسعه فناوری به شرحی که در ادامه خواهد آمد، انتخاب گردیده اند. پس از مشخص شدن اقدامات فنی می‌بایست زمان، هزینه و مجریان پیشنهادی هر یک از اقدامات را مشخص نمود. در بخش بعدی هر یک از این مباحث مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۳-۱-۴- طراحی

در حوزه طراحی پمپ‌های نیروگاهی سه اولویت زیر تعیین شدند:

- طراحی روتوردینامیکی پمپ‌های چند طبقه
- افزایش راندمان در پروانه پمپ‌های موجود
- کاهش NPSH و حساسیت به کاویتاسیون

۲-۳-۱-۴- ساخت

در حوزه ساخت پمپ‌های نیروگاهی دو اولویت زیر تعیین شدند:

- ریخته‌گری قطعات بزرگ (بالای سه تن) یا پیچیده در پمپ‌های نیروگاهی

- نمونه‌سازی سریع قطعات پمپ

۳-۳-۱-۴- تعمیر،نگهداری و بهره‌برداری

در حوزه تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌های نیروگاهی هشت اولویت زیر تعیین شدند:

- انتخاب و سایزینگ پمپ‌های نیروگاهی
- روش‌های کنترل عملکرد پمپ‌های نیروگاهی
- کنترل پمپ‌های نیروگاهی با استفاده از تغییر دور
- تحلیل هزینه چرخه عمر پمپ‌های نیروگاهی
- کاربرد رایانش ابری در پمپ هوشمند
- شناسایی خطا در پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای
- کاربرد یادگیری ماشین در پایش داده و تشخیص و پیش‌بینی خطا در پمپ‌ها
- تشخیص عیوب بدون سنسور در پمپ‌های گریز از مرکز

۲-۴-زمان‌بندی و بودجه‌ریزی

پس از تعیین اقدامات فنی، زمان و منابع مورد نیاز اجرای اقدامات فنی را ارائه شده است. جداول ذیل زمان و هزینه مورد نیاز پروژه‌های توسعه فناوری را بیان می‌کند. لازم به ذکر است که هزینه‌های برآورد شده کاملاً تخمینی بوده و ممکن است مشمول بازنگری قرار گیرند.

جدول ٤-١: عناوین طرح‌ها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری طراحی پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	نام طرح	زمان (سال)	بودجه (میلیارد ریال)
۱	طراحی روتوردینامیکی پمپ‌های چند طبقه	۱/۵	۳
۲	افزایش راندمان در پروانه پمپ‌های موجود	۲	۶
۳	کاهش NPSH و حساسیت به کاویتاسیون	۱/۵	۳

جدول ٤-٢: عناوین طرح‌ها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری ساخت پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	نام طرح	زمان (سال)	بودجه (میلیارد ریال)
۱	ریخته‌گری قطعات بزرگ (بالای ۳ تن) یا پیچیده در پمپ‌های نیروگاهی	۳	۶۰
۲	نمونه‌سازی سریع قطعات پمپ	۳	۲۵

جدول ٤-٣: عناوین طرح‌ها و مدت زمان مورد نیاز برای توسعه فناوری تعمیر،نگهداری و بهره‌برداری از پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	نام طرح	زمان (سال)	بودجه

			(میلیارد ریال)
۱	انتخاب و سایزینگ پمپ‌های نیروگاهی	۱/۵	۳
۲	روش‌های کنترل عملکرد پمپ‌های نیروگاهی	۱	۲
۳	کنترل پمپ‌های نیروگاهی با استفاده از تغییر دور	۲	۱۰
۴	تحلیل هزینه چرخه عمر پمپ‌های نیروگاهی	۱	۲
۵	کاربرد رایانش ابری در پمپ هوشمند	۱	۳
۶	شناسایی خطا در پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای	۲	۶
۷	کاربرد یادگیری ماشین در پایش داده و تشخیص و پیش‌بینی خطا در پمپ‌ها	۲	۵
۸	تشخیص عیوب بدون سنسور در پمپ‌های گریز از مرکز	۱	۳

۳-۴-تقسیم کار ملی

۱-۳-۴- مقدمه

از یک سو، تعدد سازمانها و نهادهای خصوصی و دولتی که هر یک به نوعی در حوزه پمپ‌های نیروگاهی نقش آفرینی می کنند و از سوی دیگر تنوع نقش هایی که باید در توسعه این سیستم ها ایفا شود نیاز به بررسی و تحلیل دقیق توسعه این سیستم ها را از منظر نهادی (ساختاری) نمایان تر می کند. برای تحلیل وضعیت ساختاری می توان از روشهای مختلفی نظیر نگاشت نهادی استفاده کرد، به کمک نگاشت نهادی به خوبی می توان 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 نقش هایی که این سازمان‌ها به عهده می گیرند را نمایش می‌دهد. در واقع تکمیل نگاشت نهادی بدین معناست که هر یک از این سازمانها و نهادها چگونه در این حوزه نقش آفرینی می کنند. 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 می شود؟ آیا نهادهای غیردولتی در نقش مورد نظر می توانند جایگزین نهادهای دولتی شوند؟

نگاشت نهادی یکی از ابزارهای مطالعه سیستم نوآوری می‌باشد. نظام ملی نوآوری مجموعه‌ای است از مؤسسات مجزا که بطور مشترک یا انفرادی به توسعه و انتشار فناوری‌های جدید کمک می کنند. این مؤسسات چهارچوبی فراهم می‌کنند که دولت‌ها بتوانند در آن چهارچوب، سیاست‌هایی جهت تأثیرگذاری بر فرایند نوآوری را شکل داده و اجرا کنند.

نگاشت نهادی چارچوبی است که با نمایی ساده و جامع وضعیت موجود سیستم نوآوری را نشان می‌دهد و با بررسی آن می توان 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 بنگاه های خصوصی در فرایند نوآوری به دست می‌آید.
کارکردهای اصلی یک نظام ملی نوآوری به چهار دسته اصلی سیاست گذاری، تنظیم گری، تسهیل گری و ارائه خدمات تقسیم میشود. در فرایند توسعه صنعتی، یکی از پرسش های اساسی این است که کدام مجموعه از تصمیمات سیاست گذاری و نهادسازی و نیز اقدامات اجرایی در سطح کلان ملی و در سطح صنعت، به عنوان زمینه ساز 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 نمی گیرد، بلکه نیازمند نقش موثر دولت است. بنابراین تبیین جایگاه و حوزه وظایف دولت در فرآیند توسعه صنعتی به صورت یکی از مباحث جدال انگیز ادبیات جدید توسعه در آمده است. در ادامه به تبیین هر یک از نقش های چهارگانه پرداخته می شود [64-66].

۲-۳-۴- سیاستگذاری

یک سیاست‌گذار نهادی است که برنامه‌هایی که باید توسط دولت، کسب و کارها و غیره دنبال شود را تعیین می‌کند. سیاست‌گذاری به صورت فرآیندی 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. به‌طور کل، سیاست می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد مانند سیاست‌های غیر مداخله‌ای، تنظیم، تشویق تغییرات داوطلبانه (مانند کمک‌های مالی) و ارائه خدمات عمومی. لذا به نظر می‌رسد بررسی ویژگی‌های فرآیند سیاست‌گذاری مناسب، مفید واقع شود. در ادامه، ده ویژگی برای فرآیند مذکور آورده شده است.

۱-۲-۳-۴- نگاه رو به جلو

واضح است که فرآیند سیاست‌گذاری، پیامدهایی که سیاست برای دستیابی به آن طراحی شده است را تعریف می‌کند. لذا به‌طور معمول، در این فرآیند باید نگاهی بلند مدت (حداقل پنج ساله) بر اساس روندهای آماری و پیش بینی‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی وجود داشته باشد. نکات زیر رویکرد نگاه رو به جلو را واضح‌تر می‌سازد:

- بیان پیامدهای مطلوب در مراحل اولیه
- طراحی سناریو یا پیشامدهای احتمالی
- لحاظ کردن استراتژی بلند مدت اجرایی
- استفاده از برنامه آینده‌نگاری و یا دیگر روش‌های پیش‌بینی

۲-۲-۳-۴- نگاه بیرون گرا

فرآیند سیاست‌گذاری تاثیر عوامل را در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی در نظر می‌گیرد و از تجارب دیگر مناطق یا کشورها استفاده می‌کند. نکات زیر رویکرد بیرون‌گرایی[1] را نشان می‌دهد:

[1] Outward looking

- استفاده از مکانیسم‌های OECD، EU و غیره
- استفاده از تجارب دیگر کشورها در برخورد با مسئله‌ای خاص
- تشخیص نوسانات در کشور

۴-۳-۲-۳- نوآوری، انعطاف و خلاقیت

فرآیند سیاست‌گذاری در برخورد با مسائل منعطف می‌باشد و ایده‌های نوین را تشویق می‌کند. ریسک‌ها شناسایی می‌شوند و به‌طور فعال مدیریت می‌شوند. نکات زیر یک رویکرد خلاق، نوآور و منعطف را نشان می‌دهد:

- استفاده از جایگزین‌ها برای روش‌های معمولی کاری (مانند جلسات طوفان فکری)
- تعریف موفقیت بر حسب پیامدهای شناسایی شده
- ارزشیابی و مدیریت هوشیارانه ریسک
- حرکت به سمت ایجاد ساختارهای مدیریتی که ایده‌های جدید و کارهای گروهی را ارتقا می‌دهند.

۴-۳-۲-۴- رویکرد مبتنی بر شواهد

توصیه‌ها و تصمیمات سیاست‌گذاران بر اساس بهترین شواهد موجود و حوزه وسیعی از منابع می‌باشد که تمامی ذینفعان کلیدی در مراحل اولیه دخالت داده می‌شوند. نکات کلیدی رویکرد مبتنی بر شواهد[1] در سیاست‌گذاری شامل:

- مرور تحقیقات موجود
- انجام تحقیقات جدید
- مشاوره با متخصصین مربوطه و/ یا استفاده از مشاورین داخلی و خارجی
- لحاظ کردن دامنه وسیعی از گزینه‌های ارزیابی شده و مناسب

۴-۳-۲-۵- فراگیر بودن

فرآیند سیاست‌گذاری، میزان اثرگذاری سیاست و سهم آن در برآورده‌سازی نیازهای مردم به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم را در نظر می‌گیرد. یک رویکرد فراگیر، ممکن است شامل جنبه‌های زیر باشد:

- رایزنی با مسئولین پیاده ساز / ارائه‌کننده خدمت
- رایزنی با موجودیت‌های تأثیرپذیر از سیاست
- انجام ارزشیابی اثر
- گرفتن بازخورد از دریافت‌کنندگان یا ارائه‌دهندگان

[1] Evidence-based

۴-۳-۲-۶- پیوستگی و کل نگری

فرآیند، نگاهی جامع دارد و فراتر از مرزهای سازمانی حرکت می‌کند. از این رو، اهداف استراتژیک اداری را در نظر می‌گیرد. در کل می‌توان بیان کرد که هدف عمده، ایجاد پایه‌ای اخلاقی و قانونی برای سیاست می‌باشد و ملاحظات ساختارهای سازمانی و مدیریت صحیح در نظر گرفته می‌شود. نکات زیر، رویکرد کل نگر و پیوسته را نشان می‌دهند:

- تعریف اهداف در مراحل اولیه
- تعریف واضح از تنظیمات کاری مشترک با دیگر بخش‌ها
- شناسایی دقیق موانع این رویکرد به انضمام استراتژی‌های غلبه بر آن

۴-۳-۲-۷- یادگیری از تجربیات

یادگیری از تجربیات به معنای کسب تجربه از روش‌هایی است که کارآمد شناخته شده‌اند و یا عدم کارایی‌شان به اثبات رسیده است. رویکرد یادگیری برای بهبود سیاست شامل جنبه‌های زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری اطلاعات درباره نمونه‌های عملی منتشر شده
- تمیز دادن میان شکست سیاست برای اثرگذاری بر مشکلات و شکست عملیاتی / مدیریتی پیاده‌سازی سیاست

۴-۳-۲-۸- ارتباطات

فرآیند سیاست‌گذاری، چگونگی ارتباط سیاست با مردم را در نظر می‌گیرد. موارد زیر در ایجاد ارتباط مؤثر سیاست سهم قابل توجهی دارند:

- آماده‌سازی و پیاده‌سازی استراتژی ارتباطات / ارائه
- ارائه خدمات اطلاعاتی اجرایی از مراحل اولیه

۴-۳-۲-۹- ارزیابی

ارزیابی سیستماتیک اثربخشی سیاست در فرآیند سیاست‌گذاری وجود دارد. رویکردهای سیاست‌گذاری که تعهد به ارزیابی را نشان می‌دهند، شامل:

- تعریفی واضح از هدف ارزیابی مجموعه
- تعریف معیارهای موفقیت
- تعیین ابزارهای ارزیابی از مراحل اولیه
- استفاده از آزمایش به منظور اثرگذاری بر پیامد نهایی

۴-۳-۲-۱۰- بازنگری

سیاست‌های موجود باید به‌طور مستمر بازنگری شوند چرا که سیاست‌های طراحی شده برای حل مشکلات، باید کارایی خود را در طول زمان حفظ کنند. جنبه‌های رویکرد بازنگری برای سیاست‌گذاری شامل:

- برنامه بازنگری مستمر با شاخص‌های عملکرد متنوع و معنادار

- مکانیسم‌هایی برای فراهم کردن بازخورد از سیاست‌های تنظیم شده
- دور انداختن سیاست‌های شکست خورده

۳-۳-۴- تنظیم

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
- جمع‌آوری مالیات‌ها و دیگر در آمدها و ...

به منظور درک بهتر کارکردهای تنظیم‌کننده، بررسی انواع روش‌های تنظیمی مفید خواهد بود که در ادامه آمده است.

۱-۳-۳-۴- فرمان و کنترل

تنظیم دستور و کنترل نوعاً وضع/ تحمیل استانداردهای حمایت شده توسط مصوبات قانونی است، هرگاه استانداردها سازگار نباشند. بنابراین، قانون به عنوان منع یا اجبار فعالیت‌های معینی به کار می‌رود. استانداردها می‌تواند از طریق قانون‌گذاری یا تنظیم‌کنندگانی که به واسطه فرآیند تنظیم برای تعریف قانون مشروعیت دارند، تنظیم شود. نقاط قوت چنین رویکرد مستقیمی در تنظیم این است که اغلب به‌طور سریع پیاده‌سازی می‌شوند، محدودیت‌های تعریف شده به‌طور واضح تنظیم می‌شود، و نشان می‌دهد که تنظیم‌کننده یا دولت قاطعانه عمل می‌کند. از سویی دیگر، این رویکرد می‌تواند برای فعالیت‌های تنظیمی پیچیده باشد. مشکلاتی که ممکن است به واسطه این رویکرد رخ بدهد، در دسته‌های زیر قرار می‌گیرند:

- تسخیر شدن در فرآیند تنظیم: رویکرد مذکور نیازمند این است که تنظیم‌کننده و تنظیم‌شونده، به ویژه برای تضمین در فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز تنظیم‌کننده، با یکدیگر مشارکت داشته باشند. این ارتباط نزدیک ممکن است به تسخیر شدن تنظیم‌کننده توسط تنظیم شونده منتهی شود و در نتیجه آن قوانینی که به نفع یک مجموعه خاص است در نظر گرفته شود نه قوانینی که رفاه عمومی را در بر گیرد.
- افراط در قانون: این رویکرد اغلب به صورت پیچیده، غیر منعطف و مداخله‌گر به تصویر کشیده شده است. تدبیر در قوانین دقیق، به ویژه زمانیکه یک اقتصاد در حال تغییر است، می‌تواند مشکل باشد. به علاوه، درگیری مستقیم سیاست‌گذاران می‌تواند به معنی ایجاد قوانینی در پاسخ به موقعیت‌ها یا زمینه‌های خاص باشد که اغلب در مقیاس‌های زمانی کوتاه در نظر گرفته می‌شود. لذا می‌توان بیان نمود که رویکرد مذکور همواره مؤثر و جلوتر از زمان نمی‌باشد.
- تنظیم کردن استانداردها: گاهی اوقات تنظیم یک استاندارد مناسب، به عنوان مثال تعین یک سطح معین از آلودگی یا کارایی واقعی اهداف برای سیستم‌های توزیع و انتقال، پیچیده است.
- تنفیذ: پیچیدگی قوانین و این امکان که طراحی انجام شده ممکن است تمامی فعالیت‌ها را در بر نگیرد، تنفیذ را برای تنظیم‌کننده مشکل می‌کند.

۲-۳-۳-۴- خود تنظیمی

این رویکرد می‌تواند به عنوان نوعی از نسخه خود انجامی۱ رویکرد دستور و کنترل تلقی شود. در این مورد، اغلب انجمن‌های تجاری یا کسب و کار تشکیل شده که قوانین عملکرد را ایجاد، کنترل و اجرا می‌کنند. به عنوان یک قانون، خود تنظیمی اغلب به عنوان یک روش کسب و کار دیده می‌شود که اقدام انحصاری به منظور جلوگیری از مداخله دولت انجام می‌دهد. مزایای این رویکرد شامل سطح بالای تعهد کسب و کارها و ماهیت جامع قوانین تنظیم شده می‌باشد. به علاوه، این رویکرد منعطف‌تر از رویکرد دستور و کنترل بوده چرا که به قانونگذاری نیازی ندارد. از سویی دیگر، خود تنظیمی می‌تواند به صورت یک رویکرد غیردموکراتیک، محدود به بررسی دقیق بیرونی و در معرض سوءاستفاده توسط کسانیکه با اهداف مختلف قوانین را تنظیم می‌کنند، دیده شود. در کمترین سطح، خود تنظیمی همواره در معرض چالش‌های منتج شده از علاقه‌های بیرونی کسانیکه فکر می‌کنند استانداردها و قوانین به سمت کاهش تأثیر فعالیت‌های غیر مطلوب تنظیم نشده است، قرار دارد.

۳-۳-۳-۴- تنظیم مبتنی بر تشویق

یک تشویق، سیاست، قانون، مکانیسم قیمت، یا رویه‌ایست که به دنبال تعدیل رفتار افراد یا شرکت‌ها به واسطه تغییر در هزینه‌ها یا سودهای حاشیه‌ای مرتبط با تصمیم یا فعالیت خاص می‌باشد. از یک سو، می‌توان گفت که تمامی تنظیمات بر مبنای تشویق است چرا که تنظیم از طریق مفهوم پایه جریمه برای رفتارهای «بد» و پاداش برای رفتارهای «خوب» عمل می‌کند. تنظیم مبتنی بر تشویق سعی دارد به منظور کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات، برنامه سودمند با سودهای زیاد را پاداش دهد. هدف عمده این است که تنظیم‌شونده فعالیت‌های غیر مطلوب خود را از طریق تحمیل/ وضع مالیات و کمک‌های مالی محدود یا متوقف کند. برای به کارگیری این رویکرد، گام‌های اصلی شامل انتخاب واحدهای اندازه‌گیری، تعیین خط مبنا، انتخاب اهداف برای بهبود و/ یا نگهداری و سپس اجرای تشویق‌ها و جریمه‌ها می‌باشد. یکی از انواع تنظیمات مبتنی بر تشویق، تنظیم مبتنی بر عملکرد۲ (PBR) است که تشویق‌ها ملزم به بهبود در عملکرد مطلوب، کاهش قیمت و بهبود در کیفیت خدمات می‌باشد. به علاوه PBR بیشتر به استانداردهای عملکرد خارجی متکی است و کمتر به فعالیت‌های خاص شرکت حساس است. مزایای PBR این است که به بهبود در بهره‌برداری شرکت‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و عملیات و بهبود در پایایی سیستم کمک می‌کند. طرح تنبیه و تشویق به صورت مکانیکی عمل می‌کند. بنابراین کاهش در حوزه صلاحدید تنظیمی، در مقابل امکان تسخیر در فرآیند تنظیم را کاهش می‌دهد. به علاوه این رویکرد، انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری شرکت، که آیا از قانون تبعیت کند یا جریمه بپردازد، را فراهم می‌کند. اگرچه به عنوان یکی از معایب این روش، می‌توان به ایجاد قوانین بسیار پیچیده و غیر منعطف که واقعیت‌های بازار در آن لحاظ نشده است، اشاره کرد. از مفروضات اصلی این رویکرد، عقلانیت اقتصادی است که لزوماً در همه موارد یافت نمی‌شود.همچنین، گاهی اوقات پیش‌بینی تأثیر این نوع رویکرد مشکل است. به عنوان مثال، رفتار «بد»، مانند آلودگی، می‌تواند پاداش بگیرد اگر که قوانین به‌طور صحیح تنظیم نشده باشند.

---

[1] Do-it-yourself

[2] Performance-Based Regulation (PBR)

۴-۳-۴- مکانیسم‌های مبتنی بر بازار

حوزه وسیعی از مکانیسم‌های مبتنی بر بازار وجود دارند که می‌توانند برای تنظیم فعالیت‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. تنظیمات مبتنی بر بازار می‌تواند اثربخشی هزینه‌ای را ثابت کند و مداخلات تنظیمی در عملیات روزانه شرکت‌ها را کمینه کند. انواع مکانیسم‌های معمول مبتنی بر بازار در زیر بررسی می‌شوند.

- قوانین رقابتی: قوانینی هستند که برای کنترل رفتار شرکت‌ها ایجاد می‌شوند تا تضمین کند بازار، خدمات را با محدود کردن فعالیت‌های غیر مطلوب مانند قیمت‌گذاری تهاجمی، کمک مالی، تحویل می‌دهد. قانون رقابتی می‌تواند به تنظیم از طریق دستور و کنترل ترجیح داده شود چرا که کمتر در امور شرکت‌ها مداخله می‌کند، برای سرمایه‌گذاری عمومی ارزانتر است.
- تنظیم به واسطه قرارداد: دولت می‌تواند از قدرت خرید خود برای تعیین شرایط قراردادها با کسب و کارهای خارجی استفاده کند. شرایط قراردادی برای هدایت اهداف اجتماعی مطلوب، مانند نسبت معینی از انرژی تجدیدپذیر در تولید کالاها، می‌تواند استفاده شود. این رویکرد، گاهی به عنوان راه حل کوتاه‌مدت، در نظر گرفته می‌شود و زمانی ارزشمند است که هدف افزایش سریع استواری فرآیند تنظیم و در زمان کوتاه است. اگرچه ترجیحاً باید تقویت شود و در نهایت با شاخص‌های تنظیمی پایدارتری جایگزین شود. افزایش تنظیم به واسطه قرارداد، نباید به عنوان یک جایگزین برای عامل‌های تنظیمی موجود لحاظ شود، بلکه باید به عنوان یک روش متمم با بهبود در اثربخشی و اعتبار تنظیم‌کننده در نظر گرفته شود. تحت رژیم تنظیم به واسطه قرارداد، یک تنظیم کننده به‌طور بالقوه باید در مذاکرات مجدد قرارداد درگیر شود و از این رو، نقش تنظیم‌کننده به‌طور فزاینده‌ای یک کارگزار امین یا یک بازیگر بی طرف می‌شود که بر روی ایجاد راه حل‌ها و ایجاد اجماع میان تأمین‌کنندگان خدمات، سرمایه‌گذاران و دولت متمرکز می‌شود.
- مجوزهای قابل فروش: این رویکرد در محدود کردن انتشار دی‌اکسیدکربن بسیار مهم است. سطح معینی از انتشار قابل قبول توسط دولت تعیین شده، و به صاحبان بنگاه‌های اقتصادی فوق‌العاده‌هایی[1] تا حد مجاز واگذار می‌شود. در مقابل صاحبان بنگاه‌های اقتصادی می‌توانند سطح انتشار را از حد تخصیص داده شده پایین‌تر قرار دهند و فوق‌العاده‌های اضافی را مبادله کنند و یا حاضر به پرداخت جریمه شوند. از لحاظ سیاسی، این رویکرد یک مکانیسم جذاب است چرا که شرکت‌ها را در تصمیم‌گیری آزاد می‌گذارد. اگرچه، موفقیت این طرح به حدودی که دولت تعیین می‌کند بستگی دارد.
- تنظیم بر اساس افشاگری: این رویکرد نیازمند این است که تولیدکنندگان، منابع یا گنجایش محصولاتشان را بیان می‌کنند. به علاوه، این مکانیسم به مشتریان اجازه می‌دهد تا منبع مقدم را انتخاب کنند. اگرچه، در این روش فرض بر این است که مشتریان برای رسیدن به هدف مطلوب، می‌توانند انتخاب صحیح را انجام بدهند.

۴-۳-۴- تسهیل کننده

سازمان‌های محلی یا بین‌المللی هستند که معمولاً توسط دولت سرمایه‌گذاری می‌شوند و هدف آن توسعه و بهبود بازار خدمات می‌باشد. یک تسهیل‌کننده، تأمین‌کنندگان خدمات را از طریق ایجاد محصولات خدماتی جدید، ارتقاء تجارب مفید و

[1] Allowance

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 تأثیر تأمین‌کنندگان خدمات، تضمین خدمات و حمایت برای محیط سیاسی بهتر می‌باشد. عمل تسهیل، کارکردی است که به‌طور معمول توسط سازمان‌های توسعه‌گرا انجام شده و می‌تواند شامل سازمان‌های غیر دولتی، انجمن‌های صنعتی و کارفرمایان و عامل‌های دولتی باشد.

در این راستا، ذکر نکته‌ای لازم به نظر می‌رسد که تفکیک نقش‌های تسهیل‌کنندگان و ارائه‌کنندگان برای خدمات توسعه کسب و کار ضروری است. در بسیاری از برنامه‌های توسعه‌ای، یک سازمان نقش تأمین‌کننده (ارائه مستقیم خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) و نقش تسهیل‌کننده (تشویق دیگر شرکت‌ها برای عرضه خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) را توأماً ایفا می‌کند. این مسئله اغلب تناقضی برای تأمین‌کنندگان رقابتی به وجود می‌آورد، چرا که تسهیل‌کنندگان معمولاً اهداف توسعه‌ای داشته و تأمین‌کنندگان اهداف تجاری و لذا ترکیب نقش‌ها ممکن است به برنامه‌های ناکارآمد و استفاده نامناسب از سرمایه منجر شود. به علاوه، چنانچه تسهیل‌کنندگان به صورت دولتی سرمایه‌گذاری شده باشند، هنگامی که بازار توسعه پیدا می‌کند و تأمین‌کنندگان و دیگر بازیگران دائمی بازار بر کارکردهای خود مسلط شدند، باید از صحنه بازیگران بازار حذف شود. تنها حالت استثنایی زمانی است که تسهیل‌کننده فعالیت‌های خود را از طریق فروش خدمات به تأمین‌کنندگان از نظر مالی تأمین کند و در نتیجه به یک بازیگر دائمی و پایدار در بازار تبدیل شود.

۵-۳-۴- ارائه دهنده کالا و خدمات

این دسته از بازیگران در دو حوزه خدمات آموزشی ـ پژوهشی و صنعتی قابل تقسیم‌بندی هستند.

۱-۵-۳-۴- ارائه کننده خدمات آموزشی و پژوهشی

تأمین‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی شامل دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مؤسساتی هستند که در زمینه آموزش و پژوهش در حوزه فناوری‌های مربوطه فعالیت می‌کنند. این نهادها درزمینه فعالیت‌های تحقیق و توسعه نقش مهمی را می‌توانند ایفا نموده و اغلب نمونه‌های اولیه مورد نیاز صنایع از این نهادها به صنعت منتقل می‌گردد.

۲-۵-۳-۴- ارائه کننده خدمات صنعتی

ارائه‌کننده خدمات صنعتی (صنعتگران) شامل بازیگرانی می‌شود که در زمینه‌های صنعتی و تولیدی مرتبط با حوزه فناوری مربوطه فعالیت می‌کنند. این کنشگران ممکن است ترکیبی از عملیات طراحی، ساخت و مونتاژ در حوزه فناوری‌های مربوطه را انجام دهند و یا ارائه کننده محصول یا خدمتی به سازندگان این تجهیزات باشند.

۶-۳-۴- نگاشت نهادی

نهادهای اصلی مرتبط با فناوری‌های پمپ‌های نیروگاهی از طریق جستجو و بررسی اسناد، مدارک و گزارش های داخلی شناسایی شدند و سپس با مطالعه ساختار سازمانی هر یک از سازمان ها و مطالعه شرح وظایف و اهداف در نظر گرفته شده برای سازمانها و نهادهای تابعه و وابسته هر یک از آنها نهادهای مختلف فعال در زمینه کارکردهای نظام نوآوری مورد

شناسایی قرار گرفت. بر اساس مطالعات صورت گرفته نظرات خبرگان، کنش گران شناسایی شده در این حوزه شامل موارد زیر می باشد:

- وزارت صنعت، معدن و تجارت
- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری
- معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر
- سازمان ملی استاندارد ایران
- شورای عتف (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)
- جهاد دانشگاهی
- گمرک
- دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (وزارت نیرو)
- دفتر پشتیبانی فنی تولید (توانیر)
- دفتر فناوری و بومی‌سازی نیروگاه‌های شرکت مادرتخصصی برق حرارتی
- دفتر فنی تولید شرکت مادرتخصصی برق حرارتی
- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی برق و انرژی (وزارت نیرو)
- سندیکای صنعت برق ایران
- مرکز مدیریت فناوری در صنعت برق و ساماندهی تأمین نیازهای نیروگاهی (توانیر)
- سازمان توسعه برق ایران (وزارت نیرو)
- پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)
- پژوهشگاه مواد و انرژی (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)
- سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)
- مرکز پژوهش متالورژی رازی
- دانشگاه‌ها
- پارک های علم و فناوری (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)
- بانکها
- مؤسسه آموزش عالی، علمی کاربردی صنعت آب و برق
- انجمن‌های صنعتی و علمی
- صندوق‌های حمایت از تحقیقات و نوآوری ها نظیر صندوق حمایت از طرح های نوآورانه وزارت نیرو و ..
- شرکت‌های وابسته به وزارت صنعت، معدن و تجارت نظیر مجموعه شرکتهای فولاد آلیاژی، شرکت آذرآب و...
- شرکت‌های سازنده پمپ نظیر پمپیران، پمپ‌های صنعتی ایران و ...

در این بخش، تلاش شده است تا ضمن شناسایی و بررسی تعاملات موجود میان نهادهای مختلف و توجه به کارکرد اصلی آنها در نظام توسعه این فناوری، نقاط ضعف، کاستیها و گسستگیها در این زمینه مشخص شود. کارکردهایی که با توجه به نظام نوآوری در نگاشت نهادی به کار برده شده است با توجه به جدول ۳-۱ کارکرد نهادها مشخص شده است.

جدول ٤-٤: نگاشت نهادی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	نهاد	سیاستگذاری	تنظیمگری	تسهیلگری	ارائه خدمات
۱	وزارت صنعت، معدن و تجارت	✓	✓		
۲	معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	✓		✓	
۳	معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر	✓	✓	✓	
۴	سازمان ملی استاندارد ایران	✓	✓		
۵	شورای عتف	✓		✓	
۶	جهاد دانشگاهی			✓	✓
۷	گمرک جمهوری اسلامی ایران		✓		
۸	دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری	✓	✓	✓	
۹	دفتر پشتیبانی فنی تولید (توانیر)		✓	✓	
۱۰	دفتر فناوری و بومی‌سازی نیروگاه-های شرکت مادرتخصصی برق حرارتی		✓	✓	
۱۱	دفتر فنی تولید شرکت مادرتخصصی برق حرارتی		✓	✓	
۱۲	دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی برق و انرژی (وزارت نیرو)		✓		
۱۳	سندیکای صنعت برق ایران			✓	
۱۴	مرکز مدیریت فناوری در صنعت برق و ساماندهی تامین نیازهای نیروگاهی (توانیر)	✓			
۱۵	سازمان توسعه برق ایران (وزارت نیرو)			✓	
۱۶	پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)			✓	✓
۱۷	پژوهشگاه مواد و انرژی			✓	✓
۱۸	سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران			✓	✓
۱۹	مرکز پژوهش متالورژی رازی				✓
۲۰	دانشگاه‌ها				✓
۲۱	پارک های علم و فناوری			✓	✓

ردیف	نهاد	سیاستگذاری	تنظیمگری	تسهیلگری	ارائه خدمات
۲۲	بانک ها			✓	
۲۳	مؤسسه آموزش عالی، علمی کاربردی صنعت آب و برق				✓
۲۴	انجمن‌های صنعتی و علمی			✓	✓
۲۵	صندوق های حمایت از تحقیقات و نوآوری ها			✓	
۲۶	شرکت‌های وابسته به وزارت صنعت				✓
۲۷	شرکت‌های سازنده پمپ				✓

همانطور که مشاهده گردید در این نگاشت ابتدا بازیگران و ذینفعان اصلی تاثیر گذار در توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی شناخته شده است و در ادامه کارکردهای اصلی هر کدام از این ذینفعان در توسعه این فناوری با توجه به چهار کارکرد اصلی ذکر شده مشخص شده است. در نگاشت نهادی، ۲۷ گروه تأثیر گذار اصلی شناسایی شده است که اهداف و وظایف مهمترین آنها بررسی شده است و سپس نگاشت نهادی کلی توسعه این فناوری بر اساس این وظایف و اهداف در جدول۴-۴ 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 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 اقدامات غیر فنی نیز ارائه شده است.

جدول ٤-٥: متولیان اقدامات غیرفنی در توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

ردیف	اقدام	متولی
۱	تشکیل جلسات و کمیته تخصصی تولید کنندگان تجهیزات و قطعات پمپ-های نیروگاهی در سندیکای صنعت برق	ستاد راهبری/ سندیکای برق
۲	انجام پروژه تحقیقاتی در خصوص تعیین نحوه دقیق حمایت از پروژه های مشترک بین مراکز دانشگاهی و شرکت های فعال در حوزه پمپ‌های نیروگاهی	ستاد راهبری
۳	رایزنی با مدیران وزارت نیرو جهت تخصیص بودجه برای حمایت از شرکت های دانش بنیان در حوزه تجهیزات و قطعات پمپ‌های نیروگاهی در مرحله توسعه	ستاد راهبری/ صندوق ها و بانکها
۴	حمایت از پایان نامه ها و مقالات کاربردی در حوزه پمپ‌های نیروگاهی در مرحله توسعه	ستاد راهبری/ وزارت علوم
۵	برقراری ارتباط با شرکت‌ها و مراکز علمی و تحقیقاتی معتبر کشورهای پیشرو در زمینه پمپ‌های نیروگاهی	ستاد راهبری/ پژوهشگاه نیرو و معاونت بین الملل
۶	حمایت از تهیه و انتشار نشریات تخصصی در حوزه ماشین‌های آبی	انجمن های علمی

ردیف	اقدام	متولی
۷	ارائه سهام شرکت های فعال در حوزه پمپ‌های نیروگاهی به بورس جهت جذب سرمایه	سازمان بورس / وزارت اقتصاد
۸	کمک به شکل گیری انجمن های علمی در حوزه پمپ‌های نیروگاهی	ستاد راهبری/ پژوهشگاه نیرو
۹	برنامه ریزی برای سازماندهی به مشارکت بانک‌ها و سایر صندوق‌ها و مؤسسات مالی برای حمایت از تولیدکنندگان داخلی	ستاد راهبری/ بانک ها و صندوق های فناوری
۱۰	تقویت و توسعه مرکز ساماندهی و تأمین نیازهای نیروگاهی	ستاد راهبری/ توانیر/ پژوهشگاه نیرو
۱۱	برگزاری دوره های آموزشی در زمینه های فناوری های جدید در حوزه پمپ–های نیروگاهی	پژوهشگاه نیرو
۱۲	تدوین و پیشنهاد قوانین حمایتی جهت استفاده از پمپ‌های نیروگاهی ساخت داخل کشور	ستاد راهبری/ پژوهشگاه نیرو/ گمرک
۱۳	شناسایی کشورهای دارای صنعت نیروگاهی مشابه ایران و تلاش در جهت صادرات به آنها	ستاد راهبری/ دفتر توسعه صادارت خدمات مهندسی
۱۴	تشکیل ستاد راهبری طرح توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی	پژوهشگاه نیرو/ وزارت نیرو

۴-۴-ترسیم رهنگاشت

۱-۴-۴- مقدمه

ره نگاشت نمایانگر ارکان اساسی فرآیند پیاده سازی استراتژی و خروجی فرایند برنامه ریزی عملیاتی می باشد. نمایش کلیه سطوح راهبردی از چشم انداز تا فعالیتها، تقدم و تأخر حاکم در سطوح مختلف به ویژه در سطح اقدامات، زمان بندی تحقق هر سطح به همراه منابع اختصاص یافته و در نهایت معرفی متولیان هر یک از سطوح اجزای تشکیل دهنده ره نگاشت میباشند.

همان گونه که در ابتدا عنوان شد تجربه انجام پروژه های تدوین برنامه استراتژیک نشان میدهد که بسیاری از این استراتژی ها یا هیچگاه پیاده نشدهاند و یا در مسیر پیاده سازی با موانع زیادی روبرو شده اند. در بررسی علل این موضوع دو دلیل عمده قابل تأمل است. اول اینکه معمولا قابلیت های مدیریتی نقش مهمی دارند. حال آنکه پیاده سازی استراتژی در کنار توانمندی های مدیریتی نیازمند برنامه می باشد. دلیل دوم این امر، وجود شکافی است که بین لایه استراتژیک و لایه عملیاتی وجود دارد. آنچنان که در بسیاری از موارد، در حالی که استراتژی های ارزشمندی بر روی کاغذ آمده اند، تصمیمات و برنامه های اجرایی بدون توجه به استراتژیها و سیاستها به اجرا گذاشته می شود. هرچند این دو عامل تا اندازه زیادی با هم مرتبط است ولی فقدان یک ساز و کار مناسب برای تبدیل استراتژی به برنامه و اهداف عملیاتی و روزمره نیز یک علت اصلی در ایجاد این شرایط به شمار می آید. بنابراین مرحله پایانی (و یا یکی از مراحل پایانی) در فرایند برنامه ریزی استراتژیک، تدوین برنامه عملیاتی است که یکی از مهمترین دستاوردها در این مرحله، تهیه نقشه راه می باشد که نمایانگر ارکان اساسی فرایند پیاده سازی استراتژی و خروجی اصلی فرایند برنامه ریزی است. هر چند باید تاکید کرد که هیچ گاه ره نگاشت نمی

تواند جای راهبر را بگیرد و کلید به کارگیری این الگو در پیاده سازی استراتژی قابلیت های هنرمندانه راهبری است. آنچنانکه استفاده از تکنیکها و متدولوژی های تدوین و پیاده سازی استراتژی در فقدان قابلیت های راهبری نمی تواند به تحول منجر شود. نظر به اهمیت تهیه رهنگاشت در فرایند برنامه ریزی عملیاتی، در ادامه به ارائه تعاریف دقیق تری از ره نگاشت پرداخته و مولفه ها و شاخص های مورد توجه در تهیه رهنگاشت را بیان می شود.

در تلاش برای توصیف هر چه دقیق تر و کاربردی تر مفهوم ره نگاشت، تعاریف متعددی ارائه شده است. تعاریف ذیل در تفسیر مفهوم ره نگاشت ارائه شده است:

- رهنگاشت ابزاری است برای ارتباط بین چشم انداز، ارزش ها و اهداف با اقدامات استراتژیکی که برای تحقق اهداف مورد نیاز است.
- ره نگاشت جدولی زمانی است که بخش های مختلف یک برنامه کاری را تعریف نموده و در عین حال سررسیدهای موجود در مسیر را نیز شامل می شود.
- ره نگاشت برنامه ای است برای شناسایی مسیر آینده که آنچه باید در آینده توسعه یابد را در بستر زمان نشان می‌دهد.
- ره نگاشت آنچه را که باید در بین زمان های سررسید از زمان حال تا زمان تحقق هدف انجام شود نشان می‌دهد.
- ره نگاشت مجموعه ای است که شامل اهداف کمی و کیفی، استراتژی ها و تاکتیک ها (اقدامات، فعالیت ها و شاخص ها) بوده و بازه های زمانی و مجریان در نظر گرفته شده برای انجام این اقدامات را نشان میدهد. لذا برای رسیدن به هدف، ره نگاشت باید سطح مطلوب و مناسبی از جزئیات را در بر گرفته تا در مجموع ابزار توانمندی را برای هدایت فعالیت ها در طول زمان در اختیار مدیران سازمان قرار دهد.

اگر چه برخی تعاریف کارکردهایی همچون توجیه اقتصادی اقدامات و معرفی پیچیدگی های موجود بین زیر سیستم های زیرساخت ها را نیز از مولفه های یک ره‌نگاشت می دانند، اما برخی تعاریف سعی در هر چه واقعی تر کردن انتظارات کاربران از کارکردهای ره نگاشت دارند و بیان می کنند همانطور که ره نگاشت نباید در صدد تشریح استراتژی ها برآید، نباید بصورت جزیی به تشریح زیر ساخت های فنی لازم در پیاده سازی یک فناوری اشاره کنند.

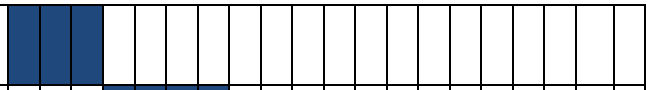
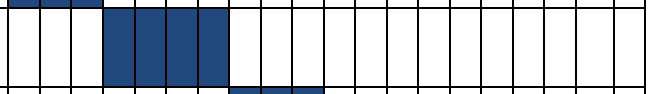
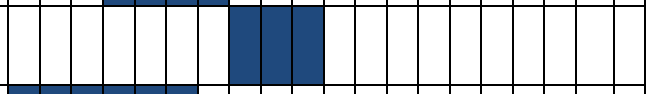
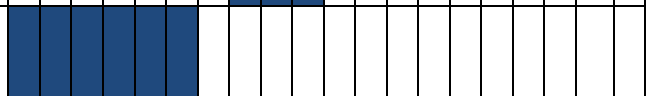
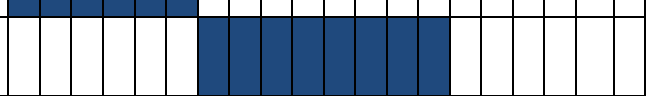
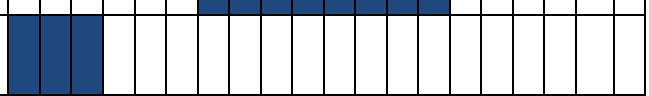
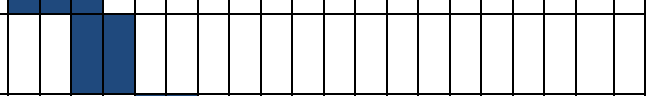
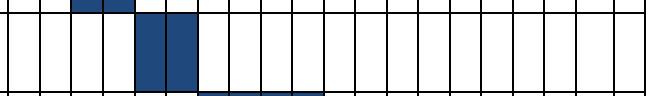
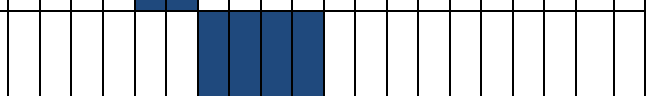
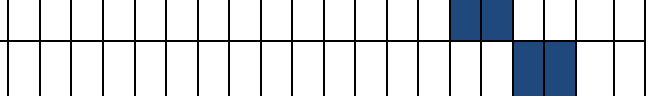
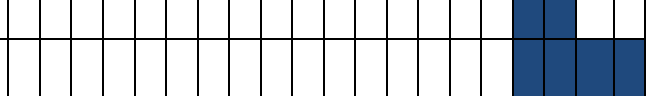
همانطور که ذکر شد ره‌نگاشت فناوری نمایی تصویری از زمان‌بندی و بودجه‌بندی طرح‌های توسعه فناوری است به طوری که در بازه زمانی مشخص به اهداف طراحی شده دست یابیم. با توجه به توضیحات داده شده در بخش رویکرد توسعه و سبک اکتساب فناوری، با توجه به رویکرد کلان DUI و نیز پیشرو بودن شرکت‌های صنعتی در توسعه فناوری، دولت می‌بایست اقدامات و برنامه‌های خود را همراستا با برنامه‌های صنعت تنظیم نماید و بر این اساس می‌توان گفت نقشه راه توسعه این فناوری می‌بایست با مشارکت فعالان صنعتی این حوزه تنظیم گردد.

۲-۴-۴- رهنگاشت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

متناسب با اسناد مشابه پیشین، شکل زیر برای رهنگاشت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی ایجاد گردیده است.

جدول ٤-٦: رهنگاشت توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

حوزه	نام طرح	زمان (سال)									
		۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰

طراحی	طراحی روتوردینامیکی پمپ‌های چند طبقه	
	افزایش راندمان در پروانه پمپ‌های موجود	
	کاهش NPSH و حساسیت به کاویتاسیون	
ساخت	ریخته‌گری قطعات بزرگ (بالای ۳ تن) یا پیچیده در پمپ‌های نیروگاهی	
	نمونه‌سازی سریع قطعات پمپ	
تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری	انتخاب و سایزینگ پمپ‌های نیروگاهی	
	تحلیل هزینه چرخه عمر پمپ‌های نیروگاهی	
	روش‌های کنترل عملکرد پمپ‌های نیروگاهی	
	کنترل پمپ‌های نیروگاهی با استفاده از تغییر دور	
	شناسایی خطا در پمپ‌های گریز از مرکز چند مرحله‌ای	
	تشخیص عیوب بدون سنسور در پمپ‌های گریز از مرکز	
	کاربرد رایانش ابری در پمپ هوشمند	
	کاربرد یادگیری ماشین در پایش داده و تشخیص و پیش‌بینی خطا در پمپ‌ها	

۵- تدوین برنامه ارزیابی و بروزرسانی

۱-۵-شاخص‌های ارزیابی

۱-۱-۵- مقدمه

در این گام، می‌بایست هم شاخص‌های مربوط به راستی آزمایی توسعه ساختار مربوط به ساختار پیشنهادی و هم شاخص‌های مربوط به تحقیق و توسعه و توسعه زیرساخت‌های ذکر شده در نقشه راه مورد توجه قرار گیرد. نکته مهم و قابل‌تأمل 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. به عنوان مثال پاسخ به این سؤال که آیا راهبردهای اتخاذ شده و یا اقدامات و سیاست‌های اتخاذ شده صحیح بوده‌اند؟ و یا بر گروه هدف تأثیر گذاشته‌اند؟ اثربخشی این مؤلفه‌ها را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. و پاسخ به این سؤال که برنامه اقدامات و سیاست‌ها و یا برنامه‌های عملیاتی تا چه میزان تحقق یافته‌اند؟ کارایی این مؤلفه‌ها را مورد سنجش قرار می‌دهد.

در انتها نیز پس از تدوین شاخص‌های ارزیابی اثربخش و کارایی و تدوین مکانیزم ارزیابی، می‌بایست ساختار نظارت و به‌روزرسانی سند تعیین گردد. عموماً هر نقشه راه 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 آن حوزه فناورانه مورد نظر، 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 سیاست‌های اعمالی را بازنگری کند و هم می‌تواند به طور منظم هر ۳ یا ۵ سال یکبار به منظور بازنگری و اصلاح ارکان جهت‌ساز رخ دهد.

تعداد دفعاتی که یک رهنگاشت به‌روزرسانی می‌شود تا حد زیادی بستگی به چارچوب زمانی مورد نظر دارد. به طور معمول، رهنگاشت‌ها به صورت دوره‌ای به‌روزرسانی می‌شوند (مثل هر دو تا پنج سال یک بار). در برخی موارد رهنگاشت‌ها سریع‌تر به‌روزرسانی می‌شوند تا پیشرفت امور، تغییرات در منابع موجود یا ملاحظات زمانبندی را منعکس کنند.

۲-۱-۵- فرآیند ارزیابی

مکانیزمی که در این نقشه راه برای ارزیابی تحقق برنامه‌ها در نظر گرفته شده است 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

مرحله اول از مکانیزم ارزیابی که شامل تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد قبل از اجرایی شدن نقشه راه صورت می‌پذیرد. در این مرحله برای ارکان مختلف نقشه راه که شامل چشم‌انداز، اهداف و اقدامات می‌باشد تعدادی

شاخص تعریف می‌شود. پس از آغاز اجرایی شدن نقشه راه و تشکیل ستاد راهبری آن، 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 نقشه راه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی و نحوه دستیابی به آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲-۱-۵- 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 همین رو شاخص‌ها می‌باید 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 می‌باید مشخص‌کننده ابعاد ذیل باشند [64]:

- کمیت (چقدر)
- کیفیت (چگونه)
- زمان (چه موقع)
- 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 تعریف‌پذیر نباشد که در این حالت از بررسی این بعد خاص صرف‌نظر می‌شود. شاخص‌ها باید با ملاحظه ویژگی‌های زیر تعریف شوند:

- اساسی بودن: یعنی جنبه اساسی یک سطح خاص را منعکس نماید.
- واقعی بودن: هر شاخص باید منعکس‌کننده یک واقعیت – و نه تصور ذهنی – بوده و برای همگان مفهوم واحدی را القا نماید.
- قابل قبول بودن: باید بتوان تغییرات شاخص را به تحقق یا عدم تحقق مقصود منتسب نمود.
- مبتنی بر داده‌های قابل کسب بودن: داده‌های لازم برای اندازه‌گیری شاخص می‌باید در دسترس باشد. [64]

۳-۱-۵- شناسایی شاخص‌های ارزیابی

مطابق با محتوای ذکر شده در فصل قبل و از آنجا که مجموعه فعالیت‌های نقشه راه در دو دسته توسعه ساختار و تحقیق و توسعه قابل تقسیم‌بندی هستند، شاخص‌های سنجش عملکرد طرح عبارتند از:

- شاخص‌های اهداف‌کلان
- شاخص‌های توسعه ساختار
- شاخص‌های تحقیق و توسعه

۵-۱-۳-۱- شاخص‌های اهداف کلان

با تعریف شاخص‌های کلان می‌توان میزان پیشرفت کار در جهت تحقق چشم‌انداز و اهداف کلان را مشاهده نمود که مطابق ذیل می‌باشد:

جدول ۵-۱: شاخص‌های اهداف کلان در جهت تحقق چشم‌انداز

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱	افزایش سهم تولید داخل	ارزش پمپ‌های داخلی نسبت به ارزش کل پمپ‌های خریداری شده در نیروگاه‌های کشور
۲	افزایش ظرفیت تولید	ظرفیت تولید پمپ‌های نیروگاهی
۳	بهبود جزئی راندمان	راندمان پمپ‌های نیروگاهی
۴	بهبود ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان	ضریب دسترسی و قابلیت اطمینان پمپ‌های نیروگاهی

۵-۱-۳-۲- شاخص‌های توسعه ساختار

شاخص‌های توسعه ساختار، دلالت بر شاخص‌هایی دارند که به منظور پایش و نظارت بر روند بهبود ساختار حوزه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی تعریف شده‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از:

- تعداد نهادهای تأسیس شده از میان نهادهای پیشنهادی برای بهبود ساختار حوزه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- تعداد نهادهای فعال از میان نهادهای پیشنهادی برای بهبود ساختار حوزه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

۵-۱-۳-۳- شاخص‌های تحقیق و توسعه

شاخص‌های تحقیقاتی و توسعه‌ای دلالت بر شاخص‌هایی دارند که به منظور پایش و نظارت بر روند پیشرفت مطالعات و پروژه‌های تحقیق و توسعه مرتبط با فناوری‌های حوزه پمپ‌های نیروگاهی تعریف شده‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از:

- تعداد پروژه‌های آغاز شده در زمینه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- تعداد پروژه‌های پایان یافته در زمینه توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی

۵-۲-تدوین ساختار نظارت، بروزرسانی و مکانیزم ارزیابی

همان طور که اشاره شد، به منظور تحقق اهداف نقشه راه لازم است سازوکاری اندیشیده شده و ساختار نظارتی برای آن تعیین گردد. ستاد راهبری طرح توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی بر نحوه اجرای این نقشه راه نظارت می‌کند و بازنگری‌های لازم در نقشه راه را انجام خواهد داد. این ستاد با ایجاد سازوکارهای لازم و استفاده از نهادهای مختلف، ضمن انجام تصمیم‌گیری‌های لازم، وظیفه نظارت بر تحقق اهداف نقشه راه و ارزیابی پیشرفت کار را بر عهده دارد. از جمله وظایف اصلی این ستاد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی
- نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد نقشه راه
- 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

ستاد راهبری طرح توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی در پژوهشگاه نیرو تشکیل می‌شود و اعضای اصلی آن عبارتند از:

- نماینده شرکت مادرتخصصی برق حرارتی
- معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو
- معاونت تخصصی تولید پژوهشگاه نیرو
- رئیس مرکز توسعه فناوری طراحی و ساخت قطعات و تأمین ملزومات واحدهای تولید توان پژوهشگاه نیرو
- سه نفر از صاحب‌نظران و خبرگان حوزه پمپ‌های نیروگاهی از دانشگاه‌های برتر کشور با حکم رئیس ستاد
- سه نفر از نمایندگان صنعت در حوزه‌های سازندگان، مشاوران و پیمانکاران با حکم رئیس ستاد
- دبیر ستاد به انتخاب رئیس ستاد

جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده برای ستاد، لازم است ساختاری برای ستاد در نظر گرفته شود، که شامل موارد ذیل می‌باشد:

- کمیته آموزش
- کمیته پژوهش
- کمیته پشتیبانی

که وظایف آن‌ها در ادامه اشاره شده است.

۵-۲-۱-۱- شرح وظایف کمیته آموزش

- نیازسنجی و برنامه‌ریزی آموزشی برای توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی و کمک به برگزاری دوره‌های آموزشی
- حمایت از برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌ها

۵-۲-۱-۲- شرح وظایف کمیته پژوهش

- تدوین برنامه جامع جهت‌دهی به فعالیت‌های تحقیق و توسعه و تهیه دستورالعمل‌های مورد نیاز و نظارت بر اجرای آن
- شناسایی پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پمپ‌های نیروگاهی و حمایت از آن‌ها تا مرحله عملیاتی شدن آن‌ها
- پایش و ارزیابی مستمر وضعیت دانش فنی موجود در حوزه پمپ‌های نیروگاهی
- نظارت بر انتخاب مشاورین مناسب برای انجام پروژه‌های تعریف شده در نقشه راه
- ارزیابی عملکرد محققین، پیمانکاران و مشاورین در قبل، حین و بعد از انجام پروژه‌ها

- ارائه سیستم جامع ارزیابی مجریان طرح‌ها و پروژه‌های و نظارت بر صحت انجام کار
- نظارت بر رعایت تمامی استانداردها در اجرای پروژه‌ها
- تدوین و ارزیابی شاخص‌های عملکردی و اثربخشی چشم‌انداز، اهداف و اقدامات
- تهیه، تحلیل و به‌روزرسانی بانک‌های اطلاعاتی مورد نیاز به جمع‌آوری و جمع‌بندی نتایج پروژه‌ها

۳-۱-۲-۵- شرح وظایف کمیته پشتیبانی

- رایزنی با نهادهای دولت جهت انجام اصلاحات مورد نیاز در قوانین و مقررات مرتبط
- رایزنی با نهادهای سیاست‌گذار جهت تسهیل دسترسی بازیگران توسعه پمپ‌های نیروگاهی
- پیگیری ابلاغ و اجرایی شدن دستورالعمل‌های نظام توسعه پمپ‌های نیروگاهی
- زمینه‌سازی همکاری میان شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی داخلی با شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی معتبر خارجی
- ایجاد ارتباط بین صنعت برق و دانشگاه‌ها و مراکز علمی تحقیقاتی
- تهیه قراردادهای تیپ برای مناقصات

اعضای ستاد موظفند طبق نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها، اقدامات لازم را جهت اطمینان از تحقق نقشه راه در افق ۱۰ ساله، اتخاذ کنند. مرکز در صورت نیاز به اصلاح ساختارها و سازوکارهای نهادی ذی‌ربط، از طریق مراجع ذیصلاح گردش کار را انجام خواهد داد. همچنین ستاد موظف است در دوره‌های زمانی دوساله به رصد فناوری‌های مرتبط و در حال توسعه در حوزه پمپ‌های نیروگاهی بپردازد.

با توجه به روند تحولات و نیز وضعیت پیشرفت نقشه راه، لازم است چهار سال پس از اجرایی شدن نقشه راه با توجه به نتایج به دست آمده از از پروژه‌های تدوین دانش فنی، نقشه راه مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد. همچنین در صورتی که در انتهای هر سال پس از آغاز اجرای طرح، مقدار شاخص کلی پیشرفت سند بیش از ۲۵ درصد نسبت به مقدار آن طبق برنامه کاهش داشت، لازم است که نقشه راه مورد بازبینی قرار گیرد.

۴-۱-۲-۵- مکانیزم عملکرد

توجه به وظایف مطرح شده برای این کمیته‌ها، می‌بایست مکانیزمی اندیشیده شود که به عنوان چارچوبی برای انجام فعالیت‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. همان طور که اشاره شد، از جمله وظایف اصلی اعضای ستاد راهبری طرح توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی، نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد نقشه راه و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد. لذا اعضای ستاد جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده می‌بایست جلسات منظم (۶ ماه یکبار) 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 نماید.

۵-۱-۲-۵- جمع‌بندی

در این گزارش ضمن بیان مفاهیم مربوط به موضوع ارزیابی و پایش پیشرفت برنامه راهبردی، به شناسایی شاخص‌های مناسب برای ارزیابی، کنترل و نظارت بر روند پیشرفت برنامه راهبردی توسعه فناوری پمپ‌های نیروگاهی پرداخته شد.

در ادامه بیان گردید کمیته‌ای متشکل از نمایندگان وزارت نیرو، صنعت و دانشگاه تشکیل شده و پیشرفت طرح را مورد ارزیابی قرار داده و برنامه‌ها را بروزرسانی می‌کنند. همچنین دوره زمانی لازم برای به‌روزرسانی زمانبندی اجرای برنامه و بازبینی و در صورت لزوم بازنگری در محتوای برنامه راهبردی، یک سال در نظر گرفته شد.

۶- مراجع فارسی

[۱] نوربخش، سید احمد، "پمپ و پمپاژ"، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

[۲] شرکت مهندسین مشاور مونتکو ایران، "آشنایی با اصول طراحی نیروگاه‌های حرارتی"، انتشارات شیوه، ۱۳۸۹.

[۳] صفایی پیروز، امیرعلی، "تجهیزات نیروگاه آبی سیمره"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۳.

[۴] شرکت پمپیران، "مشخصات بازرسی".

[۵] باکوس، لاری، کوستودیو، آنجل، "عملکرد و نگهداری پمپ‌های سانتریفیوژ"، ترجمه ابوالفضل منفرد شادقلی، نشر طراح، ۱۳۸۳.

[۶] "صنعت برق ایران، سال ۱۳۹۵"، شرکت مادرتخصصی توانیر، ۱۳۹۶.

[۷] "اعلام نیاز واحدها"، دفتر تحقیقات و ساخت داخل شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۸.

[۸] ص. چوبکار و ع. م. صغیری, "امکان سنجی استفاده از مجازیسازی (همزاد دیجیتال) در صنعت برق," تهران, ۱۳۹۹.

[۹] مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، تهران: ۱۳۹۴.

[۱۰] توفیق، فیروز، برنامه‌ریزی در ایران و چشم‌انداز آینده آن، تهران: موسسه عالی آموزش، پژوهش و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۵.

[۱۱] محسن، رضایی میرقائد، چشم‌انداز ایران فردا، تهران: سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۱۳۸۴.

[۱۲] محسن، رضایی میرقائد، علی، مبینی دهکردی، ایران آینده در افق چشم‌انداز، تهران: سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، ۱۳۸۵.

[۱۳] زینب، ذولفقاری، مدل مناسب آینده‌پژوهی در چشم‌انداز ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، تهران: دانشگاه علامه طباطبایی، ۱۳۹۷.

[۱۴] دیوید, فرد آر, ترجمه دکتر علی پارسائیان و دکتر سید محمد اعرابی. مدیریت استراتژیک. تهران: دفتر پژوهشهای فرهنگی, ۱۳۸۱.

[۱۵] مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور. روششناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی. تهران: در دست چاپ, ۱۳۹۲.

[۱۶] سند راهبردی و نقشه راه طراحی و توسعه دانش فنی ساخت مواد و قطعات داغ نیروگاهی، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۶.

[۱۷] مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور. روش‌شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی. تهران : در دست چاپ, ۱۳۹۲.

[۲] جوکار، طاهره، عصاره، فریده، "جریان انتشار مقالات علمی در کشور ایران طی سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ بر اساس مدل مارپیچ سه گانه دانشگاه، صنعت و دولت"، پژوهشنامه پردازش و مدیریت اطلاعات. ۱۳۹۲؛ ۲۹ (۲): ۵۰۵-۵۳۳.

[۳] "آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، سال ۱۳۹۸"، شرکت مادرتخصصی توانیر، ۱۳۹۸.

[۴] ذوقی, نیما؛ سیداحمد نوربخش و علیرضا ریاسی، "شبیه سازی پایا و غیر پایای جریان سیال در درفت تیوب توربین آبی"، کنفرانس ملی مهندسی مکانیک ایران، شیراز، دانشگاه شیراز، ۱۳۹۲.

[۵] سنگری, رضا، "ساخت و بهینه سازی توربین آبی فرانسیس"، سومین کنفرانس ملی نوآوری و تحقیق در مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر و مکانیک ایران، تهران، ۱۳۹۶.

[۶] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، "راهنمای بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌های آبی سدهای بزرگ"، ۱۳۸۹.

[۷] وصال، محمد، تجریشی، محمدسعید، "اثرات اقتصادی سدسازی در ایران"، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳۹۸، ۱۵ (۱): ۲۴۷-۲۵۶.

۷- مراجع لاتین

[1] “DOE Fundamentals Handbook: Mechanical Science”, Volume 1, U.S. Department of Energy, 1993.

[2] Casada D., “Overview of the Pumping System Assessment Tool (PSAT)”, U.S. Department of Energy, 2008.

[3] http://pumpiran.co

[4] http://centrifugalpump.blogfa.com/post/17

[5] http://m.modopump.net

[6] https://farva.ir

[7] https://detroitpump.com

[8] Nuclear Energy Agency, “ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-cause Failures of Centrifugal Pumps”, Committee on the Safety of Nuclear Installation, 2013.

[9] Bloch H. P. and Geitner F. K., “Practical Machinery Management for Process Plants: Machinery Failure Analysis and Troubleshooting”, Volume 2, Elsevier, 2012.

[10] Kamenicky J. and Zajicek J., "Failure rate evaluation of the pumps used in power industry." In 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), pp. 503-506. IEEE, 2015.

[11] Sheikh A. K., Younas M., and Al-Anazi D. M., "Weibull analysis of time between failures of pumps used in an oil refinery." In The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, vol. 4, pp. 475-491. 2002.

[12] http://www.tccim.ir

[13] https://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/pumps/history-pumps-through-years

[14] https://www.pumpsandsystems.com/instrumentationcontrols/september-2016-technology-developments-improve-centrifugal-pump-systems?page=2

[15] Pump Handbook (2008). IJ Karassik, JP Messina, P. Cooper, CC Heald.

[16] https://pumps.leistritz.com

[17] https://www.turbomachinerymag.com/turbomachinery-pump-symposia-2019/

[18] ABB drives, Technical guide book, 2011.

[19] B. Wu, High-Power Converters and AC Drives, USA: IEEE Press, 2006.

[20] B. K. Bose, Modern Power Electronics and Ac Drives, Prentice Hall, 2002 .

[21] Voith, Variable-Speed Drives for Combined Cycle Power.

[22] https://www.worldpumps.com/general-processing/features/the-pump-industry-past-present-and-future/

[23] https://www.worldpumps.com/operating-design/features/digitalization-the-future-of-pumps/

[24] E. Meli *et al.*, "Design and Production of Innovative Turbomachinery Components via Topology Optimization and Additive Manufacturing," *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2019, pp. 1–12, Sep. 2019, doi: 10.1155/2019/9546831

[25] K. K. McKee, G. L. Forbes, I. Mazhar, R. Entwistle, and I. Howard, "A Review of Machinery Diagnostics and Prognostics Implemented on a Centrifugal Pump," in Lecture Notes in Mechanical Engineering, London, 2014, pp. 593–614.

[26] D. Galar and U. Kumar, eMaintenance: Essential Electronic Tools for Efficiency. 2017.

[27] R. Gao et al., "Cloud-enabled prognosis for manufacturing," CIRP Ann., vol. 64, no. 2, pp. 749–772, 2015, doi: 10.1016/j.cirp.2015.05.011.

[28] J. Wang, L. Zhang, Y. Zheng, and K. Wang, "Adaptive prognosis of centrifugal pump under variable operating conditions," Mech. Syst. Signal Process., vol. 131, pp. 576–591, 2019, doi: 10.1016/j.ymssp.2019.06.008.

[29] F. Alrowaie, R. B. Gopaluni, and K. E. Kwok, "Fault detection and isolation in stochastic non-linear state-space models using particle filters," Control Eng. Pract., vol. 20, no. 10, pp. 1016–1032, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.conengprac.2012.05.008.

[30] C. K. R. Lim and D. Mba, "Switching Kalman filter for failure prognostic," Mech. Syst. Signal Process., vol. 52–53, no. 1, pp. 426–435, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.ymssp.2014.08.006.

[31] J. Wang, P. Wang, and R. X. Gao, "Enhanced particle filter for tool wear prediction," J. Manuf. Syst., vol. 36, pp. 35–45, May 2015, doi: 10.1016/j.jmsy.2015.03.005.

[32] N. J. Gordon, D. J. Salmond, and A. F. M. Smith, "Novel approach to nonlinear/non-gaussian Bayesian state estimation," IEE Proceedings, Part F: Radar and Signal Processing, vol. 140, no. 2. pp. 107–113, 1993, doi: 10.1049/ip-f-2.1993.0015.

[33] A. Raouf, Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring, vol. 11, no. 1. 2005.

[34] R. X. Perez, R. A. Akins, C. E. Lee, and H. F. Taylor, "Fiber-optic pressure sensors detect cavitation and flow instabilities in centrifugal pumps," World Pumps, vol. 1996, no. 359. pp. 28–33, 1996, doi: 10.1016/s0262-1762(99)81032-3.

[35] H. M. Hashemian, "Wireless sensors for predictive maintenance of rotating equipment in research reactors," Ann. Nucl. Energy, vol. 38, no. 2–3, pp. 665–680, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.anucene.2010.09.012.

[36] A. Al Thobiani, A., Gu, Fengshou and Ball, “The monitoring of cavitation in centrifugal pumps based on the analysis of vibro-acoustic measurements,” 2010, [Online]. Available: http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/8182./

[37] G. Vachtsevanos, F. Lewis, M. Roemer, A. Hess, and B. Wu, Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Engineering Systems. John Wiley and Sons, 2007.

[38] R. Isermann, “Supervision, fault-detection and fault-diagnosis methods - An introduction,” in Control Engineering Practice, May 1997, vol. 5, no. 5, pp. 639–652, doi: 10.1016/S0967-0661(97)00046-4.

[39] V. Palade, L. Jain, and C. D. Bocaniala, Eds., Computational Intelligence in Fault Diagnosis. London: Springer London, 2006.

[40] J. Chen and R. J. Patton, Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems, vol. 3. Boston, MA: Springer US, 1999.

[41] E. Chow and A. Willsky, “Issues in the development of a general design algorithm for reliable failure detection,” in 1980 19th IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, Dec. 1980, pp. 1006–1012, doi: 10.1109/CDC.1980.271954.

[42] D. An, N. H. Kim, and J. H. Choi, “Practical options for selecting data-driven or physics-based prognostics algorithms with reviews,” Reliability Engineering and System Safety, vol. 133. Elsevier Ltd, pp. 223–236, Jan. 01, 2015, doi: 10.1016/j.ress.2014.09.014.

[43] A. K. S. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic, “A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance,” Mech. Syst. Signal Process., vol. 20, no. 7, pp. 1483–1510, Oct. 2006, doi: 10.1016/j.ymssp.2005.09.012.

[44] D. An, N. H. Kim, and J.-H. Choi, “Practical options for selecting data-driven or physics-based prognostics algorithms with reviews,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 133, pp. 223–236, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.ress.2014.09.014.

[45] B. Wang, D. Zou, and R. Ding, “Support Vector Regression Based Video Quality Prediction,” in 2011 IEEE International Symposium on Multimedia, Dec. 2011, pp. 476–481, doi: 10.1109/ISM.2011.84.

[46] C. S. Byington, M. J. Roemer, and T. Galie, “Prognostic enhancements to diagnostic systems for improved condition-based maintenance [military aircraft],” in Proceedings, IEEE Aerospace Conference, vol. 6, pp. 6-2815-6–2824, doi: 10.1109/AERO.2002.1036120.

[47] W. K. Yu and T. A. Harris, “A New Stress-Based Fatigue Life Model for Ball Bearings,” Tribol. Trans., vol. 44, no. 1, pp. 11–18, Jan. 2001, doi: 10.1080/10402000108982420.

[48] C. S. Byington, M. J. Roemer, and T. Galie, “Prognostic enhancements to diagnostic systems for improved condition-based maintenance [military aircraft],” in Proceedings, IEEE Aerospace Conference, vol. 6, pp. 6-2815-6–2824, doi: 10.1109/AERO.2002.1036120.

[49] S. Butler, “Prognostic Algorithms for Condition Monitoring and Remaining Useful Life Estimation,” Maynooth University, 2012.

[50] N. Koteleva, G. Buslaev, V. Valnev, and A. Kunshin, “Augmented reality system and maintenance of oil pumps,” *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 33, no. 8, pp. 1620–1628, Aug. 2020, doi: 10.5829/ije.2020.33.08b.20.

[51] https://www.flowserve.com/sites/default/files/2016-07/fpd-100-e.pdf

[52] http://www.tecnicaindustriale.net/grundfos_brochure.pdf

[53] https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Brochures/Market%20Bulletins/ITT_Power_bulletin.pdf?ext=.pdf

[54] https://www.titanpumpsinc.com/aboutus

[55] https://www.pumpindustry.com.au/the-story-of-the-shurricane-continues

[56] https://modernpumpingtoday.com/expect-growth-in-the-pump-market/

[57] https://www.reportsanddata.com/report-detail/industrial-pumps-market

[58] https://empoweringpumps.com/frost-sullivan-pumps-market-power-generation-segment/

[59] https://www.powermag.com/press-releases/power-generation-pumps-market-has-80-concentration-of-centrifugal-pumps/

[60] https://www.patentinspiration.com

[61] Chiesa, V and Manzini, R.:Organizing for technological collaborations: a managerial perspective. R&D Management, 1998. pp. 199-212.

[62] Allison, M., and Kaye, J. Strategic Planning for Nonprofit Organizations. 1998.

[63] Kaplan, R.S. and Norton, D.P. The balanced scorecard: translating strategy into action. United states of America: Harvard Business Press, 1996.

[64] Ahrens, J., 2002. *Governance and the implementation of technology policy in less developed countries*. Econ. Innovation New Tech. 11, 441-476.

[65] Colebatch H.K., 2002. *Policy.* Second edition, Open University Press, Buckingham.

[66] 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.

[67] Agency, International Energy. *Energy Technology Roadmaps: a guide to development and implementation.* Paris : OECD/IEA, 2014.

[68] http://2rooznameh.ir/index/index.php/