تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور



مدیر پروژه: علیرضا رهنورد

مجری: علی‌اصغر ذکاوتی

NRI-ER-790-PCVPN12-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.293


بسم الله الرحمن الرحيم

تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور

مدیر پروژه:

علیرضا رهنورد

همکاران پروژه:

امیر اکبری گرکانی، علی‌اصغر ذکاوتی، محمدعلی جعفری، سوده صمیمی، مجید بیگی

مجری:

علی‌اصغر ذکاوتی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

کد گزارش: NRI-ER-790-PCVPN12-00-F

DOI: 10.30503/nripress.2020.293

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

تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور / علیرضا رهنورد. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹ .

۳۴۲ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. اکبری گرکانی، امیر، همکار پروژه. ۲. ذکاوتی، علی‌اصغر، مجری و همکار پروژه.
۳. جعفری صحنه‌سرایی، محمدعلی، همکار پروژه. ۴. صمیمی، سوده، همکار پروژه. ۵. بیگی، مجید، همکار پروژه ۶. ریسک و تاب‌آوری. ۷. شناسایی مخاطرات محیطی.

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

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

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

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

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

همکاران :

۱. امیر اکبری گرکانی
۲. علی‌اصغر ذکاوتی
۳. محمدعلی جعفری
۴. سوده صمیمی
۵. مجید بیگی

پیشگفتار

نوشتار حاضر، گزارش نهایی پروژه "تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور " می‌باشد. پروژه مذکور به‌عنوان اولین گام اجرایی از طرح کلان و راهبردی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق، در گروه سازه‌های صنعت برق تعریف شده است.

تاسیسات و سازه‌های موجود در صنعت برق همواره در معرض برخورد با مخاطرات مختلف قرار دارند. لذا به منظور بهره‌برداری و سرویس‌دهی مناسب و همچنین کاهش خسارت وارده به این تاسیسات، نیاز به شناخت کامل مخاطرات موجود و دلایل وقوع آنها و همچنین آسیب‌های ناشی از آن می‌باشد. بدین منظور، شناسایی انواع مخاطرات آسیب‌رسان به سازه‌ها و سامانه‌ها و تعیین ویژگی‌ها و مشخصات آن‌ها به‌صورت کمی، نیاز می‌باشد. از طرف دیگر، با توجه به پتانسیل ایجاد شرایط بحرانی ناشی از وقوع مخاطرات محیطی، شناسایی و تعیین مشخصات انواع مخاطرات و پیش‌بینی آن‌ها در آینده دور و نزدیک به‌منظور برنامه‌ریزی برای انجام فعالیت‌های مرتبط با مدیریت بحران، ضروری است. در طبیعت، مخاطرات می‌تواند دارای منشا طبیعی بوده که انسان در پدید آمدن آن دخالتی ندارد و یا می‌تواند به دلایل فعالیت‌های انسانی و اعمال تغییرات بر روی طبیعت به وجود بیاید. یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که سازه‌های صنعت برق را همواره مورد تهدید قرار می‌دهد، مخاطرات مربوط به زمین است که در اثر وقوع این مخاطرات، خسارات زیادی به سازه‌های موجود در صنعت برق وارد آمده است. لذا شناخت، دسته‌بندی و بررسی این مخاطرات دارای اهمیت فراوان می‌باشد.

هدف از تهیه این سند، شناسایی انواع مخاطرات زمین در ارتباط با سازه‌های صنعت برق، شناسایی ماهیت هریک به همراه مدل‌های رفتاری و آماری مناسب برای بیان پارامترهای مشخصه آنها و تدوین برنامه عملیاتی و نقشه‌راه جهت گردآوری داده‌های مورد نیاز و تعیین و ارائه مقادیر کمی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور (بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی) می‌باشد. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها، راهبردها، اقدامات و برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه دانش و فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند. وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه مورد نیاز برای توسعه دانش و فناوری و نیل به اهداف آن خواهد شد.

مدیر پروژه

علیرضا رهنورد

فهرست مطالب

پیشگفتار ۲

۱-تدوین مبانی سند راهبردی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات جوی مرتبط با صنعت برق ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-معرفی و دسته بندی انواع مخاطرات زمین ۲

۱-۲-۱- فرونشست زمین ۵

۱-۲-۲- روانگرایی ۵

۱-۲-۳- گسترش جانبی ۷

۱-۲-۴- ناپایداری شیروانی و زمینلغزش ۸

۱-۲-۴-۱- طبقه بندی زمینلغزشها ۸

۱-۲-۵- فروریزش خاک ۱۱

۱-۲-۶- ایجاد تورم در خاک ۱۱

۱-۲-۷- واگرایی در خاکها ۱۲

۱-۲-۸- ایجاد تغییر شکلهای زیاد در خاک بدلیل وجود خاکهای مسالهدار ۱۳

۱-۲-۹- فرسایش ۱۴

۱-۲-۱۰- کارستی شدن ۱۵

۱-۲-۱۱- زلزله ۱۸

۱-۲-۱۲- گسلش ۱۸

۱-۲-۱۳- آتشفشان ۱۹

۱-۲-۱۴- خاکهای خورنده ۱۹

۱-۳-آسیبهای وارده به صنعت برق در ایران و نقاط مختلف دنیا ۲۰

۱-۳-۱- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر فرونشست ۲۰

۱-۳-۲- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر روانگرایی ۲۱

۱-۳-۳- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر گسترش جانبی ۲۲

۱-۳-۴- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر زمینلغزش ۲۲

۵-۳-۱- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر فرسایش ۲۳
۶-۳-۱- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر زلزله ۲۴
۷-۳-۱- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر گسلش ۳۳
۸-۳-۱- آسیبهای وارده به صنعت برق در اثر خاکهای خورنده ۳۳
۴-۱- توجیه و تبیین ضرورت شناسایی و پهنه بندی مخاطرات محیطی زمین در صنعت برق ۳۴
۱-۴-۱- توجیه‌پذیری فنی ۳۴
۲-۴-۱- توجیه‌پذیری اقتصادی ۳۷
۳-۴-۱- توجیه‌پذیری سیاسی اجتماعی ۳۸
۴-۴-۱- توجیه‌پذیری زیستمحیطی ۳۹
۵-۴-۱- توجیه‌پذیری قانونی ۴۰
۵-۱- تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات ۵۴
۱-۵-۱- تبیین سطح تحلیل ۵۴
۲-۵-۱- تعیین افق زمانی برنامه‌ریزی ۵۴
۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۵۵
۲-مطالعات تطبیقی در کشورهای منتخب در حوزه‌های مرتبط با مخاطرات جوی ۵۷
۱-۲- مقدمه ۵۸
۲-۲- رویکرد مورد استفاده برای انتخاب کشورهای مقصد ۵۸
۳-۲- بررسی ویژگیها و پارامترهای موثر در انتخاب کشورهای مقصد ۶۰
۱-۳-۲- مشابهت مخاطرات زمین ۶۰
۱-۱-۳-۲- مخاطرات زمین در ایران ۶۰
۲-۳-۲- پیشرو و پیشرفته بودن ۶۲
۳-۳-۲- دردسترس بودن مطالعات ۶۳
۴-۲- جداول امتیاز محاسبه شده برای کشورهای مختلف ۶۷
۵-۲- انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی ۷۷
۱-۵-۲- فرآیند انتخاب کشورهای مقصد ۷۷
۲-۵-۲- جمع بندی انتخاب کشورهای هدف جهت مطالعه تطبیقی ۷۸

۲-۶- پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی ۸۱
۲-۶-۱- زلزله ۸۱
۲-۶-۲- زمین لغزش ۸۱
۲-۶-۳- فرونشست زمین ۸۴
۲-۶-۴- خاکهای خورنده ۸۵
۲-۶-۵- خاکهای مساله دار ۸۶
۲-۶-۶- فرسایش خاک ۸۷
۲-۶-۷- مناطق کارستی ۸۸
۲-۷- روشهای ارزیابی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی و پهنه بندی آنها ۸۹
۲-۷-۱- انواع نقشه های پهنه بندی ۸۹
۲-۷-۱-۱- پهنه بندی وقوع ۸۹
۲-۷-۱-۲- پهنه بندی حساسیت ۹۰
۲-۷-۱-۳- پهنه بندی ریسک، خطر یا آسیب پذیری ۹۰
۲-۷-۲- روش های پهنه بندی وقوع ۹۰
۲-۷-۲-۱- نقشه برداری زمینی و ترازیابی دقیق ۹۳
۲-۷-۲-۲- سنجش از دور ۹۳
۲-۷-۲-۳- عکسهای هوایی ۹۴
۲-۷-۲-۴- تصاویر ماهواره ای ۹۵
۲-۷-۲-۵- سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) ۹۶
۲-۷-۲-۶- اسکن کننده لیزر هوایی LiDAR ۹۷
۲-۷-۲-۷- تداخل سنجی رادار دریچه مصنوعی ۹۹
۲-۷-۲-۸- سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS) ۱۰۱
۲-۷-۳- روش های پهنه بندی حساسیت و ریسک ۱۰۲
۲-۷-۳-۱- زلزله ۱۰۲
۲-۷-۳-۱-۱- تحلیل خطر تعینی ۱۰۳
۲-۷-۳-۱-۲- تحلیل خطر احتمالاتی ۱۰۴

۲-۳-۷-۲- زمین لغزش ۱۰۵
۱-۲-۳-۷-۲- مدلهای تجربی ۱۰۹
۲-۲-۳-۷-۲- مدلهای آماری ۱۰۹
۳-۲-۳-۷-۲- مدلهای احتمالاتی ۱۱۱
۴-۲-۳-۷-۲- مدلهای ترکیبی ۱۱۲
۳-۳-۷-۲- فرونشست زمین ۱۱۷
۴-۳-۷-۲- خاکهای خورنده ۱۱۸
۵-۳-۷-۲- خاکهای مساله دار ۱۲۳
۱-۵-۳-۷-۲- خاکهای آماسی (متورم شونده یا منبسط شونده) و نحوه شناسایی آنها ۱۲۳
۲-۵-۳-۷-۲- خاکهای رمبنده (فروریزشی) و نحوه شناسایی آنها ۱۲۶
۳-۵-۳-۷-۲- خاکهای واگرا و نحوه شناسایی آنها ۱۳۰
۶-۳-۷-۲- فرسایش خاک ۱۳۱
۱-۶-۳-۷-۲- مدل جهانی فرسایش خاک (USLE) ۱۳۱
۲-۶-۳-۷-۲- مدل تصحیح یا تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) ۱۳۲
۳-۶-۳-۷-۲- فرمهای دیگر معادله جهانی فرسایش خاک ۱۳۳
۴-۶-۳-۷-۲- مدل EPM ۱۳۳
۷-۳-۷-۲- مناطق کارستی ۱۳۳
۴-۷-۲- مطالعات مربوط به پهنه بندی مخاطرات زمین در کشورهای منتخب ۱۳۴
۸-۲- سیاست گذاری کلان و برنامه ریزی استراتژیک در زمینه مخاطرات زمینی ۱۳۸
۱-۸-۲- شریانهای حیاتی مقاوم در برابر زلزله: نقشه راه پژوهشی، توسعه ای و اجرایی NEHRP ۱۳۹
۹-۲- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۴۶
۳-مرزبندی فنی ۱۴۸
۱-۳- شناسایی و دسته‌بندی انواع مخاطرات زمین موثر بر صنعت برق ۱۴۹
۱-۱-۳- انواع مخاطرات زمین ۱۴۹
۲-۱-۳- جمع بندی محدوده مخاطرات زمین مورد نظر در این سند ۱۵۱
۲-۳- شناسایی و دسته‌بندی سامانه‌های اصلی صنعت برق و مؤلفه‌های آن‌ها ۱۵۲

۳-۲-۱- سامانه‌های اصلی بخش تولید برق ۱۵۳
۳-۲-۲- سامانه‌های اصلی بخش انتقال برق ۱۵۴
۳-۲-۳- سامانه‌های اصلی بخش توزیع برق ۱۵۵
۳-۳- نحوه تاثیر مخاطرات زمین بر سامانه ها و مولفه های صنعت برق ۱۵۶
۳-۳-۱- زلزله ۱۵۶
۳-۳-۱-۱- مروری بر خسارات وارده به شبکه برق در زلزله های گذشته ۱۵۶
۳-۳-۱-۲- آسیب پذیری بخش تولید در برابر زلزله ۱۵۸
۳-۳-۱-۲-۱- ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای نیروگاههای گازی ۱۵۹
۳-۳-۱-۲-۲- ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای نیروگاههای بخار ۱۵۹
۳-۳-۱-۳- آسیب پذیری شبکه انتقال در برابر زلزله ۱۶۲
۳-۳-۱-۳-۱- رفتار پست های فشار قوی در هنگام زلزله ۱۶۲
۳-۳-۱-۳-۲- خسارات وارده به پست های فشار قوی در زلزله های بم و سرپل ذهاب ۱۶۴
۳-۳-۱-۳-۳- اثرات زلزله بر روی دکل های خطوط انتقال نیرو ۱۷۲
۳-۳-۱-۳-۴- خسارات وارده به خطوط انتقال نیرو در زلزله های بم و سرپل ذهاب ۱۷۳
۳-۳-۱-۴- آسیب پذیری شبکه توزیع در برابر زلزله ۱۷۳
۳-۳-۱-۴-۱- آسیب پذیری لرزه ای پست های توزیع درون شهری ۱۷۳
۳-۳-۱-۴-۲- آسیب پذیری خطوط هوایی و زمینی شبکه توزیع در برابر زلزله ۱۷۵
۳-۳-۱-۴-۳- خسارات وارده به شبکه توزیع در زلزله های بم و سرپل ذهاب ۱۷۵
۳-۳-۱-۵- راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارات شبکه برق در اثر زلزله ۱۷۹
۳-۳-۲- زمین لغزش ۱۷۹
۳-۳-۲-۱- تاثیر زمین لغزش بر دکل های خطوط انتقال نیرو ۱۸۰
۳-۳-۲-۱-۱- پدیده سنگ لغزش (یا سنگ ریزش) ۱۸۰
۳-۳-۲-۱-۲- ناپایداری شیروانی های خاکی ۱۸۲
۳-۳-۳- فرونشست زمین ۱۸۴
۳-۳-۳-۱- فرونشست زمین در دشت دامغان ۱۸۴
۳-۳-۳-۲- فرونشست زمین در اردکان یزد ۱۸۵

۳-۳-۳-۳- فرونشست زمین در دشت مهیارجنوبی و دشت کاشان ۱۸۶
۳-۳-۳-۴- فرونشست زمین در معین آباد ورامین و دشت تهران ۱۸۷
۳-۳-۴- خاک خورنده ۱۸۸
۳-۳-۴-۱- تاثیر خوردگی در خاک بر پایه های خطوط هوایی توزیع و انتقال ۱۹۰
۳-۳-۴-۲- خوردگی در سیستم زمین ۱۹۱
۳-۳-۵- فرسایش خاک ۱۹۲
۳-۳-۵-۱- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان های ایرانشهر و سراوان در سال ۱۳۸۶ ۱۹۲
۳-۳-۵-۲- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان کلاردشت در سال ۱۳۹۰ ۱۹۳
۳-۳-۵-۳- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان نهبندان در سال ۱۳۹۲ ۱۹۴
۳-۳-۵-۴- فرسایش خاک ناشی از سیل در روستاهای شهرستان تبریز در سال ۱۳۹۶ ۱۹۵
۳-۳-۶- کارستی شدن ۱۹۶
۳-۳-۶-۱- ایجاد فروچالههای کارستی در دشتهای کبودرآهنگ و فامنین همدان ۱۹۶
۳-۳-۶-۲- ایجاد فروچالههای کارستی در دشت ایج استان فارس ۱۹۹
۳-۳-۷- جمع بندی تاثیر مخاطرات زمین بر بخشهای تولید، انتقال و توزیع برق ۲۰۰
۴-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۱۲
۴-تدوین ارکان جهت‌ساز (اهداف و راهبردهای کلان) ۲۱۴
۴-۱- هدف‌گذاری کلان ۲۱۵
۴-۱-۱- دریافت ورودی از نظرات خبرگان هم‌راستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی و هوشمندی فناوری ۲۱۶
۴-۱-۲- تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی ۲۱۷
۴-۱-۳- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان ۲۱۸
۴-۱-۴- دریافت بازخورد ۲۱۸
۴-۲- اهداف اولیه پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی ۲۱۹
۴-۳- پرسش‌نامه تعیین اهداف شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی ۲۲۰
۴-۴- تدوین اهداف نهایی پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی ۲۲۰
۴-۵- تعیین راهبردهای شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمینی ۲۲۱
۴-۶- مرور ادبیات مدل‌های اولویت‌بندی ۲۲۱

۴-۷- معرفی روش‌ها ۲۲۱
۴-۷-۱- معرفی برخی روش‌های پیشرفته اولویت‌بندی ۲۲۲
۴-۷-۱-۱- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP ۲۲۲
۴-۷-۱-۱-۱- ساختن سلسله‌مراتبی ۲۲۳
۴-۷-۱-۱-۲- مقایسات زوجی ۲۲۴
۴-۷-۱-۱-۳- ناسازگاری در تحلیل سلسله‌مراتبی ۲۲۵
۴-۷-۱-۱-۴- کاهش ناسازگاری به‌عنوان شرط لازم نه کافی ۲۲۶
۴-۷-۱-۲- نظریهٔ مطلوبیت چندشاخصه ۲۲۷
۴-۷-۱-۳- مجموعه روش‌های ELECTRE ۲۲۷
۴-۷-۱-۴- مجموعه روش‌های PROMETHEE ۲۲۷
۴-۸- روش‌های وزن‌دهی به معیارها ۲۲۸
۴-۸-۱- روش وزن‌های مساوی ۲۲۸
۴-۸-۲- روش‌های وزن‌دهی ترتیب رتبه ۲۲۸
۴-۸-۲-۱- روش‌های وزن‌دهی کیفی ۲۳۰
۴-۸-۲-۲- روش‌های وزن‌دهی کمی ۲۳۰
۴-۹- متدولوژی اولویت‌بندی سازه–مخاطره ۲۳۱
۴-۹-۱- ملاحظات حاکم بر طراحی متدولوژی ۲۳۲
۴-۹-۱-۱- افق زمانی تحلیل مخاطرات ۲۳۲
۴-۹-۱-۲- غربالگری و اولویت‌بندی با استفاده از معیارهای جبرانی و غیرجبرانی ۲۳۳
۴-۹-۱-۳- جامعیت معیارهای اولویت‌بندی ۲۳۴
۴-۱۰- پرسش‌نامه‌های اولویت‌بندی ۲۳۵
۴-۱۰-۱- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت اول) ۲۳۵
۴-۱۰-۱-۱- سابقه یا پتانسیل وقوع به‌همراه خسارت جدی ۲۳۵
۴-۱۰-۱-۲- سابقه وقوع مخاطرات جوی ۲۳۵
۴-۱۰-۲- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت دوم) ۲۳۶
۴-۱۰-۳- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات- تجهیزات (قسمت سوم) ۲۳۷

۴-۱۰-۳-۱- جدول بررسی وزن هر معیار ۲۳۷
۴-۱۰-۳-۲- بررسی وضعیت مخاطرات-تجهیزات اصلی شناسایی‌شده در قسمت‌های پیشین با توجه به معیارها ۲۳۸
۴-۱۰-۳-۳- بررسی وضعیت مخاطرات-تجهیزات اصلی شناسایی‌شده در قسمت‌های پیشین با توجه به معیار فراگیری ۲۳۹
۴-۱۱- تعیین راهبردهای اولویت‌بندی مخاطرات طبیعی ۲۴۰
۴-۱۱-۱- تحلیل پاسخ خبرگان ۲۴۰
۴-۱۱-۱-۱- تحلیل میزان ارزش معیارهای اولویت‌بندی ۲۴۱
۴-۱۱-۱-۲- نتایج اولویت‌بندی مخاطره-سازه در بخش زمینی ۲۴۱
۵-تدوین برنامه اقدامات کلان ۲۴۴
۵-۱- تعاریف و مفاهیم سیاستگذاری ۲۴۵
۵-۲- ویژگیها و اصول تدوین سیاستهای کلان ۲۴۶
۵-۳- فرآیند تدوین سیاست‌ها ۲۴۹
۵-۴- ادبیات ارزیابی نظام نوآوری فناورانه ۲۴۹
۵-۵- مرور ادبیات سیاست نوآوری ۲۵۰
۵-۵-۱- نظام‌های نوآوری ۲۵۲
۵-۵-۱-۱- نظام‌های فناورانه نوآوری ۲۵۳
۵-۵-۱-۲- شناخت کارکردی نظام نوآوری ۲۵۴
۵-۶- ارائهٔ سیاست‌هایی سیستمی برای مشکلات شناسایی‌شده ۲۵۸
۵-۶-۱- ارائهٔ اهداف ابزارهای سیستمی و ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی ۲۵۸
۵-۷- چالش‌ها و موانع پیش روی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور ۲۶۰
۵-۸- اقدامات و سیاست‌های رفع چالش‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور ۲۶۳
۵-۸-۱- اقدامات سیاستی پشتیبان ۲۶۳
۵-۸-۲- اقدامات فنی ۲۶۶

۶-برنامه‌ریزی عملیاتی و ترسیم رهنگاشت ۲۶۸
۶-۱- تدوین برنامه عملیاتی و رهنگاشت ۲۶۹
۶-۲- روش تدوین برنامه عملیاتی و عملیاتی و رهنگاشت ۲۷۰
۶-۲-۱- درنظرگیری ارتباط برنامه‌های با جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان ۲۷۱
۶-۲-۲- تعیین حوزه‌های هدف ۲۷۲
۶-۲-۳- طراحی برنامه‌ها ۲۷۳
۶-۲-۴- تبیین مجریان و نحوه عمل آن‌ها ۲۷۳
۶-۲-۵- تعریف دوره‌های زمانی ۲۷۵
۶-۲-۶- برنامه‌ریزی منابع ۲۷۵
۶-۲-۷- ترسیم رهنگاشت برنامه عملیاتی ۲۷۵
۶-۳- تدوین پروژه‌های اجرایی ۲۷۶
۶-۴- ترسیم رهنگاشت ۲۸۲
۷-مراجع ۲۸۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: فرونشست زمین و تاثیر آن بروی پی دکلهای برق در جزیره SHERMAN در امریکا (۲). ۵
شکل ۲-۱: وقوع پدیده روانگرایی و خسارتهای ناشی از آن به تاسیسات صنعت برق در زلزله CHRISTCHURCH ۲۰۱۱ در نیوزلند (۵). ۶
شکل ۳-۱: پدیدههای ناشی از گسترش جانبی (۷). ۷
شکل ۴-۱: شماتیک تقسیمبندی زمینلغزشها بر اساس طبقه بندی VARNES (۱۱). ۱۰
شکل ۵-۱: خرابی ناشی از تورم خاک (۲۶). ۱۲
شکل ۶-۱: گسترش واگرایی در خاک (۲۹). ۱۳
شکل ۷-۱:فروچاله انحلالی (۳۲) ۱۶
شکل ۸-۱: فروچاله رمبشی (۳۲) ۱۷
شکل ۹-۱: فروچاله فرونشستی (۳۲) ۱۷
شکل ۱۰-۱: فروچاله مدفون (۳۲) ۱۷
شکل ۱۱-۱: نمونه هایی از خرابی های بتن ناشی از خورندگی خاک (۳۷). ۲۰
شکل ۱۲-۱: خم شدن آرماتورهای تیرها [۸۲] ۲۵
شکل ۱۳-۱: تخریب دیوار نگهبان پست برق [۸۲] ۲۶
شکل ۱۴-۱: خم شدن آرماتورهای تیرها [۸۲] ۲۶
شکل ۱۵-۱: خروج ترانسفورماتور۱۳۲ کیلوولت از روی ریل [۸۲] ۲۷
شکل ۱۶-۱: لغزش ترانسفورماتور و خروج پینها از محل خود [۸۲] ۲۷
شکل ۱۷-۱: شکست جوشها و تابیدگی نبشی نشیمن ترانسفورماتور [۸۲] ۲۸
شکل ۱۸-۱: کشیدگی کابلها در اثر لغزش ترانسفورماتور [۸۲] ۲۸
شکل ۱۹-۱: پاره شدن نبشی زیر سری [۸۲] ۲۹
شکل ۲۰-۱: اعوجاج نبشی زیرسری و شکست ریل [۸۲] ۲۹
شکل ۲۱-۱: جابجایی ترانسفورماتور از روی ریل [۸۲] ۳۰
شکل ۲۲-۱: دوران پایه یکی از مقرهها [۸۲] ۳۰
شکل ۲۳-۱: کمانش پایه مقره [۸۲] ۳۱
شکل ۲۴-۱: تغییرشکل ماندگار ایجادشده در ناودانی[۸۲] ۳۱

شکل ۲۵-۱: نمونه هایی از خرابیهای تیرهای برق در اثر خاک های خورنده (۳۶). ۳۴
شکل ۱-۲: برترین کشورها در جهان براساس: الف) میزان تحقیقات، و ب) ضریب ارجاع FWCI، در حوزه مخاطرات طبیعی (۷) ۶۴
شکل ۲-۲: برترین کشورها در قاره آسیا براساس: الف) میزان تحقیقات، و ب) ضریب ارجاع FWCI، در حوزه مخاطرات طبیعی (۷) ۶۵
شکل ۳-۲: برترین کشورها در جهان براساس شمار خروجی تحقیقانی در انواع مخاطرات طبیعی (۷) ۶۶
شکل ۴-۲: برترین کشورها در آسیا براساس شمار خروجی تحقیقانی در انواع مخاطرات طبیعی (۷) ۶۷
شکل ۵-۲: نمایی از فن آوری های سنجش از دور مورد استفاده در شناسایی زمین لغزش (۵۸) ۹۲
شکل ۶-۲: نمایی دوربینN3:دوربین مورد استفاده در عملیات ترازیابی دقیق (۵۹) ۹۳
شکل ۷-۲: هواپیمای عکسبرداری هوایی (۶۱) ۹۴
شکل ۸-۲: تصویر برداری ماهواره ای (۶۲) ۹۵
شکل ۹-۲: گیرنده و ماهواره های سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) (۶۳) ۹۷
شکل ۱۰-۲: الف) نقشه برداری با سیستمهای اسکن کننده لیزری، ب) نحوه عملکرد اسکن کننده لیزر هوایی LiDAR (۶۲; ۶۳) ۹۸
شکل ۱۱-۲: کاربرد روش تداخل سنجی راداری در پایش پدیده فرونشست زمین (۶۴) ۹۹
شکل ۱۲-۲: ماهواره ENVISAT که متعلق به آژانس فضایی اروپا بوده و از آن برای نقشه برداری و اندازه گیری تغییرمکان استفاده شده است (۶۷) ۱۰۱
شکل ۱۳-۲: الف) لایه های اطلاعاتی در GIS، ب) ترکیب لایه های مختلف با هم (۶۲) ۱۰۲
شکل ۱۴-۲: گام های روش تحلیل خطر تعینی (۶۸) ۱۰۴
شکل ۱۵-۲: مراحل تحلیل خطر احتمالاتی (۷۰) ۱۰۵
شکل ۱۶-۲: رویکردهای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش (۷۱) ۱۰۶
شکل ۱۷-۲: ارتباط عناصر تصمیم گیری در یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (۸۳; ۸۴) ۱۱۴
شکل ۱۸-۲: نمونه ای از یک نقشه حساسیت وقوع زمین لغزش براساس روش SVM (۸۳) ۱۱۶
شکل ۱۹-۲: تغییرات نسبت تخلخل در مقابل فشار برای خاکهای فروریزشی (۳۵) ۱۳۰
شکل ۱-۳: اجزای کلی صنعت برق شامل تولید، انتقال و توزیع انرژی ۱۵۲
شکل ۲-۳: نمایی از تخریب تجهیزات پست تحت اثر زلزله [2] ۱۶۳

شکل ۳-۳: تخریب دیوار نگهبان پست برق به علت عدم وجود پشت بند در دیوار در زلزله بم [9]..... ۱۶۵
شکل ۳-۴: شکست مقره های از جنس چینی تردشکن در زلزله بم [9]..... ۱۶۵
شکل ۳-۵: فروافتادن مقره های از جنس چینی تردشکن در زلزله بم [9]..... ۱۶۶
شکل ۳-۶: افتادن ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلوولت از روی ریل در زلزله بم [9]..... ۱۶۶
شکل ۳-۷: خروج ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلولت از روی ریل در زلزله بم [9]..... ۱۶۷
شکل ۳-۸: لغزش و جابجایی ترانسفورماتور از روی ریل و خروج پینها از محل خود در زلزله بم [9]..... ۱۶۷
شکل ۳-۹: الف)پاره شدن نبشی زیرسری، ب) اعوجاج نبشی زیرسری و شکست ریل ترانسفورماتور در زلزله بم [9]..... ۱۶۸
شکل ۳-۱۰: کشیدگی کابلها در اثر لغزش ترانسفورماتور در زلزله بم [9]..... ۱۶۸
شکل ۳-۱۱: فروریختن دیوار ساختمان اداری پست برق در زلزله بم [9]..... ۱۶۹
شکل ۳-۱۲: افتادن ترانس از روی ریل در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب [3]..... ۱۷۰
شکل ۳-۱۳: سقوط بوشینگ و موج گیر در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب [3]..... ۱۷۰
شکل ۳-۱۴: آسیب دیدن اتاق کنترل در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب [3]..... ۱۷۱
شکل ۳-۱۵: سقوط و شکستن تجهیزات پست ۲۳۰ کیلوولت سرپل ذهاب [3]..... ۱۷۱
شکل ۳-۱۶: ترانسفورماتور هوایی [11]..... ۱۷۴
شکل ۳-۱۷: صدمه ایجاد شده در تیر برق در اثر تخریب دیوار پست برق مجاور آن در زلزله بم [9]..... ۱۷۶
شکل ۳-۱۸: شکست ایجاد شده در تیر برق در زلزله بم [9]..... ۱۷۶
شکل ۳-۱۹: شکست پوشش بتنی و کمانش آرماتورهای طولی در زلزله بم [9]..... ۱۷۷
شکل ۳-۲۰: دوران ترانس برق در محل خود در زلزله بم [9]..... ۱۷۷
شکل ۳-۲۱: آویزان شدن ترانس هوایی و قطع برق در محدوده مسکن مهر در زلزله پل سرذهاب [3]..... ۱۷۸
شکل ۳-۲۲: شکست و کج شدگی تیر برق در زلزله پل سرذهاب [3]..... ۱۷۹
شکل ۳-۲۳: ایجاد اعوجاج در پایه دکل به دلیل اصابت سنگ [10]..... ۱۸۰
شکل ۳-۲۴: ایجاد کمانش و پیچش در اعضای پایه های دکل [10]..... ۱۸۱
شکل ۳-۲۵: سقوط پایه های خط ۲۰ کیلوولت در اثر ریزش کوه [10]..... ۱۸۱
شکل ۳-۲۶: سقوط دکل خط انتقال بخش خصوصی در اثر ریزش کوه در زلزله سرپل ذهاب [3]..... ۱۸۲
شکل ۳-۲۷: A) فرونشست منطقه ای همراه با ناپایداری دامنه در منطقه مرزن آباد استان مازندران و تخریب واحدهای صنعتی، B) ناپایداری دکل های انتقال نیرو و احداث گاوبندی به منظور پایدارسازی دامنه ها [12]..... ۱۸۳

شکل ۲۸-۳: خسارت وارد آمده به تیرهای برق در اثر فرونشست زمین در دشت دامغان [14] ۱۸۵
شکل ۲۹-۳: احتمال آسیب دیدن تیرهای برق در اثر فرونشست زمین در دشت یزد- اردکان [16] ۱۸۶
شکل ۳۰-۳: تصویری از فرونشست زمین و شکافهای بوجود آمده در دشت کاشان و در مجاورت دکلهای انتقال نیرو [16].۱۸۷
شکل ۳۱-۳: فرونشست زمین در دشت ورامین و تهدید دکلهای انتقال نیرو [20] ۱۸۸
شکل ۳۲-۳: خوردگی پایه های بتنی در منطقه داشلی برون گنبدکاووس [21] ۱۸۹
شکل ۳۳-۳: فرآیند خوردگی در میلگردهای پایه بتنی [21] ۱۹۰
شکل ۳۴-۳: خوردگی هادی فولادی گالوانیزه مدفون در زیر خاک [23] ۱۹۲
شکل ۳۵-۳: آسیبهای وارده به پایه های خطوط هوایی برق بعلت وقوع سیلاب و فرسایش خاک [26] ۱۹۳
شکل ۳۶-۳: کج شدن و واژگونی کامل تیرهای برق در اثر سیل و شسته شدن خاک پای تیرها در مازندران در سال ۱۳۹۰ [29] ۱۹۴
شکل ۳۷-۳: شسته شدن پای تیرهای برق در اثر وقوع سیل در خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۲ [30] ۱۹۵
شکل ۳۸-۳: شسته شدن خاک پای تیر برق و سقوط کامل آن در اثر وقوع سیل در تبریز در سال ۱۳۹۶ [31] ۱۹۶
شکل ۳۹-۳: نیروگاه حرارتی تولید برق شهید مفتح همدان و فروچاله های ایجاد شده در نزدیکی آن و خطوط فشار قوی عبوری از منطقه [35, 34, 36] ۱۹۷
شکل ۴۰-۳: فرونشست زمین و ایجاد شکافهای عمیق و طویل در دشت ایج شهرستان استهبان و تهدید تاسیسات برقی عبوری از منطقه [37] ۱۹۹
شکل ۴۱-۳: بوجود آمدن فروچاله کارستی در منطقه ایج شهرستان استهبان [37] ۲۰۰
شکل ۱-۴: ویژگی‌های اهداف کلان ۲۱۸
شکل ۲-۴: روش پیشنهادی برای تدوین اهداف کلان ۲۱۹
شکل ۳-۴ : درخت سلسله‌مراتبی تصمیم ۲۲۲
شکل ۴-۴ : مثالی از سلسله‌مراتبی کامل ۲۲۳
شکل ۵-۴ : مثالی از سلسله‌مراتبی ناقص ۲۲۴
شکل ۶-۴ : فرآیند یکپارچهٔ تعیین وزن معیارها ۲۲۹
شکل ۷-۴ : نمودار روند متدولوژی اولویت‌بندی سازه-مخاطره ۲۳۲
شکل ۸-۴ : تصویری از طوفان بهمن ۹۵ اهواز ۲۳۴
شکل ۱-۵: مقایسه میان سه نوع سیاست علم و فناوری، و نوآوری ۲۵۲

شکل ۱-۶: ره‌نگاشت برنامه عملیاتی..... ۲۷۵
شکل ۲-۶: ره‌نگاشت اقدامات فنی ۲۸۴
.شکل ۳-۶: ره‌نگاشت اقدامات مدیدیتی و سیاستی ۲۸۵
.شکل ۴-۶: ساختار پیشنهادی راهبری طرح‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی
پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور ۲۸۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: دسته بندی مخاطرات زمین و عوامل موثر بر آنها ۳
جدول ۲-۱: تقسیم بندی انواع مواد جابجا شده در یک زمینلغزش (۹). ۸
جدول ۳-۱: تقسیم بندی زمینلغزشها بر مبنای طبقهبندی VARNES (۱۹۷۸) (۱۱). ۹
جدول ۴-۱: خلاصهای از ویژگیها و مشخصات مصالح خاص (۳۰). ۱۳
جدول ۵-۱: آسیبهای وارده به تاسیسات برق در اثر زلزله چین در سال ۲۰۰۸ (۵۴). ۳۳
جدول ۱-۲: انواع مخاطرات زمینی و مشخصات آنها (۱) ۶۱
جدول ۲-۲: مدل INFORM (۶) ۶۲
جدول ۳-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره زلزله ۶۸
جدول ۴-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره زمین لغزش ۶۹
جدول ۵-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فرونشست زمین ۷۰
جدول ۶-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره خاکهای خورنده ۷۰
جدول ۷-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فروریزش ۷۱
جدول ۸-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره تورم ۷۲
جدول ۹-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره واگرایی ۷۳
جدول ۱۰-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره خاکهای نباتی ۷۴
جدول ۱۱-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فرسایش ۷۴
جدول ۱۲-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره کارستی شدن ۷۵
جدول ۱۳-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره آتشفشان ۷۶
جدول ۱۴-۲: ده کشور برتر به لحاظ امتیازکسب شده در گروههای مختلف مخاطرات زمین ۷۸
جدول ۱۵-۲: کشورهای برتر به لحاظ امتیاز نهایی کسب شده در مجموع انواع مختلف مخاطرات زمین ۷۹
جدول ۱۶-۲: پارامترهای شدت و میزان وقوع مخاطره زمین لرزه در ایران و کشورهای منتخب ۸۱
جدول ۱۷-۲: پارامترهای شدت و میزان وقوع مخاطره زمین لغزش در کشورهای منتخب ۸۲
جدول ۱۸-۲: پارامتر شدت مخاطره فرونشست زمین در ایران و کشورهای منتخب ۸۴
جدول ۱۹-۲: توزیع خاکهای شور و قلیایی در ایران و کشورهای منتخب ۸۶
جدول ۲۰-۲: توزیع خاکهای متورم شونده و واگرا در ایران و کشورهای منتخب ۸۷

جدول ۲۱-۲: سابقه تحقیق دسته بندی شده براساس فن آوری های سنجش از دور مورد استفاده برای شناسایی زمین لغزش (۵۸) ۹۲
جدول ۲۲-۲: فهرست ماهواره های موجود و طراحی شده که از فن آوری INSAR استفاده می کنند (۶۶) ۱۰۰
جدول ۲۳-۲: برخی مزایا و معایب INSAR نسبت به GPS در اندازه گیری تغییرات پوسته زمین (۹۰) ۱۱۷
جدول ۲۴-۲: مقادیر مختلف مقاومت الکتریکی خاک و اثرات خورندگی آن (۹۱) ۱۱۹
جدول ۲۵-۲: رابطه بین درصد رطوبت و خوردگی خاک (۹۱) ۱۱۹
جدول ۲۶-۲: متداولترین کلاسهای pH خاک و تاثیر آن بر خاصیت خورندگی خاک (طبق استاندارد USDA) (۹۱) ۱۱۹
جدول ۲۷-۲: رابطه بین پتانسیل کاهش اکسیداسیون و خوردگی خاک (۹۱) ۱۲۰
جدول ۲۸-۲: رابطه بین غلظت یون سولفات در خاک و خورندگی آن (۹۱) ۱۲۰
جدول ۲۹-۲: رابطه بین غلظت یون کلرید در خاک و خورندگی آن (۹۱) ۱۲۰
جدول ۳۰-۲: تاثیر بافت و کانی های خاک بر خاصیت خورندگی آن (۹۱) ۱۲۰
جدول ۳۱-۲: تاثیر تغییرات رخساره خاک بر خاصیت خورندگی آن (۹۱) ۱۲۱
جدول ۳۲-۲: رابطه بین ترازهای مختلف در معرض قرارگیری جریانهای پراکنده و پتانسیل خوردگی خاک (۹۱) ۱۲۱
جدول ۳۳-۲: طبقه بندی خوردگی خاک برمبنای هفت فاکتور (۹۱) ۱۲۲
جدول ۳۴-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک شاخص تورم آزاد، حد انقباض، شاخص انقباض، و سایر اندازه گیریها (۹۶) ... ۱۲۴
جدول ۳۵-۲: طبقه بندی تورم خاک برمبنای شاخص تورم آزاد تعدیل شده (MFSI) (۹۶) ۱۲۴
جدول ۳۶-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک حد روانی (۹۶) ۱۲۵
جدول ۳۷-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک نشانه خمیری (۹۶) ۱۲۵
جدول ۳۸-۲: معیارهای تشخیص خاصیت فروریزشی در خاکها با استفاده از پارامترهای وزنی- حجمی (۹۸) ۱۲۸
جدول ۳۹-۲: معیارهای تشخیص خاصیت فروریزشی در خاکها با استفاده از نتایج آزمایش ادومتر (۹۷) ۱۲۹
جدول ۴۰-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره زلزله ۱۳۴
جدول ۴۱-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره زمین لغزش ۱۳۴
جدول ۴۲-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره فرونشست زمین ۱۳۶
جدول ۴۳-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره خاکهای شور ۱۳۶
جدول ۴۴-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره خاکهای متورم شونده ... ۱۳۷
جدول ۴۵-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره فرسایش خاک ۱۳۷

جدول ۴۶-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره مناطق کارستی..... ۱۳۸
جدول ۴۷-۲: خلاصه ای از اولویتهای پژوهشی و اجرایی سیستم شریان حیاتی (۱۹۹)..... ۱۴۰
جدول ۴۸-۲: خلاصه ای از موضوع اولویت دار ۳ (۱۹۹)..... ۱۴۴
جدول ۱-۳: انواع مخاطرات زمین و مشخصات آنها..... ۱۴۹
جدول ۲-۳: محدوده مخاطرات زمین مورد نظر در این سند..... ۱۵۱
جدول ۳-۳: سامانه‌های مد نظر در بخش تولید و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها..... ۱۵۳
جدول ۴-۳: سامانه‌های مد نظر در بخش انتقال و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها..... ۱۵۴
جدول ۵-۳: سامانه‌های مدنظر در بخش توزیع و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها..... ۱۵۵
جدول ۶-۳: آسیب های وارده به شبکه برق در زمین لرزه های گذشته [1, 3]..... ۱۵۷
جدول ۷-۳: خسارت مالی ناشی از برخی زلزله های اخیر ایران در زمینه شبکه برق [2, 3]..... ۱۵۷
جدول ۸-۳: تاثیر مخاطرات گروه زلزله بر روی انواع سامانه های برق..... ۲۰۰
جدول ۹-۳: تاثیر مخاطرات گروه زمین لغزش بر روی انواع سامانه های برق..... ۲۰۳
جدول ۱۰-۳: تاثیر مخاطرات گروه فرونشست زمین و خاک خورنده بر روی انواع سامانه های برق..... ۲۰۵
جدول ۱۱-۳: تاثیر مخاطرات گروه خاک مساله دار بر روی انواع سامانه های برق..... ۲۰۷
جدول ۱۲-۳: تاثیر مخاطرات گروه فرسایش خاک، کارستی شدن و آتشفشان بر روی انواع سامانه های برق..... ۲۱۰
جدول ۱-۴ : مقدار عددی ترجیحات..... ۲۲۴
جدول ۲-۴: روش‌های وزن‌دهی در تصمیم‌گیری چندشاخصه..... ۲۲۹
جدول ۳-۴: ابعاد و معیارهای جامع اولویت‌بندی مخاطرات..... ۲۳۴
جدول ۴-۴ : بررسی سابقه وقوع و میزان خسارت مخاطرات جوی بر سازه‌ها..... ۲۳۵
جدول ۵-۴: بررسی معیارهای اولویت‌بندی مخاطرات..... ۲۳۷
جدول ۶-۴ : بررسی وزن معیارهای اولوبت‌بندی مخاطرات..... ۲۳۷
جدول ۷-۴: بررسی زوج مخاطرات جوی و سازه‌های اصلی..... ۲۳۸
جدول ۸-۴: استخراج مخاطرات جوی اصلی با توجه به فراگیری و پایش لحظه‌ای..... ۲۳۹
جدول ۹-۴: اطلاعات خبرگان..... ۲۴۱
جدول ۱۰-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (تولید)..... ۲۴۲
جدول ۱۱-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (انتقال)..... ۲۴۲

جدول ۱۲-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (توزیع) ۲۴۲
جدول(۱-۵): کارکردهای پیشنهادی و شاخص‌های آن‌ها ۲۵۴
جدول(۲-۵): خلاصهٔ همه زیرکارکردها و شاخص‌ها ۲۵۵
جدول(۳-۵): اهداف ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی ارائه‌شده ۲۵۸
جدول(۴-۵): ابزارهای سیاستی انفرادی بالقوه برای رسیدن به اهداف ابزارهای سیستمی ۲۵۹
جدول(۵-۵): سیاست‌های مقابله با چالش‌ها ۲۶۳
جدول ۱-۶: اقدامات سیاستی و مدیریتی ۲۷۶
جدول ۲-۶: پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی ۲۸۱

DOI:

فصل اول

۱- تدوین مبانی سند راهبردی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات جوی مرتبط با صنعت برق

۱-۱-مقدمه

مخاطرات محیطی[1]، پیشامدهای ناگهانی یا تدریجی با خاستگاه طبیعی یا انسانی به شمار می‌روند که متأثر از آن‌ها، سلامت و امنیتِ گستره زیست، اسکان بشر و صنعت با خطر مواجه می‌شود. مخاطرات محیطی دارای انواع متنوعی (از نظر منشأ، نوع تأثیر و ...) می‌باشند.

از منظر منشأ، مخاطرات محیطی را می‌توان به سه دسته کلی ذیل طبقه‌بندی نمود:

- مخاطرات جوی
- مخاطرات ژئولوژیکی
- مخاطرات انسانی

یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که سازه‌های صنعت برق را همواره مورد تهدید قرار می‌دهد، مخاطرات مربوط به زمین است که در اثر وقوع این مخاطرات، خسارات زیادی به سازه‌های موجود در صنعت برق وارد آمده است. لذا شناخت، دسته بندی و بررسی این مخاطرات دارای اهمیت فراوان می‌باشد. از آنجا که اغلب مخاطرات محیطی دارای ماهیت تصادفی می‌باشند، مشخصات آن‌ها مانند زمان وقوع، بزرگی، مدت‌زمان و... نیز از نوع کمیت‌های تصادفی بوده و در صورت وجود داده‌های آماری کافی، با استفاده از مدل‌های آماری مناسب بیان می‌شوند. برخی از پدیده‌ها نیز که دارای ماهیت قطعی هستند، توسط مدل‌های رفتاری مناسب بیان می‌شوند. عمده پدیده‌های زمینی تأثیرگذار بر سازه‌ها در سال‌های گذشته مطالعه شده و برخی از پارامترهای مشخصه آن‌ها نیز تعیین و در سطح کشور پهنه‌بندی شده‌اند. اما با توجه به گذشت سال‌ها و دهه‌ها از این بررسی‌ها، ایجاد تغییرات محیطی به‌همراه حصول دانش و داده‌های جدید از آن‌ها، لزوم بازبینی و به‌روزرسانی مطالعات گذشته را در کنار انجام مطالعات جدید، نشان می‌دهد.

اولین مرحله از روند تدوین اسناد راهبردی ملی، تعیین مبانی سند می‌باشد که مقدمات لازم برای تدوین اسناد ملی را ارائه می‌دهد. مبانی سند به تشریح ویژگی‌های ذاتی موضوع تحت بررسی، ضرورت انجام آن از منظرهای مختلف و محدوده و مرزبندی مطالعات به‌لحاظ جغرافیایی و زمانی می‌پردازد. این بخش به سیاست‌گذاران کمک می‌کند که از وضعیت موجود شناخت حاصل کرده و با قطعیت بیشتری دربارهٔ سایر بخش‌های سند (ارکان جهت‌ساز و خرد) تصمیم‌گیری نمایند. در این گزارش، مؤلفه‌ها و اجزای اصلی مبانی سند پایش سلامت سازه‌ها تشریح و ارائه شده است.

۱-۲-معرفی و دسته بندی انواع مخاطرات زمین

هر ساله در جهان مخاطرات مختلفی بر روی کره زمین به وقوع می‌پیوندد. مخاطرات زمین به دلیل اینکه می‌تواند خسارت زیادی به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات خطوط انتقال نیرو، خطوط گازرسانی وراهها داشته باشداز اهمیت فراوانی برخوردار است. مخاطرات زمین شامل پدیده‌های مختلفی از جمله فرونشست،

[1] Environmental hazards

روانگرایی، گسترش جانبی، ناپایداری شیروانی و زمین‌لغزش، فروریزش، تورم و واگرایی در خاک، وجود خاک‌های مساله‌دار، فرسایش، کارستی شدن، زلزله، آتشفشان و گسلش می‌باشد. به طور کلی مخاطرات زمین را می‌توان در جدول ۱-۱ به صورت خلاصه دسته بندی کرد.

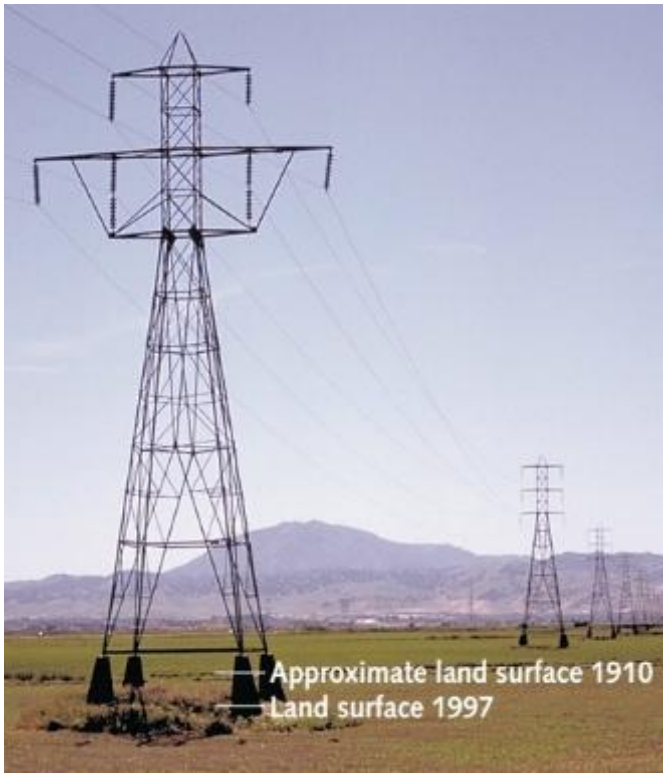
جدول ۱-۱: دسته بندی مخاطرات زمین و عوامل موثر بر آنها

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین			
۱	فرونشست	به واسطه وقوع عوامل طبیعی شامل:			۱) ریزش معادن قدیمی ۲) جریان آب در لایه‌های زیرین خاک ۳) تجزیه مواد آلی ۴) انقباض خاک‌های رسی ۵) ذوب لایه‌های یخ منجمد اعماق زمین ۶) زلزله
		در اثر انجام فعالیت‌های انسانی شامل:			۱) فعالیت معادن زیرزمینی ۲) استخراج آب زیرزمینی ۳) تجزیه و خروج مواد آلی از بافت خاک
۲	روانگرایی	وقوع پدیده‌های حاصل از روانگرایی شامل:			۱) جوشش ماسه ۲) گسیختگی جریانی ۳) گسترش جانبی ۴) نوسانات زمین ۵) از دست دادن ظرفیت باربری ۶) شناورشدن سازه‌های مدفون ۷) نشست زمین
۳	گسترش جانبی	عوامل موثر بر وقوع گسترش جانبی شامل:			۱) افزایش فشار آب حفره‌ای در اثر زلزله و وقوع روانگرایی ۲) کاهش مقاومت در لایه‌های زیرین خاک
۴	زمین لغزش	انواع زمین لغزش شامل:	۱) ریزش ۲) واژگونی ۳) جریان ۴) گسترش جانبی ۵) لغزش	عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شامل:	۱) لیتولوژی و ساختار شیروانی ۲) هندسه شیب ۳) خاکبرداری و خاکریزی ۴) فشار آب ۵) هوازدگی ۶) زلزله ۷) گسیختگی با تاخیر ۸) جریان‌های واریزه‌ای ۹) عوامل فرعی

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین	
۵	فروریزش	از بین رفتن پیوندهای بین دانه‌ای در اثر:	۱) افزایش رطوبت خاک در سطح تنش ثابت (مانند نشت آب از کانال آب و یا بارندگی شدید) ۲) افزایش تنش وارده به خاک در رطوبت ثابت (مانند بارگذاری در اثر ساخت سازه جدید) ۳) افزایش رطوبت و افزایش تنش به صورت همزمان ۴) استفاده از خاکریزهای مصنوعی با تراکم کم از مصالح سیلتی
۶	تورم	تورم در اثر افزایش حجم ذرات خاک به دلیل افزایش رطوبت در اثر عواملی مانند بارندگی شدید، بالاآمدن سطح آب و نشت آب از کانال آب رخ میدهد	
۷	واگرایی	کاهش نیروی جاذبه بین ذرات در اثر جذب آب	
۸	خاک مساله دار	انواع خاک‌های مساله‌دار شامل:	۱) خاکریزها و خاک دستی ۲) خاک‌های آلی ۳) رس‌های حساس ۴) رسوبات واریزه‌ای و تالوس‌ها ۵) خاک‌های نرم و شل ۶) ماسه‌های سیمانی ۷) خاک‌های یخزده
۹	فرسایش	شیل‌ها	
۱۰	کارستی شدن	سنگ‌های آهکی	
۱۱	زلزله	عوامل وقوع زلزله شامل:	۱) حرکات تکتونیکی ۲) انفجارات آتشفشانی ۳) فروریزش ۴) انفجارات مصنوعی
۱۲	گسلش	انواع گسل‌ها شامل:	۱) امتداد لغز ۲) شیب‌لغز
۱۳	آتشفشان	انواع آتشفشان‌ها شامل:	۱) ولکانو ۲) سپری ۳) سیندر
۱۴	خاک‌های خورنده	پتانسیل خوردگی در خاک‌ها به دلیل وجود عوامل شیمیایی و میکروبی	

۱-۲-۱- فرونشست[1] زمین

پدیده فرونشست زمین، شامل فروریزش یا نشست رو به پائین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندک نیز باشد. این تعریف، شامل پدیده‌هایی همچون زمین لغزش (بدلیل اینکه حرکت آن دارای بردار افقی قابل توجهی است) و همچنین نشست در خاک‌های دستی (که دارای مکانیزم متفاوتی است) نمی‌باشد. لازم بذکر است که حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نمی‌باشد. فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناختی مانند انحلال، آب شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها و یا فعالیتهای انسانی نظیر معدنکاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت ایجاد شود (۱). در شکل ۱-۱ نمونه‌ای از فرونشست در جزیره Sherman در امریکا و اثرات آن بر روی دکل‌های برق نشان داده شده‌است (۲).



شکل ۱-۱: فرونشست زمین و تاثیر آن بروی پی دکل‌های برق در جزیره Sherman در امریکا (۲).

۱-۲-۲- روانگرایی[2]

یکی از مهمترین پدیده‌هایی که باعث خرابی سازه‌های بنا شده بر روی خاک‌های غیر چسبنده (اغلب ماسه‌ای) سست اشباع در حین زلزله می‌شود، روانگرایی است. روانگرایی به پدیده‌ای گفته می‌شود که در طی آن مقاومت

[1] Subsidence
[2] Liquefaction

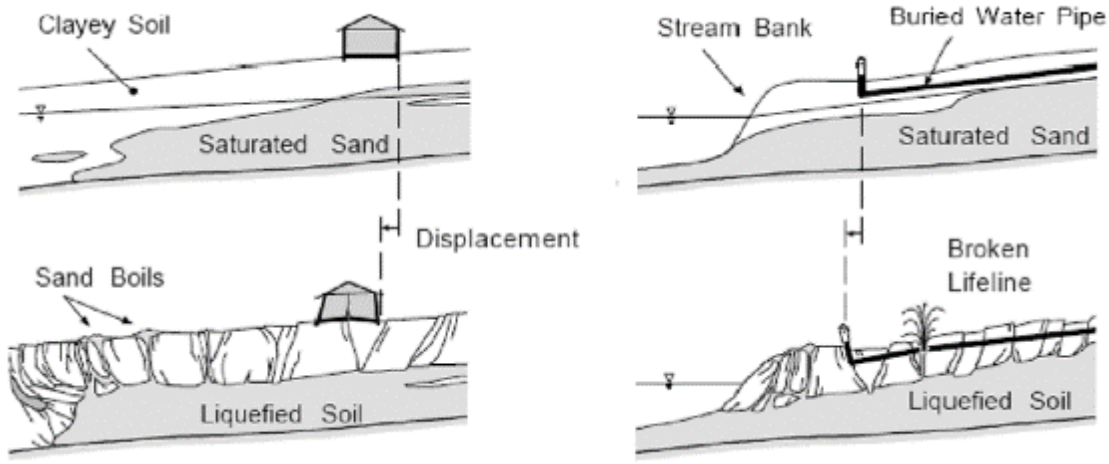
برشی خاک در حین اعمال بار زلزله کاهش می‌یابد. این پدیده اکثراً در خاک‌های ماسه‌ای ریزدانه سست و اشباع در اثر بارهای دینامیکی یا استاتیکی و در شرایط زهکشی نشده اتفاق می‌افتد. اصطلاح روانگرایی برای اولین بار توسط Hazen برای توضیح شکست سد کالاوراس کالیفرنیا در امریکا، در سال ۱۹۱۸ استفاده شد. وی این اصطلاح را برای توضیح نحوه شکست سد در اثر بارهای وزنی به کار گرفت (۳). روانگرایی در بسیاری از مواقع باعث ایجاد جابه‌جایی‌های بزرگ در سطح زمین می‌گردد. به خصوص چنانچه این پدیده درزمین‌های شیب‌دار اتفاق بیافتد باعث حرکت جانبی توده‌های بزرگی از خاک می‌گردد که همین مساله عاملی برای خرابی سازه‌های موجود در سطح زمین و یا سازه‌های مدفون‌شده در آن است. اثرات ویران‌کننده روانگرایی در زلزله‌های اخیر نظیر زلزله لوماپرییتا در امریکا در سال ۱۹۸۹، زلزله چیچی در تایوان در سال ۱۹۹۹، زلزله کوبه در ژاپن در سال ۱۹۹۵ و زلزله توهوکو ژاپن در سال ۲۰۱۱، توجه مهندسین ژئوتکنیک را به خود جلب نمود. در طول تمامی این زلزله‌ها خرابی‌هایی نظیر خرابی شیب‌ها، خرابی پل‌ها و نیز خرابی تاسیسات انتقال نیرو و لوله‌های مدفون در خاک مشهود بود. در طول سال‌ها پس از وقوع این زلزله‌ها، روانگرایی توسط صدها محقق در سراسر جهان با استفاده از روش‌های مختلف موردمطالعه و بررسی قرارگرفته است (۴). در شکل ۲-۱ نمونه‌ای از خرابی‌های ناشی از روانگرایی در زلزله نیوزلند، بر روی تاسیسات برق مشاهده می‌شود (۵).



شکل ۲-۱: وقوع پدیده روانگرایی و خسارت‌های ناشی از آن به تاسیسات صنعت برق در زلزله Christchurch ۲۰۱۱ در نیوزلند (۵).

۱-۲-۳- گسترش جانبی

پدیده گسترش جانبی، تغییرمکان و جابجایی محدود و جانبی شیب‌های بسیار ملایم زمین می‌باشد که درنتیجه کمترشدن مقاومت خاک لایه زیرین از تنش برشی موجود و یا ایجاد فشار آب حفره‌ای و روانگرایی در لایه کم‌عمق زیرین به هنگام زلزله رخ می‌دهد. پدیده گسترش جانبی می‌تواند باعث تکه‌تکه شدن و تقسیم خاک لایه‌های سطحی زمین شده که این پدیده به روی شیب و یا به قسمت آزاد زمین ادامه می‌یابد. باتوجه به تعریف Youd and Bartlett در سال ۱۹۹۲ میلادی، پدیده گسترش جانبی ناشی از روانگرایی می‌تواند بر روی شیب‌های ملایم ۰/۳تا ۵ در صد، که شامل لایه زیرین ماسه شل به همراه سطح آب زیرزمینی کم عمق باشد، اتفاق بیفتد. چنین لایه خاکی مستعد ایجاد فشار آب حفره‌ای اضافی، نرم شوندگی و روانگرایی به هنگام زلزله‌های بزرگ است. اگر روانگرایی رخ دهد، لایه خاک غیراشباع بالایی می‌تواند به شکل قطعه‌های خاک روی لایه‌ی زیرین روانگرا شده بلغزد. همانطور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، حرکت‌های سطحی زمین روی شیب به طرف پایین و به سمت منطقه آزاد ادامه می‌یابد؛ که این حرکت همراه با تشکیل ترک‌ها و فرورفتگی‌ها می‌باشد. شرایط زمین شناسی که موجب پدیده گسترش جانبی می‌شوند شامل شیب ملایم سطحی، سطح آب زیرزمینی کم عمق، خاک‌های غیرچسبنده و مستعد روانگرایی که اغلب در راستای سواحل و در محل‌ها و نهشته‌های آبرفتی و همچنین خاکریزهای ماسه‌ای اشباع که به خوبی متراکم نشده اند، یافت می‌شوند، است. تغییر مکان‌های افقی در پدیده گسترش جانبی می‌توانند در محدوده چند متر همراه با نشست‌های بسیار کم باشند. همان‌طور که درشکل ۳-۱ نشان داده شده است، در قسمت بالادست لغزش، درزه‌های سطحی زمین و ترک‌های کششی که معمولاً به صورت عمود بر هم و در جهت شیب گسترش می‌یابند، دیده می‌شود. ترک‌ها اغلب در حاشیه بالایی ناحیه لغزش یافت می‌شوند که می‌توانند منحنی وار باشند. معمولاً فرونشست در قسمت بالای لغزش و بالازدگی در ناحیه پایین دست دیده می‌شود. جوشش ماسه که پدیده رایج و بیانگر روانگرایی است، اغلب در ناحیه پایین دست لغزش مشاهده می‌شود (۶).



شکل ۳-۱: پدیده‌های ناشی از گسترش جانبی (۷).

۱-۲-٤- ناپایداری شیروانی و زمین‌لغزش[1]

نیروی ثقل زمین همواره سبب اعمال یک نیروی به سمت پایین به مواد می‌شود. در اثر اعمال این نیرو که نتیجه تجزیه نیروی وزن در روی دامنه می‌باشد. مواد ناپایدار موجود در دامنه‌ها در جهت رسیدن به پایداری بر روی دامنه شروع به حرکت کرده و بر اساس عوامل مختلفی مانند هندسه دامنه، نوع مواد، نوع حرکت و سرعت حرکت مواد انواع حرکات دامنه ای را به وجود می آورند. زمین‌لغزش اصطلاحی است که در برگیرنده کلیه انواع حرکات دامنه‌ای بوده و عموما به کلیه رویدادهایی گفته می‌شود که در اثر ناپایداری در دامنه‌ها اتفاق افتاده و سبب جابجایی توده‌ای از مواد در طول دامنه می‌شود. این اصطلاح در برگیرنده کلیه فرایندهایی است که منجر به حرکت توده‌ای از مواد شامل سنگ، خاک، یا ترکیبی از آنها به سمت پایین دامنه می‌شود. فرایندهای فوق سبب حرکت مواد به صورت لغزش، واژگونی، جریان، ریزش، خزش و گسترش جانبی می‌شوند، گاهی این حرکات چنان سریع هستند که سرعت آنها به ده‌ها کیلومتر در ساعت می‌رسد و گاهی چنان آهسته هستند که جز با گذشت زمان و از روی شواهد، نمی‌توان به وجود حرکت آن‌ها پی برد (۸).

۱-۲-٤-۱- طبقه بندی زمین‌لغزش‌ها

بنا به تعریف انجمن زمین شناسی مهندسی (IAEG) خاک‌های مهندسی به دو دسته واریزه و خاک تقسیم می‌شوند که خاک عبارت است از مواد ریزدانه‌ای که حداقل ۵۰ درصد ذرات آن در اندازه ماسه، سیلت یا رس باشد (۹).

جدول ۲-۱: تقسیم بندی انواع مواد جابجا شده در یک زمینلغزش (۹).

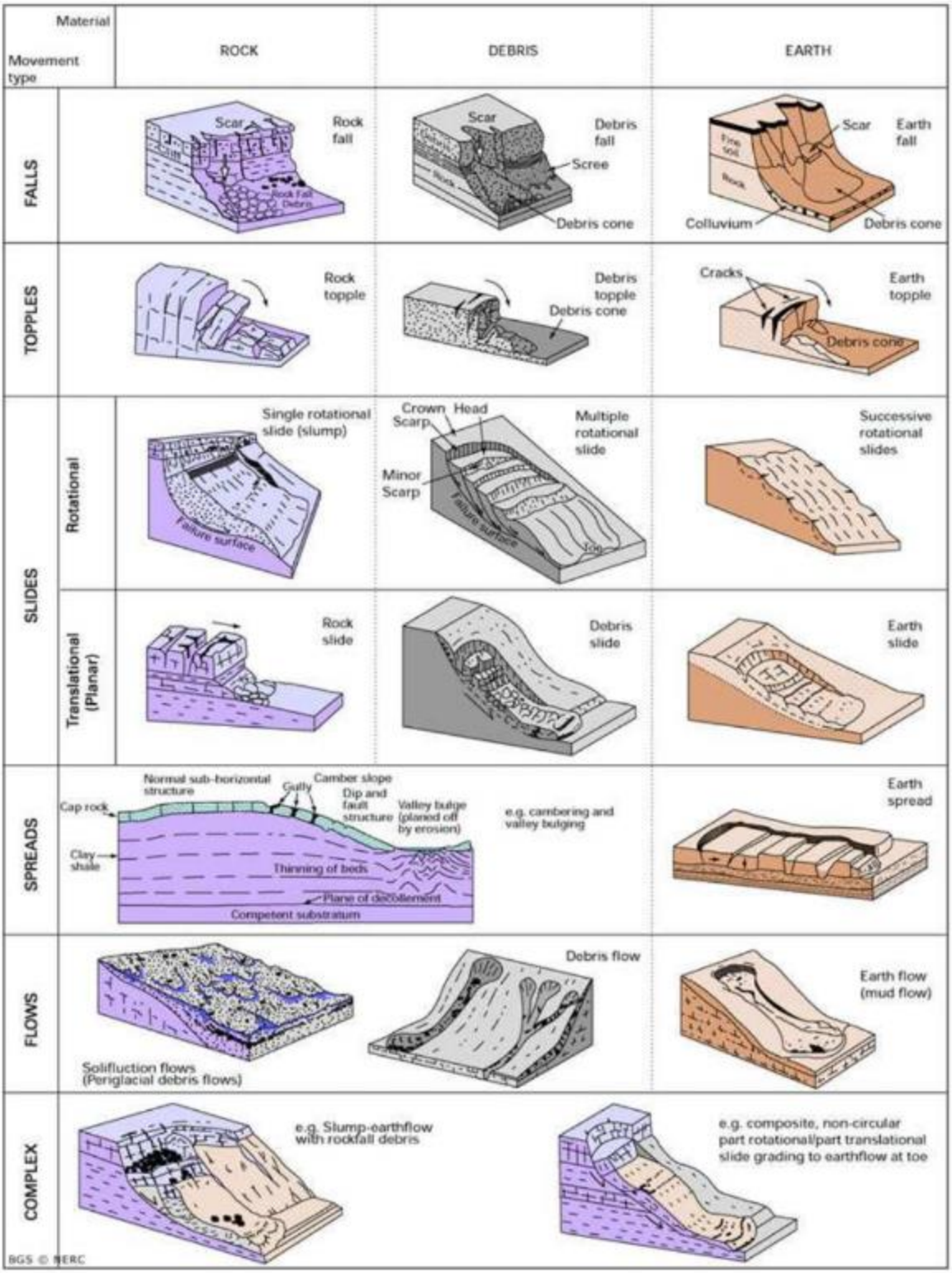
نوع	تعریف
واریزه	خاک‌های درشت دانه
خاک	شامل حداقل ۵۰ درصد مواد ریزدانه در حد ماسه ، سیلت یا رس باشد.

در سال ۱۹۷۸، Varnes، بر اساس ویژگیهای اصلی زمین‌لغزش، یعنی نوع حرکت و نوع مواد جابجا شده نوعی از طبقه بندی زمین لغزش را ارائه داد که به عنوان ساده ترین و رایج ترین طبقه‌بندی زمین‌لغزش بکار می‌رود (جدول ۳-۱) (شکل ۴-۱). از ویژگیهای اصلی این طبقه‌بندی استفاده از مشخصه‌هایی است که پس از رویداد زمین‌لغزش نیز حفظ شده و با گذشت زمان کمتر دستخوش تغییر می‌شوند و از این ویژگی آن می‌توان برای دسته‌بندی زمین‌لغزش‌های قدیمی نیز استفاده کرد. همچنین استفاده از نوع حرکت برای طبقه بندی، از ویژگی‌های دیگر این طبقه بندی است که باعث می شود مکانیزم تغییر شکل به عنوان عامل مهمی در ارزیابی پایداری دامنه‌ها، در این طبقه بندی موثر باشد (۱۰).

[1] Landslide

جدول ۳-۱: تقسیم بندی زمین‌لغزش‌ها بر مبنای طبقه‌بندی Varnes (۱۹۷۸) (۱۱).

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		



شکل ۴-۱: شماتیک تقسیم‌بندی زمین‌لغزش‌ها بر اساس طبقه بندی Varnes **(۱۱).**

۱-۲-۵- فروریزش خاک

خاک‌های فروریزشی دارای ساختاری کم ثبات می‌باشند. بدین معنی که ذرات خاک در سیستم سه فازه خاک-آب-هوا به گونه‌ای در کنار هم قرارمی‌گیرندکه دارای حفرات باز بوده و تحت اثر شرایط خاص، فضاهای خالی بین ذرات به ناگهان فروریخته و دانه‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند. لازم بذکر است که در سال‌های گذشته مطالعات گسترده‌ای بر روی رفتار خاک‌های فروریزشی در ایران و در دانشگاه صنعتی شریف انجام شده‌است (۱۲; ۱۳; ۱۴; ۱۵; ۱۶; ۱۷; ۱۸; ۱۹; ۲۰; ۲۱) (۲۲; ۲۳; ۲۴) .در متون فنی خاک‌های فروریزشی دارای تعاریف متفاوتی می‌باشند. در سال ۱۹۸۹، Mackechnie تعریفی را ارائه کرده است که جزئیات بیشتری را شامل می‌شود: «... مصالح خاکی غیراشباعی که وزن مخصوص خشک آنها کمتر از ۱۶ کیلونیوتن بر مترمکعب می‌باشد قابلیت فروریزش دارند. البته فروریزش لزوماً در مورد خاک‌هایی با وزن مخصوص کم اتفاق نمی‌افتد بلکه شرایط رسوب‌گذاری در هنگام تشکیل خاک می‌بایست ساختاری باز بین ذرات آن ایجاد کرده باشد. این خاک‌ها در شرایط عادی پایداری ساختاری خود را هنگام اعمال بار حفظ می‌کنند اما یک نقطه بحرانی در مقدار تنش کل وارده بر آنها وجود دارد که تا قبل از آن رفتار تغییر شکلی در خاک‌های فروریزشی الاستیک و بعد از آن پلاستیک است که از آن نقطه به بعد، با افزایش درصد رطوبت و یا به عبارتی درجه اشباع، مقاومت ساختاری خاک در اثر اعمال بار به ناگهان از بین رفته و خاک تغییر شکل زیادی را تجربه می‌کند. این مساله نباید با تحکیم اولیه یا ثانویه در خاک اشتباه شود...» (۲۵).

۱-۲-۶- ایجاد تورم در خاک

منظور از تورم خاک‌های متورم‌شونده، تورم خاک در اثر جذب آب می‌باشد. تورم ناشی از یخبندان، تورم در اثر کاهش تنش موثر مثل باربرداری یا بالاآمدن سطح سفره آب زیرزمینی و یا تورم ناشی از تبلور بلورهای نمک و غیره پدیده‌های مستقل دیگری هستند. خاک‌های تورم‌پذیر خاک‌هایی هستند که در اثر افزایش رطوبت تغییر حجم افزایشی قابل توجهی از خود بروز می‌دهند. فشار ناشی از تورم خاک‌ها می‌تولند موجب خرابی کامل ساختمان‌های سبک و پوشش کانال‌های آبیاری و کف‌سازی‌ها و غیره شود (شکل ۵-۱). در واقع این خاک‌ها در جهت کاملا مخالف با عمل تحکیم عمل می‌کنند، یعنی به جای از دست دادن آب و کاهش حجم، آب را جذب کرده و افزایش حجم پیدا می‌کنند. خاک‌های تورم پذیر نهشته‌های رسوبی ناشی از هوازدگی سنگ‌ها هستند. عمق این خاک‌ها در برخی مناطق ممکن است از ۹ متر هم بیشتر باشد. معمولا سطح آب زیرزمینی در این مناطق بسیار پایین است. به همین دلیل این خاک‌ها فقط در فصول بارانی مرطوب می‌شوند و در فصول خشک، خشک یا نیمه اشباع هستند. به این ترتیب این خاک‌ها تورم و انقباض را با تغییرات آب و هوا تجربه می‌کنند.



شکل ۵-۱: خرابی ناشی از تورم خاک (۲۶).

۱-۲-۷- واگرایی در خاک‌ها

خاک‌های واگرا به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها ذرات خاک در مجاورت آب چسبندگی خود را از دست می‌دهند و به سرعت شسته می‌شوند، حتی اگر سرعت جریان آب کم باشد به سهولت شسته شده و فرسایش می یابند. واگرایی، یک پدیده پیشرونده می‌باشد به صورتی‌که از یک نقطه با تمرکز جریان آب شروع شده و به تدریج گسترش می‌یابد (شکل ۶-۱). نقطه شروع پدیده واگرایی می‌تواند ترک حاصل از انقباض و نشست و یا ترک‌های حاصل از ریشه گیاهان باشد. این پدیده در طرح‌هایی نظیر سدهای خاکی و کانال آب‌رسانی که تمرکز فشار آب در داخل خاک وجود دارد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. این پدیده در خاکریزها، دیواره‌های کانالهای خاکی و سدهای خاکی مشکلاتی بوجود می‌آورد که غیرقابل جبران می‌باشد. پدیده واگرایی پدیده‌ای فیزیکی-شیمیایی است و نباید با فرآیند رگاب که پدیده‌ای کاملاً فیزیکی است و بر اثر شسته‌شدن ذرات سیلتی خاک رخ می‌دهد اشتباه گرفته شود. در تحقیقات اولیه تصور براین بود که منشا تشکیل خاک‌های واگرا، عموما مناطقی با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است. اما در سال‌های اخیر این مساله در مناطقی با اقلیم مرطوب مانند استرالیا، مکزیک، ویتنام، تایلند، هند، برزیل و ونزوئلا و بسیاری از مناطق جنوبی ایالات متحده نیز مشاهده شده است (۲۷). مطالعات انجام شده در ایران وجود این نوع خاک‌ها را در مناطق متخلف از جمله خراسان، کرمان، سیستان و بلوچستان، اهواز و مناطق مرکزی نشان می‌دهد (۲۸).



شکل ۶-۱: گسترش واگرایی در خاک (۲۹)

۱-۲-۸- ایجاد تغییر شکل‌های زیاد در خاک بدلیل وجود خاک‌های مساله-دار

در مهندسی ژئوتکنیک برخی از مصالح خاکی دارای رفتار ویژه‌ای می‌باشند به گونه ای که احداث سازه بر روی آن‌ها مطمئن نبوده و تابع شـــرایط محیطی و آب و هوایی اســـت. عدم توجه به این مهم، مشـــکلات زیادی را در اجرای سـازه‌های که بر روی این خاک‌ها بنا شـدهاسـت، پدید آورده و باعث تخریب و غیرقابل اسـتفاده‌شـدن این سازه‌ها می‌گردد. تجربیات گذشته نشان می‌دهد که خواص مکانیکی اغلب خاک‌ها با افزایش رطوبت و درجه اشباع تغییر می‌کند. در برخی از خاک‌ها دراثر افزایش رطوبت پدیده‌های خاصی بروز می‌کند که در برخی موارد منجر به بروز خســـارات عمده‌ای در طرح‌های عمرانی می‌گردد. این خاک‌ها «خاک‌های حســـاس در مقابل آب» نامیده می‌شوند. این مصالح در جدول ۴-۱ دسته بندی شده و در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود. لازم بذکراست که خاک‌های فروریزشـی، تورم‌پذیر و خاک‌های واگرا نیز در دسـته خاک‌های حسـاس در مقابل آب قرار می‌گیرند ولی به خاطر اهمیت زیاد به صورت جداگانه به آنها اشاره شده است.

جدول ۴-۱: خلاصه‌ای از ویژگی‌ها و مشخصات مصالح خاص (۳۰).

نوع خاک	شناسایی خاک	ویژگی‌های مهندسی
خاک‌های آلی و نباتی	رطوبت زیاد مرتبط با پلاستسیته و بافت الیافی، افت زیاد وزن در صورت حرارت دادن به میزان حدود ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد	بسیار تراکم‌پذیر و تحت فشردگی ثانوی زیاد، متحمل خورندگی
رسوبات واریزه‌ای و تالوس‌ها	مصالح هوازده که در جوانب و پنجه شیب‌ها منتقل و به روی هم انباشته می‌شوند، مصالح ریزدانه به‌همراه بخش-های سنگی (واریزه‌ای)، مصالح درشت‌دانه یا قلوه‌شنگ درشت (تالوس)	واریزه‌ای: قادر به تشکیل لایه ضعیف نازک بوده که بر پایداری شیب اثر می‌گذارد، آب در فصل مشترک واریزه و سنگ انباشته می‌شود. تالوس: مصالح درجا در نزدیکی زاویه قرار خود موجود می‌باشند.

نوع خاک	شناسایی خاک	ویژگی‌های مهندسی
شیل‌ها و سایر مصالح تجزیه شونده	شیلی که به نحو ضعیفی سخت شده است، سنگ‌های رسی و گل‌سنگی که در صورت تماس با آب و هوا به مصالح خاک مادر تجزیه می‌شود.	مصالح مورد استفاده بعنوان سنگریزه ممکن است بطور غیرقابل انتظاری در صورت تماس با آب تجزیه شوند، پایداری شیب بطور تدریجی کاهش می‌یابد.
ماسه‌های سیمانی	خاک‌های ماسه‌ای حاوی پیوندهای آهکی و نمکی در نقاط تماس ذرات، بخش سیمانی ممکن است حل‌شونده و یا غیرحل‌شونده باشد.	خاک ترد بوده و ظاهر بسیار مقاومی دراد، در صورت حل‌شونده بودن عنصر سیمانی احتمال فروریزش یا گسختگی وجود دارد؛ مقاومت درازمدت ممکن است به مقاومت درازمدت ماسه غیرسیمانی تنزل یابد.
رس‌های حساس	نهشته‌های دریایی مشتمل بر رس‌های سیلت‌دار و با پلاستسیته کم که از نمک شسته شده و در نتیجه ساختاری کم‌ثبات را موجب گردیده‌اند.	خاک‌های درجا می‌توانند بدون کمترین اخطاری بدلیل ساختار کم‌ثبات ذاتی‌شان فروریزند.

۱-۲-۹- فرسایش

فرسایش شامل جابجایی خرده‌های سنگی و خاک توسط باد، رودخانه و یخ می‌باشد. مواد فرسایش یافته وارد دریاها گردیده و به صورت رسوباتی در کف دریاها انباشته می‌شوند. انواع فرسایش را می‌توان به سه گروه فرسایش آبی، دریایی و بادی تقسیم بندی کرد.

- **فرسایش آبی**

پروسه فرسایش خود با پاشیدن قطرات باران آغاز می‌شود. زمانی که قطرات با زمین بر خورد می‌کنند از هم می‌پاشند و باعث حرکت ذرات خاک به سمت پایین می‌شوند. اگر شدت باران بیشتر از ظرفیت جذب خاک باشد آب روی سطح زمین جاری شده و این جریان به صورت صفحات باریک آب و رشته های باریک حرکت می‌کند. رشته‌ها باعث به وجود آمدن برش های ریزی روی سطح زمین می‌شوند. در بعضی موارد، در اواسط شیب جریان آب به کلنال های متعددی تقسیم شده و با افزایش حجم و شدت آب، انرژی آن افزایش می‌یابد و باعث به وجودآمدن مجراهایی در زمین می‌شود. این پدیده یکی از جدی ترین موارد فرسایش است که در زمین های لجنی یا شنی و یا زمین‌های نیمه‌کاره ساختمانی، باعث به وجود آمدن گودال هایی به عمق چندین فوت می‌گردد (۳۱).

- **فرسایش دریایی**

ذرات آب با پیش و پس رفتن مداوم خود در سواحل، موجب سایش در نتیجه فرسایش سطح سنگ‌ها می‌شوند و خود آنها نیز به علت اصطکاک با یکدیگر و یا سنگ‌های ساحلی، به تدریج گردتر و کوچکتر می‌شوند. ضربه مستقیم امواج و جریان های دریایی نیز در تخریب سواحل نقش مهمی دارد. امواج با نیروی زیاد خود به طور دایم به سنگ‌های ساحلی ضربه وارد می‌آورند. ضربه موج بر روی خط ساحلی بیش از همه وابسته به عمق آب است. همچنین قدرت فرسایشی امواج با افزایش عمق به سرعت کاسته می‌گردد (۳۱).

- **فرسایش بادی**

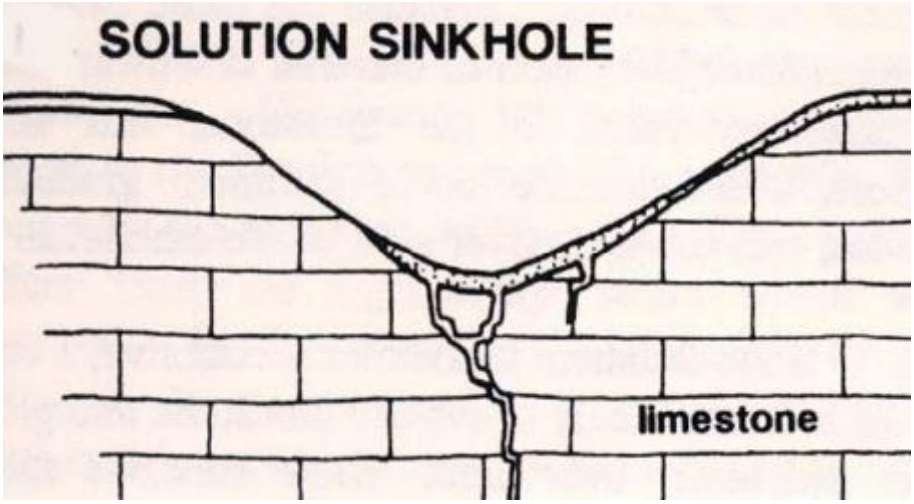
جابه‌جایی خاک توسط باد باعث جابه‌جا شدن ذرات شن می‌شود این شن ها تپه های روان را به وجود می‌آورند و با حرکت به سمت قلمروهای گیاهی و زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی تخریبی دو چندان را سبب می شوند (۳۱).

۱-۲-۱۰- کارستی شدن

واژه سنگ آهک بطور معمول برای سنگی بکار می‌رود که در آن بخش کربناتی عمدتاً از کلسیت درست شده باشد. سنگ آهک‌های ضخیم لایه افقی که کم و بیش عاری از حفرات انحلالی باشد، تکیه‌گاههای خوبی بوده و قابلیت باربری زیادی دارند. در مقابل، سنگ آهک‌های نازک یا بشدت چین‌خورده و حفره‌دار، در صورتی که به عنوان پی به کار گرفته شوند، می‌توانند مشکلات جدی به همراه داشته باشند. در توالی‌های سنگ آهک نازک و چین‌خورده احتمالاً لغزش وجود دارد. بطور مشابه اگر لایه‌های سنگ آهک توسط لایه‌هایی از رس یا شیل (مخصوصاً اگر شیبدار هم باشند) از هم جدا شوند، ممکن است بصورت یک سطح لغزش عمل کرده و باعث حرکت و گسیختگی سنگ شوند. آب باران، معمولاً اسیدی ضعیف است و مقدار بیشتری نیز اسید ممکن است توسط مواد آلی یا مواد معدنی موجود در زمین به آن افزوده شود. درجه خورده شدن سنگ آهک توسط این‌گونه آب‌ها را می‌توان از روی ارتباط بین مقدار کربنات حل‌شده یا مقدار PH و دمای محیط بدست آورد. در هر درجه PH، هرچه آب سردتر باشد، درجه خورندگی آن بیشتر می‌شود. به نحوی که یک لیتر آب صفر درجه می‌تواند ۴ تا ۵ مرتبه بیش از آب ۳۰ درجه آهک را حل کند. با ادامه حل شدن کربنات در آب سرعت حل‌شدن کاهش می‌یابد تا جایی که آب از کربنات اشباع شده و عمل حل شدن کاملاً متوقف می‌شود. به عبارت دیگر هرچه مقدار بی‌کربنات در آب کمتر باشد، سرعت حل‌شدن کربنات جدید بیشتر است. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که آب جریان داشته باشد. به نحوی که همواره آب تازه با مقادیر بی‌کربنات به محیط وارد شود. آب‌های شیرین می‌توانند تا ۴۰۰ppm کلسیم کربنات را در خود حل کنند. سنگ آهک اغلب درزه‌دار است. دیواره این درزه‌ها با گذشت زمان به درجات مختلف حل می‌شوند. درجاهایی که درزها یکدیگر را قطع می‌کنند ممکن است حل‌شوندگی شدیدتر باشد و حفراتی تشکیل شود. پیشرفت عمل حل‌شدن در این نقاط ممکن است در نهایت به تشکیل غارهایی منجر شود. غارها بیشتر در سنگ آهک‌های توده‌ای که از ضخامت زیادی برخوردارند تشکیل می‌شوند. حفرات انحلالی ممکن است خالی بوده یا همه یا بخشی از آن با موادی مثل رس، لای، ماسه، شن یا آب پر شده باشد. پدیده حفره‌دارشدن سنگهای آهکی را کارستی شدن هم می‌گویند. واژه کارست در ابتدا مترادف با حفره‌داری سنگ‌های کربناتی به کار می‌رفت ولی امروزه اغلب بطور عام و در مورد سنگ‌های سولفاتی (ژیپس و انیدریت) و حتی ماسه‌سنگ و کنگلومراها نیز بکار می‌روند. حفرات انحلالی مشکلات متعددی را در زمان احداث پی‌های بزرگ، از جمله سدها، ایجاد می‌کنند. که از میان آن‌ها می‌توان قابلیت باربری نامناسب و آبگذری را نام برد. در همین رابطه برخی نقاط چنان نامناسب‌اند که به هیچ وجه نمی‌توان سازه‌ای را با ایمنی مناسب به روی آنها بنا کرد، یا اینکه مخارج بهسازی زمین به‌حدی است که این امر را غیرممکن می‌سازد. بطورکلی در جاهایی که سنگ‌ها دارای حفرات و غارهای به هم مرتبط بوده و این کانالها تا اعماق سنگ ادامه دارد، باید از احداث سد خودداری کرد. اینگونه نقاط تکیه‌گاهی نامناسبی برای بدنه سد بوده و ممکن است بر اثر بارهای وارده نشست

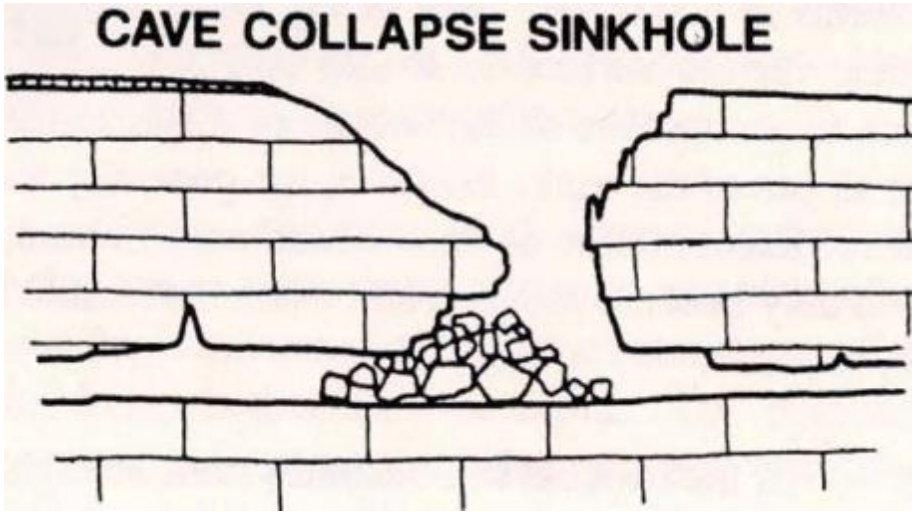
نمایند و از طرفی اگر دیواره یا بستر دریاچه را تشکیل دهند، فرار آب از آنها غیرقابل اجتناب خواهد بود. چاله‌های کارستی به چهار نوع مختلف دسته بندی می‌شوند که در ادامه به طور اختصار به آن اشاره می‌شود.

الف- انحلال سنگ آهک[1]: این نوع فرونشست ناشی از انحلال مواد با نرخ یکسان واقع بر روی سنگ آهک زیرین آن می‌باشد که موجب حرکت تدریجی و رو به پایین سطح و گسترش فروافتادگی قیفی‌شکل[2] می‌شود (شکل ۷-۱) (۳۲).



شکل ۷-۱:فروچاله انحلالی (۳۲)

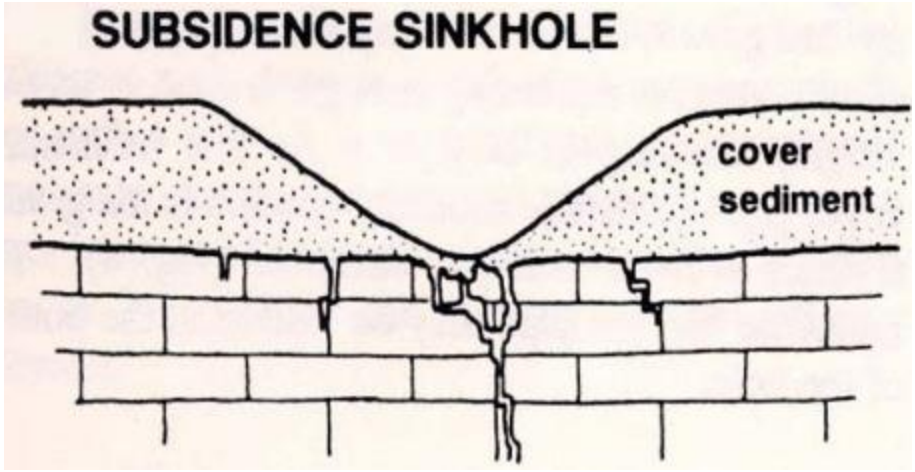
ب- فروریزش سنگ آهک[3]: تشکیل حفره‌ای در سنگ که به علت انحلال گسترش می‌یابد، و زمانی که پوشش آن، مقاومت خود را از دست بدهد. معمولا منجر به رمبش ناگهانی و گاهی اوقات فاجعه بار می‌گردد (شکل ۸-۱) (۳۲).



[1] Limestone Solution
[2] Funnel-shaped
[3] Limestone Collapse

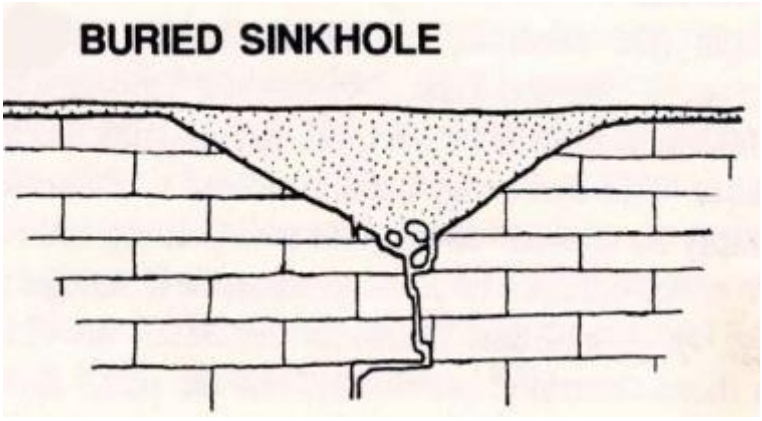
شکل ۸-۱: فروچاله رمبشی (۳۲)

ج- فرونشست پوشش رسوبی: ماسه موجود در مواد پوششی به علت انحلال سنگ آهک زیرین خود حرکت کرده و در نتیجه چاله‌های کارستی ایجاد می‌شود که معمولا به طور تدریجی گسترش یافته و دارای وسعت کمی هستند (شکل ۹-۱)**Invalid source specified.**.



شکل ۹-۱: فروچاله فرونشستی (۳۲)

د- چاله‌های کارستی مدفون: فعالیت مجدد چاله‌های کارستی در هر زمانی می‌تواند اتفاق بیافتد. رسوبات واقع در چاله‌های کارستی قدیمی نسبت به رسوبات پیرامون آن متفاوت است و از این رو می‌تواند مشکلات اساسی ایجاد کند (شکل ۱۰-۱) (۳۲).



شکل ۱۰-۱: فروچاله مدفون (۳۲)

بطورکلی اولین تاثیر حل شدن سنگ آهک، بزرگترشدن منافذ است که در نتیجه آن، جریان آب افزایش یافته و به این ترتیب حل‌شدگی بیشتری در سنگ صورت می‌گیرد. وقتی برروی چنین سنگی بارگذاری شود ممکن است نشست‌هایی در آن اتفاق بیافتد که قسمت اعظم آن در چند روز اول بارگذاری صورت می‌گیرد. در جاهایی که سقف غارها و حفرات آهکی ریزش نمایند در سطح زمین نشست سریع ملاحظه خواهد شد. این حالت در جاهایی اتفاق می‌افتد که سنگ آهک به مدت طولانی تحت تاثیر حل‌شدگی قرار گرفته باشد به نحوی که

سنگ‌های موجود در سقف حفرات از ضخامت کافی برخوردار نباشند تا بتوانند بطور طبیعی پایدار بمانند، البته باید این نکته را نیز یادآوری نمود که حل‌شدن سنگ آهک فرآیندی بسیار کند است. از این‌رو حل‌شدگی‌هایی که در زمان حال صورت می‌گیرد به ندرت می‌توانند در آینده نزدیک تخریبی را به همراه داشته باشند. البته سرعت کم حل‌شدن سنگ آهک ممکن است با دخالت بیشتر در شرایط آب زیرزمینی یا کیفیت آب سطحی، که به داخل سنگ آهک زهکشی می‌شوند، تسریع گردد. ادامه حل‌شدن سنگ آهک باعث می‌شود که حفرات به سطح فوقانی سنگ، یعنی جایی که با خاک پوشیده شده‌است، راه پیدا کند. با فراخترشدن این سوراخ‌ها به تدریج خاک توسط آب‌های زیرزمینی به داخل سوراخ‌ها شسته می‌شود. با پیشرفت این عمل زمانی می‌رسد که خاک‌هایی که زیرشان خالی شده ریزش می‌کنند و این پدیده‌ای است که فراوانترین و در واقع خطرناکترین ریزش‌های ناشی از حل‌شدن در سنگ‌ها را ایجاد می‌کند. برخی شرایط دیگر نیز ممکن است ایجاد حفرات و ریزش‌ها متعاقب آنرا تسریع کند، از آن جمله تغییر سریع رطوبت که در رس‌ها باعث ریزش قطعات و ورقه‌هایی از سقف حفره می‌گردد و در ماسه‌های بدون چسبندگی جریان یافتن مواد را به همراه دارد. پایین رفتن سطح آب زیرزمینی باعث افزایش گرادیان نشت و فرسایش مواد به سمت پایین می‌شود و ضمن کاهش جاذبه نیروهای موئینه در ماسه‌ها قابلیت جریان یافتن آنها را در منافذ کوچک افزایش می‌دهد که نتیجه آن تضعیف توده سنگ در آب و هوای خشک است که نشت‌های متمرکزی را در زمان بارندگی ایجاد می‌کند. افزایش تراوش باعث ایجاد گسیختگی در سنگ می‌شود، بویژه اگر بدنبال پایین آمدن سطح آب زیرزمینی اتفاق بیافتد (۳۳).

۱-۲-۱۱- زلزله

لرزش ناگهانی پوسته‌های جامد زمین، زلزله یا زمین لرزه نامیده می‌شود. دلیل اصلی وقوع زلزله را می‌توان افزایش فشار بیش از حد داخل سنگ‌ها و طبقات درونی زمین بیان نمود. این فشار به حدی است که در سنگ گسستگی بوجود می‌آید و دو قطعه سنگ در امتداد سطح شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. به سطح شکستگی که توأم با جابجایی است، گسل گفته می‌شود. وقتی که سنگ شکسته می‌شود، مقدار انرژی زیادی را که در زمان طولانی در برابر شکستگی حالت‌های مختلفی را برای آزادسازی انرژی نهفته شده است بوجود می‌آورد. بطوری که در ابتدا فشار و نیروهای درونی ممکن است باعث ایجاد یکسری لرزه‌های خفیف و کوچک در سنگ‌ها شوند که پیش لرزه نامیده می‌شود. بعد از اینکه فشار درونی بر مقاومت سنگ‌ها غلبه کرد انرژی نهفته آزاد می‌گردد و زمین لرزه اصلی رخ می‌دهد، البته نباید از اثر لرزش‌های کوچکی که بعد از زمین لرزه اصلی نیز اتفاق می‌افتد و به نام پس لرزه معروف هستند، چشمپوشی کرد (۳۴).

۱-۲-۱۲- گسلش

گسل‌ها شکستگی‌هایی در پوسته زمین هستند که در طول آنها تغییر شکل‌های قابل توجهی ایجاد شده است. گاهی اوقات گسل‌های کوچک در ترانشه‌های جاده، جائی که لایه‌های رسوبی چند متر جابجا شده اند، قابل تشخیص هستند. گسل‌هایی در این مقیاس و اندازه، معمولا بصورت تک گسیختگی جدا اتفاق می‌افتد. در مقابل

گسل‌های بزرگ، شامل چندین صفحه گسل درگیر می‌باشند. این گسل‌ها، می‌توانند چندین کیلومتر پهنا داشته باشند و معمولا از روی عکس‌های هوایی نسبت به سطح زمین راحت‌تر قابل تشخیص هستند. در واقع حضور گسل در یک منطقه نشان می‌دهد که در زمان گذشته، در طول آن جابجایی رخ داده است. این جابجایی‌ها می‌تواند یا بصورت جابجائی آرام باشد که هیچ گونه لرزشی در زمین ایجاد نمی‌کند و یا اینکه بصورت ناگهانی اتفاق بیفتد که جابجایی‌های ناگهانی در طول گسل‌ها عامل ایجاد اغلب زلزله ها می‌باشد. بیشتر گسل‌ها غیر فعال هستند و باقیمانده‌هایی از تغییر شکل‌های گذشته می‌باشند. همچنین در امتداد گسل‌های فعال، حین جابجائی فرسایشی دو قطعه، سنگ‌ها شکسته و فشرده می‌شوند (۳۴).

۱-۲-۱۳- آتشفشان

آتشفشان یک ساختمان زمین‌شناسی است که به وسیله آن مواد آتشفشانی (به صورت مذاب، گاز، قطعات جامد و یا هر سه) از درون زمین به سطح آن راه می‌یابند. انباشتگی این مواد در محل خروج، برجستگی‌هایی به نام کوه آتشفشان ایجاد می‌نماید. آتشفشان یکی از پدیده های طبیعی و دائمی زمین‌شناسی است که در طول تاریخ زمین‌شناسی نسبتا بدون تغییر باقی مانده و در ایجاد، تحول و تکامل پوسته و گوشته زمین نقش اساسی داشته و دارد.

۱-۲-۱٤- خاک‌های خورنده

یکی از پدیده هایی که در اثر وجود عوامل شیمیایی و میکروبی در خاک‌ها ایجاد می‌شود تولید خاصیت خورندگی در خاک‌ها است. پدیده خورندگی در تجهیزات برق یکی از معضلات مهم جهان امروز بوده و خاک خورنده می‌تواند موجب خوردگی در تجهیزات شود و اثرات زیان بار شدیدی را به صنعت وارد نماید، لذا به منظور کاهش اثرات وارده، بایستی خورندگی خاک مورد ارزیابی قرار گیرد (۳۵). پایه دکل‌های انتقال نیرو و همچنین تیرهای بتنی به دلیل وضعیت آب و هوایی منطقه و تهیه نامناسب بتن بصورت خارج از استاندارد تحت خوردگی الکتروشیمیایی قرار دارند. شرایط محیطی و وجود عوامل خورنده در محیط و یا حتی در داخل بتن می توانند موجبات خوردگی شدید آرماتور را فراهم آورده و سبب بروز انواع مختلف خوردگی برروی آن گردند. در این بین نفوذ عوامل اسیدی نظیر دی‌اکسیدکربن از میان لایه متخلخل بتنی می‌تواند سبب کاهش قلیائیت بتن و از بین رفتن خواص حفاظتی آن گردد (۳۶). در شکل ۱۱-۱ نمونه‌هایی از خرابی های بتن ناشی از خوردنگی خاک نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱: نمونه هایی از خرابی های بتن ناشی از خورندگی خاک (۳۷).

خاک به عنوان یک محیط خورنده از پیچیدگی زیادی نسبت به سایر محیط ها برخوردار است. میزان خورندگی در خاک، محدوده بسیار وسیعی دارد و از خوردگی بسیار سریع تا خوردگی قابل اغماض تغییر می‌کند. این موضوع با توجه به این که در بعضی از حالات، لوله‌ها ظرف کمتر از یک سال دچار پوسیدگی می‌شوند تا اشیاء آهنی باستانی مدفون در خاک که صد ها سال بدون خوردگی شدید باقی مانده اند قابل اثبات است. از جمله پارامتر های مهم در خورندگی خاک، می‌توان به مقاومت مخصوص، هوادهی و نفوذ اکسیژن، نمک‌های محلول، آب موجود در خاک و تغییرات حجم آن، مقدار pH و فعالیت‌های میکروبیولوژیکی در خاک اشاره کرد که در ادامه توضیح داده می‌شوند (۳۸).

۱-۳-آسیب‌های وارده به صنعت برق در ایران و نقاط مختلف دنیا

تاسیسات و سازه‌های موجود در صنعت برق از مهم ترین شریان‌های حیاتی موجود در سطح زمین هستند. آسیب‌رسی به این سازه‌ها و اختلال در سرویس دهی آنها تاثیرات زیادی بر روی زندگی انسانها دارد. همچنین در زمان وقوع مخاطرات طبیعی، شریان‌های حیاتی مانند تاسیسات برق، گاز، آب و مخابرات تحت تاثیر قرار گرفته و باعث اختلال در سرویس دهی آنها می‌شود. در این قسمت به آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر وقوع مخاطرات زمین اشاره می‌شود.

۱-۳-۱- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر فرونشست

فرونشست در ایران از اهمیت فراوانی برخوردار است. از جمله آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر فرونشست می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **فرونشست زمین در ورامین:**

فرونشست در دشت ورامین،به علت استفاده بیش‌از حد از آب زیرزمینی و پایین رفتن تراز آب در سفره‌های زیرزمینی باعث آسیب رسیدن به دکل‌های فشار قوی این منطقه شده‌است. این پدیده باعث پدیدآمدن شکاف‌های عمیق در منطقه معین آباد گردیده که ادامه این روندباعث ایجاد اختلال در شبکه برق سراسری می‌شود (۳۹).

- **فرونشست زمین در منطقه شهران در سال ۱۳۹۵**

فرونشست زمین در خرداد ماه سال ۱۳۹۵ به دلیل حفاری مترو باعث آسیب‌دیدگی کابلهای فشار قوی موجود در منطقه شد. در بررسی های اولیه این حادثه اعلام شد انباشت گاز و پارگی کابل های برق موجب حادثه آتش سوزی در این منطقه شده است (۴۰).

- **فرونشست زمین در جزیره Sherman در امریکا**

در اثر پدیده فرونشست از سال ۱۹۱۰ تا ۱۹۹۷، در جزیره Sherman در امریکا، پایه های دکل برق که در این منطقه قرار گرفته اند تحت تاثیر قرار گرفته و باعث عدم سرویس‌دهی مناسب آنها شده‌است (۲).

۱-۳-۲- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر روانگرایی

در اثر پدیده روانگرایی، مقاومت خاک‌ها از بین رفته و تمامی تاسیسات و سازه‌های بناشده بر روی آنها دچار آسیب جدی می‌شوند. شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات مرتبط با صنعت برق از جمله دکل‌ها و تیرها از جمله سازه‌هایی هستند که بروز پدیده روانگرایی در آنها باعث عدم سرویس‌دهی مناسب و تخریب می‌گردد. از جمله خساراتی که در اثر پدیده روانگرایی در سازه‌های صنعت برق ایجاد شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **وقوع روانگرایی در زلزله بم در سال ۱۳۸۲**

بر اثر زمین‌لرزه به ممان لرزه‌ای ۶/۶ در سال ۱۳۸۲، که در بم کرمان اتفاق افتاد مقداری از خرابی و پارگی کابل‌ها به دلیل روانگرایی در زیر پی ترانسفرماتورها گزارش شد (۴۱).

- **وقوع روانگرایی در زلزله نیوزلند در سال ۲۰۱۱**

این زلزله با ممان لرزه‌ای ۶/۳ در سال ۲۰۱۱ در نیوزلند اتفاق افتاد. در اثر آن خسارات عمده‌ای به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات برق وارد آمد. یکی از عمده‌ترین دلایل خرابی‌های ایجادشده در این زلزله وقوع پدیده روانگرایی و جوشش ماسه در زیر پی سازه‌های صنعت برق بوده‌است (۵).

- **وقوع روانگرایی در زلزله شیلی سال ۲۰۱۰**

زلزله شیلی در سال ۲۰۱۰ که با ممان لرزه‌ای۸/۸ به وقوع پیوست، باعث بروز خرابی‌های زیادی در پل‌ها و شریان‌های حیاتی از جمله خطوط و تاسیسات برقی شد. تعدادی از این خرابی‌ها به دلیل وقوع روانگرایی بوده است.

- **وقوع روانگرایی در زلزله ژاپن سال ۲۰۰۷**

این زلزله که با ممان لرزه‌ای ۶/۷ در سال ۲۰۰۷ در ژاپن به وقوع پیوست باعث وارد آمدن خسارات زیادی به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات برق شد در این زلزله یکی از عوامل آسیب رسی به تاسیسات وقوع پدیده روانگرایی گزارش شده‌است.

- **وقوع روانگرایی در زلزله ژاپن سال ۲۰۰۴**

زلزله ژاپن در سال ۲۰۰۴ با ممان لرزه‌ای ۶/۶ باعث بروز خسارت به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات صنعت برق شد که تعدادی از این خرابی‌ها که در اثر پدیده روانگرایی رخداده‌است (۴۲) .

۱-۳-۳- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر گسترش جانبی

در اثر پدیده گسترش جانبی آسیب جدی به سازه‌های برق وارد می‌آید به طوری که تیرها و دکل‌های برقی که در محدوده وقوع گسترش جانبی قرار دارند دچار شکست، کج‌شدگی و سقوط می‌گردند که از جمله این خرابی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **وقوع گسترش جانبی در زلزله ژاپن سال ۲۰۰۷**

این زلزله با ممان لرزه‌ای ۶/۷ در سال ۲۰۰۷ در ژاپن به وقوع پیوست وقوع گسترش جانبی یکی از عوامل وارد آمدن خسارات زیاد به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات برق شد.

- **وقوع گسترش جانبی در زلزله شیلی سال ۲۰۱۰**

زلزله شیلی در سال ۲۰۱۰ با ممان لرزه‌ای ۸/۸ به وقوع پیوست این زلزله باعث وارد آمدن خسارت‌های زیادی به پل‌ها و شریان‌های حیاتی از جمله خطوط و تاسیسات برق بوده‌است.

- **وقوع گسترش جانبی در زلزله امریکا سال ۲۰۰۱**

این زلزله با ممان لرزه‌ای ۶/۸ در سال ۲۰۰۱ به وقوع پیوست. یکی از پدیده‌های مهم در این زلزله وقوع گسترش جانبی بود که باعث وارد آمدن آسیب‌های زیادی به تاسیسات حیاتی از جمله تیرهای برق شد.

۱-۳-٤- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر زمین‌لغزش

عبور خطوط انتقال نیرو از مناطق کوهستانی و مرتفع یکی از اصلی ترین دلایل ایجاد تخریب و بروز خسارت به این تاسیسات است. در برخی از مناطق کوهستانی، بدلیل ناپایداری شیروانی دامنه کوه، مواد موجود بر روی دامنه، به صورت ریزش سنگ، جریان گل و خاک شروع به حرکت کرده و سازه‌های عبوری بر روی خود را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در ادامه به چندین مورد از خسارات ناشی از زمین‌لغزش در مناطق مختلف اشاره می‌شود.

- **رانش زمین در گرگان در سال ۱۳۹۱**

رانش زمین در گرگان، در فروردین ۱۳۹۱، موجب تخریب منازل روستای چه‌جا در شهرستان علی آباد کتول شد همچنین در اثر این زمین‌لغزش تیرهای برق موجود در منطقه دچار آسیب شدند (۴۳).

- **رانش زمین سروآباد در سال ۱۳۹۵**

رانش زمین در مسیر کامیاران به سروآباد در فروردین ۱۳۹۵ باعث شد تا مشکلاتی در شریان‌های حیاتی منطقه از جمله دکل فشار قوی به وجود آید. در کردستان بدلیل بارش های مناسبی که در فروردین‌ماه روی داد چندین مورد رانش زمین در مناطق مختلف استان گزارش شد که در مواردی باعث بروز خسارت‌های مالی به شریان‌های حیاتی از جمله لوله گاز و خطوط برق شده است (۴۴).

- **رانش زمین در کلاردشت در سال ۱۳۹۴**

رانش زمین در کلاردشت در تیر ماه ۱۳۹۴، منجر به سقوط دو اصله پایه چوبی ۲۰ کیلوولت و قطع برق روستاهای شکرکوه، کوهپر، کلمه و دکل تلویزیون شد.گفتنی است تیرهای چوبی در ارتفاع ۳۰۰ متری از سطح زمین واقع شده بود (۴۵).

- **رانش زمین درزلزله ژاپن سال ۲۰۰۷**

این زلزله با ممان لرزه‌ای ۶/۷ در سال ۲۰۰۷ در ژاپن به وقوع پیوست و وقوع زمین‌لغزش باعث وارد آمدن خسارات زیاد به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات برق شد.

- **رانش زمین در زلزله چین سال ۲۰۰۸**

زلزله سال ۲۰۰۸ ونچوان به بزرگی ۸ در استان سیچوان چین به وقوع پیوست. زمین لغزش یکی از عوامل آسیب‌رسی به صنعت برق در این زلزله بود.

- **رانش زمین در کلمبیا سال ۱۳۹۶**

در پی رانش زمین در شهر موکوآ در فروردین سال ۱۳۹۶، علاوه بر کشته شده بیش از ۲۵۰ نفر، حدود ۴۰۰ تن دیگر زخمی شدند. در پی بارندگی شدید و جاری شدن سیل و طغیان رودخانه‌ها به همراه گل و لای، خسارت زیادی به شهر موکوآ وارد و حدود ۲۵ منزل مسکونی نیز به طور کامل تخریب شده‌اند. در پی جاری شدن سیل حدود ۱۷ منطقه شهر موکوآ دچار آب گرفتگی شده و ۵۰۰ خانواده از ساکنان این مناطق نیز مجبور به تخلیه منازل مسکونی خود شده‌اند. این رانش باعث تخریب شریانهای حیاتی از جمله تیرها و دکل‌های برق منطقه شد (۴۶).

۱-۳-۵- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر فرسایش

- **فرسایش خاک ناشی از سیل شهر بابک در سال ۱۳۹۵**

بر اثر بارندگی‌های گسترده در بهمن ماه سال ۱۳۹۵، در حدود ۲۰۰ میلیون تومان خسارت به تاسیسات برق شهربابک وارد شد. این خسارات بیشتر به تیرها و ترانس های برق بوده است که به علت باد و یا سیلاب شکسته و یا از جای خود در آمده اند (۴۷).

- **فرسایش خاک ناشی از سیل در سه هزارتنکابن در سال ۱۳۹۴**

در اثر سیل تیرماه سال ۱۳۹۴ در منطقه سه هزار تنکابن، به ۱۸ اصله تیر و یک دستگاه ترانس آسیب جدی وارد شد و موجب قطع برق ۲۵ روستای منطقه گردید. همچنین سیل در منطقه غرب مازندران ، به شبکه برق شهرهای نوشهر و عباس آباد نیز خساراتی وارد کرد (۴۸).

- **فرسایش خاک ناشی از سیل در جاده زنجان – طارم در سال ۱۳۹۵**

در اثر بارش باران در فروردین سال ۱۳۹۵ و جاری شدن سیل در مسیر رودخانه سولوچایی واقع درمنطقه جاده زنجان- طارم، شبکه‌های بیست کیلوولت توزیع برق دچار آسیب شدند و ۶۰۰ متر از شبکه و ۷ اصله تیر سیمانی و چوبی دچار خسارت گردیدند (۴۹).

- **فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان نهبندان در سال ۱۳۹۲**

بارش نزولات آسمانی در نهبندان استان خراسان جنوبی، در اسفندماه سال ۱۳۹۲ سبب آبگرفتگی معابر شهری و جاری شدن سیلاب در مسیر رودخانه ها شد به حدی که در بعضی از مسیرها امکان تردد خودروها در جاده ها وجود نداشت. همچنین: جاری شدن سیل در چندین نقطه سبب سقوط چند فاصله از شبکه و در

مسیرهای متعددی نیز سبب شسته شدن پای تیرها شده است. در اثر وقوع این سیل حدود ۴ میلیارد و ۳۰۰ میلیون ریال به تاسیسات برق این شهرستان خسارت وارد شد (۵۰).

۱-۳-٦- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر زلزله

تاسیسات موجود در برق از جمله حساس ترین سازه‌ها در زمان وقوع زلزله هستند. در اثر وقوع زلزله و لرزش‌های شدیدی که در طی آن رخ می‌دهد سازه‌های برق دچار آسیب‌دیدگی شدیدی می‌شوند. لذا توجه به این امر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله آسیب‌های وارده به سازه‌های برق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- **زلزله بم سال ۱۳۸۲**

بر اثر زمین‌لرزه به ممان لرزه‌ای ۶/۶ درجه، در پنجم دیماه سال ۱۳۸۲ در ۱۹۳ کیلومتری کرمان، شهرستان بم و ارگ تاریخی آن به‌کلی ویران شد. در این زمین لرزه بیش از ۲۶۰۰۰ نفر در بم و تعدادی از روستاهای اطراف جان باختند. همچنین تقریبا تمامی تاسیسات زیربنایی (شریان‌های حیاتی) این شهرستان نظیر شبکه‌های برق، آب و فاضلاب، گاز، تلفن، جادهها، پلها و قنوات بطور جدی آسیب دیدند. تنها خسارت مستقیم وارده به تاسیسات پست ۲۳۰ کیلو ولت و شبکه فشار متوسط و ضعیف بم بالغ بر ۶۷ میلیارد ریال گردید (۴۱).

در پی وقوع زمین لرزه تجهیزات پست ۲۳۰ کیلوولت به میزان زیادی تخریب شد و با خارج شدن پست اصلی از مدار، برق شهرستان‌های بم، کهنوج، راور و گلبافت قطع گردید. در این پست ترانسفورمر ۲۳۰/۱۳۲ از روی ریل خارج و حدود ۵۰ سانتی متر جابجا شد و ریل آن بدلیل وزن سنگینش (۱۳۰ تن) و افتادن ترانسفورماتور از بالای ریل، در محل اتکا شکسته و در برخی مناطق خم گردید (۴۱). از آسیب‌های دیگر وارد شده در محل این ترانسفورمر کشیده شدن سیم‌های متصل به ترانسفورمر در جهت پایین و روانگرایی زمین در فاصله ۵ متری پی آن بود. همچنین دو ترانسفورمر ۱۳۲/۲۰ کیلوولت نیز به میزان ۱۰ و ۱۲ سانتیمتر از محل ریل خود جابجا شدند. در این پست مقره‌های اتکایی ۲ بریکر ۲۳۰ کیلوولت و ۴ بریکر ۱۳۰ کیلوولت شکسته شده و با آسیب دیدن آب‌بندی آنها روغن آنها نشت نمود. در این زلزله آسیب‌های وارده به ۳۱۸ دستگاه پست توزیع هوایی بیش از ۴۰ درصد بوده است. تعداد ۴۰ تا ۵۰ دستگاه ترانسفورماتور از پایه کنده شده و به زمین سقوط کرده بودند و تعداد دیگری از ترانسفورماتورهای ۲۰ کیلوولت نیز در محل استقرار خود دچار خسارت و آسیب شده بودند. همچنین خطوط فشار متوسط وضعیف بشدت آسیب دیده بودند. میزان خسارات وارده به خطوط توزیع در مناطق شمال شرقی، شرق و شمال شهر بسیار گسترده‌تر بود (۴۱). بطور کلی آسیب‌های وارده به شبکه توزیع در زلزله بم به شرح ذیل میباشد:

- آسیب دیدن تیرهای برق بدلیل ریزش ساختمانها و دیوارهای بیرونی.
- افتادن تیرهای برق
- جابجایی‌های بزرگ افقی تیرهای برق
- جابجایی‌های بزرگ عمودی برق بخصوص در خاکهای نرم و در تیرهای نزدیک به گسل بم.
- چرخش تیرهای برق بدلیل لنگر چرخشی وارده.
- خم شدن آرماتورهای (میلگردهای) تیرها بدلیل شکستن پوشش بتنی و یا خاموت‌های تیرها.

– شکست و یا شکاف‌های برشی بتن تیرها، بدلیل عدم استفاده از خاموت و یا فاصله زیاد بین خاموتها.
– کشیده و یا بریده شدن هادی‌ها به واسطه افتادن تیرها و نخل‌های بین تیرهای برق.
– کشیده و یا بریده شدن کابلهای انشعابات برق مشترکین.
– آسیب دیدن ترانسفورمرهای ۲۰ کیلوولت و شکستن بوشینگ آنها بدلیل کنده شدن از پایه و سقوط به زمین.
– آسیب دیدن تکیه‌گاه و یا اتصالات ترانسفورمرهای ۲۰ کیلوولت و شکستن بوشینگ آنها بدلیل جابجایی زیاد.
– افتادن چراغ‌های روشنایی معابر و خیابان‌ها بدلیل شتاب افقی بزرگ زلزله.
– شکستن و یا آسیب دیدن کنتورهای مشترکین در ساختمانها (بدلیل نصب اکثر کنتورها برروی دیوارهای بیرونی، این دستگاه‌ها بشدت آسیب دیده و یا افتاده بودند).
بعضی از این خرابی‌ها در شکل ۱۲-۱ تا شکل ۲۴-۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۱۲-۱: خم شدن آرماتورهای تیرها [۸۲]



شکل ۱۳-۱: تخریب دیوار نگهبان پست برق [۸۲]



شکل ۱۴-۱: خم شدن آرماتورهای تیرها [۸۲]



شکل ۱۵-۱: خروج ترانسفورماتور۱۳۲ کیلوولت از روی ریل [۸۲]



شکل ۱۶-۱: لغزش ترانسفورماتور و خروج پین‌ها از محل خود [۸۲]



شکل ۱۷-۱: شکست جوش‌ها و تابیدگی نبشی نشیمن ترانسفورماتور [۸۲]



شکل ۱۸-۱: کشیدگی کابل‌ها در اثر لغزش ترانسفورماتور [۸۲]



شکل ۱۹-۱: پاره شدن نبشی زیر سری [۸۲]



شکل ۲۰-۱: اعوجاج نبشی زیرسری و شکست ریل [۸۲]



شکل ۲۱-۱: جابجایی ترانسفورماتور از روی ریل [۸۲]



شکل ۲۲-۱: دوران پایه یکی از مقره‌ها [۸۲]



شکل ۲۳-۱: کمانش پایه مقره [۸۲]



شکل ۲۴-۱: تغییرشکل ماندگار ایجادشده در ناودانی[۸۲]

- **زلزله ورزقان تبریز سال ۱۳۹۱**

در زلزله ورزقان تبریز که به بزرگای ۶/۲ در مرداد ماه سال ۱۳۹۱ اتفاق افتاد، شبکه برق ۲۵ روستا دچار آسیب‌دیدگی کلی شد. میزان خسارات وارده به شبکه برق این روستاها بیش از ۱۲ میلیارد ریال برآورد شده است. در این زلزله مهیب تعداد زیادی از تابلوها، ترانسفورماتورها، دستگاه‌های سنجش و کابل های مشترکین آسیب جدی دیده و یا از کار افتاده بودند. همچنین در اثر وقوع زلزله، نیروگاه حرارتی تبریز از مدار خارج و برق بخشی از استان آذربایجان شرقی از جمله شهرستان های تبریز، اهر و ورزقان قطع شد (۵۱).

- **زلزله در خراسان شمالی سال ۱۳۹۶**

در زلزله با ممان لرزه‌ای ۵/۷ خراسان شمالی که در اردیبهشت سال ۱۳۹۶ اتفاق افتاد، بالغ بر ۵ میلیارد ریال به شبکه برق خراسان شمالی خسارت وارد کرد.

علت بروز خاموشی هنگام وقوع زلزله، به دلیل شدت ارتعاشات شبکه و تداخل فازها و اتصال کوتاه شدن شبکه بود و ۲ پست فشار قوی بدرانلو و بجنورد به دنبال این حادثه بلافاصله از مدار خارج و پس از آن ۱۶ فیدر منتهی به این پست‌های نیز قطع شد (۵۲).

- **زلزله بوشهر در سال ۱۳۹۵**

در اثر زلزله بوشهر که در آذرماه سال ۱۳۹۵ اتفاق افتاد به شبکه توزیع نیروی برق آسیب جدی وارد شد که از جمله خسارات آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (۵۳).

- خسارت ۳۰ تا ۱۰۰درصد ۱۳۰ کیلومتر شبکه فشار متوسط هوایی.
- ۳۰ دستگاه پست های هوایی واژگون شده با خرابی ۱۰۰درصد.
- ۶۰ دستگاه پست هوایی با خسارت کمتر از ۵۰ درصد.
- خسارت ۳۰تا ۱۰۰درصد ۷۵ کیلومتر از شبکه های فشار ضعیف و تاسیسات روشنایی.
- خسارت ۱۰۰درصد به ۱۲۰۰ انشعاب مشترکین برق.
- خسارت کمتر از ۵۰ درصد به ۱۸۰۰انشعاب مشترکین برق.

- **زلزله نیوزلند در سال ۲۰۱۱**

این زلزله با ممان لرزه‌ای ۶/۳ در سال ۲۰۱۱ در نیوزلند اتفاق افتاد که در اثر آن خسارات عمده‌ای به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات برق آن وارد آمد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

- وارد آمدن خسارت به ۳۰ کیلومتر از کابل‌های ۶۶ کیلو ولت
- وارد آمدن خسارت به ۳۳۰ کیلومتر از کابل‌های ۱۱ کیلو ولت
- وارد آمدن خسارت به چندین ایستگاه محلی 11kV/400V
- وارد آمدن خسارت به پایه دکلها و تیرهای برق در اثر روانگرایی خاک

- **زلزله چین در سال ۲۰۰۸**

زلزله سال ۲۰۰۸ ونچوان با ممان لرزه‌ای ۸ در استان سیچوان چین، به عنوان یکی از پرخسارت ترین زلزله‌های تاریخ چین به حساب می‌آید. خسارات وارده به شریان‌های حیاتی بی‌سابقه و توزیع گسترده‌ای داشت. بعضی از این خسارات حتی در استان‌های با فواصل قابل توجه از مرکز زلزله رخ داد. در جدول ۵-۱ آسیب‌های وارده به صنعت برق در این زلزله جمع آوری شده‌است. (۵۴).

جدول ۵-۱: آسیب‌های وارده به تاسیسات برق در اثر زلزله چین در سال ۲۰۰۸ (۵۴).

Voltage (kV)	Type	Total	Damaged	Repaired as of 10/22/2008	Repair in Place (beyond 10/22/08)	Reconstruct Entirely (beyond 10/22/08)
500	Substation	18	1	0	0	1
500	Transmission Line	41	4	2	2	2
220	Substation	94	13	9	1	4
220	Transmission Line	337	46	24	3	19
110	Substation	351	66	61	0	5
110	Transmission Line	796	118	117	0	1
35	Substation	351	91	84	0	7
35	Transmission Line	603	106	106	0	0
10	Substation	5473	795	749	0	46
10	Circuits	5876	1700	1606	0	94

Source: Sichuan Electric Power

۱-۳-۷- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر گسلش

- **وقوع گسلش در زلزله تایوان سال ۱۹۹۹**

در اثر این زلزله که در تایوان به ممان لرزه‌ای ۷/۶ در سال ۱۹۹۹تفاق افتاد حرکت گسل‌ها باعث آسیب دیدن دکل‌های برق موجود در منطقه شد (۵۵).

۱-۳-۸- آسیب‌های وارده به صنعت برق در اثر خاک‌های خورنده

- **وجود خاک های خورنده در مناطق جنوبی کشور و حاشیه خلیج فارس**

تجهیزات صنعت برق در مناطق جنوبی کشور به دلیل وجود اتمسفر خورنده و خاک حاوی نمک‌های مختلف برخلاف سایر نقاط کشور خسارت‌های فراوانی را تحت دو عامل خوردگی و تغییر خواص مواد براثر وجود عوامل آلاینده متحمل شده است. گستردگی منطقه حاشیه خلیج فارس و دریای عمان نیز بر هزینه‌های ناشی از خسارت‌های بوجود آمده افزوده است. شرایط آب و هوایی و نوع اتمسفر منطقه به همراه خاک خورنده، معضلاتی را در ارتباط با تجهیزات برقی نظیر تخریب تیرهای بتنی، خوردگی دکل‌های انتقال نیرو به وجود آورده است (۳۶).



شکل ۲۵-۱: نمونه هایی از خرابی‌های تیرهای برق در اثر خاک های خورنده (۳۶).

۱-٤-توجیه و تبیین ضرورت شناسایی و پهنه بندی مخاطرات محیطی زمین در صنعت برق

در این بخش، توجیه‌پذیری شناسایی مخاطرات محیطی زمین در صنعت برق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، با مطالعه و شناسایی پارامترهای دخیل و عوامل اثرگذار مرتبط با مخاطرات زمین بر صنعت برق، میزان نیاز صنعت برق به شناخت کافی از عوامل و مخاطرات زمین، تحلیل و بررسی می‌گردد. در بررسی عوامل زمینی مخرب در سازه‌های صنعت برق، افق زمانی کوتاه مدت و بلندمدت مورد نظر قرار می‌گیرد. تحلیل توجیه‌پذیری مطالعات فوق‌الذکر در این بخش، بر اساس بررسی ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست محیطی و قانونی صورت گرفته و ارائه شده است.

۱-٤-۱- توجیه‌پذیری فنی

بلایای طبیعی ناشی از مخاطرات زمین در طول زندگی بشر به فراوانی رخ داده‌اند. هر ساله هزاران نفر قربانی زلزله، زمین لغزش، فرونشست زمین، رانش زمین و حوادث مشابه آن می‌شوند و خسارات جانی و مالی فراوانی با وقوع بلایای زمینی ایجاد می‌گردد. تنها مناطق معدودی در جهان از خطراتی که به فاجعه منجر می‌شوند، مصون هستند. متأسفانه کشورهای در حال توسعه، بیش از همه متاثر از بلایای طبیعی هستند. اغلب این کشورها بر روی کمربند لرزه ای دنیا قرار گرفته اند، فاقد سیستم‌های هشدار دهنده بوده، سازمان‌های دفاع غیر نظامی آنها نیاز به تقویت داشته و اقتصادشان به آنها توانایی کافی برای ایستادگی در مقابل بار عظیم مالی خسارات ناشی از فاجعه را نمی‌دهد.

حادثه طبیعی ناگوار زمانی تبدیل به یک بلای طبیعی می‌شود که موجب تحمیل تلفات و خساراتی به جوامع و فعالیت‌های انسانی گردد. اگر چه نمی‌توان از وقوع مخاطرات مرتبط با زمین جلوگیری کرد ولی می‌توان آثار و عواقب فاجعه آمیز آنها را به کمک برنامه‌ریزی‌های قبلی و آمادگی برای انجام اقدامات اضطراری کاهش داد.

همانند سایر سامانه‌ها و سازه‌های ساخت بشر، وقوع انواع خرابی‌ها و خسارات ناشی از مخاطرات زمین در بخش‌های مختلف صنعت برق نیز، محتمل می‌باشد. بدلیل ویژگی خاص صنعت برق که وظیفه و نقش تأمین انرژی برای بسیاری از فعالیت‌ها و صنایع دیگر را عهده‌دار است، جلوگیری از ایجاد خرابی و توقف خدمت‌رسانی در آن (نسبت به سایر صنایع) بسیار ضروری و حیاتی است. زیرا توقف خدمت‌رسانی صنعت برق از خاموشی‌های کوچک[1] تا گسترده[2]، علاوه بر خسارات مستقیم و غیرمستقیم که بر خود آن صنعت وارد می‌کند، منجر به ایجاد وقفه و خسارت در سایر صنایع و بخش‌های کشور نیز شده و پتانسیل اعمال خسارات گسترده اقتصادی، سیاسی و اجتماعی را تا سطح ملی نیز، دارا می‌باشد.

در این سند بطور خاص، شناسایی عوامل زمینی ایجادکننده خرابی در سامانه‌ها و سازه‌های بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) و تعیین مشخصات آنها، مورد نظر می‌باشد. عدم شناسایی مخاطرات فوق و بالتبع آن عدم وجود آمادگی به منظور پیش‌بینی و مقابله با آنها می‌تواند منجر به بروز خرابی‌های متعدد در سامانه‌ها و سازه‌ها شود که علاوه بر ایجاد خسارات مستقیم ناشی از تخریب‌ها و نیز توقف خدمت‌رسانی، باعث ایجاد زیان‌های انسانی و صدمات جانی نیز می‌گردد. بر این اساس و با توجه به پی‌آمدهای خرابی‌ها و خسارات، ضرورت شناسایی کلیه عوامل ایجاد خطر، پهنه‌بندی نوعی آنها در جغرافیای کشور، پیش‌بینی شدت وقوع آنها، پیش‌بینی زمان وقوع آنها و راهکارهای مقابله با آنها امری مشخص است.

سازه‌های صنعت برق به لحاظ شرایط کارکرد خود جزء سازه‌های خاص و در معرض شرایط محیطی و زمینی می‌باشند که احتمال وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده را در مورد آنها (نسبت به سایر سازه‌ها) افزایش می‌دهد.

از مهمترین عوامل آسیب‌پذیری در این سازه‌ها در شرایط وقوع مخاطرات زمینی به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

- سازه‌های موجود در انواع نیروگاه‌های تولید برق اغلب ساخته شده بر روی پی های سطحی هستند که در برابر خرابیهای قدرتمند زمین (مانند زلزله، روانگرایی، فرونشست، زمین لغزش، تورم خاک یا موارد نظیر اینها) به شدت آسیب پذیر می‌باشند. از اینرو آسیب‌هایی نظیر ناپایداری کلی سازه و پی آن، از کارافتادن سیستم‌های الکترونیکی، از کار افتادن اجزاء انتقال دهنده جریان، واژگونی یا لغزش در اجزای سازه‌ای و فونداسیون‌های آنها (به صورت کلی یا جزئی) محتمل بوده که می‌توانند منجر به خرابی گسترده و فروپاشی[3] کلی سازه و ایجاد اختلالات شدید در مدار شود.

[1] - Outage
[2] - Blackout
[3] - Collapse

- مشخصات و ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مصالح و اجزای سازه‌ای مانند بتن و فولاد در طول زمان و در تماس با خاک دجار تغییرات و زوال شده (به این پدیده، فرسودگی[1] نیز اطلاق می‌شود) که در نتیجه آن، وقوع خرابی و آسیب در آنها بسیار محتمل خواهد بود.
- سازه‌های انتقال و توزیع برق نیز در معرض انواع شرایط محیطی مخرب زمینی بوده و وقوع خسارات مذکور در مورد اینها نیز محتمل است.

نمونه‌های مختلف خرابی و فروپاشی در سازه‌های مختلف صنعت برق کشور در گذشته نیز واقع گردیده است. نمونه‌هایی از خسارات و آثار مخرب حاصل از مخاطرات زمین در صنعت برق (و سایر صنایع) در بخش قبلی گزارش ارائه گردید.

بسیاری از خرابی‌های مورد اشاره در سازه‌های صنعت برق، در صورت شناسایی دقیق نوع منابع ایجاد آن در جغرافیای محل پروژه، پیش‌بینی شدت وقوع، شدت آسیب‌رسانی و زمان وقوع و نیز با اجرای یک برنامه مناسب هشدار و سایر تمهیدات مناسب در طراحی و بهره‌برداری، قابل پیش‌بینی و پیش‌گیری می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان از وقوع خسارات گسترده ناشی از فروپاشی و خرابی جزئی و کلی سازه‌ها جلوگیری نمود.

در راستای شناسایی عوامل زمینی ایجاد خطر در سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق باید به موارد زیر توجه نمود:

- هر یک از انواع سامانه‌ها، تجهیزات و سازه‌های صنعت برق (بسته به نوع کاربرد، اجزاء سازه‌ای و غیر سازه‌ای، موقعیت قرارگیری در مدار، محفوظ بودن یا نبودن و...) پتانسیل خطر پذیری ویژه خود را نسبت به شرایط زمینی دارا هستند.
- هر پدیده مخرب زمینی، نوع خاصی از آسیب و خطر را به یک سازه یا تجهیز وارد می‌سازد.
- بروز مخاطرات زمین، وابسته به جغرافیاست و به عبارتی دیگر، هر منطقه از کشور ایران شاهد بروز نوع و یا انواع مشخصی از مخاطرات زمین می‌باشد.
- از بروز برخی از مخاطرات زمینی می‌توان جلوگیری نمود (مانند اثرات مخرب ناشی از قرار گیری پی بر روی خاکهای دستی) و از بروز بسیاری دیگر نمی‌توان جلوگیری کرد؛ اما می‌توان با شناخت دقیق نوع و میزان شدت آنها و یا پیش‌بینی زمان دقیق وقوع آنها از ایجاد خرابی در سازه‌های صنعت برق پیش‌گیری به عمل آورد.

با توجه به موارد عنوان شده، به منظور جلوگیری از بروز خسارات محتمل ناشی از مخاطرات زمینی بر سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق، انجام مطالعات جامع در خصوص شناسایی مخاطرات مزبور ضرورت خواهد داشت. بدین منظور انجام مطالعات زیر لازم است:

- شناسایی انواع مخاطرات زمین که تهدید کننده سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق هستند.
- دسته‌بندی مخاطرات فوق بر حسب نوع سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق و مشخص کردن اینکه هر کدام از این مخاطرات بر چه نوع سازه‌ای و با چه درجه اهمیتی تاثیرگذار هستند.

[1] - Aging

- پهنه‌بندی جغرافیایی شدت مخاطرات مورد بررسی در سطح کشور به صورت کیفی و کمی از نقطه نظر فنی، خروجی و نتایج حاصل از انجام مطالعات شناسایی مخاطرات زمین به طور کلی عبارتند از:

⇦ پیش‌گیری از بروز مخاطرات جبران ناپذیر با جلوگیری از بروز برخی مخاطرات، مقابله با برخی از آنها و یا اتخاذ تمهیدات محافظت از سازه‌ها و تجهیزات
⇦ پیش‌بینی میزان آسیب‌های محتمل قابل جبران
⇦ جانمایی جغرافیایی و تعیین محل مناسب استقرار سامانه‌ها و سازه‌ها متناسب با مخاطرات محتمل
⇦ انتخاب نوع مناسب تجهیزات و سازه‌ها و اجزاء آنها
⇦ انتخاب و طراحی المان‌ها و یا سازه‌های مناسب مقاوم کننده سازه یا پی
⇦ انتخاب مصالح مناسب جهت ساخت سازه‌ها و اجزاء آنها
⇦ کاهش هزینه سرویس و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات مورد نیاز
⇦ ایجاد حالت اکتیو در کنترل شرایط بحرانی
⇦ کاهش محافظه‌کاری و از سویی دیگر افزایش ایمنی در طراحی سازه‌ها و سامانه‌ها

همانطور که در بخش‌های قبلی عنوان گردید، عمده پدیده‌های زمینی تأثیرگذار بر سامانه‌ها و سازه‌ها در سال‌های گذشته مورد مطالعه قرار گرفته و برخی از پارامترهای مشخصه آنها نیز تعیین و در سطح کشور پهنه‌بندی شده‌اند. اما با توجه به گذشت سال‌ها و دهه‌ها از این بررسی‌ها، ایجاد تغییرات محیطی و اقلیمی و مخاطرات جدید ناشی از آنها به همراه حصول دانش‌ها و داده‌های جدید، لزوم بازبینی و بروز رسانی مطالعات گذشته را در کنار انجام مطالعات جدید، نشان می‌دهد.

بر اساس موارد فوق‌الذکر، انجام مطالعات شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سازه‌های صنعت برق، دارای توجیه فنی بوده و ضرورت انجام آن مشخص می‌شود.

۱-٤-۲- توجیه‌پذیری اقتصادی

علاوه بر مزایای فنی، انجام مطالعات شناخت مخاطرات زمین بر سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق، دارای ضرورتهای اقتصادی نیز می‌باشد. در ابتدا به این نکته مهم باید توجه کرد که انجام خدمات عنوان شده در این سند از جنس فعالیت مطالعاتی می‌باشد؛ در حالیکه نتایج به دست آمده از آن مستقیماً کاربرد عملی در صنعت برق دارد. مشخصاً هزینه انجام فعالیت‌های مطالعاتی در قیاس با سود حاصل از جلوگیری از وقوع بحران و کنترل خرابی در طیف وسیعی از سازه های صنعت برق و صنایع وابسته به آن، بسیار ناچیز می‌باشد. همین امر منطقاً ایجاب میکند که با اتخاذ یک رویکرد پیش‌بینی کننده، پیش‌گیرانه (و یا حداقل کنترل‌کننده)، از بروز خسارات هنگفت مالی و اقتصادی جلوگیری نمود.

بیان توجیه اقتصادی شناخت مخاطرات زمین، از چند دیدگاه کلی قابل بررسی می‌باشد:

الف) جلوگیری از بروز خرابی و خسارات مستقیم در سامانه ها، سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق

خروجی مطالعات طرح پیش رو نقشه پهنه‌بندی مخاطرات زمین بر سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق است. با داشتن دانش به دست آمده از انجام مطالعات مزبور، موقعیت مناسب استقرار سامانه‌ها و سازه‌ها مشخص می‌گردد،

هر سامانه بر اساس مخاطرات متاثر از آن طراحی می‌گردد و در صورت نیاز راهکارهای پیش‌گیرانه و یا محافظتی جهت جلوگیری از بروز خسارت به آنها مشخص می‌شود. در نتیجه انتظار می‌رود که سطح خرابی‌ها و خسارات جزئی و کلی محتمل در سازه‌ها و تجهیزات به حداقل ممکن خود برسد و از این رو از بروز خسارات اقتصادی جلوگیری به عمل آید. نمونه های بسیار زیادی از خسارات وارده بر صنعت برق در اثر مخاطرات زمینی در فصل قبل و با جزئیات خسارات وارده تشریح شده است.

ب) طراحی ایمن و البته بهینه و اقتصادی در زمان ساخت تجهیزات

عدم شناخت کافی از عوامل خطر بر سلامت سامانه‌ها و سازه‌ها، منجر می‌شود که طراح در محاسبه ایمنی لازم در پایداری جزئی و یا کلی اجزاء و یا تمام سازه دچار اشتباه شود. از سوی دیگر برخی از طراحان در چنین شرایطی ترجیح می‌دهند که در جهت بالابردن ضرایب اطمینان در برابر مخاطرات ناشناخته، طرحی بسیار محافظه‌کارانه و غیراقتصادی ارائه دهند. تجربه نشان داده که بسیاری از این طرح‌ها علیرغم آنکه از پاره‌ای جهات محافظه‌کارانه ارائه می‌شود اما در برابر برخی عوامل همچنان غیر ایمن نیز هستند. بنابراین شناخت عوامل و پارامترهای ایجاد خطر بهترین گزینه به منظور دستیابی به گزینه‌های طراحی ایمن و البته اقتصادی می‌باشد.

ج) جلوگیری از ایجاد اخلال در سیستم برق‌رسانی کشور و بروز اخلال در عملکرد واحدهای صنعتی و اقتصادی وابسته به صنعت برق

شاید مهمترین توجیه اقتصادی در شناخت مخاطرات زمینی و پیشگیری از بروز خسارت در سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق، در واقع جلوگیری از بروز اختلال در عملکرد واحدهای صنعتی و اقتصادی مصرف کننده انرژی برق باشد. به عنوان مثال، در فروردین ماه ۱۳۹۶، به دلیل وقوع زلزله در استان خراسان شمالی و قطع برق، پالایشگاه شهید هاشمی نژاد و صنایع پتروشیمی خراسان دچار تعلیق فعالیت شدند و خسارات اقتصادی فراوانی ناشی از این تعلیق به وجود آمد.

این مساله در نقاط نفت خیز اگر رخ دهد خسارات بسیار سنگینی را به جای خواهد گذاشت. ایران روزانه حدود ۳ میلیون و ۹۰۰ هزار بشکه نفت خام تولید می‌کند. از این میزان روزانه حدود ۲ میلیون و ۹۲۰ هزار بشکه در مناطق نفت‌خیز جنوب کشور تولید می‌شود. قطعی برق به مدت ۲۴ ساعت در استان خوزستان در اثر هر گونه اخلال میتواند باعث کاهش تولید نفت ایران به میزان حدود ۷۶۸ هزار بشکه در شود [۳۶] که اگر قیمت متوسط هر بشکه نفت در تاریخ مزبور ۵۵ دلار در نظر گرفته شود، قطع ۲۴ ساعته برق در استان خوزستان در حدود ۴۲ میلیون و ۲۴۰ هزار دلار به کشور ضرر اقتصادی خواهد زد. این درحالیست که استانهای جنوب کشور مستعد بروز زلزله، روانگرایی و فروریزش خاک هستند که هر یک به نوبه خود میتوانند باعث بروز خسارت به صنعت برق و صنایع وابسته کشور شوند.

با توجه به موارد عنوان شده، انجام مطالعات شناخت و پهنه‌بندی مخاطرات زمین بر سازه‌های صنعت برق از نقطه نظر اقتصادی کاملا مشخص و ضروری می‌باشد.

۱-٤-۳- توجیه‌پذیری سیاسی اجتماعی

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، قطع خدمت رسانی صنعت برق به هر دلیل (شامل وقوع خرابی در سازه‌ها) دارای پی آمدهای گوناگونی در سطوح مختلف تأثیر بر جامعه است. پی‌آمدهای اجتماعی قطع برق

نظیر توقف و اخلال در فعالیت‌های جاری و روزمره افراد و گروه ها، منجر به بروز ناهنجاری و نارضـایتی در جامعه می‌گردد. به عنوان مثال در خلال بروز پدیده هجوم ریزگردها در سـال ۱۳۹۵ در اسـتان خوزسـتان، با قطع آب و برق کل استان به حالت نیمه تعطیل درآمد. از نخستین ساعت‌های بامداد شنبه، ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ خورشیدی، آب و برق در اغلب شهرهای بزرگ خوزستان قطع شد و مراکز آموزشی و اداره‌ها تعطیل شدند (۵۶). گردوغبار شدید و رطوبت زیاد علت این وضعیت اعلام شد. در پی آن، جمعی از مردم اهواز در اعتراض به شرایط سخت و روزهای بحرانی اخیر خوزستان در اهواز تجمع کردند. در این تجمع مردم با بیان شعارهایی و در دست داشتن پلاکاردهای اعتراضی، اعتراض خود را به وضعیت قطعی آب و برق، نبود مدیریت مناسب در شرایط آلودگی هوا و در شرایط بحرانی خوزستان و عملکرد ضعیف رئیس سازمان محیط زیست در رسیدگی به موضوع ریزگردها و بحث انتقال آب، اعلام و خواستار رسیدگی سریع به این موضوعات شدند (۵۷).

گسترش قطع برق در ابعاد بزرگ استانی یا ملی (بلاک اوت) می‌تواند دارای پی آمدهای زیان بار سیاسی نیز باشد. بر این اساس، قطع خدمت رسانی شبکه برق می تواند منجر به ایجاد یا تشدید شرایط بحرانی در بخش‌های مختلف جامعه گردد. از این منظر، کلیه اقداماتی که در راستای حفظ پیوستگی کارکرد شبکه برق بوده، از بروز خرابی ها و آسـیب‌های محتمل جلوگیری نموده و به تداوم خدمت‌رسـانی آن کمک نماید، می تولند در زمره اقدامات پیش‌گیرانه مدیریت بحران و همچنین، پدافند غیرعامل لحاظ و توجیه گردد.

از طرف دیگر، در راستای مقاصد کلان صنعت برق در افق ۱۴۰۴ که ایران را سرآمد کشورهای منطقه در ارائه برق پاک و پایا و مطمئن در نظر می‌گیرد (۵۸)، و همچنین اراده کلی صنعت برق برای صادرات برق به کشورهای همسایه بطور مطمئن و پایدار، جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس دهی صنعت برق بدلیل وقوع انواع خرابی‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. توسعه صادرات برق ایران به سایر کشورها با حفظ کیفیت و پایایی مناسب و قابل قبول، می‌تواند منجر به افزایش قدرت اقتصادی و به تبع آن قدرت سیاسی کشور شده و جایگاه آنرا در عرصـه بین‌المللی و منطقه‌ای تقویت نماید.از آنجا که شـناخت و مقابله با تهدیدات مخرب زمینی سازه‌ها بطور کلی در راستای افزایش قابلیت اطمینان تولید برق و رساندن آن به مصرف‌کننده بوده و احتمال قطع سرویس‌دهی شبکه برق در اثر خرابی‌های سازه‌ای را کاهش می‌دهد، سبب کاهش پی‌آمدهای اجتماعی و سیاسی ناشی از قطع برق شده و از این لحاظ، توجیه‌پذیر خواهد بود.

از دیدگاهی دیگر، بخش‌هایی از صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) ممکن است به سبب تحریم‌های اعمالی از سـوی کشـورهای صـنعتی دچار مشـکلاتی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات شـوند. پیش بینی مخاطرات و جلوگیری از آسـیب‌های حاصـله می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید و بهره‌برداری بهینه از امکانات و تجهیزات موجود و نیاز کمتر به قطعات وارداتی و کاهش مسائل مربوط به آن در صنعت برق کشور، گردد.

۱-٤-٤- توجیه‌پذیری زیست‌محیطی

وقوع خرابی در برخی از انواع سـازه‌ها می‌تواند مسـتقیماً دارای پی‌آمدهای زیسـت محیطی نیز بوده و سـبب ایجاد یا انتشار انواع آلودگی‌ها در محیط زیست گردد. در مورد سازه‌های صنعت برق می‌توان پوسته محافظ رآکتور در نیروگاه‌های هسته‌ای و یا مخازن سوخت در نیروگاه‌های حرارتی را نام برد که خرابی آنها می‌تواند سبب انتشار

مواد آلاینده رادیواکتیو یا شیمیایی شده و دارای پی آمدهای زیان بار زیست محیطی باشد. همچنین خرابی‌های سازه‌ای در اجزای نیروگاه‌ها ممکن است منجر به حوادث ثانویه نظیر آتش‌سوزی یا انفجار شود که علاوه بر سایر پی‌آمدها و خسارات حاصله، منجر به آلودگی زیست محیطی نیز خواهند شد. بر این اساس، هر اقدامی که در راستای جلوگیری یا کاهش آسیب‌های سازه‌ای عمل کند (از جمله شناخت، پیشگیری و مقابله با مخاطرات زمین)، بطور غیرمستقیم در حفاظت از محیط زیست نیز نقش خواهد داشت.

۱-٤-٥- توجیه‌پذیری قانونی

توجیه‌پذیری قانونی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین موثر بر سازه‌های صنعت برق، بر اساس بررسی و مطالعه اسناد ملی بالادستی صورت می‌گیرد. این بررسی با هدف تعیین میزان مطابقت، تأثیرپذیری و همراستایی کلی مطالعات پیش رو، با اهداف و سیاست‌های کلان کشور انجام می‌گیرد. در این راستا می‌توان به اسناد بالادستی به شرح زیر اشاره نمود:

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

سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه از سوی مقام معظم رهبری در تاریخ ۱۳۸۴/۰۲/۰۳ مصوب و ابلاغ گردیده است (۵۹):

۱- افزایش و گسترش آموزش و آگاهی و فرهنگ ایمنی و آماده‌سازی مسئولان و مردم برای رویارویی با عوارض ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه به ویژه خطر زلزله و پدیده‌های جوی و اقلیمی

۲- گسترش و تقویت مطالعات علمی و پژوهشی و حمایت از مراکز موجود به منظور شناسایی و کاستن از خطرات اینگونه حوادث با اولویت خطر زلزله

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

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

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

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

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

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

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

٦-١- مکان‌یابی و مناسب‌سازی کاربری‌ها در مراکز جمعیتی شهری و روستایی و تأسیسات حساس و مهم متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در کشور

٦-٢- بهبود مدیریت و نظارت بر ساخت و ساز با بکارگیری نیروهای متخصص و تربیت نیروی کار ماهر در کلیه سطوح و تقویت نظام مهندسی و تشکل‌های فنی و حرفه ای و استفاده از تجربه‌های موفق کشورهای پیشرفته زلزله خیز

٦-٣- ممنوعیت و جلوگیری از ساخت و سازهای غیرفنی و نا امن در برابر زلزله و الزامی کردن بیمه و استفاده از کلیه استانداردها و مقررات مربوط به طرح و اجرا

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

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

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

٧-١- تدوین و اصلاح طرح‌های توسعه و عمران شهری و روستایی متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در مناطق مختلف کشور

٧-٢- ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های دولتی، عمومی و مهم، شریان‌های حیاتی و تأسیسات زیربنایی و بازسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده حداکثر تا مدت ١٠ سال

٧-٣- ارائه تسهیلات ویژه و حمایت‌های تشویقی (بیمه و نظایر آن) به منظور ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی، خدماتی و تولیدی غیردولتی

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

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

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

ب) قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور (مصوب مجلس شورای اسلامی به شماره: ۶۰۵/ ۱۸۷۸۵ و مورخ ۱۳۸۷/۳/۲۹)

ماده۱ـ اصلاحات مندرج در قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور (۶۰) در معانی مشروح زیر به کار می‌رود:

الف ـ بحران: شرایطی است که در اثر حوادث، رخدادها و عملکردهای طبیعی و انسانی (به جز موارد موضوعه در حوزه‌های امنیتی و اجتماعی) به طور ناگهانی یا غیرقابل کنترل به وجود می‌آید و موجب ایجاد مشقت و سختی به یک مجموعه یا جامعه انسانی می‌گردد و بر طرف کردن آن نیاز به اقدامات اضطراری، فوری و فوق‌العاده دارد.
ب ـ مدیریت جامع بحران: فرآیند برنامه‌ریزی، عملکرد و اقدامات اجرائی است که توسط دستگاههای دولتی، غیردولتی و عمومی پیرامون شناخت و کاهش سطح مخاطرات (مدیریت خطرپذیری) و مدیریت عملیات مقابله و بازسازی و بازتوانی منطقه آسیب‌دیده (مدیریت بحران) صورت می‌پذیرد. در این فرآیند با مشاهده پیش نشانگرها و تجزیه و تحلیل آنها و منابع اطلاعاتی در دسترس تلاش می‌شود به صورت یکپارچه، جامع و هماهنگ با استفاده از ابزارهای موجود از بحران‌ها پیشگیری نموده یا در صورت بروز آنها با آمادگی لازم در جهت کاهش خسارات جانی و مالی به مقابله سریع پرداخته تا شرایط به وضعیت عادی بازگردد.
ماده۲ـ مدیریت بحران شامل چهارمرحله به شرح زیر است:
الف ــ پیشگیری: مجموعه اقداماتی است که با هدف جلوگیری از وقوع حوادث و یا کاهش آثار زیانبار آن، سطح خطرپذیری جامعه را ارزیابی نموده و با مطالعات و اقدامات لازم سطح آن را تا حد قابل قبول کاهش می‌دهد.
ب ــ آمادگی: مجموعه اقداماتی است که توانایی جامعه را در انجام مراحل مختلف مدیریت بحران افزایش می‌دهد که شامل جمع‌آوری اطلاعات، برنامه‌ریزی، سازماندهی، ایجاد ساختارهای مدیریتی، آموزش، تامین منابع و امکانات، تمرین و مانور است.
ج ــ مقابله: انجام اقدامات و ارائه خدمات اضطراری به دنبال وقوع بحران است که با هدف نجات جان و مال انسان‌ها، تامین رفاه نسبی برای آنها و جلوگیری از گسترش خسارات انجام می‌شود. عملیات مقابله شامل اطلاع‌رسانی، هشدار، جست و جو، نجات و امداد بهداشت، درمان، تامین امنیت، ترابری، ارتباطات، فوریت‌های پزشکی، تدفین، دفع پسماندها، مهارآتش، کنترل مواد خطرناک، سوخت‌رسانی، برقراری شریان‌های حیاتی و سایر خدمات اضطراری ذیربط است.
د ــ بازسازی و بازتوانی: بازسازی شامل کلیه اقدامات لازم و ضروری پس از وقوع بحران است که برای بازگرداندن وضعیت عادی به مناطق آسیب‌دیده با در نظر گرفتن ویژگی‌های توسعه پایدار، ضوابط ایمنی، مشارکت‌های مردمی و مسائل فرهنگی، تاریخی، اجتماعی منطقه آسیب‌دیده انجام می‌گیرد. بازتوانی نیز شامل مجموعه اقداماتی است که جهت بازگرداندن شرایط جسمی، روحی و روانی و اجتماعی آسیب‌دیدگان به حالت طبیعی به انجام می‌رسد.
ماده۳ـ به منظور هماهنگی فعالیتهای دستگاه‌ها و نهادهای وابسته به قوای سه‌گانه، نیروهای مسلح و کلیه نهادها و دستگاه‌های تحت نظر مقام معظم‌رهبری (با عنایت به تفویض اختیار معظم‌له) و تصویب مقررات و ضوابط حاکم بر مدیریت بحران در مراحل چهارگانه آن شورای عالی مدیریت بحران کشور که از این پس در این قانون به اختصار شورای عالی نامیده می‌شود، تشکیل می‌گردد.

ماده۴ـ وظایف شورای عالی به شرح زیر است:
۱ـ تدوین سیاست‌ها و برنامه‌های ملی مرتبط با مدیریت جامع بحران کشور و اقدام قانونی لازم جهت تصویب.
۲ـ تنظیم بودجه تفصیلی نظام مدیریت جامع بحران کشور و پیشنهاد برای درج در لایحه بودجه سالانه کشور جهت تصویب.

۳ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب وظایف دقیق و نقش وزارتخانه‌ها و سازمان‌های دولتی، نهادهای عمومی غیردولتی، شوراهای اسلامی، شهرداری‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌هایی که شمول قانون برآنها مستلزم ذکر نام است، نیروهای نظامی و انتظامی و کلیه نهادها و دستگاه‌های تحت نظر مقام معظم رهبری، سازمان صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران و رسانه‌های گروهی، تشکلهای مدنی و مردمی مرتبط با مدیریت بحران در مجلس شورای اسلامی.

۴ـ اتخاذ تدابیر راهبردی، هماهنگی، هدایت و تشویق فعالیت‌های پژوهشی و اجرائی در راستای کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، مخاطرات آب و هوایی و موادشیمیایی خطرناک.

۵ ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب سامانه مدیریت بحران کشور و تعیین فرماندهی عملیات مقابله با بحران متناسب با شرایط بحران در مجلس شورای اسلامی.

۶ ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب سیاست‌های آموزشی، تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی از طریق سازمان صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران و سایر رسانه‌های گروهی در مجلس شورای اسلامی.

۷ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب ضوابط و دستورالعمل‌های لازم درباره اقدامات احتیاطی پس از دریافت اطلاعات مبنی بر احتمال وقوع حوادث پیش‌بینی نشده در کشور.

۸ ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب ساختار، تشکیلات تفصیلی سازمان و رده‌های سازمانی متناسب در استانها و شهرستان‌ها به پیشنهاد سازمان.

۹ـ اقدام قانونی لازم جهت تصویب ضوابط، مقررات و دستورالعمل‌های مرتبط با این قانون.

ماده۵ ـ شورای‌عالی به ریاست رئیس جمهور و با عضویت وزرای اطلاعات، کشور، اموراقتصادی و دارایی، مسکن و شهرسازی، دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، رفاه و تامین اجتماعی، راه و ترابری، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، **نیرو**، جهادکشاورزی، ارتباطات و فناوری اطلاعات، علوم، تحقیقات و فناوری، آموزش و پرورش، شهردار تهران، رئیس ستاد کل نیروهای مسلح، فرمانده نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران، فرمانده کل سپاه پاسداران، فرمانده کل ارتش، فرمانده نیروی مقاومت بسیج، یکی از نواب رئیس مجلس شورای اسلامی، معاون اول قوه قضائیه، روسای سازمان‌های مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران، رئیس جمعیت هلال‌احمر جمهوری اسلامی ایران، سرپرست کمیته امداد امام خمینی (ره)، ریاست سازمان هواشناسی کشور، رئیس بنیاد مسکن انقلاب اسلامی ایران و رئیس سازمان تشکیل می‌گردد.

ماده۶ ـ سازمان مدیریت بحران کشور که در این قانون به اختصار سازمان نامیده می‌شود به منظور ایجاد مدیریت یکپارچه در امر سیاستگزاری، برنامه‌ریزی، ایجاد هماهنگی و انسجام در زمینه‌های اجرائی و پژوهشی، اطلاع‌رسانی متمرکز و نظارت بر مراحل مختلف مدیریت بحران و ساماندهی و بازسازی مناطق آسیب‌دیده و استفاده از همه امکانات و لوازم مورد نیاز **وزارتخانه‌ها**، موسسات و شرکت‌های دولتی و عمومی، بانک‌ها و بیمه‌های دولتی، نیروهای نظامی و انتظامی، موسسات عمومی غیردولتی، شوراهای اسلامی، شهرداری‌ها، تشکل‌های مردمی، موسساتی که شمول قانون بر آنها مستلزم ذکر نام است، دستگاه‌های تحت امر مقام معظم رهبری و نیروهای مسلح در صورت تفویض اختیار معظم‌له، جهت بهره‌مندی بهینه از توانمندی‌های ملی منطقه‌ای و محلی در مواجهه با حوادث طبیعی و سوانح پیش‌بینی نشده تشکیل می‌گردد.

ماده۸ ـ وظایف سازمان به شرح زیر است:

۱ـ تهیه خط‌مشی‌ها و سیاست‌های اجرائی مربوط به مراحل چهارگانه مدیریت بحران و برنامه‌ریزی جهت ایجاد و امکان استفاده از کلیه امکانات و توانمندی‌های مورد نیاز اعم از دولتی، غیردولتی و نیروهای مسلح در طول زمان عملیات آمادگی و مقابله با حادثه و ارائه آن جهت تصویب هیات‌وزیران.

۲ـ ایجاد هماهنگی و انسجام میان دستگاه‌های مختلف کشور درخصوص مراحل چهارگانه مدیریت بحران.

۳ـ بررسی، تدوین و پیشنهاد سیاست‌ها و برنامه‌های جامع فرهنگی، پژوهشی، آموزشی، تبلیغاتی، اطلاع‌رسانی و تمرینی در مراحل چهارگانه مدیریت بحران به شورای‌عالی.

۴ـ تقویت زمینه همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی، تبادل نظر و استفاده از تجربیات و دانش فنی کشورها و موسسات خارجی و بین‌المللی مربوط به مراحل چهارگانه مدیریت بحران و نمایندگی کشور در مجامع بین‌المللی با هماهنگی و همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط.

۵ ـ مستندسازی حوادث، اقدامات و تجزیه و تحلیل آنها.

۶ ـ برنامه‌ریزی و هماهنگی جهت سازماندهی و آموزش کلیه تشکل‌های مردمی، نهادهای غیردولتی و نیروهای بسیجی و داوطلب مردمی در مراحل چهارگانه مدیریت بحران.

۷ـ پیگیری اجراء مصوبات و تصمیمات شورای‌عالی.

۸ ـ هماهنگی و نظارت در زمینه ایجاد و گسترش سیستم‌های موثر پیشگیری، مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و ابنیه و شریان‌های حیاتی و مهم و بازسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده، روشهای اتکائی و جبرانی خسارت نظیر انواع بیمه‌ها، حمایت‌های مالی و سازوکارهای تشویقی، تسهیلات ویژه و صندوق‌های حمایتی با همکاری دستگاه‌های ذیربط.

۹ـ کمک به توسعه و گسترش موسسات علمی و مشاوره‌ای فعال و استفاده از همکاری‌های آنها به منظور استانداردسازی و بهبود کیفیت ارتقاء و کنترل ایمنی کالاها و خدمات، ساختمان‌ها و تاسیسات زیربنایی کشور و نظارت بر رعایت استانداردهای مصوب.

۱۰ـ تدوین نظام تقسیم کار ملی برای ارتقاء فرهنگ ایمنی برای آحاد جامعه با همکاری وزارتخانه‌ها، سازمان‌ها، نهادها و موسسات مرتبط با امر مدیریت بحران و ارائه آن به هیات‌وزیران جهت تصویب.

۱۱ـ تدوین ضوابط مربوط به تعیین سطوح، حالت اضطرار و شیوه اعلام بحران‌های ناشی از حوادث غیرمترقبه.

۱۲ـ ابلاغ دستورالعمل‌های نحوه انجام اقدامات اضطراری و احتیاطی در هنگام وقوع و یا احتمال وقوع حوادث غیرمترقبه به دستگاه‌های ذیربط جهت اجراء.

۱۳ـ انجام هماهنگی‌های لازم جهت دراختیار گرفتن کلیه امکانات و توانمندی‌های مورد نیاز مدیریت بحران کشور اعم از دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی و نیروهای مسلح در طول زمان مقابله با بحران.

۱۴ـ تدوین مقررات و ضوابط مربوط به رسیدگی به تخلفات و تخطی و اهمال مقامات دولتی در کلیه دستگاه‌های ذیربط و موسسات عمومی غیردولتی، نیروهای نظامی و انتظامی و کلیه نهادها و دستگاه‌های تحت نظر مقام معظم رهبری در اجراء دستورات و مصوبات شورای‌عالی و سازمان در مواقع بروز بحران با همکاری قوه قضائیه و ستاد کل نیروهای مسلح و ارائه آن به هیات‌وزیران جهت تصویب و پیگیری اجراء آنها.

۱۵ـ تدوین پیشنهاد ضوابط و مقررات مربوط به اقدامات پیشگیرانه و برخورد با سوءاستفاده‌کنندگان، آشوبگران و

غارتگران در زمان بروز حوادث با همکاری قوه قضائیه و ستاد کل نیروهای مسلح و ارائه آن به هیات‌وزیران جهت تصویب، پیگیری و نظارت بر اجراء آنها.

۱۶ـ تدوین دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مربوط به چگونگی جذب، توزیع و استفاده از کمک‌های مردمی، خارجی و بین‌المللی با همکاری دستگاه‌های ذیربط و ارائه آن به هیات‌وزیران جهت تصویب و پیگیری آنها.

۱۷ـ ایجاد نظام مدیریت جامع اطلاعات به کمک شبکه‌های اطلاعاتی مراکز علمی ـ تحقیقاتی ذیربط و سازمان‌های اجرائی مسوول و تشکیل مرکز مدیریت اطلاعات حوادث وابسته به سازمان به منظور هشدار به موقع قبل از وقوع حادثه احتمالی و اطلاع‌رسانی دقیق و به هنگام در زمان وقوع حادثه به مسوولان و مردم.

۱۸ـ نظارت عالیه و ارزیابی اقدامات دستگاه‌های اجرائی ذیربط درخصوص مراحل چهارگانه مدیریت بحران (به ویژه آمادگی و مقابله) و ارائه گزارش به شورای عالی.

ماده۹ـ به منظور هماهنگی فعالیت‌های دستگاه‌ها و نهادها در امر مدیریت جامع بحران، به ویژه در مراحل آمادگی و مقابله، تدابیر و اقدامات زیر لازم و ضروری است:

الف ـ واحد سازمانی مناسب در امر مدیریت بحران در وزارتخانه‌ها و دستگاه‌های ذیربط بر حسب ضرورت و با تصویب هیات وزیران تشکیل خواهد شد.

ب ـ شورای هماهنگی مدیریت بحران به ریاست رئیس سازمان و با عضویت نمایندگان تام‌الاختیار در سطح معاونت دستگاه‌ها و نهادهای ذی‌ربط به منظور هماهنگی فعالیت‌های مربوط به مراحل چهارگانه مدیریت بحران تشکیل می‌شود.

ج ـ شورای هماهنگی مدیریت بحران در استان‌ها به ریاست استاندار و در شهرستان‌ها به ریاست فرماندار، با عضویت کلیه دستگاه‌های ذیربط تشکیل می‌شود.

د ـ با توجه به شرایط ویژه و اهمیت شهر تهران به عنوان پایتخت جمهوری اسلامی ایران شورای هماهنگی مدیریت بحران شهر تهران به ریاست شهردار تهران تشکیل می‌گردد.

تبصره۱ـ معاون امور عمرانی استاندار و معاون فرماندار به ترتیب جانشین استاندار و فرماندار در شورای هماهنگی مدیریت بحران استان و شهرستان خواهند بود و جملگی موظف به هماهنگی و پاسخگویی به سازمان می‌باشند.

تبصره۲ـ اقدام قانونی لازم در رابطه با تصویب اهداف، وظایف و تشکیلات در مجلس شورای اسلامی به عمل آورده و آئین‌نامه‌های اجرائی مورد نیاز جهت اجراء این ماده به پیشنهاد سازمان به تصویب هیات وزیران خواهد رسید.

ماده۱۰ـ کلیه دستگاههای موضوع ماده (۱۶۰) قانون برنامه چهارم توسعه، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران مصوب ۱۳۸۳ و موسسات عمومی غیردولتی از جمله دستگاههای تحت نظر مقام معظم رهبری و نیروهای مسلح (با اذن فرماندهی معظم کل قوا)، شهرداری‌ها و واحدهای سازمانی زیر نظر شهرداری‌ها و نیز سازمان‌ها، تشکل‌ها و بنگاه‌های فعال در بخش‌های خصوصی و تعاونی، در مراحل مدیریت جامع بحران (به ویژه در مرحله آمادگی) موظفند در چهارچوب وظایف و ضوابط محوله عمل نموده، گزارش عملکرد خود را از طریق مراجع دولتی ذیربط در مقاطع زمانی که تعیین خواهد شد به سازمان ارائه دهند.

تبصره۱ـ در هنگام بروز بحران، تمامی دستگاههای مذکور در این ماده موظفند بنا به اعلام ریاست شورای عالی

طبق برنامه‌های از پیش تعیین شده در عملیات مقابله با بحران شرکت نمایند و گزارش اقدامات خود را از طرق معمول به اطلاع سازمان برسانند. توقف و خاتمه عملیات مقابله، با اعلام ریاست شورای عالی صورت می‌گیرد.
تبصره۲ـ در مواردی که بخش خصوصی یا بخش تعاونی براساس تکالیف تعیین شده از سوی مراجع قانونی خدماتی را ارائه می‌نماید، هزینه خدمات ارائه شده آنان براساس دستورالعملی که از سوی سازمان ابلاغ می‌گردد پس از انجام ماموریت پرداخت خواهد شد.

ماده۱۱ـ با توجه به اهمیت مطالعات، تمهیدات و اقدامات موثر پیشگیرانه و افزایش آمادگی و ارتقاء توان مقابله با حوادث به سازمان اجازه داده می‌شود هر ساله درصدی از اعتبارات موضوع ماده(۱۰) قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت مصوب ۱۳۸۰ را در این خصوص هزینه نماید.

تبصره ـ درصد مذکور در ماده (۱۱) هر سال برحسب نیاز و برآورد انجام شده در سازمان به تصویب هیات وزیران خواهد رسید.
ماده۱۲ـ به دولت اجازه داده می‌شود در صورت وقوع حوادث طبیعی و سوانح پیش‌بینی نشده معادل یک و دو دهم درصد (۱/۲٪) از بودجه عمومی هر سال را از محل افزایش تنخواه‌گردان خزانه تامین کند تا به صورت اعتبارات خارج از شمول با پیشنهاد شورای عالی و تایید رئیس جمهور هزینه گردد.
ماده۱۳ـ دولت (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران) موظف است به منظور بازسازی و جبران خسارات ناشی از حوادث طبیعی و سوانح پیش‌بینی نشده مناطق آسیب‌دیده از محل منابع قرض‌الحسنه و سایر منابع بانکی، تسهیلات موردنیاز آسیب‌دیدگان (به ویژه اقشار محروم) را با نرخ‌های ترجیحی مصوب از طریق سیستم بانکی در اختیار آنان قرار دهد و مابه‌التفاوت نرخ‌های ترجیحی را جهت بازپرداخت به بانک‌ها در لوایح سالانه بودجه کل کشور لحاظ نماید.

تبصره۱ـ دولت موظف است طبق آئین‌نامه پیشنهادی شورای عالی که به تصویب هیات وزیران می‌رسد، تسهیلات بانکی موردنیاز مقاوم‌سازی ساختمان‌های مسکونی شهری و روستایی را از طریق بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و سیستم بانکی با شرایط مناسب در اختیار متقاضیان قرار دهد.

تبصره۲ـ نظارت عالیه بر روند عملیات مقاوم‌سازی و حُسن انجام امور به عهده معاونین هماهنگی امور عمرانی استانداری‌ها می‌باشد و گزارش عملکرد باید به صورت فصلی به سازمان ارسال گردد.
ماده۱۴ـ این قانون از زمان تصویب لازم‌الاجراء می‌باشد و قوانین و مقررات مغایر این قانون ملغی‌الاثر است.
ماده۱۵ـ آئین‌نامه اجرائی این قانون حداکثر ظرف سه ماه با پیشنهاد وزارت کشور به تصویب هیات وزیران می‌رسد.
قانون فوق مشتمل بر پانزده ماده و ده تبصره در جلسه مورخ ۱۳۸۷/۲/۳۱ کمیسیون اجتماعی مجلس شورای اسلامی طبق اصل هشتاد و پنجم(۸۵) قانون اساسی تصویب گردید و پس از موافقت مجلس با اجراء آزمایشی آن به مدت پنج سال، در تاریخ۱۳۸۷/۳/۲۰ به تایید شورای نگهبان رسید.

پ) آئین نامه اجرایی قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور – مصوب مجلس شورای اسلامی (به شماره: ۱۸۵۶۴۵ /ت ۴۰۷۹۲ ک و مورخ ۱۳۸۸/۹/۲۱)

ماده۱ـ در این آیین‌نامه واژه‌ها و اصطلاحات زیر در معانی مشروح مربوط بکار می‌روند (۶۱):

الف ـ قانون: قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور.

ب ـ شورای عالی: شورای عالی مدیریت بحران کشور.

ج ـ سازمان: سازمان مدیریت بحران کشور.

د ـ شورای هماهنگی: شورای هماهنگی مدیریت بحران کشور.

هـ ـ دستگاه‌های ذیربط: **وزارتخانه‌ها**، سازمان‌های دولتی، نهادهای عمومی غیردولتی، شوراهای اسلامی، شهرداری‌ها، سازمان‌ها و شرکت‌هایی که شمول قانون بر آنها مستلزم ذکر نام است، نیروهای نظامی و انتظامی، نهادها و دستگاه‌های تحت نظر مقام معظم رهبری، سازمان صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران و رسانه‌های گروهی، تشکل‌های مدنی و مردمی و بخش‌های خصوصی و تعاونی مرتبط با مدیریت بحران.

ماده۲ـ تشخیص وقوع بحران (حادثه) ملی و منطقه‌ای و اعلام آن به دستگاه‌های ذیربط بر عهده وزیر کشور (قائم مقام رئیس شورای عالی مدیریت بحران) می‌باشد و تشخیص وقوع بحران‌های استانی و محلی و اعلام آن به دستگاه‌های استان و شهرستان به ترتیب با استاندار و فرماندار می‌باشد.

تبصره۱ـ دستورالعمل تشخیص و اعلام بحران (در هر یک از سطوح ملی، منطقه‌ای، استانی و محلی) به تصویب شورای عالی می‌رسد.

تبصره۲ـ دستگاه‌های ذیربط مکلفند علائم خطر و هشدار را به موقع و بلافاصله به سازمان و واحد سازمانی آن در استان اعلام کنند.

فصل دوم ـ نقش و وظایف وزارتخانه‌ها و دستگاه‌های مرتبط با بحران

ماده۳ـ نقش و وظایف دقیق دستگاه‌های ذیربط در هر کدام از مراحل مدیریت بحران به پیشنهاد آنها و تأیید شورای هماهنگی و تصویب شورای‌عالی حداکثر ظرف سه ماه توسط وزیر کشور (قائم‌مقام رئیس شورای عالی) براساس بند «۳» ماده (۴) قانون برای سیر مراحل قانونی تصویب ارائه خواهدشد.

تبصره۱ـ وظایف ابلاغی در طرح جامع امداد و نجات کشور، موضوع تصویب‌نامه شماره ۲۲۸۲/ت۲۴۴۱۲هـ مورخ ۱۳۸۲/۱/۲۳ و اصلاحات آن تا تصویب و ابلاغ تشکیلات و وظایف جدید دستگاه‌ها به قوت خود باقی است.

تبصره۲ـ دستگاه‌های ذیربط مکلفند ظرف شش ماه ساختار واحد سازمانی مناسب در امر مدیریت بحران در حوزه مربوط را برای مراحل آمادگی و مقابله با بحران در سطوح ملی، استانی و شهرستانی طراحی و به شورای عالی ارسال نمایند تا بر حسب ضرورت جهت تصویب به هیئت وزیران ارایه شود.

ماده۴ـ دستگاه‌های ذی‌ربط موظفند وظایف مربوط به مراحل پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی را طبق مصوبات شورای عالی موضوع ماده (۳) انجام داده و در هنگام عملیات مقابله با بحران، امور محول شده را تحت امر سلسله مراتب فرماندهی مدیریت بحران کشور انجام دهند.

ماده۵ ـ نظر به ضرورت تهیه طرح جامع خطرپذیری کشور و استانها، دستگاه‌های ذی‌ربط در امر مدیریت بحران موظفند با هماهنگی سایر دستگاه‌ها و واحدهای استانی و با رعایت اولویت و نظارت سازمان نسبت به تهیه طرح جامع خطرپذیری مناطق اقدام نمایند و سازمان مکلف است نسبت به تدوین طرح جامع خطرپذیری کل کشور اقدام و گزارش اقدامات انجام شده را به صورت دوره‌ای (سه ماهه) به شورای عالی ارائه نماید.

تبصره۱ـ سازمان به لحاظ ضرورت موضوع موظف است همه ساله بودجه ویژه بدین منظور اختصاص دهد تا در یک برنامه زمانبندی مشخص تحقق یابد.

تبصره۲ـ اقدامات انجـام شده توسط وزیر کشـور به صورت دوره‌های شـش ماهه به شورای عالی منعکس می‌گردد.

تبصره۳ـ سازمان موظف است برای اجرای کامل این ماده بر دستگاه‌های ذیربط و مسئول در این خصوص نظارت کامل و مستمر داشته باشد.

تبصره۴ـ دستگاه‌های مسئول تهیه طرح‌های جامع خطرپذیری و نحوه اقدام، در قالب شرح وظایف موضوع ماه (۳) این آیین‌نامه مشخص خواهند شد.

ماده۱۲ـ اعضای شورای هماهنگی به شرح زیر تعیین می‌شود:

۱ـ (رئیس سازمان)

۲ـ معاون وزیر بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

۳ـ معاون وزیر بازرگانی

۴ـ معاون وزیر راه و ترابری

۵ ـ معاون وزیر جهادکشاورزی

۶ـ معاون وزیر علوم، تحقیقات و فناوری

۷ـ معاون وزیر نیرو

۸ـ معاون وزیر نفت

۹ـ رییس سازمان شهرداریها و دهیاریهای کشور

۱۰ـ معاون معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رئیس‌جمهور

۱۱ـ معاون ستاد کل نیروهای مسلح

۱۲ـ رییس بنیاد مسکن انقلاب اسلامی

۱۳ـ رییس جمعیت هلال احمر جمهوری اسلامی

۱۴ـ معاون سازمان صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران

۱۵ـ معاون شهردار تهران

ت) قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه کشور

در مجموعه برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران مصوب اسفند سال ۱۳۸۹ هجری شمسی، موارد زیر در ارتباط با توسعه علم و فناوری در کشور و صنعت برق مورد توجه قرار گرفته است (۶۲):

- حمایت مالی از پژوهش‌های تقاضا محور مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی، پژوهشی و فناوری و حوزه های علمیه در موارد ناظر به حل مشکلات موجود کشور.
- حمایت‌های قانونی لازم در راستای تشویق طرف‌های خارجی قراردادهای بین‌المللی و سرمایه‌گذاری خارجی برای انتقال دانش فنی و بخشـی از فعالیت‌های تحقیق و توسـعه مربوط به داخل کشـور و انجام آن با مشارکت شرکت‌های داخلی.

- حمایت مالی از ایجاد و توسعه بورس ایده و بازار فناوری به منظور استفاده از ظرفیت‌های علمی در جهت پاسخگویی به نیاز بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات.
- حمایت مالی از پایان نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی در راستای ارتقاء بهره‌وری و حل مشکلات کشور.
- به منظور زمینه‌سازی برای تربیت نیروی انسانی متخصص و متعهد، دانش مدار، خلاق و کارآفرین، منطبق با نیازهای نهضت نرم‌افزاری، با هدف توسعه کمی و کیفی دولت مجاز است هزینه سرانه تربیت نیروی انسانی متخصص مورد تقاضای کشور بر اساس هزینه‌های آموزشی و هزینه‌های خدمات پژوهشی، تحقیقاتی و فناوری مورد حمایت را در چهارچوب بودجه‌ریزی عملیاتی برای هر دانشگاه و مؤسسه آموزشی، تحقیقاتی و فناوری دولتی محاسبه و به طور سالانه تأمین کند.
- دولت مکلف است به منظور گسترش شایستگی حرفه ای از طریق افزایش دانش و مهارت با نگرش به انجام کار واقعی در محیط، اصلاح هرم تحصیلی نیروی کار و ارتقاء و توانمندسازی سرمایه‌های انسانی، کاهش فاصله سطح شایستگی نیروی کار کشور با سطح استاندارد جهانی و ایجاد فرصت‌های جدید شغلی و حرفه ای برای جوانان و ارتقاء جایگاه آموزش‌های فنی و حرفه‌ای برای نظام آموزش فنی و حرفه ای و علمی – کاربردی کشور اعم از رسمی، غیر رسمی و سازمان نایافته، ظرف یکسال از تاریخ تصویب این قانون در محورهای زیر سازوکارهای لازم را تهیه و با پیش‌بینی الزامات مناسب اجراء کند:
  - فراهم سازی ارتقاء مهارت در کشور از طریق اعطاء تسهیلات مالی با نرخ ترجیحی و تأمین فضاهای فیزیکی و کالبدی با شرایط سهل و زمینه سازی حضور فعال و مؤثر بخش غیر دولتی در توسعه آموزش‌های رسمی و غیر رسمی مهارتی و علمی – کاربردی کشور.
  - هماهنگی در سیاست‌گذاری و مدیریت در برنامه‌ریزی آموزش‌های فنی و حرفه‌ای کشور به عنوان یک نظام منسجم و پویا متناسب با نیاز کشور.
  - نیازسنجی و برآورد نیروی انسانی کاردانی مورد نیاز و صدور مجوز لازم و حمایت به منظور تأسیس و توسعه مراکز آموزش دوره های کاردانی در بخش خصوصی و تعاونی و ایجاد ظرفیت‌های مورد نیاز تا سال چهارم برنامه.
- به منظور تنوع در عرضه انرژی کشور، بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف و توسعه تولید همزمان برق و حرارت، شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعه وزارت نیرو موظفند:
  - وزارت نیرو مجاز است در طول برنامه نسبت به افزایش توان تولیدی برق تا بیست و پنج هزار مگاوات ازطریق سرمایه‌گذاری بخش‌های عمومی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا منابع داخلی شرکت‌های تابعه و یا به صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری از جمله ساخت،بهره‌برداری و تصرف و ساخت، بهره‌برداری و انتقال اقدام نماید.
  - به منظور اعمال صرفه جویی، تشویق و حمایت از مصر ف کنندگان در راستای منطقی کردن و اصلاح الگوی مصرف انرژی و برق،حفظ ذخایر انرژی کشور و حفاظت از محیط زیست به وزارتخانه‌های نیرو، نفت و صنایع و معادن اجازه داده می‌شود بر اساس

دستورالعملی که حداکثر تا پایان سال اول برنامه به تصویب شورای اقتصاد می‌رسد نسبت به اعمال مشوق‌های مالی جهت رعایت الگوی مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی، تولید محصولات کم مصرف و با استاندارد بالا اقدام نمایند.منابع مالی مورد نیاز اجرای این ماده از محل وجوه حاصل از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه ها، منابع داخلی شرکت‌های تابعه وزارتخانه‌های نفت، نیرو و صنایع و معادن و یا فروش نیروگاه‌ها و سایر دارایی ها از جمله اموال منقول و غیر منقول، سهام و سهم‌الشرکه وزارت نیرو و سایر شرکت‌های تابعه و وابسته و بنگاه‌ها در قالب بودجه سنواتی تأمین می‌شود.

- طرح جامع صیانت از نیروگاه‌های هسته‌ای توسط سازمان انرژی اتمی با همکاری وزارت کشور، وزارت امور خارجه، معاونت و سایر دستگاه‌های ذیربط حداکثر تا پایان سال اول برنامه تهیه و به تصویب هیئت وزیران می‌رسد.
- الزامات، مقررات و مصوبات نظام ایمنی هسته‌ای کشور که توسط مرکز نظام ایمنی سازمان انرژی اتمی ایران در زمینه فناوری هسته‌ای و پرتوی ابلاغ می شود، برای کلیه دستگاه‌های اجرایی و اشخاص حقیقی و حقوقی غیردولتی مرتبط، لازم‌الاجراء است.
- به منظور ایجاد زیرساخت‌های تولید تجهیزات نیروگاه‌های بادی و خورشیدی و توسعه کاربرد انرژی‌های پاک و افزایش سهم تولید این نوع انرژی‌ها در سبد تولید انرژی کشور، دولت مجاز است با حمایت از بخش‌های خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد.

ث) سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور

در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران که در آذر سال ۱۳۸۲ هجری شمسی ابلاغ شد (۵۸)، در راستای چشم‌انداز افق، به موارد زیر اشاره شده است:

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

ج) سند چشم‌انداز و برنامهٔ راهبردی بلندمدت وزارت نیرو

طی سال‌های اخیر طرح تدوین این سند در دستور کار این وزارتخانه قرار گرفته است (۶۳). تحقق آرمان و اهداف سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران، انسجام‌بخشی به برنامه‌ها و فعالیت‌ها و مستندسازی نگاه به افق‌های دوردست صنعت آب و برق از اهداف تدوین این سند به شمار می‌روند. اسناد خروجی این طرح به

عنوان سند بالادستی مجموعه اجزای وزارت نیرو در نظر گرفته شده و با توجه به ابلاغ توسط وزیر محترم نیرو مبنای کلیهٔ سیاست‌گزاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های صنعت آب و برق قرار می‌گیرد.
مجموعهٔ حاضر برنامهٔ راهبردی وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ را مشخص نموده و مشتمل بر اسناد مأموریت، چشم‌انداز، ارزش‌ها و راهبردهای وزارت نیرو و بخش‌های پنجگانه‌ی «آب و آبفا»، «برق و انرژی»، «آموزش، پژوهش و فناوری» و «پشتیبانی صنعت آب و برق» است.این مجموعه نتیجه مشارکت ارزشمند حدود ۲۸۰ نفر از مدیران، صاحب نظران، خبرگان و کارشناسان ارشد صنعت آب و برق در قالب انجام فعالیت‌های پشتیبانی و حضور فعال در جلسات کمیته‌های تخصصی، کمیته راهبری و هماهنگی و شورای عالی طرح است.این اسناد با شناخت فرصت‌ها و تهدیدهای در پیشروی صنعت آب و برق به دست آمده و افق حرکتی آینده‌ی وزارت نیرو را تعیین نموده و نگاه بلندمدت را در تمامی سطوح این وزارتخانه نهادینه می‌نمایند.
مطابق این سند، بخش‌هایی از مأموریت وزارت نیرو که می‌تواند با شناسایی مخاطرات محیطی مرتبط گردد، به شرح زیر می‌باشد:

- وزارت نیرو با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط‌زیست، علاوه بر توسعه و ارتقای بهره‌وری و کیفیت ارائه خدمات در سطح ملی، بازار صنعت آب و برق کشور را به سطح جهانی، به ویژه کشورهای منطقه گسترش می‌دهد.
- وزارت نیرو رشد پایدار بخش آب و برق کشور را با ایجاد تعادل بین منابع و مصارف، ارتقای بهره‌وری و مشارکت منابع انسانی به عنوان ارزشمندترین سرمایه محقق می‌سازد.
- در بخش برق و انرژی: وزارت نیرو در این بخش با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند.

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

۷-۲- افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها
۷-۴- ارتقاء توانمندی در تولید برق از انرژی‌های نو وتجدیدپذیر
۷-۵- **سازگاری زیست‌محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق**
۱۰-۲- گسترش پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای و ارتقاء سطح تحقیق و توسعه
۱۰-۹- توسعه شبکه خبرگان، نخبگان و متخصصین

در بخش برق و انرژی:

۵-۳- شناسایی، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست
۵-۴- افزایش سطح تعامل بخش برق و انرژی با مراکز علمی و تحقیقاتی داخلی و خارجی توانمند و نهادینه‌سازی آن

۷-۵- مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی
۹-۱- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیت‌های مربوط به تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی در کشور

در بخش آموزش، پژوهش و فناوری:

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

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

در بخش پشتیبانی صنعت آب و برق:

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

در حوزهٔ مدیریت بحران و پدافند غیرعامل:

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

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

چ) مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور

مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور در افق زمانی ۱۴۰۴ هجری شمسی، طی نامه شماره ۹۱/۴۷۵۵۸/۳۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ وزیر نیرو (با موضوع ابلاغ مقاصد و اهداف فناورانه صنعت برق) ابلاغ گردیده است (۶۴). بر اساس سند مذکور، شناسایی مخاطرات محیطی در صنعت برق را می‌توان در راستای هدف فناورانه **افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان)** جهت تحقق مقصد کلان **سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب** از مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان ابلاغ شده صنعت برق منظور نمود.

ح) سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری

با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص‌های مقاومت اقتصادی و دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز بیست‌ساله، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی با رویکردی جهادی، انعطاف پذیر، فرصت ساز، مولد، درون‌زا، پیشرو و برون‌گرا، در بهمن سال ۱۳۹۲ هجری شمسی توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردید (۶۵).

در جلسه شورای عالی اقتصاد ۹ تیر ۱۳۹۳ در خصوص برنامه‌های وزارت نیرو برای تحقق اقتصاد مقاومتی، اعلام شد که بندهای ۳، ۸ و ۹ از سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی مربوط به وزارت نیرو است. برخی اهداف

و سیاست‌های این وزارتخانه برای تحقق بخشیدن به این سیاست‌ها در حوزه‌ی برق که در این جلسه اعلام شد و می‌تواند با ضرورت شناسایی مخاطرات محیطی در صنعت برق ارتباط داشته باشد بدین شرح است:

⇦ پایداری و بهبود کیفیت و کمیت خدمات آب و برق در بخش‌های مختلف مصرف

خ) نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو

نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو (۶۶) با هدف تحقق، استقرار و سازماندهی نظام جامع و یکپارچه مدیریت ریسک، پیش‌گیری و کاهش خطرپذیری ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه در سطوح سازمانی وزارت نیرو برای نیل به ایمنی و توسعه پایدار و پیشرفت تدوین شده است.

اهداف مد نظر این نظامنامه شامل موارد زیر می‌باشد:

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

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

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

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

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

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

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

با عنایت به موارد مندرج در این نظامنامه، انجام مطالعات شناسایی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق، کاملا در راستای اهداف و سیاست‌های مصوب این نظامنامه می‌باشد.

با توجه و بررسی اسناد و مقررات مذکور در این بخش مشخص می‌گردد که بحث جلوگیری از وارد آمدن خسارت به سازه‌ها و شناسایی و مطالعه و کنترل شرایط بحرانی مخرب (مانند عوامل مخرب زمین) موکداً و قویاً

بطور مستقیم و یا به صورت غیرمستقیم در اسناد بالادستی مورد اشاره قرار گرفته است. بر این اساس ضرورت پرداختن به مطالعه مخاطرات زمینی محتمل بر سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق کشور، روشن می‌گردد.

۱-۵-تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات

در این بخش سعی شده تا ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مرتبط با شناسایی مخاطرات محیطی زمین در صنعت برق که شامل سطح تحلیل و افق زمانی برنامه‌ریزی است؛ بررسی و ارائه گردد. سطح تحلیل مشخص می‌کند که اندازه مجاز حوزه اثر و سطح تأثیرگذاری موضوع مورد نظر بر محیط (از نظر جغرافیا و حوزه تخصصی) چقدر است. افق زمانی برنامه‌ریزی معین کننده بازه زمانی مورد انتظار برای رسیدن به چشم‌انداز و تحقق اهداف مورد نظر است. نتایج این بخش از مطالعات دارای اهمیت قابل توجهی بوده و بر خروجی مؤلفه‌های دیگر سند تأثیرگذار است (۶۷).

۱-۵-۱- تبیین سطح تحلیل

سطح تحلیل از نظر جغرافیا به سه رده منطقه‌ای، ملی و فراملی تقسیم می‌گردد. سطح منطقه‌ای به تصمیم‌گیری در مورد زیربخش‌های ملی با پتانسیل از لحاظ ایجاد کسب و کارهای دانش بنیان می‌پردازد. (مانند خوشه‌های صنعتی و قطب‌های فناورانه) سطح ملی بیانگر تصمیمات دولت‌ها در توسعه اقتصادی مرتبط بخش‌ها و فناوری‌های موجود در یک کشور است. سطح فراملی نیز بیانگر همکاری‌های بین‌المللی در برنامه‌ریزی برای توسعه محصولات و فناوری‌ها است. مشخص شدن سطح تحلیل از لحاظ محدوده جغرافیایی در تعیین اندازه مرزهای سیستم تحت مطالعه و انتخاب نوع ابزارهای سیاست‌گزاری و تدوین راهبرد، مؤثر خواهد بود (۶۷).

از آنجا که گستره و توزیع جغرافیایی سازه‌های مهم موجود در شبکه برق (بطور خاص نیروگاه‌های پایه‌ای و شبکه انتقال برق) در کل کشور بوده و منحصر به مکان‌های خاص استانی نمی‌باشد، در ارتباط با شناسایی مخاطرات محیطی زمین در این سند، **سطح جغرافیایی ملی** مورد نظر می‌باشد.

شایان ذکر است که در این سند، شناسایی و تعیین مشخصات مخاطرات محیطی زمین، تنها برای کاربرد در مورد بخش‌های مختلف صنعت برق کشور مورد نظر می‌باشد.

۱-۵-۲- تعیین افق زمانی برنامه‌ریزی

ماهیت اسناد راهبردی با درنظرگیری افق‌های برنامه‌ریزی فراتر از زمان حال برای اقدامات و فعالیت‌ها معنی پیدا می‌کند (۶۷). بطور معمول افق‌های برنامه‌ریزی برای اکتساب و توسعه فناوری‌ها با توجه به وضعیت فعلی آنها و نگاه به آینده، به نحوی انتخاب می‌گردند که احتمال وقوع تغییرات شدید و ماهیتی فناوری در محدوده زمانی مورد نظر، حداقل ممکن باشد. با توجه به اینکه حوزه مورد نظر در این سند (مخاطرات محیطی زمین) اساساً از نوع توسعه فناوری نیست، احتمال تغییرات ماهیتی آن در آینده نیز مورد نداشته و تنها ابزارها و

روش‌های مورد استفاده ممکن است تغییر کنند. بر این اساس، افق زمانی در این سند با توجه به زمان لازم برای انجام اقدامات مورد نیاز جهت تحقق اهداف آن، و بطور هماهنگ با سیاست‌های کلان کشور تعیین می‌شود.

بر اساس بررسی اسناد بالادستی کشور شامل سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، مجموعه برنامه پنجساله پنجم توسعه، سند راهبردی وزارت نیرو و سند نقشه جامع علمی کشور، و با استناد به اسناد فوق، افق برنامه‌ریزی مورد نظر در ارتباط با شناسایی و پهنه بندی مخاطرات محیطی زمین در صنعت برق کشور، **افق میان مدت ۶ ساله (تا ۱۴۰۴ هجری شمسی)** در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به پتانسیل‌های موجود در بخش‌های تحقیقاتی و صنعتی دانش‌بنیان کشور، انتظار می‌رود که تحقق اهداف کلی مورد نظر در این طرح، در افق زمانی مورد نظر امکان‌پذیر باشد. شایان ذکر است که افق زمانی تعیین شده، در مراحل بعدی تدوین سند (تدوین اهداف و سیاست‌های کلان و اقدامات عملیاتی ...) نیز مورد بازبینی و بروزرسانی قرار خواهد گرفت.

۱-۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

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

این مبانی و مفروضات بر اساس ویژگی‌های موضوع از جنبه "ابعاد و محدوده مطالعات" در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از جنبه ابعاد و محدوده مطالعات، دو ویژگی سطح تحلیل و افق زمانی تحلیل مورد بررسی قرار گرفت.

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

- موضوع مطالعات مورد نظر در این سند، شناسایی انواع مخاطرات محیطی زمین مؤثر بر کلیه اجزای صنعت برق (سازه‌ها، سامانه‌ها و تجهیزات در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق)، تعیین پارامترهای مشخصه مورد نیاز برای کمی سازی اثر هریک از این مخاطرات و تعیین و ارائه توزیع جغرافیایی (پهنه بندی) پارامترهای مشخصه مخاطرات زمین موجود در کشور، در محدوده جغرافیایی ملی می‌باشد.

- افق زمانی مورد نظر در این سند برای نیل به چشم‌انداز و اهداف آن (که در بخش‌های بعدی تعیین خواهند شد) بر اساس اسناد ملی بالادستی و امکان دستیابی به اهداف مورد نظر، سال ۱۴۰۴ هجری شمسی (میان مدت ۶ ساله) در نظر گرفته شده است.
- در این گزارش، انواع مخاطرات محیطی زمین شناخته و تجربه شده در نقاط مختلف دنیا، بررسی و فهرست شده‌اند.
- در این گزارش، ضرورت پرداختن به موضوع مورد نظر در ارتباط با مخاطرات محیطی زمین، از منظرهای مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست‌محیطی و قانونی (همخوانی با اسناد بالادستی کشور) مورد بررسی قرار گرفته و توجیه گردید.

DOI:

فصل دوم

۲- مطالعات تطبیقی در کشورهای منتخب در حوزه‌های مرتبط با مخاطرات جوی

۲-۱-مقدمه

هر ســـالـه در جهـان مخـاطرات مختلفی بر روی کره زمین بـه وقوع می‌پیونـدد. بطور کلی، مخـاطرات یـا می‌تواننددارای منشـا طبیعی بوده که انسـان در پدید آمدن آنها دخالتی ندارد و یا می‌توانند به دلایل فعالیت‌های انسـانی و اعمال تغییرات بر روی طبیعت به وجود بیایند. از طرفی، خود مخاطرات طبیعی ممکن اسـت ناشـی از عوامل جوی و یا عوامل زمینی باشـند. براین اسـاس، در حالت کلی مخاطرات به سـه گروه عمده: ۱) مخاطرات جوی، ۲) مخاطرات زمین، و ۳) مخاطرات انسانی، قابل تفکیک می‌باشند.

یکی از انواع مخاطراتی که همواره سـازه‌های صـنعت برق را مورد تهدید قرار می‌دهند، مخاطرات مربوط به زمین می‌باشند. این مخاطرات به دلیل اینکه می‌توانند خسارات زیادی را به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات خطوط انتقال نیرو، خطوط گازرسانی، و راهها وارد نمایند، از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشند. در گزارش پیشین این پروژه که به تدوین مبانی سـند راهبردی شـناسـایی و پهنه بندی مخاطرات زمین مرتبط با صـنعت برق اختصاص داشت (۲۲۵)، ضرورت شناسایی و پهنه‌بندی انواع مخاطرات زمین مرتبط با صنعت برق از ۵ دیدگاه فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست محیطی، و قانونی، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. جهت پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرت مذکور در سطح کشور، یک رویکرد بررسی مطالعات صورت گرفته، و روشها و مدلهای پهنه‌بندی مورد استفاده در تعدادی کشور منتخب می‌باشد. از طرفی تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب کشورهای مقصد، مستلزم آن است که یکسری پارامترها و ویژگیهای مناسب مدنظر قرار گیرند. براین‌اساس هدف از فصل حاضر این است که مولفه‌ها و معیارهایی که در انتخاب کشورهای مقصد به منظور انجام مطالعه تطبیقی در حوزه پهنه‌بندی مخاطرات زمین تهدیدکننده سازه های صنعت برق موثر می‌باشند، شناسایی و ارائه شده، و سپس کشورهای انتخاب شده بر این مبنا معرفی گردند.

با توجه به توضیحات فوق و اهداف درنظرگرفته شده در این فصل، ابتدا توضیحی کلی در مورد مبانی رویکرد مورد استفاده برای انتخاب کشورهای مقصد داده خواهد شد. سپس، فاکتورهای درنظرگرفته شده در انتخاب کشورهای مقصد بررسی و ارائه می شوند. در ادامه، جزئیات روش انتخاب کشورها بطور مبسوط مورد بررسی قرار خواهد گرفت و امتیازات محاسبه شده برای کشورهای مختلف برمبنای معیارهای درنظرگرفته شده در این گزارش ارائه می‌شوند، و در پایان، کشورهای برتر به لحاظ امتیاز کسب شده بعنوان کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی انتخاب می‌گردند.

۲-۲-رویکرد مورد استفاده برای انتخاب کشورهای مقصد

به منظور انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی نیاز به تعریف مولفه هایی است که برمبنای آنها بتوان کشورهای مورد نظر را شناسایی کرد.

با توجه به اینکه از اهداف مهم مطالعه تطبیقی، بررسی و آشنایی با روشها و مدلهایی است که در سایر کشورها جهت پهنه‌بندی مخاطرات زمین تهدیدکننده سازه های صنعت برق مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا منطقی است

که اولین و اصلی ترین فاکتور برای تعیین کشورهای مقصد، مولفه شباهت مخاطرات زمینی درنظرگرفته شود. برای این منظور، لازم است در ابتدا انواع مخاطرات زمین موجود در ایران شناسایی شده، و سپس کشورهایی که دارای مخاطرات مشابه با ایران می باشند، تعیین گردند. بعلاوه، بدلیل آنکه نقشه های پهنه‌بندی بصورت توزیع جغرافیایی پارامترهای مشخصه مخاطرات در سطح کشور ارائه می شوند، در نتیجه علاوه بر نوع مخاطره، فاکتورهایی همچون شدت مخاطره، فراوانی رخداد مخاطره، و پیامدهای حاصل از وقوع مخاطره (شامل خسارات جانی و مالی) نیز، می توانند سایر پارامترهای موثر جهت یافتن کشورهای مشابه با ایران برمبنای این معیار را تشکیل دهند.

یکی دیگر از اهداف مطالعه تطبیقی، بررسی مطالعات مربوط به پیش‌بینی مخاطره در آینده و مستندات مربوط به برنامه‌ریزی استراتژیک و سیاست‌گذاری‌های کلان در حوزه‌های مرتبط با شناسایی مخاطرات می باشد. بطور کلی، یک حادثه یا مخاطره طبیعی زمانی تبدیل به یک فاجعه یا بلای طبیعی می‌شود که موجب تحمیل تلفات و خساراتی به جوامع و فعالیت‌های انسانی گردد. اگر چه نمی‌توان از وقوع مخاطرات مرتبط با زمین جلوگیری کرد، ولی می‌توان به کمک برنامه‌ریزی‌های قبلی (مانند پیش‌بینی شدت وقوع، زمان وقوع، و شدت آسیب رسانی مخاطرات، و بهره گیری از سیستمهای هشدار) و همچنین آمادگی برای انجام اقدامات اضطراری، آثار و عواقب فاجعه آمیز این مخاطرات را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بنابراین، هر چه تولنایی یک کشور جهت مقابله با فجایع و بلایا بیشتر باشد، می‌توان انتظار داشت که مطالعات صورت گرفته در آن کشور جهت پی‌بینی مخاطرات در آینده، گسترده‌تر، و برنامه‌های تدوین شده جهت مدیریت ریسک و بحران در صورت مواجه با مخاطرات، جامع‌تر باشد. براین‌اساس، در گزارش حاضر با درنظرگرفتن و ترکیب دو فاکتور "توانایی مقابله یک کشور با بلایا" و "میزان در معرض مخاطرات طبیعی بودن یک کشور"، مولفه دیگری تحت عنوان پیشرو و پیشرفته بودن جهت انتخاب کشورهای مقصد تعریف و برگزیده شد.

در بررسی کشورها جهت انتخاب کشورهای مقصد، آنچه که در نهایت تعیین‌کننده می‌باشد میزان دسترسی به مستندات یک کشور در حوزه‌های مرتبط با شناسایی مخاطرات، پهنه‌بندی آنها، و مدیریت بحران می‌باشد. این مستندات می‌توانند شامل مجموعه مقالات، گزارش‌ها، نقشه‌های پهنه‌بندی، و اسناد منتشر شده در حوزه‌های یاد شده باشند. بدین ترتیب، دردسترس بودن مطالعات یک کشور به عنوان سومین مولفه مناسب برای بررسی دقیق‌تر کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی درنظرگرفته شد.

با تعیین فاکتورهای موثر در انتخاب کشورهای مقصد، مرحله بعد امتیازدهی و رتبه‌بندی کشورها برمبنای این معیارها می‌باشد. برای این منظور، از مجموع ۱۰۰ امتیاز کل درنظرگرفته شده برای سه مولفه انتخابی فوق، به هر یک از مولفه‌ها براساس میزان اهمیت و نقش آنها در انتخاب کشورهای مقصد امتیاز متفاوتی اختصاص یافت؛ به نحوی که برای مشابهت مخاطرات زمینامتیاز ۴۵، برای پیشرو و پیشرفته بودن امتیاز ۳۰، و برای دردسترس بودن مطالعات امتیاز۲۵ درنظرگرفته شد.

پس از آن با محاسبه مجموع امتیاز کسب شده توسط هر کشور، کشورهایی که حائز بالاترین امتیاز در هر یک از گروه مخاطرات زمین حاکم بر کشور ایران باشند، بعنوان کشور مقصد جهت مطالعه تطبیقی در آن گروه از مخاطرات زمین انتخاب می‌شوند.

در ادامه، هر یک از سه مولفه درنظرگرفته شده در این گزارش جهت انتخاب کشورهای مقصد، یعنی "مشابهت مخاطرات زمین"، "پیشرو و پیشرفته بودن"، و "دردسترس بودن مطالعات"، بطور مبسوط‌تری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۳-بررسی ویژگی‌ها و پارامترهای موثر در انتخاب کشورهای مقصد

۲-۳-۱- مشابهت مخاطرات زمین

از جمله پارامترهای مهم و موثری که در شناسایی و تعیین کشورهای مقصد بکارگرفته شد، میزان مشابهت مخاطرات زمین کشورها با ایران بود. برای این منظور پس از شناسایی عمده ترین مخاطرات زمین در ایران، کشورهایی که تحت تاثیر مخاطرات مشابه با ایران قرار داشتند، شناسایی و سپس، براساس میزان مشابهت امتیازبندی شدند. از آنجایی که این پارامتر بیشترین اهمیت را در تعیین کشورهای مقصد داشت، بالاترین سهم امتیاز (یعنی ۴۵ امتیاز از ۱۰۰ امتیاز کل) برای آن در نظر گرفته شد.

۲-۳-۱-۱- مخاطرات زمین در ایران

کشور ایران با مساحتی معادل ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب غربی قاره آسیا واقع شده است که باتوجه به موقعیت قرارگیری آن، درمعرض مخاطرات متفاوتی قرار دارد. به نقل از رئیس سازمان زمین‌شناسی کشور در شهریورماه ۱۳۹۵، از مجموع ۴۲ بلایای طبیعی شناخته شده در دنیا، ۳۲ پدیده در ایران رخ می‌دهد. همین امر موجب شده است که کشور ایران در ردیف پرمخاطره‌ترین کشورها و جزء ده کشور بلاخیزجهان قرار گیرد؛ به نحوی که در رتبه‌بندی جهانی طبق شاخص INFORM، در سال ۲۰۱۷ به عنوان نهمین کشور از نظر بلایای طبیعی بوده است (۲۲۶; ۲۲۷).

بعلاوه بنا به گفته مشاور عالی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، از میان ۳۲ مخاطره طبیعی موجود در ایران، ۵ پدیده زمین لرزه، زمین لغزش، سیلاب، فرونشست زمین و خشکسالی از مهم‌ترین تهدیدات کشور ایران هستند که در میان آنها به پدیده فرونشست بدلیل آنکه آثار خود را در درازمدت نشان می دهد، کمتر پرداخته شده است (۲۲۸).

۹۷ درصد شهرهای کشور در معرض خطر زمین لرزه قرار دارند، همه تاسیسات کوهستانی در معرض خطر زمین لغزش بوده و از ۶۰۹ دشت کشور ۳۰۰ دشت اصلی با خطر فرونشست زمین روبرو هستند. ایران با وجود دارا بودن یک درصد جمعیت جهان به لحاظ تلفات ناشی از زمین لرزه در وضعیت نامساعدی قرار دارد؛ بطوریکه در زمینه زلزله‌هایی که منجر به کشته شدن بیش از ۱۰ هزار نفر در یکصد سال اخیر شده اند، سهم کشور ما ۱۶ درصد بوده است. همچنین، با ساخت تاسیسات در مناطق کوهستانی و درنتیجه دخالت در روند طبیعی، خطر زمین لغزش در این مناطق افزایش یافته است. از این‌رو، اگرچه ایران در جدول مربوط به این تهدید در جایگاه پایینی قرار دارد، اما هم رتبه با دو کشور چین و هند می باشد. به لحاظ پدیده فرونشست نیز که پیامد استخراج بی رویه از منابع آب زیرزمینی کشور می باشد، ایران به همراه کشورهایی همچون هند، لهستان، مکزیک، ونزوئلا و اندونزی و همچنین

کشورهای صنعتی جهان مانند آمریکا، انگلیس، فرانسه، ایتالیا، اسپانیا، چین و ژاپن، در فهرست ۱۵۰ کشور در معرض این مخاطره جای دارد (۲۲۸; ۲۲۹).

اما علاوه بر سه پدیده مخرب: زلزله، زمین لغزش، و فرونشست زمین، عوامل زمینی دیگری همچون روانگرایی، گسترش جانبی ، فروریزش، تورم و واگرایی در خاک، وجود خاک‌های مساله‌دار، خاکهای خورنده، فرسایش، کارستی شدن، آتشفشان و گسلش نیز در آسیب رسانی و ایجاد خرابی در سازه های صنعت برق نقش دارند (۲۲۵). این مخاطرات زمینی به همراه مشخصات و ویژگیهای آنها، بطور خلاصه در جدول ۱-۲ ارائه شده اند.لازم به ذکر است که در این جدول، شماره‌گذاری مخاطرات براساس میزان اهمیت و پتانسیل خطر بیشتر آنها صورت گرفته است. همانطورکه قابل مشاهده است، طبق جدول ۱-۲ پنج مخاطره: زلزله، زمین لغزش، فرونشست، روانگرایی و خاکهای خورنده دارای بیشترین سهم آسیب رسانی به سازه های صنعت برق بوده اند.

جدول ۱-۲: انواع مخاطرات زمینی و مشخصات آنها (۲۲۵)

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین
۱	زلزله	عوامل وقوع: حرکات تکتونیکی، انفجارات آتشفشانی، فروریزش، انفجارات مصنوعی
۲	زمین لغزش	انواع زمین لغزش: ریزش، واژگونی، جریان، گسترش جانبی، لغزش عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش: لیتولوژی و ساختار شیروانی، هندسه شیب، خاکبرداری و خاکریزی، فشار آب، هوازدگی، زلزله، گسیختگی با تاخیر، جریان‌های واریزه‌ای، عوامل فرعی
۳	فرونشست	عوامل وقوع طبیعی: ریزش معادن قدیمی، جریان آب در لایه‌های زیرین خاک، تجزیه مواد آلی، انقباض خاک‌های رسی، ذوب لایه‌های یخ منجمد اعماق زمین و زلزله عوامل وابسته به فعالیت‌های انسانی: فعالیت معادن زیرزمینی، استخراج آب زیرزمینی و تجزیه و خروج مواد آلی از بافت خاک
۴	روانگرایی	پدیده‌های وابسته: جوشش ماسه، گسیختگی جریانی، گسترش جانبی، نوسانات زمین، از دست دادن ظرفیت باربری، شناورشدن سازه‌های مدفون و نشست زمین
۵	خاک‌های خورنده	پتانسیل خوردگی در خاک‌ها به دلیل وجود عوامل شیمیایی و میکروبی
۶	خاک مساله دار	انواع خاک‌های مساله‌دار شامل: خاکریزها و خاک دستی، خاک‌های آلی، رس‌های حساس، رسوبات واریزه‌ای و تالوس‌ها، خاک‌های نرم و شل، ماسه‌های سیمانی، خاک‌های یخ‌زده
۷	گسترش جانبی	عوامل وقوع: افزایش فشار آب حفره‌ای در اثر زلزله و وقوع روانگرایی، کاهش مقاومت در لایه‌های زیرین خاک
۸	فروریزش	عوامل وقوع: افزایش رطوبت خاک در سطح تنش ثابت (مانند نشت آب از کانال آب و یا بارندگی شدید)، افزایش تنش وارده به خاک در رطوبت ثابت (مانند بارگذاری در اثر ساخت سازه جدید)، افزایش رطوبت و افزایش تنش به صورت همزمان، استفاده از خاکریزهای مصنوعی با تراکم کم از مصالح سیلتی
۹	تورم	عوامل وقوع: افزایش حجم خاک به دلیل افزایش رطوبت در اثر بارندگی شدید، بالاآمدن سطح آب و نشت از کانال آب
۱۰	واگرایی	در اثر کاهش نیروی جاذبه بین ذرات در اثر جذب آب رخ میدهد.
۱۱	فرسایش	در مصالحی فرسایش پذیر مانند شیل‌ها رخ میدهد.
۱۲	کارستی شدن	در سنگ‌های آهکی با پتاسیل کارستی شدن رخ میدهد.
۱۳	گسلش	در اثر تحرک گسلهای امتداد لغز یا شیب‌لغز رخ میدهد.

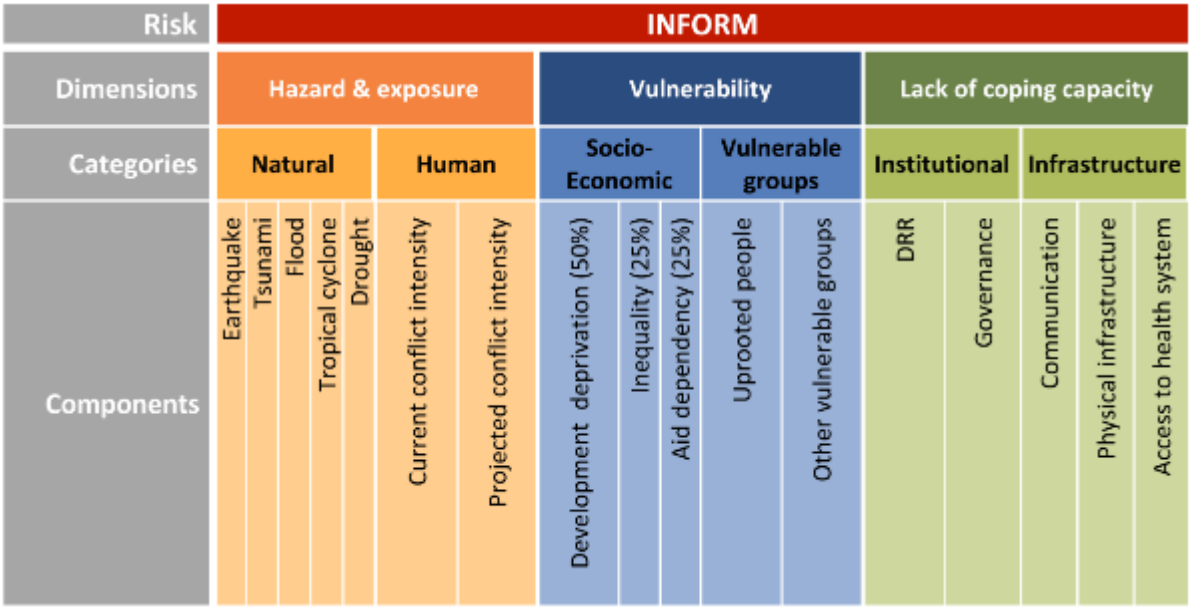
ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین
۱۴	آتشفشان	در اثر فعالیت آتشفشان‌های ولکانو، سپری یا سیندر رخ میدهد.

۲-۳-۲- پیشرو و پیشرفته بودن

از عوامل مهم در انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی، میزان پیشرو و پیشرفته بودن آنها در جهت مقابله با مخاطرات طبیعی می باشد.براین اساس، نیاز به تعریف شاخصی می باشد که بتواند این پیشرفتگی را کمی کرده و از طرفی قابل محاسبه و مقایسه در کل کشورها باشد .برای این منظور، در گزارش حاضر از تعریف شاخص مدیریت بحران INFORM[1] (۲۳۰) کمک گرفته شد. این شاخص یک راه برای درک وسنجش میزان خطر بحرانهای انسانی و بلایای طبیعی است. پرخطر بودن بدین معنی است که یک کشور در معرض بحران انسانی قراردارد، این بحران ظرفیت و توان ملی آن کشور را از پا درآورده، و منجر به نیاز برای کمکهای بین المللی شده است. بدین ترتیب به کمک این شاخص می توان کشورهایی را که درنتیجه بحرانهای انسانی و بلایا در خطر می باشند را شناسایی کرد. مزیت شاخص INFORM در این است که فاکتورهای مختلفی را که در خطر بحرانهای انسانی و بلایا دخیل می باشند را در یک شاخص منفرد خلاصه می کند. از این رو این شاخص، شاخصی مرکب و دارای ساختار چندلایه بوده (جدول ۲-۲) و تمامی ابعاد خطر شامل: ۱) درمعرض مخاطرات بودن[2]، ۲) آسیب پذیری[3]، و ۳) عدم توانایی مقابله[4]، را درنظرمی گیرد. هر یک از این ابعاد دارای دسته بندیهای ریزتر و متفاوتی می‌باشند (۲۳۰).

جدول ۲-۲: مدل INFORM (۲۳۰)

[1] INFORM Index for Risk Management
[2] Hazard & exposure
[3] Vulnerability
[4] Lack of coping capacity



در مجموع می توان گفت ساختار چندلایه ای مدل INFORM در خلاصه کردن حجم زیادی از اطلاعات در خصوص خطر بحران در یک شاخص منفرد و از طرفی دردسترس بودن تمامی این سطوح (از ابعاد گرفته تا شاخص ها)، این امکان را فراهم می کند تا کاربران بسته به نیاز و علاقه مندیشان بتوانند خطر را در ترازهای مختلفی از جزئیات بررسی کنند.

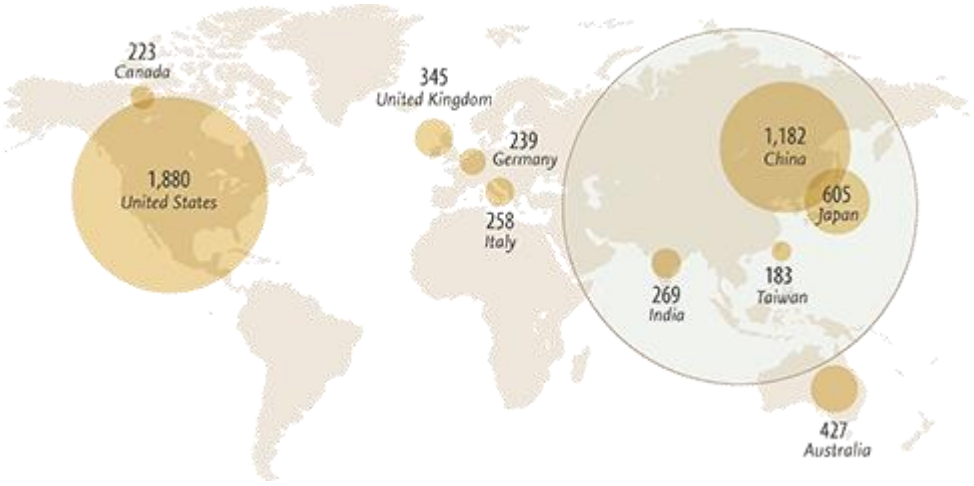
۲-۳-۳- دردسترس بودن مطالعات

از دیگر پارامترهای کلیدی درنظرگرفته شده در این گزارش جهت انتخاب کشورهای مقصد برای مطالعه تطبیقی، دردسترس بودن مطالعات آنها است. برای این منظور، به میزان دسترسی به مقالات، گزارشها، و اسناد منتشر شده در هر کشور در ارتباط با مخاطرات طبیعی و مدیریت بحران، از مجموع ۱۰۰ امتیاز، امتیازی معادل۲۵ اختصاص داده شد.

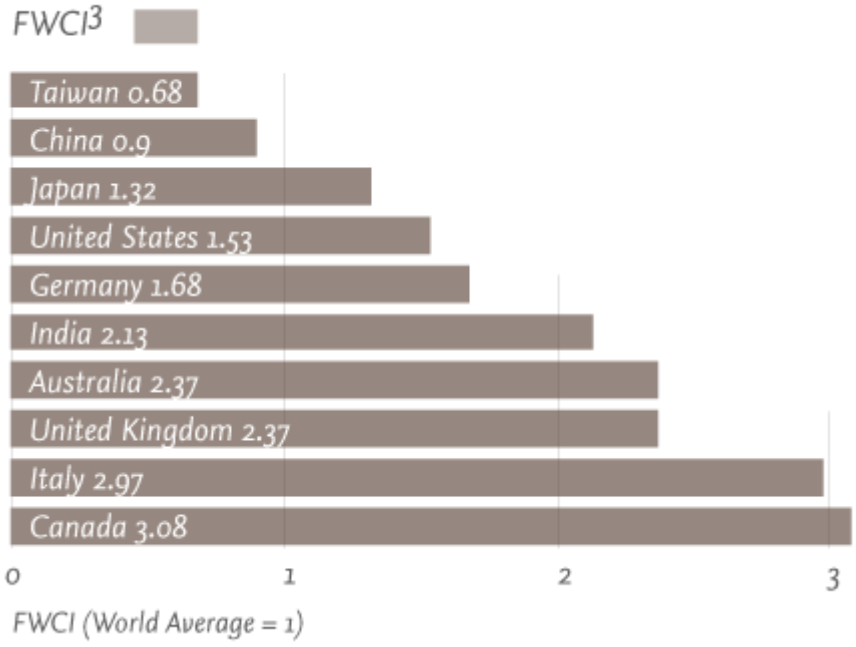
بلایای طبیعی تقریباً تمامی نقاط کره زمین را تحت تاثیر قرار می هند. تحقیق در حوزه علم بلایا[1] نه تنها به درک و شناخت بهتر این رویدادهای غالباً فاجعه آمیز کمک می کند، بلکه سبب روشن ساختن روشهای آمادگی، ترمیم، و حتی پیشگیری از این تهدیدات طبیعی می گردد.

طبق گزارش ارائه شده توسط سایت Elsevier (۲۴۱) که در آن از داده های Scopus در فاصله سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ میلادی استفاده شده است، ده کشور اول دنیا به لحاظ بالاترین میزان خروجی تحقیقاتی در حوزه مخاطرات طبیعی در بازه زمانی مذکور، شامل: چین، امریکا، تایوان، ژاپن، آلمان هند، استرالیا، انکلیس، ایتالیا، و کانادا می شوند؛ بطوریکه از بین این ده کشور، غالب تحقیقات صورت گرفته در دو کشور امریکا و چین متمرکز شده اند (شکل ۱-۲).

[1]Disaster science



(الف)

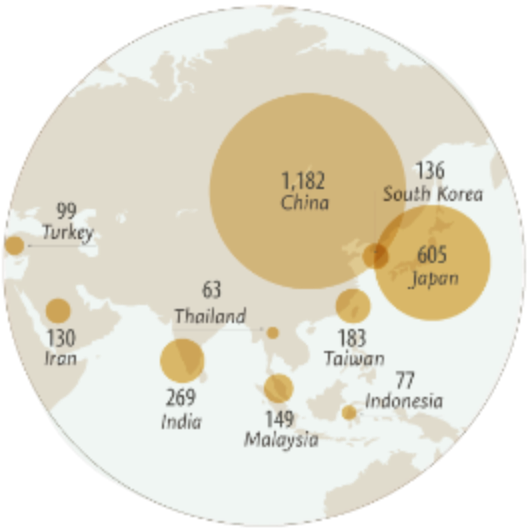


(ب)

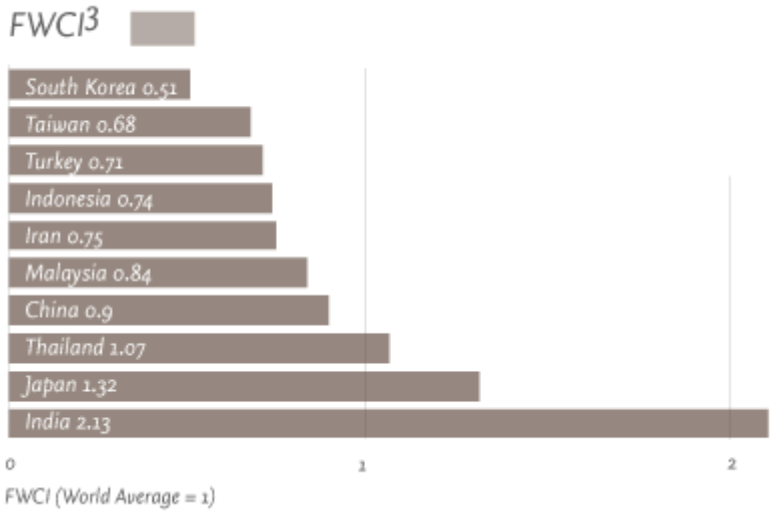
شکل ۱-۲: برترین کشورها در جهان براساس: الف) میزان تحقیقات، و ب) ضریب ارجاع FWCI، در حوزه مخاطرات طبیعی (۲۳۱)

در قاره آسیا نیز دو کشور چین و ژاپن دارای بیشترین حجم خروجی تحقیقاتی در خصوص بلایای طبیعی می باشند. این در حالی است که به لحاظ ضریب ارجاع وزنی متناسب با زمینه تحقیق[1] (FWCI)، کشور هند در بالاترین جایگاه قرار دارد (شکل ۲-۲).

[1]Field-weighted citation impact



(الف)

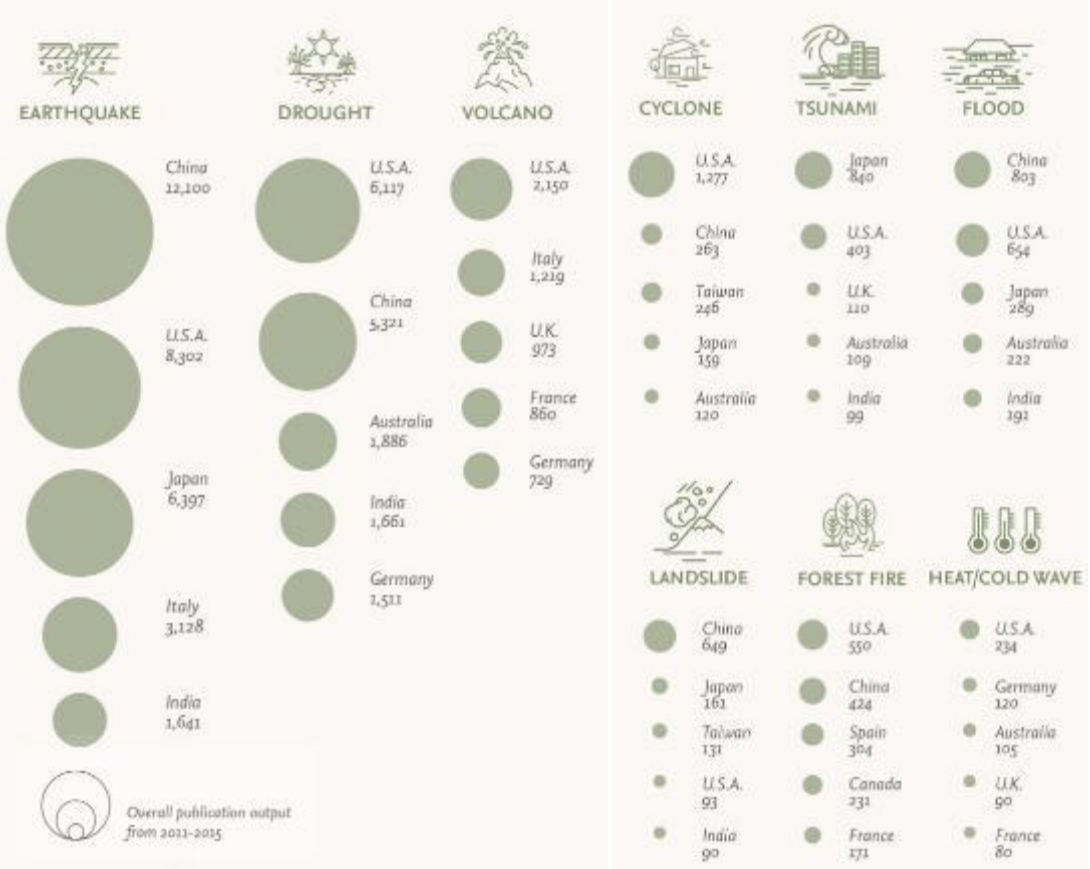


(ب)

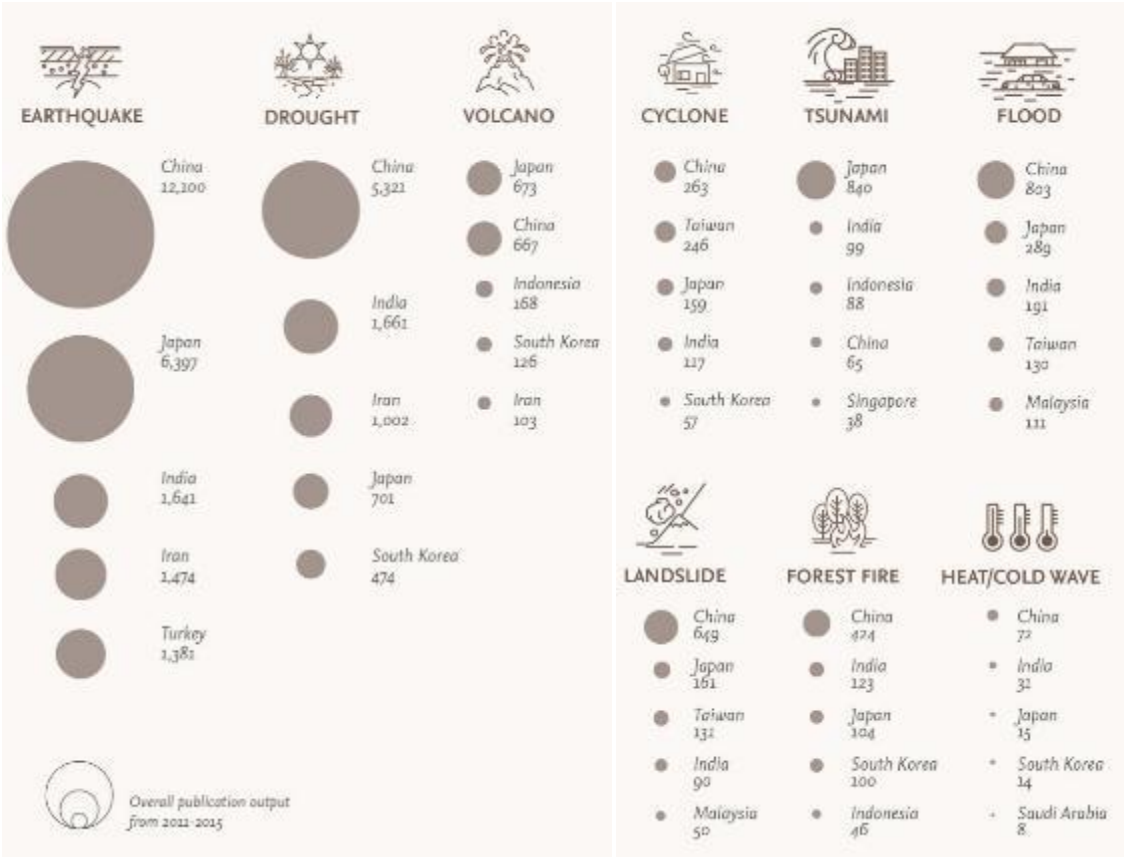
شکل ۲-۲: برترین کشورها در قاره آسیا براساس: الف) میزان تحقیقات، و ب) ضریب ارجاع FWCI، در حوزه مخاطرات طبیعی (۲۳۱)

با نگاهی دقیقتر به روند تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف در ارتباط با حوزه های مختلف مخاطرات طبیعی (شکل ۳-۲)، مشاهده می شود که در دنیا به ترتیب دو کشور چین و امریکا دارای بالاترین تعداد انتشارات در حوزه زلزله، و کشورهای چین و ژاپن دارای بیشترین شمار خروجی تحقیقاتی در حوزه زمین لغزش می باشند.

بطور مشابه، در قاره آسیا نیز به ترتیب دو کشور چین و ژاپن در صدر کشورهای با بالاترین شمار انتشارات در حوزه دو مخاطره زمینی: زلزله و زمین لغزش قرار دارند (شکل ۴-۲).



شکل ۳-۲: برترین کشورها در جهان براساس شمار خروجی تحقیقاتی در انواع مخاطرات طبیعی (۲۳۱)



شکل ۴-۲: برترین کشورها در آسیا براساس شمار خروجی تحقیقانی در انواع مخاطرات طبیعی (۲۳۱)

۲-٤-جداول امتیاز محاسبه شده برای کشورهای مختلف

در بخش قبل کشورهای مشابه با ایران به لحاظ مخاطرات زمینی، کشورهای پیشرو و پیشرفته به لحاظ مواجه با بلایای طبیعی، و کشورهای برتر دنیا به لحاظ تحقیقات در حوزه مخاطرات زمین، معرفی شدند. در این بخش تلاش می شود بوسیله امتیاز دهی به فاکتورهای مختلف، کشورهایی که در مجموع هر سه مولفه فوق (یعنی مشابهت مخاطره، پیشرو بودن، و دسترسی به اطلاعات) دارای بیشترین امتیاز در هر یک از ۱۱ گروه مخاطره زمین: زلزله، زمین لغزش، فرونشست، خاکهای خورنده، خاکهای مساله دار، فروریزش، تورم، واگرایی، فرسایش، کازستی شدن، و آتشفشان می باشند، شناسایی شوند. همانطور که در بخش ۲-۲- بیان شد، از مجموع ۱۰۰ امتیاز کل درنظرگرفته شده، با توجه به میزان اهمیت هر یک از مولفه‌ها در انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی، به ترتیب ۴۵ امتیاز به مولفه مشابهت مخاطرات زمین، ۳۰ امتیاز به پیشرو و پیشرفته بودن، و ۲۵ امتیاز به دردسترس بودن مطالعات اختصاص داده می شود. برای هر یک از فاکتورهای درنظرگرفته شده در ارزیابی میزان تشابه مخاطرات زمیننیز از کل ۴۵ امتیاز اختصاصی به این مولفه، مجدداً بسته به میزان اهمیت و نقش هر فاکتور، توزیع امتیاز بین آنها به قرار ذیل صورت می گیرد:

۱) ۳۰ امتیاز برای فاکتورهای شـــدت مخاطره و فراوانی رخداد آن، و ۲) ۱۵ امتیاز برای فاکتورهای خســـارات جانی و مالی ناشی از وقوع مخاطره.

در ادامه، جداول امتیاز پر شده برای کشورهای مختلف در هر یک از گروه مخاطرات زمین به تفکیک ارائه می شود (جدول ۳-۲ تا جدول ۱۳-۲).

جدول ۳-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره زلزله

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	43.1	25.0	29.4	97.5
2	ژاپن	43.1	20.0	30.0	93.1
3	چین	45.0	13.8	28.8	87.6
4	روسیه	41.6	9.0	27.7	78.3
5	هند	41.6	7.8	28.1	77.5
6	ترکیه	43.1	4.8	28.5	76.5
7	ازبکستان	43.5	3.6	27.8	74.9
8	فیلیپین	45.0	1.0	28.7	74.7
9	مکزیک	43.1	3.3	28.0	74.4
10	شیلی	43.1	1.0	28.9	73.0
11	نیوزیلند	39.8	4.0	29.1	72.8
12	قزاقستان	41.6	3.6	27.0	72.3
13	اندونزی	43.1	1.0	28.1	72.2
14	کلمبیا	43.1	1.0	28.0	72.1
15	پاکستان	43.5	1.0	27.3	71.8
16	ونزوئلا	43.1	1.0	27.5	71.6
17	تاجیکستان	40.1	3.6	27.2	71.0
18	اکوادر	41.6	1.0	28.0	70.6
19	پرو	41.6	1.0	27.9	70.5
20	آذربایجان	39.8	3.6	26.1	69.5
21	گرجستان	38.3	3.6	27.5	69.4
22	نپال	42.0	1.0	26.1	69.1
23	افغانستان	42.0	1.0	25.3	68.3
23	رمانی	39.8	1.0	27.5	68.3
23	ارمنستان	36.8	3.6	25.9	66.3

24	بلیوی	40.1	1.0	24.5	65.6
25	ترکمنستان	36.8	3.6	24.8	65.2

جدول ۴-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره زمین لغزش

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	چین	45.0	16.0	28.8	89.8
2	امریکا	30.0	25.0	29.4	84.4
3	ایتالیا	36.0	17.7	28.7	82.4
4	سوئیس	42.0	5.4	28.9	76.3
5	هند	42.0	4.5	28.1	74.6
6	کلمبیا	42.0	2.0	28.0	72.0
7	پاکستان	42.0	2.0	27.3	71.3
8	نپال	42.0	2.0	26.1	70.1
9	مکزیک	39.0	2.0	28.0	69.0
10	پرو	39.0	2.0	27.9	68.9
11	ازبکستان	39.0	2.0	27.8	68.8
12	بلیوی	42.0	2.0	24.5	68.5
13	ترکیه	36.0	3.8	28.5	68.3
14	تاجیکستان	39.0	2.0	27.2	68.2
15	ژاپن	30.0	8.0	30.0	68.0
15	قزاقستان	39.0	2.0	27.0	68.0
16	شیلی	36.0	2.0	28.9	66.9
17	فیلیپین	36.0	2.0	28.7	66.7
18	افغانستان	39.0	2.0	25.3	66.3
19	اکوادر	36.0	2.0	28.0	66.0
20	گرجستان	36.0	2.0	27.5	65.5
20	رمانی	36.0	2.0	27.5	65.5
21	صربستان	36.0	2.0	27.1	65.1
22	کره جنوبی	33.0	2.7	29.2	64.9
23	بلغارستان	36.0	2.0	26.8	64.8
24	آذربایجان	36.0	2.0	26.1	64.1
25	ارمنستان	36.0	2.0	25.9	63.9
26	اسلونی	33.0	2.0	28.8	63.8

27	یونان	33.0	2.0	28.6	63.6
28	مجارستان	33.0	2.0	28.3	63.3
29	کانادا	27.0	7.3	28.8	63.1
29	کراوسی	33.0	2.0	28.1	63.1
30	اتریش	33.0	2.0	27.9	62.9
31	نیوزیلند	30.0	3.0	29.1	62.1
32	اسپانیا	27.0	5.4	29.0	61.4
32	چک	33.0	2.0	26.4	61.4
33	فرانسه	24.0	8.7	28.5	61.2
34	اندونزی	30.0	2.0	28.1	60.1
35	روسیه	30.0	2.0	27.7	59.7
36	آلمان	24.0	6.6	27.8	58.4
37	ویتنام	27.0	2.0	28.2	57.2
38	نروژ	21.0	3.0	7.0	31.0

جدول ۵-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فرونشست زمین

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	مکزیک	45.0	25	28.0	98.0
2	اندونزی	40.3	25	28.1	93.4
3	ژاپن	38.6	24	30.0	92.6
4	چین	19.4	25	28.7	73.1
5	تایلند	20.2	23	28.1	71.2
6	امریکا	12.4	25	29.4	66.8
7	ویتنام	14.0	23	28.2	65.1
8	پاکستان	17.1	20	27.3	64.4
9	یونان	8.5	24	28.6	61.1
10	ایتالیا	7.8	24	28.7	60.4
11	فیلیپین	8.5	23	28.7	60.2
12	اسپانیا	7.0	24	28.9	59.9
13	هلند	4.3	23	28.0	55.4
14	هند	2.5	22	28.1	52.6

جدول ۶-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره خاکهای خورنده

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	45	25	29.4	99.4
2	استرالیا	45	25	29.2	99.2
3	اسپانیا	45	25	29.0	99.0
4	چین	45	25	28.8	98.8
4	کانادا	45	25	28.8	98.8
5	ترکیه	45	25	28.5	98.5
6	هند	45	25	28.1	98.1
7	مکزیک	45	25	28.0	98.0
7	پرو	45	25	28.0	98.0
8	روسیه	45	25	27.7	97.7
9	رومانی	45	25	27.5	97.5
10	بلغارستان	45	25	26.8	96.8
11	افریقای جنوبی	45	25	26.4	96.4
12	برزیل	45	25	26.0	96.0
13	مصر	45	22	27.2	94.2
13	اوکراین	45	25	24.2	94.2
14	اتیوپی	45	25	23.8	93.8
15	آرژانتین	45	22	26.0	93.0
16	نیجر	45	22	22.7	89.7

جدول ۷-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فروریزش

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	45	25.0	29.4	99.4
2	استرالیا	45	25.0	29.3	99.3
3	چین	45	25.0	28.8	98.8
4	فرانسه	45	25.0	28.5	98.5
5	هند	45	25.0	28.1	98.1
6	آلمان	45	25.0	27.8	97.8
7	روسیه	45	25.0	27.7	97.7
8	رمانی	45	25.0	27.5	97.5

9	مصر	45	25.0	27.2	97.2
10	مکزیک	45	24.0	28.0	97.0
11	بلغارستان	45	25.0	26.8	96.8
12	افریقای جنوبی	45	25.0	26.4	96.4
13	برزیل	45	25.0	26.0	96.0
14	الجزایر	45	24.0	25.6	94.6
15	قزاقستان	45	22.0	27.0	94.0
16	ازبکستان	45	21.0	27.8	93.8
17	پاکستان	45	20.0	27.3	92.3
18	تاجیکستان	45	20.0	27.2	92.2
19	شیلی	45	18.0	28.9	91.9
20	آرژانتین	45	20.0	26.1	91.1
21	گرجستان	45	18.0	27.5	90.5
22	افغانستان	45	20.0	25.3	90.3
23	عربستان	45	20.0	24.9	89.9
24	ترکمنستان	45	20.0	24.8	89.8
25	بلیوی	45	18.0	24.5	87.5

جدول ۸-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره تورم

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	ژاپن	45	25.0	30.0	100.0
2	امریکا	45	25.0	29.4	99.4
3	استرالیا	45	25.0	29.3	99.3
4	کانادا	45	25.0	28.8	98.8
4	چین	45	25.0	28.8	98.8
5	هند	45	25.0	28.1	98.1
6	مکزیک	45	25.0	28.0	98.0
7	ترکیه	45	24.0	28.5	97.5
8	انگلیس	45	24.0	27.6	96.6
9	رمانی	45	24.0	27.5	96.5
9	فرانسه	45	23.0	28.5	96.5
10	برزیل	45	25.0	26.0	96.0
11	ونزوئلا	45	23.0	27.5	95.5

12	افریقای جنوبی	45	24.0	26.4	95.4
13	اسپانیا	45	21.0	29.0	95.0
14	آلمان	45	22.0	27.8	94.8
15	آرژانتین	45	23.0	26.1	94.1
15	کنیا	45	24.0	25.1	94.1
16	عربستان	45	24.0	24.9	93.9
17	اتیوپی	45	25.0	23.8	93.8
18	بلغارستان	45	21.0	26.8	92.8
19	سوریه	45	20.0	26.0	91.0
20	غنا	45	19.0	21.1	85.1

جدول ۹-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره واگرایی

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	44.2	25.0	28.1	97.3
2	کانادا	43.2	25.0	28.8	97.0
3	هند	43.5	25.0	25.1	93.5
3	الجزایر	42.6	25.0	25.9	93.5
4	کامرون	37.8	25.0	29.4	92.2
5	غنا	44.8	21.0	24.5	90.3
6	چین	42.5	22.0	25.6	90.1
7	بلیوی	43.6	18.0	27.9	89.5
8	کنیا	42.7	20.0	23.8	86.5
9	اتیوپی	45.0	22.0	19.3	86.3
10	برزیل	42.5	21.0	21.1	84.6
11	سودان	37.4	22.0	24.2	83.6
12	نیجر	40.2	17.0	22.7	79.9
13	بنگلادش	21.0	23.0	28.9	72.8
14	شیلی	12.2	25.0	28.8	66.0
15	استرالیا	5.0	25.0	29.3	59.3
16	آرژانتین	8.0	24.0	26.1	58.1

جدول ۱۰-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره خاکهای نباتی

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	استرالیا	45	25.0	29.3	99.3
2	چین	45	25.0	28.8	98.8
3	ایتالیا	45	25.0	28.7	98.7
4	ترکیه	45	25.0	28.5	98.5
5	کره جنوبی	45	24.0	29.2	98.2
6	هند	45	25.0	28.1	98.1
6	تایلند	45	25.0	28.1	98.1
7	فیلیپین	45	24.0	28.7	97.7
8	مصر	45	25.0	27.2	97.2
9	افریقای جنوبی	45	25.0	26.4	96.4
10	پاکستان	45	24.0	27.3	96.3
11	آرژانتین	45	25.0	26.1	96.1
12	قزاقستان	45	23.0	27.0	95.0
13	بلغارستان	45	23.0	26.8	94.8
14	بلیوی	45	25.0	24.5	94.5
15	افغانستان	45	24.0	25.3	94.3
16	یونان	45	20.0	28.5	93.5
17	تاجیکستان	45	21.0	27.2	93.2
18	فرانسه	45	19.0	28.5	92.5
19	اسپانیا	45	18.0	29.0	92.0
20	ترکمنستان	45	21.0	24.8	90.8

جدول ۱۱-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره فرسایش

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	45	25.0	29.4	99.4
2	چین	45	11.0	28.8	84.8
3	انگلستان	45	8.0	27.7	80.7
4	استرالیا	45	5.3	29.3	79.6

5	اسپانیا	45	4.7	29.0	78.7
6	کانادا	45	4.5	28.8	78.3
7	آلمان	45	4.8	27.8	77.6
8	ژاپن	45	2.0	30.0	77.0
9	فرانسه	45	3.4	28.5	76.9
10	ایتالیا	45	2.9	28.7	76.6
11	هند	45	2.6	28.1	75.7
12	سوئیس	45	1.6	28.9	75.5
13	کره جنوبی	45	1.0	29.2	75.2
14	یونان	45	1.0	28.6	74.6
15	ترکیه	45	1.0	28.5	74.5
16	اندونزی	45	1.0	28.1	74.1
17	مکزیک	45	1.0	28.0	74.0
18	روسیه	45	1.0	27.7	73.7
19	رمانی	45	1.0	27.5	73.5
20	برزیل	45	2.1	26.0	73.1
21	افریقای جنوبی	45	1.0	26.4	72.4
22	آرژانتین	45	1.0	26.0	72.0
23	عربستان	45	1.0	24.9	70.9
24	اتیوپی	45	1.0	23.8	69.8

جدول ۱۲-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره کارستی شدن

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	45	25.0	29.4	99.4
2	فرانسه	45	22.0	28.5	95.5
3	آلمان	45	12.3	27.8	85.1
4	چین	45	10.5	28.8	84.3
5	انگلیس	45	10.9	27.6	83.5
6	اسپانیا	45	9.3	29.0	83.3
7	ایتالیا	45	8.5	28.7	82.2
8	استرالیا	45	6.3	29.3	80.6
9	مکزیک	45	7.2	28.0	80.2
10	کانادا	45	5.5	28.7	79.2

11	اتریش	45	5.1	27.9	78.0
12	سوئیس	45	3.7	28.9	77.6
13	ژاپن	45	2.5	30.0	77.5
13	قزاقستان	45	5.5	27	77.5
14	کرواسی	45	3.6	28.1	76.7
15	اسلونی	45	2.5	28.8	76.3
16	مجارستان	45	2.9	28.3	76.2
17	افریقای جنوبی	45	4.6	26.4	76.0
18	یونان	45	2.3	28.5	75.8
19	فیلیپین	45	2.0	28.7	75.7
19	صربستان	45	3.6	27.1	75.7
20	ترکیه	45	2.0	28.5	75.5
21	هند	45	2.0	28.1	75.1
21	اندونزی	45	2.0	28.1	75.1
22	چکسلواکی	45	3.6	26.4	75.0
22	پرو	45	2.0	28	75.0
23	رمانی	45	2.3	27.5	74.8
24	اوکراین	45	5.5	24.2	74.7
25	روسیه	45	2.0	27.6	74.6
26	مصر	45	2.0	27.2	74.2
27	لهستان	45	2.8	25.7	73.5
28	برزیل	45	2.2	26.0	73.2
29	عربستان	45	2.0	24.9	71.9
30	اتیوپی	45	2.0	23.8	70.8

جدول ۱۳-۲: امتیازدهی و رتبه بندی کشورها براساس مخاطره آتشفشان

رتبه	کشور	مشابهت مخاطره (۴۵)	دردسترس بودن مطالعات (۲۵)	پیشرو و پیشرفته بودن (۳۰)	امتیاز کل (۱۰۰)
1	ژاپن	45	25	30.0	100.0
2	امریکا	45	25	29.4	99.4
3	نیوزیلند	45	25	29.1	99.1
4	شیلی	45	25	28.9	98.9
5	کانادا	45	25	28.7	98.7
5	چین	45	25	28.7	98.7

5	ایتالیا	45	25	28.7	98.7
5	فیلیپین	45	25	28.7	98.7
6	یونان	45	25	28.6	98.6
7	ترکیه	45	25	28.5	98.5
8	اندونزی	45	25	28.1	98.1
9	مکزیک	45	25	28.0	98.0
9	کلمبیا	45	25	28.0	98.0
9	اکوادر	45	25	28.0	98.0
10	پرو	45	25	27.9	97.9
11	روسیه	45	25	27.7	97.7
12	السالوادر	45	25	27.6	97.6
13	نیکاراگوئه	45	25	27.2	97.2
14	ارمنستان	45	25	25.9	95.9
15	ایسلند	45	25	24.4	94.4
16	کره جنوبی	45	20	29.2	94.2
17	اتیوپی	45	25	23.7	93.7
18	کامرون	45	22	19.3	86.3

۲-۵-انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی

۲-۵-۱- فرآیند انتخاب کشورهای مقصد

جدول ۱۴-۲ ده کشـــور برتر به لحاظ امتیاز کســـب شـــده در هر یک از گروه مخاطرات زلزله، زمین لغزش، فرونشـــست زمین، خاکهای خورنده، خاکهای مسـاله دار، فروریزش، تورم، واگرایی، فرسـایش، کارسـتی شـدن، و آتشـفشـان را نشـان می دهد. طبق این جدول کشـورهایی نظیر چین، امریکا، مکزیک، و هند دارای بیشـترین تکرار در مجموع مخاطرات زمین بررسـی شـده می باشـند. براین اسـاس، جهت انتخاب نهایی کشـورهای مقصـد فاکتور تعداد تکرار یک کشور در گروههای مختلف مخاطرات زمین، بعنوان یکی از معیارهای اصلی درنظرگرفته شد. برای این منظور، از بین ده کشـــور برتر در هر گروه از مخاطرات، ابتدا کشـــورهایی که در گروههای مختلف تکرار شـــده بودند، لیست شدند. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، کشور چین با بالاترین تعداد تکرار (یعنی حضور در تمامی ۱۱ گروه مخاطره زمین) در صـدر قرار دارد و پس از آن، کشـورهای امریکا، مکزیک، و هند به ترتیب با ۱۰، ۸، و ۷ بار تکرار، جایگاههای دوم تا چهارم را به خود اختصـاص داده اند. در مرحله بعد، با توجه به پتانسـیل خطر مخاطرات مختلف برای سازه های صنعت برق (جدول ۱-۲) و برمبنای قضاوت مهندسی، ضرایب اهمیتی (I) به قرار ذیل برای انواع مختلف مخاطرات زمینی درنظرگرفته شد:

زلزله I=4 خاک واگرا I=1

زمین لغزش	I=3	خاک نباتی	I=0.2		
فرونشست زمین	I=2	فرسایش	I=1		
خاک خورنده	I=1.5	کارستی شدن	I=0.5		
خاک فروریزشی	I=1	آتشفشان	I=0.2		
خاک متورم شونده	I=1				

با اعمال ضرایب فوق بر مخاطرات موجود در هر کشور، امتیاز نهایی هر یک از آنها محاسبه شده و سپس اسامی کشورها براساس امتیاز کسب شده بصورت نزولی مرتب شد (جدول ۱۵-۲). بدین ترتیب، ۸ کشور: چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ایتالیا، ترکیه، و روسیه، با کسب بالاترین امتیاز در مجموع ۱۱ مخاطره زمینی به عنوان گزینه های برتر در بین کشورهای مورد بررسی شناسایی شدند.

۲-۵-۲- جمع بندی انتخاب کشورهای هدف جهت مطالعه تطبیقی

برمبنای فرآیند توضیح داده شده، اسامی کشورها در جدول ۱۵-۲، و لیست مخاطرات موجود در هر یک از آنها طبق جدول مذکور، در نهایت از بین ۸ کشور برتر: چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ایتالیا، ترکیه، و روسیه، کشورهای زیر به عنوان کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی در هر یک از گروه مخاطرات زمینی انتخاب شدند:

۱- زلزله: چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ترکیه، و روسیه
۲- زمین لغزش: چین، امریکا، مکزیک، هند، ایتالیا
۳- فرونشست زمین: چین، امریکا، مکزیک، ژاپن، ایتالیا
۴- خاک خورنده: چین، امریکا، مکزیک، هند، ترکیه، و روسیه
۵- خاک مساله دار: چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ترکیه
۶- فرسایش: چین، امریکا، ژاپن، ایتالیا
۷- کارستی شدن: چین، امریکا، مکزیک، ایتالیا
۸- آتشفشان: چین، امریکا، مکزیک، ژاپن، ایتالیا، ترکیه

جدول ۱۴-۲: ده کشور برتر به لحاظ امتیازکسب شده در گروههای مختلف مخاطرات زمین

زلزله			زمین لغزش			فرونشست زمین			خاکهای خورنده		
رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	97.5	1	چین	89.8	1	مکزیک	98.0	1	امریکا	99.4
2	ژاپن	93.1	2	امریکا	84.4	2	اندونزی	93.4	2	استرالیا	99.2
3	چین	87.6	3	ایتالیا	82.4	3	ژاپن	92.6	3	اسپانیا	99.0
4	روسیه	78.3	4	سوئیس	76.3	4	چین	73.1	4	چین- کانادا	98.8
5	هند	77.5	5	هند	74.6	5	تایلند	71.2	5	ترکیه	98.5
6	ترکیه	76.5	6	کلمبیا	72.0	6	امریکا	66.8	6	هند	98.1

7	ازبکستان	74.9	7	پاکستان	71.3	7	ویتنام	65.1	7	مکزیک- پرو	98.0
8	فیلیپین	74.7	8	نپال	70.1	8	پاکستان	64.4	8	روسیه	97.7
9	مکزیک	74.4	9	مکزیک	69.0	9	یونان	61.1	9	رومانی	97.5
10	شیلی	73.0	10	پرو	68.9	10	ایتالیا	60.4	10	بلغارستان	96.8

خاکهای فروریزشی			خاکهای منبسط شونده			خاکهای واگرا			خاکهای نباتی		
رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	99.4	1	ژاپن	100.0	1	امریکا	97.3	1	استرالیا	99.3
2	استرالیا	99.3	2	امریکا	99.4	2	کانادا	97.0	2	چین	98.8
3	چین	98.8	3	استرالیا	99.3	3	هند- الجزایر	93.5	3	ایتالیا	98.7
4	فرانسه	98.5	4	کانادا- چین	98.8	4	کامرون	92.2	4	ترکیه	98.5
5	هند	98.1	5	هند	98.1	5	غنا	90.3	5	کره جنوبی	98.2
6	آلمان	97.8	6	مکزیک	98.0	6	چین	90.1	6	هند - تایلند	98.1
7	روسیه	97.7	7	ترکیه	97.5	7	بلیوی	89.5	7	فیلیپین	97.7
8	رمانی	97.5	8	انگلیس	96.6	8	کنیا	86.5	8	مصر	97.2
9	مصر	97.2	9	رمانی- فرانسه	96.5	9	اتیوپی	86.3	9	افریقای جنوبی	96.4
10	مکزیک	97.0	10	برزیل	96.0	10	برزیل	84.6	10	پاکستان	96.3

فرسایش			کارستی شدن			آتشفشان		
رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)	رت به	کشور	امتیاز کل (۱۰۰)
1	امریکا	99.4	1	امریکا	99.4	1	ژاپن	100.0
2	چین	84.8	2	فرانسه	95.5	2	امریکا	99.4
3	انگلستان	80.7	3	آلمان	85.1	3	نیوزیلند	99.1
4	استرالیا	79.6	4	چین	84.3	4	شیلی	98.9
5	اسپانیا	78.7	5	انگلیس	83.5	5	کانادا - چین- ایتالیا- فیلیپین	98.7
6	کانادا	78.3	6	اسپانیا	83.3	6	یونان	98.6
7	آلمان	77.6	7	ایتالیا	82.2	7	ترکیه	98.5
8	ژاپن	77.0	8	استرالیا	80.6	8	اندونزی	98.1
9	فرانسه	76.9	9	مکزیک	80.2	9	مکزیک– کلمبیا- اکوادر	98.0
10	ایتالیا	76.6	10	کانادا	79.2	10	پرو	97.9

جدول ۱۵-۲: کشورهای برتر به لحاظ امتیاز نهایی کسب شده در مجموع انواع مختلف مخاطرات زمین

کشور	زلزله (I=4)	زمین لغزش (I=3)	فرونشست (I=2)	خاک خورنده (I=1.5)	فروریزش (I=1)	تورم (I=1)	واگرایی (I=1)	خاک نباتی (I=0.2)	فرسایش (I=1)	کارستی شدن (I=0.5)	آتشفشان (I=0.2)	تکرار (۱۱)	امتیاز کل (۱۵/۴)

چین	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**11**	**15.4**
امریکا	**1**	**1**	**1**	**1**		**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**10**	**15.2**
مکزیک	**1**	**1**	**1**	**1**			**1**	**1**	**1**	**1**	**8**	**13.2**
هند	**1**	**1**			**1**	**1**	**1**	**1**	**1**		**7**	**11.7**
ژاپن	**1**		**1**				**1**			**1**	**5**	**8.2**
ایتالیا		**1**	**1**	**1**	**1**	**1**				**1**	**6**	**6.9**
ترکیه	**1**				**1**		**1**		**1**		**5**	**6.9**
روسیه	**1**							**1**	**1**		**3**	**6.5**
استرالیا			1	1	1		1	1	1		6	5.2
کانادا			1	1		1	1		1		6	5.2
پاکستان		1			1					1	3	5.2
پرو		1							1		3	4.7
فیلیپین	1				1						3	4.4
شیلی	1										2	4.2
ازبکستان	1										1	4
فرانسه			1	1			1	1			4	3.5
رومانی							1	1	1		3	3.5
کلمبیا		1									2	3.2
اسپانیا			1	1					1		3	3
سوئیس		1									1	3
نپال		1									1	3
آلمان			1	1				1			3	2.5
انگلیس			1	1			1				3	2.5
اندونزی		1									2	2.2
تایلند					1						2	2.2
یونان		1									2	2.2
برزیل						1	1				2	2
ویتنام											1	2
بلغارستان									1		1	1.5
مصر					1			1			2	1.2
الجزایر						1					1	1
کامرون						1					1	1
غنا						1					1	1
بلیوی						1					1	1
کنیا						1					1	1
اتیوپی						1					1	1
کره جنوبی					1						1	0.2
افریقای جنوبی					1						1	0.2
نیوزیلند		1									1	0.2
اکوادر		1									1	0.2

۲-۶-پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی

۲-۶-۱- زلزله

زمین لرزه ها از جمله مهمترین مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله شمار کثیری از جمعیت جهان گرفتار اثرات نامطلوب آن می شوند. جهت کاهش تلفات جانی و اقتصادی و نیز تبعات اجتماعی آن نیاز است که برآورد قابل اعتمادی از خطر زمین لرزه صورت گیرد. برآورد زلزله های احتمالی منطقه می تواند به برنامه ریزی بهتر جهت کاهش خسارات منجر شود. شدت خطر لرزه ای معمولاً براساس پارامترهای جنبش زمین نظیر حداکثر شتاب افقی زمین[1] (PGA) بیان می‌شود. مقادیر این پارامتر لرزه ای به همراه تعداد زلزله های رخ داده در فاصله زمانی سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۶ میلادی، به اضافه خسارات جانی و مالی ناشی از وقوع این زلزله ها، به ترتیب در جدول ۱۶-۲ برای کشور ایران و کشورهای منتخب (شامل چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ایتالیا، ترکیه، و روسیه) خلاصه شده‌اند. این اطلاعات از نقشه پهنه بندی لرزه ای کشورهای مذکور، و همچنین مراجع (۲۳۲; ۲۳۳; ۲۳۴) که به ترتیب اسامی دوازده کشور اول دنیا با بالاترین تعداد زلزله در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۰۰، اسامی ده کشور اول دنیا به لحاظ بالاترین میزان مرگ و میر، و اسامی ده کشور اول دنیا از نظر بیشترین خسارت اقتصادی وارده ناشی از زلزله های رخ داده در بازه زمانی مذکور را لیست کرده اند، استخراج شده اند.

جدول ۱۶-۲: پارامترهای شدت و میزان وقوع مخاطره زمین لرزه در ایران و کشورهای منتخب

کشور	PGA (m/s^2)	زلزله های رخ داده در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۰۰		
		تعداد زلزله	میزان مرگ و میر	خسارت اقتصادی (بیلیون دلار امریکا)
ایران	(۱۱) ۰/۲g-۰/۳۵g	۱۰۶	۱۴۷۴۷۵	۱۱/۸۳
چین	(۱۲) ۰/۰۵g-۰/۴g	۱۵۷	۸۷۶۴۸۷	۱۱۰/۳
امریکا	(۱۳) ۰/۰۱g-۰/۴g	۴۱	-	۴۱/۷۴
مکزیک	(۱۴) ۰/۰۲g-۰/۴۸g	۳۲	-	-
هند	(۱۵) ۰/۱g-۰/۳۶g	۳۲	۷۸۳۱۵	-
ژاپن	(۱۶) ۰/۰۴g-۰/۴۸g	۶۱	۱۹۴۴۱۹	۳۵۹/۶۶
ایتالیا	(۱۷) ۰/۰۵g-۰/۴g	۳۳	۱۱۵۹۴۱	۴۹/۲۸
ترکیه	(۱۸) ۰/۱g-۰/۴g	۷۷	۸۹۲۳۶	۲۴/۶۹
روسیه	-	-	۱۵۵۴۰۰	۱۶/۸۷

۲-۶-۲- زمین لغزش

زمین لغزشها از جمله مهمترین مخاطرات زمینی در جهان هستند که با تخریب محیط، منابع و دارایی انسانها، زندگی آنها را با خطر جدی روبه رو می کنند. در مقایسه با سایر انواع مخاطرات طبیعی همچون آتشفشان، زمین لغزشها آسیب های قابل توجهی را از نظر مالی و جانی ایجاد می کنند؛ بطوریکه پس از زلزله و سیل، دارای

[1]Peak ground acceleration (PGA)

بیشترین آمار خسارت به زندگی انسان می باشند. یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده زمینی، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست حوزه های آبخیز می‌باشد. بروز پدیده زمین لغزش می تواند ناشی از عوامل متعدد زمین شناسی، زمین ریخت شناسی، هیدرولوژی و انسانی باشد، ولی معمولاً در شروع زمین لغزش تنها یک محرک خارجی نقش محوری دارد. بارندگی، ذوب سریع برف، تغییرات ناگهانی سطح آب زیرزمینی، زلزله و فرسایش با سرعت زیاد از مهمترین عوامل محرک زمین لغزش ها برشمرده می شوند (۲۴۳).

زمین لغزشها فرمی از حرکات توده ای و فرآیندهای دامنه ای هستند که به عوامل مختلفی مانند شیب، زمین شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی بستگی دارند. این پدیده هر از گاهی در شیب تند تپه ها و مناطق کوهستانی به وقوع پیوسته و منجر به جابجایی و حرکت رو به پایین حجم بالایی از مواد دامنه ای به دره ها می شوند. براین اساس، شدت و بزرگی زمین لغزشها عمدتاً برحسب حجم (یا مساحت) مصالح جابجا شده سنجیده می‌شود. در جدول ۱۷-۲ بزرگی تعدادی از زمین لغزشهای رخ داده در برخی از کشورهای منتخب نشان داده شده است. این زمین لغزشها که در زمره زمین لغزشهای مهم و فاجعه بار دنیا در قرن بیستم و بیست و یکم محسوب می‌شوند، از دو پایگاه اطلاعاتی (۲۴۴; ۲۴۵) استخراج شده اند. در این جدول علاوه بر شدت مخاطره زمین لغزش، آماری در خصوص تعداد زمین لغزشهای اتفاق افتاده در فاصله سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ میلادی و میزان تلفات جانی ناشی از آنها، در برخی از کشورهای منتخب نیز ارائه شده است. این اطلاعات که از مرجع (۲۴۶) بدست آمده اند، مربوط به زمین‌لغزشهایی می باشند که عامل ایجاد آنها پروسه ای غیرلرزه ای[1] بوده است. علاوه بر این، تعدادی از زمین لغزشهای رخ داده در سه کشور منتخب چین، ایتالیا، و روسیه، در زمره ده زمین لغزش پرهزینه دنیا در بازه زمانی سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۶ میلادی قرار دارند که خسارات اقتصادی ناشی از این زمین لغزشها نیز در جدول ۱۷-۲ خلاصه شده است (۲۴۷).

جدول ۱۷-۲: پارامترهای شدت و میزان وقوع مخاطره زمین لغزش در کشورهای منتخب

کشور	مکان	تاریخ (سال)	حجم (m^3)	زمین لغزشهای رخ داده در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۴		خسارت اقتصادی ناشی از تعدادی از زمین لغزشها (میلیون دلار امریکا)
				تعداد زمین لغزش	میزان مرگ و میر	
چین	Qiaojia County, Yunnan, China	۱۸۸۱	$530x10^6$	۳۵۳	۶۸۶۰	۸۹۰ (زمین لغزش ۱ می ۱۹۹۸)
	Diexi, Mao County, Sichuan, China	۱۹۳۳	$150x10^6$			۷۵۹ (زمین لغزش ۷ آگوست ۲۰۱۰)
	Luquan Yi and Miao Autonomous County, Yunnan, China	۱۹۶۵	$450x10^6$			۸۲۰ (زمین لغزش ۶ می ۲۰۱۶)
	China (Gansu)	۱۹۸۳	$35x10^6$			
امریکا	Lituya Bay, Alaska, United States	۱۹۵۸	$30x10^6$	۴۲	۶۴	-

[1]Non-seismic landslides

	Seward, Alaska, United States	۱۹۶۴	$211x10^6$			
	Mount St. Helens, Washington, United States	۱۹۸۰	$2.9x10^9$			
	Thistle, Utah, United States	۱۹۸۳	$21x10^6$			
	La Conchita, California, United States	۱۹۹۵	$1.3x10^6$			
	La Conchita, California, United States	۲۰۰۵	$2x10^5$			
	Iron County, Utah, United States	۲۰۱۱	$46x10^3$			
	Salt Lake City, Utah, United States	۲۰۱۳	$55x10^6$			
	Oso, Washington, United States	۲۰۱۴	$10x10^6$			
مکزیک	-	-	-	۵۳	۳۱۸	-
هند	-	-	-	۳۹۳	۲۴۱۵	-
ژاپن	Hida River, Gero, Japan	۱۹۶۸	$740x10^6$	۷۰	۱۴۷	-
ایتالیا	Longarone, Italy	۱۹۶۳	$270x10^6$	۱۴	۶۷	۷۰۰ (زمین لغزش ۱۴ دسامبر ۱۹۸۲)
	Valtellina, Lombardy, Italian Alps	۱۹۸۷	$34x10^6$			۶۲۵ (زمین لغزش ۲۸ جولای ۱۹۸۷)
ترکیه	-	-	-	۲۲	۸۵	-
روسیه	-	-	-	-	-	۴۲۳ (زمین لغزش ۱۰ مارس ۱۹۸۹)

در کشور ایران نیز یکی از بزرگترین زمین لغزش‌های رخ داده، زمین لغزش پیش تاریخی[1] سیمره در استان لرستان و در امتداد رود سیمره می باشد. این گسیختگی که در سال ۱۹۳۸ توسط فالکون و هریسون مورد بررسی قرار گرفت، با جابجایی حجمی معادل ۲۰ کیلومترمکعب از بزرگترین لغزشهای هزار سال اخیر جهان محسوب می شود (۲۴۸). بطور کلی، توسعه و پراکندگی اغلب زمین لغزش‌های روی داده در ایران در کمربندهای فعال تکتونیکی زاگرس و البرز (بیشتر در حاشیه شمالی این رشته کوه) قرار می گیرند (۲۴۹). براین اساس، Ghazipour (۲۵۰) و امیدوار (۲۵۱) در طی مطالعاتی که بطور مستقل و به ترتیب در خصوص زمین لغزشهای متوسط تا بزرگ رخ داده در کمربند کوهستانی زاگرس و لغزشهای روی داده در استان مازندران انجام دادند، دریافتند که حجم زمین لغزش با بالاترین احتمال رخداد در زاگرس معادل 10^7 مترمکعب، و بیشترین فراوانی لغزشهای روی داده در استان مازندران در محدوده حجمی 10^3 تا 10^6 مترمکعب قرار داشته اند. بعلاوه برمبنای آمار موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور، در طی سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ میلادی اطلاعات بالغ بر ۴۴۲۰ زمین لغزش در ایران، با ابعاد و سایزهای مختلف، توسط گروه مطالعه امور زمین لغزشها (معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی اسبق) به ثبت رسیده است. این رمین لغزشها با حجمی معادل ۵۶۱۶۰ میلیون

[1] Pre-historic landslide

مترمکعب و سطح لغزشی برابر ۹۲۹۰۰ هکتار، منجر به تلفات جانی معادل ۱۸۵ نفر شده و خسارت مالی ناشی از آنها حدود ۱۴ میلیون دلار برآورد شده است (۲۵۰; ۲۵۲).

۲-۶-۳- فرونشست زمین

فرونشست از جمله مهم ترین مخاطرات زمین شناسی است که به علت تلفات کم انسانی در مقایسه با دیگر پدیده های طبیعی ناگهانی مانند زمین لرزه، زمین لغزش و سیل تاکنون کمتر مورد توجه قرارگرفته است. فرونشست عبارت است از فروریزش، حرکت قائم، و یا نشست رو به پایین سطح زمین به دلیل تراکم مواد زیرسطحی آن که می تواند دارای بردار جابجایی افقی اندکی نیز باشد. این پدیده به دلایل گوناگونی می تواند رخ دهد. یکی از علل اصلی و رایج رخداد این پدیده برداشت بی‌رویه از آبخوانها است، که ناشی از نیاز روزافزون به منابع آب است. فرونشست زمین به طور معمول با مخاطرات فراوانی همراه است. از جمله این مخاطرات تغییر در توپوگرافی سطح زمین است که در بیشتر مواقع برگشت ناپذیر است. بعلاوه، وقوع آن در مناطق مسکونی، صنعتی و کشاورزی می‌تواند آثار تخریبی فاجعه باری نظیر خسارت به تاسیسات زیربنایی، ساختمانها، زمینهای کشاورزی و غیره، به دنبال داشته باشد. جدول ۱۸-۲ حداکثر نرخ فرونشست اندازه گیری شده در برخی از نقاط ایران و کشورهای منتخب را نشان می‌دهد (۲۵۳; ۲۵۴; ۲۵۵; ۲۵۶). این مقادیر در بازه زمانی مشخص شده و با استفاده از تکنیکهایی شامل ترازیابی[1]، تداخل سنجی تفاضلی[2]، و سیستم موقعیت یاب جهانی[3]، اندازه گیری شده اند.

جدول ۱۸-۲: پارامتر شدت مخاطره فرونشست زمین در ایران و کشورهای منتخب

کشور	مکان	دوره زمانی (سال)	نرخ (mm/yr)
ایران	Mashhad Valley, Iran	۲۰۰۳-۲۰۰۵	۲۸۰-۳۰۰
	Tehran Basin, Iran	۲۰۰۴-۲۰۰۸	۲۰۵-۲۵۰
	دشت جنوب باختری تهران- شهریار	۲۰۰۴-۲۰۰۸	۲۴۰
	دشت علی آباد قم	۲۰۰۳-۲۰۱۰	۱۰۰
	دشت یزد- اردکان	۲۰۰۳-۲۰۰۶	۱۲۰
	دشت نوق- بهرمان	۱۳۸۴-۱۳۸۹	۳۰۰
	دشت مهیار جنوبی	۲۰۰۳-۲۰۰۶	۸۲
	دشت قره بلاغ فسا	۲۰۰۹	۲۴۰
چین	Changzhou, Peoples Republic of China	۲۰۰۲	۱۰
	Datong, Peoples Republic of China	۲۰۰۴-۲۰۰۸	۲۰
	Tianjin, China	۲۰۰۷-۲۰۱۰	۳۰-۴۰

[1] Leveling
[2] Differential interferometry
[3] Global positioning system

	Guangrao, Yellow River Delta, China	۲۰۰۲-۲۰۰۸	۶۵
	Yunlin, Republic of China	۲۰۰۲-۲۰۰۷	۱۰۰
	Beijing City, China	۲۰۰۳-۲۰۰۹	۱۱۵
امریکا	Phoenix-Scottsdale, Arizona, US	۲۰۰۴-۲۰۱۰	۱۵
	New Orleans, US	۱۹۰۰-۲۰۱۳	۲۶
	Houston-Galveston, Texas, US	۱۹۹۶-۱۹۹۸	۴۰
	Coachella Valley, California, US	۲۰۰۳-۲۰۰۹	۷۰
مکزیک	Toluca Valley, Mexico	۲۰۰۳-۲۰۰۸	۹۰
	Aguascalientes Valley, Mexico	۱۹۹۳-۲۰۰۳	۱۱۱
	Zamora, Mexico	۲۰۰۷-۲۰۱۱	۱۲۸
	West of Villa de Arista, Mexico	۲۰۰۷-۲۰۱۱	۱۸۴
	Mexico City, Mexico	۲۰۰۴-۲۰۰۶	۳۰۰
	Mexico City, Mexico	۲۰۰۲-۲۰۰۷	۳۸۰
هند	Kolkata, India	۱۹۹۲-۱۹۹۸	۶
ژاپن	Tokyo, Japan	۱۹۸۸-۱۹۹۷	۴۰
	Saga Plain, Japan	۱۹۹۴	۱۶۰
	Tokyo, Japan	۱۹۰۰-۲۰۱۳	۲۳۹
ایتالیا	Gioia Tauro plain, Italy	۱۹۹۲-۲۰۰۶	۲۳
	Bologna, Italy	۲۰۰۲-۲۰۰۶	۴۰

۲-۶-۴- خاکهای خورنده

خاکهای خورنده از جمله مخاطرات زمینی می باشند که می توانند بوسیله خوردگی و تحت تاثیر قرار دادن بتن و فلزات مدفون که در تماس مستقیم با خاک یا سنگ بستر هستند، موجب وارد آمدن آسیبهای جدی به تاسیسات زیربنایی (نظیر خطوط لوله انتقال آب، گاز یا نفت) یا پی سازه های متکی بر این نوع خاکها شوند (۲۵۷). خاک به عنوان یک محیط خورنده از پیچیدگی زیادی نسبت به سایر محیط ها برخوردار است. میزان خورندگی در خاک، محدوده بسیار وسیعی دارد و از خوردگی بسیار سریع تا خوردگی قابل اغماض تغییر می کند.

پدیده خوردگی خاک به عنوان یک پدیده پیچیده تحت تاثیر عوامل متعددی می باشد. از مهمترین فاکتورهای درگیر و موثر که در ایجاد خاصیت خورندگی خاک نقش دارند، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تخلخل (یا هوادهی[1]) خاک،
۲- مقاومت یا هدایت الکتریکی خاک،
۳- تمکهای محلول در خاک،
۴- درصد رطوبت، و
۵- pH خاک.

[1]Aeration

براین اســـاس، خورنده ترین خاکها دارای مقادیر بالای درصـــد رطوبت، هدایت الکتریکی، درجه اســـیدی، و نمکهای محلول، می باشند. جدول ۱۹-۲ سطح مناطق پوشیده شده با خاکهای شور در ایران و کشورهای منتخب را نمایش می دهد (۲۵۸).

جدول ۱۹-۲: توزیع خاکهای شور و قلیایی در ایران و کشورهای منتخب

کشور	مساحت (۱۰۰۰ هکتار)		
	خاک شور[1]	خاک سدیمی یا قلیایی[2]	مجموع
ایران	۲۶۳۹۹	۶۸۶	۲۷۰۸۵
چین	۳۶۲۲۱	۴۳۷	۳۶۶۵۸
امریکا	۵۹۲۷	۲۵۹۰	۸۵۱۷
مکزیک	۱۶۴۹	-	۱۶۴۹
هند	۲۳۲۲۲	۵۷۴	۲۳۷۹۶
ایتالیا	۵۰	-	۴۵۰
روسیه	۵۱۰۹۲	۱۱۹۶۲۸	۱۷۰۷۲۰

۲-۶-۵- خاکهای مساله دار

در برخی از توده خاک های زیرسطحی، افزایش رطوبت و یا اشباع شدن نمونه ها موجب بروز پدیده های ویژه ای می شود که بعضاً می توانند منجر به بروز خسارتهای عمده در پروژه های عمرانی گردند. این خاک ها در قالب خاک های مسئله دار طبقه بندی می شوند که مثال های بارز آن خاک های آماسی یا متورم شونده، خاک های واگرا و خاک های رمبنده یا فروریزشی هستند (۲۵۹). همانطور که از نامگذاری خاک های متورم شونده مشهود است، این خاک ها به واسطه جذب آب ازدیاد حجم یافته و اصطلاحاً متورم می شوند. فشار ناشی از تورم این خاک ها می تواند موجب خرابی کامل ساختمان های سبک و یا حداقل اختلال در بهره برداری آنها شود. خاک های واگرا نیز مانند خاک های آماسی در زمره خاک های مشکل آفرین در مهندسی ژئوتکنیک محسوب می شوند. این خاک ها که اکثراً توده های رسی را شامل می شوند، خاک هایی هستند که با جریان آب از درون آن ها به شدت شسته می شوند. در این گونه رس ها، با جریان یافتن آب در ترک های موجود در خاک، ذرات رس از یکدیگر جدا می شوند و همراه با جریان آب از توده خاک خارج می شوند. این پدیده منجر به افزایش سرعت جریان آب و شدت یافتن فرسایش خاک می گردد و در نهایت ممکن است به خرابی کامل سازه منجر شود. البته این پدیده بیشتر در مورد سدهای خاکی، کانال های آبرسانی و خاکریزها اهمیت پیدا می کند و در محیط های شهری کمتر سبب گسیختگی می شود. از سوی دیگر خاک های رمبنده عموماً از خاک های نظیر لس، رس های متخلخل و رسوبات آبرفتی در مناطق کم آب تشکیل شده اند که در شرایط غیراشباع دارای ساختار تقریباً

[1] Solonchak/Saline soil
[2] Solonetz/Sodic or Alkaline soil

پایداری هستند، لیکن وقتی شرایط اشباع رخ می دهد این ساختار از بین رفته و توده خاک ناپایدار می گردد. اصولاً از ساخت وساز در مناطقی که احتمال برخورد با چنین خاک هایی وجود دارد باید اجتناب کرد. گرچه راه حل هایی برای برخورد با معضلات ناشی از وجود خاک های مسئله دار در مهندسی ژئوتکنیک وجود دارد ولی حتی المقدور باید روند توسعه و یا گسترش شهری و یا ساخت وساز جدید را به گونه ای تنظیم نمود که احتمال برخورد با این قبیل خاک ها کم شده و یا به حداقل ممکن برسد.

در جدول ۲۰-۲ سطح تقریبی مناطق پوشیده شده با خاکهای تورمی و خاکهای واگرا در ایران و برخی از کشورهای منتخب ارائه شده است (۲۶۰; ۲۶۱; ۲۶۲; ۲۶۳; ۲۶۴).

جدول ۲۰-۲: توزیع خاکهای متورم شونده و واگرا در ایران و کشورهای منتخب

کشور	سطح موثر (٪)	
	خاک تورمی	خاک واگرا
ایران	-	۰/۴۲
چین	۶	۰/۰۵
امریکا	۲۴	۰/۲۷
مکزیک	۱۲	-
هند	۱۸	۰/۱۷
روسیه	-	۷

۲-۶-۶- فرسایش خاک

نابودی و تخریب خاک بر اثر بارش و عمل آبهای روان مشکلی جهانی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می کند. از این رو، جلوگیری از فرسایش خاک به منظور حفظ این ثروتهای ارزشمند طبیعی موضوعی مهم به شمار می رود. سالیانه مقدار زیادی خاک بوسیله آب شسته شده و از محل اصلی خود جابجا می شود. فرسایش یک فرآیند ژئومورفیک طبیعی است که در طول زمان ناهمواری های سطح زمین را به طو ر پیوسته دستکاری می کند. هرچند که ابعاد سرزمینی این پدیده منحصر به محدوده خاصی نیست، ولی مقدار و شدت آن در کشورهای درحال توسعه به مراتب بیشتر از کشورهای پیشرفته می باشد (۲۶۴). از اقدامات مدیریتی مهم در حفظ زمین و جلوگیری از تلف شدن خاک، مشخص نمودن عوامل موثر بر فرسایش، برآورد میزان فرسایش، و شناسایی پهنه های تحت فرسایش می باشد. در واقع، پیش بینی فرسایش خاک در منطقه و ارزیابی عوامل اصلی فرسایش در محیط، اولین مرحله در انتخاب روشها و راهبردهای مناسب برای کنترل فرسایش خاک در محدوده مورد مطالعه است. اما پدیده فرسایش یکی از پیچیده ترین فرآیندهای طبیعی است که عوامل زیادی در آن دخیل بوده و شناخت کامل همه عوامل موثر در آن، کاری بسیار مشکل است. با این وجود نتایج بررسی های صورت گرفته نشان داده است که از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر فرسایش:

۱- زمین شناسی سطحی
۲- نوع خاک
۳- اقلیم

۴- رواناب
۵- توپوگرافی
۶- پوشش گیاهی
۷- عملیات حفاظتی
۸- کاربری اراضی
۹- وضعیت فعلی فرسایش
۱۰- نیروی فرسایندگی باران

می باشند. بدین ترتیب همانند هر پدیده طبیعی دیگری، با شناخت عوامل موثر بر فرسایش، امکان برآورد میزان آن و اعمال مدیریت مناسب در منطقه وجود دارد. ایران دارای متوسط نرخ هدر رفت خاک[1] معادل ۱۶ تن بر هکتار در سال می باشد، در حالیکه میانگین جهانی حدود ۶ تن بر هکتار در سال می باشد. این بدین معنی است که فرسایش خاک در ایران بیش از ۲/۵ برابر متوسط جهانی است (۲۶۵). بعلاوه، در برخی از کشورهای منتخب شامل چین، امریکا، هند و ایتالیا نیز میزان فرسایش خاک به قرار زیر می باشد:

- متوسط نرخ فرسایش خاک برای کل کشور چین: ۹/۳۹ تن بر هکتار در سال (۲۶۶)،
- متوسط نرخ فرسایش در زمینهای زراعی[2] در امریکا: حدود ۶ تن بر هکتار در سال (۲۶۷)،
- متوسط نرخ فرسایش آبی خاک در ایتالیا: ۸/۴۶ تن بر هکتار در سال (۲۶۸; ۲۶۹)، و
- برمبنای تحلیل تقریبی مقدماتی اطلاعات موجود هدر رفت خاک در هند، متوسط نرخ فرسایش خاک در هند: ۱۶/۴ تن بر هکتار در سال بوده است (۲۷۰; ۲۷۱).

۲-۶-۷- مناطق کارستی

سازندهای کارستی عمدتاً در مناطق با سنگ بستر کربناتی قابل انحلال به وسیله آب با اسیدیته کم شکل می‌گیرند. شکل گیری یک سیمای کارستی متضمن وجود دو عامل است: اول اینکه توده سنگ قابلیت انحلال داشته باشد، و دوم آنکه زمینه تشکیل یک سیستم جریان آب زیرزمینی فراهم گردد (۲۷۲). یکی از جنبه های پژوهشی کارست بررسی مخاطرات سیستم کارست و تهیه نقشه حساسیت آن می باشد. مخاطرات ساختار کارست یک خطر ژئومورفولوژیک جدی است، زیرا می تواند تاسیسات، مناطق مسکونی، دریاچه های طبیعی و غیره را مورد تهدید قرار دهد و موجب نفوذ آلاینده ها به آب های زیرزمینی گردد. برای پهنه بندی تحول و حساسیت کارست لازم است عوامل مؤثر در پیدایش و تحول اشکال کارستی در منطقه مطالعاتی شناسایی شوند. عوامل و فرآیندهای مختلفی تکامل کارست را تحت تأثیر قرار می دهند. توپوگرافی، لیتولوژی و ویژگیهای زمین‌ساختی به عنوان عوامل منفعل عمل می کنند و فرآیندهای دیگری مانند: زمین ساخت فعال، فرآیندهای هیدرولوژیکی (وابسته به اقلیم)، انحلال زیستی (وابسته به محیط زیست) و فرآیندهای ژئومورفولوژی (هوازدگی، شیب، آبراهه ها، یخبندان) به طور فعال در توسعه اشکال کارست نقش دارند. روی هم رفته ۸ عنصر لازم برای ایجاد و توسعه کارست، بارش‌های آسمانی، ناهمواریها، سنگ شناسی، ضخامت لایه‌های کربناتی، کربن، دمای پایین، فشار و

[1] mean soil loss rate
[2] cropland

موقعیت زمین ساختی هستند (۲۷۳; ۲۷۴; ۲۷۵). سازندهای کارستی تقریباً ۲۰ درصد از سطح کره زمین را تشکیل می‌دهند و جمعیت قابل توجه ای از جهان یا بر روی مناطق کارستی زندگی می کنند یا آب مورد نیاز خود را از آن تامین می نمایند. در ایران حدود ۱۱ درصد از کل کشور (قسمت اعظم رشته کوه‌های زاگرس و کپه داغ) از سازندهای کارستی تشکیل شده است (۲۷۶). در دو کشور منتخب امریکا و مکزیک نیز سهم عوارض کارستی به ترتیب حدود ۲۵ و ۲۰ درصد کل کشور می باشد (۲۷۷; ۲۷۸).

۲-۷-روشهای ارزیابی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی و پهنه بندی آنها

۲-۷-۱- انواع نقشه های پهنه بندی

انواع نقشه های پهنه بندی مرتبط با مخاطرات زمینی شامل (۲۷۹):

۱- پهنه بندی وقوع[1]،
۲- پهنه بندی حساسیت[2]، و
۳- پهنه بندی ریسک، خطر یا آسیب پذیری[3]

می شود. مشخصات و ویژگیهای هر یک از این انواع پهنه بندی به قرار ذیل می باشند.

۲-۷-۱-۱- پهنه بندی وقوع

نقشه پهنه بندی وقوع، پراکنش مخاطره زمینی رخ داده در منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. ازاین رو به آن، "نقشه واقعیت زمینی"، "نقشه موجودی"[4]، "نقشه ثبت"، و یا "نقشه پراکنش" نیز گفته می شود. این نقشه، پایه و اساس کار تهیه نقشه پهنه بندی خطر یا حساسیت را تشکیل داده و از آن برای ارزیابی روشهای پهنه بندی نقشه های مذکور استفاده می شود. ارزیابی روشهای پهنه بندی، یک گام بنیادین در توسعه و تعیین کیفیت نقشه های پهنه بندی خطر یا حساسیت است. بطور کلی، نقشه های پهنه بندی را به روشهای مختلفی می‌توان مورد ارزیابی قرار داد. برای مثال، یکی از روشهایی که برای نقشه های پهنه بندی زمین لغزش مورد استفاده قرار می گیرد، بازدید از منطقه در چند سال بعد و مشاهده لغزشهایی است که به تازگی در منطقه رخداده است. این روش زمان بر بوده و عموماً مورد استفاده قرار نمی گیرد. روش دوم، رویهم اندازی نقشه پراکنش مخاطره با نقشه پهنه بندی آن است. بدین ترتیب برای مخاطره ای نظیر زمین لغزش با مشخص شدن تعداد لغزشهایی که در پهنه های مختلف قرار می گیرند، می توان صحت و دقت مدلهای پهنه بندی مورد استفاده و درستی نقشه های تهیه شده براین اساس، را مورد بررسی قرار داد (۲۷۹).

[1]Hazard zonation
[2]Susceptibility zonation
[3]Risk zonation
[4] Inventory map

۲-۷-۱-۲- پهنه بندی حساسیت

حساسیت یک مخاطره نظیر زمین لغزش را می توان احتمال وقوع زمین لغزش در هر مکان براساس ارتباط بین توزیع زمین لغزش ها و فاکتورهای موثر بر آنها تعریف کرد. فرآیندی که در طی آن نقاط مختلف یک منطقه از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش در طبقات مختلف قرار می گیرند، پهنه بندی حساسیت زمین‌لغزش نامیده می شود (۲۸۰). تهیه نقشه های حساسیت بطور چشمگیری برنامه ریزی برای کاربری را بهبود بخشیده و می توان از آنها به عنوان روشی کارامد برای کاهش خسارت های جانی و مالی ناشی از مخاطرات بهره جست. بعبارت دیگر، نقشه حساسیت به طراحان و مهندسان کمک نموده تا برای اجرای طرح های توسعه از این اطلاعات پایه به عنوان گامی مهم در جهت مدیریت خطر ناشی از وقوع مخاطرات و برقراری امنیت زندگی، توسعه زیرساختها و حفاظت محیط زیست استفاده نمایند (۲۸۱).

۲-۷-۱-۳- پهنه بندی ریسک، خطر یا آسیب پذیری

در پهنه بندی ریسک یا خطر یک مخاطره، به بررسی و ارزیابی خسارات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از وقوع آن در یک منطقه معین، طی یکسال پرداخته می شود (۲۷۹). عناصر در معرض خطر شامل افراد، تاسیسات، فعالیتهای اقتصادی و یا اموال عمومی هستند که در معرض خطر خاصی در منطقه قرار دارند. با استفاده از نقشه های پهنه بندی خطر، می توان آسیب پذیری و احتمال زمانی- مکانی برای هر یک از اجزای ریسک را محاسبه نموده و میزان زیان وارده بر افراد و دارایی آنها را ارزیابی نمود. اندازه گیری شدت و یا احتمال وقوع اثرات مخرب یک مخاطره بر سلامتی، جان و مال و یا محیط زیست به صورت زیر تعریف می شود:

- از دست رفتن جان یا زندگی افراد: احتمال زمانی- مکانی وقوع سالانه مخاطره که هر فرد بیشترین خطر را برای از دست دادن جان خود در هنگام وقوع آن دارد.
- از دست رفتن مال و دارایی افراد: احتمال زمانی- مکانی وقوع سالانه مخاطره و میزان آسیب پذیری هر یک از عناصر در معرض خطر.

بنابراین نقشه های آسیب پذیری یا خطر، موقعیت و نسبت مناطقی را که مردم، محیط طبیعی و سایر کالاهای سرمایه ای نسبت به رخداد هرگونه حادثه طبیعی و غیرطبیعی در معرض خطر هستند را، نشان می¬دهند. در واقع این نوع نقشه ها ارتباط بین ریسک و پتانسیل خطر را برقرار نموده و امکان نمایش دیداری آنها را فراهم می سازند؛ از این رو، یکی از مهمترین منابع تصمیم گیری برای مدیریت بحران هستند.

۲-۷-۲- روش های پهنه بندی وقوع

هدف از تهیه نقشه پهنه بندی وقوع، شناسایی و تعیین پهنه هایی است که در آنها مخاطرات زمینی رخ داده است. با توجه به اینکه مخاطراتی همچون: زمین لغزش، فرونشست زمین، خاکهای مساله دار، چاله های کارستی، آتشفشانها، و ... موجب ایجاد تغییراتی در سطح زمین می شوند، لذا جهت پهنه بندی و به نقشه درآوردن مخاطرات مذکور در یک منطقه، می توان از ابزار و اطلاعات زیر استفاده نمود:

۱- مطالعه و بررسی مدارک و منابع موجود، شامل نقشه های توپوگرافی، مدلهای ارتفاعی رقومی[1]، و ...،

[1]Digital elevation model (DEM)

۲- مشاهدات و عملیات صحرایی، شامل: بازدیدهای میدانی، عکسبرداری، نقشه برداری زمینی، انجام مطالعات ژئوتکنیک از طریق نصب ابزار دقیق (نظیر شکاف سنج، انبساط سنج[۱]، انحراف سنج[۲]، پیزومتر، ...)، نمونه گیری و انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و درجا، انجام آزمایشهای ژئوفیزیک، بکارگیری تکنولوژیهای حسگر فیبر نوری[۳] (نظیر FBG[۴]، OTDR[۵]، ROTDR[۶]، BOTDR[۷]، BOTDA[۸]، و BOFDA[۹])، و ...،

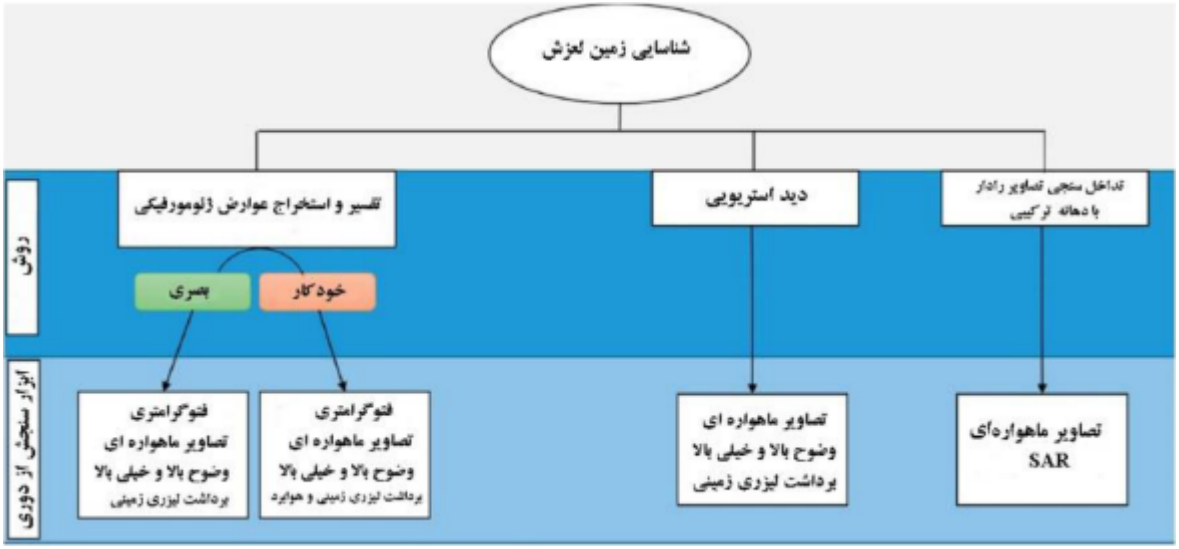
۳- تکنیکهای سنجش از دور، شامل: عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره ای، سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)، اسکن کننده های لیزری (LiDAR)، تداخل سنجی راداری با دریچه مصنوعی (SAR)، و ...، و

٤- سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS).

تمامی روشهای اشاره شده در بندهای ۲ و ۳ فوق قادر هستند جابجایی ها و تغییرشکلهای پوسته زمین را پایش و کنترل نمایند. بدین ترتیب می توان با وارد کردن داده های مکانی حاصل از این روشها در محیط GIS، نقشه پراکنش مخاطرات زمینی رخ داده در یک منطقه را تهیه نمود.

برای مثال، برای تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش در یک منطقه از: مشاهدات صحرایی (شامل برداشت زمین لغزشهای مشاهده شده بر روی زمین با استفاده از دستگاه GPS، عکسبرداری از زمین لغزشهای رخ داده، ...)، نقشه های رقومی ارتفاعی زمین، داده های سنجش از دور حاصل از تکنیکهای تداخل سنجی راداری، عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره ای، و ...، و در نهایت وارد کردن اطلاعات مختصات نقاط لغزشی در محیط GIS جهت تهیه نقشه، کمک گرفته می شود. در شکل ۵-۲ نمایی کلی از فن آوری های سنجش از دور مورد استفاده برای تهیه نقشه ثبت زمین لغزش، و در جدول ۲۱-۲ طبقه بندی سابقه تحقیق براساس فن آوری های مربوطه، ذکر گردیده است.

[1]Extensometer
[2] Inclinometer
[3] Fiber optic sensing (FOS) technologies
[4] Fiber Bragg grating (FBG)
[5] Optical time domain reflectometry (OTDR)
[6] Raman optical time domain reflectometry (ROTDR)
[7] Brillouin optical time domain reflectometry (BOTDR)
[8] Brillouin optical time domain analysis (BOTDA)
[9] Brillouin optical frequency domain analysis (BOFDA)



شکل ۵-۲: نمایی از فن آوری های سنجش از دور مورد استفاده در شناسایی زمین لغزش (۲۸۲)

جدول ۲۱-۲: سابقه تحقیق دسته بندی شده براساس فن آوری های سنجش از دور مورد استفاده برای شناسایی زمین لغزش (۲۸۲)

شناسایی زمین لغزش			
روش		ابزار سنجش از دوری	محققین
تفسیر بصری و استخراج عوارض ژئومورفیک	غیر خودکار	فتوگرامتری هوایی و تصاویر ماهواره ای وضوح بالا و خیلی بالا	Marcelino *et al.* 2009 ; Tsai *et al.* 2010 ; Gao & Maroa, 2010 ; Fiorucci *et al.* 2011 ; Ghosh *et al.* 2012 ; Murillo-García *et al.* 2014 ; Dagdelender *et al.* 2014 ; Othman & Gloaguen, 2013
		برداشت لیزری	Agliardi *et al.* 2009 ; Corsini *et al.* 2009 ; Oppikofer *et al.* 2009
	نیمه خودکار/خودکار	فتوگرامتری هوایی	Eisenbeiss, 2008 ; Rau *et al.* 2011 ; Wiegand *et al.* 2013
		تصاویر ماهواره ای وضوح بالا و خیلی بالا	Cheng *et al.* 2004 ; Barlow *et al.* 2006 ; Moine *et al.* 2009 ; Blaschke, 2010 ; Lu *et al.* 2011 ; Mondini *et al.* 2011 ; Lacroix *et al.* 2013
		برداشت لیزری هوایی	Chigira *et al.* 2004 ; Glenn *et al.* 2006 ; Ardizzone *et al.* 2007 ; Borlat *et al.* 2007 ; Sato *et al.* 2007 ; Van Asselen & Seijmonsbergen, 2007 ; Booth *et al.* 2009 ; Kasai *et al.* 2009 ; Bull *et al.* 2010 ; Huat *et al.* 2012 ; Rau *et al.* 2012 ; Tarolli *et al.* 2012
		برداشت لیزری زمینی	Rosser *et al.* 2005 ; Lim *et al.* 2005 ; Squarzoni *et al.* 2008 ; Oppikofer *et al.* 2009 ; Abellán *et al.* 2010 ; Stock *et al.* 2011 ; Jaboyedoff *et al.* 2012 ; Longoni *et al.* 2012 ; Viero *et al.* 2012 ; Pesci *et al.* 2012
دید استریویی		تصاویر ماهواره ای وضوح بالا و خیلی بالا	Haeberlin *et al.* 2004 ; Bajracharya & Bajracharya, 2008 ; Alkevli & Ercanoglu, 2011
تداخل سنجی راداری با دهانه ترکیبی		تداخل سنجی راداری با دهانه ترکیبی فضابرد	Ferretti *et al.* 2001 ; Farina *et al.* 2006 ; Reidel & Walter, 2008 ; Guzzetti *et al.* 2009 ; Lauknes *et al.* 2010 ; Yonezawa *et al.* 2012 ; Hölbling *et al.* 2012 ; Lu *et al.* 2012 ; Righini *et al.* 2012 ; Lu *et al.* 2014

در ادامه، تعدادی از تکنیکهای اشاره شده در بندهای ۱ تا ۴ برای تهیه نقشه پراکنش مخاطرات زمینی، بطور مختصر مورد بررسی قرار می گیرند.

۲-۷-۲-۱- نقشه برداری زمینی و ترازیابی دقیق[1]

ترازیابی (یا تعیین اختلاف ارتفاع بین دو یا چندین نقطه نسبت به هم یا نسبت به یک سطح مبنای معین) با استفاده از دستگاههای مختلف و با روشهای گوناگون صورت می گیرد (۲۸۳). ترازیابی دقیق یکی از قدیمی ترین و با دقت ترین ابزارهای ژئودتیکی اندازه گیری تغییرشکل ارتفاعی است. این شیوه ترازیابی که با استفاده از دوربین های ترازیاب ویژه (شکل ۶-۲) انجام می شود، از جمله متداولترین روشها در اجرای طرحهای عمرانی می باشد. اجرای پروژه هایی نظیر تهیه پروفیل های طولی مسیر رودخانه ها، راهها، خطوط انتقال نیرو، و ... نیازمند کار ترازیابی می باشند. علاوه بر این از این روش در اجرای شبکه های ترازیابی سراسری کشوری و ایجاد نقاط پایه (کنترل زمینی) برای تبدیل عکسهای هوایی و ماهواره ای به نقشه استفاده می گردد. از معایب روش ترازیابی دقیق این است که اجرای آن بسیار زمانبر و پر هزینه می باشد.



شکل ۶-۲: نمایی دوربینN3:دوربین مورد استفاده در عملیات ترازیابی دقیق (۲۸۳)

۲-۷-۲-۲- سنجش از دور[2]

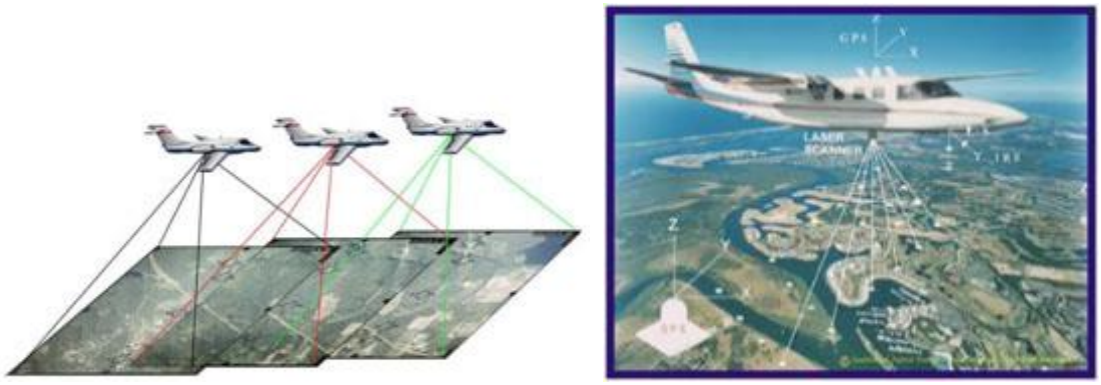
عمل بازیابی، شناسایی و تشخیص عوارض از فاصله دور، علم و هنر سنجش از دور یا دورکاوی نامیده می‌شود. این فن آوری شامل اندازه گیری و ثبت انرژی بازتابی یا منتشر شده الکترومغناطیسی از سطح زمین، توسط سنجنده[3] نصب شده بر روی هواپیما و یا ماهواره، و ربط دادن اندازه های بدست آمده به ماهیت و پراکندگی مواد سطح زمین است (۲۸۴). علم و هنر سنجش از دور یا دست یابی به اطلاعات از راه دور، امکان پردازش و تفسیر عکسها و تصاویری را که از دور با هواپیما یا ماهواره از مناطق مختلف زمین برداشت می شوند را فراهم ساخته، و مارا قادر می‌سازد به اطلاعات مناسب و قابل اعتماد در کمترین زمان و با حداقل هزینه دست یابیم؛ بعلاوه، در دوره های زمانی مختلف از تغییرات در پدیده های مورد نظر آگاهی یافته و اطلاعات را به روز و بهنگام نماییم. فن

[1]Precise leveling
[2]Remote sensing
[3]Sensor

آوری سنجش از دور با توسعه روشها و الگوریتم های ویژه در کاربردهای گوناگون، هر روزه در حال پیشرفت بوده و ابزار مناسبی را برای اجرای مطالعات فراهم آورده است. بسیاری از مطالعات بر پایه استفاده از تکنیکهای سنجش از دور اجرا می گردند. امروزه تکنولوژی سنجش از دور نقش بسیار مهمی در مطالعات زمین شناسی، پایشهای زیست محیطی، اکتشاف منابع آبهای زیرزمینی و مدیریت سوانح طبیعی برعهده دارد. از کاربردهای سنجش از دور می توان به کاربرد در هواشناسی، منابع آب (آلودگی، کمیت، رطوبت، مطالعات برف، و ...)، تهیه نقشه کاربری اراضی، ارزیابی روند تغییرات در پدیده های مختلف، اندازه گیری پارامترهای کیفی و کمی پوشش گیاهی، و بررسی این تحلیلها در کابردهای موثر مدیریت بحران مانند مدیریت سیل اشاره نمود.

۲-۷-۲-۳- عکسهای هوایی

عکسبرداری هوایی، اولین شیوه سنجش از دور به شمار می آید. این شیوه عبارت است از اخذ تصاویر از جایگاهی بالای سطح زمین با یا بدون تماس با شیء مورد نظر (شکل ۷-۲). عکسهای هوایی برای تحقیق و بررسی و شناسایی، و همچنین ارائه و تولید نقشه مورد استفاده واقع می شوند. این عکسها را می توان به حالت سیاه و سفید یا رنگی یا به صورتهای مختلفی چون شکلهای رقومی یا کاغذی یا به صورت فیلمهای مثبت و منفی تهیه کرد (۲۸۴).

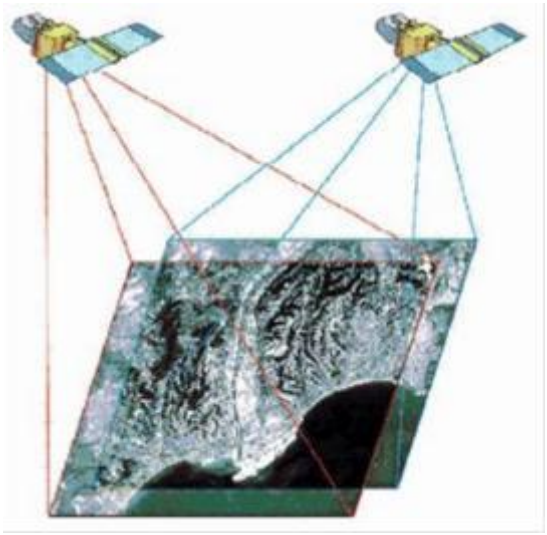


شکل ۷-۲: هواپیمای عکسبرداری هوایی (۲۸۵)

از روی عکسهای هوایی می توان اطلاعاتی درباره کاربرد زمین، گونه گیاهی، سطوح رطوبت یا دما، یا سایر جنبه های منظر را انتزاع نمود. عکسهای هوایی به ویژه برای کنترل تغییرات مناسب اند. با تفسیر متوالی عکس های هوایی می توان زمان حوادثی مانند طغیان های بزرگ را، که موجب تغییر در منظر می شوند، تعیین نمود.

۲-۷-۲-٤- تصاویر ماهواره ای

تصاویر ماهواره ای به وسیله سنجنده های[1] موجود در ماهواره ها تهیه می شوند (شکل ۸-۲). سپس بصورت مجموعه ای از سیگنالهای الکترونیک، با رایانه پردازش می شوند تا تصاویر مورد لزوم را تولید کنند و با ارسال به زمین در اختیار استفاده کنندگان در بخشهای مختلف قرارگیرند (۲۸۴).



شکل ۸-۲: تصویر برداری ماهواره ای (۲۸۶)

سنجش از دور کره زمین توسط ماهواره های بدون سرنشین در آوریل ۱۹۶۰ با پرتاب ماهواره TIROS آغاز شد. TIROS اولین ماهواره از مجموعه ماهواره های مطالعات هواشناسی به شمار می رود. از آن زمان تا کنون تعداد بیشمار دیگری از ماهواره ها برای تحقیقات دورسنجی زیست محیطی، پایش های محیطی و مدیریت بحران به فضا پرتاب شده اند که می توان به ماهواره های GEOES، METOSAT، سری ماهواره های LANDSAT، SPOT، NOAA، TERRA، IKONOS و QuickBird اشاره نمود.

برخی از ماهواره ها مانند LANDSAT و SPOT به این شیوه عمل می کنند که در یک دوره زمانی، پوششی متناوب از هر ناحیه ارائه می دهند. سنجنده های روی این ماهواره ها تشعشعات رمین را در قسمتهای مختلف طیف الکترومغناطیسی بازمی یابند و عملکردشان فقط به بخشهای فیلم مشاهده با چشم انسان منحصر نمی شود.

چهار ویژگی در مورد تصاویر حاصل شده از ماهواره ها، کاربرد و توانمندی آنها را در تشخیص پدیده ها تعیین می نماید. این چهار ویژگی عبارتند از:

- قدرت تفکیک مکانی[2]: اندازه پیکسلها یا حداقل سطح برداشت داده ها از زمین (حداقل مساحت قابل تشخیص)

[1]Sensors
[2]Spatial resolution

- قدرت تفکیک طیفی[1]: تعداد باندهای طیفی برداشت شده توسط سنجنده که در تشخیص رفتار طیفی پدیده ها موثر است.
- قدرت تفکیک رادیومتریک[2]: تعداد گامها (بین حداقل و حداکثر میزان ممکن) یا حالتهای قابل اندازه گیری برای ثبت میزان انرژی باز تابی در یک باند طیفی
- قدرت تفکیک زمانی[3]: حداقل دوره زمانی که آن نوع تصویر می تواند از منطقه مورد نظر، مجدداً برداشت گردد.

در هر مطالعه، بر حسب کاربرد و ماهیت پدیده های مورد نظر برای تشخیص و در نهایت مقیاس مطالعه، تصویر و یا ترکیبی از چند نوع تصویر انتخاب می گردد.

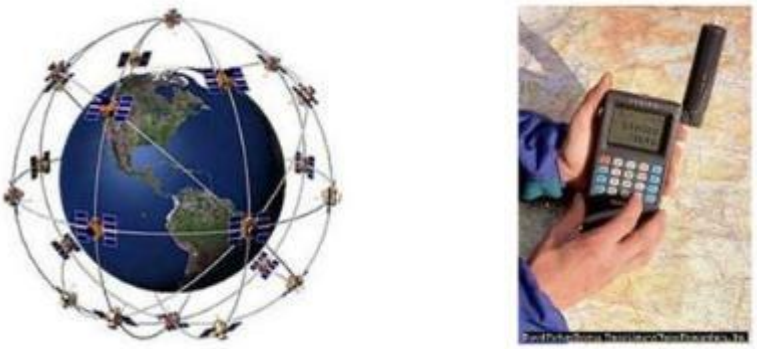
تصاویر حاصل از ماهواره ها را می توان برای مشاهدات مناطق وسیعی که دسترسی به آنها در سطح زمین دشوار است و نیز برای پایش تغییرات در توزیع منابع طبیعی در سرزمین بکار برد.

از جمله کاربردهای موثر این داده ها می توان به تاثیر عمیق آنها در شناخت و ارزیابی تغییرات فیزیکی سطح زمین اشاره نمود. داده های ماهواره ای از ویژگی هایی بسیار مناسب برخوردارند بطوریکه می توان در برنامه ریزیهای توسعه، مطالعات بحران و سوانح طبیعی، آنها را مورد استفاده قرار داد. از امتیازات این داده‌ها، تکراری بودن اطلاعات و تصویربرداریهای مکرر از مناطق مختلف است که موضوع بررسی تغییرات پدیده‌های مختلف زمینی و کنترل آنها در طول زمان را ممکن می سازد.

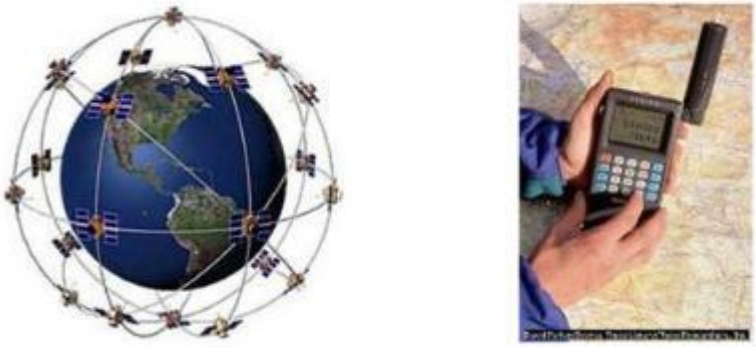
۲-۷-۲-۵- سیستم موقعیت یاب جهانی[4] (GPS)

سیستم موقعیت یاب جهانی یک سیستم ناوبری رادیویی است که شامل شبکه ایی از ۲۴ ماهواره در مدار زمین و پشتیبانی زمینی می باشد. سیستم های موقعیت یاب جهانی اطلاعات دقیقی را در خصوص موقعیت (طول و عرض جغرافیایی و نیز ارتفاع نقاط)، حرکت یا سرعت، و زمان دقیق، در طول شبانه روز و در هر جایی از جهان و در هر شرایط آب و هوایی برای کاربران فراهم می کنند. گیرنده GPS اطلاعات موقعیت را با مقایسه زمانی که طول می کشد سیگنالهای سه یا چهار ماهواره متفاوت به گیرنده برسند، محاسبه می‌کند. در واقع GPS موقعیت را با محاسبه اختلاف بین زمانی که یک سیگنال از ماهواره ارسال می شود و زمانی که آن سیگنال دریافت می گردد، تعیین می نماید.

[1] Spectral resolution
[2] Radiometric resolution
[3] Temporal resolution
[4] Global positioning system (GPS)



شکل ۹-۲). بدین ترتیب، سیستم موقعیت یاب GPS، نقشه برداری زمین به زمین را به اندازه گیری زمین به فضا تغییر داده است (۲۸۷).



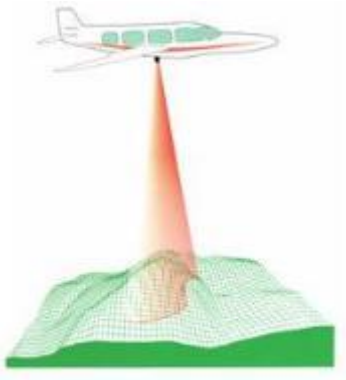
شکل ۹-۲: گیرنده و ماهواره های سامانه موقعیت یاب جهانی (GPS) (۲۸۷)

داده های بدست آمده و موجود در دستگاه GPS را می توان از طریق کابل ارتباطی به کامپیوتر منتقل کرده و نیز اطلاعات و داده ها را از کامپیوتر به دستگاه انتقال داد. اطلاعات دریافت شده را می توان در نرم‌افزارهای پیشرفته ای از قبیل سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار داد.

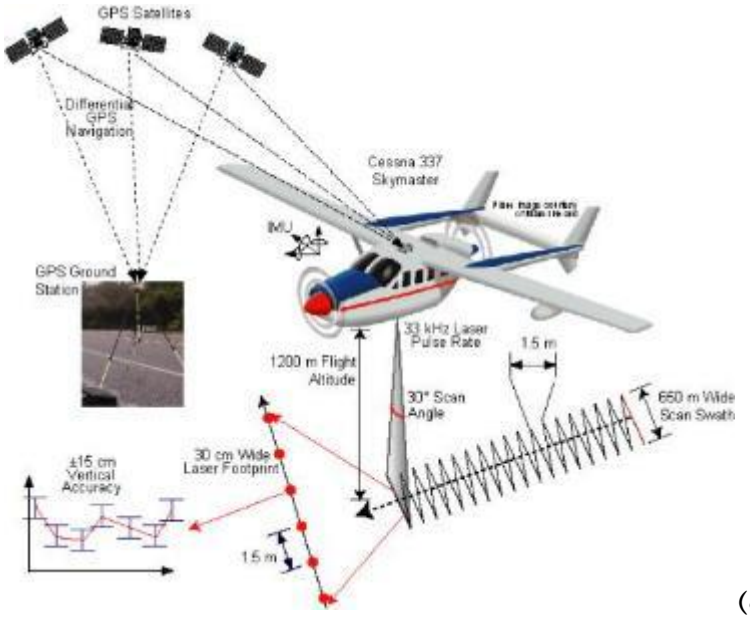
۲-۷-۲-۶- اسکن کننده لیزر هوایی LiDAR[1]

یک توسعه جدید در تکنولوژی نقشه برداری و نقشه کشی فتوگرامتری جهت استخراج ارتفاع زمین، استفاده از LiDAR می باشد. شیوه متداول آن، بویژه در کشورهای توسعه یافته، بدین صورت است که از پالسهای لیزری جهت تعیین مسافت تا یک شیء یا سطح استفاده می شود. برای این منظور، اسکنر لیزری و دوربین دیجیتال بر روی یک هواپیما و یا یک هیلکوپتر نصب شده، سپس لیزر با یک فرکانس مشخص از هوا به زمین رسیده و زمان بازگشت سیگنال به هواپیما ثبت می شود. سیگنالهای برگشتی رقومی می باشند و بدین ترتیب امکان نمایش سه بعدی رقومی سطح زمین فراهم می شود (شکل ۱۰-۲). می توان گفت که LiDAR از لحاظ اصول، مشابه با مدل ارتفاعی رقومی (DEM) می باشد (۲۸۷).

[1]Light detection and ranging



الف)



ب)

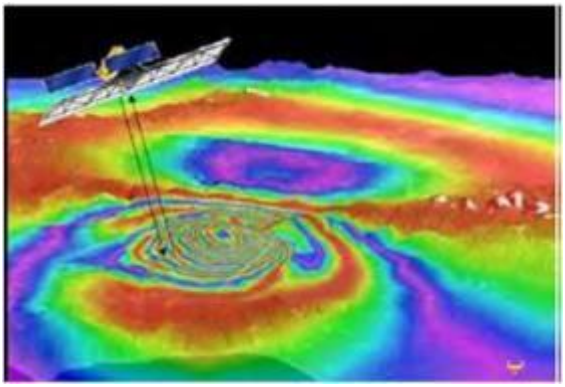
شکل ۱۰-۲: الف) نقشه برداری با سیستمهای اسکن کننده لیزری، ب) نحوه عملکرد اسکن کننده لیزر هوایی LiDAR **(۲۸۶; ۲۸۷)**

اسکن کننده لیزر هوایی LiDAR یک تکنیک سنجش از دور بسیار موثر و دقیق، و برای کشورهای پیشرفته، یک شیوه جمع آوری داده کم هزینه است. علاوه بر اسکن کردن لیزری از طریق پرواز هوایی با استفاده از هواپیما

یا هلیکوپتر، برای مدلسازی سه بعدی دقیقتر عوارض (برای مثال مدلسازی شهر با جزئیات بیشتر در GIS)، می توان از شیوه های زمینی اسکن لیزری، نظیر استقرار دستگاه اسکن کننده لیزری بر روی سه پایه ثابت[1] و یا استقرار دستگاه بر روی ماشین یا بعضاً قطار (شیوه متحرک[2]) نیز، استفاده نمود.

۲-۷-۲-۷- تداخل سنجی رادار دریچه مصنوعی[3]

از روش تداخل سنجی راداری به عنوان روشی قابل اطمینان برای اندازه گیری تغییرات سطح زمین با دقت بسیار بالا، پوشش وسیع و قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده می گردد (شکل ۱۱-۲).



شکل ۱۱-۲: کاربرد روش تداخل سنجی راداری در پایش پدیده فرونشست زمین (۲۸۸)

با استفاده از تصاویر راداری می توان مدل ارتفاعی رقومی و یا نقشه جابجایی سطح زمین را تهیه کرد. تکنیکی که برای استخراج این اطلاعات مکانی به کار می رود تحت عنوان تداخل سنجی شناخته می شود که در آن اختلاف فاز بین دو یا چند تصویر SAR محاسبه شده و این اختلاف فاز به توپوگرافی و یا جابجایی های سطحی نسبت داده می شود (Placeholder2). تداخل سنجی رادار دریچه مصنوعی یا به اختصار InSAR یک تکنیک سنجش از دور است که به منظور مطالعه حرکات سطح زمین در زمین لرزه ۱۹۹۲ لندرز کالیفرنیا ابداع شد. در تکنیک InSAR، دو یا چند تصویر SAR برای تولید مدل ارتفاعی رقومی[4] یا تهیه نقشه جابجایی سطح زمین[5] به کار می روند. در این تکنیک، اختلاف فاز بین دو موج متفاوت اندازه گیری شده و این اختلاف فاز به تغییر فاصله بین سنجنده و نشانه[6] یا جابجایی سطح زمین نسبت داده می شود. تصاویر SAR جابجایی سطح زمین را در راستای خط دید ماهواره به دست می دهند؛ اما با استفاده از تصاویر SAR که در دو حالت صعودی[7] و

[1] Static tripod
[2] Mobile
[3] Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)
[4] Digital Elevation Model (DEM)
[5] Surface Deformation Map
[6] Target
[7] Ascending

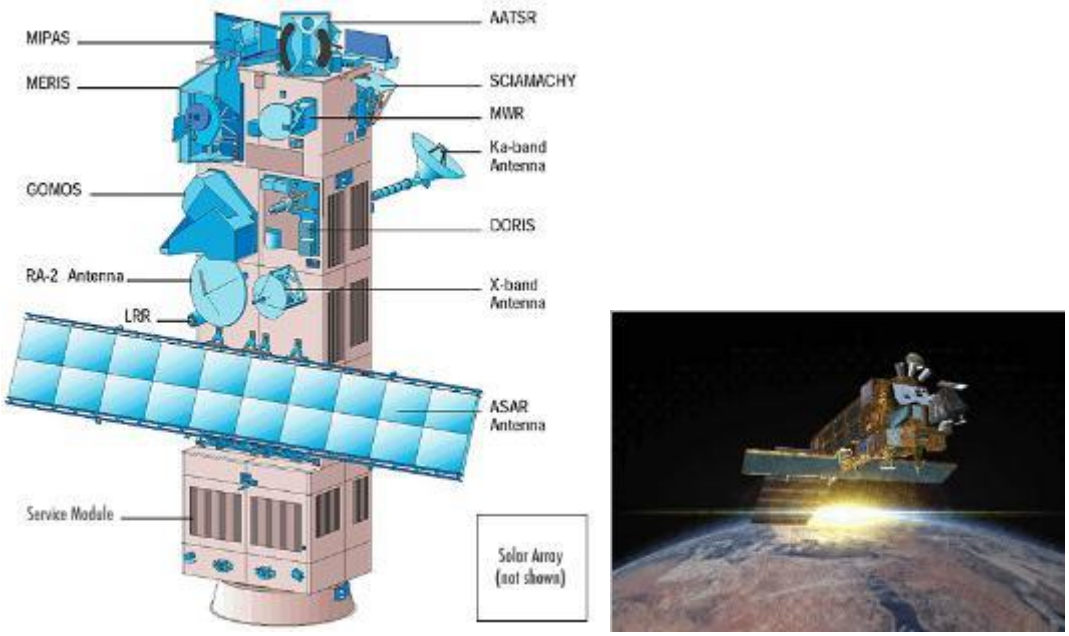
نزولی[1] تهیه شده اند، امکان اندازه گیری جابجایی های سطح زمین در سه راستای قائم، شمالی و شرقی فراهم می شود.

در جدول ۲۲-۲ لیستی از ماهواره های موجود و طراحی شده که از فناوری تداخل سنجی راداری استفاده می کنند، ارائه شده است. شکل ۱۲-۲ نیز تصویر یکی از این ماهواره ها را نمایش می دهد.

جدول ۲۲-۲: فهرست ماهواره های موجود و طراحی شده که از فن آوری InSAR استفاده می کنند (۲۹۰)

نام اختصاصی ماهواره	نام ماهواره/آژانس فضایی	دوره فعالیت	باند	دوره تکرار مداری/روز	تکنیک تصاویر InSAR به متر	دقت قائم مدل (ارتفاعی) بدست آمده	زاویه تابش به درجه	امکان ثبت داده ها بصورت On-board
SEASAT	NASA	۱۹۷۸	L	۳			۲۳	ندارد
ESR-1	European Remote Sensing Satellite 1/ESA	۱۹۹۱–۲۰۰۰	C	۱۶۸،۳۵،۳	۲۵	۵	۲۳	ندارد
ESR-2	European Remote Sensing Satellite 2/ESA	۱۹۹۵– تاکنون	C	۳۵	۲۵	۵	۲۳	ندارد
JERS-1	Japanese Earth Remote Satellite 1/National Space Development Agency of japan	۱۹۹۲–۱۹۹۸	L	۴۴	۲۴×۱۸	۶۰	۳۵	دارد
RADARSAT-1	Canadian Space Agency	۱۹۹۵– تاکنون	C	۲۴	۲۵&۱۰	۱۰	متغیر	دارد
SIR-C	Shuttle Imaging Radar C/NASA/ASI	۱۹۹۴	X,C, L	متغیر	۲۰ – ۱۰	۱۶	متغیر	دارد
ENVISAT	ESA	۲۰۰۲– تاکنون	C	۳۵	۳۰		متغیر	دارد
SRTM	Shatlle Radar Topography Mission/JPL/NASA/NIMA/DLR/ASI	۲۰۰۰	C	۳۵	۲۰	۱۶	Wide swath	دارد
RADARSAT-2	Canadian Space Agency	۲۰۰۶–۲۰۱۱	C	۲۴	۲۵&۱۰	۱۰		دارد
ECHO ELsie	Earth Change and Hazard Observatory	۲۰۰۳	L,C	۳۵ ،۸ ،۳			متغیر	دارد
ALOS	Advanced Land Observation Satellite/ JAPAN Aerospace EXploration Agency	۲۰۰۴	L	۴۶	۲/۵		متغیر	دارد
SAR - Lupe	Federal ministry of Defeuce (BMVg), Germany	۲۰۰۶–۲۰۱۶	X		۱			دارد
TerraSAR-X	Infoterra GmbH	۲۰۰۶	X	۱۱	۱			دارد
SAOCOM	Argentinean Space Agency (CONAE)	۲۰۰۸–۲۰۱۲	L	۱۶	۷		متغیر	دارد
Tandem-X	German Anospace Center	۲۰۰۸–۲۰۱۲	X	۶۰ ،۳۰	۵		۴۰–۲۵	دارد
TerraSAR-L	Infoterra GmbH/ESA	۲۰۱۰	L		۹ – ۵			دارد

[1] Descending



شکل ۱۲-۲: ماهواره ENVISAT که متعلق به آژانس فضایی اروپا[1] بوده و از آن برای نقشه برداری و اندازه گیری تغییرمکان استفاده شده است (۲۹۱)

۲-۷-۲-۸- سیستمهای اطلاعات جغرافیایی[2] (GIS)

سیستمهای اطلاعات جغرافیایی، پاسخی به نیاز اساسی کاربران به اطلاعات مکانی و راه حلی در رفع تنگناهای ذخیره سازی، بازیابی، و به اشتراک گذاری اینگونه اطلاعات هستند. در این سیستمها بوسیله ذخیره سازی داده های مکانی همراه با داده های توصیفی، امکان ایجاد پایگاه اطلاعات جغرافیایی فراهم می‌گردد. با استفاده از این پایگاه اطلاعاتی، می توان ارتباط میان داده های مکانی و توصیفی را برقرار نمود و امکان انتصاب اطلاعات بر روی نقشه های مختلف اجرایی، پژوهشی، برنامه ریزی و غیره را بوجودآورد (۲۸۴). یک سیستم اطلاعات جغرافیایی، از یکسو مراحل جمع آوری، ذخیره سازی، و بازیابی داده ها را سرعت و بهبود می بخشد و این داده ها را بین کابران مختلف به اشتراک می گذارد، و از سوی دیگر، بسیاری از تحلیلها و نیازمندیهایی را که در حال حاضر به سختی و با صرف زمان زیاد قابل انجام هستند را با سرعت و کارایی بیشتری به انجام می رساند. بدین ترتیب، GIS در واقع یک مجموعه کامپیوتری است که برای جمع آوری، ذخیره سازی، تجزیه و تحلیل، و نمایش داده هایی استفاده می شود که موقعیت جغرافیایی آنها یک مشخصهٔ اصلی و مهم محسوب می شود. این سیستم کامپیوتری بوسیله متصل کردن این داده های مکانی به جداول مربوط به اطلاعات توصیفی آنها، کابران را در مدیریت داده ها، حل مشکلات پیچیده و تصمیم گیری یاری می رساند.

سیستمهای اطلاعات مکانی، در حالت کلی سه جزء اصلی دارند:

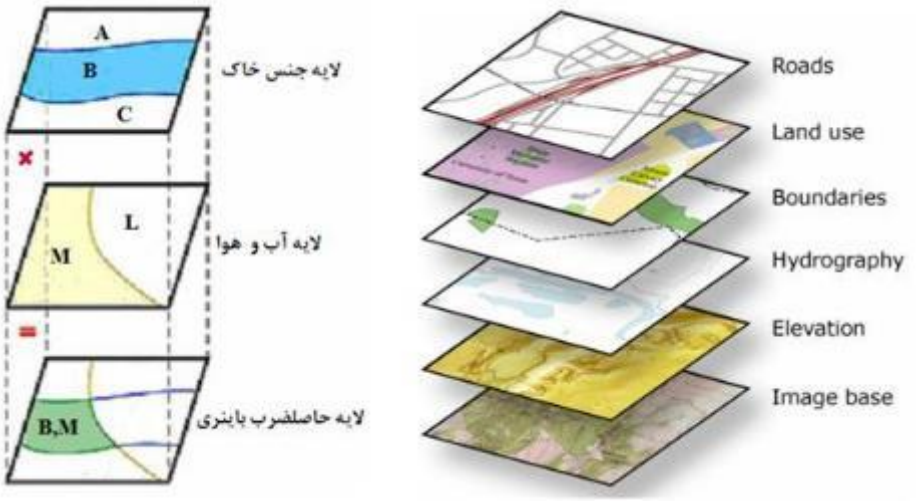
۱) سخت افزار،

۲) نرم افزار، و

[1] European Space Agency (ESA)
2Geograpgic information systems (GIS)

۳) داده ها.

داده ها در سیستمهای اطلاعات مکانی به دو دسته داده های مکانی و داده های غیرمکانی (توصیفی) تقسیم می شوند. داده های مکانی، داده هایی هستند که به یک مکان خاص اشاره می کنند و از نقشه برداری زمینی (با تئودولیت، ...)، تکنیکهای سنجش از دور (شامل عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره ای، داده های GPS، نقشه برداری با سیستمهای اسکن کننده لیزر، و ...)، مدلهای رقومی زمین و نقشه های موجود، و ... بدست می آیند. داده های توصیفی نیز آن دسته از داده ها هستند که مشخصات و توصیفات داده های مکانی را در خود حفظ می کنند. این اطلاعات از مراجعه حضوری، و یا استخراج از سایر مدارک و منابع موجود قابل دستیابی هستند. وجه تمایز یک سیستم اطلاعات مکانی با سایر سیستمهای اطلاعاتی، یکی مکان مرجع بودن داده های آن، و دیگری، وجود ارتباط بین داده های مکانی و توصیفی است. همانطور که در سیستمهای اطلاعاتی، داده ها در جداول مختلف ذخیره می شوند، داده های مکانی موجود در سیستمهای اطلاعات مکانی نیز به منظور افزایش کارایی و قابلیتهای عملیاتی آنها، در لایه های مختلف نگهداری می شوند (شکل ۱۳-۲). هر یک از لایه های اطلاعاتی، یکی از انواع داده ها را ذخیره می کنند و این لایه ها در تعامل با هم، امکان انجام تجزیه و تحلیلهای مختلف را فراهم می نمایند (شکل ۱۳-۲ب).



شکل ۱۳-۲: الف) لایه های اطلاعاتی در GIS، ب) ترکیب لایه های مختلف با هم (۲۸۶)

۲-۷-۳- روش های پهنه بندی حساسیت و ریسک

۲-۷-۳-۱- زلزله

تحلیل خطر زمین لرزه روشی جهت بدست آوردن تخمینی کمی از زلزله های آینده و خطرات لرزش زمین در یک محل بخصوص می باشد. در تحلیل خطرپذیری لرزه ای از پارامترهائی همچون فاصله، بزرگا، روابط کاهندگی، شرایط خاک محلی و ... استفاده شده و پارامتر مشخصی از حرکت زمین (مثل شتاب) در سایت مورد نظر پیش

بینی می شود (۲۹۲). برآورد خطر زمین لرزه و پهنه بندی لرزه ای معمولاً به دو روش تعینی[1] و احتمالاتی[2] انجام می گیرد. در روش تعینی همه پارامترها از جمله بزرگای تولید شده در چشمه و فاصله از سایت به طور قطعی انتخاب شده و سپس تحلیل خطر انجام می گیرد. اما در صورتی که بخواهیم عدم قطعیت ها را در عوامل فوق بپذیریم و تحلیل را با درنظرگرفتن موارد غیرقطعی انجام دهیم، باید از روش دوم یعنی روش احتمالاتی استفاده شود. از آنجائیکه زلزله و پدیده های مربوط به آن فرآیندهایی غیر قطعی می باشند، لذا روش احتمالاتی نتایج قابل استنادتری را عرضه می کند؛ اما بدیهی است که حجم داده ها و زمان لازم برای انجام این روش بیشتر از روش تعینی خواهد بود. در ادامه، هر یک از این دو روش به تفکیک و بطور مختصر معرفی می شوند.

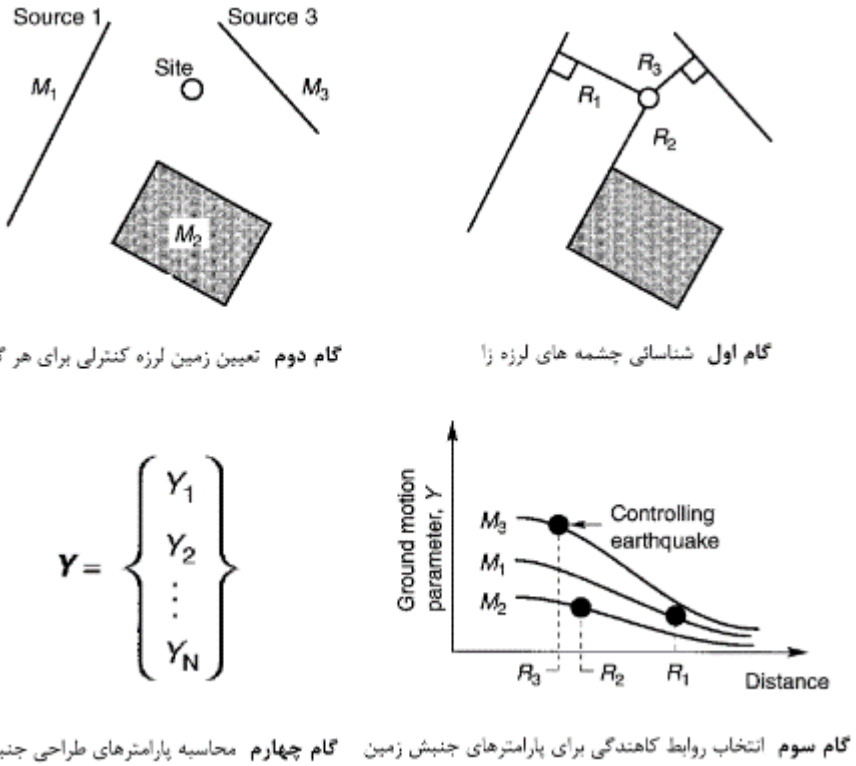
۲-۷-۳-۱-۱- تحلیل خطر تعینی

در تحلیل خطر تعینی، رخداد خاصی از زلزله براساس گسل مسبب و فاصله از ساختگاه براساس قضاوت کارشناسانه انتخاب شده و با بهره‌گیری از یک یا چند رابطه کاهندگی انتخابی مقدار پارامترهای جنبش زمین برآورد می شوند. همانطور که در شکل ۱۴-۲ نشان داده است، تحلیل خطر به روش تعینی از چهار گام اصلی تشکیل می شود (۲۹۲):

۱- شناسایی چشمه های لرزه ای (یا مؤثرترین چشمه لرزه ای در ایجاد خطر) و تعیین فاصله ساختگاه ازچشمه لرزه ای (R)،
۲- تعیین بزرگای زلزله محتمل در پهنه یا ساختگاه مورد نظر (M)،
۳- انتخاب رابطه کاهندگی سازگار با ساختگاه مورد بررسی، و
٤- محاسبه شتاب زلزله (PGA) یا طیف شتاب.

با توجه به عدم قطعیتهای متنوعی که در پارامترهای تحلیل خطر وجود دارد، تعیین این رخداد غالب، کار چندان ساده ای نیست و مستلزم قضاوت مهندسی است. به عنوان یک پیشنهاد، می توان رخداد غالب حاصل از تحلیل تفکیک خطر را به عنوان رخداد انتخابی در تحلیل تعینی لحاظ نمود.

[1] Deterministic seismic hazard analysis (DSHA)
[2] probabilistic seismic hazard analysis (PSHA)



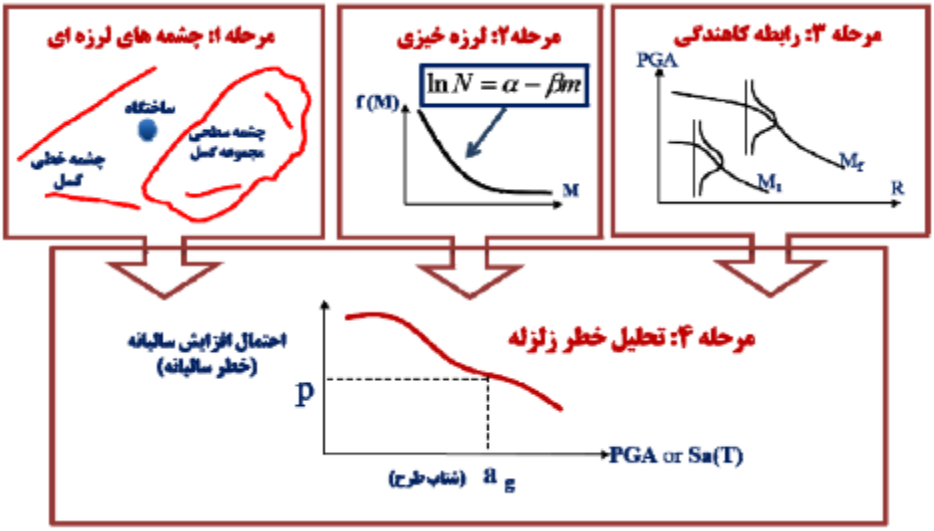
شکل ۱۴-۲: گام های روش تحلیل خطر تعینی (۲۹۲)

۲-۷-۳-۱-۲- تحلیل خطر احتمالاتی

در تحلیل خطر با روش احتمالاتی برخلاف روش تعینی پارامترهای مورد استفاده به صورت توابع احتمالاتی معرفی می گردند. بکارگیری توابع احتمالاتی امکان درنظرگرفتن عدم قطعیت در زمان، مکان و بزرگای زمینلرزه‌ها را فراهم می نماید. تحلیل خطر با روش احتمالاتی را نیز می توان طی یک فرآیند چهار مرحله ای شبیه آنچه در تحلیل خطر تعینی اشاره شد، در نظر گرفت (شکل ۱۵-۲). بدین ترتیب مراحل انجام تحلیل خطر به شرح زیر خواهد بود (۲۹۳):

۱- شناسایی چشمه های لرزه زا و محاسبه چگالی احتمال فاصله ساختگاه تا هر یک از چشمه های لرزه زا،
۲- محاسبه چگالی احتمال بزرگای زمین لرزه ها برای هر یک از چشمه های لرزه زا،
۳- انتخاب روابط کاهندگی مناسب با درنظرگرفتن عدم اطمینان در برآورد پارامتر جنبش شدید زمین، و
٤- محاسبه احتمال افزایش بصورت تابعی از میزان پارامتر جنبش شدید.

بنابراین، در این روش نخست پارامترهای لرزه ای در گستره نزدیک طرح براساس فهرست زمینلرزه های رخ داده و پیشینه لرزه‌خیزی منطقه محاسبه می گردد؛ سپس با ترکیب دوره بازگشت بزرگاهای مختلف و بکارگیری رابطه کاهندگی در مدل احتمالاتی وقوع زمینلرزه در چشمه های لرزه زا، بیشینه پارامترهای حرکت زمین در ساختگاه طرح در سطوح احتمالاتی طراحی لرزه ای ارزیابی می شوند.



شکل ۱۵-۲: مراحل تحلیل خطر احتمالاتی (۲۹۴)

۲-۷-۳-۲- زمین لغزش

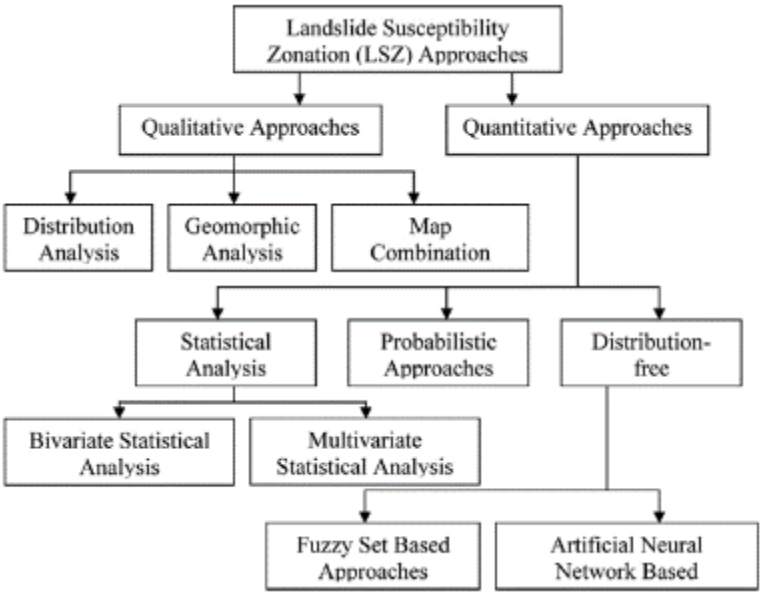
تاکنون روشـــها و تکنیکهای متعددی در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش و برآورد شـــدت این پدیده ارائه شده اند. این روشها را می توان به دو دسته اصلی:

۱- روش های کیفی[1] (یا روش های ابتکاری/ تجربی[2])، و

۲- روشهای کمی[3]،

تقسیم بندی کرد (شکل ۱۶-۲). روشهای کیفی غالباً بر پایه داوری ها و نظرات شخصی- کارشناسی یک یا گروهی از متخصصین بوده و در آنها، براساس قضاوت کارشناسان به ارزیابی خطر یا حساسیت می پردازند؛ این در حالی است که در روشهای کمی نظر متخصصین کمتر دخیل بوده و این روشها صرف نظر از هرگونه جهت‌گیری شخصی، بیشتر برمبنای قوانین سخت ریاضی و منطق ریاضی حاکم بر همبستگی بین وقوع زمین لغزش و فاکتورهای موثر بر آن بنا شده‌اند (۲۷۹; ۲۸۰; ۲۹۵; ۲۹۶).

[1]Qualititative approaches
[2]Heuristic/empirical method
[3]Quantititative approaches



شکل ۱۶-۲: رویکردهای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش (۲۹۶)

روشهای ابتکاری یا تجربی متداول در پهنه بندی شامل روشهایی نظیر استیونسن[۱]، نیلسن و براب[۲]، آنبالاگان[۳]، کاناگاوا[۴]، حائری و سمیعی، و مورا و وارسون[۵] می شوند که به دلیل تجربی بودن، مختص یک ناحیه، یک اقلیم و یک نوع پوشش گیاهی بوده و برای کاربرد آنها در مناطق دیگر، نیاز به صحت سنجی و اصلاح پارامترهای آنها می باشد. همچنین، در روش های تجربی، از قبل و بدون درنظرگرفتن شرایط منطقه، برخی پارامترها امتیاز بیشتری نسبت به دیگر پارمترهای اثرگذار بر زمین لغزش دارا هستند که سبب می شود نقش و سهم آنها در پهنه بندی بیشتر شود، در صورتی که بسته به ویژگی‌های هر منطقه، پارامترهای مختلف می توانند امتیازات متفاوتی داشته باشند. برای نمونه، روش آنبالاگان یک مدل تجربی بوده که در مورد لغزشهای ناحیه کوهستانی هیمالیا در کشور هند صورت گرفته و در این روش پارامترهای سنگ شناسی، شیب و کاربری زمین از الویت بیشتری نسبت به دیگر پارامترها برخوردارند؛ حال آنکه در هر منطقه، الویت بندی و در نهایت امتیازبندی پارامترهای اثرگذار بر روی زمین لغزش باید متفاوت باشد. تفاوت عمده دیگر بین روشهای ابتکاری و کمی در این است که در روش های ابتکاری، تاثیر هر یک از عوامل موثر بر زمین لغزش را به صورت جداگانه بررسی می کنند، ولی در روش های کمی، تاثیر عوامل مختلف بر وقوع زمین لغزش را به صورت یکجا و همزمان با هم بررسی می کنند.

روشهای کمی خود به سه گروه:

۱- روشهای آماری[۶]،

[1] Stevenson
[2] Nilsen & Brabb
[3] Anbalagan
[4] Kanagawa
[5] Mora & Vahrson
[6] Statistical methods

۲- روشهای احتمالاتی[1]، و
۳- روش های ترکیبی[2]،
قابل تفکیک می باشند.

روشـــهای آماری به منظور بحداقل رســـاندن داوریهای شـــخصـــی در روند وزندهی پارامترهای تاثیرگذار بر زمین‌لغزش که مشخصه روشهای کیفی می باشد، اختیار شده اند. این روشها که شامل دو گروه: ۱) مدلهای آماری دو متغیره[3]، و ۲) چند متغیره[4] می باشـند، توزیع مکانی زمین لغزشـهای موجود را در ارتباط با فاکتورهای مختلف موثر در وقوع آنها مورد سـنجش قرار می دهند. بطور کلی، مدلهای آماری نیازمند اطلاعات زیادی بوده و متناسـب با شرایط هر منطقه،از انعطافپذیری بیشتری نسبت به روشهای ابتکاری برخوردارند. در این مدلها خطر وقوع زمین لغزش را براساس مقادیر وزنی کمی شده، بدست می آورند. روشهای آماری، بیشترین قابلیت را زمانی دارند که از قبل اطلاعاتی درباره نوع روابط بین داده ها (خطی بودن و غیرخطی بودن) وجود داشـــته باشـــد. در روش آماری، خطر زمین لغزش تابعی اســـت از نحوه حضـــور و عملکرد متغیرهای مســـتقل که مجموعه ای از عوامل محیطی و ذاتی می باشند. دراین روش در قدم نخست تاثیر هر عامل بر روی زمین‌لغزش به صورت مجزا و مستقل دیده می شـود و در مرحله بعد، با فرض وجود یک حداقل همبسـتگی بین هر عامل با دیگر عامل موثر، احتمال نهایی خطر زمین لغزش برابر با احتمال وقوع مجموع عوامل خواهد بود. از سـال ۱۹۹۰ میلادی به بعد، کاربرد روشـهای آماری دو و چند متغیره در دنیا متداول شـده اسـت و در بسـیاری از پژوهشـها کارایی بهتر این روشـها نسـبت به روشـهای ابتکاری در پهنه بندی خطر زمین لغزش در اراضـــی جنگلی، عنوان شـــده اســـت. به علاوه، مدل آماری دو متغیره اسـتفاده بیشـتری نسـبت به مدل آماری چند متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش دارد. روشـهای دو متغیره، شکل اصلاح شده ترکیب کیفی نقشه ها هستند که در آن هر یک از لایه های اطلاعاتی با توزیع زمین لغزشـهای موجود مقایسـه شـده و برای هر طبقه از فاکتورهای مؤثر براسـاس روابط آماری بین زمین لغزش گذشـته و طبقات فاکتورهای مؤثر، ارزش وزنی اختصاص داده می شود. در روشـهای چند متغیره، وزنهای مربوط به هر فاکتور نشـان دهنده ســـهم نســـبی آن فاکتور در احتمال وقوع زمین لغزش در هر منطقه اســـت. علاوه بر این، اثرات متقابل فاکتورهای مختلف در وقوع زمین لغزش نیز در این روشها دیده شده است. از جمله روشهای آماری دو متغیره می توان به روشـهای ارزش اطلاعات[5] و تراکم سطح[6]، و از روشـهای آماری چند متغیره می توان به مدلهای رگرسـیون چندگانه[7] و رگرســـیون لجســـتیک[8] اشـــاره کرد. به منظور بحداقل رســـاندن نظرات فردی در روند ارزیابی وزن فاکتورهای موثر بر زمین‌لغزش، از رویکردهای احتمالاتی نیز در مطالعات پهنه بندی حســـاســـیت زمین لغزش استفاده شده است. این رویکردها، توزیع مکانی زمین لغزشها را نسبت به عوامل مختلف موثر در وقوع آنها در یک

[1] Probabilistic methods
[2] Combination methods
[3] Bivariate statistical models
[4] Multivariate statistical models
[5] Information value
[6] Density area
[7] Multiple regression
[8] Logistic regression

چارچوب احتمالاتی مورد مقایسه قرار می‌دهند. از جمله روشهای احتمالاتی می توان مدلهای وزن شاهد[1] و بیزین[2] را نام برد. روشهای ترکیبی روشهایی هستند که براساس قوانین احتمالاتی نبوده و از تلفیق روشهای ابتکاری و آماری استفاده می کنند. این روشها که در برخی از مراجع از آنها تحت عنوان تکنیکهای هوش مصنوعی[3] یاد شده است، قادرند از دانش ذهنی یا تکنیک تطبیق الگو در مقابل حل مجموعه ای از معادلات ریاضی استفاده کنند. بعبارت دیگر در این روشها، تحلیل وضعیت با توجه به داده های قبلی و بر پایه استخراج روابط میان داده ها صورت می گیرد. تکنیک های هوش مصنوعی به طور وسیعی شبکه عصبی مصنوعی[4]، منطق فازی[5]، ماشین بردار پشتیبان[6]، سیستم خبره[7] و دیگر تکنیکهای دانش پایه و قانون پایه را پوشش می دهند. علیرغم گسترش نسبتاً خوب به کارگیری انواع شبکه های عصبی، قابلیتهای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در طبقه بندی داده های مرتبط با علوم زمین در سطح دنیا کمتر از سایر روشها به کار گرفته شده است. از بین روشهای تجربی: مدل مورا و وارسون، روشهای آماری: مدل دومتغیره، و روشهای تلفیقی: شبکه عصبی مصنوعی بیشترین کاربرد را دارند. نتایج پژوهش انجام شده توسط دلجویی و همکاران (۲۷۹) بیانگر این موضوع است که مدل های آماری قابلیت بهتر و کاربرد بیشتری را در پهنه بندی خطر زمین لغزش نسبت به مدل های ابتکاری دارند. از طرفی، مدل های تلفیقی (مانند شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی) در حال حاضر با سرعت چشمگیری در حال استفاده در سرتاسر دنیا می باشند و بیشترین صحت و دقت را در بین تمامی روش‌ها دارا می باشند؛ بعلاوه اگر داده هایی با تعداد کم موجود باشند، مطمئناً روش های تلفیقی می توانند پهنه بندی دقیقتری را نسبت به دیگر مدلها در ارتباط با خطر زمین لغزش در جنگل ارائه دهند.

هر یک از روش های پهنه بندی ذکر شده، مزایا و معایب خاص خود را دارند و هیچ روش جامعی نیست که مورد قبول تمام محققین در سراسر دنیا باشد. بنابراین نمی توان یک روش را با اطمینان رد یا تأیید نمود. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله اقلیم، توپوگرافی، و دیگر عوامل بستگی دارد. لذا، در هر منطقه با توجه به شرایط باید روش مناسب را انتخاب نمود و پهنه بندی را براساس آن انجام داد. در نهایت هر یک از روش ها که به عنوان مناسب ترین روش در یک منطقه پیشنهاد گردد، نیاز به بررسی های بیشتر و مطالعات جامع تری جهت اثبات برتری دارد. انتخاب بهترین روش برای پهنه بندی در کاهش هزینه ها، جلوگیری از صرف هزینه های اضافی، و به دست آوردن نتایج بهتر و مطمئن مؤثر می باشد. بطوریکه می توان با تکیه بر نتایج به دست آمده، راه کارهای مناسب تری را برای جلوگیری از بروز خسارات لغزش ارایه داد.

در ادامه، تعدادی از روشهایی که بیشترین کاربرد و مقبولیت را در پهنه بندی خطر زمین لغزش دارند، معرفی و بررسی می گردند.

[1] Weight of evidence
[2] Bayesian
[3] Artificial intelligence (AI)
[4] Artificial neural network
[5] Fuzzy logic
[6] Support vector machine (SVM)
[7] Expert system

۲-۷-۳-۲-۱- مدلهای تجربی

- **مدل مورا و وارسون**

این مدل تجربی، مناسب مناطق با سطح وسیع می باشد. عوامل ورودی که در این مدل درنظرگرفته شده اند شامل پنج دسته می باشند: پستی و بلندی (شش طبقه برای این فاکتور در نظرگرفته شده است)، لیتولوژی (سنگ ها براساس میزان مقاومت به پنج طبقه تقسیم می شوند) و رطوبت خاک که به عنوان شاخصهای اصلی خطر زمین لغزش، و شدت لرزه (در مقیاس مرکالی) و شدت بارندگی (با توجه به بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت صدساله) که به عنوان عوامل فرعی و محرک در این مدل در نظر گرفته می‌شوند. مرور منابع نشان می دهند که مدل مورا-وارسون، چارچوبی را ایجاد می کند که می توان در سطح محلی و یا منطقه ای از آن استفاده کرد. به طور کلی، مدل مورا و وارسون کاربرد بیشتری نسبت به انواع مدلهای ابتکاری در پهنه بندی خطر زمین لغزش دامنه های جنگلی دنیا دارد. بنابراین ضعف اصلی این مدل، عدم کارآیی در مناطق با سطح کم است (۲۷۹; ۲۹۷).

- **مدل آنبالاگان**

این روش در سال ۱۹۹۳ توسط آنبالاگان و همکارانش جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در یک منطقه جنگلی کوهستانی در رشته کوههای هیمالیا ارائه شد. در این روش، واحدهای کاری تعیین کننده رخساره های شیب می باشند. یک رخساره شیب، بخشی از یک دامنه است که دارای خصوصیات مشابهی از نظر زاویه و جهت شیب می باشد. رخساره های شیب بوسیله خط الراس ها و خط القعرها محدود می شوند. براساس این روش، هر واحد کاری حداکثر دارای ۱۵ امتیاز می باشد که پارامترهای شیب، جهت دامنه، بارش، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ شناسی، حداکثر ۲ امتیاز و پارامترهای ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده و فاصله از گسل، حداکثر ۱ امتیاز را به خود تخصیص می دهند. بنابراین، هرچه جمع امتیازات محاسبه شده در هر واحد کاری بیشتر باشد (یعنی به عدد ۱۵ نزدیک تر باشد)، خطر زمین لغزش در آن واحد کاری بیشتر خواهد بود. علاوه بر ضعفهای یاد شده در مورد مدل های تجربی، ضعف عمده این مدل این است که تنها در شرایط کوهستانی می تواند کاربرد داشته باشد (۲۷۹; ۲۹۸).

۲-۷-۳-۲-۲- مدلهای آماری

- **مدل ارزش اطلاعات**

یکی از معروفترین مدل های آماری دو متغیره، مدل ارزش اطلاعات است که در آن، ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش برای منطقه مورد نظر تهیه شده، سپس لایه های اطلاعاتی مورد نیاز استخراج می شوند. پس از آن، اقدام به تعیین درصد خطر زمین لغزش در رده های مختلف کرده و در نهایت، عوامل موثر بر زمین‌لغزش را وزن دهی می نمایند. نقشه های پهنه بندی در این روش از معادله (۱-۲) وزن‌دهی می شوند (۲۷۹):

$$w\inf = \ln\left[\left(\frac{A}{B}\Big/\frac{C}{D}\right)\right] \qquad (۲-۱)$$

که در این رابطه، W_{inf} وزن ارزش اطلاعات، A مساحت زمین لغزش هر واحد کاری، B مساحت هر واحد کاری، C مساحت کل زمین لغزشها و D مساحت کل منطقه می باشد.

- **مدل تراکم سطح**

دیگر روش متداول آماری دو متغیره که در پهنه بندی خطر زمین لغزش در اراضی جنگلی کاربرد دارد، روش تراکم سطح است. با استفاده از معادلات (۲-۲) و (۳-۲)، عوامل موثر بر زمین لغزش کمی شده و وزن دهی می شوند. در نهایت، نقشه های پهنه بندی از جمع جبری نقشه های وزن دار بدست می آیند (۲۷۹).

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{A}{B} \quad (۲-۲)$$

$$W_{area} = D_{area} - 1000 \times \frac{C}{D} \quad (۲-۳)$$

در این روابط، W_{area} وزن تراکم سطح و D_{area} تراکم سطح می باشد. سایر پارامترها نیز در مدل ارزش اطلاعات معرفی شده اند.

- **روش رگرسیون خطی یا چند متغیره[1]**

رگرسیون خطی یا چند متغیره یکی از روشهای آماری چند متغیره است که در پهنه بندی خطر زمین لغزش کاربرد فراوانی دارد. با استفاده از این روش می توان وزن عوامل موثر بر لغزش را تعیین و احتمال وقوع لغزش را پیش بینی نمود (۲۹۹). در روش رگرسیون چند متغیره رابطه بین تک تک عوامل با متغیر وابسته (Y) و نیز نسبت به همدیگر به صورت رگرسیون خطی در نظر گرفته می شود. بعلاوه، تغییر در عوامل مختلف بر روی همدیگر تاثیرگذار بوده و در نهایت برای مدلی که برآورد می شود عواملی انتخاب می شوند که ضریب معناداری بالایی با متغیر وابسته داشته باشند و عوامل با ضریب معناداری کمتر که باعث کاهش دقت کار پهنه بندی می شوند از معادله حذف می شوند. در این روش، میزان تاثیر هر یک از عوامل در وقوع زمین لغزش، بوسیله ضریبی به صورت کمی بیان شده و بدین ترتیب مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزشهای رخ داده تعیین می شوند.

- **مدل رگرسیون لجستیک[2]**

یکی از مدل های آماری مناسب جهت اجرای پهنه بندی براساس داده های موجود، مدل رگرسیون می‌باشد. در مدل رگرسیون براساس داده های موجود (برای مثال داده های وقوع حرکات توده‌ای)، معادله‌ای جهت پیش بینی مقادیر متغیر وابسته (Y) براساس یک یا چند متغیر پیشگوی مستقل (X_i) به دست می آید. اما چنانچه مقادیر متغیر وابسته (Y) کیفی بوده و همواره دارای دو حالت باشند (نظیر وقوع و عدم وقوع)، در آن صورت بدیهی است که الگوی رگرسیون عادی جوابگو نخواهد بود. در چنین حالتی احتمال وقوع پدیده (P) برآورد می گردد و مدل اصطلاحاً رگرسیون لجستیک نامیده می شود (۳۰۰). بنابراین، رگرسیون لجستیک روشی آماری است که با استفاده از یک یا چند متغیر مستقل، احتمال وقوع یک متغیر وابسته دو حالته را برآورد می کند. این مدل جهت تحلیل حضور یا عدم حضور یک ویژگی یا خروجی، برمبنای ارزشهای مجموعه ای از متغیرهای مستقل مفید است. مزیت مدلسازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیکهای آماری چند متغیره مانند تحلیل رگرسیون چند متغیره و تحلیل تشخیصی آن است که متغیر وابسته میتواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است (۳۰۱).

- **مدل تحلیل ممیزی یا تشخیصی[3]**

[1] Multivariate regression (MR)
[2] Logistic regression (LR)
[3] Discriminant analysis

تحلیل ممیزی (تشـخیصـی) روشـی اسـت برای رده بندی مجموعه ای از مشـاهدات و همچنین اختصـاص مشـاهدات جدید به رده های از پیش تعیین شـده با اسـتفاده از تابعی تحت عنوان تابع ممیزی. از این روش برای تعیین متغیرهایی که بین دو یا چند گروه تمایز ایجاد می کنند اسـتفاده می شـود. به عبارت دیگر تحلیل ممیزی درصدد است تا ترکیب های خطی بین متغیرهای مستقل را که قادرند به بهترین نحو گروه‌های مشاهدات را از هم جدا کنند، شـناسـایی کند. این روش اولین با توسـط فیشـر در سـال ۱۹۳۶ ابداع شـد و بر پایه روش شـناسـی مورد اسـتفاده در رگرسـیون خطی چند متغیره جهت حل معادلات خطی توسـعه یافت. از این رو می توان گفت که تحلیل ممیزی شـبیه رگرسـیون خطی چندمتغیره اسـت، با این تفاوت که در رگرسـیون خطی، متغیر وابسـته در سطح فاصله ای یا نسبی است، اما در تحلیل ممیزی مقیاس متغیر وابسته اسمی دو یا چند وجهی است. از لحاظ محاسباتی نیز تحلیل ممیزی بسیار شبیه آنالیز واریانس یکطرفه می‌باشد. این تابع از طریق یک نمونه اولیه که به آن نمونه آموزشـی می گویند، سـاخته می شـود. پس از آن تابع قادر اسـت براسـاس آنچه آموزش دیده مشـاهدات جدید را به بهینه ترین شـکل ممکن به طبقه حقیقی خود اختصـاص دهد. این روش که یکی از روشـهای آماری چند متغیره است، برای پهنه بندی خطر زمین لغزش نیز بکار گرفته شده است. مدل تحلیل ممیزی با استفاده از مقادیر متغیرهای مسـتقل، امتیازی برای عضویت در هر گروه محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر با اسـتفاده از معادله خطی که بهترین جدایش را میان دو گروه واحد زمینی ناپایدار (کد یک) و واحد زمینی پایدار (کد صـفر) ایجاد می کند، به پهنه بندی خطر زمین لغزش می‌پردازد.

۲-۷-۳-۲-۳- مدلهای احتمالاتی

- **مدل وزن شاهد[1]**

مدل وزن شـاهد یک روش تحلیل آماری دو متغیره می باشـد که مبتنی بر تئوری احتمالاتی بیزین اسـت. در این روش پس از تهیه نقشـه پراکنش زمین لغزشـهای حوضـه مطالعاتی و تعیین هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، برای هر عامل براساس وجود یا عدم وجود زمین لغزش در منطقه، وزنی محاسبه می‌شود. این امر از طریق ترکیب هر کدام از لایه های عاملی با نقشـه پراکنش زمین لغزش، و سـپس بکارگیری معادلات (۴-۲) و(۵-۲) جهت محاسبه وزن هر عامل انجام می شود (۲۸۱):

$$W_i^+ = \log_e \left[P(B_i) \middle| S \middle/ P(B_i) \middle| \bar{S} \right] \quad (۲-۴)$$

$$W_i^- = \log_e \left[P(\bar{B}_i) \middle| S \middle/ P(\bar{B}_i) \middle| \bar{S} \right] \quad (۲-۵)$$

که W_i^+ و W_i^- به ترتیب وزن مثبت و وزن منفی، S احتمال ثانویه رخداد لغزش، B_i و $\bar{B}_i$ وجود یا عدم وجود لغزش در یک پیکسل از نقشه عامل می باشند. در این مدل، مقادیر وزنی معمولاً دامنه ای بین اعداد مثبت و منفی دارند که بیانگر نقش بیشـتر و کمتر متغیر در ایجاد زمین لغزش اسـت. پس از بدسـت آوردن اوزان نهایی هر یک از لایه های موثر در لغزش و تهیه نقشـه های موضـوعی وزنی آنها، این نقشـه های وزنی با اسـتفاده از روش جمع جبری ساده با یکدیگر تلفیق شده و در نهایت نقشه حساسیت زمین لغزش بدست می آید.

- **مدل نسبت فراوانی[2]**

[1]Weight of evidence (WOE)
[2]Frequency ratio (FR)

روش نسبت فراوانی یک مدل احتمالی ساده و عملی است که براساس ارتباط مشاهده شده بین توزیع زمین‌لغزشها و هر عامل موثر بر آن قادر است تا همبستگی بین موقعیت مکانی زمین لغزشها و عوامل موثر در منطقه مورد مطالعه را نمایان سازد. برای محاسبه نسبت فراوانی، ابتدا درصد پیکسلهای لغزشی و فاقد لغزش بر روی نقشه هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش تعیین شده و سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقات عوامل موثر، از تقسیم نسبت مناطق لغزشی (درصد پیکسلهایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسهای فاقد لغزش) محاسبه می گردد (۳۰۴). با تلفیق لایه های مربوط به هر عامل، ارزش هر پیکسل که همان حساسیت به زمین لغزش با توجه به عوامل درنظرگرفته شده است، تعیین می شود.

- **مدل شاخص آنتروپی[1]**

آنتروپی در حقیقت بیانگر آن است که چگونه از بین عوامل مؤثر بر یک هدف می توان مهمترین عوامل را برآورد کرد. به عبارت دیگر آنتروپی، متغیرهایی را که بیشترین تأثیر را در رخداد یک پیشامد دارند، برای ما مشخص می کند. از آنجایی که در پهنه بندی حساسیت زمین لغزش، بسته به شرایط منطقه، معمولاً عاملهای مختلفی تأثیرگذار هستند و از طرفی، در تعیین میزان خطر با استفاده از مدلهای آماری دو متغیره و احتمالاتی مانند بیزین، همه عوامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش وزن یکسانی دارند، لذا چنانچه یکی از عوامل تأثیر بیشتری داشته باشد، میزان اثر آن نادیده گرفته می شود. بنابراین مدل شاخص آنتروپی می‌تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تأثیر بسیاری در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تأثیرگذاری آنها داشته باشد (۳۰۵; ۳۰۶). بطورکلی، آنتروپی اندازه گیری اختلال، ناپایداری، نبود تعادل و نبود اطمینان در یک سیستم است. بعلاوه، لغزش نیز یک سیستم پیچیده برای تبادل مواد و انرژی با محیط است؛ بنابراین می توان از سیستم آنتروپی جهت اندازه گیری و توصیف لغزش استفاده نمود. آنتروپی یک لغزش به میزان تاثیر عوامل مختلف بر گسترش زمین لغزش اشاره می کند. زمانیکه چند عامل مهم بی نظمی های بیشتری را درون یک سامانه شاخص وارد می کنند، ارزش آنتروپی را می توان برای محاسبه وزن عینی سامانه شاخص استفاده کرد. در این روش وزن دهی، مقدار وزن هر متغیر یا عامل به طور جداگانه اندازه گیری شده و به عنوان شاخص آنتروپی بیان می شود. پس از محاسبه وزن نهایی تمام عوامل، از تلفیق آنها با هم در نهایت میزان ضریب خطر رخداد زمین لغزش بدست می آید.

۲-۷-۳-۲-٤- مدلهای ترکیبی

- **مدل شبکه عصبی مصنوعی[2]**

شبکه های عصبی مصنوعی به خاطر قابلیت حل ابتکاری شان، از سال ۲۰۰۵ میلادی به طور موفقیت‌آمیزی در پهنه بندی خطر زمین لغزش به کار گرفته شده اند. در شبکه عصبی سعی بر این است که ساختاری مشابه ساختار زیستی مغز انسان و شبکه اعصاب بدن ساخته شود تا همانند مغز، قدرت یادگیری، تعمیم‌دهی و تصمیم گیری داشته باشد. در واقع شبکه های عصبی، الگوریتم های رایانه ای هستند که می توانند روابط مهم بین تعداد زیادی پارامتر را از یک بانک داده استخراج نموده و به پیش بینی و طبقه بندی همان بانک داده یا یک بانک داده جدید بپردازند (۲۷۹). جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی، اولین گام تعیین نوع شبکه

[1]Index of entropy (IOE)
[2]Artificial neural network (ANN)

می باشد. بهترین شبکه مورد استفاده برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون است که کارایی بالایی دارد. در گام بعدی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، کدگذاری شده و سپس عوامل وزن دهی می شوند. وزن دهی در شبکه عصبی در دو مرحله انجام می شود: در ابتدا پس از ورود داده ها به شبکه، لایه ها به صورت تصادفی وزن دهی می شوند. در مرحله دوم که مرحله آموزش می باشد، به هر یک از این عوامل وزن جدیدی داده می شود که وزن های جدید را در تعیین میزان خطر دیگر پیکسلها مورد استفاده قرار می‌دهند.

از مزایای استفاده از شبکه های عصبی می توان مواردی همچون دقت بالا در پیش بینی خطر زمین لغزش، عدم وابستگی به توزیع آماری داده ها، عدم نیاز به متغیرهای آماری مخصوص، قابلیت بالا در هنگام داشتن اطلاعات با دامنه و تکرار کم، و همچنین عدم نیاز به یک مدل اولیه جهت ارتباط دادن داده های ورودی و خروجی را، نام برد. بعلاوه شبکه عصبی مصنوعی برای صحت سنجی داده ها، به مقدار داده های کمتری نسبت به روشهای آماری نیاز دارد.

- **مدل منطق فازی[1]**

از منطق فازی در بسیاری از علوم برای پیش بینی عوامل مختلف استفاده می کنند. پهنه بندی خطر زمین‌لغزش براساس روشها و مدل های مختلف مبتنی بر منطق های دو ارزشی، به دلیل مطلق گرایی و عدم انعطاف پذیری، با واقع گرایی لازم همراه نیست. برای مثال، با توجه به اینکه در این روشها مرز ارزش گذاری پارامترها قطعی در نظر گرفته می شوند، درنتیجه یک درجه اختلاف در مقدار شیب دامنه در مرز دو طبقه از شیب ممکن است در مواردی موجب واقع شدن دامنه جنگلی در یک کلاسه دیگر از شیب شود، در صورتی که در واقعیت، یک درجه اختلاف در شیب، نباید آنچنان تاثیر تعیین کننده ای در وقوع یک پدیده داشته باشد (۲۷۹). روشهای مبتنی بر منطق فازی به سرعت در حال توسعه می باشند و هر ساله با ارائه روش های جدیدتر که برمبنای مفاهیم نظریه مجموعه های فازی هستند، این امکان فراهم می شود تا به استدلال های غیرقطعی مبهم و نامعین ذهن انسان، صورت بندی ریاضی بخشیده شود. در روش منطق فازی، ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و طبقه های زمین لغزش، از تقسیم نسبت مناطق لغزشی (درصد پیکسل هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل های فاقد لغزش) به دست می آید و در حال حاضر این روش، کاربرد زیادی در تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در دنیا دارد.

از مزایای سامانه های فازی می توان به پایدار بودن، دقت بالا، قابل تنظیم بودن و قابلیت اعتبارسنجی آنها اشاره کرد. همچنین، نتایج دیگر مطالعات نشان می دهند که روش منطق فازی به دلیل هماهنگ و یک دست کردن داده ها و نیز انعطاف پذیر کردن فرآیند تحلیل فضایی، به عنوان روشی بسیار کارا و سودمند در تهیه نقشه پهنه بندی زمین لغزش شناخته می شود.

- **مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP)**

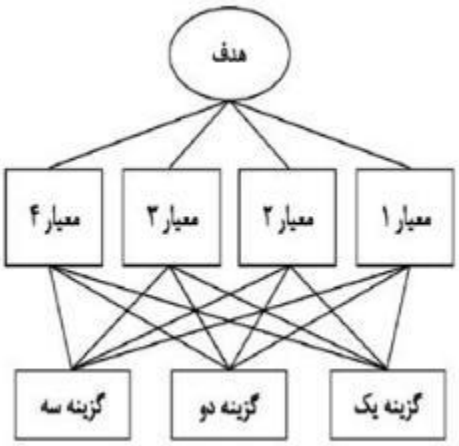
مدل AHP یکی از شناخته شده ترین و پرکاربردترین مدلهای چند معیاره تصمیم گیری است که امکان تعیین اهمیت نسبی مجموعه ای از متغیرهای موجود در یک مسئله تصمیم گیری چند معیاری را فراهم می‌کند.

[1] Fuzzy logic
[2] Analytical hierarchy process (AHP)

این روش موجب ترکیب قضاوت در مورد معیارهای کیفی غیرقابل مشاهده در کنار معیارهای کمی محسوس می شود. بطور کلی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر سه اصل زیر استوار است:

۱- ایجاد یک سلسله مراتب
۲- قضاوت مقایسه ای میان گزینه ها و معیارها
۳- ترکیب اولویت ها

در مرحله اول روش AHP، یک مسئله چندمعیاری در ابتدا به سلسله مراتبی از عناصر تصمیم گیری وابسته به هم (اهداف، نسبتها، معیارها، گزینه ها و ...) تقسیم می شود که در یک ساختار سلسله مراتبی مشابه با سطوح شجره نامه خانوادگی به ترتیب قرار می گیرند. در این ساختار، هدف کلی مسئله در بالا، معیارهای چندگانه که گزینه ها را تعریف می کنند در وسط، و گزینه های تصمیم گیری در پایین جای می‌گیرند (شکل ۱۷-۲). در مرحله دوم پس از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، چگونگی اولویت بندی به منظور تعیین اهمیت نسبی معیارها در هر سطح آغاز می شود. اولویت نسبی داده شده به هر عنصر در سلسله مراتب، با مقایسه سهم دو به دو هر عنصر در یک سطح پایین تعیین می شود. در مرحله سوم این روش، پس از مقایسه زوجی میان عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط به خود سطح، اولویت ها توسط یک ماتریس وزن ها و به صورت ریاضی با هم ترکیب شده و وزن عناصر به دست می‌آید. بعبارت دیگر، وزن هر سطح در وزن عناصر آن سطح ضرب شده، و بدین ترتیب وزن نهایی هر عنصر و معادله نهایی پهنه بندی به دست می آید (۲۷۹; ۳۰۷).



شکل ۱۷-۲: ارتباط عناصر تصمیم گیری در یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (۳۰۷; ۳۰۸)

معمولترین روش بررسی عوامل موثر در AHP، استفاده از پرسشنامه جهت وزن دهی به عوامل موثر بر خطر زمین لغزش است که این پرسشنامه ها لازم است توسط کارشناسان و صاحب نظران تکمیل شوند. امروزه این روش در صورت همکاری افراد صاحب نظر در تکمیل پرسشنامه ها، می تواند روشی مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش باشد؛ اما از سوی دیگر به دلیل لزوم تکمیل اطلاعات توسط صاحب نظران، روشی زمانبر محسوب می شود. بعلاوه، احتمال اشتباه نمودن کارشناسان در تعیین وزن و مشکل استانداردسازی واحدهای اندازه گیری از دیگر مشکلات این روش به شمار می آید.

- **روش ترکیب خطی وزین[1]**

بطور کلی هدف از ارزیابی های چند معیاری آن است که از طریق ارزیابی چند معیار اصلی و در نتیجه رتبه بندی گزینه های[2] مختلف، بهترین گزینه انتخاب شود (۳۰۹; ۳۱۰). برای تحلیل و ارزیابی چند معیاری پتانسیل زمین نسبت به یک رخداد خاص (مثل زمین لغزش) روش های متعددی وجود دارد که روش ترکیب خطی وزین یکی از رایج ترین آنها است. این تکنیک که از متداولترین تکنیکهای ارزیابی و تصمیم گیری چند معیاری است، "روش ساده وزن دهی جمع پذیر"[3] و یا "روش امتیازدهی"[4] نیز نامیده می شود. روش ترکیب خطی وزین برمبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل‌گر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً برمبنای "اهمیت نسبی" هر معیار مورد بررسی، وزن هایی را به معیارها می دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر گزینه به دست می آورد. پس از آنکه مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد مناسب ترین گزینه برای هدف موردنظر خواهد بود. هدف مورد نظر می تواند تعیین تناسب زمین برای یک کاربرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداد ویژه (مثل زمین لغزش) باشد.

- **الگوریتم جنگل تصادفی[5]**

از جمله روشهای نوینی که از طریق اولویت بندی و وزن دهی به عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش، جهت تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار می گیرد، الگوریتم جنگل تصادفی است (۳۱۱). جنگل تصادفی یک روش یادگیری نظارت شده است که از درختهای چندگانه در طبقه بندی استفاده می‌کند. الگوریتم جنگل تصادفی با جایگزینی و تغییر مداوم عوامل موثر و مرتبط با هدف، منجر به ایجاد تعداد زیادی درخت تصمیم گیری شده، که در نهایت تمام این درختها به منظور پیش بینی با هم ترکیب می‌شوند. جنگل تصادفی شامل سه پارامتر تعریف شده توسط کاربر می گردد:

۱- تعداد متغیرهای مورد استفاده در ساخت هر درخت که قدرت هر درخت مستقل را بیان می کند،
۲- تعداد درختان در جنگل تصادفی، و
۳- حداقل تعداد گره های انتهایی.

قدرت پیش بینی جنگل تصادفی با افزایش قدرت درختان مستقل و کاهش همبستگی بین آنها افزایش می‌یابد. الگوریتم جنگل تصادفی از تمام داده های موجود برای رویاندن درخت استفاده نمی کند؛ بلکه فقط از ۶۶ درصد داده ها استفاده می نماید که به آن نمونه "خودراه انداز یا خود استوار[6]" گفته می شود. پس از آن، یک متغیر پیشگو به طور تصادفی در خلال فرآیند رویاندن[7] معرفی می گردد. انتخاب این متغیر برای شکافتن یک گره در ساخت درخت به صورت تصادفی انجام شده و به این شکل درخت تصمیم به بزرگترین اندازه ممکن رویانده می شود. ۳۳ درصد از داده های باقیمانده نیز برای ارزیابی درخت برازش شده استفاده می شوند. این

[1] Weighted linear combination (WLC)
[2] Alternative
[3] Simple additive weighting
[4] Scoring
[5] Random forest (RF) algorithm
[6] Bootstrap
[7] Grow

فرآیند چندین بار تکرار شده و میانگین تمام مقادیر پیش بینی شده به عنوان پیش بینی نهایی الگوریتم استفاده می گردد. در این مدل از دو عامل میانگین کاهشی دقت و میانگین کاهشی جینی برای تعیین اولویت هر یک از عوامل موثر استفاده میگردد. استفاده از میانگین کاهشی دقت در مقایسه با شاخص اهمیت جینی در تعیین اولویت عوامل موثر، بهتر و پایدارتر می باشد، به ویژه در شرایطی که بین فاکتورهای محیطی ارتباط وجود دارد.

- **الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)**[1]

هوش مصنوعی از جمله فنونی است که در سالهای اخیر برای مشخص کردن پهنه های زمین لغزش و میزان احتمال حساسیت به زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است. در بین این فنون، الگوریتم SVM یا ماشین بردار پشتیبان یک روش کاربردی است که برای مطالعه زمین‌لغزش مورد توجه قرار گرفته است (شکل ۱۸-۲) (۳۰۷; ۳۱۲; ۳۱۳).



شکل ۱۸-۲: نمونه ای از یک نقشه حساسیت وقوع زمین لغزش براساس روش SVM (۳۰۷)

این الگوریتم به عنوان یکی از روشهای غیرپارامتریک بر پایه تئوری یادگیری آماری بنا شده است. براساس این تئوری می توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده های طبقه بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تعمیم یافته، در نظر گرفت. این کران ها به عنوان تابعی از مجموع نرخ خطاهای آموزشی هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی‌کننده‌ها را نشان می دهند. به منظور کمینه کردن نرخ خطاهای تعمیم یافته، باید نرخ خطای آموزش و پیچیدگی طبقه‌بندی‌کننده کاهش یلبد. این کار را می توان با بیشینه کردن حاشیه جداسازی انجام داد.

[1]Support vector machine (SVM)

بنابراین، از آنجایی که حاشیه جداسازی به بعد داده های ورودی بستگی ندارد، این طبقه‌بندی‌کننده، کارایی مناسبی دارد. الگوریتم SVM که در دو دهه اخیر استفاده از آن گسترش یافته، بر پایه انتقال غیرخطی همگام با یک ابعاد بالای فضایی ویژه است.

ابهری و حسنی در سال ۱۳۹۵ (۸۳) با بررسی برخی از روشهای نوین پهنه بندی خطر زمین لغزش، شامل: ارزش اطلاعات، تراکم سطح، داده محور، تحلیل سلسله مراتبی، الگوریتم SVM و شبکه عصبی مصنوعی، نتیجه گرفتند که در بین روشهای مذکور، الگوریتم SVM از دقت بالایی برخوردار است. بعلاوه بیان نمودند، اگرچه این روشهای نوین هر یک دارای نقاط قوت و ضعفی می باشند، اما آنچه مسلم است این است که همه این روشها قادرند تا با حداقل داده ها و هزینه و در زمانی بسیار کم، نتایجی با صحت و دقت بالا را ارائه نمایند.

۲-۷-۳-۳- فرونشست زمین

اساس هر حرکت ملی برای مقابله با خطر فرونشست بر سه اصل پیش بینی، تشخیص و پایش استوار است که مدیریت درست منابع آب، نقشی کلیدی در جلوگیری از بروز این پدیده دارد. فرآیند تشخیص شامل کنترل و اندازه گیری میزان نشست خاک و کاهش تخلخل مفید آن است. به منظورتشخیص و پایش مناطق نشست خیز از تکنیکهایی همچون ترازیابی دقیق، آزمایشهای ژئوفیزیک، نصب ابزار دقیق (نظیر کشیدگی سنج، شکاف سنج، پیزومتر، ...)، حس گرهای فیبر نوری، سیستمهای مکانیابی جغرافیایی (GPS)، و تداخل سنجی راداری استفاده می شود (۲۸۸). نقشه برداری زمینی با استفاده از GPS و توتال استیشن قابلیت کشف جابجاییها را در حد میلیمتر با دقتی قابل مقایسه با تکنیک تداخل سنجی رادار و یا بهتر از آن دارد؛ بطویکه ترازیابی دیجیتال و توتال استیشن جابجایی ارتفاعی را با دقت ۱ میلیمتر نتیجه می دهد و GPS جابجایی را با دقت ۵ میلیمتر اندازه می گیرد. در نتیجه دقت تکنیک InSAR در قابلیت شناسایی جابجاییها، کمتر از این روشها است. مهمترین مزیت تداخل سنجی رادار نسبت به GPS و توتال استیشن ها، انجام اندازه گیری در سطح وسیع و بدون نیاز به کار میدانی است در صورتیکه دو روش دیگر برداشت نقطه ای انجام می دهند. بنابراین، پوشش کل سطح در مقایسه با مشاهدات نقطه ای روشهای پیشین مزیت مهمی است که کاربران را تشویق به استفاده از تکنیک نوین تداخل سنجی رادار می نماید. این تکنیک مزایای زیادی در اندازه گیری و نمایش جابجاییهای پوسته زمین دارد که از آن جمله می توان به حساسیت بالا به تغییرات دینامیکی، قدرت تفکیک مکانی بالا، امکان اخذ تصاویر تحت هر شرایط آب و هوایی، و پوشش وسیع این روش اشاره کرد (۳۱۴). علاوه بر اینکه به کمک روش تداخل سنجی رادار می توان جابجاییهای قائم و افقی بعد از نشست زمین را محاسبه نمود، امکان نمایش تغییر شکلهای آهسته پوسته در طول نشست نیز تحت شرایط خواص وجود دارد. برخی از مزایا و معایب InSAR نسبت به GPS در اندازه گیری تغییرات پوسته زمین در جدول ۲۳-۲ خلاصه شده اند:

جدول ۲۳-۲: برخی مزایا و معایب InSAR نسبت به GPS در اندازه گیری تغییرات پوسته زمین (۳۱۴)

مزایا	معایب
پوشش وسیعتر	دقت کمتر
عدم نیاز به نقاط کنترل زمینی	قدرت تفکیک زمانی بیشتر
قابلیت کار در هر شرایط آب و هوایی	ناسازگاری تصاویر
قابلیت کار در شب و روز	خطاهای توپوگرافی، مداری و اتمسفری
	امکان اندازه گیری جابجاییها در امتداد دید ماهواره

از جمله ماهواره هایی که تاکنون برای پایش فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل سنجی رادار مورد استفاده قرار گرفته اند می توان به موارد زیر اشاره کرد (۳۱۴):

ماهواره های سنجش از دور اروپایی ERS-1 و ERS-2، ENVISAT ASAR، ماهواره های کانادایی Radarsat-1 و Radarsat-2 و ماهواره های ژاپنی JERS و ALOSE. در میان این ماهواره ها ENVISAT و ERS کشور ایران را بطور مطلوبی پوشش می دهند. فرآیند پیش بینی شامل تعیین و محاسبه میزان نشست خاک و پتانسیل تراکم پذیری آن، بر پایه داده های حاصل از چاه پیمایی، آزمون های ژئوفیزیک، و داده های زمین شناسی مهندسی و ئوتکنیک می باشد. نشست تحکیمی یکی از ملاحظات مهم طراحی در پروژه های عمرانی و زیرساختها همچون سازه ها، راهها و راه آهن است. این پارامتر بوسیله آزمایش تحکیم تعیین می شود. آزمایش تحکیم یک آزمایش نسبتاً وقت گیر و پرهزینه است که باید با دقت کافی انجام شود. در بسیاری از پروژه ها به خصوص در پروژه های خطی مانند راهها و راه آهن عدم انجام آزمایش تحکیم به تعداد و با دقت کافی ممکن است سبب وارد آمدن خسارات قابل توجهی گردد. با توجه به زمان و هزینه نسبتاً زیاد آزمایش تحکیم، تخمین نشست تحکیمی بر مبنای پارامترهای موثری که با انجام آزمایشات ساده و کم هزینه و با دقت کافی قابل تعیین باشند، همواره مورد توجه بسیاری از کارشناسان و محققین ژئوتکنیک و راه سازی بوده است. از جمله روشهای موجود برای محاسبه نشست حاصل از تحکیم و میزان فرونشست زمین، تئوری تحکیم ترزاقی می باشد (۲۸۸).

۲-۷-۳-٤- خاکهای خورنده[1]

شناخت توان خوردگی خاک و فاکتورهای موثر بر آن به منظور کاهش پیامدهای مخرب آن به لحاظ خوردگی فلزات در محیطهای خاکی، امری ضروری و حائز اهمیت است (۳۱۵). اساساً خاصیت خورندگی خاک بوسیله چند عامل تحت تاثیر قرار داده می شود. این عوامل عبارتند از:

- مقاومت الکتریکی خاک[2]،
- درصد رطوبت خاک[3]،
- pH خاک،

[1] Corrosive soils
[2] Resistivity
[3] Moisture content

- پتانسیل کاهش اکسیداسیون یا ترکیب با اکسیژن[1] (این کمیت در واقع اندازه ای از درجه هوادهی[2] در خاک است)،
- نمکهای محلول در خاک[3] (شامل یونهای کلرید[4] و سولفات[5])،
- درجه حرارت یا دما،
- کانی شناسی و بافت خاک[6]،
- تغییرپذیری خاک[7]، و
- وجود باکتریهای کاهنده سولفات[8] و منابع جریان پراکنده[9] در خاک.

رابطه هر یک از این عوامل با میزان پتانسیل خورندگی خاک به ترتیب در جدول ۲۴-۲ تا جدول ۳۲-۲ نشان داده شده است.

جدول ۲۴-۲: مقادیر مختلف مقاومت الکتریکی خاک و اثرات خورندگی آن (۳۱۵)

Soil resistivity (Ω.cm)	Corrosion classification	Class
>10,000	Very mildly corrosive	I
5,001-10,000	Mildly corrosive	II
2,001-5,000	Moderately corrosive	III
1,001-2,000	Severely corrosive	IV
<1,000	Very severely corrosive	V

جدول ۲۵-۲: رابطه بین درصد رطوبت و خوردگی خاک (۳۱۵)

Moisture content (%)	Corrosion classification	Class
0	Non-corrosive	I
1-25	Slightly corrosive	II
25-50	Moderately corrosive	III
50-60	Severely corrosive	IV
60-85	Very severely corrosive	V

جدول ۲۶-۲: متداولترین کلاسهای pH خاک و تاثیر آن بر خاصیت خورندگی خاک (طبق استاندارد USDA) (۳۱۵)

[1] Redox potential (oxidation-reducyion potential)
[2] Aeration
[3] Soluble salts
[4] Chlorides
[5] Sulphates
[6] Mineralogy & texture
[7] Soil variability
[8] Sulphate-reducing bacteria (SRB)
[9] Stray current sources

pH range	Acidity class	Class
3.5-4.4	Extremely acidic	IV
4.5-5.0	Very strongly acidic	III
5.1-5.5	Strongly acidic	II
5.6-6.0	Moderately acidic	II
6.1-6.5	Slightly acidic	I
6.6-7.3	Neutral	I
7.4-7.8	Slightly alkaline	I
7.9-8.4	Moderately alkaline	I
8.5-9.0	Strongly alkaline	III

جدول ۲۷-۲: رابطه بین پتانسیل کاهش اکسیداسیون و خوردگی خاک (۳۱۵)

Range of soil redox potential (mV)	Classification of corrosiveness	Class
>400	Non-corrosive	I
200-400	Slight	II
100-200	Moderate	III
<100	Severe	IV

جدول ۲۸-۲: رابطه بین غلظت یون سولفات در خاک و خورندگی آن (۳۱۵)

Sulphate ion concentration (ppm)	Corrosion classification	Class
<150	Mildly corrosive	I
150-1,500	Moderately corrosive	II
1,500-10,000	Severely corrosive	III
>10,000	Very severely corrosive	IV

جدول ۲۹-۲: رابطه بین غلظت یون کلرید در خاک و خورندگی آن (۳۱۵)

Chloride ion concentration (ppm)	Corrosion classification	Class
<500	Mildly corrosive	I
500-1500	Moderately corrosive	II
1,500-5,000	Severely corrosive	III
>5,000	Very severely corrosive	IV

جدول ۳۰-۲: تاثیر بافت و کانی های خاک بر خاصیت خورندگی آن (۳۱۵)

Soil type and class	Description of soil	Aeration	Drainage	Colour	Water table
I – Lightly corrosive	Sands or sandy loams Light-textured silt loams Porous loams or clay loams thoroughly oxidized to great depths	Good	Good	Uniform colour	Very low
II – Moderately corrosive	Sandy loams Silt loams Clay loams	Fair	Fair	Slight mottling	Low
III – Badly corrosive	Clay loams Clays	Poor	Poor	Heavy texture Moderate mottling	2-3 feet below surface
IV – Unusually corrosive	Muck Peat Tidal marsh Clays and organic soils	Very poor	Very poor	Bluish-grey mottling	At surface: or extreme impermeability

جدول ۳۱-۲: تاثیر تغییرات رخساره خاک۱ بر خاصیت خورندگی آن (۳۱۵)

Soil facies changes	Corrosion cell
Loam to clay	Weak
Sand to loam	Moderate
Sand to clay	Strong

جدول ۳۲-۲: رابطه بین ترازهای مختلف در معرض قرارگیری جریانهای پراکنده و پتانسیل خوردگی خاک (۳۱۵)

Exposure level to stray currents	Pre-construction survey and test results	Class
No exposure	No stray current detected during testing Metrorail lines are beyond 500 feet away from the pipeline Cathodically protected foreign utility buried pipes and cables are more than 500 feet away from the pipeline	I
Moderate exposure	Moderate or sporadic stray current that results in 50 mV or less potential variation (any source) Metrorail lines that are within 200 to 500 feet of the pipeline Cathodically protected foreign[a2] buried pipes or cables that are within 100 to 500 feet of the pipeline and have a ground bed within 2,000 feet or that cross the pipeline and have a ground bed over 2,000 feet away	II
Severe exposure	Continual stray current that results in more than 50 mV potential variation (any source) Metrorail lines that are within 200 feet of pipeline Future/proposed extension of Metrorail lines within 500 feet of pipeline Cathodically protected foreign buried pipes or cables that cross or come within 100 feet of the pipeline and have a ground bed[a] within 2,000 feet	III

Notes: [a]Ground bed = refers to impressed current cathodic protection anodes; [a2]Foreign = refers to another buried utility pipe or cable

برمبنای این فاکتورها، چند سیستم طبقه بندی اصلی برای تعیین پتانسیل خوردگی خاکها پیشنهاد شده است؛ اما لازم بذکر است که هر یک از سیستمهای موجود تنها تاثیر تعدادی از عوامل مذکور را در ارزیابی توانایی خورندگی خاک لحاظ می کنند و هنور هیچ سیستم طبقه بندی جامعی که اثر تمامی فاکتورهای موثر بر خوردگی فلزات مدفون در خاک را در نظر بگیرد، وجود ندارد. برای مثال، سیستم طبقه بندی ده امتیازی AWWA[۲] برمبنای پنج فاکتور: مقاومت الکتریکی حاک، pH خاک، پتانسیل کاهش اکسیداسیون، درصد

[1]Soil facies
[2] AWWA ten-point system

رطوبت، و سولفیدهای موجود در خاک، یک معیار جهت ارزیابی توانایی خورندگی خاکها ارائه کرده است. در این رویکرد، امتیازات مربوط به هر یک از این پنج عامل با هم جمع شده و اگر حاصلجمع برابر ۱۰ یا بزرگتر از آن باشد، خاک خورنده درنظرگرفته می شود. از دیگر سیستمهای طبقه بندی موجود، می توان به سیستم طبقه بندی پیشنهادی توسط (۳۱۶) و و همکاران (۳۱۵) اشاره کرد. در این دو سیستم طبقه بندی به ترتیب با در نظرگرفتن پنج و هفت عدد از عوامل موثر بر خوردگی خاک، پتانسیل خورندگی خاکها به ۴ گروه اصلی تقسیم شده است. این ۴ گروه خوردگی طبق سیستم طبقه بندی Taghipour و همکاران در جدول ۳۳-۲ نشان داده شده است.

جدول ۳۳-۲: طبقه بندی خوردگی خاک برمبنای هفت فاکتور (۳۱۵)

Soil factors	Soil corrosion groups			
	Extremely corrosive	Strongly corrosive	Moderately corrosive	Slightly corrosive
1. Moisture content	V	IV	III	II or I
2. Soluble salts				
SO_4^{2-}	IV	III	II	I
Cl^-	IV	III	II	I
3. Resistivity	V	IV	III or II	I
4. pH	IV	III	II	I
5. Redox potential	IV	III	II	I
6. Soil texture and minerals	IV	III	II	I
7. Stray currents	–	III	II	I

یکی از کاربردهای اصلی این سیستم های طبقه بندی این است که می توان با درنظرگرفتن مهمترین فاکتورهای موثر بر خوردگی مصالح ساختمانی مدفون (بتن و فلزات)، از آنها جهت پهنه بندی خاصیت خورندگی خاک در مناطق مختلف استفاده نمود. براین اساس، بوسیله نمونه گیری از خاک، تعیین خواص فیزیکی-شیمیایی نمونه ها به روشهای آزمایشگاهی و درجا، و ارزیابی پتانسیل خورندگی آنها بر مبنای معیارهای فوق، امکان شناسایی و تهیه نقشه پهنه بندی زمینهای خورنده فراهم می شود. لازم بذکر است که از جمله روشهایی که برای اندازه گیری نرخهای خورندگی زیرزمینی استفاده شده اند، می‌توان دو روش:

۱- دو قطبی سازی خطی Stern-Geary[1]، و

۲- افت وزنی[2]،

را نام برد، که روش اول در ارزیابی نرخ خورندگی پی[3] دکلهای تلسکوپی[4] خطوط انتقال نیرو[5]، سودمند بوده است (۲۵۷).

با توجه به اینکه شوری خاک و وجود نمکهای محلول در آن از عوامل موثر بر خاصیت خورندگی خاک می باشد، در برخی از کشورها تلاشهایی جهت پهنه بندی این گروه از خاکها صورت گرفته است. شناسایی و پهنه بندی

[1] Stern-Geary linear polarization method
[2] Weight loss method
[3] Footing
[4] Galvanized steel towers
[5] Power lines

خاک های شور غالباً، به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی آنها و نیاز به نمونه برداری و کارهای آزمایشگاهی مشکل است. از طرفی، در سالهای اخیر روشهای نوین، کم هزینه و سریع مانند فناوریهای سنجش از دور به علت توانایی در شناسایی پدیده های مختلف همواره مورد توجه متخصصین، مدیران و تصمیم گیرندگان بوده اند. برای مثال، اطلاعات به دست آمده از تصاویر ماهواره ای کمک زیادی به مطالعه پدیده های مختلف نموده و در تشخیص تغییرات پدیده ها بسیار راهگشا بوده اند (۳۱۷). در حال حاضر یکی از کاربردهای فناوری سنجش از دور در استخراج نقشه خاکهای شور می باشد. بطور کلی، تکنیکهای سنجش از دور از انرژی الکترومغناطیس منعکس شده از نشانه ها[1] جهت بدست آوردن اطلاعاتی در خصوص سطح زمین با ترازهای مختلف جزئیات استفاده می کنند. از طرفی نشان داده شده است که مابین قابلیت بازتاب[2] خاک و خواص مختلف آن نظیر کانی شناسی، درصد مواد آلی، درصد رطوبت، توزیع اندازه ذرات، درصد اکسید آهن، و شرایط سطحی، همبستگی قوی وجود دارد. با توجه به اینکه خاکهای خیلی شور و شوره زارها از تنوع ریخت شناختی و شیمیایی زیادی برخوردار هستند، همین مسئله موجب می شود بازتابهای طیفی مختلفی از شوره زارها حاصل شود. برمبنای این مفاهیم، در دهه های اخیر از فناوری سنجش از دور به طور گسترده ای جهت مطالعه قابلیت بازتاب طیفی عوارض شور در سطح خاک و به عنوان شاخصی مستقیم برای شناسایی و پهنه بندی شوری خاک استفاده شده است (۳۱۷; ۳۱۸; ۳۱۹).

۲-۷-۳-۵- خاکهای مساله دار[3]

بررسی خاکهای مساله دار از آن جهت ضرورت دارد که در بسیاری از کشورها از جمله ایران، به خاکهایی برخورد شده است که درشرایط عادی مشکلی نداشته و از قابلیت باربری خوبی برخوردارند؛ اما با تغییر برخی پارامترهای محیطی همچون رطوبت و تنش، تغییرشکلهای مهم و گاهی ناگهانی در این نوع خاکها پدیدار می‌شود. اینگونه تغییرها می توانند بناهایی را که بر روی این نوع خاکها ساخته شده اند را از حیز انتفاع ساقط کنند. از این رو، پهنه بندی خاکهای مساله دار (شامل خاکهای متورم شونده یا آماسی، خاکهای رمبنده و خاکهای واگرا) به منظور آشکار ساختن شرایط مناطق از جایگاه ساماندهی و مکان یابی شهرها حائز اهمیت است (۲۵۹). پهنه بندی خاکهای مساله دار به کمک انجام آزمایشهای درجا و آزمایشگاهی صورت می پذیرد. در این بخش، به تعدادی از این آزمایشها که جهت شناسایی سه نوع خاک مساله دار منبسط شونده، فروریزشی و واگرا استفاده می شوند، اشاره می گردد.

۲-۷-۳-۵-۱- خاکهای آماسی[4] (متورم شونده یا منبسط شونده) و نحوه شناسایی آنها

خاک های آماسی خاک هایی هستند که در اثر افزایش رطوبت، تغییر حجم افزایشی در خور توجه ای از خود بروز می دهند. بهترین تعریف از پدیده تورم عبارت است از واکنش فیزیکی- شیمیایی خاک و محیط که مقدار تورم در آن بستگی به شدت نیروهای جاذبه و دافعه میان ذرات خاک دارد. پدیده تورم پدیده ای برگشت پذیر است، یعنی خاک پس از کم شدن رطوبت منقبض می شود. لذا طبیعی است که ضمن بررسی تورم به پدیده انقباض نیز توجه شود (۲۵۹). روش مستقیم ارزیابی پتانسیل تورم در آزمایشگاه عمدتاً استفاده از دستگاه تحکیم

[1] Targets
[2] Reflectance
[3] Problematic soils
[4] Expansive soils

است. اساس کار در این روش آن است که نمونه خاک پس از قرارگیری در دستگاه تحکیم در معرض آب قرار داده می شود و بر اثر جذب آب متورم می شود. آنگاه با توجه به روش انتخاب شده فشار یا درصد تورم تعیین می گردد. درصد تورم در این روش تفاضل حجم نمونه پس از تورم و حجم اولیه است که به صورت درصدی از حجم اولیه بیان می شود. تفاوت روشهای مختلف آزمایش با دستگاه تحکیم از تفاوت در رطوبت نمونه در شروع آزمایش، سربار، مسیرتنش، زمان اضافه کردن آب، نحوه تهیه نمونه، روش نتیجه گیری و احیاناً روش اصلاح نتایج ناشی می شود. جهت تعیین پتانسیل تورم خاکها، روش های غیرمستقیم متعددی نیز وجود دارد. چنانچه وسعت منطقه مورد نظر زیاد باشد، معمولاً برای شناسایی و پهنه بندی خاکهای تورمی ابتدا از روش های ارزیابی غیرمستقیم موجود استفاده می گردد. سپس، نتایج حاصل از این بررسی ها با مطالعات هیدروژئولوژی، آب های سطحی و سازندهای زمین شناسی منطقه تلفیق شده و در نهایت، با کنترل نتایج با استفاده از روش های مستقیم، ارزیابی نهایی صورت می پذیرد. هر روش غیرمستقیم از یک یا چند معیار استفاده می کند. بطور کلی معیارهای فراوانی، نظیر: خواص خمیری خاک، شاخص تورم آزاد[1] (FSI) (جدول ۳۴-۲)، شاخص تورم آزاد تعدیل شده[2] (MFSI) (جدول ۳۵-۲)، درجه فعالیت خاک[3]، درصد تورم آزاد[4]، درصد ریزدانه، وزن مخصوص خاک، شرایط آب و هوایی منطقه، یکی از رطوبتهای مشخص خاک، و ... برای شناسایی و توصیف ویژگی های خاکهای منبسط شونده معرفی شده اند (۳۲۰).

جدول ۳۴-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک شاخص تورم آزاد، حد انقباض[5]، شاخص انقباض[6]، و سایر اندازه گیریها (۳۲۰)

Degree of expansion	Colloid content[10]; % minus 0·001 mm	Shrinkage limit[10]; %	Shrinkage index[4]; %	Free swell index[4]; %	Per cent expansion in oedometer* as per Holtz and Gibbs[10]	Per cent expansion in oedometer† as per Seed *et al.*[12]
Low	<17	>13	<15	<50	<10	0–1·5
Medium	12–27	8–18	15–30	50–100	10–20	1·5–5·0
High	18–37	6–12	30–60	100–200	20–30	5–25
Very high	>27	<10	>60	>200	>30	>25

* From dry to saturated condition under a surchare of 7 kPa.
† From compacted, saturated condition under a surcharge of 7 kPa.
Note: Shrinkage index = (plastic limit − shrinkage limit).

جدول ۳۵-۲: طبقه بندی تورم خاک برمبنای شاخص تورم آزاد تعدیل شده[7] (MFSI) (۳۲۰)

[1]Free swell index (FSI)
[2] Modified free swell index (MFSI)
[3] Activity
[4]Per cent free swell
[5]Shrinkage limit
[6]Shrinkage index
[7]Modified free swell index (MFSI)

MFSI: cm^3/g	Sediment volume in carbon tetrachloride: cm^3/g	Clay type	Soil expansivity
<1·5	1·10–3·00	Non-swelling	Negligible
1·5–2·0	>1·1 and <MFSI	Mixture of swelling and non-swelling	Low
1·5–2·0	⩽1·1	Swelling	Moderate
2·0–4·0	⩽1·1	Swelling	High
>4·0	⩽1·1	Swelling	Very High

در ادامه، برخی از این معیارها شامل: درصد ریزدانه، خصوصیات خمیری خاک، درجه فعالیت، وزن مخصوص خاک، شرایط آب و هوایی منطقه و یکی از رطوبت های مشخص خاک، مورد بررسی قرار می گیرند (۳۱۹):

الف) درصد ریزدانه

درصد ریزدانه خاک تاثیر زیادی بر خصوصیات تورمی آن می گذارد، زیرا نیروهای الکتریکی که روی سطح این ذرات عمل می کنند خیلی بیشتر از نیروهای ثقلی می باشند. اگر نوع رس ثابت باشد می توان انتظار داشت که با افزایش درصد ریزدانه، مقدار تورم نیز افزایش یابد.

ب) خصوصیات خمیری

هولتز و گیبس نشان دادند که نشانه خمیری[1] و حد روانی[2] مشخصه های مفیدی برای نشان دادن خصوصیات خمیری اغلب رس ها هستند و برخی از محققان نیز نشانه خمیری را به تنهایی برای پیش بینی تورم خاک ها به کار برده اند. چن در مورد حد روانی خاک ها می گوید از آن جا که حد روانی و تورم خاک هر دو بستگی به مقدار آب جذب شده توسط رس دارند جای تعجب نیست که این دو به هم مرتبط می باشند. به طور کلی معیار خواص خمیری خاک ها در اغلب روش های غیرمستقیم پتانسیل تورم گنجانده شده است (جدول ۳۴-۲،جدول ۳۶-۲،جدول ۳۷-۲).

جدول ۳۶-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک حد روانی (۳۲۰)

Degree of expansion	w_L: %	
	Chen[6]	IS 1498[4]
Low	<30	20–35
Medium	30–40	35–50
High	40–60	50–70
Very high	>60	70–90

جدول ۳۷-۲: پیش بینی تورم خاک به کمک نشانه خمیری (۳۲۰)

[1] Plasticity index
[2] Liquid limit

Degree of expansion	I_p: %		
	Holtz and Gibbs[10]	Chen[6]	IS 1498[4]
Low	<20	0–15	<12
Medium	12–34	10–35	12–23
High	23–45	20–55	23–32
Very high	>32	>35	>32

ج) درجه فعالیت

بنا به نظر اسکمپتون، درجه فعالیت خاک با رسم نمودار نشانه خمیری در مقایل درصد ذرات رس تعیین می-شود. این نمودار معمولاً یک خط راست بوده و درجه فعالیت برابر با ضریب زاویه این خط می باشد و اگر این خط از مرکز مختصات عبور کند درجه فعالیت خاک از تقسیم نشانه خمیری بر درصد ذرات رس به دست می آید. هرچه عدد فعالیت بیشتر باشد، انتظار تورم بیشتری خواهد رفت.

د) وزن مخصوص خاک

هرچه وزن مخصوص اولیه خاک بیشتر باشد، تورم زیادتری حاصل می شود. لذا وزن مخصوص را به عنوان یکی از معیارهای پیش بینی غیرمستقیم در نظر می گیرند.

ه) شرایط آب و هوایی

شرایط آب و هوایی ضمن اینکه در تشکیل خاکهای متورم شونده تاثیر دارد، به عنوان معیاری برای شناسایی این خاکها نیز به کار می رود. در برخی کشورها یک ضریب ثابت آب و هوایی برای مناطق مختلف آنها تعریف شده است. سپس بر مبنای روابط تجربی، ضریب ثابت آب و هوا و چند معیار دیگر را به تورم خاک ربط داده اند.

و) رطوبتهای مشخصه

درصد رطوبت خاک در حالتهای مختلف می تواند به عنوان معیاری برای پیش بینی غیرمستقیم پتانسیل تورم به کار رود. مثلاً هرچه رطوبت طبیعی خاک بیشتر باشد، امکان بروز تورم کمتر است. گاهی رطوبت خاک در حالت ویژه ای مورد نظر قرار می گیرد. به طور مثال رطوبت خاک اشباع پس از یک ساعت قرارگیری درسانتریفوژ برای پیش بینی غیرمستقیم تورم به کار رفته است.

۲-۷-۳-۵-۲- خاکهای رمبنده[1] (فروریزشی) و نحوه شناسایی آنها

ذرات برخی از خاکها نظیر خاکهای لس[2]، رسهای متخلخل و رسوبات آبرفتی در مناطق کم آب، در حالت غیراشباع دارای ساختاری تقریباً پایدار هستند، لیکن وقتی که خاک اشباع می شود، این ساختار از میان رفته و توده خاک ناپایدار می گردد (۲۵۹). در مواردی نیز این پدیده صرفاً با افزایش رطوبت خاک و قبل از آنکه اشباع گردد به وقوع می پیوندد. اینگونه خاک ها در عین حال که معمولاً در آزمایش نفوذ استاندارد مقاومت کمی از خود نشان می دهند، به ظاهر خاکهایی مقاوم می باشند و در حالت عادی، حتی در صورت ایجاد ترانشه هایی نسبتاً

[1] Collapsible soils
[2] Loess

قائم و عمیق در آنها ممکن است پایداری خود را از دست ندهند. در بعضی موارد، فروریزش ساختار خاکهای رمبنده در رطوبت طبیعی و تحت باری بحرانی بوقوع می پیوندد. همچنین ممکن است که تحت باری ثابت، بر اثر افزایش تدریجی درجه اشباع، خاک بتدریج نشست کند. عامل پایداری خاکهای رمبندۀ در حال تغییر درجه اشباع، عمدتاً وجود ترکیبات اکسید آهن، کربنات کلسیم و ذرات رسی احاطه کننده دانه های با اندازه لای می باشد. شالوده هایی که بر روی چنین خاکهایی احداث می‌شوند، در صورت اشباع شدن خاک، احتمالاً نشستی ناگهانی و در خور توجه خواهند داشت. افزایش رطوبت ممکن است از عوامل و منابع مختلفی نظیر لوله های آبرسانی شکسته، نشت لوله های فاضلاب، نشت مخازن آب یا استخرهای شنا و تخلیه فاضلابهای صنعتی ناشی شود. در اینگونه موارد، معمولاً نشست سطح زمین به طور ناگهانی و غیریکنواخت صورت می پذیرد. البته ممکن است رطوبت خاک بر اثر بالا آمدن تدریجی سطح آب زیرزمینی افزایش یابد که در این حالت معمولاً نشست به شکل یکنواخت صورت می گیرد. اینگونه خاکها دارای وزن مخصوص کم (در حدود ۱/۴ تن بر متر مکعب یا کمتر) هستند و در رطوبتهای طبیعی پایین، مقاومت زیاد و تراکم پذیری کمی دارند. به منظور شناسایی وجود پتانسیل فروریزش در خاک ها روش های متعددی در متون فنی پیشنهاد شده است که می توان آن ها را در دو دسته کلی طبقه بندی کرد:

۱- آزمایشهای آزمایشگاهی، و
۲- آزمایشهای صحرایی.

روشهای آزمایشگاهی خود به دو دسته:

۱- معیارهای کیفی[1] که براساس خصوصیات وزنی- حجمی خاک هستند، و
۲- معیارهای کمی[2] که بر پایه انجام آزمایش های ادومتر طبقه بندی شده اند،

قابل تفکیک می باشند. در جدول ۳۸-۲ تعدادی ازمعیارهای مبتنی بر پارامترهای وزنی- حجمی، ودر جدول ۳۹-۲ برخی ازمعیارهای شناسایی قابلیت فروریزش مبتنی بر آزمایشهای ادومتر مشاهده می شوند. روشهای شناسایی صحرایی می توانند با سرعت بیشتری قابلیت فروریزش را تخمین بزنند (۳۲۱). همچنین مزیت عمده روشهای صحرایی نسبت به روشهای آزمایشگاهی حذف خطاهای ناشی از دست خوردگی خاک در تعیین میزان فروریزش می باشد که منجر به تخمین مقدار کمتری برای قابلیت فروریزش نسبت به مقدار واقعی می شود.

برخی از آزمایشهای مورد استفاده برای شناسایی صحرایی خاکهای فروریزشی به قرار زیر می باشند:

۱- آزمایش نفوذ استاندارد[3]
۲- آزمایش پرسیومتر[4]
۳- آزمایش بارگذاری صفحه[5]

[1]Qualititative method
[2]Quantitative method
[3] Standard penetration test
[4] Pressuremeter
[5] Plate bearing test

جدول ۳۸-۲: معیارهای تشخیص خاصیت فروریزشی در خاکها با استفاده از پارامترهای وزنی- حجمی (۳۲۲)

غرضش	غخه ایسیقینٍ ؤ
Denisov (1951)	$K = e_0 / e_1$ ضل e_0 غ أ" ٔ گنگ ظ لقه ل ق غ أ" ٔ گنگ ظ ٌ لله أسیقینٍ ؤ نا گ آگ قیگط نغ ن "لیٔ گ کاص" اًّ ٔ غ لٔه ظسیقینٍ ٔ ئ ن" الأ $K = 0.5 - 0.75$ کاص ره یسیقینٍ ٔ ئ ن $K = 1.5 - 2.0$
Clevenger(1958)	کاصسیقینٍ ٔ ئ ن $\gamma_d < 1.28 gr/cm^3$ کاص ره یسیقینٍ ٔ ئ ن $\gamma_d > 1.44 gr/cm^3$
Priklonski (1952)	$K_0 = (w_0 - w_p)/PI$ ضل w_0 گیب گ یشق" ٔ ث"بخ ن ق w_p چگ کغه ین کاص غ ن"لیٔ گ کاص" اًّ ٔ غ لٔه ظسیقینٍ ٔ ئ ن" الأ $K_0 < 1$ کاص ره یسیقینٍ ٔ ئ ن $K_0 > 0.5$ کاص غ ٔ قیعیٔ قگ $K_0 > 1$
Feda(1966)	$K_1 = (w_0 / S_0) - (w_0 / PI)$ ضل w_0 گیب گ یشق" ٔ ث"بخ ن ا w_p چگ کغه ین ق S_0 گیٔ ٌ لٔ"بخ کاص غ ن"لیٔ گ کاصسیقینٍ ٔ ئ ن $S_0 < 100$ ق $K_1 > 0.85$
Feda(1966)	ظ لیگ گنگ ظ لقه ل"ه ئ ٔ یاًّ ۴۰ گیب گ"لیٔ گ ا کاصسیقینٍ ٔ ئ ن آ ٔ
Benites(1968)	غصگ ا ۲ ظ طیع اًّ کاص غ قیگ فحی گ یٍ ، غ صج یٍ یگ ٔ ل غ نیٔ قگ ا ظ لی غ گ ٔ اًّ غ ف ث نیٔ گ ٔ ا اًّ غ ف ًّ یظ ق گ یٔ گ ف کاص گ یٍ ، ۲۰ ا ۳۰ ٍ ف ه ل"لیٔ گ ا کاصسیقینٍ ٔ ئ ن آ ٔ .
Handy(1973)	۱۶٪ > گیب گ ی ٍ کاص" اًّ ٔ غ لٔه ظسیقینٍ ٔ ئ ن" الأ ۲۴٪ > گیب گ ی ٍ > ۱۶٪ کاص لچ ٔ غ الأسیقینٍ ٔ ئ ن ۳۲٪ > گیب گ ی ٍ > ۲۴٪ کاص ضغ ٔ یاًّ ۵۰ گیب گسیقینٍ ٔ ئ ن ۳۲٪ > گیب گ ی ٍ کاص ره یسیقینٍ ٔ ئ ن

جدول ۳۹-۲: معیارهای تشخیص خاصیت فروریزشی در خاکها با استفاده از نتایج آزمایش ادومتر (۳۲۱)

غرضش	غخه ایسیقینێ ؤ
Sultan(1969)	$C_p = \Delta H / H_0$ ض ا ΔH اکەلاش "ه ف ایێش احفغققطص"ظ ةێحگ اّ ایئ"اح آ اّن غ ن"ایئگ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ ن"الأ $C_p > 6\%$
Jenning & Knight (1975)	کاصـرەیسیقینێئ ن $0\% < C_p < 1\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ نغـقآ ث $1\% < C_p < 5\%$ کاصسیقینێئ ن $5\% < C_p < 10\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ ن ّناگ $10\% < C_p < 20\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ نئگنگ $C_p > 20\%$
Sabbagh(1982)	کاصـرەیسیقینێئ ن $0\% < C_p < 2\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ نغـقآ ث $2\% < C_p < 5\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ ن ّناگ $C_p > 5\%$
ASTM D533-03	کاصـرەیسیقینێئ ن $C_p = 0\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ نضغ $0.1\% < C_p < 2\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ نغـقآ ث $2.1\% < C_p < 6\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ ن ّناگ $6.1\% < C_p < 10\%$ کاصـ"اّـهْ أهظسیقینێئ ن" أه ای ّناگ $C_p > 10\%$

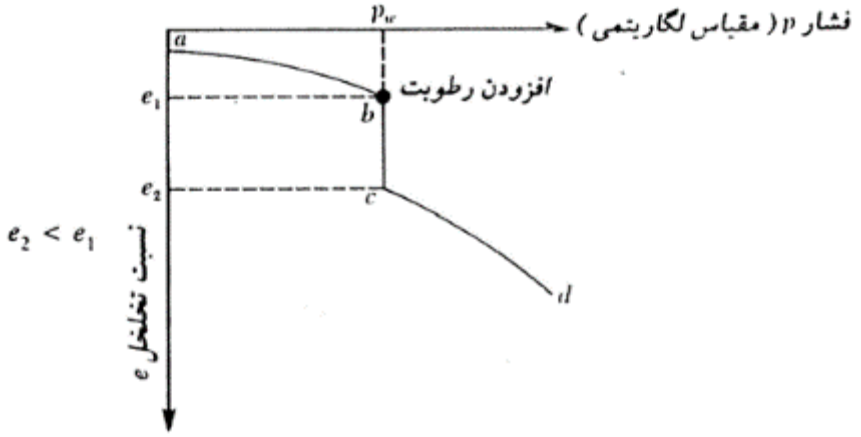
ارزیابی مستقیم پتانسیل رمبندگی چه در آزمایشگاه و چه در محل، تحت شرایط زیر صورت می پذیرد (۲۵۹):

۱- میزان نشست تدریجی یا ناگهانی تحت اثر باری بحرانی در رطوبت طبیعی خاک

۲- میزان نشست تدریجی یا ناگهانی تحت اثر باری بحرانی در حالت اشباع

آزمایش بارگذاری صفحه روش مفیدی جهت ارزیابی تراکم پذیری و تعیین بار بحرانی است که تحت آن، نشستی ناگهانی بوقوع می پیوندد. این ارزیابی در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه آزمایش تحکیم انجام می گیرد. در این آزمایش در صورتی که نمونه با رطوبت طبیعی خود تحت اثر فشاری معادل با فشار در محل قرار داده شود،

می‌توان با اشـباع کردن نمونه ها در این حالت، پتانسـیل رمبندگی را بررسـی نمود. در خاکهای رمبنده منحنی تغییرات تخلخل در مقابل فشار، مانند نمودار شکل ۱۹-۲ می باشد.



شکل ۱۹-۲: تغییرات نسبت تخلخل در مقابل فشار برای خاکهای فروریزشی (۲۵۹)

جهت تخمین و شـناسـایی پتانسـیل رمبندگی خاکها روشـهای متعددی توسـط محققان مختلف پیشـنهاد شـده اسـت که از آن جمله می توان به روش دنیس اف[۱]، کلونجر[۲]، پریکلنسـلی[۳]، آیین نامه روسـیه[۴]، فدا[۵]، بنیتس[۶]، جنینگز و نایت[۷]، هولتز و هیلف[۸]، و روش USBR اشـاره نمود (۲۵۹). همچنین لازم بذکراسـت که در رابطه با رفتار هیدرومکانیکی و همچنین روشـهای تثبیت خاک های فروریزشـی مطالعات گسـترده ای در دانشـگاه صـنعتی شریف انجام شده است (۳۲۳ الی ۳۳۲) (۳۲۴ الی ۳۳۷)

۲-۷-۳-۵-۳- خاکهای واگرا[۹] و نحوه شناسایی آنها

خاکهای واگرا در زمره خاکهای ریزدانه ای هستند که به دلیل وجود جریان آب، شسته می شوند. این خاکها که عموماً از نوع رس می باشند، عمدتاً حاوی درصد بالایی از یون سدیم در آب منفذی خود هستند (۲۵۹). آب شستگی در خاکهای واگرا در بسیاری از موارد با تمرکز جریان آب در درز و ترکها موجود در توده خاک که ممکن است بدلیل نشست سازه و یا خشک شدن و انقباض خاک ایجاد شده باشند، آغاز می شود و با فرسایش سریع خاک نهایتاً به تخریب خاکریز منجر می شود. شناسایی اولیه خاکهای واگرا در بازدیدهای مقدماتی از محل و در ضمن بررسی های اولیه زمین شناسی در سطح منطقه صورت می پذیرد. در جاهایی که سطح زمین شیب نسبتاً تندی دارد، بر اثر بارندگی ها و فرسایش سریع، بریدگیهای بسیار عمیق و مشخص در سطح زمین بوجود می آید.

[1] Denisov
[2] Clevenger
[3] Priklonski
[4] Soviet building code
[5] Feda
[6] Benites
[7] Jennings & Knight
[8] Holtz & Hilf
[9] Dispersive soils

معمولاً در مناطق در بردارنده خاکهای واگرا آثار آب شستگی از قبیل کانال های تنگ و عمیق طبیعی، خلل و فرج و حفره های بزرگ با دیوارهای عمودی، جویبارها، تونل ها و آبشستگی های کوزه ای شکل دیده می شود. آبشستگی های کوزه ای شکل به آن دسته از آبشستگی ها گفته می شود که در آنها میزان فرسایش خاک در اعماق، بیشتر از میزان آن در سطح است. برخی از پژوهشگران استرالیایی، خاک مناطقی را که آبهای جاری در آنها کدر بوده اند مشکوک به واگرایی در نظر گرفته اند.

شناسایی خاکهای واگرا در آزمایشگاه به کمک آزمایش هایی نظیر دانه بندی و حدود اتربرگ که معمولاً برای طبقه بندی خاکها از آنها استفاده می شود میسر نمی باشد و بدین منظور از آزمایشهای ویژه ای استفاده می‌گردد. متداول ترین آزمایشهای شناسایی خاکهای واگرا عبارتند از:

۱- آزمایش پین هول
۲- آزمایش تعیین درصد نمکهای محلول در آب منفذی (آزمایشهای شیمیایی)
۳- آزمایش هیدرومتری دوگانه
٤- آزمایش کرامب

۲-۷-۳-٦- فرسایش خاک

نخستین گام جهت مهار فرسایش خاک، پیش بینی هدررفت خاک و ارزیابی عوامل عمده موثر بر آن است. به دلیل این که از یک سو تعیین مستقیم فرسایش هزینه بر و مستلزم وقت زیاد می باشد و از سوی دیگر نتایج حاصل از آن اغلب منطقه ای و محدود می باشد، روشهایی جهت برآورد فرسایش ارائه شده است. این روشها غالباً روشهای تجربی می باشند. علت این امر، فقدان داده های آماری دقیق و کافی جهت برآورد دقیق میزان فرسایش است که استفادهازروشهایآماریرا با مشکل مواجه کرده و بکارگیری روشهای تجربی مناسب و کارامد برای برآورد شدت فرسایش خاک را الزامی نموده است. اساس مدلهای تجربی در نظر گرفتن تعدادی از عوامل مهم که در فرسایش خاک مؤثرند، می باشد و برمبنای روشهای مشاهده ای و اندازه گیری تجربی مدل را ارائه می دهند. این مدلهای تجربی برای برآورد فرسایش خاک در یک منطقه خاص تهیه شده اند و واسنجی آنها برای استفاده در شرایطی غیر از محل تهیه آنها ضروری است. یکی از روشهای تجربی که بطورگسترده برای برآورد فرسایش آبی و بررسی عوامل موثر بر آن در زمین های کشاورزی استفاده می شود، رابطه جهانی فرسایش خاک است که توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۷۸ ارائه شد. امروزه روشهای مختلف دیگری نیز برای تخمین فرسایش خاک پیشنهاد شده اند، اما عمده آنها بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار هستند.

در ادامه این بخش، تعدادی از مدلهای تجربی موجود جهت برآورد میزان فرسایش مورد بررسی قرار می گیرند.

۲-۷-۳-٦-۱- مدل جهانی فرسایش خاک[1] (USLE)

دانشمندان و محققین حفاظت خاک در ایالات متحده امریکا مشاهده نمودند که عواملی از قبیل نوع و مقدار بارندگی، طول و تندی شیب، فرسایش‌پذیری خاک، سیستم‌های زراعی و عملیات مدیریتی بر تلفات خاک از طریق

[1] Universal Soil Loss Equation (USLE)

فرسایش سطحی و شیاری موثرند. این افراد فعالیت‌های گسترده‌ای را برای کمی کردن اثرات این عوامل بر فرسایش آغاز نمودند (۳۳۸). اولین تلاش برای کمی ساختن تاثیر بعضی از این عوامل با ایجاد کرت‌های فرسایش در سال ۱۹۱۴ به وسیله میلر سرپرست بخش خاک دانشگاه میسوری انجام گرفت. سپس آقای بنت مطالعه مشابهی را در نواحی دیگر که دارای شرایط متفاوتی از لحاظ بارندگی، خاک و عملیات زراعی نسبت به کرت‌های کنترلی در میسوری بودند، انجام داد. علاقه عمومی مقابله با فرسایش خاک و حفاظت آب که از سال ۱۹۳۰ شروع شده بود باعث گردید که تخصص خاصی برای بررسی مسائل فرسایشی و حفاظت خاک درنظرگرفته شود. براین اساس احداث و گسترش ایستگاه‌های تحقیقاتی فرسایش و حفاظت خاک آغاز گردید. آقایان زینگ و اسمیت از پیشگامان قرار دادن اطلاعات حاصله از آزمایشات مختلف در یک فرمول که ارتباط‌دهنده عوامل مختلف با فرسایش است، محسوب می‌شوند. آقایان پارانیش و گلس نیز برای اولین بار از روابط منتج از این پژوهش‌ها برای برآورد فرسایش در شرایط عملی در مزرعه استفاده نمودند. ماسگریو در سال ۱۹۴۷ ضمن مطالعه و تحلیل مقادیر هدررفت خاک مربوط به چهل هزار رگبار که از کرت‌های کوچک در امریکا بدست آمده بود، رابطه‌ای را برای محاسبه تلفات خاک با توجه به ماکزیمم شدت بارش با دوره بازگشت دو سال، فرسایش‌پذیری خاک، طول شیب، درصد شیب و پوشش زمین ارائه داد. این مدل برای محاسبه متوسط تلفات خاک در طولانی مدت و برای یک ناحیه پهناور مناسب بود.

تخمین تلفات خاک ناشی از بارش‌های کوتاه مدت برای نواحی مشخص و کوچک، سبب گرد آمدن داده‌های زیاد و تحلیل آنها توسط ویشمایر و اسمیت شد. کوشش و تلاش‌های آنها در نهایت باعث ایجاد و توسعه معادله جهانی تلفات خاک (USLE) گردید. شکل کلی این معادله جهانی، بصورت معادله(۶-۲ می باشد:

$$A = R.K.L.S.C.P \qquad (۲-۶)$$

این رابطه به عنوان معادله جهانی فرسایش، میزان اتلاف خاک از یک سطح را بصورت حاصلضرب شش عامل مختلف درنظرمی گیرد. این عوامل عبارتند از: R ضریب فرسایش پذیری باران، K ضریب فرسایش پذیری خاک، L ضریب طول حوضه، S ضریب شیب حوضه، C ضریب مدیریت بهره برداری، و P ضریب عملیات حفاظتی خاک. بعلاوه در این رابطه، پارامتر A میزان خاک فرسایش یافته یا مقدار تلفات خاک در واحد سطح است که براساس واحدهای انتخاب شده برای K، در دوره زمانی R بیان می‌گردد. واحد A معمولاً تن بر هکتار در سال است.

۲-۷-۳-۶-۲- مدل تصحیح یا تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک[1] (RUSLE)

معادله جهانی تلفات خاک (USLE)، برای پیش بینی متوسط سالانه تلفات خاک حاصل از فرسایش ورقه ای و شیاری در یک قطعه زمین یا دامنه طراحی شد. این مدل که توسط ویشمایر و اسمیت، با جمع آوری اطلاعات فرسایش خاک از ۳۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت امریکا دست آمد، فرسایش خاک را به صورت ترکیبی از شش فاکتور که نشان دهنده نیروی فرسایندگی باران، فرسایش پذیری خاک، طول و درجه شیب، سیستم کشت و عملیات مدیریتی است، تخمین زده و جهت پیش بینی تلفات خاک در اراضی کشاورزی بکار می رود (۳۳۹). تحقیقات و مطالعات انجام شده در سالهای بعد منجر به توسعه معادله جهانی تلفات خاک اصلاح شده

[1] Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

(RUSLE) گردید. مدل RUSLE مشابه USLE شش فاکتور دارد اما برآوردهای دقیق تری از فاکتورهای فرسایندگی باران، فرسایش پذیری خاک، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی دارد و جهت پیش بینی تلفات خاک در مناطق گسترده تر و در شرایط مختلف پوشش مانند اراضی زراعی، جنگل، مرتع و جنگل های آسیب دیده توسعه یافته است. در کل، مدل RUSLE پایه فیزیکی محکم تری نسبت به USLE دارد و علاوه بر آن که در اراضی غیرزراعی نیز کاربرد دارد، می تواند در فرسایش شیاری، سطحی و سایر شکلهای فرسایش هم بکار رود.

۲-۷-۳-٦-۳- فرمهای دیگر معادله جهانی فرسایش خاک

از دیگر نسخ رابطه جهانی فرسایش خاک می توان به مدلهای: MUSLE، MUSLE-S، MUSLE-E، MUSLT، EUSLE، USLE-M، AUSLE، AOF، و TAM اشاره نمود. تمامی این مدلها بر مدل جهانی فرسایش خاک استوار بوده و با دارا بودن فرمی مشابه مدل USLE، اثر شش فاکتور درنظرگرفته شده در این مدل جهت برآورد میزان فرسایش را لحاظ می کنند؛ منتها با این تفاوت که برای محاسبه و تخمین برخی از این فاکتورها از معادلات متفاوتی استفاده می نمایند. بعبارت دیگر، تفاوت بسیاری از این مدلها با مدل USLE در نحوه محاسبه و یا روش برآورد عوامل موجود در آن، بویژه عامل فرسایندگی باران و رواناب می‌باشد (۳۴۰; ۳۴۱).

۲-۷-۳-٦-٤- مدل EPM

از دیگر مدلهای تجربی برای برآورد شدت فرسایش خاک، مدل EPM است. این مدل با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمین‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق بدست آمده و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلویک (۳۴۲) ارائه گردید. مدل EPM قادر است به عنوان ابزاری جهت برآورد اولیه میزان بار رسوب آبراهه ها در طرحهای مربوط به سدهای در حال احداث و یا سایر سازه هایی که به نحوی به این گونه داده ها نیازمندند، بکار گرفته شود. این مدل، روش پیشرفته طبقه بندی کمی فرسایش به روش M.Q.C.E[1] بوده و با استفاده از آن می توان نقشه فرسایش خاک را تهیه نمود. برخی از روابط مدل EPM به شرح زیر می باشند (۳۴۳):

$$V_{sp} = T.H.\pi.Z^{\frac{3}{2}} \qquad (۲-۷)$$

که در آن، V_{sp} میانگین سالانه فرسایش برحسب مترمکعب بر کیلومترمربع بر سال، T ضریب دما، H متوسط مقدار بارندگی سالانه برحسب میلیمتر، π عدد پی، و Z ضریب شدت فرسایش است که خود تابعی از ضریب کاربری اراضی، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، و شیب متوسط حوضه بوده و با استفاده از رابطه‌ای مستقل محاسبه می شود.

۲-۷-۳-۷- مناطق کارستی

جهت شناسایی سازندهای کارستی و تهیه نقشه پراکنش آنها از تکنیکهای مختلفی، نظیر سنجش از دور (شامل تصاویر ماهواره‌ای، عکسهای هوایی، تداخل سنجی رادار، ...)، آزمایشهای ژئوفیزیک، نقشه های توپوگرافی، ابزار دقیق (نظیر کشیدگی سنج، انحراف سنج، و پیزومتر)، و عملیات میدانی استفاده می شود (۳۴۴ الی ۳۴۷). یکی از جنبه های پژوهشی کارست، بررسی حساسیت سیستم کارست[2] و تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت و خطر

[1] Method of Quantitative Classification of Erosion
[2] Karst vulnerability or karst sensivity

کارست به لحاظ احداث تاسیسات و زیرساختهای انسانی می باشد. برای پهنه بندی تحول و حساسیت کارست لازم است ابتدا عوامل مختلفی که در توسعه مناطق کارستی در منطقه مورد مطالعه دخالت دارند (نظیر بارش، دما، میزان دی اکسید کربن، تکتونیک، ضخامت لایه سازند کارستی و خصوصیات چینه شناسی و سنگ شناسی)، شناسایی شوند. پس از انتخاب و تعیین فاکتورهای موثر در تحول کارست می توان به وسیله روشهای کمی اشاره شده در بخش ۲-۳-۷-۲- (شامل روشهای آماری، احتمالاتی، و ترکیبی)، اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی پتانسیل توسعه کارست در منطقه مطالعاتی نمود (۳۴۸ الی ۳۵۲).

۲-۷-٤- مطالعات مربوط به پهنه بندی مخاطرات زمین در کشورهای منتخب

در این بخش، به تعدادی از روشها و مدلهای بکار گرفته شده در کشورهای منتخب جهت تهیه انواع نقشه پهنه بندی مخاطرات مختلف زمینی، شامل نقشه پهنه بندی وقوع، پهنه بندی حساسیت، و پهنه بندی خطر، اشاره می شود. این اطلاعات، به ترتیب در جدول ۴۰-۲ تا جدول ۴۶-۲ خلاصه شده اند.

جدول ۴۰-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره زلزله

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)
امریکا	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)
مکزیک	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA) ۲- روش قطعی تحلیل خطر زمین لرزه (DSHA)
هند	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA) ۲- روش قطعی تحلیل خطر زمین لرزه (DSHA)
ژاپن	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)
ایتالیا	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)
ترکیه	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)
روسیه	۱- روش احتمالاتی تحلیل خطر زمین لرزه (PSHA)

جدول ۴۱-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره زمین لغزش

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- شبکه عصبی مصنوعی ۲- مدل نسبت فراوانی ۳- مدل وزن شاهد
امریکا	۱- روش آماری چند متغیره[1]

[1] Multivariate statistical approach

	۲- استفاده از تکنولوژی GIS ۳- روش تجربی[1]
مکزیک	۱- روش وزن شاهد ۲- استفاده از تکنیکهای سنجش از دور (نظیر LIDAR) ۳- استفاده از تکنولوژی GIS ۴- رگرسیون لجستیک ۵- تحلیل ممیزی یا تشخیصی خطی و درجه دو ۶- شبکه های عصبی
هند	۱- روش کیفی[2] ۲- استفاده از تکنیک سنجش از دور ۳- استفاده از تکنولوژی GIS ۴- روشهای آماری ۵- شبکه عصبی مصنوعی ۶- منطق فازی
ژاپن	۱- مدل رگرسیون لجستیک چندگانه[3] و رگرسیون لجستیک ۲- تحلیل آماری دو متغیره[4] ۳- مدل اسپلاین رگرسیون تطابقی چند متغیره[5] ۴- نسبت فراوانی ۵- وزن شاهد ۶- شبکه عصبی مصنوعی ۷- درخت تصمیم[6]
ایتالیا	۱- تحلیل ممیزی یا تشخیصی ۲- رگرسیون لجستیک ۳- استفاده از تکنولوژی GIS ۴- روشهای جنگل تصادفی درخت بیزین[7] و جنگل تصادفی
ترکیه	۱- مدل نسبت فراوانی ۲- مدل ترکیب خطی وزین ۳- رگرسیون لجستیک ۴- استفاده از تکنولوژی GIS ۵- مدل شاخص آنتروپی

[1] Empirical approach
[2] Qualitative method
[3] Multiple logistic regression
[4] Bivariate statistical analysis (BS)
[5] Multivariate adaptive regression splines model (MARSplines)
[6] Decision tree
[7] Bayesian tree random forest (BTRF)

جدول ۴۲-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره فرونشست زمین

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- روش تحلیل سلسله مراتبی ۲- روش فازی[1]
امریکا	۱- استفاده از تکنیکهای نقشه برداری زمینی ۲- استفاده از تکنیهای سنجش از دور، نظیر GPS و تداخل سنجی راداری ۳- پایش سطح آب زیزمینی ۴- استفاده از ابزار دقیق، نظیر کشیدگی سنج[2] و انحراف سنج گمانه[3]
مکزیک	۱- روش های کیفی ۲- استفاده از آزمایشهای ژئوفیزیک، نظیر گرانی سنجی ۳- استفاده از تکنیهای سنجش از دور، نظیر تداخل سنجی راداری
هند	۱- ترازیابی دقیق ۲- استفاده از تکنیکهای سنجش از دور GPS و تداخل سنجی راداری (DInSAR)
ژاپن	۱- استفاده از تئوری تحکیم ترزاقی و اعمال برخی اصلاحات بر روی آن ۲- استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)
ایتالیا	۱- استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری (PSInSAR) ۲- استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS)

جدول ۴۳-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره خاکهای شور[4]

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- استفاده از تکنیک سنجش از دور (تصاویر ماهواره ای) ۲- نمونه گیری و انجام آزمایشات آزمایشگاهی به منظور تعیین شوری خاک ۳- استفاده از تکنولوژی GIS
مکزیک	۱- نمونه گیری و انجام آزمایشات آزمایشگاهی به منظور تعیین خواص خاک (نظیر هدایت الکتریکی) ۲- استفاده از تکنیک سنجش از دور
هند	۱- استفاده از تصاویر ماهواره ای و مشاهدات میدانی[5] ۲- استفاده از تکنولوژی GIS
ترکیه	۱- استفاده از تصاویر ماهواره ای ۲- اندازه گیریهای میدانی هدایت الکتریکی خاک ۳- مدلهای رگرسیون خطی ساده و چندگانه
روسیه	۱- استفاده از تکنولوژی GIS ۲- استفاده از تصاویر ماهواره ای

[1] Fuzzy comprehensive evaluation method
[2] Extensometer
[3] Borehole tiltmeter
[4] Salt-affected soils
[5] Ground truth

	۳- نمونه گیری از خاک و تعیین درجه و نوع شوری خاک

جدول ۴۴-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره خاکهای متورم شونده

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و تعیین خواص مهندسی خاک (شامل درصد کانیهای رس، شاخصهای فیزیکی-شیمیایی، شاخص های تورم و انقباض، ...)
امریکا	۱- برمبنای تغییرحجم تخمین زده شده مصالح رسی در واحد زمین شناسی، وجود کانی رسی مونت موریلونیت، عمر زمین شناسی، مشکلات گزارش شده ناشی از مصالح متورم شونده ۲- انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و درجا و تعیین خواص مهندسی خاک
هند	۱- انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و تعیین خواص مهندسی خاک (شامل درصد تورم آزاد خاک، دامنه خمیری، حد انقباض، ...)
ترکیه	۱- انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و تعیین خواص مهندسی خاک (شامل ترکیبات کانی شناسی، خواص تورمی خاک، حدود اتربرگ، ...)

جدول ۴۵-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره فرسایش خاک

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- مدل USLE ۲- استفاده از تکنولوژی GIS ۳- استفاده از تکنولوژی سنجش از دور ۴- مدل RASEAM ۵- مدل RUSLE
امریکا	۱- مدل تحلیل سلسله مراتبی ۲- استفاده از تکنولوژی GIS
هند	۱- استفاده از تکنیک سنجش از دور ۲- استفاده از تکنولوژی GIS ۳- مدل RUSLE ۴- ارزیابی کیفی قرسایش خاک با استفاده از ابزار جمع وزنی ArcGIS ۵- مدل USLE
ژاپن	۱- مدل RUSLE ۲- مدل PESERA ۳- مدل RMMF ۴- روش شبکه عصبی مصنوعی ۵- روش رگرسیون چندخطی
ایتالیا	۱- مدل USLE ۲- مدل RUSLE

جدول ۴۶-۲: نمونه ای از روشهای مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه بندی مخاطره مناطق کارستی

کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- استفاده از تکنولوژی سنجش از دور (تصاویر ماهواره ای) ۲- استفاده از تکنولوژی GIS ۳- مدل تحلیل سلسله مراتبی ۴- مدل ارزیابی چندحوزه ای فازی[1] ۵- مدل رگرسیون لجستیک ۶- تئوری بیزین
امریکا	۱- استفاده از نقشه های زمین شناسی رقومی[2] ۲- از طریق شناسایی و گردآوری اطلاعات مناطق دارای سنگهای انحلال پذیر (مناطق دارای کارست یا با پتانسیل ایجاد کارست) ۳- استفاده از تکنولوژی GIS
مکزیک	۱- استفاده از تکنولوژی GIS ۲- استفاده از نقشه های توپوگرافی
ایتالیا	۱- نقشه برداری صحرایی[3] ۲- آزمایشهای ژئوفیزیک ۳- استفاده از عکسهای هوایی ۴- استفاده از نقشه های توپوگرافی ۵- استفاده از شناسایی های صحرایی[4] ۶- استفاده از یک مدل تجربی[5] ۷- استفاده از تکنولوژی GIS ۸- از طریق انجام مشاهدات زمین شناسی میدانی[6] ۹- استفاده از تکنیکهای اسکن لیزر زمینی[7] ۱۰- مدل رگرسیون لجستیک

۲-۸-سیاست گذاری کلان و برنامه ریزی استراتژیک در زمینه مخاطرات زمینی

در این بخش به عنوان نمونه ای از برنامه ریزیهای استراتژیک و سیاست گذاریهای کلان کشورهای منتخب در حوزه های مرتبط با شناسایی مخاطرات زمینی، به نقشه راه تهیه شده توسط کشور امریکا جهت طراحی شریانهای

[1] Fuzzy multidisciplinary assessment model
[2] Digital geologic map
[3] Field mapping
[4] Field survey
[5] Heuristic model
[6] Field geological observations
[7] Terrestrial laser scanning techniques (TLS)

حیاتی تاب آور زلزله و در نتیجه کاهش خسارات ناشی از وقوع این مخاطره اشاره می شود. هدف اصلی این نقشه راه پژوهشی، توسعه ای، و اجرایی ده ساله، تولید استانداردهای جدید برای ساخت و طراحی لرزه ای اجزاء و سیستمهای شریان حیاتی کلیدی، شامل شبکه های برق، می‌باشد.

براین اساس، یکی از اولویتها و فعالیتهای پژوهشی، توسعه ای، و اجرایی توصیه شده در این نقشه راه، به شناسایی و ایجاد روشهایی برای کمی نمودن مخاطرات بر روی سیستمهای شریان حیاتی خطی اختصاص دارد. در ادامه، این موضوع و نقشه راه مذکور با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می گیرد.

۲-۸-۱- شریانهای حیاتی مقاوم در برابر زلزله: نقشه راه پژوهشی، توسعه ای و اجرایی NEHRP

موسسه ملی استانداردها و فناوری امریکا[1] (NIST) و دیگر آژانس های برنامه ملی کاهش خطر زلزله[2] در امریکا (NEHRP) به منظور بهبود عملکرد شریانهای حیاتی[3] در مقابل زلزله و فجایع مرتبط با آن، یک نقشه راه پژوهشی، توسعه ای و اجرایی را تحت عنوان "شریانهای حیاتی مقاوم در برابر زلزله[4]: نقشه راه پژوهشی، توسعه ای و اجرایی NEHRP" در سال ۲۰۱۴ میلادی تهیه کردند (۴۲۳). این نقشه راه بر ۶ سیستم شریان حیاتی کلیدی متمرکز می باشد:

۱- شبکه های برق،
۲- گاز و سوختهای مایع،
۳- مخابرات،
٤- حمل و نقل،
٥- آب، و
٦- فاضلاب.

هدف از این نقشه راه، تولید اهداف عملکردی و ترمیمی ملی[5] به همراه توسعه دستورالعملها[6]، کتب راهنما[7]، و استانداردها برای سیستمها و اجزاء شریانهای حیاتی کلیدی می باشد. در حالیکه این نقشه راه عمدتاً بر روی جنبه های تاب آوری زلزله شریانهای حیاتی تمرکز می کند، اما جنبه های چند مخاطره ای[8] عملکرد شریانهای حیاتی به اضافه تلفیق و یکپارچه سازی فناوری حمایت شده توسط NEHRP به داخل یک چارچوب تمام مخاطره ای[9] برای شریانهای حیاتی را نیز در نظر می گیرد. بطور خلاصه، بسیاری از موضوعات اولویت دار[10] مشخص شده در

[1] National Institute of Standards and Technology (NIST)
[2] National Earthquake Hazard Reduction Program (NEHRP)
[3] Lifelines
[4] Earthquake-resilient lifelines
[5] National performance and restoration goals
[6] Guidelines
[7] Manuals
[8] Multi-hazard aspects
[9] All-hazards framework
[10] Priority topics

این نقشه راه، تاثیری مستقیم بر روی اولویتهای ملی به منظور ارتقاء تاب آوری و بهبود عملکرد شریانهای حیاتی بهم وابسته[1] تحت شرایط چند مخاطره ای دارند. بنابراین این موضوعات، بخش بسیار مهمی از یک استراتژی و برنامه کلی جهت حمایت و پشتیبانی جوامع تاب آور مخاطره[2] می باشند. چارچوب تعریف شده برای این نقشه راه، شامل ۴ المان کلیدی می باشد. این المانها[3]، محدوده موضوعات اولویت دار پیشنهادی برای تحقیق، توسعه و اجرا را که قرار است در طی یک دهه آتی از زمان تهیه نقشه راه (یعنی در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۱۴) دنبال شوند، به اضافه یک طرح اولویت بندی مبتنی بر توافق آراء[4] برای تکمیل کار را، تعریف می کنند. این ۴ المان کلیدی به قرار ذیل می باشند:

- المان I. وضع اهداف ملی عملکردی و ترمیمی برای سیستم شریان حیاتی
- المان II. تهیه کتب راهنما، دستورالعمل، استاندارد، و آیین نامه های عملکردی ویژه سیستم شریان حیاتی
- المان III. انجام تحقیقات مسئله محور[5] برای سیستمهای شریان حیاتی مختلف
- المان IV. میسر کردن اتخاذ[6] و اجرای[7] اهداف و استانداردهای عملکردی سیستم شریان حیاتی

در مجموع ۲۸ موضوع اولویت دار پژوهشی، توسعه ای و اجرایی در این چهار المان گنجانده شده است. بعلاوه، یک رتبه بندی اولویت مبتنی بر توافق عمومی نیز برای تمامی این موضوعات، بعنوان بخشی از فرآیند توسعه نقشه راه، تهیه شده است. خلاصه ای از اولویتهای پژوهشی، توسعه ای و اجرایی توصیه شده، به تفکیک المان نظیر در جدول ۴۷-۲ نمایش داده شده است.

جدول ۴۷-۲: خلاصه ای از اولویتهای پژوهشی و اجرایی سیستم شریان حیاتی (۴۲۳)

[1] Interdependent lifeline
[2] Hazard-resilient communities
[3] Program elements
[4] Consensus-based prioritization scheme
[5] Problem focused research
[6] Adoption
[7] Implementation

Topic	ELEMENT I Establish National Lifeline System Performance and Restoration Goals	Priority Ranking*
	SUBGROUP I.1. Develop a Framework for the Establishment of Lifeline System Performance and Restoration Goals	
1	Develop an overarching framework for national lifeline performance and restoration goals	Highest
2	Assess current societal expectations of acceptable lifeline performance levels and restoration times informed by the phases of response and recovery	High
3	Establish procedures to quantify hazards over spatially distributed lifeline systems	Highest
	SUBGROUP I.2. Develop Methods for Lifeline System Performance and Restoration Needs Assessment	
4	Develop modeling tools to support design approaches, planning, and restoration for interdependent lifeline systems	High
5	Develop tools to quantify and rank the societal benefits and costs of different lifeline system performance levels and restoration times, as well as prioritize lifeline upgrades and investments	Highest
	ELEMENT II Develop Lifeline System Specific Performance Manuals, Guidelines, Standards, and Codes	
6	Develop guidelines for the analysis, design, and planning of electric power infrastructure in seismically vulnerable regions	Highest
7	Develop guidelines for improving telecommunication system resilience under earthquake conditions	Medium
8	Develop water system seismic guidelines and standards	Highest
9	Develop wastewater system seismic guidelines and standards	Highest
10	Develop a manual of best seismic practices for gas and liquid fuel transmission pipelines	High
11	Develop a manual for improving the seismic performance of natural gas distribution systems	High
12	Develop guidelines for mitigating damage to lifelines from tsunamis and other flood-related hazards	High
13	Develop guidelines for post-earthquake lifeline assessment, response, and recovery	Highest
14	Develop geohazard guidelines for owners and contractors for engineering, procurement, and construction of pipelines	High
15	Develop seismic qualification standards for lifeline components and systems	High

*Note: Priority rankings based on input received during the May 2014 Workshop

Topic	ELEMENT III Conduct Problem Focused Research for Various Lifeline Systems	Priority Ranking*
	SUBGROUP III.1. Priorities Related to Research Across Lifelines	
16	Evaluate the feasibility of new interdependent lifeline system configurations	High
17	Develop methods for analysis and mitigation of damage from fire following earthquakes and hazardous material releases	High
18	Improve and extend methods for mitigating the effects of earthquake-induced ground displacement on underground pipelines, conduits, and cables	High
	SUBGROUP III.2. Priorities Related to Research for Specific Lifeline Systems	
19	Evaluate distributed power generation and energy storage to reduce earthquake/natural hazard effects on electric power systems	High
20	Develop a multi-hazard, multi-modal dynamic transportation network risk assessment model	High
21	Develop water and wastewater system evaluation methods for earthquake impacts	High
22	Develop tensile and compressive strain limits for welded steel pipelines in permanent ground displacement zones	Medium
	ELEMENT IV Enable the Adoption and Implementation of Lifeline System Performance Goals and Standards	
	SUBGROUP IV.1 Priorities to Enable Adoption and Implementation of Lifeline System Performance Goals and Standards	
23	Develop tools, guidance, incentives, and funding mechanisms for voluntary adoption and implementation of lifeline seismic resilience programs and earthquake-resilient design and construction standards	Highest
24	Develop strategies and techniques for the public and key customers to engage lifeline system providers to define acceptable performance levels and restoration timeframes	High
	SUBGROUP IV.2. Priorities for Long-Term Earthquake Resilience	
25	Assess the direct and indirect socioeconomic consequences and financial implications of different lifeline performance levels and restoration timeframes	Highest
26	Implement post-earthquake information and response services for lifeline systems	High
27	Develop and deploy intelligent lifeline monitoring, advanced sensors, and emergency response and restoration decision support systems	High
28	Develop and deploy better tools, training, and guidance for emergency operation planning, response, and restoration of lifeline systems	Highest

*Note: Priority rankings based on input received during the May 2014 Workshop

المان I، جزء اصلی و بنیادی این نقشه راه می باشد. هدف از آن، مقرر کردن یک چارچوب ملی برای اهداف ترمیمی و عملکرد لرزه ای سیستمهای شریان حیاتی می باشد که ماهیت رو به تکامل جوامع، تکنولوژی، تجارت، و دولت را منعکس می کند. این المان از نقشه راه همچنین ورودیها و رهنمودهای لازم برای بقیه المانها را فراهم می کند.

المان I بوسیله دو زیر گروه مکمل تعریف می شود: ۱- زیرگروه چارچوب عملکردی[1]، که بر روی شیوه های موجود[2] تمرکز می کند؛ و ۲- زیرگروه ارزیابی نیازها[3]، که مبتنی بر مدلسازی می باشد.

هدف زیرگروه چارچوب عملکردی، تهیه اهداف عملکردی و ترمیمی بهم وابسته است که بطور وسیع به تمامی سیستمهای شریان حیاتی در سرتاسر مناطق مستعد زمین لرزه در امریکا با در نظر گرفتن بهترین شیوه های عملی موجود[4]، قابل اعمال باشند. موضوعات اولویت دار برای تحقیق، توسعه و اجرا در این زیر گروه شامل سه مورد می شوند که در جدول ۴۷-۲ نمایش داده شده اند. هدف از زیر گروه ارزیابی نیازها، فراهم آوردن روشهای مدلسازی جهت ارزیابی سطوح عملکردی خاص[5] و زمانهای ترمیم می باشد که با بهترین شیوه های بهبود یافته[6]، قابل دستیابی باشند. همانطور که در جدول ۴۷-۲ نشان داده شده است، موضوعات اولویت دار این زیر گروه شامل دو مورد می شود.

المان II این نقشه راه بر روی تهیه دستورالعملها، کتب راهنما، و استانداردها به منظور بهبود قابلیت اطمینان سیستم تمرکز می کند. طبق جدول ۴۷-۲ موضوعات اولویت دار این زیرگروه شامل ۱۰ مورد می شوند.

المان III، موضوعات اولویت داری را مشخص می کند که در دو حوزه اصلی سازماندهی می شوند: ۱- اولویتهای مربوط به تحقیق در تمامی شریانهای حیاتی، و ۲- اولویتهای مربوط به تحقیق برای سیستمهای شریان حیاتی خاص. این موضوعات در جدول ۴۷-۲ نشان داده شده اند.

المان IV بر روی اولویتهای پژوهشی، توسعه ای و اجرایی تمرکز می کند که برای پیش بردن اتخاذ و اجرای اهداف و استانداردهای عملکردی سیستم شریان حیاتی، و حفظ قابلیت اطمینان و تاب آوری لرزه ای سیستم در طول زمان لازم می باشند. این المان از دو زیر گروه تشکیل می شود: ۱- اولویتهایی که اتخاذ و اجرای اهداف و استانداردهای عملکردی سیستم شریان حیاتی را میسر می سازند، و ۲- اولویتهای مربوط به تاب آوری طولانی مدت زلزله.

موضوعات اولویت دار پژوهشی، توسعه ای و اجرایی توصیه شده برای این دو زیرگروه، به تفکیک در جدول ۴۷-۲ ارائه شده اند.

هزینه تخمین زده شده برای انجام هر یک از المانهای این نقشه راه به قرار زیر می باشد:

- المان I: ۱۰/۵- ۴/۷ میلیون دلار
- المان II: ۱۳- ۶/۴ میلیون دلار

[1] Performance Framework
[2] Existing practices
[3] Needs assessment
[4] Current utility best practices
[5] Specific functionality levels
[6] Enhanced best practices

- المان III: ۱۷- ۷/۵ میلیون دلار
- المان IV: ۱۴/۵- ۶/۲ میلیون دلار

همانطور که در جدول ۴۷-۲ نشان داده شده است، اولویت شماره ۳ زیر گروه چارچوب عملکردی، به ایجاد روشهایی برای کمی کردن مخاطرات بر روی سیستمهای شریان حیاتی با توزیع مکانی[1] اختصاص دارد. خلاصه ای از این اولویت، شامل: عنوان، اهداف، معلومات قبلی، و فعالیتهای مربوطه که باید انجام شوند، به همراه هزینه و مدت زمان تخمین زده شده برای انجام کارهای مورد نیاز، در جدول ۴۸-۲ نمایش داده شده است.

همانگونه که قابل مشاهده است فعالیتهایی که باید در این حوزه انجام گیرند بدین ترتیب می باشند:

- تهیه ابزار، مدارک و مستندات راهنما، و استانداردهایی برای کمی نمودن مخاطره در سرتاسر سیستمهای با توزیع مکانی، شامل نقشه های مخاطره مخصوص شبکه[2] که منابع و سطوح تغییرشکل موقت و دائمی زمین را منظور می کنند.
- ایجاد روشهای ارزیابی کمی خرابی زمین (ژئوتکنیکی و زمین شناسی)، که شامل موارد زیر می‌شود:
  - پهنه بندی روانگرایی[3] که بتواند در سرتاسر ایالات متحده برای تخمین نشستهای نسبی، تغییرمکانهای جانبی، و قطعی و اختلال مربوطه در کابلها و خطوط لوله زیرزمینی و همچنین آسیب وارده به سازه های مستقر بر روی زمین، بکار برده شود.
  - شناسایی و تعیین موقعیت گسلهای فعال، و توصیف جابجایی های بالقوه گسل.
  - زمین لغزشها، شامل ریزش سنگ، جریانهای واریزه ای، لغزشهای عمیق، لغزشهای سطحی، و جایجایی های مورد انتظار.
  - شکلهای دیگر نشست نسبی و جابجایی های جانبی ناشی از زلزله، نظیر نشست ماسه های غیراشباع شل، نوسان[4] و جنبش زمین[5]
  - حرکات گذرا زمین با توزیع مکانی[6]
- ایجاد روشهایی جهت تخمین یا کمی کردن مقادیر جابجایی برای تمامی موارد فوق، و فراهم آوردن چارچوبی برای کمی نمودن اثرات تغییرشکل دائمی و موقت زمین بر مدلسازی اجزا و سیستم شریان حیاتی.

لازم بذکر است که خلاصه ای از سایر موضوعات اولویت دار توصیه شده برای پژوهش، توسعه و اجرای شریانهای حیاتی نیز بطور مشابه در مرجع (۴۲۳) ارائه شده است.

جدول ۴۸-۲: خلاصه ای از موضوع اولویت دار ۳ (۴۲۳)

[1] Spatially distributed lifeline systems
[2] Network-specific hazard maps
[3] Liquefaction mapping
[4] Lurching
[5] Ground oscillation
[6] Spatially distributed transient ground motions

Topic No. 3	**Establish procedures to quantify hazards over spatially distributed lifeline systems.**
Description	Goals: Given the uncertainties associated with selecting and applying ground motions for performance and restoration assessment across spatially distributed lifeline systems, as well as the difficulty in assessing local ground failure phenomena, Topic No. 3 focuses on developing procedures to quantify different earthquake hazards and their associated probabilities that affect large spatially distributed and interconnected lifeline networks. Objectives and tasks: - Develop tools, guidance documents, and standards for hazard quantification across geographically distributed systems, including network-specific hazard maps that account for sources and levels of transient and permanent ground deformation. - Develop quantitative ground failure assessment procedures (geotechnical and geological) that include: o Liquefaction mapping that can be applied throughout the United States for the estimation of differential settlements, lateral displacements, and associated disruption of underground pipelines and cables as well as damage to above-ground structures. o Identification and location of active faults and characterization of potential fault movements. o Landslides, including rock falls, debris flows, deep-seated slides, surficial slides, and expected movements. o Other forms of earthquake-induced differential settlement and lateral movements, such as settlement of loose unsaturated sands, lurching, and ground oscillation. o Spatially distributed transient ground motions. - Develop methods to estimate/quantify the amounts of movement for all of the above, and provide a framework to quantify transient and permanent ground deformation effects on components and system modeling.
Cost Category	$500,000 to $1,000,000
Duration	2-3 years
Type of Endeavor	Technical committee with specialized analysis plus review panel.
Potential Funding Sources	Government, industry
Priority Ranking	Highest

۲-۹-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در جهان امروز یکی از ارکان مهم توسعه اقتصادی، خطوط انتقال نیرو یا سازه های خطی با بازدهی مناسب هستند که به دلیل طولانی بودن و عبور از مناطق با ویژگی های زمین شناسی متفاوت، ببیشتر از سازه های متمرکز، تحت تأثیر مخاطرات زمینی قرار می گیرند و موجب خسارات جانی و مالی زیادی می شوند. این خسارت ها به دلیل حذف یا بی توجهی به متغیرهای زمین شناختی و زمین ریخت شناختی مؤثر بر این سازه ها هنگام انتخاب مسیر یا رعایت نکردن حریم آنها است. در این راستا پهنه بندی مخاطرات زمین احتمالی و شناسایی مناطق پرخطر ضرورت یافته و از اهمیت بالایی برخوردار است. در این بین، نقشه های پهنه بندی حساسیت و خطر از ابزار بسیار مفید برای برنامه ریزان و مهندسان جهت مکان یابی مناسب در ابعاد مختلف توسعه به شمار می روند. بعبارت دیگر تهیه این نقشه ها، یکی از اقدامات اولیه در کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر ناشی از وقوع این مخاطرات می باشد. برای پهنه بندی مخاطرات زمینی تاکنون مطالعات زیادی انجام شده و روشهای مختلفی پیشنهاد شده است که به کارگیری هر یک از آنها، نیازمند دانستن مبانی است که این روشها بر آن استوار هستند. به دلیل وجود روشهای متعدد درپهنه‌بندی خطر مخاطرات زمینی، این نکته که کدام روش می تواند کارایی مناسبتری را ازخود درمنطقه نشان دهد، مورد توجه قرار می گیرد. معمولاً انتخاب مناسبترین نگرش و مدل براساس نوع داده ها، مقیاس منطقه موردمطالعه و مقیاس تحلیل‌ها صورت می گیرد و به دانش پژوهشگر بستگی دارد. هر کدام از روشهای پهنه بندی به نوبه خود دارای مزایا و معایبی می باشند و هیچ روش جامعی نیست که مورد قبول تمام محققین در سرتاسر دنیا باشد. اصولاً دقت و انعطاف هر یک از روشهای پهنه بندی، برپایه وضعیت منطقه مورد مطالعه متفاوت می باشد. بنابراین برای شناخت مناطق دارای پتانسیل وقوع مخاطره و تهیه نقشه پهنه بندی آن باید بهترین و دقیقترین روش را با توجه به عوامل مؤثر در رخداد مخاطره و وضعیت منطقه انتخاب نمود. شناسایی و انتخاب بهترین روش برای پهنه بندی در یک محدوده، درکاهش هزینه و صرف وقت مؤثر بوده و سبب به دست آوردن نتایج بهتر و مطمئن در مورد پهنه بندی خواهدشد. بدین ترتیب با اطمینان بالاتری به نتایج، می توان اقدامات لازم جهت پیشگیری یا بهبود شرایط را انجام داد.

در این گزارش به منظور انجام مطالعات تطبیقی در حوزه پهنه بندی انواع مختلف مخاطرات زمین در سطح کشور، پس از انتخاب تعدادی کشور مقصد، مواردی نظیر: پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی، روشها و مدلهای مورد استفاده جهت ارزیابی این پارامترها و پهنه بندی آنها، مطالعات مربوط به پیش‌بینی مخاطرات در آینده، و سیاست گذاری های کلان در حوزه شناسایی مخاطرات، در مستندات این کشورها مورد بررسی قرار گرفتند. کشورهای منتخب برای این منظور بوسیله رتبه بندی کشورهای مختلف دنیا برمبنای سه مولفه "مشابهت مخاطرات زمین (شامل نوع مخاطره، فراوانی وقوع، و پیامدهای جانی و مالی ناشی از وقوع مخاطره)"، "پیشرو و پیشرفته بودن" و "دردسترس بودن مطالعات"، انتخاب شده اند که عبارتند از :

۱- چین
۲- امریکا
۳- مکزیک

۴- هند
۵- ژاپن
۶- ایتالیا
۷- ترکیه
۸- روسیه

نتایج حاصل از این بررسیها و مطالعات تطبیقی در کشورهای هدف نشان داد:

- با توجه به فرم کلی و مبنای ریاضی روشهای کمی پهنه بندی، در سالهای اخیر گرایش محققین به سمت استفاده از این روشها برای پهنه بندی انواع مختلف مخاطرات زمینی افزایش یافته است. در این بین، روشهای کمی نوین پهنه بندی، نظیر روش تحلیل سلسله مراتبی، شبکه عصبی مصنوعی، و ... با استقبال فراوانی مواجه شده اند.
- سامانه‌های هشدار سریع از چند دهه آخر قرن بیستم به بعد، به مهمترین ابزار کاهش شدت فاجعه تبدیل شده‌اند. ایجاد این سامانه ها می تواند کمک شایانی در زمینه مدیریت بحران و شناسایی سریع مخاطرات ناگهانی، نظیر شروع زمین‌لرزه‌های خطرناک، نموده و همین امر باعث رشد این سامانه‌ها شده است.
- استفاده از فناوریهای جدید، بویژه تکنیکهای سنجش از دور و تکنولوژی GIS، در حوزه های مختلف مطالعات مخاطرات زمینی، شامل شناسایی، پهنه بندی، پایش، پیش بینی، و ایجاد سامانه های هشدار سریع، بطور قابل ملاحظه و با روند رو به رشدی در حال افزایش است.

DOI:

فصل سوم

۳- مرزبندی فنی

۳-۱-شناسایی و دسته‌بندی انواع مخاطرات زمین موثر بر صنعت برق

تاسیسات و سازه‌های موجود در صنعت برق همواره در معرض برخورد با مخاطرات مختلف قرار دارند. لذا به منظور بهره-برداری و سرویس‌دهی مناسب و همچنین کاهش خسارت وارده به این تاسیسات، نیاز به شناخت کامل مخاطرات موجود، دلایل وقوع آنها و همچنین آسیب‌های ناشی از آنها می‌باشد.

در حالت کلی، مخاطرات را می‌توان از نظر نوع منشا به سه دسته کلی زیر تقسیم بندی کرد:

- مخاطرات جوی
- مخاطرات زمین
- مخاطرات انسانی

یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که سازه‌های صنعت برق را همواره مورد تهدید قرار می‌دهند، مخاطرات مربوط به زمین می باشند. این مخاطرات می‌توانند خسارات زیادی را به شریان‌های حیاتی منجمله تاسیسات خطوط انتقال نیرو، خطوط گازرسانی وراه‌ها وارد نمایند؛ لذا شناخت، دسته بندی و بررسی این مخاطرات از اهمیت فراوانی برخوردار است.

در این بخش از گزارش حاضر، مرزبندی فنی مطالعات این سند از دیدگاه انواع مخاطرات زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور انواع مخاطرات محیطی زمین که به نحوی بر سامانه های مختلف صنعت برق و مؤلفه های آنها مؤثر می باشند، براساس تجربیات گذشته شناسایی و دسته بندی می شوند؛ بطوریکه مطالعات تدوین سند در ادامه پروژه محدود به مخاطرات ارائه شده در این دسته بندی خواهد بود.

۳-۱-۱- انواع مخاطرات زمین

مخاطرات زمین شامل پدیده‌های مختلفی از جمله فرونشست زمین، روانگرایی، گسترش جانبی، ناپایداری شیروانی و زمین‌لغزش، فروریزش، تورم و واگرایی در خاک، وجود خاک‌های مساله‌دار، فرسایش، کارستی شدن، زلزله، گسلش، آتشفشان، و خاکهای خورنده می‌شوند (جدول ۱-۲). هر یک از این پدیده‌ها به همراه انواع، پارامترهای موثر، و عوامل وقوع آنها به در فصل اول این گزارش معرفی و بررسی شدند.

جدول ۱-۳: انواع مخاطرات زمین و مشخصات آنها

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین	
۱	فرونشست زمین	به واسطه وقوع عوامل طبیعی شامل:	۷) ریزش معادن قدیمی
			۸) جریان آب در لایه‌های زیرین خاک
			۹) تجزیه مواد آلی
			۱۰) انقباض خاک‌های رسی
			۱۱) ذوب لایه‌های یخ منجمد اعماق زمین

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین			
					۱۲) زلزله
		در اثر انجام فعالیت‌های انسانی شامل:			۴) فعالیت معادن زیرزمینی
					۵) استخراج آب زیرزمینی
					۶) تجزیه و خروج مواد آلی از بافت خاک
۲	روانگرایی	وقوع پدیده‌های حاصل از روانگرایی شامل:			۸) جوشش ماسه ۹) گسیختگی جریانی ۱۰) گسترش جانبی ۱۱) نوسانات زمین ۱۲) از دست دادن ظرفیت باربری ۱۳) شناورشدن سازه‌های مدفون ۱۴) نشست زمین
۳	گسترش جانبی	عوامل موثر بر وقوع گسترش جانبی شامل:			۳) افزایش فشار آب حفره‌ای در اثر زلزله و وقوع روانگرایی ۴) کاهش مقاومت در لایه‌های زیرین خاک
۴	زمین لغزش	انواع زمین لغزش شامل:	۶) ریزش ۷) واژگونی ۸) جریان ۹) گسترش جانبی ۱۰) لغزش	عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش شامل:	۱۰) لیتولوژی و ساختار شیروانی ۱۱) هندسه شیب ۱۲) خاکبرداری و خاکریزی ۱۳) فشار آب ۱۴) هوازدگی ۱۵) زلزله ۱۶) گسیختگی با تاخیر ۱۷) جریان‌های واریزه‌ای ۱۸) عوامل فرعی
۵	فروریزش	از بین رفتن پیوندهای بین دانه‌ای در اثر:			۵) افزایش رطوبت خاک در سطح تنش ثابت (مانند نشت آب از کانال آب و یا بارندگی شدید) ۶) افزایش تنش وارده به خاک در رطوبت ثابت (مانند بارگذاری در اثر ساخت سازه جدید) ۷) افزایش رطوبت و افزایش تنش به صورت همزمان ۸) استفاده از خاکریزهای مصنوعی با تراکم کم از مصالح سیلتی
۶	تورم	تورم در اثر افزایش حجم ذرات خاک به دلیل افزایش رطوبت در اثر عواملی مانند بارندگی شدید، بالاآمدن سطح آب و نشت آب از کانال آب رخ میدهد			
۷	واگرایی	کاهش نیروی جاذبه بین ذرات در اثر جذب آب			

ردیف	مخاطرات زمین	انواع یا عوامل موثر یا تبعات بروز مخاطرات زمین	
۸	خاک مساله دار	انواع خاک‌های مساله‌دار شامل:	۸) خاکریزها و خاک دستی ۹) خاک‌های آلی ۱۰) رس‌های حساس ۱۱) رسوبات واریزه‌ای و تالوس‌ها ۱۲) خاک‌های نرم و شل ۱۳) ماسه‌های سیمانی ۱۴) خاک‌های یخزده
۹	فرسایش	شیل‌ها	
۱۰	کارستی شدن	سنگ‌های آهکی	
۱۱	زلزله	عوامل وقوع زلزله شامل:	۵) حرکات تکتونیکی ۶) انفجارات آتشفشانی ۷) فروریزش ۸) انفجارات مصنوعی
۱۲	گسلش	انواع گسل‌ها شامل:	۳) امتداد لغز ۴) شیب‌لغز
۱۳	آتشفشان	انواع آتشفشان‌ها شامل:	۴) ولکانو ۵) سپری ۶) سیندر
۱۴	خاک‌های خورنده	پتانسیل خوردگی در خاک‌ها به دلیل وجود عوامل شیمیایی و میکروبی	

۳-۱-۲- جمع بندی محدوده مخاطرات زمین مورد نظر در این سند

در این فصل، مهمترین مخاطرات زمین موجود در دنیا که پتانسیل تأثیر بر صنعت برق را دارند، دسته‌بندی و ارائه شدند. محدوده مخاطرات زمین مورد نظر در این سند که در مراحل بعدی پروژه مورد استفاده قرار خواهد گرفت، در ۸ گروه اصلی دسته بندی و در جدول ۲-۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این جدول، شماره گذاری مخاطرات براساس میزان اهمیت و پتانسیل خطر بیشتر آنها صورت گرفته است؛ بطوریکه از عوامل مخرب عنوان شده در جدول، مخاطرات زلزله، زمین لغزش، فرونشست زمین و خاکهای خورنده بیشترین سهم را در آسیب رسانی به سازه های صنعت برق داشته اند.

جدول ۲-۳: محدوده مخاطرات زمین مورد نظر در این سند

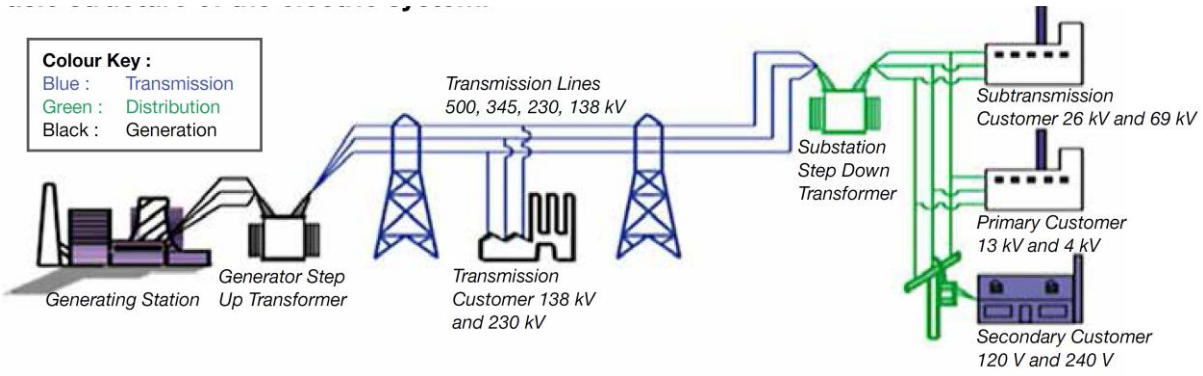
ردیف	گروه اصلی	مخاطرات زمین زیر مجموعه
۱	زلزله	شامل: زمین لرزه، روانگرایی، گسلش
۲	زمین لغزش	شامل: ناپایداری شیروانی و زمین لغزش، گسترش جانبی

ردیف	گروه اصلی	مخاطرات زمین زیر مجموعه
۳	فرونشست زمین	-
۴	خاک‌های خورنده	-
۵	خاک‌های مساله-دار	شامل: خاکهای فروریزشی، خاکهای متورم شونده، خاکهای واگرا، و سایر خاکهای مساله‌دار (نظیر خاکریزها و خاک دستی، خاک‌های آلی، رس‌های حساس، رسوبات واریزه‌ای و تالوس‌ها، خاک‌های نرم و شل، ماسه-های سیمانی، خاک‌های یخزده)
۶	فرسایش خاک	-
۷	کارستی شدن	-
۸	آتشفشان	-

۳-۲-شناسایی و دسته‌بندی سامانه‌های اصلی صنعت برق و مؤلفه‌های آن‌ها

در این بخش، مرزبندی فنی مطالعات این سند از دیدگاه انواع سامانه‌های موجود در صنعت برق و مؤلفه‌ها یا اجزای اصلی آن‌ها که تحت‌تأثیر مخاطرات جوی قرار دارند، بررسی شده است. بدین منظور انواع سامانه‌های مختلف صنعت برق و مؤلفه‌های آن‌ها که به‌نحوی تحت‌تأثیر مخاطرات محیطی جوی قرار دارند، بر اساس تجربیات گذشته (ارائه‌شده در گزارش‌های مراحل قبلی پروژه) شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. مطالعات تدوین سند در ادامه پروژه، محدود به سامانه‌های ارائه‌شده در این دسته‌بندی خواهد بود.

به‌طور کلی یک سیستم انرژی الکتریکی شامل منبع تولید انرژی، انتقال انرژی تولیدی، و توزیع انرژی انتقال‌یافته به مراکز مصرف است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: اجزای کلی صنعت برق شامل تولید، انتقال و توزیع انرژی

هریک از بخش‌های اصلی صنعت برق شامل تولید، انتقال و توزیع دارای سامانه‌های مختلفی هستند که از مؤلفه‌ها و اجزای خود تشکیل شده‌اند. در این گزارش، شناسایی و دسته‌بندی صنعت برق، به‌تفکیک دربارهٔ هریک از سامانه‌های تولید، انتقال و توزیع برق و اجزای اصلی آن‌ها صورت گرفته است. در این فصل فقط عناوین

سامانه‌ها و مؤلفه‌ها ارائه شده و توضیحات مختصری دربارهٔ هریک از آن‌ها به‌همراه نحوه تأثیر مخاطرات جوی (پتانسیل آسیب‌پذیری) بر آن‌ها، در فصل بعد این گزارش ارائه شده‌اند.

۳-۲-۱- سامانه‌های اصلی بخش تولید برق

بخش تولید برق شامل انواع نیروگاه‌های تولید برق می‌شود. فهرستی از انواع نیروگاه‌های تولید برق به‌همراه اجزای اصلی آن‌ها که محدوده مطالعاتی این سند را تشکیل می‌دهند؛ در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۳: سامانه‌های مد نظر در بخش تولید و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها

سامانه	مؤلفه	توضیحات
نیروگاه حرارتی (بخار، گازی، ترکیبی، هسته‌ای)	سوخت نیروگاه	سوخت‌های مایع و گاز
	توربین گازی	--
	توربین بخار	--
	ژنراتور	--
	دودکش و سازه نگه‌دارنده	شامل ورودی هوا نیز می‌شود
	مخزن	مخازن سوخت و آب خام (هوایی، زمینی و مدفون)
	بویلر و سازه نگه‌دارنده	--
	کندانسور	--
	برج خنک‌کننده	انواع خشک و تر
	راکتور هسته‌ای	--
	پوسته محافظ راکتور	--
	فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	شامل فونداسیون‌های نگه‌دارنده تجهیزات اصلی (توربین‌ها و ژنراتور)
	سازه‌های ساختمانی و نگه‌دارنده	ساختمان کنترل، توربین هال، سازه نگه‌دارنده لوله‌ها
نیروگاه برق آبی	سد	انواع بتنی و خاکی
	مخزن	--
	توربین	--
	ژنراتور	--
	سازه‌های ساختمانی و نگه‌دارنده	ساختمان‌های کنترلی و جانبی
نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای	زنراتور	--
	توربین	--
	پمپ	--
	سد	--

نیروگاه (توربین) بادی	پره‌ها و هاب	--
	اتاقک ناسل	--
	برج نگه‌دارنده	انواع فولادی لوله‌ای و مشبک و بتنی
	فونداسیون برج	--
نیروگاه خورشیدی	پنل خورشیدی	--
	تجهیزات الکتریکی بیرونی	تجهیزات کنترلی و اینورتر
	کانال و هندهول	--
	سازه‌های ساختمانی	اتاق کنترل
	سازه نگه‌دارنده	--
	فونداسیون سازه‌ها	شامل فونداسیون سازه‌های نگه‌دارنده
نیروگاه زمین‌گرمایی	توربین	--
	ژنراتور	--
	پمپ	--
	سیستم خنک‌کننده	--
	دودکش	--
	سازه‌های ساختمانی و نگه‌دارنده	ساختمان کنترل
	فونداسیون سازه‌ها	--
نیروگاه جذرومدی	توربین	--
	ژنراتور	--
	سازه و دریچه‌ها	--

۳-۲-۲- سامانه‌های اصلی بخش انتقال برق

بخش انتقال برق شـــامل انواع خطوط و پســـت‌های انتقال برق (در محدوده ولتاژهای ۶۳ الی ۷۵۰ کیلوولت) می‌شـود. فهرسـتی از سـامانه‌های اصـلی انتقال برق به‌همراه اجزای اصـلی آن‌ها که محدوده مطالعاتی این سـند را تشکیل می‌دهند؛ در جدول ۴-۳ ارائه شده است.

جدول ۴-۳: سامانه‌های مد نظر در بخش انتقال و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها

سامانه	مؤلفه	توضیحات
پست زمینی	ترانسفورماتور	ترانس قدرت
	ترانس جریان- ولتاژ	--
	برق‌گیر	--
	مقره‌ها و بوشینگ‌ها	--
	سازه‌های نگه‌دارنده	ساختمان کنترل، گنتری، بانک خازن

	سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	شامل سوئیچگیر، سکسیونرها و انواع کلیدهای قطع مدار، بانک خازنی، دژنگتور، فیوز، شینه، سیستم‌های کنترل و حفاظت و ...
خط هوایی	دکل	انواع دکل‌های مشبک و تلسکوپی
	فونداسیون	--
	هادی	--
	سیم محافظ	--
	یراق‌آلات	--
	مقره	چینی، شیشه‌ای و کامپوزیت
خط زمینی	کابل و هادی	--
	گالری	--
	منهول	--

۳-۲-۳- سامانه‌های اصلی بخش توزیع برق

بخش توزیع برق نیز مشـــابه انتقال بوده (در محدوده ولتاژ ۰/۴ الی ۲۰ کیلوولت) و شـــامل انواع خطوط و پسـت‌های توزیع برق می‌شـود. فهرسـتی از سـامانه‌های اصـلی توزیع برق به‌همراه اجزای اصـلی آن‌ها که محدوده مطالعاتی این سند را تشکیل می‌دهند؛ در جدول ۵-۳ ارائه شده است.

جدول ۵-۳: سامانه‌های مدنظر در بخش توزیع و مؤلفه‌های اصلی آن‌ها

سامانه	مؤلفه	توضیحات
پست زمینی و زیرزمینی	ترانسفورماتور	ترانس قدرت
	ساختمان	ساختمان پست
پست هوایی	پایه	--
	ترانسفورماتور	--
	سازه نگه‌دارنده	--
	سایر تجهیزات الکتریکی	کات اوت فیوز، ریکلوزر و ...
خط هوایی	پایه	انواع پایه‌های بتنی، فولادی و چوبی
	هادی	هادی‌های لخت و روکش‌دار (خودنگهدار)
	مقره	--
خط زمینی	کابل	--
	منهول	--

۳-۳-نحوه تاثیر مخاطرات زمین بر سامانه ها و مولفه های صنعت برق

نیروگاههای بخش تولید برق و همچنین شبکه های انتقال و توزیع انرژی برای استفاده و بهره برداری درچندین دهه طراحی و ساخته می شوند. بنابراین این سیستم ها باید در طی دوران بهره برداری در مقابل انواع مخاطرات طبیعی و انسانی کاملاً مقاوم بوده و دچار آسیب و خرابی و یا کاهش بازده عملکرد نشوند. به همین دلیل توجه به احتمال وقوع مخاطرات و بررسی تاثیر آنها بر سامانه های صنعت برق بسیار با اهمیت می باشد. هر کدام از اجزاء صنعت برق بنا بر ساختمان آن از مخاطرات خاصی تاثیر می پذیرند. در این بخش از گزارش، نحوه تأثیر انواع مخاطرات زمین شناسایی شده در فصل اول بر بخش های مختلف سامانه های صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) و مؤلفه های آنها (شامل سازه ها و تجهیزات اصلی) بررسی می شود. در انتها نیز، ماتریس مؤلفه- مخاطره که بطور خلاصه مخاطرات مؤثر بر مؤلفه های مختلف صنعت برق را مشخص می کند، ارائه می گردد.

۳-۳-۱- زلزله

پدیده زلزله، از جمله سوانح طبیعی است که هر ساله خسارات جانی، مالی و زیست محیطی بسیاری برجای می گذارد. کشور ایران به واسطه قرارگیری برروی کمربند زلزله خیز آلپ- هیمالیا، موقعیت زمین شناختی، وجود گسل های فعال متعدد و نیز رخداد پیوسته زمین لرزه ها، کشوری لرزه خیز بوده و بسیاری از شهرها و مناطق با جمعیت زیاد و همچنین صنایع و زیرساختهای ملی آن در مناطق با احتمال بالای وقوع زلزله قرار دارند؛ براین اساس، در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر می باشد. از طرفی، تعداد زیادی از مستحدثات آن قبل از تدوین معیارهای طراحی مقاوم در برابر زلزله ساخته شده اند و متأسفانه همچنان کیفیت ساخت و ساز در برخی موارد در کشور در حد مطلوب نمی باشد. از این رو با توجه به رفتار مشکوک شبکه ها نسبت به وقوع زلزله های احتمالی، مباحث بررسی آسیب پذیری لرزه ای زیرساخت های حیاتی، منجمله شبکه برق، از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد]۵۵۱[.

آسیب‌های وارده به شبکه شریان های حیاتی در زلزله های گذشته در ایران (همچون زلزله ۱۳۶۹ رودبار، زلزله ۱۳۸۲ بم و زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب) و در جهان (همچون زلزله ۱۹۲۳ کانتو ژاپن، ۱۹۶۴ آلاسکا، ۱۹۶۴ نیگاتا ژاپن، ۱۹۷۱ سان فرناندو، ۱۹۹۴ نورثریدج امریکا، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن، ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه و ۲۰۱۱ فوکوشیما ژاپن) همگی موید آسیب پذیری بالای زیرساخت ها در اثر حرکات و لرزش زمین بوده اند]۵۵۱[.

در این بخش به منظور ارزیابی نحوه تاثیر مخاطره زمین لرزه بر شبکه برق، ابتدا بطور خلاصه به بررسی خرابی های گذشته این شریان حیاتی در تعدادی از زلزله های گذشته پرداخته می شود؛ سپس، پتانسیل آسیب پذیری سامانه های مختلف صنعت برق در برابر زلزله به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۳-۱-۱- مروری بر خسارات وارده به شبکه برق در زلزله های گذشته

زلزله های رخ داده در سالیان گذشته آسیب های جبران ناپذیری را به شبکه های شریانها تحمیل نموده اند. اما آمار و اطلاعات زیادی از خرابی و آسیب زلزله درشریانها در شهرهای مختلف دنیا و مخصوصاً ایران موجود نمی باشد. صرفاً در زلزله های اخیر (بعد از ۱۹۹۰) آمار نسبتاً مناسبی از میزان و تعداد خرابی ها در شبکه ها بدست آمده است. در جدول ۶-۳ خسارات وارده بر شبکه برق در برخی از زلزله های گذشته ذکر شده اند]۵۵۱[. در جدول ۷-۳ نیز لیست مختصری از هزینه های وارده بر شبکه برق کشور در اثر تعدادی از زلزله های اخیر رخ داده در ایران آورده شده است]۵۵۲[.

جدول ۶-۳: آسیب های وارده به شبکه برق در زمین لرزه های گذشته [۵۵۱ و ۵۵۳)

ردیف	محل و زمان زلزله	بزرگا	آسیب وارده بر شبکه برق
۱	نورثریج امریکا-۱۹۹۴	۶/۸ ریشتر	• آسیب به اجزای پست انتقال کالیفرنیا به شهرهای بریتیش کلمبیا، مونتانا، ویومینگ، ایهاوو، ارگون • قطعی برق از چند ثانیه تا چند روز
۲	کوبه ژاپن-۱۹۹۵	۷/۲ ریشتر	• قطع برق در قسمتهای عمده شهر • خسارت عظیم به ۴۱ ترانسفورمر، ۳۵ سوییچ قطع کننده، ۹ برقگیر و ...
۳	جی‌جی تایوان-۱۹۹۹	۷/۶ ریشتر	• خسارت بیش از ۳۳۰ میلیون دلار • قطعی برق در تمام قسمت شمال • خسارت به خطوط انتقال برق و نیز پست های فوق توزیع و از مدار خارج شدن نیروگاه های هسته ای
۴	بم ایران-۲۰۰۳	۶/۵ ریشتر	• آسیب به بخشی از ساختمان پست بم • شکسته شدن مقره ها و خارج شدن روغن آنها • لغزش یا واژگونی تجهیزات داخل ساختمان کنترل • آسیب زیاد به تجهیزات پست ها و خطوط توزیع
۵	سرپل ذهاب ایران-۲۰۱۷	۷/۳ ریشتر	• قطعی برق در شهر سرپل ذهاب و شهرهای اطراف آن در استان کرمانشاه، و همچنین روستاهای این شهرستان • آسیب به خطوط فشار متوسط و فشار ضعیف • آسیب به تعدادی ترانس در شبکه فشار ضعیف • آسیب اساسی به پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب • خسارات جزئی تا شدید در شبکه های انتقال، فوق توزیع و توزیع

جدول ۷-۳: خسارت مالی ناشی از برخی زلزله های اخیر ایران در زمینه شبکه برق [۵۵۲ و ۵۵۳]

زلزله	تاریخ	بزرگا (ریشتر)	هزینه (میلیارد ریال)
بوشهر	۲۰ فروردین ۱۳۹۲	۶/۶	۱۷۰

هرمزگان (گوهران)	۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۲	۶/۲	۹۷
اهر- ورزقان	۲۱ مرداد ۱۳۹۱	۶/۳	۱۲۰
سرپل ذهاب	۲۱ آبان ۱۳۹۶	۷/۳	۴۰۰

تجربه زلزله های گذشته در ایران، همچون زلزله منجیل- رودبار، بم و ... نشان داده است که بعد از وقوع زلزله چنانچه شبکه برق و خطوط توزیع پایایی لازم را نداشته باشند و آسیب ببینند به طوری که امکان بازسازی سریع وجود نداشته باشد اولین بحران، ترس و وحشتی است که در بین مردم بدلیل فرورفتن در تاریکی شب رخ می دهد. همچنین کار امدادگران نیز با مشکل مواجه شده که این خود بحران ناشی از زلزله را تشدید و باعث افزایش تلفات و خسارات خواهد شد [۵۵۴, ۵۵۵]. اسناد تاریخی بیشترین میزان آسیب را در اختلالات پست های برق و مبدل های شبکه نشان داده‌اند. بیشتر نیروگاههای برق دارای سازه های اسکلت فلزی می باشند. شکل پذیری ذاتی این سازه ها به میزان کافی، به عملکرد لرزه ای آنها در سطح قابل قبولی کمک می کند. برج ها و دکل های انتقال چندان در برابر زلزله آسیب پذیر نبوده و بیشتر در معرض شکست زمین قرار دارند [۵۵۵, ۵۵۶]. در حالت کلی آسیب پذیری تاسیسات و تجهیزات شبکه برق در گستره های انتقال و توزیع را می توان بصورت زیر بیان نمود [۵۵۴, ۵۵۵]:

- **اجزا و تجهیزات آسیب پذیر شبکه های انتقال در برابر زلزله**

مشاهدات گذشته اثبات کرده اند که پست های انتقال یکی از آسیب پذیرترین اجزاء شبکه های انتقال می باشند؛ همچنین مطالعات نشان داده اند که آسیب پذیری برج ها و خطوط انتقال در برابر زلزله بسیار کم می باشد به طوری که در زلزله بم هیچ آسیبی به این اجزاء وارد نشد.

- **اجزا و تجهیزات آسیب پذیر شبکه های توزیع در برابر زلزله**

آسیب های این شبکه می تواند شامل آسیب دیدن و شکستن تیرهای برق، شکستن بتن تیرها، افتادن تیرها، جابجایی تیرها، آسیب دیدن ترانسفورها و ... باشد. با افزایش ولتاژ پست ها, سطح عایقی, فواصل فاز به فاز و فاز به زمین و ارتفاع تجهیزات، رابطه با نقاط حیاتی شبکه ها افزایش یافته و به تبع آن اثرات زمین لرزه بر تجهیزات تشدید می گردد.

در ادامه، تاثیر زلزله بر عملکرد اجزاء مختلف سه بخش اصلی شبکه برق، شامل: مراکز تولید (نیروگاه ها)، واحد انتقال، و واحد توزیع، به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرد.

۳-۳-۱-۲- آسیب پذیری بخش تولید در برابر زلزله

نیروگاه ها بسته به نوع انرژی مصرفی به انواع کلی زیر تقسیم می‌شوند:

۱- اتمی،
۲- آبی،
۳- بادی،
٤- خورشیدی،
٥- زمین گرمایی،

٦- گازی، و
٧- بخاری.

از میان موارد فوق نیروگاههای اتمی و آبی ضوابط طرح لرزه‌ای بسیار کامل و دقیقی دارند و در طراحی آنها ملاحظات طرح لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود. نیروگاههای بادی، خورشیدی و زمین گرمایی نیز در ایران بسیار نادر می‌باشند و در شبکه برق اهمیت زیادی ندارند]۵۵۷[. لذا در این بخش صرفاً آسیب پذیری لرزه ای نیروگاههای گازی و بخاری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. لازم بذکر است که بطور کلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای از دو دیدگاه کمی و کیفی صورت می‌پذیرد که در هر سه بخش شبکه برق از جمله تولید، انتقال و توزیع قابل بحث می‌باشد. در ادامه، به بررسی آسیب پذیری نیروگاهها از دیدگاه کیفی پرداخته می شود.

۳-۳-۱-۲-۱- ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای نیروگاههای گازی

واحدهای نیروگاه گازی یا بصورت ثابت نصب می‌شوند و یا می‌توانند روی ریل حرکت کنند. بطور کلی توربوژنراتورها ذاتاً صلب هستند و تاکنون هیچ‌گونه خرابی در زلزله برای آنها گزارش نشده است. البته احتمال خرابی در تکیه‌گاههای توربین و عدم کفایت مهارها و بولتهای اتصال توربین به فوندانسیون بتنی وجود دارد که باید در ارزیابی مدنظر قرار گیرند. با این وجود، در یک نیروگاه گازی سایر موارد از جمله ساختمانهای کنترل نیروگاه، انبار، کانتین، مخازن سوخت، قطعات غیرسازه‌ای در ساختمانها از جمله پانلهای کنترل باطریها و ... بسیار آسیب‌پذیر بوده‌اند که باید به این موضوع توجه داشت]۵۵۷[.

۳-۳-۱-۲-۲- ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای نیروگاههای بخار

نیروگاههای بخاری را می توان به دو دسته نیروگاههای مازوتی (یا گازوئیلی) و زغال‌سنگی تقسیم نمود. بدلیل تفاوت در نحوه فرآیند احتراق، یک نیروگاه زغال‌سنگی از یک نیروگاه مازوتی با همان ظرفیت بسیار بزرگتر می‌باشد. نیروگاههای زغال‌سنگی بدلیل وجود سیلوهای سنگین زغال در بالای سازه بویلر و هم‌چنین تسمه نقاله‌ها و تجهیزات انتقال زغال بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند]۵۵۷[. خرابیهای نیروگاههای بخاری را می‌توان درموارد زیر بررسی نمود:

الف- توربینها
ب- بویلر و سازه نگهدارنده آن
ج- لوله‌ها و سیستمهای سوخت‌رسانی
د- تجهیزات برقی و مکانیکی
ه- مخازن ذخیره مایعات
و- برج خنک‌کن
ز- خرابیهای غیرسازه‌ای در اجزاء ساختمانها و خرابیهای سازه‌ای

- **توربینها**

توربینها در هنگام زمین‌لرزه آسیبهای متعددی می‌توانند ببینند که بطور عمده عبارتند از:

- خرابی یاتاقان توربین که در اثر حرکات ایجاد شده در امتداد محور توربین و خشک شدن سطح تماس و از بین رفتن روغن رخ می‌دهد.
- خرابی پره‌های توربین که در اثر حرکت طولی بیش از حد مجاز روتور و برخورد تیغه‌های متحرک به ثابت رخ می‌دهد.

- ضربه حاصل از برخورد فوندانسیون توربین با کف سالن توربین که باعث خرد شدن و از بین رفتن بتن در آن موضع می‌شود.
- قطع برق اضطراری و انجام عمل تریپ بدون حضور روغن که به یاتاقانها شدیداً صدمه می‌زند.
- خارج شدن محور توربین از امتداد افقی و حالت تراز که باعث کاهش راندمان و آسیبهای جدی در دراز مدت می‌گردد.
- نشست نامتقارن توربین و لوله‌های متصل به آن که بدلیل رفتار نامناسب خاک بستر رخ می‌دهد و باعث شکستگی لوله‌ها و قطع سیمها می‌شود.

- **بویلر و سازه نگهدارنده آن**

بدلیل وجود تنشهای حرارتی، بویلر بر سازه نگهدارنده خود به‌طور معلق و آویزان نصب شده است تا تغییرشکلهای حرارتی بتوانند آزادانه رخ دهند. خرابی براکتهای داخلی بویلر و شکستگی آنها در زلزله‌های قبلی گزارش شده است؛ ضمن آنکه مهارهای جانبی در سازه نگهدارندهٔ بویلر معمولاً کفایت لازم برای تحمل بارهای جانبی زمین‌لرزه را ندارند و در مواردی گسیخته و حتی سبب سوراخ شدن دیواره بویلر می‌شوند. لوله‌ها و اتصالات فراوانی میان بویلر و سازه نگهدارنده آن وجود دارند و طوری طراحی شده‌اند که در برابر حرکات ناشی از تغییر درجه حرارت، بدون وجود قید یا مانعی می‌توانند آزادانه حرکت کنند ولیکن در برابر حرکت شدید زمین لرزه و تغییر مکانهای جانبی زیاد آن سریعاً شکسته و از بین می‌روند. آسانسورهای بویلر نیز رفتار بسیار نامناسبی در زلزله‌های گذشته داشته‌اند؛ مهار نامناسب تابلوی برق آسانسور و سیستمهای کنترل آن که در حین زلزله سبب واژگونی و قطع برق آسانسور می‌شوند، عدم نگهداری مناسب اطاقک آسانسور و مقاومت ناکافی کابلهای نگهدارنده، از مواردی می‌باشند که باید درارزیابی مدنظر قرارگیرند.

- **لوله ها و سیستمهای سوخت رسانی**

معمولاً طول خطوط لوله در نیروگاهها زیاد می‌باشد. لذا به جهت تأمین انعطاف‌پذیری کافی لازم است در مسیر لوله خمهایی به شکل U ایجاد شوند تا حرکات لوله در امتداد محور خود را کنترل نموده و باعث خرابی اتصالات دو انتها نشوند. در محل اتصال لوله‌های کوتاه و غیرانعطاف‌پذیر به لوله‌های بلندتر، گسیختگی بسیار محتمل می‌باشد. همچنین در نقاطی که لوله‌ها از داخل دیواره‌ها عبور می‌کنند بدلیل وجود حرکات نسبی، دیوار مانند یک گیوتین لوله را قطع می‌کند. لذا لوله‌هایی که به سازه‌ها متصل می‌شوند باید به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند و ضمناً در محل اتصالات با رعایت جزئیات خاصی امکان حرکات نسبی فراهم گردد. علاوه بر این، سایر سیستمهای سوخت‌رسانی مانند تسمه نقاله‌ها نیز در زلزله های گذشته بسیار آسیب‌پذیر بوده‌اند.

- **تجهیزات برقی و مکانیکی**

این تجهیزات شامل موتورها، پمپها، کلیدها، پانلها و ... می‌باشند. تجهیزات مکانیکی در زلزله‌ها رفتار بسیار مناسبی داشته‌اند مگر آنکه در اتصالات آنها ضعفی وجود داشته باشد که باعث شود گسیختگی در همان نقطه رخ دهد. پانلهای کنترل و تابلوها بوسیله بولتهایی به کف بتنی در ساختمان کنترل مهار می‌شوند که معمولاً این مهارها یا اجرا نمی‌شوند یا کافی نمی‌باشند که با کوچکترین حرکت جانبی تابلوها واژگون شده و دیگر کارایی ندارند. از جمله تجهیزات برقی بسیار حساس در یک نیروگاه، باطریها یا سیستم برق اضطراری می‌باشند. شایعترین آسیب در باطریخانه، واژگونی باطریها از روی قفسه‌ها بدلیل مهار نامناسب و ناکافی و در نتیجه قطع برق اضطراری است.

قفسه‌های باطریخانه باید ارتفاع کمی داشته باشند تا واژگون نشوند و به خوبی به زمین مهار گردند. قطع برق اضطراری در هنگام بحران صدمات جبران ناپذیری را ایجاد خواهد کرد.

- **مخازن ذخیره سوخت و مایعات**

در نیروگاهها معمولاً انواع مختلف مخازن ذخیره مایعات مشاهده می‌گردد. مخازن با کف تخت که به میزان کافی و به طور مناسبی به پایه مهار نشده اند می‌توانند در اثر حرکات گهواره‌ای ایجاد شده، اتصالات صلب لوله‌های انتقال سوخت را شکسته و از بین ببرند. این حرکت گهواره‌ای همچنین باعث بروز پدیده کمانش پافیلی می‌شود. این نوع کمانش به شکل یک برآمدگی و تحدب در اطراف و پایه مخزن بروز می‌کند. در این پدیده که بدلیل زنگ‌زدگی و خوردگی مخزن خیلی سریع باعث گسیختگی و سوراخ شدن محل اتصال و جوش دیواره به کف مخزن می‌گردد، تخلیه سریع محتویات سبب کاهش فشار داخلی و کمانش پوسته دیواره به سمت داخل می‌شود.

یکی از موارد مهم در مخازن، جوش سرتاسری پلکان فلزی به جداره مخزن می‌باشد که در حرکات زلزله بدلیل سختی زیاد این ناحیه، پارگی دقیقاً در همین نقاط در جداره مخزن رخ می‌دهد. از این رو توصیه می‌شود که پلکان فقط در چند نقطه در ارتفاع، اتصال ضعیفی به مخزن داشته باشد. مخازن کوتاه که معمولاً صلب نیز هستند در هنگام زلزله بر روی بستر خود لغزیده و موجب می شوند اتصالات و لوله‌ها کاملاً گسیخته شوند. درنتیجه، باید مهارهای کافی جهت اتصال مخزن به کف تعبیه شوند. درپوش مخازن یا بصورت ثابت به لبه دیواره‌ها جوش می‌شود و یا اینکه بطور لغزنده در ارتفاع حرکت می‌کند. در مخازن سوخت معمولاً گاز قابل اشتعالی زیر درپوش جمع می‌شود که با حرکات مخزن و ایجاد جرقه، بدلیل اصطکاک دیواره و درپوش متحرک آن، سریعاً منفجر شده و آتش‌سوزی شروع می‌شود. لذا واشرهای لاستیکی لازم در محلهای اتصال باید تعبیه شوند. در نهایت اگر خاک زیر مخزن مستعد روانگرایی باشد، نشستهای زیاد می‌تواند باعث گسیختگی اتصالات و لوله‌ها شود.

- **برج خنک کن**

برجهای خنک‌کن معمولاً به دو صورت طبیعی (به شکل هیپربولیک) و یا مکانیکی (پنکه‌های خنک کننده آب) به کار می‌روند. تاکنون گزارشی درمورد خرابی برجهای خنک‌کن طبیعی ثبت نشده است؛ ولیکن در نوع دیگر، بدلیل زنگ‌زدگی، خوردگی اعضا و وجود قطعات متحرک امکان آسیب‌پذیری وجود دارد.

- **خرابیهای غیرسازه ای در اجزاء ساختمانها و خرابیهای سازه ای**

در یک نیروگاه عمدتاً سازه‌های ساختمانی با کاربردهای متفاوتی وجود دارند که عبارتند از: ساختمان کنترل، ساختمان توربین، ساختمانهای انبار، کانتین، تلمبه‌خانه، اطفاء حریق و مدیریت نیروگاه که در تمام این موارد خرابیهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای محتمل می‌باشد. در بررسی خرابیهای غیرسازه‌ای، سقوط سقفهای کاذب معلق و آسیب دیدن کامپیوترها و تجهیزات زیر آنها، واژگونی قفسه‌ها خصوصاً در انبار و کتابخانه‌ها، واژگونی مانیتورها و قطع سیمها، ترکهای قطری در تیغه‌ها و در بعضی موارد خرابی کامل آنها، شکستن شیشه‌ها و ... از موارد قابل توجه می‌باشند.

به جز ساختمانهای کنترل، خرابیهای سازه‌ای در نیروگاهها بسیار محدود بوده اند و در مواردیکه حتی منجر به خرابی یک عضو یا اتصال شده اند، در عملکرد سیستم تأثیری نداشته و نیروگاه به تولید خود ادامه داده است. در اکثر موارد ساختمانهای کنترل از مصالح بنایی بدون ملاحظات طرح لرزه‌ای ساخته می‌شوند و از این رو در زلزله بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. در سالنهای توربین نیز معمولاً یکی ازدیواره‌ها که جهت مقابل بویلر می‌باشد آزاد و

بدون مهار با ارتفاع نسبتاً زیاد اجرا می‌گردد که در هنگام زلزله این دیوار به راحتی در امتداد عمود بر صفحه خود حرکت کرده و یا بصورت پرتاب عرضی از صفحه خود خارج می‌شود. همچنین این دیوار معمولاً تکیه‌گاه یکی از ریلهای جرثقیل سقفی می‌باشد.

توصیه می‌شود هنگامیکه از جرثقیل استفاده نمی‌شود در یکی از دو انتها پارک شود تا در هنگام زمین‌لرزه در اثر تکانهای شدید، ریلها و چرخهای آن صدمه نبیند و احتمال سقوط آن نیز به حداقل برسد.

یکی دیگر از مسائل موجود، دیواره‌های میانقابی آجری با ارتفاع کمتر از ارتفاع ستونها می‌باشند که در واقع باعث کاهش طول ستون و افزایش سختی آن و در نهایت افزایش احتمال شکست ترد برشی در ستونها می‌شوند.

۳-۳-۱-۳- آسیب پذیری شبکه انتقال در برابر زلزله

۳-۳-۱-۳-۱- رفتار پست های فشار قوی در هنگام زلزله

در میان مولفه های مختلف شبکه برق از قبیل نیروگاه ها، پست ها و خطوط، پست های فشار قوی انتقال و توزیع با سطح ولتاژ بالاتر از اهمیت بسزایی برخوردارند و نقش حیاتی را در شبکه ایفا می کنند؛ بطوریکه علل و عوامل متعددی از جمله آسیب پذیری بالا و خسارات سنگین مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی ناشی از آسیب پست ها بویژه در تجربیات زلزله های گذشته موید آن می باشند]۵۵۲[. در مقوله ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای تجهیزات، همواره بررسی و مطالعه آسیب دیدگی سازه های مشابه در طی زمین لرزه های گذشته بعنوان یک نقطه شروع کاملاً مناسب و منطقی مورد نظر بوده است. تجهیزاتی همچون ترانس قدرت، ترانس جریان، ترانس ولتاژ، دژنکتور و .... جزء اجزای ثابت و حیاتی هر پست بشمار می روند. شواهد گذشته حاکی از آن است که میزان خرابی این تجهیزات رابطه مستقیم با ولتاژ کاری آنها داشته و الگوهای خرابی هر یک از آنها نیز تقریباً یکسان بوده است.

بطور کلی عوامل مؤثر بر عملکرد لرزه ای یک پست را می توان در عناصر زیر خلاصه نمود:

۱- سایت و محل ساخت پست،
۲- ساختمان های پست،
۳- تجهیزات و پایه های نگهدارنده آنها (که به عنوان سازه های پست شناخته می شوند)، و
٤- سایر سازه های غیرساختمانی، نظیر گنتری ها و سازه های برق گیر.

بررسی اثرات زلزله های حادث شده، نشان داده است که برخی از پست های برق دارای پتانسیل آسیب پذیری بالایی می باشند که به صورت کلی دلایل آن به شرح زیر می باشند:

- استفاده از مواد ترد و شکننده در قسمت های اصلی و حیاتی تجهیزات (نظیر استفاده از مواد سرامیکی)
- در نظر نگرفتن لنگر کافی برای پایه ها
- مقاومت و سختی جانبی ناکافی
- سطح پایین دمپینگ تجهیزات
- اثرات متقابل بین تجهیزات مجاور
- اثرات متقابل تجهیزات با اجزای داخلی
- وزن زیاد تجهیزات
- توزیع نامناسب و نامنظم وزن در ارتفاع
- نصب و تعمیرات نامناسب و ایرادات اجرایی

در شکل ۱-۱ نمونه هایی از خسارات وارده به تجیزات پست های برق در اثر وقوع زلزله نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳: نمایی از تخریب تجهیزات پست تحت اثر زلزله]۵۵۲[

بطور کلی ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای، منجمله در سازه و تجهیزات پست برق، به دو روش کمی و کیفی انجام می گیرد. در ارزیابی کیفی که در پاراگرافهای فوق نیز به آن اشاره شد، با توجه به شواهد و مشاهدات خرابی ها در زلزله های گذشته مدهای اصلی خرابی تجهیزات مشخص می شوند. در ارزیابی کمی نیاز به ساخت مدل ریاضی و تحلیل دقیق تحت اثر نیروهای زلزله می باشد تا نقاط ضعف مشخص گردند و مدهای خرابی تجهیزاتی از قبیل ترانسهای جریان و ولتاژ و دژنکتور ها از ارزیابی کمی بدست آیند]۵۵۸[. در همین راستا تفویضی و همکاران در سال ۱۳۹۳]۵۵۸[به منظور ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پستهای انتقال نیروی فشار قوی و تجهیزات اصلی آنها، با استفاده از روشی کمی به بررسی پایداری و رفتار سازه ها و تجهیزات پستهای فشار قوی برق ۲۳۰ کیلوولت شهر تهران در هنگام وقوع زلزله پرداختند و نقشه پهنه بندی میزان ریسک پذیری پستهای انتقال فشار قوی در تهران را ارائه نمودند. با توجه به اینکه میزان آسیب پذیری تجهیزات پست ها در اثر شتاب وارد شده از زمین مشخص می گردد، این محققین نشان دادند که برمبنای مقادیر شتاب آستانه خرابی تجهیزات حساس و مهم پست های برق شامل ترانسفورماتور قدرت، ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور ولتاژ، سکسیونر، کلیدهای قدرت (دژنکتور یا بریکر)، برق گیر، مقره اتکایی، و رله، ترانسفورماتور قدرت دارای کمترین مقدار شتاب مبنا و برق گیر دارای بیشترین مقدار شتاب مبنا می باشد. در نتیجه ترانسفورماتور قدرت آسیب پذیرتر و برق‌گیر مقاومتر می باشد. در ادامه، در راستای ارزیابی کیفی آسیب پذیری لرزه ای پستها برمبنای خرابیهای رخ داده در آنها در زلزله های گذشته، نتایج

حاصل از مشاهدات و بررسی های صورت گرفته در خصوص آسیبهای تحمیل شده به پستهای برق در دو زلزله بم و سرپل ذهاب ارائه می گردند.

۳-۳-۱-۳-۲- خسارات وارده به پست های فشار قوی در زلزله های بم و سرپل ذهاب

- **خسارات وارده به پست ها در زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۱ بم**

برق شهر بم بوسیله یک خط ۲۳۰ کیلوولتی تامین می شود که بعد از تبدیل ولتاژ در پست ۲۳۰ کیلوولت شهر، توسط خطوط ۲۰ کیلوولت به داخل شهر منتقل شده و بوسیله ترانسهایی به برق ۲۲۰ کیلوولت تبدیل و توسط خطوط فشار ضعیف توزیع می شود]۵۵۹[. پست برق ۲۳۰ کیلوولت مجاور شهر بم متشکل از دو قسمت ۲۳۰ و ۱۳۲ کیلوولت و ساختمانهای اداری می باشد. در اثر زلزله دیوارهای محوطه پست بعلت عدم وجود پشت بند (لغز) کاملاً واژگون شده و تخریب شدند (شکل ۳-۳). واژگونی این دیوار بر روی تیرهای برق باعث واژگونی و صدمه تیرهای برق مجاور آن شد. همچنین زمین لرزه موجب شد تعداد بسیاری از مقره های موجود در پست برق دچار شکست گردیده و روغن موجود در آنها به بیرون جاری شود؛ بطوریکه تنها در قسمت ۱۳۲ کیلوولت پست، حدود ۱۳ مقره دچار شکست گردید (شکل ۴-۳و شکل ۵-۳). لازم بذکر است که تعداد مقره های شکسته شده در قسمت ۲۳۰ کیلوولت بیشتر از تعداد مقره های شکسته شده در قسمت ۱۳۲ کیلوولت بود و خسارتهای وارد به این قسمت نیز بیشتر از قسمت ۱۳۲ کیلوولت برآورد گردید. در اثر زلزله ترانسفورماتورهای ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت موجود در پست برق دچار لغزش شدند و مقره‌های آنها دچار شکست گردید. همانطورکه از شکل ۶-۳ و شکل ۷-۳ مشخص است در اثر لغزش این تراسفورماتور چرخها از ریل خارج شده و پینهای نگهدارنده آن نیز از محل خود خارج شدند. اما در ترانسفورماتور ۲۳۰ کیلوولت میزان لغزش بسیار بیشتر بود. در شکل ۸-۳ میزان جابجایی ترانسفورماتور که حدود ۴۰ سانتیمتر است مشخص می باشد. در اثر این جابجایی غلتکها از روی ریل خارج شدند و نبشی زیر ترانسفورماتور کاملاً لهیده شد و یکی از ریلها دچار شکست گردید (شکل ۹-۳). علت این جابجایی جرم زیاد ترانسفورماتور و میزان شتاب بود که در نتیجه آن نیروی زیادی به ترانسفورماتور وارد شد. همچنان که از شکل ۱۰-۳ مشخص است، جابجایی ترانس باعث کشیدگی کابلهای متصل به زیر ترانس هم شده بود. وقوع زلزله باعث شد پایه یکی از مقره ها نیز دچار تغییرشکل ماندگار گردد. همانطورکه قابل مشاهده است، با اینکه لنگر وارد به پایه نسبتاً زیاد بود اما پیچها دچار شکست کششی نشدند و ناودانی زیر پایه دچار تغییرشکل و کمانش شد. البته بعلت اینکه مقره های موجود بر روی این پایه از جنس چینی و شکننده بودند، مقره دچار شکست شد و عملاً رفتار شکل پذیر پایه سودی در حفظ مقره نداشت. مطابق شکل ۱۱-۳ دیوارهای ساختمان اداری پست برق که از نوع سازه سبک فلزی می باشد دچار تخریب شدند که علت آن نسبت ارتفاع به ضخامت زیاد دیوار و عدم وجود پشت بند در دیوار بود.

DOI:



شکل ۳-۳: تخریب دیوار نگهبان پست برق به علت عدم وجود پشت بند در دیوار در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۴-۳: شکست مقره های از جنس چینی تردشکن در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۵-۳: فروافتادن مقره های از جنس چینی تردشکن در زلزله بم]۵۵۹[



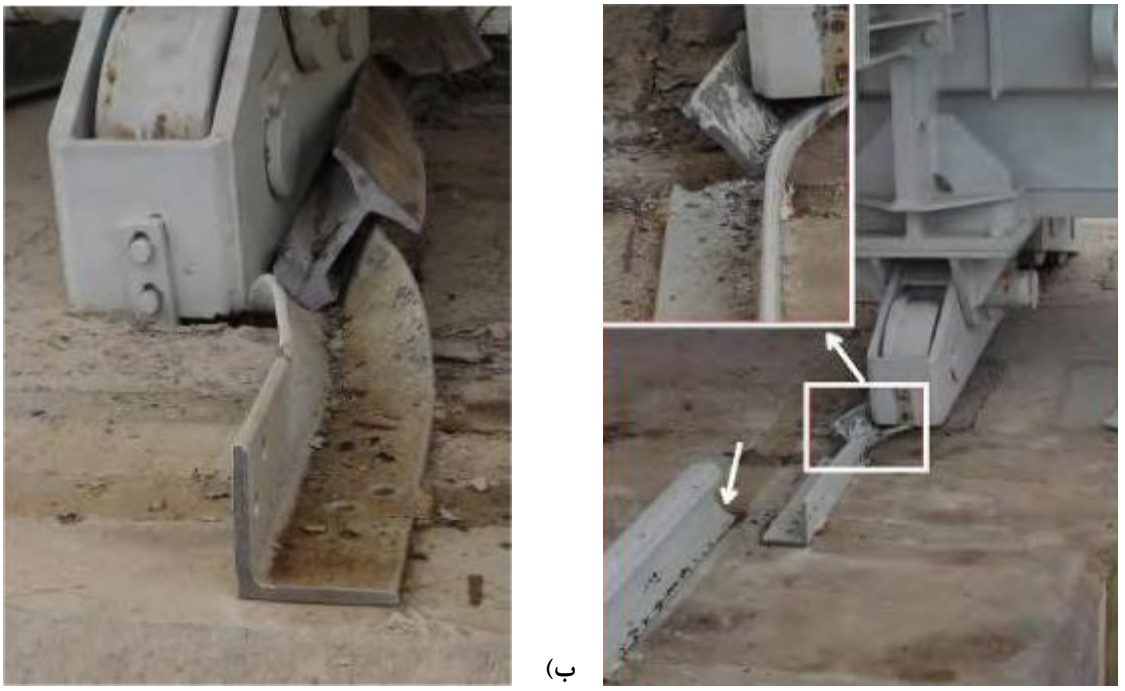
شکل ۶-۳: افتادن ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلوولت از روی ریل در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۷-۳: خروج ترانسفورماتور ۱۳۲ کیلولت از روی ریل در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۸-۳: لغزش و جابجایی ترانسفورماتور از روی ریل و خروج پینها از محل خود در زلزله بم]۵۵۹[



الف) ب)

شکل ۹-۳: الف)پاره شدن نبشی زیرسری، ب) اعوجاج نبشی زیرسری و شکست ریل ترانسفورماتور در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۱۰-۳: کشیدگی کابلها در اثر لغزش ترانسفورماتور در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۱۱-۳: فروریختن دیوار ساختمان اداری پست برق در زلزله بم]۵۵۹[

- **خسارات وارده به پست ها در زلزله ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب**

در شهر سرپل ذهاب سه پست ۶۳ کیلوولت ثابت، ۶۳ کیلوولت سیار و ۲۳۰ کیلوولت وجود دارد. پست سیار خسارت جزیی متحمل شده بود در حالیکه به دو پست دیگر آسیبهای اساسی وارد شده بود]۵۵۳[.

آسیبهای وارده به تجهیزات اصلی پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب عبارت بودند از (شکل ۱۲-۳):

- نشت روغن
- ترک در مقره ها
- شکست مقره ها و بوشینگ ها

علاوه بر تجهیزات، ساختمان اتاق کنترل آسیب اساسی دیده بود و دیوارهای باربر آن دچار شکست شده بودند (شکل ۱۴-۳).

آسیبهای وارده به تجهیزات اصلی پست ۲۳۰ کیلوولت سرپل ذهاب عبارتند از:

- لغزش ترانسفورماتور
- نشت روغن
- ترک در مقره ها
- شکست مقره ها
- ترک در دیوارهای ساختمانها



شکل ۱۲-۳: افتادن ترانس از روی ریل در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب]۵۵۳[



شکل ۱۳-۳: سقوط بوشینگ و موج گیر در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب]۵۵۳[



شکل ۱۴-۳: آسیب دیدن اتاق کنترل در پست ۶۳ کیلوولت سرپل ذهاب]۵۵۳[



شکل ۱۵-۳: سقوط و شکستن تجهیزات پست ۲۳۰ کیلوولت سرپل ذهاب]۵۵۳[

۳-۳-۱-۳-۳- اثرات زلزله بر روی دکل های خطوط انتقال نیرو

نیروهای افقی ناشی از زلزله، بصورت درصدی از وزن کل دکل هستند و بعلت بالا بودن سطح بادخور سیمها و سازه نگهدارنده و سبکی وزن، همیشه کمتر از نیروی باد محاسبه می شوند. روش متعارف طراحی خطوط انتقال نیرو اصولاً براساس بارهای وارده ناشی از باد، یخ و تغییرات درجه حرارت محیط می باشد که باعث تغییر کشش سیم نیز می گردند. بنابراین بارگذاری زلزله برای طراحی خط انتقال در مقایسه با باد و یخ چندان بحرانی نبوده و بدین جهت عملکرد خطوط انتقال نیرو پس از وقوع زلزله ها تا حدودی، مناسب ارزیابی شده است. تجربیات به دست آمده از زلزله های گذشته حاکی از آن است که آسیب های بوجود آمده در زمین لرزه ها، کمتر بعلت ملاحظات حین طراحی و عملاً ناشی از عوامل ثانویه زمین لرزه بوده است]۵۶۰[. بطور کلی از مهمترین عوامل موثر در تخریب دکلهای انتقال نیرو و ایجاد آسیب دیدگی در آنها در هنگام وقوع زلزله می توان به "پدیده سنگ لغزش (یا ریزش سنگ)"، "ناپایداری شیروانی های خاکی"، "بهمن"، "روانگرایی"، و "عوامل جانبی و غیرمستقیم" اشاره نمود

- بهمن

دکل هایی که در مناطق برفگیر و کوهستانی قرار دارند، ممکن است در معرض سقوط بهمن قرار گیرند. این مشکل در مورد دکل هایی صدق می کند که در شیب های برفگیر واقع شده اند، زیرا با وقوع زمین لرزه امکان وقوع بهمن در اینگونه مواضع تشدید می گردد. البته در تعیین میزان خطر احتمالی برخورد بهمن با دکل، باید به جهت شیب ها، فاصله دکل تا خط الرأس و موارد مشابه توجه داشت.

- روانگرایی

پدیده روانگرایی یکی دیگر از علل بروز خرابی در دکل های انتقال در طی زمین لرزه ها بوده است. در اثر بروز این پدیده، خاک زیر شالوده دکل ها مقاومت خود را از دست داده و دکل دچار ناپایداری می‌شود. پدیده روانگرایی به دو دلیل عمده شکل می گیرد. وجود خاک مستعد روانگرایی و اشباع بودن خاک (بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی) هر دو لازمه بروز این پدیده می باشند. چنانچه هر یک از این دو شرط برآورده نشوند، خطر بروز روانگرایی وجود نخواهد داشت.

- عوامل جانبی و غیر مستقیم

عدم وجود کیفیت در کار پیمانکار اجرائی در هنگام مونتاژ قطعات، ربوده شدن اجزای نگهدارنده و اصلی دکل و مواردی از این دست، زمینه ساز بروز خرابی در هنگام پیدایش زلزله خواهند بود.

در مجموع می توان گفت، با توجه به کم اثر بودن نیروهای زلزله در مقایسه با نیروهای باد و برف، درنظرگرفتن ملاحظات خاص مقاوم سازی در طراحی برجها، رایج نمی باشد و چنانچه در هنگام مسیریابی مسائل زمین شناسی رعایت گردد و از ورود به زمینهای رانشی، سست، و در معرض آبهای فصلی (مسیل)، و مناطق مستعد ریزش بهمن و سنگهای غلطان در نواحی کوهستانی خودداری شود، اثرات تخریبی آتی در دکلهای انتقال نیرو در اثر وقوع زلزله به حداقل می رسد. همچنین محل دکل ها حتی المقدور باید روی قله ها و نواحی بلند تپه ای که دارای شیب های ناپایدار هستند واقع نگردد و در مواردی که این کار اجتناب ناپذیر باشد، لازم است شیب به صورت مناسب تثبیت شود. در ضمن با توجه به نقشه های گسلهای فعال کشور، در هنگام مسیریابی می توان تا حد امکان از احداث خط

در مجاورت گسلهای فعال، خودداری نمود[1] و چنانچه رعایت این موضوع باز هم غیرممکن باشد با انجام مطالعات لرزه‌خیزی و ریزپهنه بندی لرزه ای و رعایت شناژبندی پی ها در این مناطق می توان اثرات تخریبی زلزله را به حداقل رسانید]۵۶۰[.

۳-۳-۱-۳-٤- خسارات وارده به خطوط انتقال نیرو در زلزله های بم و سرپل ذهاب

در زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۱ بم، خسارتی در خطوط انتقال فشار قوی برق ۲۳۰ کیلوولت مشاهده نشد]۵۵۹[. در زلزله ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب هم آسیبهای وارده به شبکه انتقال عمدتاً شامل آسیب به پستها بود و در خطوط شبکه انتقال مشکل اساسی مشاهده نگردید. البته سقوط دکل خط انتقال بخش خصوصی بر اثر ریزش کوه یکی از نکات جالب این زلزله بود که در زلزله های سالیان اخیر کشور مشاهده نشده بود]۵۵۳[.

۳-۳-۱-٤- آسیب پذیری شبکه توزیع در برابر زلزله

۳-۳-۱-٤-۱- آسیب پذیری لرزه ای پست های توزیع درون شهری

ترانسفورماتورها اصلی ترین و گران ترین مؤلفه پستهای توزیع ۲۰ کیلوولت درون شهری هستند. آسیب به یک پست با ولتاژ بالا، می تواند سبب قطع برق یک یا چند منطقه برای چند روز و یا حتی چند هفته شود. این امر می تواند فعالیتهای اساسی شهرها را برای مدتی مختل کند]۵۶۱[.

در ادامه این بخش، مدهای خرابی مربوط به ترانسفورماتورهای هوایی، زمینی و ساختمان پست شبکه توزیع مورد بررسی قرار گرفته و روشهای بهسازی آنها در برابر زلزله بیان می شود.

- **آسیب پذیری لرزه ای ترانسفورماتورهای هوایی**

ترانسفورماتور هوایی روی دو پایه بتنی قرار می گیرد (شکل ۱۶-۳). وزن ترانسفورماتورهای هوایی در حدود ۱/۵ تن است. مد خرابی غالب این ترانسفورماتورها شکست یا لق شدن پایه ترانسفورماتور است که به علت ایجاد نیروی زیاد در آن بوجود می آید. در زلزله ها سقوط ترانسفورماتور به ندرت گزارش شده است اما لق شدن و لغزش آن معمولاً اتفاق افتاده است]۵۶۱[. ترانسفورماتورهای توزیع که بر روی تیرهای هوایی قرار می‌گیرند باید اتصالات کافی و مطمئن بر پایه و سکوی خود داشته باشند. بطورکلی در مورد مقاوم سازی تجهیزات پست های هوایی می توان به موارد زیر اشاره کرد]۵۶۱[:

- محل مهار و آرایش تجهیز باید طوری باشد که اتصال پیچی یا جوش در معرض ضربه و اصطکاک نباشد.
- مخازن ذخیره روغن باید مهار شده باشند.
- روش مناسب مهار نمودن تجهیزات سنگین پست جوشکاری به قطعات مهار شده در شالوده بتنی است.
- مقاومت خمشی کافی در شالوده در محل بارهای متمرکز ترانسفورماتور می بایست تأمین گردد.
- در حالت مهم بودن اثرات اندرکنش خاک و سازه، تمهیدات لازم برای کاهش اثرات ضربه ناشی از زلزله باید درنظر گرفته شود.

[1] برای مثال، در شهر مرزن آباد واقع در استان مازنداران، یکی از مهمترین گسلهای منطقه دقیقاً از زیر دکل شبکه توزیع برق رد می شود و از مخاطرات بالقوه ای است که پایداری این دکلها را تهدید می کند [۱۱۷].

- تأمین بوشینگ یدکی در پست یا تعویض بوشینگها با نوع ضد زلزله، و از نظر طراحی، بهبود وضع شالوده می تواند به عنوان راهکار انتخاب گردد. جوشهای این قطعات که وظیفه کنترل پایداری ترانسفورماتور را برعهده دارند، باید پاسخگوی تمام نیروهای وارده باشند.
- در هنگام جوشکاری و ترمیم جوش مسأله نفوذ جوش و حرارت ناشی از آن باید بدقت بررسی شود.
- تمهیدات لازم برای جابجایی ترانسفورماتور از قبیل قلاب در محلهای مناسب در صورت وقوع زلزله باید در نظر گرفته شود.
- استفاده از قطعات انعطاف پذیر در اتصال بوشینگ به ترانسفورماتور کمک بسیار زیادی به بهبود رفتار آن می نماید. با استفاده از بست نگه دارنده در محل اتصال بوشینگ می توان از جابجایی کلاهک آن جلوگیری نمود.
- رادیاتورها باید مهارشده و دارای سختی کافی باشند تا در هنگام زلزله به اتصالات لوله های آنها آسیب وارد نگردد. برای رادیاتورهای مجزا اتصال لوله ها به ترانسفورماتور باید دارای انعطاف پذیری کافی باشد. انعطاف پذیری کافی بین اتصال لوله ها با ترانسفورماتور و رادیاتور جهت جلوگیری از هرگونه نشت یا ترک ضروری است.



شکل ۱۶-۳: ترانسفورماتور هوایی]۵۶۱[

- **آسیب پذیری لرزه ای ترانسفورماتورهای زمینی**

ترانسفورماتورهای زمینی استفاده شده در سیستم برق تهران مدل ساده ای بصورت یک مقره سرامیکی بر روی یک جسم صلب هستند که جسم صلب یعنی بدنه ترانسفورماتور بطور عمده با چرخ بر روی ریل قرار گرفته است. قطعات الحاقی هم رادیاتورها، بوشینگ و مخزن روغن هستند که بطور معمول بر روی ترانسفورماتور قرار دارند و البته در بعضی موارد جداگانه نصب شده اند. این مؤلفه ها بدلیل وزن زیاد و همچنین قرار داشتن بر روی ریلهای ساخته شده از تیرآهن مستعد واژگونی می باشند]۵۶۱[. مدهای آسیب بدنه ترانسفورماتور شامل لغزش در طول

ریل و واژگونی یا خروج از ریل است. اهم مدهای آسیب بوشینگها و رادیاتور، نشت مواد روغنی از قسمت سرامیکی، خروج واشر و شکست سرامیک است. این شکست در محل اتصال واشر به بدنه، متمرکز می شود. خرابی قطعات سرامیکی گاهی بسیار قابل توجه است. در بدترین حالت ستون سرامیکی یا جرم متمرکز سقوط می کند یا اتصالات آنها دچار آسیب شدید می شود.

- **آسیب پذیری لرزه ای ساختمان پست زمینی**

در ساختمان پست، ترانسفورماتور در یک اتاق که اغلب آجری است، بر روی ریل قرار می گیرد. در این نوع ساختمانها مد خرابی ریزش ساختمان پست و لغزش ترانسفورماتور از روی ریل است]۵۶۱[. ساختمانهای آجری در هنگام زلزله بسیار آسیب پذیرند و حتی در صورت فروریختن قسمتی از آنها احتمال آسیب دیدگی تجهیزات و کابل ها بسیار بالاست. بهتر است این ساختمانها بصورت کاملاً بتنی ساخته شوند. اما برای جلوگیری از افزایش زیاد هزینه و زمان ساخت می توان به عنوان یک راه جایگزین از صفحات فولادی تعبیه شده در دیوارهای آجری هم استفاده نمود. از طرفی بجای استفاده از صفحات فولادی می توان از صفحات الیاف کربن یا پانل های بتنی سبک پیش ساخته استفاده کرد.

۳-۳-۱-٤-۲- آسیب پذیری خطوط هوایی و زمینی شبکه توزیع در برابر زلزله

مطالعات نشان داده اند که تیرهای برق تحت شتاب gal ۸۰۰ در شرایط خاک معمولی به سرعت دچار آسیب می شوند. لذا مطالعات بهسازی لرزه ای در مورد آنها ضروری است. از آنجاییکه شتاب قائم زلزله در نزدیک گسل بزرگ می باشد، باید اقدامات ویژه ای در مناطق نزدیک به گسل انجام پذیرد]۵۶۱[. کابلهای مدفون نیز در اثر تنش بیش از حد ناشی از حرکت معکوس گسل نسبت به راستای کابل یا گسل فشاری دچار خرابی می شوند. حرکت گسل در راستای کابل (در تقاطع با گسلهای راستا لغز) یا گسل نرمال باعث بیرون آمدن کابل ها، وارد شدن آسیب به آنها و وقوع مد پارگی کششی می شود. در نواحی روانگرا تغییرشکل بزرگ زمین باعث تغییرشکل کابلها در جهت طولی و عرضی می گردد.

۳-۳-۱-٤-۳- خسارات وارده به شبکه توزیع در زلزله های بم و سرپل ذهاب

در زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۲ بم خطوط انتقال فشار ضعیف دچار خسارات بسیار شدیدی شدند. در این خطوط بسیاری از تیرهای برق یا ترانسهای موجود بر روی آنها آسیب دیدند. به طور کلی مدهای شکست مختلف مشاهده شده در تیرهای برق عبارت بودند از]۵۵۹[:

- خسارت وارد بر تیرهای برق در اثر ضربه آوار سازه های مجاور، نظیر تخریب دیوارها بر روی تیرهای برق (شکل ۱۷-۳)
- شکست تیرهای برق در میانه ارتفاع تیر (شکل ۱۸-۳)
- کمانش آرماتورهای طولی بعلت خرد شدن پوشش بتنی و عدم وجود تنگ برای جلوگیری از کمانش آرماتور (شکل ۱۹-۳)
- صدمه به ترانسهای برق هوایی که علت آن دررفتن ترانس از روی نبشی های زیرسری یا صدمه دیدن محل اتصال نبشی ها به تیر می باشد (شکل ۲۰-۳).
- فروافتادن چراغهای روشنایی خیابانها که بصورت یک طره به تیرهای برق متصل بودند و احتمالاً مولفه قائم زلزله در شکست آنها موثر بوده است.

- دوران تیرهای برق به همراه شالوده که در اثر لنگر واژگونی اتفاق افتاد.

در اثر تخریب ساختمانها، اکثر انشعابهای مشترکین نیز کاملاً دچار تخریب شد.



شکل ۱۷-۳: صدمه ایجاد شده در تیر برق در اثر تخریب دیوار پست برق مجاور آن در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۱۸-۳: شکست ایجاد شده در تیر برق در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۱۹-۳: شکست پوشش بتنی و کمانش آرماتورهای طولی در زلزله بم]۵۵۹[



شکل ۲۰-۳: دوران ترانس برق در محل خود در زلزله بم]۵۵۹[

در زلزله ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب، شبکه توریع دچار آسیب های گسترده ای شده بود. عمده این آسیبها شامل موارد زیر می شوند (شکل ۲۱-۳ و شکل ۲۲-۳)]۵۵۳[:

- کج شدن تیرهای برق

- ترک برداشتن تیرهای برق
- شکسته شدن تیرهای برق ناشی از فروریختن آوار ساختمانی
- شکسته شدن روشنایی معابر
- سقوط یا آویزان شده ترانسهای هوایی
- شکسته شدن مقره ها
- کشیده شدن کابلها
- از بین رفتن کابلها و کنتورهای انشعابات خانگی ناشی از ریزش دیوارها و ساختمانها



شکل ۲۱-۳: آویزان شدن ترانس هوایی و قطع برق در محدوده مسکن مهر در زلزله پل سرذهاب]۵۵۳[



شکل ۲۲-۳: شکست و کج شدگی تیر برق در زلزله پل سرذهاب]۵۵۳[

۳-۳-۱-۵- راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارات شبکه برق در اثر زلزله

در پایان این بخش، به منظور کاهش آسیب پذیری اجزاء شبکه برق در برابر زلزله معیارهای زیر پیشنهاد می گردند [۵]:

- انتخاب ساختگاه با توجه به آرایش گسل های منطقه
- انتخاب و طراحی سیستم های سازه ای مناسب
- انتخاب و طراحی تجهیزات براساس استانداردهای طراحی لرزه ای
- تامین فاصله کافی میان تجهیزات
- افزایش قابلیت جذب انرژی مجموعه تجهیزات که کاهش متعارف سازه و نیروهای وارده به تجهیزات را مقدور سازد.
- افزایش میرایی لرزه ای مجموعه تجهیزات
- کاهش فرکانس ارتعاش طبیعی

۳-۳-۲- زمین لغزش

یکی از حوادثی که همه ساله به سبب شرایط گوناگون زمین‌شناسی و اقلیمی در کشور خود با آن مواجه هستیم، زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش یکی از گسترده ترین و مخرب ترین مخاطرات طبیعی در نواحی کوهستانی است که عمدتاً رویکرد منفی داشته و برای جوامع تهدید محسوب می‌شود. خسارات زیان بار زمین لغزش در سراسر دنیا بسیار زیاد بوده و تاکنون جان تعداد زیادی از انسان ها را گرفته است. این پدیده علاوه بر خطرات جانی، خطرات

مالی گسترده ای را نیز از طریق آسیب رساندن به شریانهای حیاتی و صنایع مختلف، بویژه خطوط انتقال نیرو عبوری از مناطق کوهستانی، در پی داشته است. این بخش از گزارش به بررسی تاثیر این مخاطره زمینی بر سازه های صنعت برق اختصاص دارد.

۳-۳-۲-۱- تاثیر زمین لغزش بر دکل های خطوط انتقال نیرو

۳-۳-۲-۱-۱- پدیده سنگ لغزش (یا سنگ ریزش)

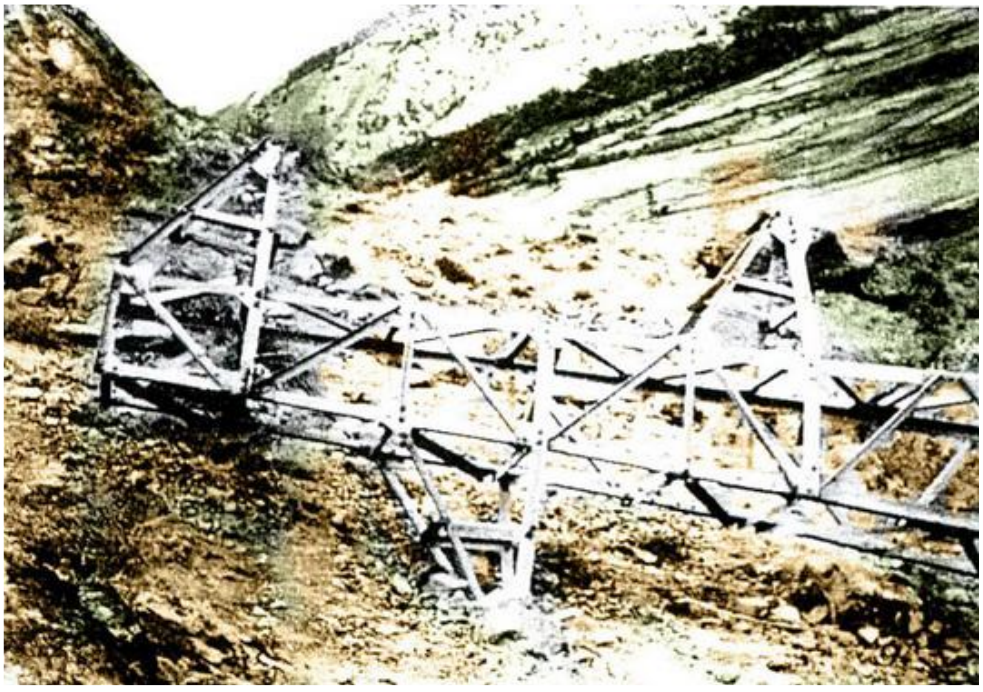
عبور از مناطق کوهستانی و مرتفع از اصلی ترین دلایل ایجاد تخریب درخطوط به شمار می رود. در برخی از مناطق کوهستانی، کوه ها دارای پایداری چندانی نیستند و با وجود پارامترهایی از قبیل گذشت زمان ، ایجاد یخ زدگی و آب شدن های متوالی و تابش نور آفتاب، نقاط اتکاء سنگها و صخره ها به زمین، دچار سستی و ریزش شده و پتانسیل رها شدن در شیب و لغزش در آنها تقویت می گردد. در این مواقع در صورتی که موقعیت قرارگیری دکل ها در دامنه شیب ها یا درون دره ها باشد، با وقوع زمین لرزه این مساله می تواند مشکل ساز شود. زیرا با جنبش زمین و ریزش سنگهای عظیم الجثه در صورتی که شیب دامنه در جهتی باشد که سنگها در مسیر قرارگیری دکل ها بغلتند، احتمال برخورد آنها با شالوده، پایه ها و یا حتی بدنه دکل ها وجود داشته و سبب ایجاد آسیب های اساسی در دکل ها و در برخی موارد شکست کلی دکل می گردند]۵۶۰[. در شکل ۲۳-۳ و شکل ۲۴-۳ نمونه هایی از اعوجاج و خم شدگی هایی ایجاد شده در اعضای دکل در اثر برخورد سنگ با بدنه آن، و در شکل ۲۵-۳ خرابی کلی دکل ناشی از ریزش سنگ نشان داده شده است. در شکل ۲۶-۳ نیز تصاویری از آسیبهای وارده به یک دکل خط انتقال بخش خصوصی بر اثر ریزش کوه در زلزله ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب را نمایش می دهند.



شکل ۲۳-۳: ایجاد اعوجاج در پایه دکل به دلیل اصابت سنگ]۵۶۰[



شکل ۲۴-۳: ایجاد کمانش و پیچش در اعضای پایه های دکل]۵۶۰[



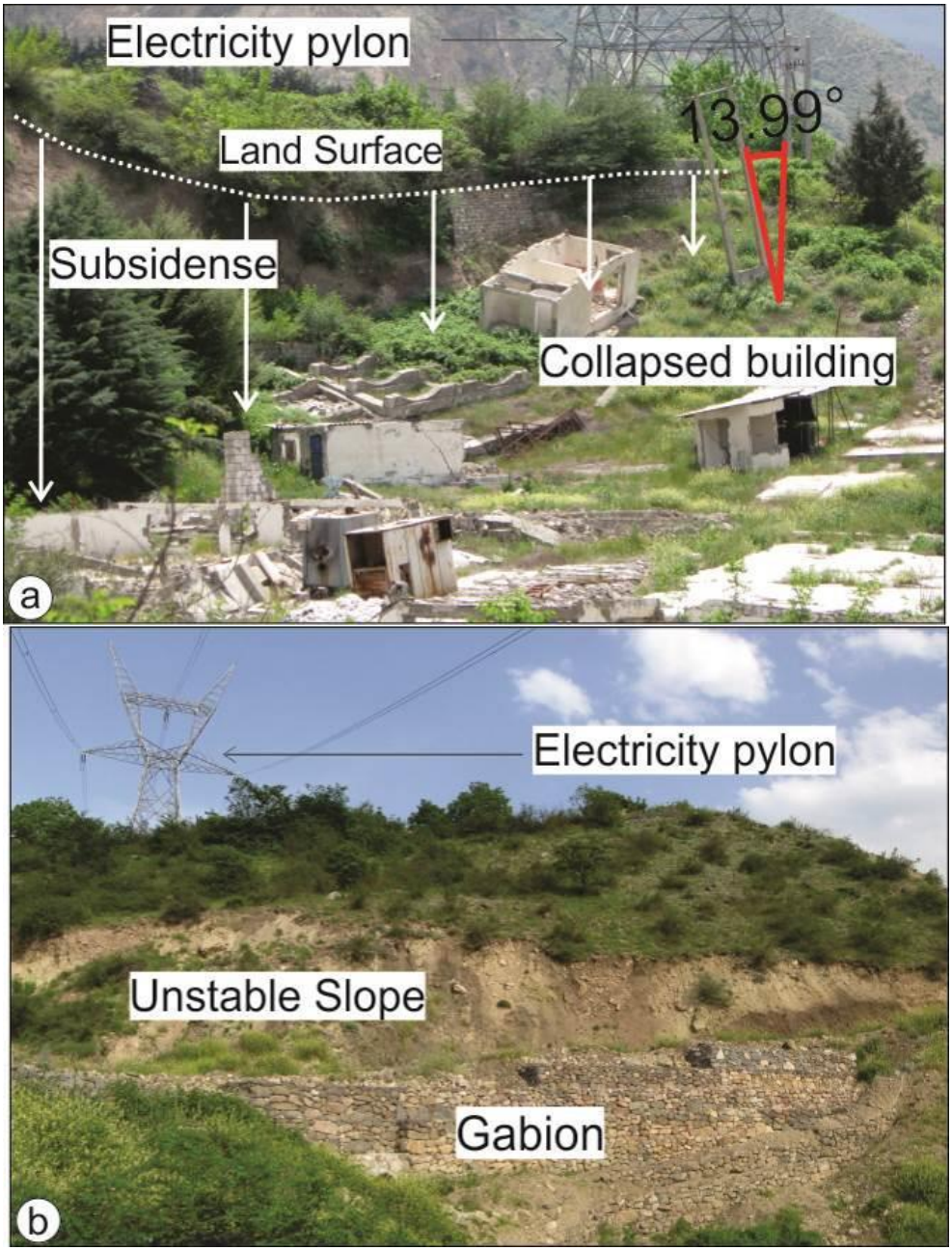
شکل ۲۵-۳: سقوط پایه های خط ۲۰ کیلوولت در اثر ریزش کوه]۵۶۰[



شکل ۲۶-۳: سقوط دکل خط انتقال بخش خصوصی در اثر ریزش کوه در زلزله سرپل ذهاب]۵۵۳[

۳-۳-۲-۱-۲- ناپایداری شیروانی های خاکی

بسته به نوع خاک محل قرارگیری دکل، میزان تراکم، دانه بندی، رطوبت و دیگر خصوصیات طبیعی خاک و همچنین شیب شیروانی خاکی، امکان ایجاد ناپایداری و لغزش توده خاک مشرف به دکل، بر روی دکل و یا لغزش خاک محل دکل در اثر زمین لرزه وجود خواهد داشت]۵۶۰[. در صورت لغزش خاک زیر شالوده، دکل به طور قطع دچار آسیب اساسی خواهد شد (شکل ۲۷-۳). از آنجا که تحرکات زمین ممکن است سبب نشستهای غیریکنواخت در چهار پایه برجهای مشبک گردد، طبعاً پدید آمدن تنشهای اضافی و احیاناً کمانش و آسیب دیدن قطعات، پدیده هائی محتمل خواهند بود. همچنین ممکن است در اثر این لغزش ها، دکل و شالوده به صورت یکپارچه بلغزند و انحراف از زاویه قائم و یا چرخش کلی ایجاد گردد. اینکه کدام یک از حالات ذکر شده به وقوع خواهد پیوست را نمی توان به طور دقیق پیش بینی کرد، لیکن می توان پتانسیل ایجاد چنین مخاطراتی را تخمین زد. بنابراین لازم است که میزان خطرات احتمالی به روش بازدیدهای عینی برآورد گردد و در مورد دکل های با میزان خطرپذیری زیاد تصمیم گیریهای لازم صورت پذیرد. بعلاوه، دکلهایی که مشرف به شیب های تند و بستر رودخانه هستند ممکن است دچار لغزش شده و در نتیجه شکافهای عمیق در زیر فونداسیونها نمایان گردند. در اثر این امر، شالوده این پایه ها کاملاً از حالت تراز خارج شده و ترکهای عمقی و حرکت نبشی های ریشه برجها به راحتی روی خواهد داد.



شکل ۲۷-۳: a) فرونشست منطقه ای همراه با ناپایداری دامنه در منطقه مرزن آباد استان مازندران و تخریب واحدهای صنعتی، b) ناپایداری دکل های انتقال نیرو و احداث گاوبندی به منظور پایدارسازی دامنه ها]۵۶۲[

در صورت بالا بودن تراز آب زیرزمینی و مساعد بودن خاک منطقه، در زمین لرزه ها دیده شده است که زمین لغزش های وسیع ناحیه ای، باعث مدفون شدن چندین روستا شده است. بنابراین دکل ها نیز در معرض این خطر قرار دارند و باید در ارزیابی ها به این موضوع نیز توجه نمود. در این حالت نیز عملاً راهی برای جلوگیری از آسیب احتمالی وجود ندارد و تنها راه موجود، شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش و تعویض مسیر خط می باشد]۵۶۰[.

۳-۳-۳- فرونشست زمین

از مخاطراتی که بشر در دهه های اخیر به ویژه در دشت های آبرفتی با آن دست به گریبان بوده فرونشست زمین است. از نظر تعریف، فرونشست یا نشست و تغییرشکل تدریجی زمین پدیده ای است که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی رخ می دهد و صدمات ناشی از آن می تواند در بسیاری از موارد فاجعه بار باشد. فرونشست سبب تخریب اراضی کشاورزی، کانالهای آبیاری، و سازه ها، شکست خطوط لوله آب و نفت و گاز، و تشدید فرآیند زمین لغزش و سیلابها می شود. بنابراین فرونشست زمین را یکی از انواع مخاطرات زمین قلمداد نموده اند. از مهم ترین پیامدهای مخاطره آور فرونشست زمین، مسأله احتمال آسیب دیدگی خطوط انتقال و توزیع نیرو است. شکل گیری فرونشست ها سبب وارد آمدن خسارت به سازه های سطحی همچون شبکه توزیع برق و دکلهای انتقال نیرو شده است. همچنین ترکها و شکافهای ایجاد شده در سطح زمین در اثر این پدیده، خسارات زیادی را به کابلهای زیرزمینی برق وارد آورده است]۵۶۲, ۵۶۳[. با وجود اثرات خسارت بار این پدیده، ارزیابی آسیب پذیری در ارتباط با رخداد فرونشست زمین به سبب فراگیری فضایی و همچنین حدوث کند و بطئی آن، به سهولت قابل شناسایی و درک نمی باشد]۵۶۴[. به طورکلی عوامل مختلفی باعث وقوع پدیده فرونشست می شوند. در بین عوامل مؤثر در ایجاد فرونشست، بنظر می رسد که برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی عامل اصلی ایجاد فرونشست در بیشتر دشت های ایران بوده است. منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشورمان از جمله نواحی مرکزی، شرق و جنوب یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب جهت مصارف کشاورزی ، صنعت و شرب می باشند. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی رویه آب از سفره های زیرزمینی، افت ممتد سطح آب و متراکم شدن لایه ها و رسوبات سفره است]۵۶۳[. با توجه به مصرف بی‌رویه آب در سطح کشور و داده‌های پراکنده مربوط به پایین آمدن سطح آب زیرزمینی، تشخیص اینکه فرونشستها و پیامدهای حاصل از آنها به پدیده‌ای مشکل‌ساز در کشور تبدیل گشته‌اند، کار دشواری نیست. بررسی‌های موردی در بخشهای مختلف کشور نیز نمایانگر این امر می باشد. در سال های اخیر پدیده فرونشست زمین در بسیاری از دشت های کشور از جمله دشت سیرجان، زرند و کرمان، اردکان یزد ، فامینین- کبودرآهنگ همدان، معین آباد ورامین، تهران- شهریار و مشهد، پیامدهای مخاطره آوری را به دنبال داشته و یکی از معضلات جدی توسعه محسوب می شود]۵۶۳, ۵۶۵[.

در ادامه این بخش به بررسی برخی از مناطق فرونشست زمین در ایران و تاثیرات وقوع این پدیده بر روی سازه های صنعت برق پرداخته می شود.

۳-۳-۳-۱- فرونشست زمین در دشت دامغان

افضلی و همکاران در سال ۱۳۹۲]۵۶۴[به منظور درک و ارزیابی نظام‌مند آسیب پذیری زیرساختها و سکونتگاه ها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان، آنها را به سه دسته سازه های سطحی، خطی و نقطه ای تقسیم بندی کردند و عوارضی نظیر دکلهای برق را با وجود دارا بودن الگوی هندسی خطی، بدلیل آنکه کشیدگی آنها در جهت افق نبوده بلکه الگویی قائم دارند را در زمره عوارض نقطه ای متاثر از پدیده فرونشست قرار دادند. از طرفی، دکلهای برق اگرچه در دید عمودی دارای هندسه نقطه ای می‌باشند، ولی در ارتفاع دارای مولفه طولی اند و مبتنی بر همین ویژگی، بررسی آسیب پذیری آنها در بردار افقی و عمودی مورد توجه قرارگرفته و در این موارد عکس العملهایی همانند کج شدگی دکل های برق (شکل ۲۸-۳) قابل ذکر است.



شکل ۲۸-۳: خسارت وارد آمده به تیرهای برق در اثر فرونشست زمین در دشت دامغان]۵۶۴[

۳-۳-۳-۲- فرونشست زمین در اردکان یزد

یکی دیگر از مناطق ایران که با پدیده فرونشست مواجه است، دشت یزد- اردکان می باشد. این دشت با طول ۶۰ کیلومتر و عرض متوسط ۱۵ کیلومتر بین شهرهای یزد و اردکان واقع است. در دو دهه اخیر نشست و گسیختگی زمین در استان یزد و در دشت یزد- اردکان عامل ایجاد خسارتهای زیادی در منطقه بوده است. این پدیده علاوه بر تخریب اراضی کشاورزی، شکست یا بیرون زدگی لوله جدار چاه‌ها، گسیختگی سطح جاده‌ها، شکسته شدن لوله های آبرسانی، ایجاد نشست های نامتقارن در ساختمان ها و در نتیجه ایجاد شکستگی در سازه ها، و ... ، در حوزه صنعت برق نیز موجب وارد آمدن آسیب به دکل‌های برق و کج شدن آنها (شکل ۲۹-۳) شده است]۵۶۵[.



شکل ۲۹-۳: احتمال آسیب دیدن تیرهای برق در اثر فرونشست زمین در دشت یزد- اردکان]۵۶۶[

۳-۳-۳-۳- فرونشست زمین در دشت مهیارجنوبی و دشت کاشان

پدیده فرونشست در دشت مهیار جنوبی باعث بوجود آمدن شکاف هایی در مناطق مختلف دشت گردیده است، که این شکافها منجر به ترک خوردگی اراضی کشاورزی و بعضاً قطع شدن جاده ها، نشست کانالهای آبرسانی و تغییر شیب آنها، ترک خوردگی دیوار باغها، و کج شدگی تیرهای برق شده‌اند]۵۶۷[. از دیگر موارد گزارش شده آسیب رسیدن به خطوط انتقال نیرو و کج شدگی تیرهای برق در اثر پدیده فرونشست زمین و شکاف های حاصل از آن در سطح زمین می توان به فرونشست در دشت کاشان (شکل ۳۰-۳)]۵۶۸[اشاره نمود.



شکل ۳۰-۳: تصویری از فرونشست زمین و شکافهای بوجود آمده در دشت کاشان و در مجاورت دکلهای انتقال نیرو]۵۶۶[

۳-۳-۳-٤- فرونشست زمین در معین آباد ورامین و دشت تهران

فرونشست زمین در دشت معین آباد ورامین در استان تهران سبب ایجاد شکافی به طول ۲/۴ کیلومتر در منطقه شده است که حتی تا به امروز نیز شکافهایی به موازات آن در حال شکل گیری هستند و روند گسترش آنها خطوط نیرو را تهدید می نمایند]۵۶۵[. در همین راستا رئیس بخش زلزله شناسی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با اشاره به عوارض فرونشست زمین در اطراف دکل های فشار قوی ورامین و احتمال وارد شدن آسیب به آنها به علت شکاف های عمیق ایجاد شده در منطقه، اظهار داشته است که در صورت عدم رسیدگی به این مساله خطر قطع سراسری شبکه برق وجود خواهد داشت]۵۶۹[.

بعلاوه، بنا به گفته رییس کمیسیون کشاورزی و آب تهران بیش از ۷۰ کیلومتر از خطوط فشار قوی، در محدوده فرونشست زمین در دشت تهران قرار دارند]۵۷۰[.



شکل ۳۱-۳: فرونشست زمین در دشت ورامین و تهدید دکلهای انتقال نیرو]۵۷۰[

۳-۳-٤- خاک خورنده

خوردگی تجهیزات، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در بهره‌برداری از شبکه برق است. درصورتی‌که اقدام به‌موقع برای آسیب‌شناسی و حفاظت در برابر این پدیده انجام نشود، منجر به بروز خسارات بیشتر و در برخی موارد غیرقابل‌جبران خواهد شد]۵۷۱[. یکی از متداولترین انواع خوردگی و تخریب تجهیزات در پستهای توزیع و انتقال نیرو، خوردگی مدفون می باشد]۵۷۲[. خوردگی فلزات در خاک اساساً یک فرآیند الکتروشیمیایی است که نتیجه عملکرد تعداد زیادی پیل های گالوانیکی می باشد. بطور کلی خاکهای خورنده، اسیدی، مرطوب، سیاه رنگ و گرم بوده و دارای مواد ارگانیک هستند و میزان اکسیژن کمی دارند. ولی خاک های غیر خورنده، معمولاً pH بالاتر، دما و رطوبت کمتر، و ساختار شنی داشته، رنگ آنها روشن است، و مواد ارگانیک در آنها کمتر و میزان اکسیژن در آنها بیشتر می باشد]۵۷۳[. پدیده خوردگی در خاک می تواند سبب پوسیدگی و کاهش عمر تجهیزات مدفون در زمین، نظیر کابلهای برق زیرزمینی و هادیهای شبکه زمین، یا خوردگی و تخریب دکلهای انتقال نیرو و تیرهای برق (شامل پایه های بتن آرمه، فلزی و چوبی) گردد]۵۷۱, ۵۷۲[. برای مثال، تجهیزات صنعت برق در مناطق جنوبی ایران بدلیل شرایط آب وهوائی و نوع اتمسفر خاص منطقه به همراه وجود خاکهای خورنده، برخلاف سایر نقاط کشور خسارتهای زیادی را تحت دو عامل خوردگی وتغییر خواص مواد بر اثر وجود عوامل آلاینده متحمل شده اند]۵۷۴[. درصد املاح موجود در آب دریا بویژه سولفات سدیم و کلرور سدیم که دو عامل مهم در تخریب بتن و فولاد هستند، در آبهای خلیج فارس از دیگر آبهای آزاد جهان بیشتر است. بعلاوه کشور ما با بیشترین ساحل در خلیج فارس بیش از

بقیه کشورهای منطقه در معرض تاثیر عوامل مذکور قرار دارد. در مناطق حاشیه خلیج فارس، محیط اعم از آب و خاک آلودگی شدیدی از نقطه نظر کلروری دارند. بررسی های مختلف نشان داده اند که در قسمتهایی از پایه ها که تماس مستقیم با آب و خاک دارند، بویژه در پایه های بتنی تا ارتفاع حدود ۱/۵ متری بشدت خوردگی کلریدی اتفاق می افتد. آلودگی کلروری با نفوذ به داخل بتن و حرکت به سمت بالا بواسطه خاصیت موئینگی موجب زنگ زدگی و خوردگی میلگردها شده و در اثر انبساط و تورم حاصله آرماتورها نمایان گشته و بتن پوشش کاملاً جدا شده و آماده کنده شدن می گردد. سطح آبهای زیرزمینی در مناطق ساحلی در نزدیکی سطح زمین قرار دارد و حاوی یونهای سولفات و کلر به مقدار زیاد می باشد. به همین دلیل خاک های این نواحی نیز حاوی انواع نمک های مزبور هستند. براین اساس از جمله عوامل خرابی های تیرهای بتن آرمه در مناطق حاشیه خلیج فارس، وجود خاک های آلوده به مواد شیمیایی مضر و بالا بودن سطح آب زیرزمینی به جهت نزدیکی به دریا است]۵۷۵[. نمونه دیگر از خسارات وارده بر تجهیزات برق بر اثر پدیده خوردگی در شهرستان گنبدکاووس مشاهده شده است. در مناطق مرزی شهرستان گنبدکاووس با توجه به وجود املاح، شوری خاک، شکل هندسی ذرات خاک، میزان رطوبت منطقه و سرعت وزش باد، در برخی مناطق با خوردگی و سایش مداوم مواجه هستیم که این امر، منجر به تخریب بخش اعظمی از تجهیزات شده است]۵۷۱[. در شکل ۳۲-۳ و شکل ۳۳-۳ نمونه ای از یک پایه بتنی تخریب شده بر اثر خوردگی نشان داده شده است. همانگونه که از شکل ۳۲-۳ پیداست، تخریب بتن در پای تیر و نزدیک به سطح زمین بیشتر است که علت آن وجود رطوبت بیشتر و نیز املاح موجود در خاک می باشد.



شکل ۳۲-۳: خوردگی پایه های بتنی در منطقه داشلی برون گنبدکاووس]۵۷۱[



شکل ۳۳-۳: فرآیند خوردگی در میلگردهای پایه بتنی]۵۷۱[

۳-۳-٤-۱- تاثیر خوردگی در خاک بر پایه های خطوط هوایی توزیع و انتقال

بسیاری از حوادث ناشی از قطع برق در شبکه های توزیع در اثر سقوط یا خرابی پایه های نصب شده صورت می گیرد که اگر آمار این حوادث در شبکه های برق مورد بررسی قرار گیرد، ملاحظه می شود که درصد عمده ای از آن مربوط به زنگ زدگی پایه های فلزی، پوسیدگی پایه های چوبی و خوردگی و شکستگی پایه های بتونی است که در اغلب موارد منجر به خم شدن یا سقوط پایه ها می گردد]۵۷۶[. بررسی های انجام شده در نقاط مختلف کشور نشان می دهد که عدم دقت در انتخاب جنس و نوع پایه ها، و همچنین محل مناسب نصب آنها اغلب باعث می شود تا پایه های نصب شده در شبکه های توزیع قبل از پایان عمر مفید دچار خوردگی و پوسیدگی شوند. گستردگی، شرایط جوی و جغرافیایی، و نوع خاک متفاوت در نقاط مختلف کشور و عبور خطوط برق از شرایط گوناگون موجب شده عملکرد پایه های فلزی، بتنی و چوبی نسبت به موقعیت مکانی و جوی تفاوت نماید و درنتیجه لازم باشد در هر منطقه با توجه به درجه حرارت محیط، میزان رطوبت، آلودگی و املاح خورنده موجود در خاک و محیط نسبت به انتخاب پایه های مناسب اقدام نمود. برمبنای مطالعات انجام شده، نتایج زیر درخصوص انتخاب نوع پایه ها در نقاط مختلف کشور با درنظرگرفتن شرایط جوی و نوع خاک منطقه به دست آمده است:

- در نقاط ساحلی شمالی که از نظر هوا و خاک دارای آلودگی کمتر می باشند، طول عمر و دوام پایه های چوبی و بتنی بیشتر از نقاطی است که دارای آلودگی هوا و خاک هستند.
- در نقاط ساحلی جنوب علاوه بر رطوبت و دما، املاح خورنده زمین عامل بسیار موثری در خوردگی یا زنگ زدگی و در نتیجه کاهش عمر مفید پایه ها می باشد. بررسی و مطالعه آمارهای خوردگی، زنگ زدگی و پوسیدگی در مناطق ساحلی جنوبی در سال های گذشته برروی پایه های فلزی، بتنی و چوبی می تواند ملاک خوبی برای انتخاب پایه های فلزی با گالوانیزه مناسب و پایه های بتنی با سیمان و مواد شیمیایی

مطلوب مطابق با ضوابط استاندارد باشد. در هر حال مطالعه بیشتر نشان داده است که پایه های فلزی که دارای گالوانیزه مناسب می باشند در مقایسه با سایر پایه های بتنی و چوبی برای استفاده در این مناطق مناسب تر هستند.

- در برخی از مناطق کویری که خاک خاصیت خورندگی دارد، در صورت نصب پایه های بتنی می بایست قسمتی از پایه که در خاک قرار می گیرد با موادی مانند قیر، ایزوگام، اپوکسی و ... عایق گردد تا از خوردگی و شکستگی احتمالی پایه ها جلوگیری شود. در صورتی که پایه‌ها در زمین های کشاورزی نصب گردند نیز، این موضوع باید لحاظ گردد.

۳-۳-٤-۲- خوردگی در سیستم زمین

در استانداردهای NESC عنوان شده است: "در تمامی پروژه ها هادی های شبکه زمین باید از مس، مواد دیگر یا ترکیب آنها ساخته شوند و در طول عمر کاری و شرایط موجود خوردگی بیش از اندازه ای نداشته باشند." [۵۷۳ , ۵۷۷]. در سال های اخیر با توجه به افزایش روز افزون قیمت مس، کارفرمایان به دنبال جایگزین مناسبی برای هادی های مسی در شبکه های زمین هستند. یکی از گزینه های مطرح برای جایگزینی هادی مس، استفاده از هادی فولادی می باشد [۵۷۳]. در شبکه های زمین پستهای فشار قوی هادی های فولادی و فولاد گالوانیزه مورد استفاده قرار می گیرند. اما مهم ترین چالش در انتخاب فولاد برای استفاده در شبکه زمین، خوردگی آن در زیر خاک است؛ زیرا امکان دارد در اثر خوردگی، سطح مقطع موثر هادی شبکه زمین کاهش یافته و برای عبور جریان خطا کافی نباشد. از این رو، یا باید سطح مقطع لازم برای هادی های شبکه زمین (با پذیرش اثر خوردگی) افزایش یابد یا با انجام حفاظت مناسب از خوردگی هادی های مذکور جلوگیری شود. از طرفی، تحقیقات انجام شده در خصوص میزان خوردگی هادی های فولادی گالوانیزه مدفون در خاک نشان داده است که صرف گالوانیزه کردن نمی تواند راه حل پایه ای و طولانی مدت برای حفاظت هادی های فولادی مدفون در زیر خاک باشد (شکل ۳۴-۳). بدین ترتیب، توجه به خوردگی سیستمهای زمین ضرورتی انکارناپذیر بوده و لازم است در زمان طراحی آنها ملاحظات لازم در خصوص خوردگی هادی های مدفون در خاک لحاظ شود [۵۷۳, ۵۸۷].



شکل ۳۴-۳: خوردگی هادی فولادی گالوانیزه مدفون در زیر خاک]۵۷۳[

۳-۳-۵- فرسایش خاک

در این بخش به منظور بررسی نحوه تاثیر مخاطره فرسایش خاک بر عملکرد تجهیزات صنعت برق، به تعدادی از حوادث، خرابیها و خسارات وارده به شبکه برق که در اثر جاری شدن سیل و شسته شدن خاک در مناطق مختلف کشور بوقوع پیوسته است، اشاره می شود.

۳-۳-۵-۱- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان های ایرانشهر و سراوان در سال ۱۳۸۶

از جمله حوادثی که عدم توجه کافی به جایابی مناسب پایه ها باعث بروز آن بوده است می توان به سیل سال ۱۳۸۶ در شهرستان های ایرانشهر و سراوان استان سیستان و بلوچستان اشاره کرد که درنتیجه آن خسارت های زیادی به شبکه و تأسیسات برق وارد آمد]۵۷۶[. همانطور که در شکل ۳۵-۳ (الف) دیده می شود به علت قرار گرفتن پایه برق در مسیر سیل و شسته شدن خاک، فونداسیون آن آسیب دیده و امکان سقوط پایه وجود دارد. شکل ۳۵-۳ (ب) نیز تصویر پایه‌ای را نمایش می دهد که بر اثر وقوع سیل و فرسایش خاک بطور کامل سقوط کرده و درنتیجه آن مقره‌ها کاملاً از پایه جدا شده و آسیب دیده اند.

DOI:



الف)

ب)

شکل ۳۵-۳: آسیبهای وارده به پایه های خطوط هوایی برق بعلت وقوع سیلاب و فرسایش خاک]۵۷۶[

۳-۳-۵-۲- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان کلاردشت در سال ۱۳۹۰

در تیرماه سال ۱۳۹۰ در اثر بارندگی شدید در منطقه کلاردشت و طغیان رودخانه سرد آبرود و جاری شدن سیلاب به ویژه در رودبارک و روستاهای اطراف خسارات سنگینی به شبکه های برق منطقه وارد شد. از جمله این خسارات می توان به تخریب بیش از ۵۰ اصله تیر برق و تعداد ۵ عدد ترانس در مسیر روستاهای وندارین و رودبارک

اشاره نمود. در شکل ۳۶-۳ تصاویری از آسیبهای وارده به تیرهای برق در اثر وقوع این پدیده و فرسایش خاک پای تیرها نمایش داده شده است]۵۷۹[.



شکل ۳۶-۳: کج شدن و واژگونی کامل تیرهای برق در اثر سیل و شسته شدن خاک پای تیرها در مازندران در سال ۱۳۹۰]۵۷۹[

۳-۳-۵-۳- فرسایش خاک ناشی از سیل در شهرستان نهبندان در سال ۱۳۹۲

بارش نزولات آسمانی در نهبندان استان خراسان جنوبی، در اسفندماه سال ۱۳۹۲ سبب آبگرفتگی معابر شهری و جاری شدن سیلاب در مسیر رودخانه ها شد به حدی که در بعضی از مسیرها امکان تردد خودروها در جاده ها وجود نداشت. همچنین جاری شدن سیل در چندین نقطه سبب سقوط چند اصله از شبکه و در مسیرهای متعدد سبب شسته شدن پای تیرها شد (شکل ۳۷-۳). در اثر وقوع این سیل حدود ۴ میلیارد و ۳۰۰ میلیون ریال به تاسیسات برق این شهرستان خسارت وارد شد]۵۸۰[.



شکل ۳۷-۳: شسته شدن پای تیرهای برق در اثر وقوع سیل در خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۲]۵۸۰[

۳-۳-۵-٤- فرسایش خاک ناشی از سیل در روستاهای شهرستان تبریز در سال ۱۳۹۶

جاری شدن سیل در مناطقی از آذربایجان شرقی به دنبال بارش های شدید در فروردین ماه ۱۳۹۶، علاوه بر حوادث تلخ و ناگوار و تلفات انسانی، موجب وارد آمدن خسارت های مالی در بخش های مختلف منجمله خسارت به بخشی از شبکه برق رسانی تبریز گردید. در اثر این حادثه، شبکه برق ۸ روستای تبریز شامل روستاهای لیقوان، بیرق، کندرود، اسکندر، آشستان، اسفنجان، نعمت آباد و شهر باسمنج تخریب و متحمل خسارتهایی شد]۵۸۱[. سرپرست شرکت توزیع نیروی برق تبریز در خصوص خسارات وارد شده به شبکه توزیع برق بیان کرد در این حادثه دو دستگاه ترانس هوایی، دو دستگاه تابلو MOF، هشت اصله تیر فشار متوسط هوایی و ۳۵ اصله تیر فشار ضعیف هوایی آسیب ۱۰۰ درصدی دیدند. نمونه ای از این آسیبها در شکل ۳۸-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳۸-۳: شسته شدن خاک پای تیر برق و سقوط کامل آن در اثر وقوع سیل در تبریز در سال ۱۳۹۶]۵۸۱[

۳-۳-٦- کارستی شدن

فرونشست از جمله مخاطرات زمین شناسی می باشد که به لحاظ سرعت شکل گیری می تواند به دو صورت: ۱) نشست تدریجی و آهسته، یا ۲) نشست سریع و ناگهانی، رخ دهد. حالت تدریجی، به دلیل تلفات انسانی کم آن در مقایسه با دیگر پدیده های طبیعی مانند: زلزله، لغزش و سیلاب، کمتر مورد توجه قرار می گیرد. اما فرونشست در حالت سریع، باعث آسیب به سازه ها و تلفات انسانی می گردد]۵۶۲[. یکی از انواع سازوکارهایی که سبب شکل گیری سریع فرونشست در سطح زمین می شود، انحلال سنگها و فرآیند کارستی شدن می باشد. معمولاً شکستگیها باعث شکل گیری پهنه های نفوذپذیر در سازندهای سخت از جمله سازندهای کربناته می گردند. گسلها، درزه ها و سطوح لایه بندی محل مناسبی هستند که پتانسیل تبدیل شدن به مجاری انحلالی را دارا بوده و از بهم پیوستن این مجاری انحلالی امکان شکل گیری مناطق مستعد برای فرونشست سریع در سطح زمین فراهم می شود. از جمله معضلات احداث سازه های مهندسی در نواحی کارستی، فروریزش حفرات کارستی می باشد که به صورت فرونشستهای ناگهانی در سطح زمین نمایان می شود. در ادامه، چند حادثه مربوط به شبکه برق و خطراتی که تاسیسات این صنعت را در اثر ایجاد فروچاله‌های کارستی در نقاط مختلف کشور تهدید می کنند، مورد بررسی قرار می گیرند.

۳-۳-٦-۱- ایجاد فروچاله‌های کارستی در دشت‌های کبودرآهنگ و فامنین همدان

دشت فامنین- کبودرآهنگ در غرب ایران به وسعت ۳۴۴۸ کیلومترمربع یکی از دشتهای غنی از نظر منابع آب زیرزمینی و کشاورزی در استان همدان است؛ ولی متاسفانه در سالهای اخیر به علت برداشت بیش از حد از آب

های زیرزمینی این منطقه برای مصارف کشاورزی و صنعتی، از جمله برای خنک کردن تاسیسات نیروگاه برق ۱۰۰۰ مگاواتی شهید مفتح که در قسمت جنوب شرقی دشت قرار گرفته است، با افت شدید سطح آب زیرزمینی و فرونشست زمین مواجه بوده است]۵۸۲[. بعلاوه آهکی بودن سنگ بستر موجب شده است که درنتیجه این بهره برداریهای بی رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، فروچاله های متعددی با اعماق و قطرهای مختلف در این دشت و زمینهای اطراف نیروگاه حرارتی تولید برق شهید مفتح بوجود آیند. این امر علاوه بر مشکلات تأمین آب سیستم خنک‌کن نیروگاه که از نوع تر است، خطراتی را نیز متوجه واحدهای در حال بهره برداری نیروگاه کرده و تهدید بسیار بزرگی برای این نیروگاه محسوب می شود]۵۸۲, ۵۸۳, ۵۸۴[. در شکل ۳۹-۳ تصاویری از فروچاله های کارستی ایجاد شده در دشت مذکور و در نزدیکی نیروگاه برق شهید مفتح نمایش داده شده اند.



شکل ۳۹-۳: نیروگاه حرارتی تولید برق شهید مفتح همدان و فروچاله های ایجاد شده در نزدیکی آن و خطوط فشار قوی عبوری از منطقه]۵۸۴, ۵۸۵, ۵۸۶[



ادامه شکل ۳۹-۳



ادامه شکل ۳۹-۳

۳-۳-۶-۲- ایجاد فروچاله‌های کارستی در دشت ایج استان فارس

برداشت‌های بی‌رویه آب در سالهای اخیر در دشت ایج شهرستان استهبان واقع در استان فارس، موجب فرونشست زمین در این منطقه شده است. وقوع این پدیده و تفاوت در نرخ فرونشست، شکاف‌های طویل و عمیق و عریضی را در حاشیه این دشت و دامنه های کوه شکل داده است که می‌توانند آسیبی جدی را به منازل مسکونی، واحدهای صنعتی، و بویژه تیرهای برق عبوری از منطقه وارد نمایند (شکل ۴۰-۳)]۵۸۷[. بعلاوه، عبور اکثر چاه‌های آب منطقه از رسوبات آبرفتی، و برداشت آب از لایه‌های آهکی و یا کارست‌های زیر رسوبات آبرفتی، موجب شده است که در منطقه ایج شهرستان استهبان همراه با فرونشست زمین فروچاله‌های انحلالی- ریزشی نیز ایجاد شوند؛ بطوریکه تشدید پدیده انحلال، سبب بوجود آمدن فروچاله‌ای به عمق ۸۰ متر و قطر نزدیک به۲۰ متر در اراضی باغی این منطقه شده است (شکل ۴۱-۳). در بخش‌های شرقی این فروچاله شکاف‌های طویل و متعدد و در بخش شمالی آن فروچاله های کوچک و شکاف‌های طویل با عمق زیاد ایجاد شده که بیشتر این شکاف‌ها و فروچاله‌های کوچک مربوط به سال‌های قبل است. ایجاد این فروچاله بزرگ باعث شد تا محققان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب (مرکز شیراز) نسبت به خطرات احتمالی ریزش اطراف فروچاله هشدار دهند.



شکل ۴۰-۳: فرونشست زمین و ایجاد شکافهای عمیق و طویل در دشت ایج شهرستان استهبان و تهدید تاسیسات برقی عبوری از منطقه]۵۸۷[



شکل ۴۱-۳: بوجود آمدن فروچاله کارستی در منطقه ایج شهرستان استهبان]۵۸۷[

۳-۳-۷- جمع بندی تاثیر مخاطرات زمین بر بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق

در این بخش اثر انواع مخاطرات زمین دسته بندی شده در ۸ گروه ارائه شده، بر بخش‌های مختلف صنعت برق (شامل تولید، انتقال و توزیع انرژی) به طور خلاصه و در قالب ماتریس مؤلفه- مخاطره ارائه می شود (جدول ۸-۳ تا جدول ۱۲-۳). در این جداول، میزان تاثیر هر مخاطره بر روی سامانه و بخش مورد نظر برمبنای قضاوت مهندسی و بوسیله امتیازی در بازه ۱ تا ۹ مشخص شده است که هر یک از این امتیازت بصورت قراردادی بصورت زیر تعریف شده اند:

۹ (با اثر بسیار زیاد) ۷ (با اثر زیاد) ۵ (با اثر متوسط) ۳ (کم اثر) ۱ (بی اثر)

جدول ۸-۳: تاثیر مخاطرات گروه زلزله بر روی انواع سامانه های برق

بخش	سامانه	مولفه	زلزله		
			زمین لرزه	روانگرایی	گسلش
تولید	نیروگاه حرارتی	۱) سوخت نیروگاه	۹	۳	۳
		۲) توربین گازی	۷	۵	۵

		۳) توربین بخار	۷	۵	۵
		۴) ژنراتور	۷	۳	۳
		۵) دودکش	۹	۹	۹
		۶) مخزن	۹	۵	۵
		۷) بویلر	۷	۳	۳
		۸) کندانسور	۹	۳	۳
		۹) برج خنک‌کننده	۹	۹	۹
		۱۰) راکتور هسته‌ای	۹	۷	۷
		۱۱) پوسته محافظ راکتور	۹	۵	۷
		۱۲) فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	۹	۹	۹
		۱۳) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده ها	۹	۹	۹
	نیروگاه برق آبی	۱) سد	۹	۹	۹
		۲) مخزن	۷	۷	۷
		۳) توربین آبی	۷	۱	۱
		۴) ژنراتور	۵	۱	۱
		۵) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	۹
تولید	**نیروگاه تلمبه ذخیره ای**	۱) ژنراتور	۵	۵	۵
		۲) توربین آبی	۵	۵	۵
		۳) پمپ	۵	۵	۵
		۴) سد	۹	۹	۹
		۵) مخزن	۷	۷	۵
		۶) ساختمانهای مرتبط	۹	۹	۹
	نیروگاه (توربین) بادی	۱) فونداسیون برج	۹	۹	۹
		۲) برج نگهدارنده	۹	۹	۹
		۳) روتور	۵	۳	۳
		۴) ژنراتور	۵	۳	۳
	نیروگاه خورشیدی	۱) پنل خورشیدی	۷	۳	۳
		۲) تجهیزات الکتریکی بیرونی	۵	۳	۳
		۳) کانال و هندهول	۷	۵	۵
		۴) سازه های ساختمانی	۹	۹	۹
		۵) سازه نگهدارنده	۹	۹	۹
		۶) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	۹
	نیروگاه زمین گرمایی	۱) توربین	۵	۳	۳

		۲) ژنراتور	۵	۳	۳
		۳) پمپ	۵	۳	۳
		۴) سیستم خنک‌کننده (برج خنک کننده-کندانسور)	۵-۹	۳-۹	۳-۹
		۵) دودکش	۹	۹	۹
		۶) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	۹
		۷) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	۹
	نیروگاه جزرو مدی	۱) سازه (دایک) و دریچه‌ها	۹	۹	۹
		۲) توربین	۷	۳	۳
		۳) ژنراتور	۷	۳	۳
انتقال	**پست زمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۹	۷	۷
		۲) ترانسفورماتور جریان	۹	۷	۷
		۳) ترانسفورماتور ولتاژ	۹	۷	۷
		۴) ترانسفورماتور زمین و ترانسفورماتور تغذیه داخلی	۹	۷	۷
		۵) سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	۵ (۹[1])	۳ (۷[1])	۳ (۷[1])
		۶) مقره ها و بوشینگ ها	۵	۳	۳
		۷) سیستم زمین	۷	۷	۷
		۸) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	۹
		۹) فونداسیونها	۹	۹	۹
	خط هوایی	۱) دکل (در بخش توزیع: پایه)	۹	۹	۹
		۲) فونداسیون	۹	۹	۹
		۳) هادی	۳	۳	۳
		۴) سیستم های حفاظت خط	۳	۳	۳
		۵) یراق آلات	۳	۳	۳
		۶) مقره	۳	۳	۳
	خط زمینی	۱) کابل	۷	۷	۹
		۲) منهول	۹	۹	۹
توزیع	**پست زمینی و زیرزمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۷	۳	۳
		۲) ساختمان پست	۹	۹	۹
		۳) تابلوهای برق	۷	۳	۳
		۴) فونداسیون	۹	۹	۹
	پست هوایی	۱) پایه	۹	۹	۹
		۲) ترانسفورماتور قدرت هوایی	۷	۳	۳
		۳) سازه نگهدارنده	۳	۳	۳

		۴) سایر تجهیزات الکتریکی	۳	۳	۳
		۵) فونداسیون	۹	۹	۹
	خط هوایی	مشابه بخش انتقال			
	خط زمینی	مشابه بخش انتقال			

(۱) از بین این تجهیزات، سوئیچگیر و بانک خازنی که متکی بر زمین هستند می توانند تحت اثر این مخاطره آسیب بیشتری ببینند.

جدول ۹-۳: تاثیر مخاطرات گروه زمین لغزش بر روی انواع سامانه های برق

بخش	سامانه	مولفه	زمین لغزش	
			ناپایداری شیروانی و زمین لغزش	گسترش جانبی
تولید	**نیروگاه حرارتی**	۱) سوخت نیروگاه	۱	۱
		۲) توربین گازی	۳	۳
		۳) توربین بخار	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
		۵) دودکش	۹	۹
		۶) مخزن	۹	۹
		۷) بویلر	۵	۵
		۸) کندانسور	۳	۳
		۹) برج خنک‌کننده	۹	۹
		۱۰) راکتور هسته‌ای	۵	۵
		۱۱) پوسته محافظ راکتور	۹	۹
		۱۲) فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	۹	۹
		۱۳) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده ها	۹	۹
	نیروگاه برق آبی	۱) سد	۹	۹
		۲) مخزن	۷	۷
		۳) توربین آبی	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
		۵) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
	نیروگاه تلمبه ذخیره ای	۱) ژنراتور	۳	۳
		۲) توربین آبی	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳
		۴) سد	۹	۹
		۵) مخزن	۷	۷

		۶) ساختمانهای مرتبط	۹	۹
	نیروگاه (توربین) بادی	۱) فونداسیون برج	۹	۹
		۲) برج نگهدارنده	۹	۹
		۳) روتور	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
تولید	**نیروگاه خورشیدی**	۱) پنل خورشیدی	۳	۳
		۲) تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳	۳
		۳) کانال و هندهول	۷	۷
		۴) سازه های ساختمانی	۹	۹
		۵) سازه نگهدارنده	۹	۹
		۶) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹
	نیروگاه زمین گرمایی	۱) توربین	۳	۳
		۲) ژنراتور	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳
		۴) سیستم خنک‌کننده (برج خنک کننده-کندانسور)	۳-۹	۳-۹
		۵) دودکش	۹	۹
		۶) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
		۷) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹
	نیروگاه جزرو مدی	۱) سازه (دایک) و دریچه‌ها	۹	۹
		۲) توربین	۳	۳
		۳) ژنراتور	۳	۳
انتقال	**پست زمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۷	۷
		۲) ترانسفورماتور جریان	۷	۷
		۳) ترانسفورماتور ولتاژ	۷	۷
		۴) ترانسفورماتور زمین و ترانسفورماتور تغذیه داخلی	۷	۷
		۵) سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳ (۷)[1]	۳ (۷)[1]
		۶) مقره ها و بوشینگ ها	۳	۳
		۷) سیستم زمین	۷	۷
		۸) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
		۹) فونداسیونها	۹	۹
	خط هوایی	۱) دکل (در بخش توزیع: پایه)	۹	۹
		۲) فونداسیون	۹	۹
		۳) هادی	۳	۳

		۴) سیستم های حفاظت خط	۳	۳
		۵) یراق آلات	۳	۳
		۶) مقره	۳	۳
	خط زمینی	۱) کابل	۷	۷
		۲) منهول	۹	۹
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی	۱) ترانسفورماتور قدرت	۳	۳
		۲) ساختمان پست	۹	۹
		۳) تابلوهای برق	۳	۳
		۴) فونداسیون	۹	۹
	پست هوایی	۱) پایه	۹	۹
		۲) ترانسفورماتور قدرت هوایی	۳	۳
		۳) سازه نگهدارنده	۳	۳
		۴) سایر تجهیزات الکتریکی	۳	۳
		۵) فونداسیون	۹	۹
	خط هوایی	مشابه بخش انتقال		
	خط زمینی	مشابه بخش انتقال		

(۱) از بین این تجهیزات، سوئیچگیر و بانک خازنی که متکی بر زمین هستند می توانند تحت اثر این مخاطره آسیب بیشتری ببینند.

جدول ۱۰-۳: تاثیر مخاطرات گروه فرونشست زمین و خاک خورنده بر روی انواع سامانه های برق

بخش	سامانه	مولفه	فرونشست زمین	خاک خورنده
تولید	نیروگاه حرارتی	۱) سوخت نیروگاه	۱	۱
		۲) توربین گازی	۳	۳
		۳) توربین بخار	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
		۵) دودکش	۹	۷
		۶) مخزن	۹	۷
		۷) بویلر	۳	۳
		۸) کندانسور	۳	۳
		۹) برج خنک‌کننده	۹	۷
		۱۰) راکتور هسته‌ای	۳	۳
		۱۱) پوسته محافظ راکتور	۹	۷

		۱۲) فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	۹	۹
		۱۳) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده ها	۹	۹
	نیروگاه برق آبی	۱) سد	۹	۹
		۲) مخزن	۵	۱
		۳) توربین آبی	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
		۵) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
	نیروگاه تلمبه ذخیره ای	۱) ژنراتور	۳	۳
		۲) توربین آبی	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳
		۴) سد	۹	۹
		۵) مخزن	۵	۱
		۶) ساختمانهای مرتبط	۹	۹
	نیروگاه (توربین) بادی	۱) فونداسیون برج	۹	۹
		۲) برج نگهدارنده	۹	۹
		۳) روتور	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳
تولید	**نیروگاه خورشیدی**	۱) پنل خورشیدی	۳	۳
		۲) تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳	۳
		۳) کانال و هندهول	۵	۱
		۴) سازه های ساختمانی	۹	۹
		۵) سازه نگهدارنده	۹	۹
		۶) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹
	نیروگاه زمین گرمایی	۱) توربین	۳	۳
		۲) ژنراتور	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳
		۴) سیستم خنک‌کننده (برج خنک کننده-کندانسور)	۳-۹	۳-۹
		۵) دودکش	۹	۹
		۶) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
		۷) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹
	نیروگاه جزرو مدی	۱) سازه (دایک) و دریچه‌ها	۹	۹
		۲) توربین	۳	۳
		۳) ژنراتور	۳	۳

انتقال	پست زمینی	۱) ترانسفورماتور قدرت	۷	۳
		۲) ترانسفورماتور جریان	۷	۳
		۳) ترانسفورماتور ولتاژ	۷	۳
		۴) ترانسفورماتور زمین و ترانسفورماتور تغذیه داخلی	۷	۳
		۵) سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳ (۷[1])	۳
		۶) مقره ها و بوشینگ ها	۳	۳
		۷) سیستم زمین	۹	۷
		۸) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹
		۹) فونداسیونها	۹	۹
	خط هوایی	۱) دکل (در بخش توزیع: پایه)	۹	۹
		۲) فونداسیون	۹	۹
		۳) هادی	۳	۳
		۴) سیستم های حفاظت خط	۳	۳
		۵) یراق آلات	۳	۳
		۶) مقره	۳	۳
	خط زمینی	۱) کابل	۹	۷
		۲) منهول	۷	۱
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی	۱) ترانسفورماتور قدرت	۳	۳
		۲) ساختمان پست	۹	۹
		۳) تابلوهای برق	۳	۳
		۴) فونداسیون	۹	۹
	پست هوایی	۱) پایه	۹	۹
		۲) ترانسفورماتور قدرت هوایی	۳	۳
		۳) سازه نگهدارنده	۳	۳
		۴) سایر تجهیزات الکتریکی	۳	۳
		۵) فونداسیون	۹	۹
	خط هوایی	مشابه بخش انتقال		
	خط زمینی	مشابه بخش انتقال		

(۱) از بین این تجهیزات، سوئیچگیر و بانک خازنی که متکی بر زمین هستند می توانند تحت اثر این مخاطره آسیب بیشتری ببینند.

جدول ۱۱-۳: تاثیر مخاطرات گروه خاک مساله دار بر روی انواع سامانه های برق

بخش	سامانه	مولفه	خاک مساله دار

			فروریزشی	متورم شونده	واگرا
تولید	نیروگاه حرارتی	۱) سوخت نیروگاه	۱	۱	۱
		۲) توربین گازی	۳	۳	۳
		۳) توربین بخار	۳	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳	۳
		۵) دودکش	۹	۹	۹
		۶) مخزن	۹	۹	۹
		۷) بویلر	۳	۳	۳
		۸) کندانسور	۳	۳	۳
		۹) برج خنک‌کننده	۹	۹	۹
		۱۰) راکتور هسته‌ای	۳	۳	۳
		۱۱) پوسته محافظ راکتور	۹	۹	۹
		۱۲) فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	۹	۹	۹
		۱۳) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده ها	۹	۹	۹
	نیروگاه برق آبی	۱) سد	عدم رخداد مخاطره		
		۲) مخزن			
		۳) توربین آبی			
		۴) ژنراتور			
		۵) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده			
	نیروگاه تلمبه ذخیره ای	۱) ژنراتور	۳	۳	۳
		۲) توربین آبی	۳	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳	۳
		۴) سد	۹	۹	۹
		۵) مخزن	۷	۷	۷
		۶) ساختمانهای مرتبط	۹	۹	۹
	نیروگاه (توربین) بادی	۱) فونداسیون برج	۹	۹	۹
		۲) برج نگهدارنده	۹	۹	۹
		۳) روتور	۳	۳	۳
		۴) ژنراتور	۳	۳	۳
تولید	نیروگاه خورشیدی	۱) پنل خورشیدی	۳	۳	۳
		۲) تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳	۳	۳
		۳) کانال و هندهول	۷	۷	۷
		۴) سازه های ساختمانی	۹	۹	۹

		۵) سازه نگهدارنده	۹	۹	۹
		۶) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	۹
	نیروگاه زمین گرمایی	۱) توربین	۳	۳	۳
		۲) ژنراتور	۳	۳	۳
		۳) پمپ	۳	۳	۳
		۴) سیستم خنک‌کننده (برج خنک کننده- کندانسور)	۹-۳	۹-۳	۹-۳
		۵) دودکش	۹	۹	۹
		۶) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	۹
		۷) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	۹
	نیروگاه جزرو مدی	۱) سازه (دایک) و دریچه‌ها	عدم رخداد مخاطره		
		۲) توربین			
		۳) ژنراتور			
انتقال	**پست زمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۷	۷	۷
		۲) ترانسفورماتور جریان	۷	۷	۷
		۳) ترانسفورماتور ولتاژ	۷	۷	۷
		۴) ترانسفورماتور زمین و ترانسفورماتور تغذیه داخلی	۷	۷	۷
		۵) سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳ (۷[1])	۳ (۷[1])	۳ (۷[1])
		۶) مقره ها و بوشینگ ها	۳	۳	۳
		۷) سیستم زمین	۷	۷	۷
		۸) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	۹
		۹) فونداسیونها	۹	۹	۹
	خط هوایی	۱) دکل (در بخش توزیع: پایه)	۹	۹	۹
		۲) فونداسیون	۹	۹	۹
		۳) هادی	۳	۳	۳
		۴) سیستم های حفاظت خط	۳	۳	۳
		۵) یراق آلات	۳	۳	۳
		۶) مقره	۳	۳	۳
	خط زمینی	۱) کابل	۷	۷	۷
		۲) منهول	۹	۹	۹
توزیع	**پست زمینی و زیرزمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۳	۳	۳
		۲) ساختمان پست	۹	۹	۹
		۳) تابلوهای برق	۳	۳	۳

		۴) فونداسیون	۹	۹	۹
	پست هوایی	۱) پایه	۹	۹	۹
		۲) ترانسفورماتور قدرت هوایی	۳	۳	۳
		۳) سازه نگهدارنده	۳	۳	۳
		۴) سایر تجهیزات الکتریکی	۳	۳	۳
		۵) فونداسیون	۹	۹	۹
	خط هوایی	مشابه بخش انتقال			
	خط زمینی	مشابه بخش انتقال			

(۱) از بین این تجهیزات، سوئیچگیر و بانک خازنی که متکی بر زمین هستند می توانند تحت اثر این مخاطره آسیب بیشتری ببینند.

جدول ۱۲-۳: تاثیر مخاطرات گروه فرسایش خاک، کارستی شدن و آتشفشان بر روی انواع سامانه های برق

بخش	سامانه	مولفه	فرسایش خاک	کارستی شدن	آتشفشان
تولید	**نیروگاه حرارتی**	۱) سوخت نیروگاه	۱	۱	
		۲) توربین گازی	۳	۳	
		۳) توربین بخار	۳	۳	
		۴) ژنراتور	۳	۳	
		۵) دودکش	۹	۹	
		۶) مخزن	۹	۹	
		۷) بویلر	۳	۳	
		۸) کندانسور	۳	۳	
		۹) برج خنک‌کننده	۹	۹	
		۱۰) راکتور هسته‌ای	۳	۳	
		۱۱) پوسته محافظ راکتور	۹	۹	
		۱۲) فونداسیون سازه‌ها و تجهیزات	۹	۹	
		۱۳) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده ها	۹	۹	
	نیروگاه برق آبی	۱) سد	۹	۹	
		۲) مخزن			
		۳) توربین آبی	۳	۳	
		۴) ژنراتور	۳	۳	
		۵) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	
	نیروگاه تلمبه ذخیره ای	۱) ژنراتور	۳	۳	
		۲) توربین آبی	۳	۳	

		۳) پمپ	۳	۳	
		۴) سد	۹	۹	
		۵) مخزن			
		۶) ساختمانهای مرتبط	۹	۹	
	نیروگاه (توربین) بادی	۱) فونداسیون برج	۹	۹	
		۲) برج نگهدارنده	۹	۹	
		۳) روتور	۳	۳	
		۴) ژنراتور	۳	۳	
تولید	**نیروگاه خورشیدی**	۱) پنل خورشیدی	۳	۳	
		۲) تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳	۳	
		۳) کانال و هندهول	۷	۷	
		۴) سازه های ساختمانی	۹	۹	
		۵) سازه نگهدارنده	۹	۹	
		۶) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	
	نیروگاه زمین گرمایی	۱) توربین	۳	۳	
		۲) ژنراتور	۳	۳	
		۳) پمپ	۳	۳	
		۴) سیستم خنک‌کننده (برج خنک کننده-کندانسور)	۳-۹	۳-۹	
		۵) دودکش	۹	۹	
		۶) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	
		۷) فونداسیون سازه‌ها	۹	۹	
	نیروگاه جزرو مدی	۱) سازه (دایک) و دریچه‌ها	۹	۹	
		۲) توربین	۳	۳	
		۳) ژنراتور	۳	۳	
انتقال	**پست زمینی**	۱) ترانسفورماتور قدرت	۷	۷	
		۲) ترانسفورماتور جریان	۷	۷	
		۳) ترانسفورماتور ولتاژ	۷	۷	
		۴) ترانسفورماتور زمین و ترانسفورماتور تغذیه داخلی	۷	۷	
		۵) سایر تجهیزات الکتریکی بیرونی	۳ (۷)[1]	۳ (۷)[1]	
		۶) مقره ها و بوشینگ ها	۳	۳	
		۷) سیستم زمین	۷	۷	
		۸) سازه‌های ساختمانی و نگهدارنده	۹	۹	
		۹) فونداسیونها	۹	۹	

	خط هوایی	۱) دکل (در بخش توزیع: پایه)	۹	۹	
		۲) فونداسیون	۹	۹	
		۳) هادی	۳	۳	
		۴) سیستم های حفاظت خط	۳	۳	
		۵) یراق آلات	۳	۳	
		۶) مقره	۳	۳	
	خط زمینی	۱) کابل	۷	۷	
		۲) منهول	۷	۷	
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی	۱) ترانسفورماتور قدرت	۳	۳	
		۲) ساختمان پست	۹	۹	
		۳) تابلوهای برق	۳	۳	
		۴) فونداسیون	۹	۹	
	پست هوایی	۱) پایه	۹	۹	
		۲) ترانسفورماتور قدرت هوایی	۳	۳	
		۳) سازه نگهدارنده	۳	۳	
		۴) سایر تجهیزات الکتریکی	۳	۳	
		۵) فونداسیون	۹	۹	
	خط هوایی	مشابه بخش انتقال			
	خط زمینی	مشابه بخش انتقال			

(۱) از بین این تجهیزات، سوئیچگیر و بانک خازنی که متکی بر زمین هستند می توانند تحت اثر این مخاطره آسیب بیشتری ببینند.

۳-٤-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

انسان از آغاز خلقت با موضوع بلایای طبیعی مواجه بوده و تلاش نموده است تا ضمن کنترل حوادث و سوانح طبیعی، زندگی خود را از این خطرات ایمن و محفوظ دارد. تجربه بلایای طبیعی گذشته نشان داده است که چنانچه پس از رویداد مخاطره در یک منطقه، آسیب دیدگی شریان های حیاتی منجر به توقف خدمات عمومی شود، صدمات و آسیب های وارده چندین برابر می شوند. شریان های حیاتی یا زیر ساخت ها، بنیان های اساسی یک جامعه محسوب می شوند که عملکرد یک جامعه شهری به آنها وابسته است. در صورت بروز هر گونه اختلال در عملکرد این شریان های حیاتی، فعالیتهای روزانه با مشکل مواجه شده و از آنجایی که این شریان ها با یکدیگر اندرکنش دارند اختلال در سایر زیرساختها را نیز می توان انتظار داشت. در این میان شبکه برق از اهمیت ویژه ای برخوردار است؛ چراکه انرژی برق یکی از منابع مهم و حیاتی برای انجام بسیاری از فعالیتها در بخشهای مختلف جامعه است و هریک از زیرساخت های دیگر برای ادامه فعالیت های خود به نوعی به برق نیازمند است.

در هنگام بروز بحران هایی همچون زلزله پیش بینی رفتار شریان های حیاتی مشکل است و برای جلوگیری از خسارات بیشتر، نیاز به شناخت رفتار این شریان ها می باشد. در این راستا، بررسی نتایج و آثار منفی سوانح گذشته همواره می تواند نقطه شروع مناسبی جهت تجزیه و تحلیل آسیب پذیری و پیش بینی اثرات احتمالی یک فاجعه در عملکرد زیرساخت ها باشد. این امر مستلزم آن است که ابتدا انواع سامانه ها و مولفه های کلیدی زیرساخت و مخاطرات تاثیرگذار بر هر یک از آنها شناسایی شوند.

جهت دستیابی به این هدف، در این گزارش مرزبندی و محدوده فنی مطالعات تدوین سند مورد بررسی قرار گرفت. مرزها و محدوده مطالعات مورد نظر در این سند در دو حوزه شامل انواع مخاطرات زمین از یکسو، و انواع اجزا و سامانه های صنعت برق از سوی دیگر، تبیین گردید.

چکیده و خلاصه ای از نتایج مهم حاصل در این گزارش به شرح ذیل می باشد:

- انواع مخاطرات زمین مورد نظر در این سند در ۸ گروه اصلی شامل زلزله، زمین لغزش، فرونشست زمین، خاکهای خورنده، خاکهای مساله دار، فرسایش خاک، کارستی شدن و آتشفشان، دسته بندی شده و در **Error! Reference source not found.** ارائه گردید.
- انواع سامانه های صنعت برق که در این سند مورد نظر می باشند در سه بخش تولید، انتقال و توزیع معرفی و ارائه شدند.

نحوه تأثیر هریک از مخاطرات مورد نظر بر سامانه های صنعت برق و اجزای آنها (به عبارت دیگر، پتانسیل آسیب پذیری سامانه های صنعت برق در برابر انواع مخاطرات زمین)، در فصل سوم بررسی و خلاصه ای از آن در قالب ماتریس مؤلفه- مخاطره در **Error! Reference source not found.** الی **Error! Reference source not found.** ارائه گردیدکه مبنای ادامه مطالعات در مراحل آتی پروژه قرار خواهد گرفت.

DOI:

فصل چهارم

٤- تدوین ارکان جهت‌ساز (اهداف و راهبردهای کلان)

٤-١-هدف‌گذاری کلان

در روش‌شناسی پیشنهادی برای تدوین اسناد توسعه فناوری، تدوین اهداف با دو رویکرد بالابه‌پایین و پایین‌به‌بالا صورت می‌پذیرد. رویکرد بالابه‌پایین رویکردی هدف‌محور است که به‌دنبال ترسیم یک آیندهٔ مطلوب برای توسعه فناوری است. در طرف مقابل، رویکرد پایین‌به‌بالا نگاهی مسئله‌محور به توسعه فناوری دارد. با استفاده از این رویکرد ترکیبی، از یک طرف هم‌راستایی اهداف با چشم‌اندازهای کلان ملی و سایر ارکان جهت‌ساز بالادستی حفظ شده، و از طرف دیگر، تمام مسائل و مشکلات موجود در مسیر توسعه فناوری نیز تحلیل و بررسی می‌شود. در این بخش، فرآیند تدوین اهداف کلان با نگاهی بالابه‌پایین صورت می‌گیرد. این اهداف در راستای چشم‌انداز و با تعریف حوزه‌های هدف مشخص می‌شوند. علاوه بر حوزه‌های هدف که بیان‌کننده ابعاد اهداف تعریف‌شده هستند، کیفیت آن‌ها نیز باید با مشخص‌نمودن ویژگی‌های اهداف معین شود. به‌منظور تعیین‌کردن حوزه‌ها و ویژگی‌های ضروری هدف، همانند تدوین چشم‌انداز، به بررسی مدل‌های هدف‌گذاری در سطح بنگاه و ارائه‌هایی از مطالعات تطبیقی داخلی و مطالعات تطبیقی خارجی پرداخته شده است. [۶۹۳]

در منابع برنامه‌ریزی راهبردی در سطح بنگاه، مطالعات مختلفی با موضوعیت تدوین حوزه‌های اهداف تعیین شده است. در زیر به‌طور خلاصه به بررسی این مدل‌ها پرداخته می‌شود:

- ❖ حوزه‌های اهداف در مدل کارت امتیازی متوازن[۱] (Kaplan and Norton, 1996)
  - 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 دربارهٔ توسعه محصولات و خدمات جدید، خدمات پس از فروش، و مهندسی مجدد فرایندهای تولید)
  - منظر یادگیری و رشد (رضایت کارکنان، فضای مناسب کاری، دسترسی به سیستم‌های اطلاعاتی لازم، برنامه‌های آموزش کارکنان)
- ❖ حوزه‌های اهداف در مدل پیرس و رابینسون[۲] (۱۳۸۳)
  - توجه به مشتری، نوآوری، بهره‌وری، توجه به بخش مالی، منابع انسانی، لحاظ‌کردن محیط خارجی
- ❖ حوزه‌های اهداف بر اساس مدل ترکیبی فیلیپس
  - بازار (سعی در حفظ سهم بازار فعلی، افزایش صادرات)
  - نوآوری (ارتقا 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)

[۱] به‌دلیل اهمیت و شهرت بیشتر این مدل در تدوین اهداف بنگاهی، توضیح کامل این مدل پیوست‌ها ارائه شده است.

[2] Pierce & Robinson

- مسئولیت‌های اجتماعی (حفظ محیط‌زیست و حفظ ایمنی و بهداشت محیط کار)
- منابع اولیه (تلاش برای تأمین مواد اولیه لازم از داخل کشور)

❖ حوزه‌های اهداف بر اساس مدل دکتر اعرابی[1]

- سودآوری
- بهره‌وری (ساده‌سازی رویه‌ها و سیستم‌ها بر مبنای 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)

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

- کاربردی‌بودن،
- داشتن قابلیت اندازه‌گیری،
- درنظرداشتن محدودیت منابع،
- داشتن قابلیت دستیابی،
- مشخص‌بودن،
- قابلیت انعطاف داشتن،
- واقع‌گرایانه بودن،
- مقبول بودن،
- و محدود به زمان بودن.

با درنظرداشتن مدل‌های هدف‌گذاری بنگاهی و نیز با کسب بینش از نمونه‌پژوهی‌های صورت‌پذیرفته، می‌توان به معرفی گام‌های ضروری در تدوین اهداف پرداخت. روش پیشنهادی زیر می‌تواند برای تدوین اهداف کلان در توسعه فناوری استفاده شود:

٤-١-١- 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 چهارچوب نتایج حاصل از هوشمندی فناوری (روندهای رشد و توسعه فناوری در آینده)، تأکید بر مؤلفه‌های موجود در چشم‌انداز، و درنظرداشتن اصول ارزشی صورت می‌گیرد. درمجموع می‌توان این‌طور بیان نمود که اهداف ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

[1] این مدل دربارهٔ تدوین استراتژی گمرک ایران استفاده شده است.

٤-١-٢- تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی

با توجه به نظرات جمع‌آوری‌شده متخصصین پیرامون اهداف کلان، در این مرحله لازم است تا تحلیل‌گران به پالایش این نتایج با درنظرداشتن دو محور حوزه‌های هدف و ویژگی‌های هدف بپردازند. به‌عبارت دیگر، تحلیل‌گران نظرات خبرگان را در حوزه‌های هدف دسته‌بندی نموده و با درنظرداشتن ویژگی‌های ضروری، آن‌ها را بازنویسی می‌کنند. حوزه‌های اهداف به معرفی ابعادی می‌پردازند که لازم است تا به آن‌ها پرداخته شود. اگرچه این حوزه‌ها در هر نمونه 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 نمونه مطالعاتی به وجود نمی‌آورد. به‌طورکلی چهار حوزه زیر را می‌توان به‌عنوان ابعاد ضروری تدوین اهداف کلان توسعه فناوری در سطح ملی در نظر داشت:

- موقعیت رقابتی: میزان موفقیت در تسلط نسبی بر بازار، درآمد کل، سهم بازار، سهم صادرات
- ظرفیت‌سازی: رشد و پیشرفت دانش فناوری، توسعه نیروی انسانی متخصص، بهره‌برداری و عملیاتی‌نمودن دانش به فناوری
- مسئولیت اجتماعی: درنظرگیری مسائل زیست‌محیطی، بهبود سطح رفاه اجتماعی، ارتقای رشد اقتصادی، مشروعیت‌بخشی
- نوآوری: ارتقای توان نوآوری و طراحی محصول و فرآیند

اهداف تدوین‌شده در یک سند ملی باید دارای ویژگی‌های ضروری نیز باشند. این ویژگی در ادبیات با نام SMART Goals مطرح می‌شود. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از:

- مشخص باشد[1] (به‌طور واضح و عینی بیان‌کننده تغییری باشد که قرار است اتفاق بیفتد)،
- قابلیت اندازه‌گیری داشته باشد[2]،
- قابلیت دستیابی داشته باشد[3]،
- واقع‌گرایانه باشد[4]، و
- محدود به زمان باشد[5].

[1] Specific
[2] Measurable
[3] Achievable
[4]- Realistic
[5] Time Bound



شکل ۱-۴: ویژگی‌های اهداف کلان

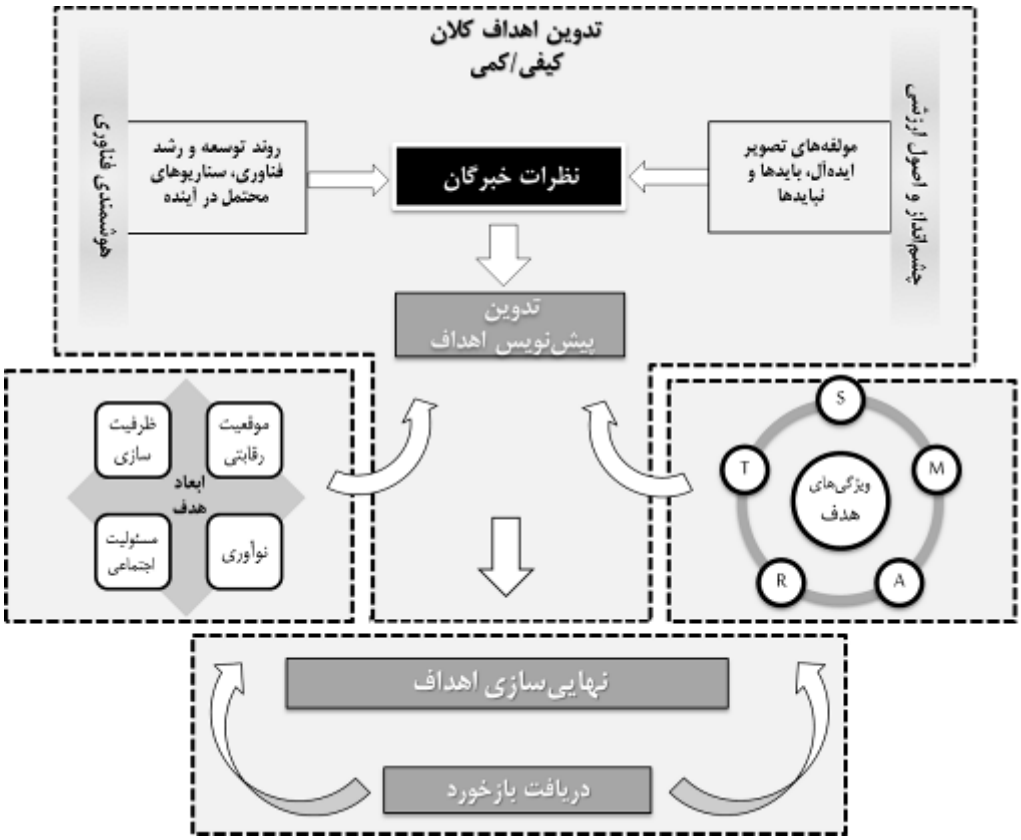
٤-١-٣- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان

اهداف کلان، راهنماهای توسعه در سایر مراحل خواهند بود. بنابراین، اهداف اولیه طراحی‌شده برای نهایی‌شدن نیازمند تأیید دوباره افراد متخصص هستند. اجرای این مرحله به کاهش خطای ناشی از بازنویسی و پالایش اهداف توسط تحلیل‌گران کمک می‌کند.

٤-١-٤- دریافت بازخورد

از آنجا که تدوین گام‌های مختلف سند در یک فرآیند تعاملی به وقوع می‌پیوندد، اهداف کلان تدوین‌شده در بخش ممکن است با تدوین گام‌های بعدی سند دچار تغییر و اصلاح شوند. تدوین اهداف خرد (اهداف پایین‌به‌بالا) و دریافت تصویر واقعی‌تر از وضعیت موجود یکی از مهم‌ترین بازخوردهایی است که می‌تواند منجر به بازبینی در اهداف کلان شود. شکل ۲-۴ نمایش گرافیکی مراحل تدوین اهداف کلان را به‌طور خلاصه به نمایش می‌گذارد. [۶۹۴ و ۶۹۵]

DOI:



شکل ۲-۴: روش پیشنهادی برای تدوین اهداف کلان

۲-٤-اهداف اولیه پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی

با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده از مطالعات فنی و مطالعات تطبیقی و پرسش‌نامهٔ انجام‌شده از خبرگان حوزه صنعت برق کشور و اطلاعات کارشناسی فعالان این حوزه اهداف پیشنهادی به‌دست‌آمده در خصوص شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور با درنظرگرفتن ابعاد فنی، اقتصادی، سیاسی اجتماعی و زیست‌محیطی و قانونی در دو سطح اهداف کلان و اهداف خرد تدوین شده است که عبارت‌اند از:

هدف کلان:

- ❖ پهنه‌بندی مخاطرات زمینی

اهداف خرد:

- ❖ کمک به افزایش پایایی، کیفیت و عمر مفید شبکه برق کشور با شناسایی، بروزرسانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سامانه‌های صنعت برق
- ❖ کمک به کاهش خسارات مالی ناشی از آسیب‌ها و خرابی‌های وارده بر شبکه برق و یا قطع عملکرد آن؛ با شناسایی، بروزرسانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سامانه‌های صنعت برق

- ❖ کمک به افزایش سطح رضایت مشترکان شبکه برق با شناسایی، بروزرسانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سامانه‌های صنعت برق
- ❖ کمک به کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از آسیب‌ها و خرابی‌های وارده بر شبکه برق با شناسایی، بروزرسانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سامانه‌های صنعت برق
- ❖ اکتساب و توسعه دانش فنی و تأمین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری جهت شناسایی، بروزرسانی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر سامانه‌های صنعت برق

٤-٣-پرسش‌نامه تعیین اهداف شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی

با توجه به اهمیت موضوع تعیین اهداف پروژه و مطالب گفته‌شده در قسمت‌های گذشته، اهداف شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی را می‌توان با پرسش‌نامهٔ به‌عمل‌آمده از خبرگان حوزه صنعت برق به دست آورد. سؤالات پرسش‌نامه به‌ترتیب زیر است:

۱. با مطالعات انجام‌شده در حوزه اهداف شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی، اهداف را به چهار گروه فنی، اقتصادی، سیاسی‌اجتماعی و زیست‌محیطی و قانونی تقسیم‌بندی کرده‌ایم. در صورت نیاز لطفاً حوزه‌های مدنظر خود در بخش اهداف را که در این چهار گروه به آن‌ها اشاره نشده است بفرمایید؟
۲. در صورت افزودن حوزه جدید به اهداف مدنظر لطفاً ذیل حوزه نام‌برده اهداف مرتبط با این حوزه را بنویسید.
۳. اهداف مرتبط با حوزه فنی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی مرتبط با صنعت برق را نام ببرید
۴. اهداف مرتبط با حوزه اقتصادی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی مرتبط با صنعت برق را نام ببرید
۵. اهداف مرتبط با حوزه سیاسی‌اجتماعی شناسایی کنید و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی مرتبط با صنعت برق را نام ببرید
۶. اهداف مرتبط با حوزه زیست‌محیطی و قانونی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی مرتبط با صنعت برق را نام ببرید.

٤-٤-تدوین اهداف نهایی پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی

پس از تعیین اهداف اولیه و در ادامه اخذ نظرات خبرگان، در پایان اهداف ذیل به عنوان اهدف نهایی پهنه‌بندی مخاطرات زمینی تعیین گردید.

هدف کلان:

- ❖ پهنه‌بندی مخاطرات زمینی موثر بر آرمان صنعت برق

اهداف خرد:

- ❖ به روزرسانی و ارتقاء سطح و دقت نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات موثر بر سازه‌های راهبردی صنعت برق
- ❖ شناسایی مخاطره – سازه‌های راهبردی صنعت برق

کسب دانش فنی روز در خصوص روش‌ها و فناوری‌های نوین تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی

٤-٥-تعیین راهبردهای شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمینی

تعیین راهبردهای شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی که به‌اختصار در این گزارش مخاطرات نوشته شده است در واقع تعیین اولویت‌بندی مخاطرات مؤثر در حوزه صنعت برق است. در این اولویت‌بندی به‌علت وجود چندین معیار و شاخص از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندشاخصه استفاده می‌شود. در این بخش ابتدا در بخش اول مرور ادبیات انواع مدل‌های اولویت‌بندی اشاره شده است. در بخش دوم متدولوژی استفاده‌شده برای رسیدن به اولویت‌بندی مدنظر مطرح شده و در بخش سوم به پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط خبرگان می‌پردازیم. در پایان با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده از خبرگان و بررسی‌های به‌عمل‌آمده، اولویت‌بندی نهایی مخاطرات در بخش چهارم مطرح شده است.

٤-٦-مرور ادبیات مدل‌های اولویت‌بندی

یکی از شرط‌های لازم انتخاب روش مناسب (گام ششم فرآیند تصمیم‌گیری) آشنایی با روش‌های گوناگون است. پس از آشنایی با روش‌های گوناگون می‌توان آن‌ها را با یکدیگر و با اهداف و شرایط مسئله مقایسه کرد. در این بخش، به معرفی روش‌هایی که برای تعیین وزن معیارها و تجمیع نظرات خبرگان توسعه یافته‌اند، پرداخته می‌شود.

٤-٧-معرفی روش‌ها

در این قسمت به معرفی چند نمونه از روش‌های موجود در ادبیات پرداخته می‌شود. این امر، علاوه بر آشناکردن خواننده با تنوع مقبول از روش‌ها، علت روی‌نیاوردن مجریان به استفاده از آن‌ها (که گاهی اوقات، دشواری در فهم و اجرای این روش‌ها است) را نیز نشان می‌دهد. در ادامه، روش‌ها در قالب دو دستهٔ اصلی ارائه می‌شوند: روش‌های ابتدایی[1] (که تقریباً تمامی آن‌ها روش‌های کیفی محسوب می‌شوند)، و روش‌های پیشرفته (که تمامی آن‌ها کمی هستند). همچنین، در میان روش‌های پیشرفته (غیرکمی) ابتدا معروف‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها معرفی شده، سپس به بررسی چند روش غیرمرسوم پرداخته می‌شود.

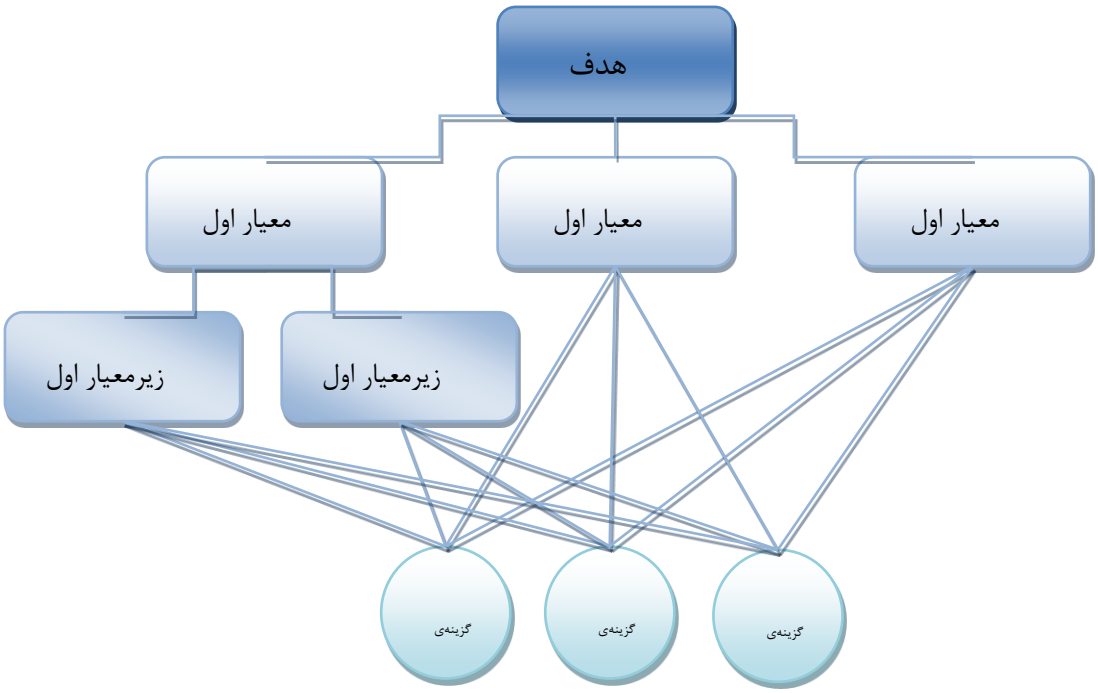
[1] Elementary methods

٤-٧-١- معرفی برخی روش‌های پیشرفته اولویت‌بندی

در این قسمت، ابتدا چهار روش معروف تصمیم‌گیری چندشاخصه تشریح شده و سپس روش‌هایی که شهرت چندانی ندارند، تبیین می‌شوند. در میان روش‌های معروف، دو روش از مکتب آمریکایی (AHP و MAUT) و دو روش از مکتب اروپایی با فرانسوی (ELECTRE و PROMETHEE) تشریح می‌شوند. آشنایی با این روش‌ها و بیان روش‌های مشهور در کنار دیگر روش‌ها خواننده را با علت روی‌آوری بیشتر محققان به روش‌های مشهور آشنا می‌کند.

٤-٧-١-١- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP

روش AHP یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه است. این روش، اولین‌بار توسط توماس. ال. ساعتی[1] ارائه شد. تصمیم‌گیری در مسائل چندشاخصه با استفاده از AHP با تشکیل درخت سلسله‌مراتبی تصمیم[2] آغاز می‌شود.



شکل ۳-۴ - درخت سلسله‌مراتبی تصمیم

سلسله‌مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسئلهٔ پیچیدهٔ واقعی بوده که در رأس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. هرچند یک قاعدهٔ ثابت و قطعی برای ساخت سلسله‌مراتبی وجود

[1] Thomas. L. Saaty
[2] Hierarchy decision tree

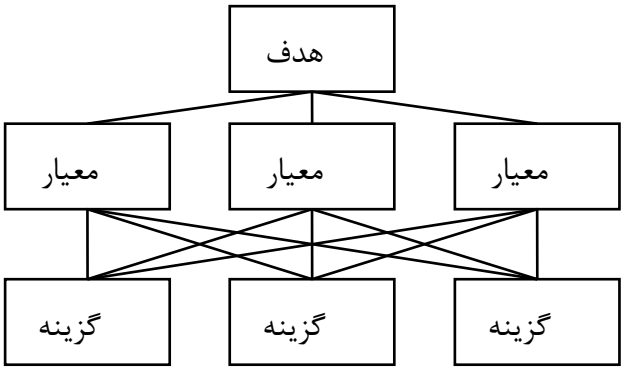
ندارد، برخی افراد سعی نموده‌اند تا یک سری قواعد کلی در این زمینه بیان کنند. برای نمونه، سلسله‌مراتبی ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد:

هدف، معیارها، زیرمعیارها، گزینه‌ها

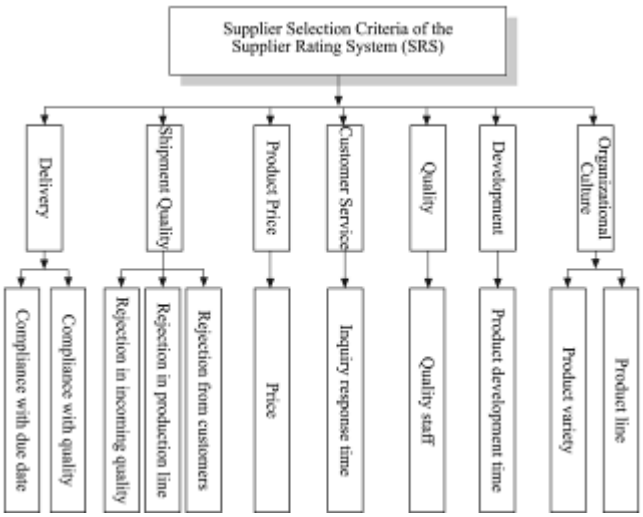
هدف، معیارها، عوامل، زیرعوامل، گزینه‌ها

٤-٧-١-١-١- ساختن سلسله‌مراتبی

در یک نگاه کلی باید گفت که روش ساختن یک سلسله‌مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی دارد. به‌طور مثال، اگر تصمیم مدنظر انتخاب یک گزینه باشد، می‌توان از گزینه‌ها شروع کرده و آن‌ها را در پایین‌ترین سطح نشان داد و در سطح بعدی معیارهایی که برای انتخاب گزینه‌ها مدنظر می‌باشند قرار گیرند و در بالاترین سطح، هدف سلسله‌مراتبی که یک عنصر است قرار گیرد. از منظر دیگر سلسله‌مراتبی را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد: سلسله‌مراتبی کامل و سلسله‌مراتبی ناقص؛ سلسله‌مراتبی کامل به سلسله‌مراتبی گفته می‌شود که تمامی معیارهای هر سطح با تمامی معیارهای سطح دیگر در ارتباط باشند. اگر این‌گونه نباشد سلسله‌مراتبی را ناقص گوییم.



شکل ۴-۴ - مثالی از سلسله‌مراتبی کامل



شکل ۵-۴ - مثالی از سلسله‌مراتبی ناقص

از لحاظ تئوری در یک سلسله‌مراتبی، محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. هرگاه که عناصر یک سطح را نتوان با عناصر سطوح بالاتر مقایسه نمود، این سؤال پیش می‌آید که این عنصر با چه چیزی قیاس‌پذیر است که در این حالت ممکن است یک سطح دیگر به سلسله‌مراتبی اضافه شده تا سلسله‌مراتبی را تکمیل کند. ولیکن به‌علت محدودیت نرم‌افزارهای موجود، بیش از ۹ معیار قابلیت ارزیابی ندارند.

٤-۷-۱-۱-۲- مقایسات زوجی

اساس روش AHP بر مبنای مقایسات زوجی قرار دارد. لذا پس از تشکیل درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل و عناصر موجود در هر سطح به‌ترتیب از سطح پایین به بالا، نسبت به تک‌تک عوامل و عناصر موجود در سطوح بالاتر به‌صورت دوبه‌دو توسط تصمیم‌گیرنده مقایسه می‌شوند. بدین ترتیب، جدول‌های مقایسه‌ای ایجاد می‌گردد. مقایسات زوجی و امتیازدهی مربوطه بر اساس جدول استانداردشدهٔ ساعتی به‌صورت زیر انجام می‌گیرد.

جدول ۱-۴ : مقدار عددی ترجیحات

مقدار عددی	درجهٔ اهمیت در مقایسه دوبه‌دو
۱	ترجیح یکسان
۲	یکسان تا نسبتاً مرجح
۳	نسبتاً مرجح
۴	نسبتاً یا قویاً مرجح
۵	قویاً مرجح
۶	قویاً مرجح
۷	ترجیح بسیار قوی
۸	بسیار تا بی‌اندازه مرجح
۹	بی‌اندازه مرجح

جدول فوق نشان می‌دهد که امتیازدهی در جدول‌های مقایسه‌ای یا ماتریس مقایسات زوجی در دامنه ۱/۹ تا ۹ می‌باشد. هنگام مقایسهٔ دوبه‌دو، در ابتدا معادل اهمیت به‌طریق رتبه‌ای مشخص و سپس مقدار عددی متناظر با آن در جدول مقایسه‌ای ذکر می‌شود. حاصل این کار، تشکیل یک ماتریس است که آن را A می‌نامیم و عناصر آن را با a_{ij} نشان می‌دهیم. لذا A یک ماتریس مثبت و معکوس‌پذیر است.

$$i = 1, 2, \dots, nA = a_{ij}$$

$$j = 1, 2, \dots, ma_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$$

در صورت برقراری رابطهٔ $i = j$، $a_{ij} = 1$ بوده و عناصر قطر ماتریس A برابر با یک است؛ چراکه اهمیت هر عامل نسبت به خودش یکسان است. همچنین با توجه به خاصیت عکس‌پذیری ($a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$) تنها به تعداد $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه زوجی دربارهٔ یک ماتریس $n \times n$ ، توسط تصمیم‌گیرنده لازم خواهد بود.

روش AHP در ابتدا برای تصمیم‌گیری فردی ابداع شده و سپس در دهه ۸۰، به چگونگی استفاده از آن در تصمیم‌گیری گروهی پرداخته شد. بنابراین در صورت انجام تصمیم‌گیری به‌صورت گروهی، تعداد ماتریس مقایسات زوجی در ارتباط با هر عامل برابر است با تعداد اعضای گروه که مقایسه زوجی را انجام می‌دهند. از طرفی دیگر طبق رویه‌های محاسباتی AHP، می‌بایست ماتریس‌های مقایسات زوجی در خصوص هر فاکتور با یکدیگر ترکیب شده و به یک ماتریس تبدیل شوند. ماتریس حاصل، ماتریس گروهی نامیده می‌شود.

چنانچه لازم باشد بر اساس تخصص و مسئولیت، به نظرات تصمیم‌گیرندگان، اولویت (اهمیت) ویژه‌ای داده شود، می‌توان به نظرات هر تصمیم‌گیرنده وزن W_L داد. با این وجود باید خاطرنشان ساخت که هنگامی می‌توان از ماتریس مقایسه زوجی هریک از تصمیم‌گیرندگان در فرآیند تصمیم‌گیری گروهی AHP استفاده کرد که دارای "نرخ سازگاری" مقبولی باشد.

٤-٧-١-١-٣- ناسازگاری در تحلیل سلسله‌مراتبی

تکنیک AHP برای محاسبه وزن‌های نهایی گزینه‌ها، نیاز به سازگاری کامل بین قضاوت‌ها ندارد، بلکه ابزاری را برای اندازه‌گیری میزان ناسازگاری هر دسته از قضاوت‌ها فراهم می‌کند. اصولاً اطمینان از سازگاری پیش‌نیاز تفکر و تصمیم‌گیری است. این در حالی است که مسائل دنیای واقعی عموماً از سازگاری کامل و بی‌عیب‌ونقصی برخوردار نیستند. در ذیل به عمده‌ترین دلایلی که موجب ایجاد ناسازگاری در سیستم می‌شوند و نیز راه‌های کاهش این خطاها اشاره می‌گردد.

۱. خطای ناشی از ورود اشتباه اطلاعات و داده‌ها: یکی از رایج‌ترین خطاهایی که ممکن است اتفاق بیفتد، خطای ناشی از ورود اشتباه داده‌ها در تیم است. با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice می‌توان تا حد زیادی این خطا را کاهش داد.

۲. فقدان اطلاعات: فقدان اطلاعات کافی دربارهٔ فاکتورهایی که قرار است با هم مقایسه شوند، باعث ایجاد خطای زیادی در نتایج حاصل‌شده خواهد شد. بسیاری از اوقات بی‌توجهی و کم‌کاری در مرحلهٔ جمع‌آوری اطلاعات، نتایج تصمیم‌گیری را به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. لذا هرچه دقت در جمع‌آوری اطلاعات لازم بیشتر باشد، خطای نهایی تصمیم‌گیری کاهش خواهد یافت.
۳. بی‌دقتی و نداشتن تمرکز: یکی از دلایل دیگری که می‌تواند باعث بیشترشدن خطای تصمیم‌گیری شود، بی‌دقتی و نبود تمرکز در طی فرایند قضاوت است. این امر عمدتاً به‌دلیل خستگی و بی‌رغبتی افرادی که در فرآیند تصمیم‌سازی دخیل هستند، رخ می‌دهد.
۴. خطای ناشی از مدل‌سازی مسائل طبیعی: مدل‌سازی مسائل دنیای طبیعی همیشه همراه با خطا است. این خطا معمولاً هنگامی رخ می‌دهد که ما قصد داریم مسائل غیرخطی طبیعی را با فرض خطی‌بودن آن‌ها یا حداکثر تقریب آن با یکی از مدل‌های غیرخطی شناخته‌شده حل کنیم. لذا این‌گونه تبدیلات معمولاً خطایی را در نتایج حاصله ایجاد می‌کنند که می‌توان با دقت در هنگام مدل‌سازی مسئله آن را کاهش داد.
۵. ساختار مدل نامناسب و غیرکافی: یک مدل ایدئال مدلی است که بتواند یک تصمیم پیچیده را طوری در قالب یک روش سلسله‌مراتبی ساختاربندی کند که عوامل در هر سطح قابلیت مقایسه داشته باشند.

در مجموع پیشنهاد می‌شود که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ٪۱۰ باشد، نتایج به‌دست‌آمده پذیرفته شده است، در غیر این صورت قضاوت‌ها باید تجدیدنظر شوند.

٤-۷-۱-۱-٤- کاهش ناسازگاری به‌عنوان شرط لازم نه کافی

اگرچه کاهش نرخ ناسازگاری در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بسیار مهم و ضروری است، ولی باید توجه داشت که هدف فرآیند، کاهش نرخ ناسازگاری نبوده، بلکه رسیدن به نتایج صحیح و واقعی است. لذا باید توجه داشت که صحت نتایج نباید فدای سازگاری تصمیم‌گیری شود. یکی از مشکلات اساسی که عموماً در راه تصمیم‌گیری‌ها وجود دارد، نبود یک سازمان اطلاعاتی دقیق و تفکیک‌شده برای ارائه اطلاعات مناسب در خصوص معیارها و پارامترهای تصمیم‌گیری‌هاست. یکی از مزایای تصمیم‌گیری به‌کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی این است که می‌توان نبود یک سری از اطلاعات لازم را با استفاده از جدول‌های مقایسه‌های زوجی که توسط افراد کارشناس و باتجربه تکمیل می‌شود، جبران نموده و به این ترتیب پارامترهای کیفی را نیز در مقایسه پارامترهای کمی وارد محاسبه نمود. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک، امکان فرموله‌کردن مسئله را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان درنظرگرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده‌شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد. [۶۹۶]

جهت محاسبه ارزش ماتریس‌ها و نیز بی‌مقیاس‌کردن آن‌ها، روش‌های گوناگونی وجود دارد. نرم‌افزار Expert Choice نرم‌افزار تخصصی آنالیز AHP است و محاسبات را به‌راحتی برای ما انجام می‌دهد. این نرم‌افزار از نظر ساعتی نیز تأیید می‌شود.

٤-٧-١-٢- نظریهٔ مطلوبیت چندشاخصه

نظریهٔ مطلوبیت چندشاخصه یک روش نظام‌مند در شناسایی و تحلیل چند متغیر برای فراهم‌آوری پایه‌ای مشترک برای حصول تصمیم است. قدم کلیدی در اجرای این روش، به‌دست‌آوردن یک تابع مطلوبیت چندشاخصه است. برای انجام این کار، توابع مطلوبیت تک‌شاخصه و وزن‌های آن‌ها ضروری است. برای شروع، هدف مقایسه به‌صورت صریح تبیین شده و معیارهای مرتبط با آن تعیین می‌شوند. روش رایج در انجام این کار مصاحبه با خبرگان آشنا به مؤلفه‌های مربوط به اهداف است. پیش از تعیین توابع مطلوبیت برای معیارها می‌بایست گستره (بازه) معیارها تعیین شوند. در اندازه‌گیری گسترهٔ معیارها، حدود بالا و پایین محدودهٔ معیارها تعیین می‌شوند. این کار به‌وسیلهٔ نتایج تحقیقات موجود و در تحلیلی علمی بر مبنای یک مدل مهندسی انجام می‌شود. قدم بعدی در فرآیند اجرای نظریهٔ مطلوبیت چندشاخصه شامل تجمیع امتیازهای معیارها است. معمولاً اشکال جمعی و ضربی در مدل‌های نظریه‌ی مطلوبیت چندشاخصه استفاده می‌شوند. سپس اهمیت نسبی (زیر)معیارها توسط تصمیم‌گیران تعیین می‌شود. نظریهٔ مطلوبیت چندشاخصه روش خاصی را برای انجام این عمل پیشنهاد نکرده و می‌بایست از روش‌هایی که در ادبیات آمده استفاده شود. در بخش‌های بعدی به انواع روش‌های وزن‌دهی پرداخته خواهد شد. با استفاده از توابع مطلوبیت تعریف‌شده برای هر معیار و وزن آن‌ها می‌توان توابع مطلوبیت چندشاخصه را استخراج کرد. [۶۹۶] و [۶۹۹]

٤-٧-١-٣- مجموعه روش‌های ELECTRE

در چند دههٔ گذشته تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با روش‌های ELECTRE انجام گرفت. این تحقیقات توسط چند محقق و بیشتر در اروپا انجام شد. این روش‌ها از اواسط دههٔ ۶۰ با معرفی روش ELECTRE I توسط برنارد روی[1] و همکارانش در شرکت مشاوره‌ای SEMA ظاهر شدند.

٤-٧-١-٤- مجموعه روش‌های PROMETHEE

روش PROMETHEE از خانوادهٔ روش‌های رتبه‌بندی برتری بوده که شامل PROMETHEE I برای رتبه‌بندی قسمتی از گزینه‌ها و روش PROMETHEE II برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها است. این روش برای اولین‌بار توسط در سال ۱۹۸۲ معرفی شد. اطلاعات لازم برای روش PROMETHEE (علاوه بر جدول مقایسهٔ چندشاخصه) شفاف و مفهوم برای تحلیل‌گر و تصمیم‌گیر است. این اطلاعات از عوامل زیر تشکیل می‌شوند:

- اطلاعات بین معیارها
- اطلاعات میان معیارها [۶۹۷] و [۶۹۸]

[1] Bernard Roy

٤-٨-روش‌های وزن‌دهی به معیارها

از آنجایی که برخی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه روش خاصی را برای تعیین وزن‌ها پیشنهاد نمی‌دهند، ارائهٔ خلاصه‌ای از روش‌های مهم تعیین وزن، ضروری است. از طرفی می‌توان این روش‌ها را در تصمیم‌یارهایی که تعیین وزن‌ها را پیش‌بینی کرده‌اند نیز به کار برد. همهٔ عوامل موجود در یک سیستم، دارای اثری بر آن سیستم هستند. با این وجود می‌بایست میزان اثر این عوامل در قالب مقیاسی مشترک بیان شوند. برای انجام این کار، می‌بایست تأثیر نسبی هر معیار در مسئلهٔ مطرح‌شده تعیین شود. وزن‌ها برای نشان‌دادن اهمیت نسبی معیارها تخصیص داده می‌شوند. در نتیجه، به‌دست‌آوردن عقلانیت و صحت وزن معیارها لازم است. معمولاً سه عامل برای به‌دست‌آوردن وزن در نظر گرفته می‌شود: درجهٔ تغییرات معیار، استقلال معیارها و ترجیح ذهنی تصمیم‌گیران. به‌طور کلی دو روش وزن‌های مساوی و ترتیب رتبهٔ وزن‌ها وجود دارد. هر دو گروه از روش‌ها در زمینهٔ تصمیم‌گیری در حوزهٔ انرژی پایدار استفاده شده‌اند.

٤-٨-١- روش وزن‌های مساوی

در این روش، وزن معیارها به‌وسیلهٔ رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$w_i = \frac{1}{n},\ \ i = 1,2,\dots,n$$

در این روش، کمترین میزان دانش از ترجیحات تصمیم‌گیر و کمترین ورودی از تصمیم‌گیر را نیاز دارد. این روش از زمانی که توسط Dawes و Corrigan اعلام شده اغلب نتایجی نزدیک به نتایج روش‌های وزن‌دهی بهینه تولید می‌کند، در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری رایج شد.

٤-٨-٢- روش‌های وزن‌دهی ترتیب رتبه

روش وزن‌های مساوی به‌علت لحاظ‌نکردن اهمیت نسبی معیارها نقد گردید. درنتیجهٔ این بحث‌ها، روش وزن‌دهی ترتیب رتبه پیشنهاد شد. در این روش، وزن معیارها به‌صورت زیر توزیع گردید:

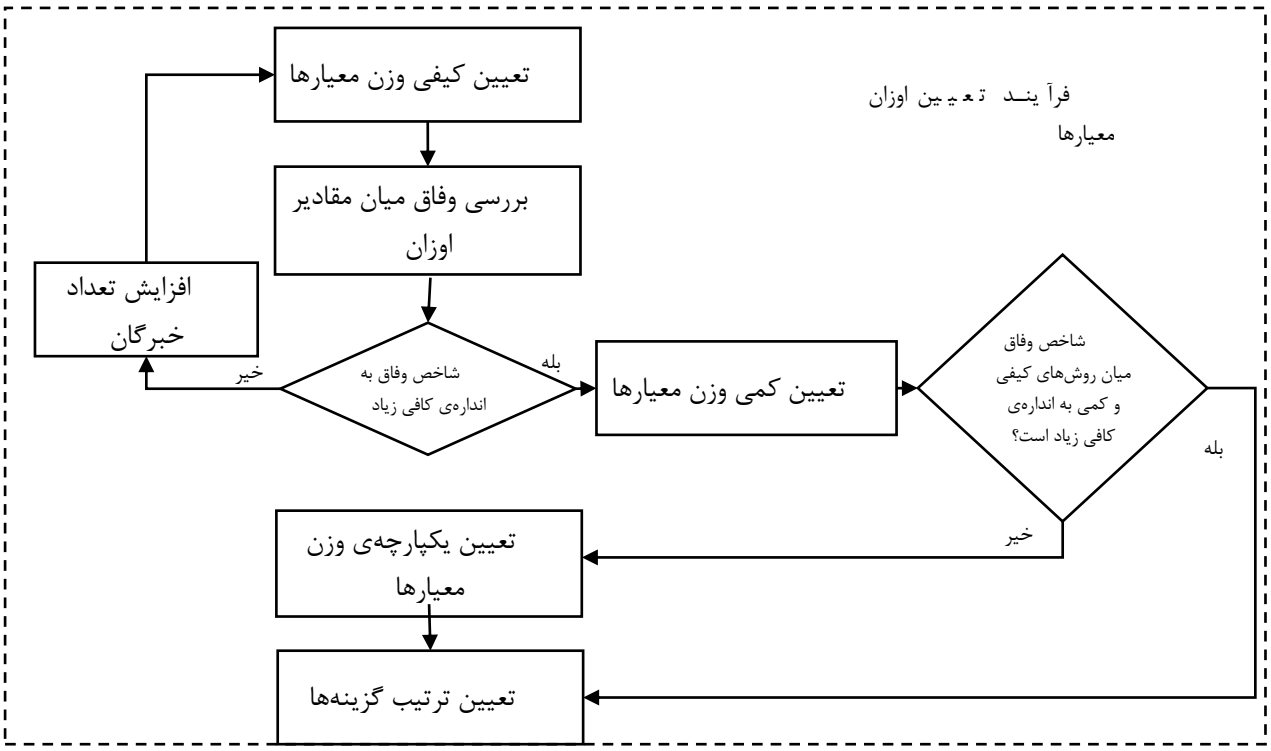
$$\mathrm{w_1} \geq \mathrm{w_2} \geq \cdots \geq \mathrm{w_n} \geq 0$$

که در آن:

$$\sum_{i=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{w_i} = 1$$

روش‌های وزن‌دهی ترتیب رتبه به سه دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند: روش‌های وزن‌دهی کیفی، روش‌های وزن‌دهی کمی و روش‌های وزن‌دهی ترکیبی. وزن‌های تعیین‌شده توسط روش‌های کیفی فقط بر اولویت تصمیم‌گیران مبتنی است، نه در داده‌های کمی اندازه‌گیری‌شده. در مقابل، روش‌های کمی با روش‌های ریاضی مبتنی بر تحلیل داده‌های اولیه به وزن‌دهی می‌پردازد. روش‌های کیفی به‌وضوح ارزیابی را تشریح کرده درحالی که

در روش‌های کمی، این فرآیند نسبتاً ضعیف است. علاوه بر این، گاهی اوقات قضاوت تصمیم‌گیران کاملاً بر اطلاعات یا دانش خود مبتنی است. بنابراین، وجود خطا در وزن معیارها تا حدی اجتناب‌ناپذیراست. همان طور که مشاهده می‌شود، هیچ‌یک از این دو رویکرد گفته‌شده ایدئال نیست. ممکن است استفاده از یک رویکرد یکپارچه برای تعیین اوزان معیارها مناسب باشد. در حال حاضر، تعدادی روش وزن‌دهی ترکیبی یا مطلوب، پیشنهاد داده شده و توسعه یافته‌اند. در شکل ۶-۴ فرآیند پیشنهادی برای تعیین وزن معیارها نمایش داده شده است. این فرآیند از رویکرد ترکیبی برای تعیین اوزان پیروی می‌کند. در این فرآیند، ابتدا وزن معیارها به‌صورت کیفی توسط خبرگان تعیین شده و میزان وفاق میان اوزان پیشنهادی توسط آنان محاسبه می‌شود. درصورتی که شاخص وفاق[1] به‌اندازهٔ کافی زیاد نباشد، خبرگان بیشتری برای تصحیح وزن‌های کیفی با هدف رسیدن به وفاق بیشتر لازم است. سپس وزن‌ها توسط روش‌های کمی محاسبه می‌شوند. درنهایت، وفاق میان اعداد حاصل‌شده از روش‌های کیفی و کمی محاسبه می‌شود. در صورت دستیابی‌نداشتن به وفاق مقبول، روش‌های ترکیبی برای تعیین یکپارچهٔ اوزان به کار می‌رود. جدول ۲-۴ ، روش‌های وزن‌دهی به معیارها در تصمیم‌گیری چندشاخصه را خلاصه کرده است. در این مطالعه، روش‌های پایه‌ای تشریح می‌شوند. [۶۹۹]



شکل ۶-۴ : فرآیند یکپارچهٔ تعیین وزن معیارها

جدول ۲-۴: روش‌های وزن‌دهی در تصمیم‌گیری چندشاخصه

[1] Concordance index

نوع روش‌ها	روش‌های وزن‌دهی کیفی	روش‌های وزن‌دهی کمی	روش‌های ترکیبی
نام روش‌ها	چندشاخصه‌ی ساده تکنیک ارزش‌دهی (*SMART*) *SMARTER* *Swing* *Trade-off* *SIMOS* مقایسات زوجی *AHP* حداقل مربعات روش بردار ویژه روش دلفی تحلیل ماتریس سازگار *PATTERN*	حداقل میانگین مربعات اختلاف بیشینه-کمینه روش آنتروپی روش *TOPSIS* روش افقی و عمودی ضریب تغییر روش بهینه‌سازی چندهدفه ضریب تناسب چندگانه تحلیل مولفه‌ی بنیادی	روش‌های ترکیب ضربی: روش‌های ترکیب جمعی: • وزن‌دهی بهینه برپایه‌ی جمع مربعات • وزن‌دهی بهینه برپایه‌ی حداقل انحراف • وزن‌دهی بهینه برپایه‌ی ضریب نسبی تغییر

٤-٨-٢-١- روش‌های وزن‌دهی کیفی

از میان روش‌های وزن‌دهی کیفی، روش‌های مقایسات زوجی، AHP و Simos متداول‌ترین آن‌ها در حوزهٔ تصمیم‌گیری در انرژی پایدار است. مهم‌ترین نوآوری در این روش که توسط Simos ارائه شده، شامل تخصیص یک کارت بازی به هر معیار است. از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شود که این کارت‌ها (که همان معیارها هستند) را از کم‌اهمیت‌ترین به بااهمیت‌ترین رتبه‌بندی کنند. بنابراین، اولین معیار، کم‌اهمیت‌ترین و آخرین معیار، بااهمیت‌ترین آن‌ها است. در صورت برابری در اهمیت دو معیار، رتبهٔ آن‌ها برابر خواهد بود. برای تعیین قوت ترجیحات، دستهٔ دیگری از کارت‌ها (کارت‌های سفید) معرفی می‌شوند. از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شود که این کارت‌ها را در میان کارت‌های رنگی قرار دهند. تعداد کارت‌های قرارگرفته در بین دو کارت رنگی متوالی متناسب با میزان اختلاف بین اهمیت معیارها است. درنتیجه، وزن معیارها با استفاده از رتبهٔ به‌دست‌آمده از قدم قبل محاسبه می‌شود؛ رتبه‌ها بر مجموع تعداد جایگاه‌ها تقسیم می‌شود. بنابراین، یک بردار از وزن‌های نرمال معیارها به دست می‌آید. [۶۹۶]

٤-٨-٢-٢- روش‌های وزن‌دهی کمی

روش‌های وزن‌دهی کمی با استفاده از اطلاعات و داده‌های اندازه‌گیری‌شده، به شناسایی وزن معیارها می‌پردازد. با وجود آنکه از روش‌های وزن‌دهی کمی در ادبیات مربوط به حوزهٔ تصمیم‌گیری در انرژی پایدار استفادهٔ چندانی نشده، در زمینه‌های دیگر (مانند سیستم‌های اجتماعی) رغبت فراوانی به این روش‌ها وجود دارد (۱۱۹). تنها روش استفاده‌شده از این دسته در طرح‌های انرژی، روش آنتروپی[1] است. [۶۹۶]

[1] Entropy

آنتروپی بیانگر میزان نمایش اطلاعات سیستم توسط یک معیار و میزان عدم‌قطعیت معیارها است. بردار $x_j = (\mathrm{x_{1j}}, \mathrm{x_{2j}}, \dots, \mathrm{x_{mj}})$ نمایانگر مجموعهٔ X در قالب iامین معیار، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X_{\mathrm{j}} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{m}} \mathrm{x_{ij}}\,, \quad \mathrm{j} = 1,2, \dots, \mathrm{n}$$

سپس، شاخص شدت تضاد در معیار jام به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m}\sum_{i=1}^{m}\frac{d_{ij}}{D_j}\,ln\,\frac{d_{ij}}{D_j}$$

که در آن، d_{ij} نمایانگر میزان اختلاف امتیاز گزینهٔ iام از میانگین امتیازات در معیار jام است.

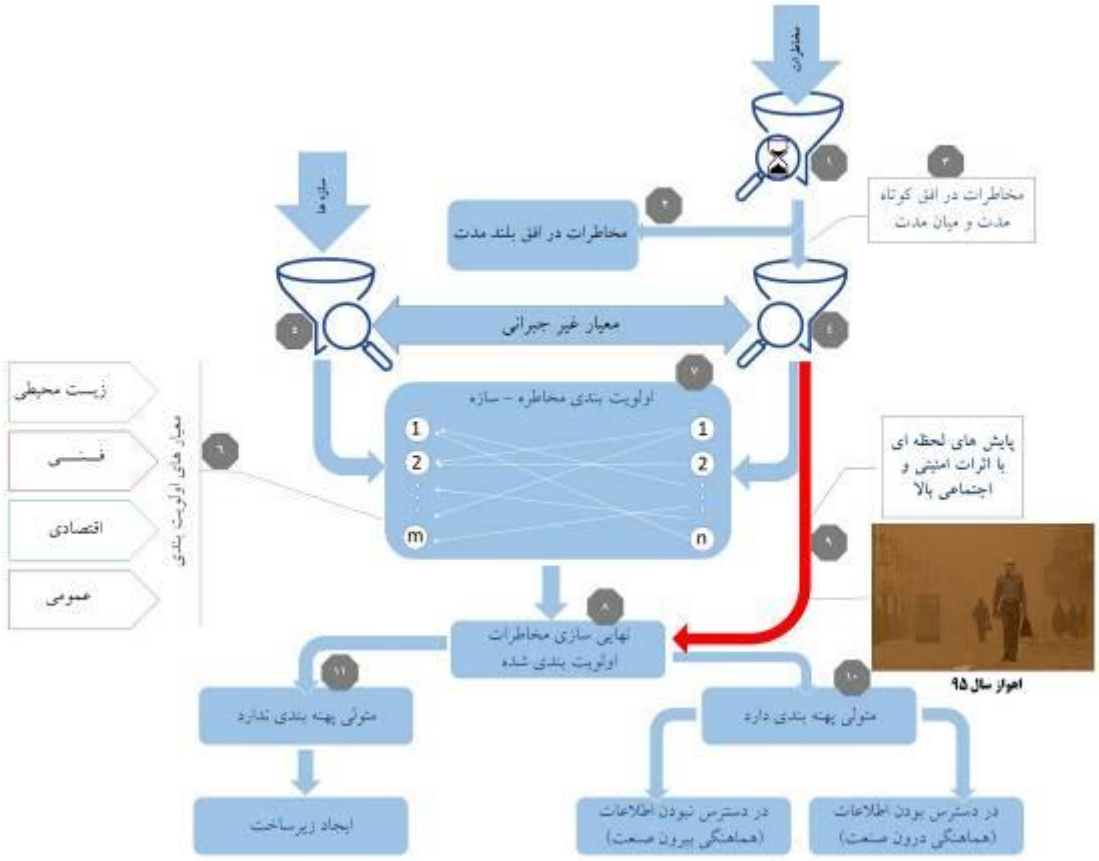
$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^{n}(1 - e_j)}$$

٤-٩-متدولوژی اولویت‌بندی سازه–مخاطره

روش‌شناسی یا متدولوژی وسیلهٔ شناخت هر مسئله است. روش‌شناسی در مفهوم مطلق خود به روش‌هایی گفته می‌شود که برای رسیدن به شناخت علمی از آن‌ها استفاده می‌شود و روش‌شناسی هر مسئله‌ای روش‌های مناسب و پذیرفتهٔ آن مسئله برای شناخت هنجارها و قواعد آن است. در این بخش به روش‌شناسی طراحی‌شده برای اولویت‌بندی مخاطرات می‌پردازیم. ملاحظات حاکم بر طراحی متدولوژی به سه دسته تقسیم‌بندی شده‌اند.

- ❖ زمانی (افق بلند و کوتاه و میان‌مدت)
- ❖ ملاحظات جبرانی و غیرجبرانی
- ❖ جامع‌نگری در ابعاد مخاطرات بر اساس معیارها

این ملاحظات و تمام مراحل متدولوژی در نمودار زیر نشان داده شده است. در ادامه مراحل متدولوژی به‌تفصیل شرح داده شده است.



شکل ۷-۴ : نمودار روند متدولوژی اولویت‌بندی سازه-مخاطره

٤-۹-۱- ملاحظات حاکم بر طراحی متدولوژی

٤-۹-۱-۱- افق زمانی تحلیل مخاطرات

با توجه به اطلاعات مخاطرات به‌دست‌آمده از گذشته عواملی از جمله احتمال وقوع، میزان و شدت تأثیر و تخریب، حجم و تراکم منطقه جغرافیایی محل وقوع و ... ملاحظات زمانی اعمال می‌شود. این بخش در شکل ۷-۴ با شماره ۱ نشان داده شده است. تمام مخاطرات تحت بررسی با توجه به معیارهای شناسایی ملاحظه زمانی از این پالایش عبور می‌کنند. پس از اعمال این ملاحظه مخاطرات به دو دسته کوتاه‌مدت و میان‌مدت و بلندمدت تقسیم می‌شوند. افق بلندمدت (شماره ۲ در شکل ۷-۴) نشان‌دهنده مخاطرات بالقوه بوده که برای پیشگیری از صدمات آن‌ها در آینده، برنامه‌ریزی لازم صورت می‌گیرد. اما مخاطرات در افق کوتاه و میان‌مدت (شماره ۳ در شکل ۷-۴) به‌علت حفظ وضعیت موجود از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشند. آن دسته از مخاطرات که مخاطرات حال حاضر کشور هستند در این گروه قرار می‌گیرند. برای مخاطرات بلندمدت با توجه به آینده‌نگری صورت‌گرفته سیاست‌گذاری می‌شود اما مخاطرات افق کوتاه و میان‌مدت مشکل اصلی تلقی شده و برای برنامه‌ریزی مؤثر نیاز به اولویت‌بندی دارند که وارد مرحله بعد یعنی پایش غیرجبرانی می‌شوند.

٤-٩-١-٢- غربالگری و اولویت‌بندی با استفاده از معیارهای جبرانی و غیرجبرانی

- **غربالگری و اولویت‌بندی بر اساس معیارهای غیرجبرانی**

با توجه به شکل ۷-۴ مراحل ۴ و ۵ نشان‌دهنده پایش غیرجبرانی مخاطرات کوتاه‌مدت و سازه‌ها است. پایش غیرجبرانی در واقع بررسی شرط لازم برای مخاطرات و سازه‌ها را برای حضور در مراحل بعد بر عهده دارد و ناظر بر پرسش‌نامه‌های اول و دوم شناسایی مخاطرات و سازه‌هایی است که از خبرگان به دست آمده است. در این مرحلهٔ ارزیابی نحوهٔ تأثیر انواع مخاطرات شناسایی‌شده بر بخش‌های مختلف سامانه‌های صنعت برق و مؤلفه‌های آن‌ها (شامل سازه‌ها و تجهیزات اصلی) مدنظر است. گروه‌های اصلی مخاطرات جوی به‌همراه مؤلفه‌های آن‌ها و همچنین سامانه‌های اصلی بخش‌های انتقال، تولید و توزیع بررسی می‌شوند. " سابقه یا پتانسیل وقوع به‌همراه خسارت جدی" موضوع مهمی است که در این قسمت به آن پرداخته می‌شود. میزان شدت، گستردگی و خسارات ناشی از مخاطرات جوی مختلف در سال‌های پیشین، متفاوت بوده است. در این پایش سعی بر آن است تا مخاطراتی که تاکنون در کشور مشکلات جدی را به وجود آورده‌اند، شناسایی گردند تا در ادامه به‌صورت ویژه بررسی شوند.

- **غربالگری و اولویت‌بندی بر اساس معیارهای جبرانی**

پایش جبرانی، آخرین مرحله از مراحل اولویت‌بندی مخاطره-سازه است که ناظر بر پرسش‌نامه سوم حاصل از خبرگان می‌باشد. مرحله ۸ از شکل ۷-۴ (نهایی‌سازی مخاطرات و اولویت‌بندی آن‌ها) مخاطره-سازه‌ها را بر اساس معیار جبرانی نهایی می‌کند. در این پایش با استفاده از معیارهای گفته‌شده لیست نهایی مخاطره-سازه‌ها استخراج می‌شود. مقصود از معیارهای جبرانی، معیارهای نهایی برای اولویت‌بندی زوج سازه-مخاطرات است. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از مراحل قبل و وزن معیارها هر زوج مخاطره با تحلیل داده‌ها با استفاده از روش‌های AHP یا ANP این زوج مخاطره-سازه‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

با توجه به شکل ۷-۴ (شماره ۹) برخی مخاطرات به‌صورت مستقیم وارد مرحله نهایی شده و به‌صورت ویژه بررسی می‌شوند. این مخاطرات به‌علت تأثیرات لحظه‌ای بزرگ در ابعاد اجتماعی و امنیتی اهمیت دارند. از جمله این حوادث می‌توان به طوفان گردوغبار بهمن‌ماه سال ۹۵ در اهواز اشاره کرد. در ساعت ۴.۳۰ صبح روز ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ ، بروز پدیده گردوغبار غلیظ توأم با مه باعث شده تا بیش از ۸۰درصد خطوط برق فشارقوی و به‌تبع آن خطوط فشارمتوسط و فشارضعیف در استان خوزستان از مدار خارج شود. این پدیده موجب قطع برق در ۱۱ شهر استان خوزستان همچون خرمشهر، آبادان، شادگان و اهواز و... شد.



شکل ۸-۴ : تصویری از طوفان بهمن ۹۵ اهواز

٤-۹-۱-۳- جامعیت معیارهای اولویت‌بندی

در مرحله ۷ از شکل ۷-۴ اولویت‌بندی مخاطره-سازه انجام می‌گیرد. در ابتدا هر مخاطره با توجه به اثر خود در صنعت برق به هر سازه مرتبط می‌شود و پس از آن به‌صورت زوج مخاطره-سازه بررسی می‌شوند. سپس اولویت‌بندی بر اساس معیارهای قسمت ۶ صورت می‌گیرد. برای آنکه مهم‌ترین مخاطرات شناسایی شود، می‌بایست این مخاطرات از لحاظ معیارهای مختلف مقایسه و اولویت‌بندی شوند. تأثیر مخاطرات مختلف بر سازه‌های صنعت برق را می‌توان از ابعاد مختلف (اقتصادی، فنی، زیست‌محیطی و ...) بررسی کرد و در هر بعد معیارهای مختلفی می‌تواند مطرح باشند. ابعاد و معیارهای بررسی در این مرحله در جدول زیر آمده است.

جدول ۳-۴: ابعاد و معیارهای جامع اولویت‌بندی مخاطرات

ردیف	ابعاد	معیار
۱	**اقتصادی**	میزان خسارات مستقیم (درون صنعت)
		میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی)
۲	**عمومی**	تعداد جمعیت تحت‌تأثیر
۳	**فنی**	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه
		مدت‌زمان بازگشت به وضعیت عادی
۴	**زیست‌محیطی**	آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت وقوع خرابی در تأسیسات

پس از نهایی‌سازی اولویت‌بندی با توجه به وجود داشتن یا نداشتن متولی پهنه‌بندی مخاطرات (شماره ۱۰و۱۱) و اطلاعات حاصل از آن‌ها اقدامات لازم برای ایجاد زیرساخت یا هماهنگی درون یا بیرون صنعت انجام می‌شود.

٤-١٠-پرسش‌نامه‌های اولویت‌بندی

برای دستیابی به اولویت‌بندی مخاطرات همان طور که در بخش قبل گفته شد نظر خبرگان این صنعت نیاز است. برای این منظور ۳ پرسش‌نامه توسط خبرگان به‌ترتیب زیر تکمیل شده است.

۱-پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت اول)(شناسایی مخاطرات)

۲-پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت دوم)(شناسایی معیارهای اولویت‌بندی)

۳-پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت سوم)(اولویت‌بندی مخاطرات بر اساس معیارها)

٤-١٠-١- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت اول)

در این پرسش‌نامه، ارزیابی نحوه تأثیر انواع مخاطرات شناسایی‌شده بر بخش‌های مختلف سامانه‌های صنعت برق و مؤلفه‌های آن‌ها (شامل سازه‌ها و تجهیزات اصلی) مدنظر می‌باشد. در جداول صفحات بعد، گروه‌های اصلی مخاطرات جوی به‌همراه مؤلفه‌های آن‌ها و همچنین سامانه‌های اصلی بخش‌های انتقال، تولید و توزیع ارائه شده‌اند. "سابقه یا پتانسیل وقوع به‌همراه خسارت جدی" موضوع مهمی است که در این پرسش‌نامه به آن پرداخته شده است.

٤-١٠-١-١-سابقه یا پتانسیل وقوع به‌همراه خسارت جدی

میزان شدت، گستردگی و خسارات ناشی از مخاطرات جوی مختلف در سال‌های پیشین، متفاوت بوده است. در این پرسش‌نامه سعی بر آن بوده تا مخاطراتی که تاکنون در کشور مشکلات جدی را به وجود آورده‌اند، شناسایی گردند تا در ادامه به‌صورت ویژه بررسی شوند. لازم به ذکر است در جداول مربوط به این بخش، با توجه به تجارب خبره محترم، اگر پتانسیل وقوع خسارت در مخاطره مدنظر وجود داشته ولی سابقه‌ای مشخص در این زمینه در کشور یافت نگردیده است، آیتم مدنظر جز سوابق و پتانسیل خسارت در نظر گرفته شده است.

٤-١٠-١-٢-سابقه وقوع مخاطرات جوی

در جدول زیر از خبره محترم خواسته شده که اگر مخاطره جوی دارای سابقهٔ وقوع همراه با خسارت در سامانه مربوطه در کشور بوده است، با علامت √ و در غیر این صورت با علامت × مشخص گردد. (در صورت بی‌اطلاعی، خانه مربوط خالی و بدون علامت گذاشته می‌شود)

جدول ۴-۴ : بررسی سابقه وقوع و میزان خسارت مخاطرات جوی بر سازه‌ها

		بارش									باد			آلودگی			دما		
		باران سنگین	سیلاب	برف سنگین	بهمن	یخ جوی	باران اسیدی	تگرگ	رعدوبرق	مه	رطوبت	باد و طوفان	طوفان گردوغباری	بوران برف	آلودگی هوا	ریزگرد	تابش فرابنفش	امواج دمایی	خشکسالی	یخبندان
تولید	نیروگاه بخار																			
	نیروگاه گازی																			

	نیروگاه ترکیبی																			
	نیروگاه هسته‌ای																			
	نیروگاه برق‌آبی																			
	نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای																			
	نیروگاه (توربین) بادی																			
	نیروگاه خورشیدی																			
	نیروگاه زمین‌گرمایی																			
	نیروگاه جذر و مدی																			
انتقال	پست زمینی																			
	خط هوایی																			
	خط زمینی																			
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی																			
	پست هوایی																			
	خط هوایی																			
	خط زمینی																			

٤-١٠-٢- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات (قسمت دوم)

در این پرسش‌نامه، تلاش بر این بوده تا با توجه به لیست تهیه‌شده از معیارها، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و صاحب‌نظران، معیارها نهایی شوند. از خبره محترم خواسته شده تا موافق بودن یا نبودن خود را در رابطه با استفاده از هریک از معیارهای پیشنهادی جهت اولویت‌بندی مخاطرات، در ستون مربوطه با علامت √ مشخص نماید. چنانچه معیار(های) دیگری را در نظر داشته که از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد و در جدول زیر بیان نشده، در قسمت "سایر" یادداشت کند.

جدول ۵-۴: بررسی معیارهای اولویت‌بندی مخاطرات

ردیف	ابعاد	معیار	موافقت	عدم موافقت
۱	اقتصادی	میزان خسارات مستقیم (درون صنعت)		
		میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی)		
۲	عمومی	تعداد جمعیت تحت‌تأثیر		
۳	فنی	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه		
		مدت‌زمان بازگشت به وضعیت عادی		
۴	زیست‌محیطی	آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت وقوع خرابی در تأسیسات		
۵	سایر			

٤-۱۰-۳- پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات- تجهیزات (قسمت سوم)

٤-۱۰-۳-۱-جدول بررسی وزن هر معیار

معیارهای که در پرسش‌نامه‌های پیشین نهایی شده‌اند به‌عنوان معیارهای اصلی در این پرسش‌نامه معرفی و علاوه بر وزن هر معیار وضعیت مخاطرات-تجهیزات اصلی شناسایی‌شده در قسمت‌های پیشین نیز نسبت به آن‌ها تعیین می‌شود. در این پرسش‌نامه از خبره محترم خواسته شده تا اهمیت هریک از معیارهای زیر را با اعداد ۱ تا ۱۰ مشخص نماید.

(۱: بسیار کم‌اهمیت- ۱۰: بسیار پراهمیت)

جدول ۶-۴ : بررسی وزن معیارهای اولوبت‌بندی مخاطرات

ردیف	ابعاد	معیارهای ارزیابی	وزن هر معیار (۱ تا ۱۰)
۱	اقتصادی	میزان خسارات مستقیم (درون صنعت)	
۲		میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی)	
۳	عمومی- اجتماعی	تعداد جمعیت تحت‌تأثیر	
۴	فنی	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه	

۵		مدت‌زمان بازگشت به وضعیت عادی	
۶		امکان وقوع بلک اوت[1] در شبکه	
۷	زیست‌محیطی	آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت وقوع خرابی در تأسیسات	

۴-۱۰-۳-۲-بررسی وضعیت مخاطرات-تجهیزات اصلی شناسایی‌شده در قسمت‌های پیشین با توجه به معیارها

در این بخش مخاطرات-تجهیزات اصلی انتخاب‌شده در پرسشنامه‌های پیشین در جدول زیر آورده شده است (خانه‌هایی که با علامت هاشور مشخص شده‌اند جزء مخاطرات-تجهیزات اصلی، شناسایی‌نشده و حذف‌شده‌اند). در این پرسش‌نامه از خبره محترم خواسته شده تا در هر خانه با تعیین عددی بین ۱ تا ۱۰ وضعیت هر مخاطره-تجهیز را نسبت به معیار مدنظر مشخص کند. (۱: بسیار کم‌اهمیت- ۱۰: بسیار پراهمیت).

در این پرسش‌نامه از خبره محترم خواسته شده تا برای هریک از سؤالات زیر جدولی مانند جدول زیر را تکمیل کند.

۱ میزان خسارت مستقیم (درون صنعت) بر اثر مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۲ میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی مثل قطع برق بخش‌های تولیدی، صنعتی و خدماتی بزرگ) بر اثر مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۳ تعداد جمعیت تحت‌تأثیر ناشی از اثر مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۴ میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه ناشی از اثر مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۵ مدت‌زمان بازگشت به وضعیت عادی بر اثر وقوع مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۶ امکان وقوع بلک اوت در شبکه ناشی از اثر مخاطرات جوی بر تجهیزات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۷ آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت مخاطرات جوی و وقوع خرابی در تأسیسات چقدر است؟(۱ تا ۱۰)

جدول ۷-۴: بررسی زوج مخاطرات جوی و سازه‌های اصلی

		بارش										باد			آلودگی			ما		
		باران سنگین	سیلاب	برف سنگین	بهمن	یخ جوی	باران اسیدی	تگرگ	رعدوبرق	مه	رطوبت	باد و طوفان	طوفان گردوغباری	بوران برف	آلودگی هوا	ریزگرد	تابش فرابنفش خورشید	امواج دمایی	خشکسالی	یخبندان
تولید	نیروگاه بخار																			
	نیروگاه گازی																			

[1] blackout

	نیروگاه ترکیبی																				
	نیروگاه هسته‌ای																				
	نیروگاه برق‌آبی																				
	نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای																				
	نیروگاه (توربین) بادی																				
	نیروگاه خورشیدی																				
	نیروگاه زمین‌گرمایی																				
	نیروگاه جذر و مدی																				
انتقال	پست زمینی																				
	خط هوایی																				
	خط زمینی																				
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی																				
	پست هوایی																				
	خط هوایی																				
	خط زمینی																				

٤-١٠-٣-٣-بررسی وضعیت مخاطرات-تجهیزات اصلی شناسایی‌شده در قسمت‌های پیشین با توجه به معیار فراگیری

معیار "فراگیری" بیان‌کننده شدت اثر و حوزه اثرگذاری مخاطره، تأثیر آن در اعتبار عمومی صنعت برق نزد جامعه و تبعات سیاسی‌اجتماعی همراه آن می‌باشد و مخاطرات-تجهیزاتی که بر اساس این معیار فراگیرتر هستند به‌طور مستقیم وارد اولویت اصلی می‌شوند. در این بخش از خبره محترم خواسته شده تا در جداول زیر ۵ مخاطره-تجهیز اصلی با بیشترین فراگیری و شدت اثر را مشخص نماید.

جدول ۸-۴: استخراج مخاطرات جوی اصلی با توجه به فراگیری و پایش لحظه‌ای

		بارش										باد			آلودگی			دما		
		باران سنگین	سیلاب	برف سنگین	بهمن	یخ جوی	باران اسیدی	تگرگ	رعدوبرق	مه	رطوبت	باد و طوفان	طوفان گردوغباری	بوران برف	آلودگی هوا	ریزگرد	تابش فرابنفش خورشید	امواج دمایی	خشکسالی	یخبندان
تهدید	نیروگاه بخار																			

	نیروگاه گازی																			
	نیروگاه ترکیبی																			
	نیروگاه هسته‌ای																			
	نیروگاه برق‌آبی																			
	نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای																			
	نیروگاه (توربین) بادی																			
	نیروگاه خورشیدی																			
	نیروگاه زمین‌گرمای ی																			
	نیروگاه جذر و مدی																			
انتقال	پست زمینی																			
	خط هوایی																			
	خط زمینی																			
توزیع	پست زمینی و زیرزمینی																			
	پست هوایی																			
	خط هوایی																			
	خط زمینی																			

٤-١١-تعیین راهبردهای اولویت‌بندی مخاطرات طبیعی

در این قسمت راهبردهایی که برای دستیابی به اهداف نیاز هستند اتخاذ خواهند شد. مسئله مهم دربارهٔ راهبردها این است که راهبردها خطوط اصلی رسیدن به اهداف هستند. راهبرد اولویت‌بندی مخاطره-سازه‌ها جهت تعیین اقدامات و اهداف سند انجام می‌گیرد. اولویت‌بندی با توجه به نظرات خبرگان در چند مرحله صورت گرفته است. این اطلاعات بر اساس خروجی به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه بخش گذشته به دست آمده است. لازم به ذکر است به‌منظور تدقیق و اصلاح برخی از نتایج حاصل از اولویت‌بندی صورت‌گرفته از طریق پرسش‌نامه سلسله جلساتی با خبرگان مختلف برگزار گردید و بر این اساس اولویت‌بندی نهایی انجام گردید.

٤-١١-١- تحلیل پاسخ خبرگان

پرسش‌نامه اولویت‌بندی مخاطرات-تجهیزات به اساتید و خبرگان حوزه صنعت برق در پژوهشگاه نیرو تحویل داده شد. اسامی افراد در جدول زیر آمده است.

جدول ۹-۴: اطلاعات خبرگان

ردیف	مسئولیت	نام و نام خانوادگی
۱	عضو هیئت علمی	محمدعلی جعفری
۲	مدیر گروه پژوهشی	مجید رضایی
۳	مجری طرح	علیرضا رهنورد
۴	عضو هیئت علمی	عباس بحری
۵	کارشناس	داود محمدی
۶	هیئت علمی دانشگاه	رضا کریمی محمدی
۷	مشاور معاون مهندسی	حمیدرضا تقوی‌منش
۸	مدیر بخش تخصصی خطوط انتقال	مجید روستایی
۹	مدیر پروژه‌های شرکت مهندسین مشاور نیرو	حسین جلالی فراهانی
۱۰	رئیس گروه	مجتبی علیرضاپور
۱۱	کارشناس پژوهشی	علی‌اصغر ذکاوتی
۱۲	رئیس گروه مهندسی و نظارت ساختمان	احسان تبوزاده
۱۳	مدیر گروه	مجتبی گیلوانژاد
۱۴	مدیر گروه ساختمان	میر سهیل ضیابری
۱۵	معاون مدیرعامل در قدس نیرو	حسین بختیاری‌زاده
۱۶	مدیرکل	ساعدراعی

به هریک از افراد با شاخص‌هایی از جمله سابقه کار و میزان تخصص و... وزن خاصی داده شد.

٤-١١-١-١-تحلیل میزان ارزش معیارهای اولویت‌بندی

در قسمت اول از پرسش‌نامه اولویت‌بندی از خبره خواسته شده تا میزان اهمیت معیارها را مشخص کند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نمودار معیارهای اولویت‌بندی به‌ترتیب اولویت زیر می‌باشند:

۱- اقتصادی: میزان خسارت غیرمستقیم(تأثیر بر اقتصاد ملی)-۱۷٪

۲- عمومی و اجتماعی: تعداد جمعیت مؤثر-۱۹٪

۳- فنی:مدت‌زمان بازگشت به وضعیت عادی-۱۹٪

۴- اقتصادی: میزان خسارت مستقیم (درون صنعت)-۱۶٪

۵- فنی: میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه۱۶٪

٦- زیست‌محیطی: آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت وقوع خرابی در تأسیسات۱۳٪

٤-١١-١-٢-نتایج اولویت‌بندی مخاطره-سازه در بخش زمینی

با توجه به وزن معیارهای به‌دست‌آمده زوج مخاطرات و سازه‌ها توسط نرم‌افزار و با تحلیل **AHP** که در بخش اول به‌طور کامل شرح داده شد تحلیل شد. نتیجه اولویت‌بندی در بخش مخاطرات زمینی و سه حوزه تولید، انتقال و توزیع ارزیابی شد. نتایج حاصل از این فرایند در جداول زیر نشان داده شده است.

جدول نهایی نتایج اولویت‌بندی مخاطره-سازه‌های در بخش زمینی و در ۳ بخش تولید، انتقال، توزیع به شکل زیر به دست آمده است. (لازم به ذکر است با توجه به اینکه نیروگاه‌های هسته‌ای و برق آبی در محدوده این طرح قرار نمی‌گیرند از اولویت خارج شده‌اند)

جدول ۱۰-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (تولید)

ردیف	مخاطره	سازه
۱	زمین لرزه	**نیروگاه ترکیبی**
۲	زمین لرزه	**نیروگاه گازی**
۳	زمین لرزه	**نیروگاه بخار**
۴	خاک‌های فروریزشی و متورم شونده	**نیروگاه (توربین) بادی**

جدول ۱۱-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (انتقال)

ردیف	مخاطره	سازه
۱	خاک‌های خورنده	**خط زمینی(انتقال)**
۲	خاک‌های خورنده	**پست زمینی(انتقال)**
۳	خاک‌های فروریزشی و متورم شونده	**خط زمینی(انتقال)**
۴	خاک‌های فروریزشی و متورم شونده	**پست زمینی(انتقال)**
۵	خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی	**خط زمینی(انتقال)**
۶	خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی	**پست زمینی(انتقال)**
۷	خاک‌های واگرا و رسهای حساس	**خط زمینی(انتقال)**
۸	خاک‌های واگرا و رسهای حساس	**پست زمینی(انتقال)**

جدول ۱۲-۴: ترتیب اولویت مخاطره-سازه‌های حوزه جوی (توزیع)

ردیف	مخاطره	سازه
۱	خاک‌های خورنده	**خط زمینی(توزیع)**
۲	خاک‌های خورنده	**پست زمینی و زیرزمینی(توزیع)**
۳	خاک‌های فروریزشی و متورم شونده	**خط زمینی(توزیع)**

۴	خاک‌های فروریزشی و متورم شونده	**پست زمینی و زیرزمینی(توزیع)**
۵	خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی	**خط زمینی(توزیع)**
۶	خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی	**پست زمینی و زیرزمینی(توزیع)**
۷	خاک‌های واگرا و رسهای حساس	**خط زمینی(توزیع)**
۸	خاک‌های واگرا و رسهای حساس	**پست زمینی و زیرزمینی(توزیع)**

این جداول با پرسش‌نامه به‌دست‌آمده از خبرگان این حوزه تهیه شده است. با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده و اولویت‌بندی صورت‌گرفته اقدامات و پروژه‌ها باید متناسب با این اطلاعات انجام شود. این اولویت‌بندی می‌تواند با مصاحبه از خبرگانی که در سطوح کلان حوزه صنعت برق مشغول به فعالیت هستند تکمیل و مستحکم شود. به‌همین علت در پرسش‌نامه جهت تعیین اقدامات مجدد این اولویت‌بندی بازبینی شده و از خبرگان خواسته شده تا نظرات خود را راجع به این موضوع بدهند. و طی جلساتی که با خبرگان مختلف برگزار گردید نتایج نهایی اولویت‌بندی و راهبرد به‌شرح ذیل تدقیق گردید:

- راهبردهای شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور:

۱- **شکل‌دهی نظام مدیریت مخاطره‌سازه‌های راهبردی صنعت برق**

۲- **اولویت‌های کسب دانش فنی و پهنه‌بندی مخاطرات در سه حوزه تولید، انتقال و توزیع عبارت‌اند از:**

حوزه انتقال:

۱- زلزله (پست)
۲- فرونشست (خط و پست)
۳- زمین لغزش

حوزه توزیع:

۱- زلزله
۲- فرونشست زمین

حوزه تولید:

۱- زلزله (نیروگاه های حرارتی)
۲- فرونشست (نیروگاه های حرارتی)
۳- زمین لغزش (توربین بادی)

DOI:

فصل پنجم

۵- تدوین برنامه اقدامات کلان

۵-۱-تعاریف و مفاهیم سیاست‌گذاری

پیش از شناسایی چالش‌های پیش روی، تبیین سیاست‌ها و اقدامات فنی نیاز است تا ادبیات این حوزه مورد بررسی قرار گیرد و بر اساس آن مدل استفاده در این پروژه مشخص گردد. بر این اساس در این بخش ادبیات مورد استفاده در این گزارش مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای سیاست یا خط‌مشی تعاریف متعددی ارائه‌شده است. در اینجا به‌عنوان نمونه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود:

- سیاست عبارت است از تصمیم بسیط و از پیش‌گرفته شده‌ای که برای هدایت یا جایگزینی تصمیم‌گیری‌های تکراری در مدیریت بکار برده می‌شود.
- سیاست نوعی تصمیم است؛ تصمیمی اولیه، کلی، بنیادی و فراگیر که پس از جمع‌بندی افکار و تصمیمات فراوان دیگر اتخاذ می‌شود. سیاست یک تصمیم عام است و درعین‌حال با تصمیمات جزئی رابطه همپوشانی دارد. این دو باید مؤید یکدیگر باشند. به‌عبارت‌دیگر، باید در طول و نه در عرض یکدیگر باشند.
- سیاست، قاعده کلی اجرای عملیات است و به مدیریت ویژگی عملی داده، آن را از حوزه نظری و ذهنی به حوزه عملیاتی وارد می‌کند.
- سیاست، قانون انتخاب یا گزینش راه و سپس اتخاذ تصمیم است.
- سیاست، حاصل و نتیجه مطالعات و تصمیم‌های مدیران عالی سازمان و جامعه برای تخصیص منابع و امکانات با آینده‌نگری‌های معقول است.

با در نظر داشتن این تعاریف موجود در ادبیات، سیاست‌های کلان را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود:

سیاست‌های کلان سیاست‌هایی هستند که با داشتن رویکردی تنظیم گرا، به دنبال بهبود شرایط کلان اقتصادی اجتماعی بدون توجه به ملاحظات فناورانه خاص است. این سیاست‌ها دارای اثرگذاری بر کلیه حوزه‌ها و بخش‌های نظام توسعه فناوری بوده و به فراهم آوری بسترهای لازم جهت پیاده‌سازی، انسجام و کارایی راهبردهای فناوری اتخاذشده کمک می‌کند. نتیجه این حمایت، تسهیل توسعه فناوری است. به‌منظور روشن‌تر شدن جایگاه سیاست‌های کلان در میان سایر حوزه‌های سیاستی که در ادبیات به کار می‌رود، لازم است تا در اینجا تعاریف مختصری از سیاست صنعتی و سیاست فناوری ارائه گردد:

اولین مفهوم سیاست صنعتی است. سیاست صنعتی عبارت است از تمام انواع مداخلات دولت که به صورتی هماهنگ و آگاهانه برای تسهیل فرآیند توسعه صنعتی در سطح ملی انجام می‌شود. هر دخالتی در بازارهای سرمایه، نیروی کار، مهارت و فناوری یا ایجاد تغییرات نهادی که موجب تقویت توسعه صنعتی می‌شود، سیاست صنعتی تلقی می‌شود. این دخالت‌ها از جانب دولت و در سطح ملی به وقوع می‌پیوندد. سیاست صنعتی با تعابیر و معانی متفاوتی در ادبیات موجود به کار رفته است. زمانی که جهت‌گیری "بازاری" صنایع (جهت‌گیری درونی یا بیرونی) موردنظر بوده، سیاست صنعتی به سیاست تجاری تقلیل یافته است. در برخی از موارد نیز سیاست صنعتی به معنای تعیین اولویت در صنایع است. سیاست صنعتی در قالب سه نوع سیاست افقی، عمودی و کارکردی تقسیم‌بندی می‌شود. مشخص است که این تعریف بسیار عام بوده و درمجموع شامل تمامی راهبردها و سیاست‌های کلان می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در تعریف سیاست صنعتی، هرگاه سیاست عمودی یا تعیین اولویت در

صنایع مدنظر است، با توجه به تعاریف معمول، منظور راهبرد توسعه صنعتی است، و هرگاه سیاست افقی یا کارکردی مدنظر است، منظور سیاست‌های کلان است.

دومین مفهوم سیاست فناوری است. بر اساس تعریف موری[1] (۱۹۹۵)، سیاست فناوری را باید به‌صورت سیاست‌هایی تعریف کرد که مقصود آن‌ها تأثیرگذاری بر تصمیمات شرکت‌ها در مورد توسعه، تجاری‌سازی یا اتخاذ فناوری‌های جدید است. به اعتقاد وی، قصد یا نیت در این تعریف مهم است، زیرا دامنه‌ی سیاست‌هایی که بر تصمیمات شرکت‌ها در مورد نوآوری و اتخاذ فناوری‌ها تأثیر می‌گذارند، شامل سیاست‌های اقتصاد کلان، سیاست‌های تنظیمی و سایر ابزارهای اجرای سیاست‌ها نیز می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این تعریف سیاست فناوری سیاست‌هایی هستند که بر اتخاذ، تطابق، اشاعه، توسعه، تولید و تجاری‌سازی دانش فناورانه تأثیر دارند.

در کنار این دو مفهوم، مفهوم سیاست‌های کلان قرار می‌گیرند که ماهیتی متمایز از دو تعریف ارائه‌شده دارند. سیاست‌های کلان مفهومی نزدیک به راهبردها است. راهبرد، راه رسیدن به اهداف تعیین شده است. این راه در حقیقت منتخبی از گزینه‌های جایگزین است. عملکرد یک راهبرد با میزان محقق شدن هدف مذکور سنجیده می‌شود. در طرف مقابل، سیاست چارچوبی است که کیفیت رسیدن به هدف را تعریف می‌کند. این چارچوب دربرگیرنده‌ی ملاحظات لازم در طراحی و اجرای راهبردهای توسعه است. این ملاحظات مشتمل بر اهداف کلان تعیین‌شده ازیک‌طرف و اصول تدوین سیاست از طرف دیگر است. سیاست‌های کلان با ارائه‌ی راهنماهای کلی بر مبنای این ملاحظات، ۱) به یکپارچگی و رفع تناقضات راهبردها در مسیر دستیابی به اهداف کمک می‌کند، ۲) مسیر اجرای راهبردها را تسهیل می‌کند، ۳) به‌عنوان یک راهنما در جهت‌دهی به راهبردها نقش ایفا می‌کند

۲-۵-ویژگی‌ها و اصول تدوین سیاست‌های کلان

به‌منظور اطمینان حاصل کردن از اثرگذاری سیاست‌های کلان، لازم است تا از رهنمون‌هایی به هنگام طراحی این سیاست‌ها استفاده شود. در حقیقت این‌ها ویژگی‌هایی هستند که سیاست‌های کلان باید با درنظرگرفتن آن‌ها طراحی شوند: [۷۰۰]

دارا بودن هدف‌های کلی و فراگیر: هدف‌های کلی، بخش اصلی سیاست‌های کلان را تشکیل می‌دهند و تصمیم‌گیرندگان در انتخاب سیاست‌ها، از آن‌ها بهره فراوان می‌برند. به‌عنوان‌مثال اهدافی چون استقلال و آزادی، حفظ تمامیت ارضی کشور، توسعه اقتصادی و غیره در سیاست‌های کلان، اجزای اصلی و عمده را تشکیل می‌دهند.

تعیین حدومرز سایر ابعاد ارکان جهت ساز و نیز برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان باید تعیین‌کننده حدومرز سایر ابعاد توسعه باشند. به‌عبارت‌دیگر، باید حیطه ارکان جهت ساز و خرد در سیاست‌های کلان معین شود.

[1] Mowery

تعیین اولویت زمانی برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان، تعیین‌کننده اهداف زمانی سایر ابعاد توسعه می‌باشند. این بعد سیاست کلان، مشخص می‌کند که چه بخش‌هایی از برنامه اقدامات و سیاست‌ها باید بلافاصله عملی گردند و چه بخش‌هایی باید به‌مرورزمان به انجام رسند. به‌عبارت‌دیگر، سیاست‌های کلان، تعیین‌کننده زمان مناسب‌تری است که باید اقدامات و سیاست‌های اجرایی در آن زمان اجرا گردند. در این راه مسائلی مانند حساسیت‌های سیاسی، بحرانی بودن اوضاع اجتماعی، احتیاج فوری به برآوردن یک نیاز و آماده نمودن جامعه برای پذیرش بعضی از مسائل، بر مهلت زمانی اولویت‌ها و برنامه‌ها تأثیر می‌گذارد.

تعیین میزان ریسک‌پذیری: این جنبه از سیاست‌های کلان، میزان مخاطره و ریسکی را معین می‌سازد که در ارکان جهت ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها می‌تواند موردقبول باشد. این خصوصیات سیاست‌ها به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا میزان معقول ریسک را در برنامه‌های موردنظر خود دریابند. مسلماً برنامه‌های توسعه‌ای که تغییرات عمده‌ای را در بردارند، نسبت به برنامه‌هایی که هدفشان تغییرات جزئی است مخاطره بیشتری را به دنبال خواهند داشت.

طراحی پیش‌فرض‌های مربوط به آینده: مسلماً وضعیت فعلی قابل‌تعمیم به بسیاری از شرایط آتی نخواهد بود و خط‌مشی‌های آینده، باید خصوصیات خاص زمانی خود را داشته باشد. در این وجه از خط‌مشی‌های فراگیر، پیش‌فرض‌هایی که در مورد آینده طراحی شده است و خط‌مشی‌های عمومی که باید از آن‌ها تبعیت کنند، مشخص می‌گردند.

ایجاد بنیادهای نظری برای تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌ها: سیاست‌های کلان می‌توانند دربرگیرنده بنیادهای نظری سایر جهت‌گیری‌های باشند. نظریه‌های سیاسی، تئوری‌های مدیریت، تئوری‌های رفتاری و سایر تئوری‌های مربوط، می‌توانند اساس توسعه فناوری در سطوح خردتر را تشکیل دهند و در سیاست‌های کلان بیان شوند.

پایداری سیاست‌ها: یکی از خصوصیات عمده ارکان جهت‌ساز، عمر نسبتاً طولانی آن است. سیاست‌های کلان باید به‌گونه‌ای طراحی و وضع شوند که از انعطاف کافی برخوردار بوده، پویایی لازم را حفظ کنند و زمان نسبتاً درازی، قابلیت کاربرد و استفاده داشته باشند. سیاست‌های کلان باید بتواند با محیط متغیر و متحول افراد خود تطبیق یافته، به نیازهای گوناگون در طول زمان پاسخ دهد. همچنین بر طبق این اصل، مداخله‌ی موقت دولت نسبت به مداخله‌ی آزاد ارجحیت دارد. اقدامات حمایتی تنها باید زمانی انجام گیرد که تأثیرات بلندمدتی فراتر از زمان اقدامات حمایتی داشته باشد. اساساً مداخلاتی منجر به پایداری در یک نظام می‌شود که فارغ از کنترل کامل بر تمام ابعاد توسعه، بر دخالت راهبردی دولت‌ها تأکید دارد. بنابراین در کلیه برنامه‌ریزی‌ها لازم است تا از این اصل در قالب سیاست‌های کلان استفاده شود.

آینده‌نگری، واقع‌بینی: سیاست‌های کلان به آینده نظر دارند و می‌کوشد تا با توجه به واقعیت‌های موجود، خطوط کلی و جهت‌گیری‌های اساسی مسیر توسعه فناوری را معین سازند. بنابراین، قدرت پیش‌بینی در تعیین این سیاست‌ها نقش مهمی را ایفا می‌کند و پیش‌بینی‌های صحیح، به آن‌ها اعتبار می‌بخشند. سیاست‌های کلان در آینده‌نگری باید واقعیت‌های زمان و مکان را در نظر بگیرند و از بزرگ‌دیدن یا نادیده‌انگاشتن امکانات موجود، بر حذر باشند.

هدف‌داری: یکی دیگر از خصوصیات سیاست‌های کلان، هدف‌دار بودن آن است، سیاست‌های کلان به‌طور ارادی و از روی قصد و نیت قبلی، تنظیم و وضع می‌گردند و هدف معینی را دنبال می‌کنند. بنابراین این سیاست‌ها، موضوعاتی اتفاقی و تصادفی نیستند و رسوم و آداب و عادات اجتماعی، محتوای آن‌ها را تشکیل نمی‌دهد. اگرچه این عوامل در شکل‌گیری آن‌ها تأثیر فراونی دارد.

توجه به توسعه شبکه و مراکز توانمندی: توسعه شبکه و مراکز توانمندی می‌تواند باعث افزایش کارایی نظام ملی نوآوری گردد. طبق این مفهوم، هر کنش‌گر در نظام ملی نوآوری یک کشور می‌تواند به‌عنوان یک مرکز توانمندی عمل کند که شرکت‌های نوآور، سازمان‌های تحقیقاتی، و نهادهای دولتی را به‌هم ارتباط می‌دهد. توجه ویژه در دهه اخیر بر مفهوم شبکه و شبکه‌سازی برای خلق و انتشار نوآوری نیز مؤید همین مطلب است. بر همین اساس، لازم است تا سیاست‌هایی در سطح کلان وجود داشته باشند که بر این مفهوم به‌عنوان یک اصل مهم که در کلیه اقدامات و برنامه‌ها و اقدامات بر آن توجه شود، در نظر گرفته شود.

اصل سازمان‌های تحقیقاتی یادگیرنده: این اصل بر این موضوع تأکید دارد که سازمان‌های تحقیقاتی نیازمند میزان قابل‌ملاحظه‌ای انعطاف‌پذیری سازمانی و مدیریتی برای پردازش تجارب کسب‌شده و اطلاعات جدید و برآورده ساختن اهداف تحقیق که طی توسعه اقتصادی تغییر می‌کنند، می‌باشند. بر این اساس، کلیه کنش‌گران لازم است تا از انعطاف‌پذیری بالا در محیط توسعه فناوری برخوردار باشند. این انعطاف‌پذیری را می‌توان ابزاری برای غلبه بر اینرسی و لختی به وجود آمده از نظام‌های فنی و اجتماعی موجود به شمار آورد. در صورت وجود این اینرسی، کلیه اقدامات و برنامه‌ها در سطوح پایین‌تر بدون نتیجه باقی خواهد ماند و تغییر در ماهیت کلان نظام به‌وجود نمی‌آید. بنابراین ضرورت وجود سیاست‌های کلانی که با رعایت این اصل با ترویج انعطاف‌پذیری بر اینرسی موجود غلبه نمایند احساس می‌شود.

اصل رقابت: رقابت مستلزم این است که دولت‌ها از چارچوب‌های قانونی و تنظیمی مبتنی بر بازار برای بهبود رقابت بین کنش‌گران نظام نوآوری ملی استفاده نمایند. تمرکز بر این چارچوب‌های مبتنی بر بازار بیشتر نگاهی است که در مکتب اقتصادی نئوکلاسیک بر آن تأکید می‌گردد. اما از نگاه سایر مکاتب اقتصادی (مانند نهادگرا)، اتکا تنها بر شکل‌دهی به بازار در شرایطی که زیرساخت‌هایی ابتدایی و بنیادین نوآوری ضعیف است، شاید نتواند برآورده‌کننده شرایط رقابت کامل باشد. بنابراین رقابت برای ایجاد شرایط نوآوری (نه فقط تنظیم بازار) می‌تواند موضوع سیاست‌های کلان باشد.

اصل سازمان‌های تحقیقاتی ناب: این اصل بر دوری جستن از مشکلات بروکراتیک تأکید دارد. خصوصاً رویه‌های اداری وقت‌گیر که مانع تحقیق، بهره‌برداری، و کاربرد نتایج تحقیق می‌شود.

اصل ارزیابی مستمر: گذشت زمان منجر به ایجاد تغییرات در محیط توسعه فناوری می‌گردد. این تغییرات ضرورتی برای بازنگری در اهداف و اقدامات به‌وجود می‌آورند. بر این اساس، در قالب سیاست‌های کلان ضروری است تا بر مفهوم تغییر و پویایی که جزء جدایی‌ناپذیر محیط توسعه است، تأکید گردد.

اصل تکمیل‌کنندگی: توانایی سطوح مختلف دولت در حل مشکلات، تعیین‌کننده‌ی نحوه‌ی تخصیص توانمندی‌های سیاستی و مسئولیت‌های دولتی می‌باشد. بنابراین، هر واحد تصمیم‌گیری سیاستی تنها برای وظایفی مسئولیت نشان می‌دهد که نمی‌تواند توسط نهادهای دولتی یا خصوصی زیردست برعهده گرفته شود. با تحقق اصل تکمیل‌کنندگی، اقدامات بخش خصوصی تقویت خواهد شد.

۵-۳-فرآیند تدوین سیاست‌ها

عملیاتی است که بر روی ورودی‌های چارچوب ارائه‌شده صورت گرفته و آن‌ها را به سیاست‌های کلان تبدیل می‌کند. این عملیات عمدتاً مبتنی بر انجام تحلیل‌های تعاملی[1] میان تحلیل‌گران است. در اینجا فعالیت‌ها بیشتر در جهت مذاکره، ایجاد ائتلاف و درک مشترک می‌باشد. باید در نظر داشت که دو بعد راهبردهای کلان و سیاست‌های کلان جایگزین یکدیگر نبوده، بلکه تکمیل‌کننده یکدیگرند.

خروجی این چارچوب، سیاست‌هایی کلان تنظیم‌گر برای تسهیل فرآیندهای توسعه فناوری است. این سیاست‌ها، سیاست‌هایی قابل‌انعطاف هستند. به‌عبارت‌دیگر، طی زمان و با توجه به یادگیری، تغییر و تطابق با محیط پیرامون، سیاست‌های کلان هم در بلندمدت دستخوش تغییر می‌شوند. به‌طورکلی سیاست‌ها مقوله‌ای مرتبط با آینده هستند. اگر آینده به‌طور دقیق قابل پیش‌بینی بود، سیاست‌های ارجح می‌توانستند از طریق بررسی آینده‌های ممکن حاصل از اجرای هر سیاست و انتخاب مطلوب‌ترین نتایج تعیین شوند. برای بیشتر سیستم‌های موردتوجه امروز، چنین پیش‌بینی‌هایی ممکن نیست. حتی بهترین مدل‌ها نیز نمی‌تواند جزئیات رفتار سیستم را پیش‌بینی نماید. بنابراین رویکرد کلاسیک انتخاب یک سیاست بر مبنای نتایج یک مدل بهترین تخمین دیگر نمی‌تواند معتبر باشد. با توجه به اینکه سیاست‌ها باید نوعاً طی زمان اجرا و تغییر یابند، سیاست‌های مبتنی بر تحلیل ایستا در یک نقطه از زمان بسیار غیرواقع‌بینانه خواهد بود. بنابراین، استعاره مناسب برای یک سیاست تعادل است تا بهینه‌سازی. بسیاری از سیاست‌ها باید علی‌رغم وجود عدم اطمینان درباره آینده تدوین شوند. هنگامی‌که تعدادی زیادی سناریو ممکن برای آینده وجود دارند، ایجاد یک سیاست واحد که در تمامی آن‌ها خوب عمل کند احتمال غیرممکن خواهد بود. [۷۰۱]

۵-٤-ادبیات ارزیابی نظام نوآوری فناورانه

جهت‌گیری‌های پشتیبان مشتمل بر تمامی اهداف، راهکارها و سیاست‌هایی هستند که به‌منظور محقق‌نمودن چشم‌انداز و در راستای جهت‌گیری‌های کلان سند راهبردی طراحی می‌شوند. در حقیقت این جهت‌گیری‌ها را می‌توان راه‌های میانی و خرد برای دستیابی به اهداف توسعه فناوری دانست. در ادامه تلاش می‌شود تا روشی برای طراحی اجزای جهت‌گیری‌های پشتیبان ارئه شود. اما قبل از آن نیاز است تا با مرور ادبیات، روش‌هایی که می‌تواند در طراحی این اجزا استفاده شود، صورت پذیرد. در جهت‌گیری‌های پشتیبان، به‌دلیل معین‌بودن چهارچوب کلی فرایند توسعه (اهداف کلان و راهبردها) از مرحلهٔ قبل، بسترسازی برای عبور موفق از این مسیر موضوع محوری می‌باشد. با توجه به موضوع تحت مطالعه که فناوری‌های راهبردی است، "نوآوری" و فراهم‌آوردن شرایط "ایجاد، گسترش و به‌کارگرفتن آن"، به‌عنوان اساسی‌ترین بسترساز در مسیر توسعه فناوری قلمداد می‌شود. بر این اساس، آنچه که قرار است در جهت‌گیری‌های پشتیبان یک سند ملی دنبال شود، مهیاکردن بستری برای

[1] Interactive analysis

خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری، به‌منظور محقق‌نمودن جهت‌گیری‌های کلان اتخاذشده در مسیر توسعه یک فناوری راهبردی است. [۶۹۳]

۵-۵-مرور ادبیات سیاست نوآوری

دولت‌ها به‌منظور تسهیل در ایجاد نوآوری به انجام اقداماتی مبادرت می‌ورزند. مجموعهٔ این اقدامات که از جانب بخش عمومی[1] صورت می‌پذیرد و بر نوآوری اثرگذار است را سیاست‌گذاری نوآوری می‌نامند. از دهه‌ی ۷۰ میلادی که عبارت «سیاست‌گذاری نوآوری» برای اولین بار بر سر زبان‌ها افتاد تاکنون، کاربردهای این مفهوم دچار تغییرات گوناگونی شده است. در مطالعهٔ روند تکامل سیاست‌گذاری نوآوری دیده می‌شود که این فرایند، تغییر در نگاه‌های موجود در نظریهٔ نوآوری و اقدام به نوآوری را نیز بازتاب می‌دهد. بنابراین، چیزی به‌عنوان توسعهٔ نظریه، اقدام یا سیاست‌گذاری نوآوری به‌طور مستقل از موضوعات دیگر وجود ندارد. بلکه در مقابل، توسعهٔ مفاهیم و نگاه‌های موجود در این موضوعات در یک فرایند تکامل تعاملی، رابطه‌ای دوسویه با یکدیگر دارند. اسمیتس و کولمن این توسعه را در یک نمودار بر مبنای روند توسعهٔ سیاست‌گذاری نوآوری به تصویر کشیده‌اند. آن‌ها چهار مؤلفه را به‌عنوان محل اثر سیاست نوآوری شناسایی می‌کنند. عامل اوّل، طرف عرضه (S) یا همان فراهم‌آورندگان دانش (چه عمومی و چه خصوصی) هستند. عامل دوّم، طرف تقاضا (D) شامل مشتریان شرکت‌ها، سازمان‌های دارای اختیار و دیگر سازمان‌هایی است که می‌توان به‌عنوان کاربران دانش و محصولات دانش بنیادین به آن‌ها نگریست. عامل سوّم، زیرساخت‌های واسطه‌ای[2] (II) هستند با هدف ایجاد ارتباط بین عرضه و تقاضا. عامل چهارم نیز زیرساخت حمایتی[3] (SI) است که شامل عواملی همچون نظام آموزشی، زیرساخت‌های مالی و غیرمالی و کیفیت روابط صنعتی می‌باشد. روند توسعهٔ حوزه‌های تحت‌تأثیر سیاست‌گذاری نوآوری با رشد در مؤلفه‌های محل اثر سیاست‌ها و نیز با رشد روابط آن‌ها همراه بوده است. بر مبنای این روند توسعه می‌توان ۴ مرحله را در تکامل آن بیان کرد.

مرحله (A): در اواخر دههٔ ۷۰، سیاست‌گذاری نوآوری به‌طور صریح شروع به ظهور کرد. تمرکز در این مرحله از سیاست‌گذاری نوآوری بر جمع‌آوری دانش و سبدی از سیاست‌ها است. همچنین این سیاست‌ها به‌طور عمده متشکل از ابزارهای مالی (یارانه‌ها و ابزارهای مالیاتی)، با هدف اثرگذاری بر عوامل موجود در طرف عرضه دانش (S) بودند و به چگونگی توزیع یا به‌دست‌آوری[4] دانش توجّه زیادی نمی‌شد.

مرحله (B): در اواسط دههٔ ۸۰، سیاست‌های نوآوری به‌سوی سیاست‌های متمایل به اشاعه گرایید. در این مرحله، به‌کارگیری ابزارهای انتقال دانش و تأسیس مراکز نوآوری مرسوم گردید. همچنین استفاده از ابزارهایی برای ایجاد هماهنگی و پرورش محققان نیز از مشخصه‌های این مرحله است.

مرحله (C): در اواسط دههٔ ۹۰، در تکمیل ابزارهای موجود در مراحل (A) و (B) در سیاست‌گذاری‌ها توجّه بیشتری به ارائهٔ حمایت‌های سازمانی به فرایند نوآوری (به‌ویژه به شرکت‌ها) معطوف گردید. در این مرحله،

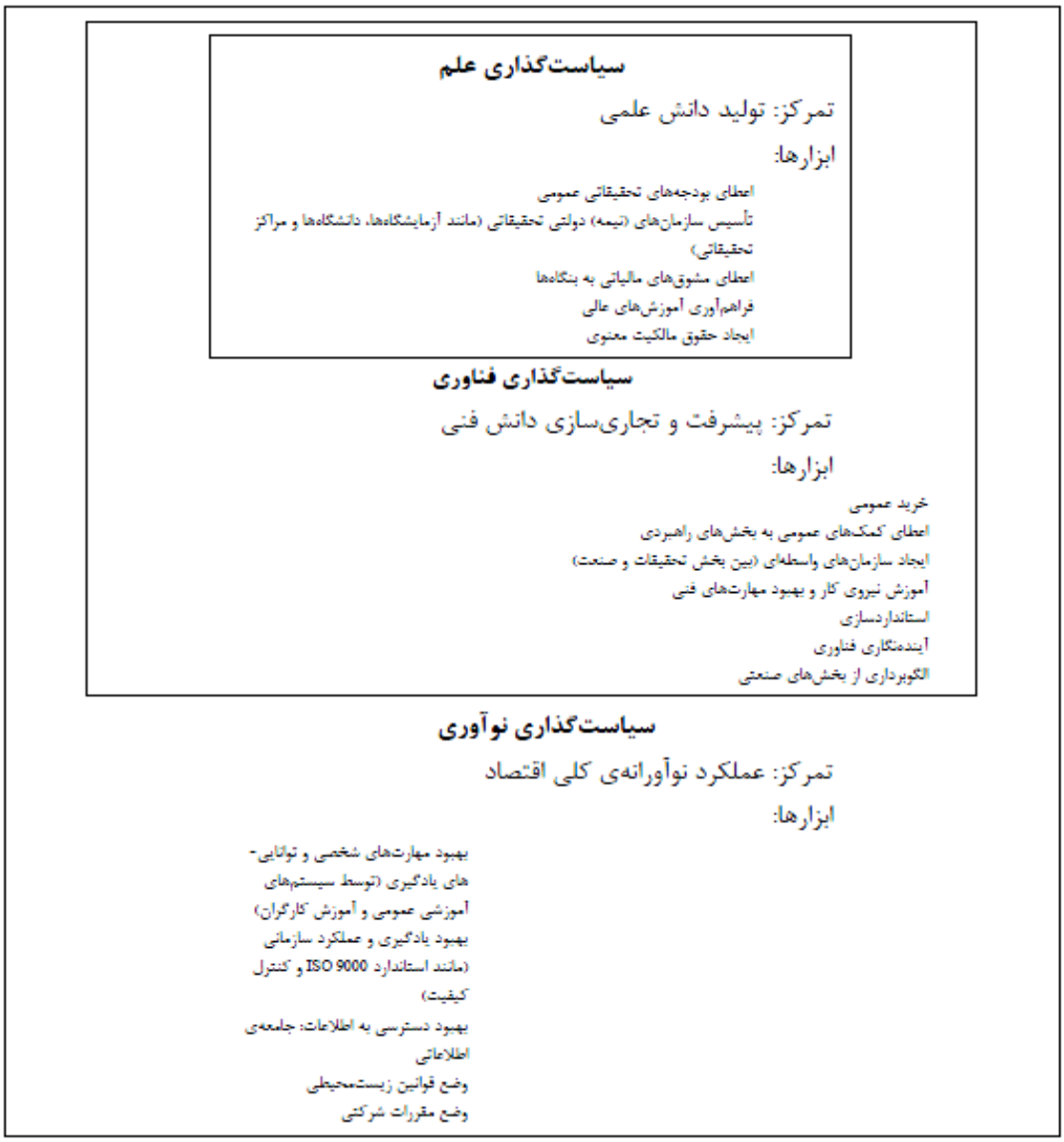
1. Public Sector
2. Intermediary Infrastructure
3. Supportive Infrastructure
4. Absorbtion

کاربران و عرضه‌کنندگان در تعامل با یکدیگر مدنظر قرار گرفتند. به‌تدریج، سیاست‌ها دربرگیرندهٔ زیرساخت‌های حمایتی و بسترهای لازم برای نوآوری نیز شدند. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که این مرحله شروعی برای اتخاذ رویکردی منسجم‌تر برای تحریک نوآوری است و وضع سیاست‌های نوآوری گسترده‌تر و همه‌جانبه‌تر گردید.

مرحله (D): در این مرحله، رویکردی یکپارچه توسعه یافت و نگرش سیستمی ظاهر شد. به‌جای تحریک برخی از عوامل یا روابط خاص، تمرکز سیاست‌های نوآوری بر بهبود عملکرد نظام نوآوری در سطح کلان، معطوف گردید. علاوه بر این تغییر در نگرش، این واقعیت نیز در این مرحله نهادینه شد که سیاست‌گذاری نوآوری لزوماً معادل با مشوق‌های مالی نیست و می‌تواند از دیگر ظرفیت‌های حکومت و سیاست‌گذاران نیز بهره برد. روند دیگر در این مرحله، استفادهٔ صریح از رویکرد نظام‌های نوآوری به‌عنوان چهارچوبی برای تحلیل بوده است. همچنین در این مرحله به راهبری عوامل واسطه‌ای نیز توجه شد.

در کنار سیاست نوآوری، مفهوم سیاست علم قرار می‌گیرد. این مفهوم به دوران پس از جنگ جهانی دوم تعلق دارد. در حقیقت، تا پیش از جنگ به ایدهٔ علم به‌عنوان یک نیروی سازنده توجه نشد. اما پس از آن به نقش سیاست‌گذاری علم در امنیت ملی، سلامت و رشد اقتصادی توجه شد. علت اصلی برای تغییر نگرش به سیاست‌گذاری علم، چگونگی اتمام جنگ جهانی دوم و شروع جنگ سرد ذکر می‌شود. مهم‌ترین مسائل در سیاست‌گذاری علم مربوط به تخصیص منابع کافی به علم، توزیع هوشمندانهٔ آن‌ها میان فعالیت‌های مختلف با هدف حصول اطمینان از استفادهٔ کارای منابع و کمک به رفاه اجتماعی بوده است. اهداف سیاست‌گذاری علم نیز شامل ایجاد منزلت ملی[1] و ارزش‌های فرهنگی علاوه بر اهداف اجتماعی و اقتصادی و نیز امنیت ملی است. در نهایت، سیاست‌گذاری فناوری به سیاست‌هایی اشاره دارد که بر فناوری‌ها و بخش‌ها متمرکز هستند. سیاست فناوری بیشتر بر فناوری‌های دانش‌بنیان نظیر انرژی هسته‌ای، فضانوردی، کامپیوترها، داروسازی و مهندسی ژنتیک که محور رشد اقتصادی هستند، متمرکز است. مفهوم سیاست‌گذاری فناوری برای کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته متفاوت است. در کشورهای توسعه‌یافته این مفهوم مربوط به ایجاد ظرفیت برای تولید فناوری‌های دانش‌بنیان نوظهور و به‌کارگیری این نوآوری‌ها است. در حالی که در کشورهای در حال توسعه، این مفهوم به چگونگی ایجاد توانایی در رابطه با جذب و استفاده از این فناوری‌ها در هنگام ورودشان به بازار می‌پردازد. اهداف سیاست‌گذاری فناوری با اهداف سیاست‌گذاری علم تفاوت چندانی نمی‌کند. با این وجود، تفاوت میان این دو نوع سیاست‌گذاری را می‌توان در فاصله‌گرفتن سیاست‌گذاری فناوری از ملاحظات فلسفی عام و گرایش آن به توجه بیشتر و کاربردی‌تر به منزلت ملی و اهداف اقتصادی به‌صورت کاربردی خلاصه کرد. در مجموع، مقایسه میان سه نوع سیاست علم و فناوری و نوآوری را می‌توان در قالب تصویر کشید.

[1] National prestige



شکل (۱-۵): مقایسه میان سه نوع سیاست علم و فناوری، و نوآوری

۵-۱-۵- نظام‌های نوآوری

نظام‌های نوآوری شامل تمامی عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی، نهادی و سایر عوامل اثرگذار بر توسعه، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری می‌گردد.هر نظام نوآوری از سه جزء اصلی مؤلفه‌ها (کنشگران و نهادها و فناوری‌ها)، روابط (مواصلات میان مؤلفه‌ها)، و شناسه‌ها (توانایی اجزا در ایجاد شایستگی فناورانه و اقتصادی) تشکیل شده است. مفهوم نظام‌های نوآوری را می‌توان یکی از زمینه‌های پژوهشی غالب در ادبیات مطالعات

نوآوری[1] به حساب آورد. تمرکز اصلی مطالعات نوآوری، بیان رشد فناورانه در اقتصاد است. اما مطالعات نوآوری در شکل امروزی خود و مفهوم نظام‌های نوآوری را باید به‌طور قطع تحت‌تأثیر کارهای شومپیتر و سایر تحقیقات خارج از جریان اصلی اقتصاد مانند اقتصاد نهادگرا[2]، اقتصاد توسعه[3] و اقتصاد نئوشومپترین[4] دانست.

۵-۵-۱-۱- نظام‌های فناورانه نوآوری

نظام‌های نوآوری فناورانه [5] به تحلیل گذار از منظر تغییرات نهادی، سازمانی، اقتصادی، سیاسی و فنی پیرامون ظهور فناوری‌های جدید می‌پردازد. این رویکرد بر پایهٔ نظر کارلسون و استنکویتز درباره نوآوری شکل گرفته است که مهم‌ترین محرک‌های خلق و انتشار و بهره‌برداری از نوآوری‌های فناورلنه را در تعاملات نظام‌مند کنش‌گران، تحت زیرساخت‌های نهادی می‌داند. این برداشت از گسترش نوآوری فناورانه با الهام از تئوری بلوک‌های توسعه[6] و نیز در ارتباط با رویکردهای نظام ملی نوآوری[7] و نظام بخشی نوآوری[8] است. نظام نوآوری فناورانه علی‌رغم دارابودن ویژگی‌های مشترک با سایر رویکردهای نظام نوآوری، دارای دو ویژگی متمایزکننده از آن‌هاست:

- تأکید بر نقش شایستگی اقتصادی: به‌معنی توانایی در توسعه و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید کسب‌وکار در ایجاد نوآوری فناورانه. بر این اساس، بهره‌برداری و ترکیب دانش‌های موجود جزء جدایی‌ناپذیر نوآوری فناورانه می‌باشد. در حقیقت برخلاف سایر رویکردها که تفکری کلان از نوآوری داشتند، این ویژگی بر اهمیت نیروهای کارآفرین به‌عنوان منابع نوآوری تأکید دارد.
- تأکید جدی بر پویایی سیستم: تمرکز بر نقش کارآفرینان در این رویکرد، زمینه را برای بررسی روند شکل‌گیری این سیستم در طول زمان آماده کرده تا از این طریق روند پویایی در نظر گرفته شود.

با معرفی نظام نوآوری فناورانه توسط کارلسون و استنکویتز (۱۹۹۱)، مطالعات گسترده‌ای با تمرکز بر ویژگی پویایی این رویکرد به انجام رسیده و مفاهیمی مانند حجم بحرانی[9]، تکانه[10] و حلقه‌های علی تجمعی[11] مطرح گردید. به‌منظور شناخت کافی از این مفاهیم، در ادامه لازم است تا دو حوزه اساسی نظام‌های نوآوری فناورانه، شناخت کارکردی و حلقه‌های علی تجمعی تبیین گردد.

---

[1].Innovation studies

[2].Institutional Economics

[3].Development Economics

[4].Evolutionary Economics

[5].Technological innovation systems (TIS)

[6].Development blocks

[7].National innovation systems (NIS)

[8].Sectoral innovation systems (SIS)

[9].Critical mass

[10].Momentum

[11].Cumulative causation

۵-۵-۱-۲- شناخت کارکردی نظام نوآوری

نظام‌های نوآوری فناورانه را می‌توان به‌عنوان رویکردی برای تحلیل تغییرات فناورانه به کار برد. از آنجایی که تنها با تحلیل ساختاری نظام‌های فنی و اجتماعی نمی‌توان تمام جولنب تغییرات فناورانه را در نظر گرفت، این رویکرد می‌بایست فراهم‌آورندهٔ چهارچوبی برای تحلیل کارکردی[1] نظام‌های فنی و اجتماعی باشد. دنبال‌کردن فرایندهای نوآوری یا به تعبیری دیگر، توسعه، انتشار و به‌کارگیری نوآوری‌ها در عمل را به‌عنوان کارکرد اصلی نظام‌های نوآوری قلمداد می‌کند. برای مطالعهٔ میزان تحقق فرایندهای اصلی سیستم، محققان کارکردهای مختلفی را در سطح اول سیستم (زیرکارکرد) شناسایی کرده‌اند. اخیراً جاکوبسون و برگک نیز دسته‌بندی پالایش‌شده‌ای از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه ارائه داده‌اند. با مرور بخش عمده‌ای از مقالاتی که به دسته‌بندی کارکردها پرداخته‌اند، هفت کارکرد اصلی شناسایی می‌شود. مجموعه کارکردهای ذکرشده به‌همراه شاخص‌هایی برای سنجش سطح برآورده‌شدن این کارکردها در جدول(۱-۵ ارائه شده است.

جدول(۱-۵): کارکردهای پیشنهادی و شاخص‌های آن‌ها

شاخص	توصیف	کارکرد
فعالیت‌های کارآفرینی	شامل ترجمهٔ دانش فنی موجود در زمینهٔ یک فناوری خاص به زبان موقعیت‌های کاری جدید و انجام پروژه‌های عملیاتی یا انجام فعالیت‌هایی با هدف اثبات مفیدبودن فناوری نوظهور در محیط تجاری است .	تعداد و کیفیت پروژه‌های انجام‌شده با هدف تجاری‌سازی، حجم سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر انجام‌شده، تعداد نمایشگاه‌های فناوری برگزارشده، تعداد پروژه‌های نمایشی انجام‌شده
خلق دانش	دربرگیرندهٔ فعالیت‌های یادگیری است که به‌طور عمده بر دانش فنی فناوری و به‌میزان کمتر، بر بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کننده‌های آن تمرکز دارد. این فرایند یادگیری، به اقسام گوناگونی می‌تواند واقع شود. یادگیری کتابخانه‌ای و یادگیری در حین انجام کار از انواع مهم این دسته از فعالیت‌ها هستند.	تعداد مقالات ISI منتشرشده، تعداد حق اختراعات ثبت‌شده به‌صورت بین‌المللی در زمینه فناوری، تعداد مطالعات علمی و فنی صورت‌گرفته از فناوری، تعداد گزارش‌های تولیدشده در رابطه با مطالعهٔ بازار، تعداد مطالعات امکان‌سنجی انجام‌شده
انتشار دانش	دربرگیرندهٔ فعالیت‌هایی است با هدف پراکنده‌سازی۲ و به‌اشتراک‌گذاری۳ دانش و اطلاعات انجام می‌شوند. بنابراین، مهم‌ترین نقش کارکرد انتشار دانش، ایجاد یادگیری تعاملی است. وجود روابط و در حالت پیچیده‌تر، شبکه‌هایی از بازیگران از پیش‌نیازهای این کارکرد به شمار می‌رود.	تعداد کنفرانس‌ها و کارگاه‌های برگزارشده در رابطه با فناوری، تعداد و اندازه شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام فناورانه، میزان جابه‌جایی نیروهای تحصیل‌کرده دانشگاهی با محوریت فناوری

[1]. کارکردها عوامل فرایندی مؤثر بر توسعهٔ فناوری محسوب می‌شوند .

[2] Dissemination

[3] Sharing

شاخص	توصیف	کارکرد
جهت‌دهی به سیستم	اشاره به فعالیت‌هایی دارد که منجر به مشخص‌شدن نیازها و جهت‌دهی به فعالیت‌های بازیگران موجود در نظام فناوری می‌گردد. همچنین، رفع مشکلات موجود در کارکردهای دیگر نظام نیز می‌تواند در قالب این کارکرد انجام شود.	تعداد و اثربخشی قوانین مربوط به فناوری، استانداردهای تدوین‌شده، میزان شکل‌گیری انتظاراتی دربارهٔ آیندهٔ فناوری
شکل‌گیری بازار	شامل فعالیت‌هایی (مانند حمایت‌های مالی از کاربرد فناوری نوظهور) است که با ارائهٔ امتیازاتی منجر به ایجاد تقاضا برای فناوری می‌گردد.	تعداد و حجم niche markes، تعداد و تنوع کاربران موجود برای فناوری، تعداد و تنوع نهادهای تنظیم‌شده برای شکل‌دهی به بازار، میزان عدم‌قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان یا سرمایه‌گذاران، مرحلهٔ بلوغ (دورهٔ عمر) بازار
تأمین منابع	شامل تخصیص سرمایه‌های مالی، انسانی، مکمل و مواد لازم برای توسعه فناوری است. همچنین، گسترش زیرساخت‌های عمومی لازم برای پیشرفت فناوری، مانند سیستم‌های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمرهٔ این کارکرد قرار می‌گیرد.	حجم کمک‌های بلاعوض دولتی (یارانه) و سرمایه‌گذاری‌های بخش دولتی و خصوصی، میزان دسترسی به نیروی انسانی فنی، میزان دسترسی به مواد اولیه، میزان توسعه زیرساخت‌های لازم برای فناوری و محصولات و خدمات مکمل
مشروعیت‌بخشی	دربرگیرندهٔ تمامی فعالیت‌ها با هدف غلبه بر مخالفت بازیگران ذی‌نفع در فناوری‌های کنونی از طریق تشویق صاحبان قدرت به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به نظام نوآوری فناورانه است.	میزان هم‌گرائی نهادهای موجود و نظام نوآوری فناورانه در حال توسعه، میزان مشروعیت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ فناوری و محصولات مربوط به آن، میزان رایزنی‌های سیاسی بین گروه‌های درگیر برای حمایت از فناوری، میزان حمایت از فناوری در رسانه‌ها

با توجه به مطالعه ادبیاتی که در گزارش متدولوژی دربارهٔ کارکردها صورت پذیرفت، هفت کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی، خلق دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم، تأمین منابع لازم، شکل‌دهی به بازار و مشروعیت‌بخشی کارکردهای اصلی یک نظام نوآوری است. برای اینکه بتوان به شناسایی موانع و محرک‌های موجود در انجام فعالیت در هر کارکرد پرداخت، لازم است تا در ابتدا شاخص‌هایی برای هر کارکرد استخراج نمود. بر اساس این شاخص‌ها، در فاز بعدی پرسش‌هایی (با محوریت قراردادن هر شاخص و زیرکارکرد) طراحی می‌گردد و انجام مصاحبه پیرامون مجموعه پرسش‌های هر کارکرد، استخراج تمامی موانع و محرک‌ها در تمام ابعاد آن کارکرد را نتیجه می‌دهد. بر اساس شاخص‌ها و تعاریف ارائه‌شده از هریک از کارکردهای هفت‌گانه، می‌توان دید کاملی از تمام ابعاد یک کارکرد به دست آورد. بر اساس این دید کامل، سؤالات مطرح‌شده در فاز دو از جامعیت برخوردار می‌گردند. تمامی زیرکارکردها را می‌توان در قالب زیر به نمایش گذاشت:

جدول(۲-۵): خلاصهٔ همه زیرکارکردها و شاخص‌ها

عامل	زیرعامل	شاخص‌های کیفی	شاخص‌های کمّی
فعالیت‌های کارآفرینانه	ایجاد فرصت‌های جدید		تعداد پروژه‌های انجام‌شده با هدف تجاری‌سازی
			تعداد شرکت‌های ثبت‌شده در زمینهٔ فناوری
			ورود شرکت‌های موجود به عرصهٔ فناوری
			حجم سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر انجام‌شده
	نمایش فرصت‌های جدید		برگزاری نمایشگاه تکنولوژی
			انجام پروژه‌های نمایشی
توسعهٔ دانش	فنی		تعداد مقالات ISI منتشرشده در زمینه تکنولوژی
			تعداد حق اختراعات ثبت‌شده به‌صورت بین‌المللی در زمینه تکنولوژی
			تعداد سازمان‌های تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه تکنولوژی
			اندازهٔ سازمان‌های تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه تکنولوژی
			تعداد مطالعات علمی و فنی صورت‌گرفته از تکنولوژی
			تعداد توسعه و ایجاد نمونه‌های آزمایشی و اولیه از تکنولوژی (Prototype)
	غیرفنی		تعداد گزارش‌های تولیدشده در رابطه با مطالعهٔ بازار
			تعداد مطالعات امکان‌سنجی انجام‌شده
انتشار دانش	فنی		تعداد فعّالیت‌های تحقیق و توسعه و نوآورانه مشترک صورت‌پذیرفته میان واحدهای مختلف (با هدف تسهیم دانش)
			تعداد کنفرانس‌ها و کارگاه‌های برگزارشده در رابطه با فناوری
			تعداد شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام تکنولوژیک
			اندازهٔ شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام تکنولوژیک
		میزان جابه‌جایی نیروهای تحصیل‌کرده دانشگاهی با محوریت تکنولوژی	

عامل	زیرعامل	شاخص‌های کیفی	شاخص‌های کمّی
	غیرفنی		تعداد گزارش‌های منتشرشده در رابطه با مطالعهٔ بازار
			تعداد مطالعات امکان‌سنجی منتشرشده
جهت‌دهی به سیستم	رسمی (وضع نهادها)		قانون‌گذاری در رابطه با تکنولوژی
			استانداردهای تدوین‌شده
	غیررسمی (شکل‌گیری انتظارات)	وضع چشم‌اندازهای جدید برای توسعهٔ تکنولوژی یا عوامل دیگر که بر تکنولوژی اثرگذارند	
		شکل‌گیری محرک‌هایی برای توسعهٔ تکنولوژی یا نوع خاصی از آن (مانند ارزان‌شدن قیمت منابع مصرفی تکنولوژی)	
		شفاف‌سازی تقاضای کاربران اصلی	
		رشد تکنولوژی در کشورهای دیگر	
		ایجاد تغییر در عوامل کلان اثرگذار بر سیستم (مانند تغییرات آب‌وهوایی)	
		شکل‌گیری انتظاراتی دربارهٔ آیندهٔ تکنولوژی	
شکل‌گیری بازار		شفاف‌سازی پتانسیل بازار	
		میزان عدم‌قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان یا سرمایه‌گذاران	
		شناسایی مرحلهٔ بلوغ (دورهٔ عمر) بازار	
			تعداد و تنوع کاربران موجود برای تکنولوژی
			تعداد و تنوع نهادهای تنظیم‌شده برای شکل‌دهی به بازار
بسیج منابع	مالی		کمک‌های بلاعوض دولتی (یارانه)
			سرمایه‌گذاری‌های بخش دولتی و خصوصی در گسترش فناوری
	انسانی	در دسترس‌بودن نیروی انسانی فنی در رابطه با تکنولوژی مدنظر	
	مواد	تأمین مواد اولیهٔ لازم برای توسعهٔ تکنولوژی از خارج از کشور	
	دارایی‌های مکمل	توسعه زیرساخت‌های لازم برای تکنولوژی و محصولات و خدمات مکمل	

عامل	زیرعامل	شاخص‌های کیفی	شاخص‌های کمّی
مشروعیت‌بخشی		میزان هم‌گرائی نهادهای موجود و نظام نوآوری تکنولوژیک در حال توسعه	
		میزان مشروعیت سرمایه‌گذاری در توسعهٔ تکنولوژی و محصولات مربوط به آن	
		رایزنی‌های سیاسی بین گروه‌های درگیر برای حمایت از تکنولوژی	
		اعمال نفوذ گروهای پشتیبان تکنولوژی در بخش‌های مختلف دولت و صنعت	

۵-۶-ارائهٔ سیاست‌هایی سیستمی برای مشکلات شناسایی‌شده

مشکلات سیستمی که به‌طور دقیق شناسایی شدند به‌راحتی می‌توانند با اهداف ابزارهای سیستمی هم‌راستا شوند و به‌وسیله یک توصیه سیاسی با هدف پشتیبانی توسعه کل نظام، دنبال شوند. در ادامه ابتدا ابزار سیستمی مشکلات ساختاری و سپس ابزار سیستمی متناسب با مشکلات محیطی تبیین می‌شوند.

۵-۶-۱- ارائهٔ اهداف ابزارهای سیستمی و ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی

مشکلات سیستمی شناسایی‌شده و اهداف مرتبط ابزارهای سیستمی در جدول زیر به‌طور خلاصه آمده است.

جدول(۳-۵): اهداف ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی ارائه‌شده

مشکل سیستمی	نوع مشکل سیستمی	هدف ابزار سیستمی
مشکلات بازیگران	وجود؟	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت‌ها، دولت و ...)
	توانایی؟	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به‌عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)
مشکلات تعاملات	وجود؟	تحریک به‌وقوع‌انجامیدن تعاملات فی‌مابین بازیگران (به‌عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)
	شدت؟	ممانعت‌کردن از گروه‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گروه‌های ضعیف
مشکلات نهادی	وجود؟	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)
	توانایی؟	جلوگیری‌کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .
مشکلات زیرساختی	وجود؟	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.
	کیفیت؟	تضمین اینکه کیفیت زیرساخت‌ها مناسب است.

به‌منظور برآورده‌نمودن اهداف ابزارهای سیستمی، یک مجموعه از ابزارهای سیاستی قبلاً در ادبیات معرفی شده‌اند که یک مرور کلی بر آن‌ها در جدول بعدی آمده است. این ابزارها در ایجاد یک ابزار سیستمی برای نظام نوآوری تحت بررسی نقش حمایتی ایفا می‌کنند. انتخاب آن‌ها نه‌تنها به مشکلات شناسایی‌شده وابسته است بلکه به تعاملات متقابل ابزارها، شرایط اقتصادی و سیاسی و اجتماعی محیط اطراف فناوری، اثرات دیگر نظام‌های رقیب نیز وابسته است. آن‌ها می‌بایست به‌طریقی انتخاب شوند که اثربخشی، تقویت متقابل و کنش منظم خود را حفظ نمایند. یک ابزار سیستمی یک مجموعه یکپارچه و منسجم از ابزارهایی است که برای یک نظام نوآوری خاص طراحی شده است و هدف آن ایجاد فرصت‌ها و شرایطی برای شکل‌گیری نظام است. (البته از طریق تحت‌تأثیر قراردادن عناصر و ارتباطات داخلی نظام که در غیر این صورت به‌طور خودبه‌خودی ظهور نخواهد کرد.)

جدول(۴-۵): ابزارهای سیاستی انفرادی بالقوه برای رسیدن به اهداف ابزارهای سیستمی

هدف ابزارهای سیستمی	مثال‌هایی از ابزارهای سیستمی برای رسیدن به اهداف تبیین‌شده
تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت‌ها، دولت و ...)	خوشه‌ها؛شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی؛ تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذی‌نفعان؛ بحث‌های عمومی؛ کارگاه‌های علمی؛ نشست‌های موضوعی؛کارزارهای گذار؛ سرمایه‌گذاری خطرپذیر؛ سرمایه‌های ریسکی
ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به‌عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	گفتمان بیان؛پس‌بینی؛ آینده‌نگاری؛رهنگاشت؛ طوفان مغزی؛ برنامه‌های آموزشی؛بسترهای دانشی فناوری؛ توسعه سناریو؛ کارگاه‌های آموزشی؛آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری؛ پروژه‌های پایلوت.
تحریک به‌وقوع‌انجامیدن تعاملات فی‌مابین بازیگران (به‌عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی، کنفرانس توسعه اجماع؛کمک‌های مالی و برنامه‌های تعاونی، ابزار واسطه‌ای (پل‌زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی)؛ همکاری و طرح‌های تحرک؛روش‌های ارزش‌گذاری سیاست، بحث تسهیل در تصمیم‌گیری، مراکز ترویج علمی؛ انتقال فناوری.
ممانعت از گره‌هایی که بیش‌ازحد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	تهیه به‌موقع (راهبردی، عمومی،R&D دوستانه)؛ مراکز نمایشی برای فناوری؛ مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها؛ ابزارهای سیاسی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری)؛ وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه یا برای کاربرد جدید تکنولوژی؛ جوایز؛ ارزیابی سازنده فناوری؛ارتقاء برنامه‌های فناوری، بحث، گفتمان، سرمایه‌گذاری خطرپذیر، سرمایه ریسکی.
تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، برچسب‌های داوطلبانه، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
جلوگیری از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند	آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارهای (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، اصول، مکانیزم رعایت‌نکردن دستورالعمل‌ها
تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی	کمک‌های مالی کلاسیکR & D، مالیات، وام، طرح، بودجه (نهادی، سرمایه‌گذاری، ضمانت، R & D)، یارانه، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی عمومی

هدف ابزارهای سیستمی	مثال‌هایی از ابزارهای سیستمی برای رسیدن به اهداف تبیین‌شده
تضمین اینکه کیفیت زیرساخت‌ها مناسب است	آینده‌نگاری؛ روند مطالعات؛ نقشه‌راه؛ تعیین معیار هوشمند؛ تجزیه‌وتحلیل SWOT (نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدات)؛ بخش و مطالعات بخشی و خوشه‌ای؛ تجزیه‌وتحلیل مشکل/ نیازها/ سهامداران/ راه‌حل؛ سیستم‌های اطلاعاتی (مدیریت برنامه یا نظارت پروژه)؛ شیوه‌های ارزش‌گذاری و ابزار نظرسنجی کاربر؛ پایگاه داده‌ها؛ خدمات مشاوره‌ای؛ برنامه‌های کاربردی سفارشی ساخته‌شده از گروه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری؛ تکنیک‌های مدیریت دانش؛ ارزیابی فناوری؛ مکانیسم‌های انتقال دانش؛ ابزارهای اطلاعاتی سیاست (نظارت بر سیاست‌ها و ابزار ارزیابی، تجزیه‌وتحلیل سیستم)؛ رده؛ نمودار روند

باید توجه داشت در این متدولوژی تاکنون مشکلات سیستمی شناسایی شده است. در جداول بالا مشکلات سیستمی به‌تفکیک و ابزارهای سیاستی را به‌طور کلی و بدون تفکیک کارکردها نشان می‌دهد. [۶۹۴ و ۶۹۵]

۵-۷-چالش‌ها و موانع پیش روی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور

به‌منظور تدوین سیاست‌های کلان لازم در شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور ، چالش‌های مربوط به هریک از ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناوری در هریک از کارکردهای نظام نوآوری فناورلنه شامل توسعه و انتشار دانش، فعالیت‌های کارآفرینی، شکل‌دهی به بازار، بسیج منابع، مشروعیت‌بخشی و جهت‌دهی به سیستم از سوی تعدادی از متخصصان این حوزه شناسایی شد که در این بخش در ابتدا خلاصه‌ای از نظرات خبرگان بیان می‌شود و سپس چالش‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور بیان می‌گردد. در بخش آتی اقدامات لازم برای رفع این چالش‌ها تعیین می‌گردد.

به‌منظور احصاء چالش‌های پیش‌روی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور و تدوین اقدامات در ابتدا با توجه به مخاطره سازه‌های اولویت‌دار که در گزارش اولویت‌بندی فاز سوم همین پروژه شناسایی گردیده‌اند مصاحباتی با خبرگان بر اساس کارکردهای هفت‌گانه نظام نوآوری فناوری صورت پذیرفت سپس با توجه به این مصاحبه‌های صورت‌گرفته اقدامات لازم جهت رفع هریک از این چالش‌ها تدوین گردید.

به‌منظور احصاء چالش‌های سازه مخاطرات صنعت برق با ۱۰ نفر از متخصصان صنعتی، دانشگاهی و سیاست‌گذاران مختلف مصاحباتی صورت گرفت که اسامی این خبرگان عبارت‌اند از:

- مهندس صفر فرضعلی‌زاده (معاون پژوهشکده انتقال)
- دکتر کرمی (مدیریت بحران)

- مهندس مجید رضایی (مدیر گروه فشار قوی)
- دکتر مجتبی گیلوانژاد (مدیر گروه خط و پست)
- مهندس مسعود آسایش (رئیس پژوهشکده تولید)
- دکتر عباس بحری (مدیر طرح توربین بادی)
- مهندس داود محمدی (مدیر طرح انرژی خورشیدی)
- دکتر صفری
- مهندس نیکی مسلمی (معاون پژوهشکده توزیع)
- دکتر نعمت حسنی (دانشگاه شهید بهشتی)

با توجه به مصاحبات صورت‌گرفته مجموعه‌ای از چالش‌های فنی و مدیریتی از منظر متخصصین تأکید شده است و به‌منظور رفع هریک از این چالش‌ها اقدامات فنی و مدیریتی پیشنهاد گردیده است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

چالش‌های پیش روی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور بر اساس مصاحبه‌های صورت‌گرفته با متخصصین این حوزه عبارت است از:

- ❖ لزوم تدوین برنامه جامع تحقیقات توسعه‌ای و استفاده از توانمندی‌های موجود در توسعه فناوری
- ❖ توجه ناکافی به انجام تحقیقات مورد نیاز برای دستیابی به دانش فنی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور
- ❖ ضعف در برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌های مرتبط در این حوزه
- ❖ ضعف در انتشار مجلات علمی_تخصصی مرتبط با مخاطرات لرزه‌ای صنعت برق
- ❖ ضعف در همکاری میان مراکز پژوهشی توسعه‌دهنده فناوری‌های مرتبط با مخاطرات زمینی صنعت برق و در نتیجه عدم شکل‌گیری انتقال فناوری افقی در کشور
- ❖ عدم وجود دیتابیس مشخص برای ثبت و به اشتراک گذاری مخاطرات زمینی در کل صنعت برق کشور
- ❖ توجه ناکافی نهادهای سیاست‌گذار به حوزه شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور
- ❖ عدم وجود مرجعی به عنوان مغز متفکر به منظور پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم‌گیری منسجم برای رفع آن‌ها
- ❖ ضعف در مشارکت مراکز پژوهش فعال در توسعه فناوری و انجام کارهای جزیره‌ای
- ❖ ناپایداری در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای کشور
- ❖ عدم ارتباط بین ارکان مختلف صنعت برق در حوزه پهنه بندی و سازمان های بیرونی مرتبط از قبیل توانیر، شرکت‌های برق منطقه‌ای و ...
- ❖ ضعف در تعامل مناسب میان بازیگران این حوزه اعم از دانشگاهیان، متخصصان و صنعتگران
- ❖ وجود موازی کاری در انجام فعالیت‌های پژوهشی و سیاست‌گذاری
- ❖ عدم وجود یک متولی مشخص جهت راهبری توسعه فناوری‌های همگرا در این حوزه
- ❖ عدم تأمین منابع مالی توسعه فناوری به دلیل:

- نقص در سازوکار تأمین منابع مالی پروژه‌های پژوهشی صنعت برق
- تعاملات ضعیف و ناهماهنگ ذی‌نفعان که منجر به عدم تخصیص منابع کافی و در زمان مناسب شده است
- ضعف در جهت‌دهی و متمرکزسازی بودجه‌های پژوهشی حاکمیتی (از قبیل منابع دانشگاهی) در راستای توسعه هماهنگ فناوری
- در اولویت بودن تخصص های مکانیک و الکترونیک در صنعت برق کشور و عدم تمرکز بر حوزه سازه
- ضعف در بکارگیری کارشناس ارشد سازه در اغلب نیروگاه های صنعت برق
- ضعف در بکارگیری و استفاده از توان و تخصص نیروهای متخصص ایرانی خارج از کشور
- عدم وجود برنامه مشخص برای اعزام نیروی انسانی به مراکز پژوهشی و شرکت‌های پیشرو جهت آموزش و تربیت نیروی انسانی
- ضعف در بهره‌برداری از پتانسیل اعضای هیئت‌علمی
- عدم وجود برنامه مدون و سازوکار مشخص برای تأمین منابع انسانی مورد نیاز
- کمبود رشته‌های تخصصی در مراکز آموزشی کشور
- خروج سرمایه‌های انسانی متخصص از کشور
- در نظر نگرفتن مبحث شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در ذهن مدیران به‌صورت یک موضوع استراتژیک و درنتیجه عدم شکل‌گیری ذهنیت و مشروعیت کافی در لزوم توسعه فناوری‌های مرتبط
- عدم انجام رایزنی‌های لازم با ذی‌نفعان این حوزه در جهت تأمین منابع و زیرساخت‌های توسعه
- لزوم بازنگری و تدقیق نقشه پهنه بندی مخاطرات زمینی در کشور
- عدم وجود دیتابیس مشخص برای ثبت و به اشتراک گذاری مخاطرات اتفاق افتاده در صنعت برق در حوزه تولید، انتقال و تولید
- کمبود آزمایشگاه‌های پژوهشی خاص در زمینه سازه – مخاطره‌های صنعت برق
- ضعف در استفاده بهینه از امکانات آزمایشگاهی موجود در کشور و درنتیجه عدم بهره‌مندی متخصصین از تجهیزات آزمایشگاهی

۵-۸-اقدامات و سیاست‌های رفع چالش‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور

برنامه اقدامات را می‌توان به دودسته اقدامات فنی و اقدامات سیاستی پشتیبان تقسیم نمود. بر این اساس اقدامات فنی متناظر با پروژه‌های توسعه فناوری (تحقیق و توسعه، انتقال فناوری و ...) در نظر گرفته شده و اقدامات سیاستی متناظر با بحث برطرف‌سازی چالش‌های نظام نوآوری است.

۵-۸-۱- اقدامات سیاستی پشتیبان

بر اساس چالش‌ها و موانع پیش روی مطرح‌شده توسعه فناوری در جدول قبل لازم است مجموعه‌ای از سیاست‌ها و اقدامات متناظر با آن‌ها، تدوین شوند. به‌عبارت‌دیگر بسترسازی مناسب برای پیاده‌سازی راهبرد فناوری و جهت‌دهی مناسب انگیزه‌ها، ساختار، منابع، قوانین، بازیگران و روابط بین آن‌ها ضرورتی انکارناپذیر برای تسهیل اجرای راهبردها و درنهایت تحقق اهداف هست. سیاست‌های موردنیاز به‌منظور بسترسازی مناسب جهت رفع چالش‌های پیش روی توسعه به شرح جدول ذیل می‌باشند.

جدول(۵-۵): سیاست‌های مقابله با چالش‌ها

عنوان دسته	چالش‌ها	اقدامات سیاستی
توسعه دانش	○ لزوم تدوین برنامه جامع تحقیقات توسعه‌ای و استفاده از توانمندی‌های موجود در توسعه فناوری ○ توجه ناکافی به انجام تحقیقات مورد نیاز برای دستیابی به دانش فنی شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور	○ جهت‌دهی به فعالیت‌های پژوهشی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در راستای نیازهای صنعت ○ حمایت از شکل‌گیری شرکت‌های دانش بنیان برای توسعه دانش و فناوری‌های مرتبط از طریق تعامل با شتابدهندگان تخصصی در فرایند توسعه نوآوری
انتشار دانش	○ ضعف در برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌های مرتبط در این حوزه ○ ضعف در انتشار مجلات علمی_تخصصی مرتبط با مخاطرات لرزه‌ای صنعت برق ○ ضعف در همکاری میان مراکز پژوهشی توسعه‌دهنده فناوری‌های مرتبط با مخاطرات زمینی صنعت برق و در نتیجه عدم شکل‌گیری انتقال فناوری افقی در کشور	○ برگزاری همایش‌ها، کنفرانس‌ها و نمایشگاه‌های علمی ـ تخصصی ملی و بین‌المللی در زمینه مخاطرات زمینی صنعت برق ○ حمایت از تهیه و انتشار کتب و مجلات تخصصی _ترویجی و بولتن‌های خبری ○ امکان دسترسی دانشگاهیان و خبرگان صنعت با مباحث پیشرفته مخاطرات زمینی صنعت برق در سطح جهانی از طریق حمایت از حضور و مشارکت این افراد در کنفرانس‌های بین‌المللی

عنوان دسته	چالش‌ها	اقدامات سیاستی
	○ عدم وجود دیتابیس مشخص برای ثبت و به اشتراک گذاری مخاطرات زمینی در کل صنعت برق کشور	○ تدوین و طراحی نظام مدیریت دانش و تهیه پایگاه‌های جامع اطلاعاتی از قبیل: ۱-پایگاه داده جامع مخاطرات زمینی صنعت برق و بروزرسانی آن با مشارکت برق‌های منطقه‌ای و شرکت‌های توزیع و پردازش و تحلیل آن ۲- پایگاه اطلاعاتی جامع از مطالعات انجام‌شده و کم هزینه کردن، علمی کردن و کاربردی تر کردن آن ها ۳- پایگاه داده از پتانسیل‌های صنعتی کشور در طراحی و ساخت تجهیزات شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و راهکارهای مقابله با آن‌ها
جهت‌دهی به سیستم	○ توجه ناکافی نهادهای سیاست‌گذار به حوزه شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور ○ عدم وجود مرجعی به عنوان مغز متفکر به منظور پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم‌گیری منسجم برای رفع آن‌ها ○ ضعف در مشارکت مراکز پژوهش فعال در توسعه فناوری و انجام کارهای جزیره‌ای ○ ناپایداری در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای کشور ○ عدم ارتباط بین ارکان مختلف صنعت برق در حوزه پهنه بندی و سازمان های بیرونی مرتبط از قبیل توانیر، شرکت‌های برق منطقه‌ای و ... ○ ضعف در تعامل مناسب میان بازیگران این حوزه اعم از دانشگاهیان، متخصصان و صنعتگران ○ وجود موازی کاری در انجام فعالیت‌های پژوهشی و سیاست‌گذاری ○ عدم وجود یک متولی مشخص جهت راهبری توسعه فناوری‌های همگرا در این حوزه	○ باز معماری نظام حکمرانی پایش مخاطرات زمینی صنعت برق کشور ✓ طراحی و استقرار نظام یکپارچه پایش آمادگی در برابر خاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق (پایش و پیشگیری در کل صنعت قبل از وقوع مخاطره) ✓ طراحی و استقرار نظام یادگیرندگی صنعت برق از حوادث و سوانح مرتبط با مخاطرات زمینی (یادگیری پس از وقوع مخاطره) ○ احداث و تجهیز مرکز جامع توسعه فناوری‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور با هدف متمرکز نمودن فعالیت های پژوهشی موازی و مدیریت و هدایت اثربخش تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی
تأمین و تسهیل منابع مالی	○ عدم تأمین منابع مالی توسعه فناوری به دلیل:	○ انجام رایزنی‌های لازم با ذی‌نفعان، به ویژه شرکت‌های توزیع و شرکت‌های برق منطقه‌ای، با

عنوان دسته	چالش‌ها	اقدامات سیاستی
	✓ نقص در سازوکار تأمین منابع مالی پروژه‌های پژوهشی صنعت برق ✓ تعاملات ضعیف و ناهماهنگ ذی‌نفعان که منجر به عدم تخصیص منابع کافی و در زمان مناسب شده است ✓ ضعف در جهت‌دهی و متمرکزسازی بودجه‌های پژوهشی حاکمیتی (از قبیل منابع دانشگاهی) در راستای توسعه هماهنگ فناوری	هدف جهت‌دهی بودجه‌های پژوهشی حاکمیتی و تخصیص منابع مالی سالیانه به توسعه فناوری‌های اولویت‌دار ○ انجام رایزنی‌های لازم با صندوق‌های حمایت از توسعه فناوری (صندوق نوآوری و شکوفایی و ...) درجهت تأمین منابع مالی توسعه فناوری ○ جهت‌دهی بودجه‌های پژوهشی دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و ... در راستای اولویت‌های توسعه فناوری سند ○ حمایت هدفمند از تعریف پروژه‌های مقطع تحصیلات تکمیلی در جهت اولویت‌های توسعه فناوری سند (استفاده از اثر اهرمی)
تأمین و تسهیل منابع انسانی و دانشی	○ در اولویت بودن تخصص های مکانیک و الکترونیک در صنعت برق کشور و عدم تمرکز بر حوزه سازه ○ ضعف در بکارگیری کارشناس ارشد سازه در اغلب نیروگاه های صنعت برق ○ ضعف در بکارگیری و استفاده از توان و تخصص نیروهای متخصص ایرانی خارج از کشور ○ عدم وجود برنامه مشخص برای اعزام نیروی انسانی به مراکز پژوهشی و شرکت‌های پیشرو جهت آموزش و تربیت نیروی انسانی ○ ضعف در بهره‌برداری از پتانسیل اعضای هیئت‌علمی ○ عدم وجود برنامه مدون و سازوکار مشخص برای تأمین منابع انسانی مورد نیاز ○ کمبود رشته‌های تخصصی در مراکز آموزشی کشور ○ خروج سرمایه‌های انسانی متخصص از کشور	○ برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای کارشناسان شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با روش‌های پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در حوزه مخاطرات زمینی ○ ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان رشته‌ای پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در دانشگاه‌ها ○ برگزاری دوره‌های آموزشی-تخصصی جهت آشنایی با فناوری‌های پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق ○ اعزام نیروی جهت آموزش پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق به کشورهای صاحب فناوری ○ انجام رایزنی و تلاش در جهت تعریف پروژه‌های پژوهشی دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری در جهت اولویت‌های سند
مشروعیت بخشی	○ در نظر نگرفتن مبحث شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در ذهن مدیران به‌صورت یک موضوع استراتژیک و درنتیجه عدم شکل‌گیری ذهنیت و مشروعیت کافی در لزوم توسعه فناوری‌های مرتبط ○ عدم انجام رایزنی‌های لازم با ذی‌نفعان این حوزه در جهت تأمین منابع و زیرساخت‌های توسعه	تهیه و تدوین برنامه جامع آموزش، آگاه‌سازی و ترویج با هدف: ○ رایزنی با سیاستگذاران به ویژه مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی اجرای پروژه‌های پایش سلامت و تخصیص منابع مورد نیاز توسعه فناوری ○ رایزنی با ذی‌نفعان جهت تخصیص منابع مورد نیاز توسعه فناوری و نیز شکل‌دهی بازارهای فناوری

عنوان دسته	چالش‌ها	اقدامات سیاستی
		○ رایزنی با صنایع و بخش های درگیر در توسعه فناوری جهت ترقیب به ورود به حوزه ○ برگزاری همایش‌های ترویجی، انتشار مقالات و بولتن‌های خبری، انجام مصاحبه‌های ترویجی جهت آگاه‌سازی، تبیین و ترویج منافع توسعه فناوری‌های پایش سلامت در راستای شکل‌دهی مشروعیت توسعه فناوری
زیرساخت‌های توسعه فناوری	○ لزوم بازنگری و تدقیق نقشه پهنه بندی مخاطرات زمینی در کشور ○ عدم وجود دیتابیس مشخص برای ثبت و به اشتراک گذاری مخاطرات اتفاق افتاده در صنعت برق در حوزه تولید، انتقال و تولید ○ کمبود آزمایشگاه‌های پژوهشی خاص در زمینه سازه – مخاطره‌های صنعت برق	○ تجهیز آزمایشگاه‌های موجود در دانشگاه ها و مراکز پژوهشی با هدف توسعه فعالیتهای آموزشی و تربیت نیروی انسانی با استفاده از مکانیزم پرداخت اهرمی و با شرط مشارکت در شبکه آزمایشگاهی ○ راه‌اندازی و تجهیز آزمایشگاه مرجع مخاطرات زمینی در پژوهشگاه نیرو با هدف تسهیل توسعه فناوری کاهش مخاطرات زمینی
شبکه‌سازی	○ ضعف در استفاده بهینه از امکانات آزمایشگاهی موجود در کشور و درنتیجه عدم بهره‌مندی متخصصین از تجهیزات آزمایشگاهی	○ ایجاد شبکه تجهیزات آزمایشگاهی پایش مخاطرات زمینی با هدف تسهیل دسترسی متخصصان به امکانات و جلوگیری از اتلاف منابع ○ ایجاد شبکه متخصصین پایش مخاطرات زمینی

۵-۸-۲- اقدامات فنی

به صورت کلی اقدامات فنی لازم جهت شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور عبارتند از:

۱- تهیه پایگاه داده مخاطرات زمینی (کاتالوگ مخاطرات) رخداده در کشور

۲- نیازسنجی توسعه زیرساخت‌ها و احداث شبکه‌های پایش مخاطرات زمینی متناسب با طرح‌های توسعه شبکه برق کشور در آینده

۳- احداث شبکه‌های پایش مخاطرات زمینی متناسب با نیازهای صنعت برق کشور

۴- احداث ایستگاه‌های اندازه‌گیری فرونشست زمین در نزدیکی نیروگاهها و خطوط انتقال در مناطق منتخب کشور

۵- توسعه و کالیبرالسیون مدل تحلیلی فرونشست زمین در خطوط انتقال متناسب با شرایط ژئوهیدرولوژیک کشور

۶- توسعه مدل تحلیلی و عددی با هدف تولید داده‌های مورد نیاز پهنه‌بندی گسلش، فروریزش، فرونشست، روانگرایی و تورم در خاک با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق

۷- به‌روزرسانی و ارتقاء نقشه‌های پهنه‌بندی خاک‌های مساله دار با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه‌های صنعت برق

۸- تهیه و به‌روزرسانی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش در کشور با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق

۹- تهیه یا به‌روزرسانی نقشه پهنه‌بندی خاک‌های خورنده در کشور با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه‌های صنعت برق

۱۰- تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خرابی‌های ثانویه زمینی ناشی از سیل با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه‌های صنعت برق

۱۱- تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ترکیب مخاطرات زمینی همزمان بر اساس توسعه مدل‌های احتمالاتی مشترک

۱۲- توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی و تهیه سامانه مبتنی بر **Web-GIS** به منظور تهیه و ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی

۱۳- به‌روزرسانی استانداردهای مکان‌یابی و طراحی سازه‌ها و زیرساخت‌های صنعت برق با هدف سازگاری با نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی

۱۴- مطالعه اثر تغییرات اقلیمی بر نقشه‌های پهنه‌بندی فرونشست زمین و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بلندمدت

۱۵- به روز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات ناشی از زلزله، گسلش و روانگرایی بر سازه‌های صنعت برق (با در نظر گرفتن مقتضیات سازه‌ای)

فصل ششم

٦- برنامه‌ریزی عملیاتی و ترسیم ره‌نگاشت

٦-١-تدوین برنامه عملیاتی و ره‌نگاشت

یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت و پیشـــتازی کشـــورهای توســـعه‌یافته، توجه به دانش و مهارت‌های مدیریت به‌عنوان یکی از ضروریات توسعه و رشد اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است. در این میان آنچه به‌عنوان اصلی‌ترین کارکرد مدیریت در هر کشور مدنظر می‌باشد، برنامه‌ریزی و تلاش برای اجرا و نیل به اهداف ازپیش‌تعیین‌شده در آن است. تحولات چنددهه گذشته همراه با وقوع نیازهای جدید در این سال‌ها مدیران را با آن‌چنان دشواری‌هایی مواجه ساخته که کوچک‌ترین غفلت آن‌ها نسبت به مسائل، پیامدهای جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. مشاهده فناوری‌های امیدبخش که علی‌رغم داشتن راهبردها و سیاست‌های سنجیده، به‌دلیل بی‌توجهی به فرایند اجرا، موقعیت برجسته خود را از دست داده و از صحنه رقابت کنار رفته‌اند، مؤید این نکته مهم می‌باشد. لذا توجه به برنامه‌ریزی عملیاتی از آن‌چنان اهمیتی برخوردار است که تنها با تکیه بر تدوین راهبردها و اتخاذ سیاست‌ها نمی‌توان توسعه فناوری را محقق نمود. ازاین‌رو در دهه‌های اخیر توجه سیاست‌گذاران و صاحب‌نظران به شناسایی و بهره‌برداری هرچه بیشـــتر و بهتر از الگوها و ابزارهای نوین برنامه‌ریزی عملیاتی جلب شـــده اســـت. اقدامات لازم برای پیاده‌ســـازی و تحقق جهت‌گیری‌های کلان و پشـــتیبان ســـؤالاتی هســـتند که معمولاً در آخرین مرحله تدوین اسناد ملی توسعه مطرح می‌شوند. چه سازوکارها، اجزاء، سازمان‌ها، افراد (به‌طورکلی چه الزاماتی) نیاز است و نقش هرکدام به‌طور خاص در فرایند توسعه فناوری چیست؟ رابطه بین عوامل مؤثر بر تحقق جهت‌گیری‌های بالادستی چگونه است و تنظیم و تعامل بین آن‌ها چگونه برقرار می‌شود؟ مباحث تدوین و پیاده‌سازی جهت‌گیری‌های کلان و پشـــتیبان، در حوزه "مدیریت راهبردی[1]" مطرح می‌باشـــند. در مدیریت راهبردی نه‌تنها به رکن برنامه‌ریزی و تدوین اقدامات و فعالیت‌ها که اولین و شـــاید مهم‌ترین گام باشـــد، پرداخته می‌شـــود بلکه ســـایر ارکان مدیریت از جمله سازمان‌دهی، تأمین منابع، نظارت و کنترل فعالیت‌ها و ارزیابی تحقق استراتژی‌ها را نیز در بر می‌گیرد و این فرآیند به‌طور دائمی و پویا تکرار می‌شود تا سیستم به اهداف مدنظر دست یابد. [۶۹۳ و ۶۹۴]

ره‌نگاشـــت برنامه‌ای راهبردی اســـت که به توصـــیف گام‌های مورد نیاز یک ســـازمان برای دســـتیابی به اهداف و خروجی‌های بیان شـــده، می‌پردازد. این ابزار به وضـــوح روابطی میان فعالیت‌ها و اولویت‌ها تصـــویر می‌کند تا در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت پیاده‌سازی شوند. به علاوه یک ره‌نگاشت اثربخش شامل سنجه‌ها[2] و نقاط عطف[3] 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 می‌باشـــد. افرادی که به طور معمول در این فرآیند همکاری می‌کنند، شـــامل کارشـــناســـان فنی، ســـیاســـتگذاران، تحلیلگران انرژی و پژوهشـــگران دانشـــگاهی می‌باشـــند که گرد هم می‌آیند تا به طراحی اهداف عملکردی، مســـیرهای کاری[4]، اولویت‌ها و چارچوب‌های زمانی برای تحقیق، توســـعه، رونمایی و پیاده‌ســـازی[5] یک فناوری، بپردازند.

[1] Strategic management
[2] metrics
[3] milestones
[4] pathways
[5] research, development, demonstration and deployment (RDD&D)

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)
- 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

۶-۲-روش تدوین برنامه عملیاتی و ره‌نگاشت

در این قسمت باید به معرفی (گام‌های) روشی برای تدوین برنامه عملیاتی پرداخت. این روش پیشنهادی باید قادر باشد تا به سؤالات مختلف فرایند توسعه فناوری که تا این مرحله مدنظر قرار نگرفته‌اند پاسخ داده شود؛ سؤالاتی نظیر:

- برنامه‌ها برای پاسخ‌گویی به کدام اهداف تدوین و اجرا می‌شود؟
- برنامه‌ها چگونه اولویت‌ها و ملاحظات تعریف‌شده در راهبردها، سیاست‌ها و راه‌کارها را عملیاتی می‌سازند؟
- گروه‌ها یا نهادهای اصلی هدف (یعنی هویت‌هایی که این قصد تأثیرگذاری بر رفتار آن‌ها را دارد) کدام‌اند؟

- مجری یا مجریان این برنامه کدام‌اند؟ و نحوه عمل آن‌ها چگونه است؟
- دوره زمانی اجرای برنامه چقدر است؟
- منابع لازم و نتایج پیش‌بینی‌شده از اجرای این برنامه‌ها کدام‌اند؟

بر مبنای رویکرد چهارچوب منطقی و روش تدوین برنامه عملیاتی فناوری پیل‌سوختی از یک طرف، و نیز جهت‌گیری‌های کلان پشتیبان تدوین‌شده تاکنون، در این قسمت لازم است تا روش پیشنهادی تدوین برنامه عملیاتی ارائه شود.

٦-٢-١- درنظرگیری ارتباط برنامه‌های با جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان

هر برنامه در ارتباط با یک و چند هدف بالادستی نوشته می‌شود. به‌عبارت دیگر، هدف اولیه یک سند توسعه فناوری در ابتدا برآورده‌ساختن جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان تعریف‌شده در مراحل قبل است. با توجه به منطقی که در فصول پیشین به‌عنوان فرایند تدوین اسناد ملی راهبردی بیان شد، تدوین برنامه‌های عملیاتی نیز باید با توجه و درنظرگیری این فرایند انجام گردد.

برنامه‌های تدوین‌شده در مرحلهٔ اول باید هم‌راستا با اهداف کلان و خرد تعریف‌شده در مراحل قبلی باشد. برای این منظور، لازم است تا درخت ارتباط اهداف کلان و اهداف خرد و نتایج تعریف شود. این کار در قالب تحلیل و هم‌راستانمودن اهداف با پاسخ به سؤالات زیر انجام می‌شود:

- اقدامات در بلندمدت باید به چه اهدافی دست پیدا کنند (اهداف کلان)؟
- تمرکز اصلی اقدامات در چیست (اهداف پروژه‌ای)؟
- چه اهداف خرد برای دستیابی به اهداف پروژه‌ای و در نتیجه آن اهداف کلان لازم است (نتایج)؟

با ترسیم‌شدن این درخت هدف، می‌توان تصویر روشنی از مقاصدی که برنامه‌های تدوینی باید ملاحظات آن‌ها را در نظر داشته باشند، ارائه داد.

در مرحله دوم، برنامه‌های تدوین‌شده باید با راهبردها، راهکارها و سیاست‌های تدوین‌شده هم‌خوان باشد. این کار را می‌توان با تحلیل موانع شناسایی‌شده در مرحله جهت‌گیری‌های پشتیبان به انجام رساند. با درنظرداشتن 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 تحلیل شده باشد. پیش از طراحی پروژه‌های عملیاتی برای توسعه فناوری، لازم است تا علت‌ها و همچنین اثرات مشکلات پدیدآمده بررسی شود. علل تحت بررسی قرار می‌گیرند به این منظور که دلایل اصلی برای وقوع مشکلات شناسایی شده و راه‌حل‌ها و فعالیت‌های عملیاتی مناسب پیشنهاد گردند. اثرات مشکلات نیز ضرورت و نیاز به اجرای اقدامات و فعالیت‌های عملیاتی برای رفع مشکلات را نشان می‌دهد. این مشکلات در مؤلفهٔ جهت‌گیری‌ها پشتیبان و در قالب موانع گذار شناسایی شده‌اند. در این گام تنها به تحلیل آن‌ها از طریق ترسیم درخت مشکلات پرداخته می‌شود. یکی از راه‌های تحلیل مشکلات شناسایی‌شده در گام‌های قبلی، بهره‌گیری از نظرات ذی‌نفعان در قالب کارگاه‌های برنامه‌ریزی پروژه است. در این راستا، ذی‌نفعان باید با پاسخ به سؤالات زیر، دربارهٔ درخت مشکلات به توافق برسند. این سؤالات عبارت‌اند از:

- مشکل اصلی در توسعه فناوری که باید برای حل آن پروژه‌های عملیاتی پیشنهاد نمود چیست (اولویت‌بندی مشکلات)؟

- علل اصلی در وقوع این مشکل چیست؟
- وقوع این مشکل چه اثراتی بر محیط اطراف می‌گذارد (چرا حل این مشکل ضروری است)؟
- چه کسانی مسببین پدیدارشدن مشکل هستند و چه کسانی از این مشکل تأثیر می‌پذیرند؟

بر مبنای این نظرات و نیز با توجه به خروجی حاصل راهبردها و راهکارها در جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان، درخت مشکلات ترسیم می‌گردد. در این درخت علت‌ها به‌عنوان ریشه‌های این تنه اصلی درخت (مشکلات اصلی) متصور می‌شوند. اثرات مشکلات نیز شاخ و برگ درخت را نشان می‌دهند. درخت مشکلات همیشه از پایین‌به‌بالا خوانده می‌شود. مشکلات پایینی علل ایجاد مشکلات بالایی هستند. بنابراین امید به بهبود مشکلات با هدف قراردادن ریشه‌ای‌ترین علل لازم است. در زمان طراحی فعالیت‌ها لازم است تا تمرکز و اولویت با فعالیت‌هایی باشد که بیشتر از همه قادر به حذف علل مشکلات (ریشه‌ها) هستند. گاهی یک فعالیت قادر به حل چند علت و مشکل بوده و در بعضی شرایط نیز وجود چند فعالیت برای رفع یک علت یا مشکل لازم است. با درنظرداشتن هم‌زمان درخت هدف و درخت مشکلات، برنامه‌های تدوین‌شده تمامی ملاحظات بالادستی خود که در جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان تعریف شده‌اند را پوشش می‌دهد.

٦-٢-٢- تعیین حوزه‌های هدف

در تدوین برنامه‌ها، لازم است تا نهادهای اصلی هدف، یعنی مشمولان برنامه‌ها یا حوزه‌هایی که برنامه‌ها قصد تأثیرگذاری بر آن‌ها را دارند شناسایی نمود. هرچند در رویکردهای سیستمی تبیین‌شده برای ظهور نوآوری، خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری ناشی از تعامل دامنه متفاوتی از حوزه‌ها تعریف می‌گردد، اما برای دستیابی به هر هدف در سطح عملیاتی بعضی گروه‌ها یا نهادها (حوزه‌ها) می‌توانند نقش پیش‌برندگی بیشتری داشته باشند گروه‌ها و نهادهای هدف می‌توانند به‌شرح زیر باشند:

- شرکت‌های تازه‌تأسیس مبتنی بر فناوری،
- شرکت‌های بزرگ، شرکت‌های کوچک و متوسط،
- خوشه‌های صنعتی،
- مؤسسات پژوهشی و پژوهشگاه‌های دولتی،

هر نوع از برنامه‌های عملیاتی نیز با توجه به یک گروه هدف خاص، مانند یک بخش یا یک خوشه خاص، یک شرکت کوچک یا متوسط یا یک شرکت زایشی جدید طراحی می‌شود. برنامه‌ها باید نهادهایی را بیشتر به‌عنوان هدف قرار دهند که بیشترین تأثیرگذاری را در راستای تحقق درخت هدف و بیشترین سازگاری را با درخت مشکلات داشته باشد. این برنامه‌ها مناسب است تا مطابق با معیارهای زیر باشند:

- حوزه‌هایی که در حوزه سیاست‌گذاری مدنظر، بیشترین تأثیرگذاری را در راستای اهداف سیاستی داشته باشند،
- حوزه‌هایی که دارای بیشترین ارتباطات پسین و پیشین در سایر حوزه‌ها باشند، یعنی برون‌داد آن‌ها به‌عنوان درون‌داد حوزه‌ای دیگر بوده یا با استفاده از برون‌داد سایر حوزه‌ها به‌عنوان درون‌داد، قابلیت تحریک و رشد در سایر حوزه‌ها را دارند،
- حوزه‌هایی که بیشترین سرریز مثبت را برای سایر حوزه‌ها داشته باشند،

- سرریزهایی که بیشترین توانایی درونی‌کردن دانش و تجربه به‌دست‌آمده از فعالیت فناورانه هدایت‌شده را برای کاربرد مجدد داشته باشند.

انتخاب حوزه هدف مناسب نیازمند چهارچوب تحلیلی مناسب است. از آنجا که انتخاب حوزه هدف ارتباط تنگاتنگی با جنس برنامه‌های اتخاذشده دارد، این چهارچوب منطقاً مشخص‌کننده هم‌زمان نوع برنامه و حوزه هدف خواهد بود. بنابراین مناسب است تا این چهارچوب در گام بعدی ارائه شود.

٦-٢-٣- طراحی برنامه‌ها

در این گام اقدامات ضروری به‌منظور برآورده‌کردن اهداف کلان و خرد و نیز محقق‌نمودن راهبردها، راهکارها و سیاست‌ها تعیین می‌شود. این اقدامات فعالیت‌هایی هستند که توسط کنشگران توسعه فناوری و در راستای راهبردهای کلان و سیاست‌های نوآوری تعریف می‌شود. این هم‌راستایی با درنظرگیری درخت مشکلات و درخت اهداف ترسیم‌شده در گام‌های قبلی حاصل می‌گردد. اگر برنامه‌ها و اقدام‌ها به‌طور صحیحی برنامه‌ریزی شوند، نتایج پیش‌بینی‌شده از انجام آن‌ها حاصل، و در نتیجه، اهداف میان‌مدت و بلندمدت نیز محقق می‌گردد. اقدامات و برنامه‌ها در فرایندی توافقی و تعاملی و بر اساس نظر ذی‌نفعان استخراج می‌گردد. راه‌کارهای تدوین‌شده در مراحل قبل هم راهنمای مناسبی برای طراحی اقدامات هستند. به‌عبارت دیگر، برای تحقق هر راهکار، وجود مجموعه‌ای از اقدامات ضروری است.

٦-٢-٤- تبیین مجریان و نحوه عمل آن‌ها

منظور از مجریان نهادهایی است که مسئولیت اجرای برنامه‌ها را بر عهده دارند. ممکن است مجری همان سیاست‌گذار باشد، اما گاهی سیاست‌گذار و مجری نهادهای متفاوتی هستند. اجرای برنامه‌ها، فرایند تعاملی میان دولت با گروه‌های هدفی است که تلاش می‌کنند برنامه مزبور را بر اساس انگیزه‌ها، ظرفیت و ادراک خودشان اجرا کنند یا از اجرای آن‌ها جلوگیری کرده یا آن‌ها را تغییر دهند. انگیزه کنشگران شامل انگیزه‌های درونی و بیرونی آن می‌شود. ظرفیت یک کنشگر به موقعیت وی در چهارچوب نهادی اطلاق می‌شود و ادراک کنشگران می‌تواند شامل یادگیری، تجارب آن‌ها و اعتقاداتشان باشد (کاتزبو و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین باید رابطه تعاملی میان مجریان برنامه‌ها و کنشگران نیز در این فرایند مدنظر قرار گیرد. تعیین مجریان و مشخص‌نمودن نحوه عمل آن‌ها یکی از تأثیرگذارترین اجزای برنامه‌ها به شمار می‌رود. همان‌طور که قابلیت‌های نهاد تدوین‌کنندهٔ برنامه‌ها بر کیفیت برنامه‌ها تأثیر می‌گذارد، قابلیت‌های مجریان برنامه‌ها نیز آثار اغماض‌نشدنی بر کیفیت اجرای برنامه‌ها و خروجی حاصل از آن‌ها دارد. لذا اطمینان از انتخاب مناسب‌ترین مجری برای هر برنامه بسیار حائز اهمیت است. مجریان باید هم از لحاظ ظرفیت‌ها و قابلیت‌های درونی برای اجرای برنامه و هم از لحاظ اعتبار، جایگاه و ارتباطات بیرونی لازم ارزیابی شوند. آنچه که در این زمینه گاه حتی مهم‌تر از کیستی مجری است، آن است که مجری چگونه عمل کند. نحوهٔ عمل مجری به‌خصوص در برنامه‌های حمایتی مستقیم که ماهیتی گزینشی دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در غالب این‌گونه برنامه‌ها، مجری باید بتواند بین اجزای گروه هدف قضاوت کرده و واجدین شرایط را انتخاب کند. برای مثال، به‌منظور اعطای گرنت برای تحقیقات، انعقاد قراردادهای تحقیقاتی یا اعطای هرگونه کمک مستقیم به شرکت‌های کوچک و متوسط، معمولاً باید از بین متقاضیان تعداد محدودی انتخاب شوند. نتیجهٔ مهم چنین شرایطی این است که اولاً مجری باید از صلاحیت‌های علمی، فنی و سازمانی لازم

برخوردار باشد و ثانیاً بتواند فرایند انتخاب را کاملاً شفاف و عادلانه به انجام برساند. با توجه به نکات فوق و نیز سایر نکاتی که معمولاً جزء اصول حکمرانی برای سیاست‌گذاران و مجریان در نظام‌های نوآوری است، بعضی از اصولی که مجریان در نحوهٔ عمل خود باید به آن توجه کنند، در ذیل آمده است و سعی شده برای هر اصل مصادیق و رهنمودهایی کلی تدوین شود. اصول مزبور عبارت‌اند از:

الف- شفافیت و عدالت

- تمام فعالیت‌های نهادهای دولتی در حوزهٔ بحث‌شده، باید در قالب سیاست‌ها و برنامه‌های مدون به اطلاع ذی‌نفعان و عموم برسد.
- سیاست‌گذاران و مجریان باید پایگاه‌های داده‌ای به‌روز از متن سیاست‌ها و برنامه‌ها، تمام فعالیت‌های انجام‌شده تحت این برنامه‌ها، مشخصات شرکت‌ها و پروژه‌های حمایت‌شده را برای دسترسی عموم علاقه‌مندان ایجاد نمایند. اطلاع‌رسانی و پایگاه داده ترجیحاً باید از طریق پورتال اینترنتی نیز انجام شود. دربارهٔ فعالیت‌هایی که با امنیت ملی ارتباط دارند و فعالیت‌هایی که به‌لحاظ موقعیت رقابتی شرکت مهم هستند، جزئیات دقیق فعالیت‌های حمایت‌شده می‌تواند محرمانه نگه داشته شود. اما همچنان عنوان پروژه یا فعالیت‌ها و توصیفی مختصر از آن باید در پایگاه داده وجود داشته باشد.
- در شرایطی که برای اجرای برنامه‌ها به داوری خبرگان نیاز باشد، باید برای داوری‌ها از معیارهای مرتبط و مدون و فرایندهای شفاف استفاده شود
- اعضای پنل‌های داوری باید دربارهٔ موضوعاتی که نظر می‌دهند کاملاً بی‌طرف و بدون هیچ‌گونه منفعتی باشند.

ب-پاسخ‌گویی

- سیاست‌گذاران و مجریان باید گزارش‌های دوره‌ای از عملکرد خود برای دسترسی عموم علاقه‌مندان انتشار دهند و گزارش‌های نمونه‌ای را طبق درخواست نهاد بالادست، با آخرین اطلاعات موجود تهیه نمایند.
- سیاست‌گذاران و مجریان باید به‌شکل دوره‌ای تأثیر فعالیت‌های خود را از طریق مکانیزمی کاملاً بی‌طرفانه ارزیابی نمایند. علاوه بر معیارهای دیگر ارزیابی، باید توجه خاصی به تغییرات در نهاد هدف تحت محورهای تغییر در برون‌داد، تغییر در درون‌داد، تغییر در رفتار نهاد هدف و میزان تداوم آن و بهبود ظرفیت حل مسئله و نوآوری.

ج- پیش‌بینی‌پذیربودن

یعنی فعالیت‌هایی که مطابق معیارهای علمی، منطقی و شرایط و نیازهای موجود توجیه‌پذیرند، باید بر مبنای اصل وحدت رویه و به‌دور از تغییرات مدیریتی ادامه یابند و اگر هم قرار است از جایی قطع شوند، تاریخ این انقطاع از پیش مشخص باشد.

د- ظرفیت‌سازی

- سیاست‌گذاران و مجریان باید پیش از اقدام به سیاست‌گذاری و اجرای سیاست‌ها، دانش، مهارت، شرایط و قابلیت‌های لازم برای موفقیت در فعالیت مدنظر را در خود ایجاد نمایند.

- سیاست‌گذاران و مجریان باید فعالیت‌های خود را از طریق تیم‌های کوچک، چابک، متخصص، توانمند و انعطاف‌پذیر، مستقر در نهاد سیاست‌گذار و مجری هدایت نمایند.

٦-٢-٥- تعریف دوره‌های زمانی

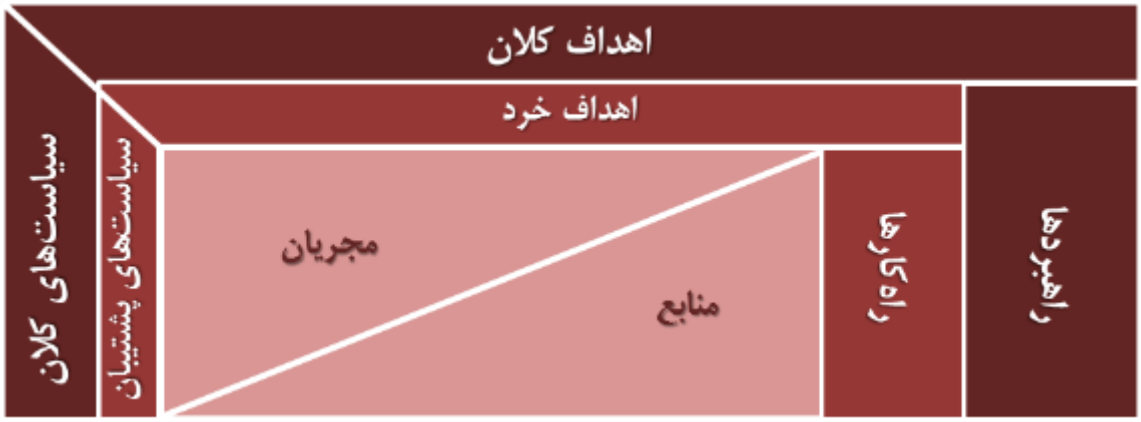
هرچند پایداری و پیش‌بینی‌پذیربودن گاه به‌عنوان نکات مثبت در بعضی از انواع برنامه‌های حمایتی برشمرده می‌شود، اما در عمل و به‌دلایل مختلف بهتر است این برنامه‌ها برای دوره‌های زمانی مشخص و محدود طراحی و اجرا شوند. از مهم‌ترین مزایای محدودبودن زمان برنامه‌ها، می‌توان به روشن و محدودبودن بودجهٔ لازم، فراهم‌شدن 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.

٦-٢-٦- برنامه‌ریزی منابع

برنامه‌ریزی منابع با هدف اجرایی‌نمودن اقدامات تعریف‌شده صورت می‌پذیرد. این برنامه‌ریزی را باید قبل از اجرایی‌کردن اقدامات به انجام رساند. منظور از منابع لازم در این گام دانش فنی، ابزارآلات و تجهیزات و منابع مالی است. در صورت وجود منابع لازم، 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، یا تولید منابع لازم است.

٦-٢-٧- ترسیم ره‌نگاشت برنامه عملیاتی

پس از تعریف اقدامات و برنامه‌ها، 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. شکل زیر بیانگر ارتباط میان اجزای مختلف برنامه عملیاتی است. [۶۹۴ و ۶۹۵]



شکل ۱-۶): ره‌نگاشت برنامه عملیاتی

DOI:

٦-٣-تدوین پروژه‌های اجرایی

پس از شناسایی چالش‌ها و موانع پیش روی پایش سلامت سازه ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات زمینی و تعیین اقدامات فناورانه و سیاستی در گزارش فاز چهارم، حال نوبت آن است طراحی نقشه راهی برای پیاده‌سازی آن‌ها ارائه گردد. به عبارت دیگر لازم است مجموعه اقدامات لازم در راستای دستیابی به اهداف در قالب زمانی نشان داده شده و وظایف هر یک از نهادهای ذی‌ربط مشخص گردد.

به منظور اجرای اقدامات فنی و سیاستی در فاز قبل، پیشنهاد می‌شود مرکزی با عنوان "احداث و تجهیز مرکز جامع مرکز توسعه فناوری‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور" و نیز "کمیته راهبری و دبیرخانه دائمی مدیریت راهبردی طرح‌های پایش سلامت سازه ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات زمینی" در این مرکز تأسیس گردد و راهبری اقدامات فنی و سیاستی را بر عهده گیرد. این اقدام می‌بایست به عنوان اولین گام، در **اولین سال پیاده‌سازی** سند انجام شود. در جدول ذیل عناوین و مجری تعدادی از اقدامات سیاستی ارائه شده است.

جدول ۱-۶: اقدامات سیاستی و مدیریتی

طرح‌ها	پروژه‌ها	اقدامات	راهبر / مجری
راهبری و توسعه فناوری‌های کاهش مخاطرات صنعت برق در برابر	جهت‌دهی به فعالیت‌های پژوهشی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی در راستای نیازهای صنعت	✓ شناسایی، متقاعدسازی و عقد تفاهم‌نامه با دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی فعال در حوزه پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات زمینی، جهت تعریف پژوهش‌های خود، متناسب با اولویت‌های پژوهشی سند (همراستاسازی پروژه‌های تحقیقاتی دانشگاهی در راستای نیازهای سند)	مرکز جامع
		✓ انجام مذاکره با شرکت‌های مادر تخصصی برق حرارتی و توانیر جهت تعریف پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق، متناسب با اولویت‌های پژوهشی سند (جهت‌دهی به پروژه‌های دولتی)	مرکز جامع
		✓ حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات زمینی	مرکز جامع

طرح‌ها	پروژه‌ها	اقدامات	راهبر/ مجری
		✓ جلوگیری از انجام پروژه‌های موازی و مدیریت دانش تحقیقات در حوزه زلزله از طریق ایجاد بانک اطلاعاتی محققین، دستاوردهای دانشی و مطالعات انجام شده در حوزه پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات زمینی	مرکز جامع
	حمایت از شکل‌گیری شرکت‌های دانش بنیان برای توسعه دانش و فناوری‌های مرتبط از طریق تعامل با شتابدهندگان تخصصی در فرایند توسعه نوآوری		مرکز جامع/شتابدهندگان تخصصی/شرکت‌های دانش‌بنیان
بازمعماری نظام حکمرانی پایش مخاطرات زمینی صنعت برق	طراحی و استقرار نظام یکپارچه پایش آمادگی در برابر خاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق (پایش و پیشگیری در کل صنعت قبل از وقوع مخاطره)	✓ طراحی نظام پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق ○ شناسایی و بررسی اقدامات متولیان در پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع ○ بازمعماری نقش و جایگاه بازیگران و ذی‌نفعان در نظام پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق ○ تدوین/ بازنویسی دستورالعمل‌های پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات و سازه‌های صنعت برق متناسب با معماری جدید	مرکز جامع

طرح‌ها	پروژه‌ها	اقدامات	راهبر/ مجری
		✓ پیاده‌سازی نظام پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق ○ انجام رایزنی‌های لازم با بازیگران و ذی‌نفعان نظام پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی تجهیزات صنعت برق ○ طراحی و توسعه نرم‌افزارهای مدیریت یکپارچه پایش اجرای دستورالعمل‌های پایش آمادگی در برابر مخاطرات زمینی ○ تأمین زیرساخت‌های لازم جهت پیاده‌سازی نظام پایش جدید	مرکز جامع
	طراحی و استقرار نظام یادگیرندگی صنعت برق از حوادث و سوانح مرتبط با مخاطرات زمینی (یادگیری پس از وقوع مخاطره)	✓ طراحی و استقرار نظام یکپارچه رصد و پایش مخاطرات زمینی موثر سازه های صنعت برق (شکل‌دهی حافظه تاریخی) ○ طراحی و استقرار/ یکپارچه‌سازی نظام جمع‌آوری اطلاعات حوادث و سوانح در صنعت برق در بخش تولید، انتقال و توزیع با مشارکت شرکت برق حرارتی و شرکت توانیر، برق های منطقه ای و شرکت های توزیع و ... ○ طراحی و استقرار نظام مدیریت دانش با هدف جمع آوری مطالعات صورت گرفته در خصوص مخاطرات زمینی اتفاق افتاده در کشور و صدمات وارد آمده بر سازه های صنعت برق	مرکز جامع
		✓ راه‌اندازی نظام یادگیری صنعت برق از حوادث و سوانح مرتبط با مخاطرات زمینی ○ طراحی و استقرار نظام پردازش و تحلیل اطلاعات موجود در پایگاه داده حوادث و سوانح ○ به روزرسانی دستورالعمل‌های طراحی، ارزیابی لرزه‌ای و نگهداری تجهیزات متناسب با اطلاعات جدید	مرکز جامع

طرح‌ها	پروژه‌ها	اقدامات	راهبر/ مجری
		احداث و تجهیز مرکز جامع توسعه فناوری‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور با هدف متمرکز نمودن فعالیت های پژوهشی موازی و مدیریت و هدایت اثربخش تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی	مرکز جامع

کارکرد	اقدام سیاستی	راهبر/ مجری
تأمین منابع انسانی	✓ برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای کارشناسان شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با روش‌های پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در حوزه مخاطرات زمینی	مرکز جامع با همکاری شرکت‌های مادر تخصصی
	✓ ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان رشته‌ای پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در دانشگاه‌ها	مرکز جامع/ دانشگاه‌ها
	✓ برگزاری دوره‌های آموزشی-تخصصی جهت آشنایی با فناوری‌های پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق	مرکز جامع/ مراکز آموزشی و دانشگاهی
	✓ اعزام نیروی جهت آموزش پایش سلامت سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق به کشورهای صاحب فناوری	مرکز جامع

کارکرد	اقدام سیاستی	راهبر/ مجری
تأمین و تسهیل منابع مالی	✓ انجام رایزنی‌های لازم با ذی‌نفعان، به ویژه شرکت‌های توزیع و شرکت‌های برق منطقه‌ای، با هدف جهت‌دهی بودجه های پژوهشی حاکمیتی و تخصیص منابع مالی سالیانه به توسعه فناوری‌های اولویت‌دار	مرکز جامع
	✓ انجام رایزنی‌های لازم با صندوق‌های حمایت از توسعه فناوری (صندوق نوآوری و شکوفایی و ...) درجهت تأمین منابع مالی توسعه فناوری	مرکز جامع
مشروعیت بخشی	✓ تهیه و تدوین برنامه جامع آموزش، آگاه‌سازی و ترویج با هدف: ○ رایزنی با سیاستگذاران به ویژه مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی اجرای پروژه‌های پایش سلامت و تخصیص منابع مورد نیاز توسعه فناوری ○ رایزنی با ذی‌نفعان جهت تخصیص منابع مورد نیاز توسعه فناوری و نیز شکل‌دهی بازارهای فناوری ○ رایزنی با صنایع و بخش های درگیر در توسعه فناوری جهت ترقیب به ورود به حوزه ○ برگزاری همایش‌های ترویجی، انتشار مقالات و بولتن‌های خبری، انجام مصاحبه‌های ترویجی جهت آگاه‌سازی، تبیین و ترویج منافع توسعه فناوری‌های پایش سلامت در راستای شکل‌دهی مشروعیت توسعه فناوری	مرکز جامع
شبکه‌ها	✓ ایجاد شبکه تجهیزات آزمایشگاهی پایش مخاطرات زمینی با هدف تسهیل دسترسی متخصصان به امکانات و جلوگیری از اتلاف منابع	مرکز جامع
	✓ ایجاد شبکه متخصصین پایش مخاطرات زمینی	مرکز جامع
زیرساخت‌های توسعه فناوری	✓ تجهیز آزمایشگاه‌های موجود در دانشگاه ها و مراکز پژوهشی با هدف توسعه فعالیت‌های آموزشی و تربیت نیروی انسانی با استفاده از مکانیزم پرداخت اهرمی و با شرط مشارکت در شبکه آزمایشگاهی	مرکز جامع

جدول ۲-۶: پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی

ردیف	عنوان پروژه‌ها	مجریان بالقوه
۱	تهیه پایگاه داده مخاطرات زمینی (کاتالوگ مخاطرات) رخداده در کشور	پژوهشگاه نیرو-پژوهشکده سوانح طبیعی- انجمن مخاطره‌شناسی ایران
۲	نیازسنجی توسعه زیرساخت‌ها و احداث شبکه های پایش مخاطرات زمینی متناسب با طرح‌های توسعه شبکه برق کشور در آینده	پژوهشگاه نیرو- شرکت‌های مشاور
۳	احداث شبکه های پایش مخاطرات زمینی متناسب با نیازهای صنعت برق کشور	سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری – سازمان مدیریت بحران کشور - شرکت‌های مشاور
۴	احداث ایستگاه‌های اندازه‌گیری فرونشست زمین در نزدیکی نیروگاهها و خطوط انتقال در مناطق منتخب کشور	سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری – سازمان مدیریت بحران کشور – شرکت شرکت‌های مشاور
۵	توسعه و کالیبرالسیون مدل تحلیلی فرونشست زمین در خطوط انتقال متناسب با شرایط ژئوهیدرولوژیک کشور	پژوهشگاه نیرو-دانشگاه‌ها- سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری
۶	توسعه مدل تحلیلی و عددی با هدف تولید داده‌های مورد نیاز پهنه‌بندی گسلش، فروریزش، فرونشست، روانگرایی و تورم در خاک با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو-دانشگاه‌ها- سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری
۷	به‌روزرسانی و ارتقاء نقشه‌های پهنه‌بندی خاکهای مساله دار با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی
۸	تهیه و به‌روزرسانی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش در کشور با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی
۹	تهیه یا به‌روزرسانی نقشه پهنه‌بندی خاکهای خورنده در کشور با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها- سازمان زمین شناسی-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی
۱۰	تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خرابی های ثانویه زمینی ناشی از سیل با در نظر گرفتن الزامات فنی و ایمنی سازه های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-موسسه تحقیقات آب - سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی
۱۱	تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ترکیب مخاطرات زمینی همزمان بر اساس توسعه مدل‌های احتمالاتی مشترک	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی -شرکت‌های دانش بنیان
۱۲	توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی و تهیه سامانه مبتنی بر Web-GIS به منظور تهیه و ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی -شرکت‌های دانش بنیان

ردیف	عنوان *پروژه‌ها*	مجریان بالقوه
۱۳	به‌روزرسانی استانداردهای مکان‌یابی و طراحی سازه‌ها و زیرساخت‌های صنعت برق با هدف سازگاری با نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمینی	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها
۱۴	مطالعه اثر تغییرات اقلیمی بر نقشه‌های پهنه‌بندی فرونشست زمین و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بلندمدت	سازمان زمین شناسی-سازمان نقشه برداری – سازمان مدیریت بحران کشور – شرکت‌های مشاور – موسسه تحقیقات آب
۱۵	به روز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات ناشی از زلزله، گسلش و روانگرایی بر سازه های صنعت برق (با در نظر گرفتن مقتضیات سازه ای)	پژوهشگاه نیرو- دانشگاه‌ها-سازمان نقشه برداری-شرکت‌های دانش بنیان – کمیته تدوین مقررات ملی – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی -شرکت‌های دانش بنیان

٦-٤-ترسیم ره‌نگاشت

آخرین گام در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی تدوین ره‌نگاشت است. ره‌نگاشت نمایانگر ارکان اساسی فرآیند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی می‌باشد. نمایش تمامی سطوح راهبردی از چشم‌انداز تا فعالیت‌ها، تقدم و تأخر حاکم در سطوح مختلف به‌ویژه در سطح اقدامات، زمان‌بندی تحقق هر سطح به‌همراه منابع اختصاص‌یافته و در نهایت معرفی متولیان هریک از سطوح اجزای تشکیل‌دهنده ره‌نگاشت می‌باشند. تجربه انجام پروژه‌های تدوین برنامه استراتژیک در سازمان‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از این استراتژی‌ها یا هیچ‌گاه پیاده نشده‌اند یا در مسیر پیاده‌سازی با موانع زیادی روبه‌رو شده‌اند. در بررسی علل این موضوع دو دلیل عمده تأمل‌برانگیز است. اول اینکه سازمان‌ها معمولاً با قابلیت‌های مدیریتی اداره می‌شوند. حال آنکه پیاده‌سازی استراتژی در کنار توانمندی‌های مدیریتی نیازمند برنامه می‌باشد. دلیل دوم این امر، وجود شکافی است که بین لایه استراتژیک و لایه عملیاتی سازمان‌ها وجود دارد. آن‌چنان‌که در بسیاری از موقعیت‌ها، در حالی که استراتژی‌های ارزشمندی بر روی کاغذ آمده‌اند، تصمیمات و برنامه‌های اجرایی بدون توجه به استراتژی‌ها و سیاست‌ها به اجرا گذاشته می‌شود. هرچند این دو عامل تا اندازهٔ زیادی با هم مرتبط است ولی فقدان یک سازوکار مناسب برای تبدیل استراتژی به برنامه و اهداف عملیاتی و روزمره نیز یک علت اصلی در ایجاد این شرایط به شمار می‌آید. بنابراین مرحله پایانی (یا یکی از مراحل پایانی) در فرایند برنامه‌ریزی استراتژیک، تدوین برنامه عملیاتی است که یکی از مهم‌ترین دستاوردها در این مرحله، تهیهٔ نقشه‌راه می‌باشد که نمایانگر ارکان اساسی فرایند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی اصلی فرایند برنامه‌ریزی است. هرچند باید تأکید کرد که هیچ‌گاه ره‌نگاشت نمی‌تواند جای راهبر را بگیرد و کلید به‌کارگیری این الگو در پیاده‌سازی استراتژی قابلیت‌های هنرمندانه راهبری است. آن‌چنان که استفاده از تکنیک‌ها و متدولوژی‌های تدوین و پیاده‌سازی استراتژی در فقدان قابلیت‌های راهبری نمی‌تواند به تحول سازمانی منجر شود.

لذا برای رسیدن به هدف، ره‌نگاشت باید سطح مطلوب و مناسبی از جزئیات را دربرگرفته تا در مجموع ابزار توانمندی را برای هدایت فعالیت‌ها در طول زمان در اختیار مدیران سازمان قرار دهد. اگرچه برخی تعاریف

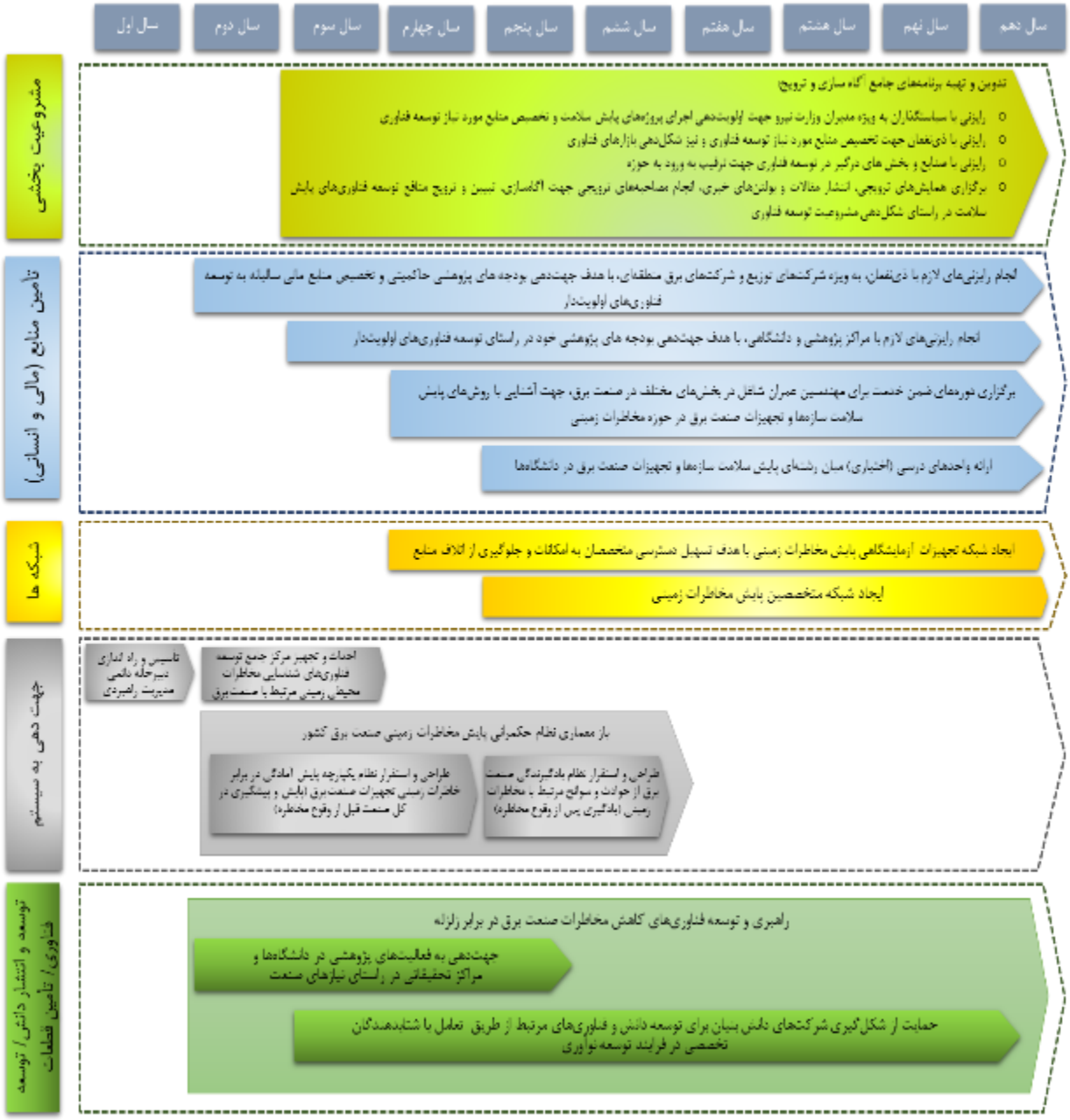
کارکردهایی همچون توجیه اقتصادی اقدامات و معرفی پیچیدگی‌های موجود بین زیرسیستم‌های زیرساخت‌ها را نیز از مؤلفه‌های یک رهنگاشت می‌دانند، اما برخی تعاریف سعی در هرچه واقعی‌ترکردن انتظارات کاربران از کارکردهای رهنگاشت دارند و بیان می‌کنند همان طور که رهنگاشت نباید درصدد تشریح استراتژی‌ها برآید، نباید به‌صورت جزئی به تشریح زیرساخت‌های فنی لازم در پیاده‌سازی یک فناوری اشاره کنند. در یک جمع‌بندی، می‌توان این‌گونه بیان نمود که رهنگاشت، نمایش کلانی از روش پیمودن مسیر تحقق اهداف را در زمان مشخص بیان می‌کند. اگرچه استفاده از مشخصه‌هایی همچون شاخص تحقق اقدام، مجری و نقاط خاص[1] موجود در مسیر، به توصیف هرچه روشن‌تر این مسیر کمک می‌کند. لذا به نظر می‌رسد در نخستین گام، ترسیم گام‌های اصلی در مسیر پیاده‌سازی استراتژی لازم و ضروری است.

با توجه به نکات ذکرشده در بخش‌های قبل، رهنگاشت‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور در افق زمانی ۵ساله ترسیم و در اشکال زیر ارائه شده است.

[1]- Milestone



شکل ۲-۶): ره‌نگاشت اقدامات فنی



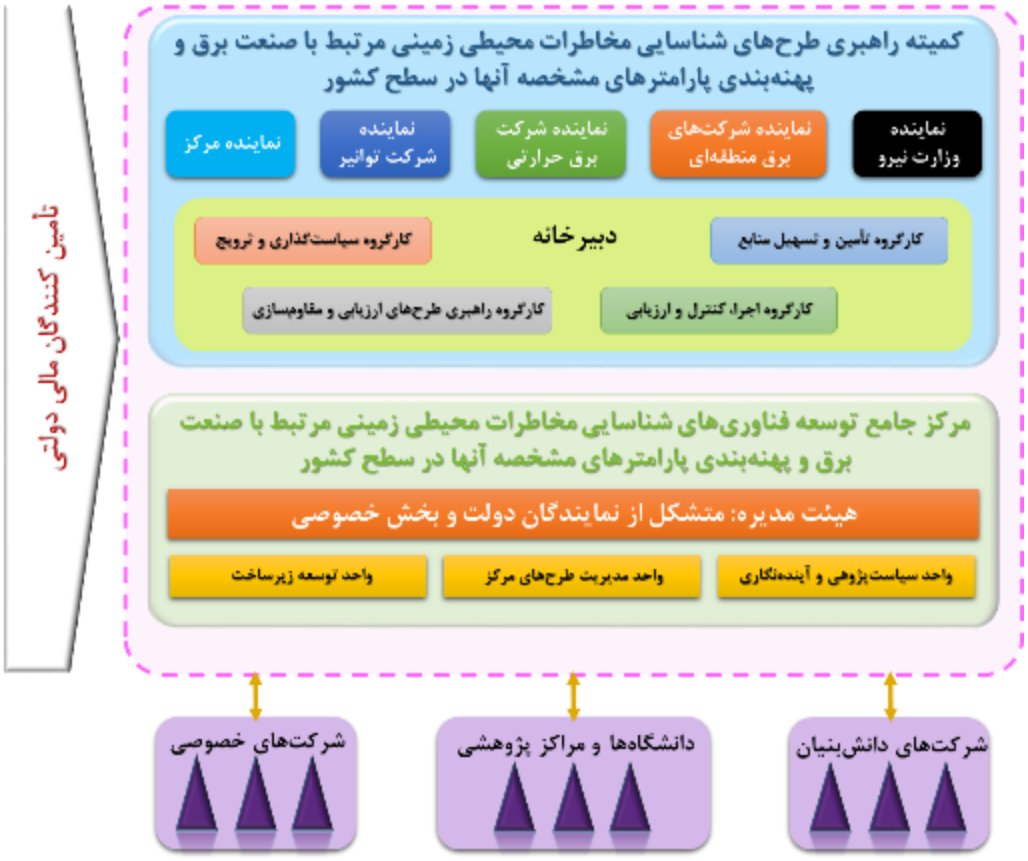
.شکل ۳-۶): رهنگاشت اقدامات مدیدیتی و سیاستی

پس از شناسایی پروژه‌ها، ارائه زمان‌بندی طرح‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور و نهادهای متولی، لازم است ساختار اجرایی کار با عنایت به سیاست‌های اصلاح ساختاری که در بخش پیشین ارائه شدند، از حیث نوع روابط بین نهادهای پیشنهادی ارائه شود.

به منظور اجرای اقدامات فنی و سیاستی، راه‌اندازی یک مرکز جامع و نیز شکل‌گیری کمیته راهبری و دبیرخانه دائمی مدیریت راهبردی آن در سطح کشور پیشنهاد گردید. بر این اساس، مرکز وظیفه اجرای اقدامات فنی و نیز پیگیری اقدامات سیاستی را بر عهده خواهد داشت. همچنین کمیته راهبری و دبیرخانه آن وظیفه نظارت بر عملکرد مرکز و نیز راهبری طرح‌های آن را برعهده خواهد داشت که این کمیته، می‌بایست متشکل از نمایندگان تمامی ذی‌نفعان این حوزه به ویژه نمایندگان از ستاد وزارت نیرو، شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق حرارتی، شرکت توانیر، و نیز مدیر مرکز باشد. همچنین به منظور پیگیری مصوبات این کمیته و پایش و نظارت مستمر پیشرفت طرح‌ها، پیشنهاد می‌گردد، دبیرخانه این کمیته شامل ۴ کارگروه ذیل تشکیل گردد:

- کارگروه تأمین و تسهیل منابع
- کارگروه سیاست‌گذاری و ترویج
- کارگروه اجرا، کنترل و ارزیابی
- کارگروه راهبری طرح‌های ارزیابی و مقاوم‌سازی

شکل ذیل ساختار پیشنهادی را ارائه می‌نماید.



.شکل ۴-۶): ساختار پیشنهادی راهبری طرح‌های شناسایی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور

۷- مراجع

[1]. Galloway, D.L., Burbey, T.J., (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, Hydrogeology Journal, 19: 1459-1486. http://dx.doi. org/10.1007/s10040-011-0775-5

[2]. Nevada, S., Ranges, C., enter San, S. C. R., & Bay, F. Sacramento-san joaquin delta.

[3]. Galloway, D, Jones, D.R. & Ingebritsen S.E., (1999), Land Subsidence in the United States. U.S. Geological Survey Circular 1182, Reston, Virginia, 177 p.

[4]. Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., Wang, S.J., (2004), Review on current status and challenging issues of land subsidence in China, Engineering Geology, vol. 76, p. 65- 77.

[5]. Jones, D.R., et. al. 2000. Land Sibsidence in the United States. USGS Fact sheet-087-00, Decmeber 2000

[6]. Arizona Land Subsidence Group (ALSG), land subsidence and earth fissures in Arizona, Arizona Geological Survey, 2007

[7]. https://ca.water.usgs.gov/land_subsidence/california-subsidence-cause-effect.html.

[8]. http://www.planetpropertyblog.co.uk/2012/11/20/1-in-5-at-risk-of-subsidence.

[9]. Oscar, J., Ferrians, J., Kachadoorian, R., Gordon, W., Permafrost and Related Engineering Problems in Alaska, Geological survey professional paper 678, 1969

[10]. Lipman, P. W., Lockwood, J. P., Okamura, R. T., Swanson, D. T., & Yamashita, K. M.. Ground deformation associated with the 1975 magnitude-7.2 earthquake and resulting changes in activity of Kilauea volcano, Hawaii, 1985

[11]. Goff, J., Dudley, W. C., Cain, G., & Coney, J. P., The largest local tsunami in 20th century Hawaii. Marine Geology, 226(1), 65-79. 2006

[12]. The Pittsburgh Geological Society, Land Subsidence in Western Pennsylvania in Website: http://www.pittsburghgeologicalsociety.org , December 21, 2005. 2005.

[13]. USGS, 2000, 29 Mass Movement and Subsidence Caused by Anthropogenic Activity, Land Subsidence in the United States, Fact Sheet-087-00 in Website: http://clic.cses.vt.edu , December 20, 2005.

[14]. Hazen, "Hydraulic-fill dams," Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 83, pp. 1713-1745, 1920.

[15]. C.-J. Lee, H.-T. Chen, H.-C. Lien, Y.-C. Wei, and W.-Y. Hung, (2014) "Centrifuge modeling of the seismic responses of sand deposits with an intra-silt layer," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 65, pp. 72-88,

[16]. Massie, A., & Watson, N. R. Impact of the Christchurch earthquakes on the electrical power system infrastructure. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 44(4), 425-430, 2011.

[17]. http://www.cti.co.jp/en/solution/cae/cae2./

[18]. S. L .Kramer, Geotechnical earthquake engineering: Pearson Education India, 1996.

[۱۹]. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، نشـریه شـماره ۵۲۵، راهنمای ارزیابی پتانسـیل روانگرایی خاک، پیامدها و روشهای کاهش مخاطرات آن

[20]. http://civilenggseminar.blogspot.com/2015/04/soil-liquefaction.html.

[21]. https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/image_pages/flow_daly9.html.

[22]. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/11030/005.cfm.

[23]. https://www.teara.govt.nz/en/photograph/31158/lateral-spreading.

[24]. Cooke, Harry G. "Ground improvement for liquefaction mitigation at existing highway bridges." PhD diss., 2000.

[25]. https://pubs.usgs.gov/fs/1999/fs151-99/

[26]. http://translate-en.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/ekijouka-map/q-and-a.html.

[۲۷]. کاوند, ع.، بررسی اثرات گسترش جانبی ناشی از روانگرایی بر پی های عمیق و ارائه راهکارهای کاهش آسیب با استفاده از آزمایش های میز لرزان g۱. تهران: دانشگاه صنعتی شریف۱۳۹۱.

[28]. Rauch, A. F., EPOLLS: An empirical method for predicting surface displacements due to liquefaction-induced lateral spreading in earthquakes. Virginia Polytechnic Instiute and State University, USA, 1997

[29]. http://blogs.agu.org/landslideblog/2012/11/12/lateral-spread-failures-from-the-burma-earthquake.

[30]. http://blogs.agu.org/landslideblog/2012/11/12/lateral-spread-failures-from-the-burma-earthquake.

[31]. https://research.engineering.ucdavis.edu/gpa/earthquake-hazards/liquefaction-at-moss-landing/

[۳۲]. گرکانی، ا، ا.، " بررسی عددی اثر لغزش تکیه گاه بر مقادیر تنش و تغییرشکل در سدهای سنگریز (مطالعه موردی: سد گتوند علیا)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۸۴

[33]. IAEG commission on landslide: suggested Nomenclature for landslide, Bulletin of the International Association Engineering Geology, N41 April 1990, pp.13-15

[34]. Mathewson, C., an introduction to engineering geology, 1981

[35]. Highland, L., & Bobrowsky, P. T., The landslide handbook: a guide to understanding landslides (p. 129). Reston: US Geological Survey, 2008.

[36]. Goodman, R. E., & Bray, J. W., Toppling of rock slopes. In Rock Engineering for Foundations & Slopes, (pp. 201-234). ASCE, 1976.

[37]. http://www.geocoops.com/volcanic-activity.html.

[38]. https://volcanohotspot.files.wordpress.com/2015/08.

[39]. https://geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/image_pages/lateral_20.html.

[40]. Glade, T., Anderson, M. G., & Crozier, M. J., (Eds.). Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons. 2006.

[41]. Haeri, S. M. and Samiee, A. H., (1994): A new method for landslide hazard microzonation base on microzonation studies in Mazandaran province. Geosciences Scientific Quarterly Journal, No.:23-24, P: 67

[42]. Conforth D.H, Landslides in practice, John Wiley & Sons, Inc. 2005

[43]. Keefer, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, 95(4), 406-421.

[44]. Chleborad, A. F., & Schuster, R. L. (1998). Ground failure associated with the Puget Sound region earthquakes of April 13, 1949, and April 29, 1965. Assessing earthquake hazards and reducing risk in the Pacific Northwest: US Geological Survey Professional Paper, 1560, 373-440.

[45]. Duncan, M., Wright, S., Duncan و Wright.، Soil Strength and Slope Stability, Wiley, 2014

[46]. Haeri, S.M., Garakani, A.A., Khosravi, A. and Ghazizadeh, S. (2016) “Effect of Soil Structure and Disturbance on Hydromechanical Behavior of Collapsible Loessial Soils”, International Journal of Geomechanics, DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000656. 2016.

[47]. Garakani, A. A., Haeri, S. M., Khosravi, A. and Habibagahi, G. (2015) "Hydro-mechanical behavior of undisturbed loessial soil under different stress state conditions", Engineering Geology, DOI information: 10.1016/j.enggeo.2015.05.026. 2015.

[48]. Haeri S. M. Garakani A. A. Khosravi A. and Meehan C.L. (2014) “Assessing The Hydro-Mechanical Behavior Of Collapsible Soils Using A Modified Triaxial Test Device” ASTM Geotechnical Testing Journal. VOL. 37, NO. 2,MARCH, DOI: 10.1520/GTJ20130034.

[49]. Haeri, S. M., Garakani, A. A., Saberi, S. and Beigi M. (2016) “A Three-Phased Constitutive Model for Predicting the Wetting Induced Collapse Behavior of Collapsible Soils under Triaxial Loading Condition”, 5th International conference on Geotechnical Engineering.

[50]. Haeri, S. M., Beigi M., Saberi, S. and Garakani A. A. (2016) “Study on the Stress Path Dependency of Collapse Behavior of Gorgan Loess Implementing Unsaturated Oedometer Devices” 3rd European Conference on Unsaturated Soils (E-UNSAT2016), Paris, France.,

[51]. Haeri, S.M. and Garakani, A.A. (2015) “Hardening behavior of a hydro collapsible loessial soil” The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Fukuoka, Japan, DOI: 10.3208/jgssp.IRN-02.

[52]. Haeri, S. M., Saberi, S., Beigi M. and Garakani A. A. (2015) “Study on the Behavior of a Collapsible Soil under Constant Matric Suction Loading Implementing an Unsaturated Framework” 15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engine.

[53]. Haeri, S. M., Khosravi, A., Ghazizadeh, S., Garakani, A., and, Meehan, C., (2014): Characterization of the Effect of Disturbance on the Hydro-Mechanical Behavior of a Highly Collapsible Loessial Soil, 6th International Conference on Unsaturated Soils.

[۵۴]. حائری، س. م.، قاضـــی زاده، ش.، ذبیحی، ن.، گرکانی، ا. ا.، (۱۳۹۲). " تحلیل و مقایســـه منحنی نگهداشـــت آب – خاک با استفاده از روش کاغذ صافی و انتقال محوری برای نمونه های بازسازی شده و تثبیت شده با آهک". اولین کنفرانس ملی ژئوتکنیک ایران، اردبیل، ایران، مهر و آبان ۱۳۹۲

[55]. Haeri, S.M., Zamani, A., and Garakani, A.A. (2012a) “Collapse potential and permeability of undisturbed and remolded loessial soil samples”, Springer, Unsaturated Soils: Research and Applications, pp. 301-308.

[56]. S. M. Haeri, A.A. Garakani (2012).” The variation of total volume change, water volume change, yielding net confining stress and shear strength of undisturbed unsaturated loess under isotropic compression”. 2nd European Conference on Unsaturated Soils. Napoli , Italy, Jun 2012

[57]. Haeri S.M., Khorshidi M., Akbari Garakani A. (2012c) “Variation of the volume change and water content of undisturbed loessial samples in controlled matric suction odometer tests”, 4th International Conference on Problematic Soils, Wuhan, China.

[۵۸]. حائری، س. م.، گرکانی، ا. ا.، روح پرور، ر ح.، (۱۳۹۱). " بررســی بهســازی بســتر کانالهای انتقال آب قرار گرفته بر روی خاکهای فروریزشی با افزایش آهک با انجام آزمایش ادومتر و مدلسازی عددی (مطالعه موردی – خاک لس گرگان)". سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی .کرج، ایران، خرداد ۱۳۹۱

[59]. Mackechnie, W.R., 1989, " Collapsible and swelling soils part 1: collapsible soils", General report, proc. Twelfth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Rio de Janiro, Vol. 4, pp. 2485-2490.

[60]. http://coloradogeologicalsurvey.org/cgs/52-collapsible-soils.

[61]. Rogers, C. D. F., 1995, "Types and Distribution of Collapsible Soils: In Genesis and Properties of Collapsible Soils", 1-17, E. Derbishire et al. (Eds), Kluwer academic publishers.

[62]. Dudley, J.H. 1970, "Review of collapsing soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 96, No. SM3, 925-947.

[63]. Barden, L., Madedor, A.O., Sides, G.R., 1969, "Volume change calculations of unsaturated clay". J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 95, pp: 33–51.

[64]. Elkady, T. Y., 2002, "Static and Dynamic Behaviour of Collapsible Soils", Ph.D. Thesis, Arizona State University", USA.

[65]. Feda, J., 1988, "Collapse of loess upon wetting". Engineering Geology, 25: 263-269. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam Printed in the Netherlands.

[66]. Estatiev, D., 1988, "Loess improvement methods", Engineering Geology, 25:341-366.

[67]. El Howayek, A., Huang, P., Santaga, M., 2011, "Identifycation and behavior of collapsible soils", Joint transportation research program technical report series.

[۶۸]. گرکانی، ا، ا.، " بررسی رفتار هیدرومکانیکی خاک‌های فروریزشی دست نخورده با انجام آزمایش سه محوری غیراشباع"، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۹۲.

[۶۹]. بیگی، م.، " بررسی رفتار هیدرومکانیکی خاک‌های فروریزشی دست‌نخورده با استفاده از دستگاه ادومتر غیراشباع- مطالعه موردی: لس گرگان " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۴.

[70]. Barden, L., McGown, A., Collins, K., 1973, "The collapse mechanisms in partly saturated soils", Engineering Geology, Vol. 7, pp. 49-60.

[71]. Klukanova, A., & Sajgalik, J. (1994). Changes in loess fabric caused by collapse: an experimental study. Quaternary International, 24, 35-39.

[72]. Jotisankasa, A., 2005, "Collapse Behaviour of a Compacted Silty Clay", Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London

[73]. Alwail, T., 1990, "Mechanism and Effect of Fines on the Collapse of Compacted Sandy Soils,"Ph.D. thesis, Washington State University, Pullman, Washington .

[74]. https://civil-engg-world.blogspot.nl/2012/03/expansive-soils-in-united-states.html.

[75]. Nelson, J., & Miller, D. J. (1997). Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering. John Wiley & Sons.

[76]. Canadian Foundation Engineering Manual 4th Edition.2006

[77]. F. G. Bell and D. J. H. Walker, "A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South. 2000.

[۷۸]. عسگری مجدآباد کهنه، ف.، "تورم و واگرایی خاک ها از دید مهندس ژئوتکنیک"، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران،۱۳۷۲.

[79]. https://www.slideshare.net/rizwansamor/identification-of-dispersive-soils.

[80]. V. R. Ouhadi and A. R. Goodarzi, "Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum" 2006.

[81]. Stohr, W.-J. Su, L. Follmer, P. DuMontelle, and R. A. Griffin, "Engineering geology investigations. 1988.

[82]. F. Bergaya, B. K. G. Theng, and G. Lagaly, Handbook of clay science, vol. 1. Elsevier, 2011. 2011.

[83]. Penner and G. Lagaly, "Influence of anions on the rheological properties of clay mineral. 2001.

[84]. http://saieg.co.za/index.php?mact=Album,m57372,default,1&m57372albumid=23&m57372returnid=126&page=126.

[85]. Sabatini, P. J., Bachus, R. C., Mayne, P. W., Schneider, J. A., & Zettler, T. E. (2002). Geotechnical engineering circular no. 5: evaluation of soil and rock properties (No. FHWA-IF-02-034)

[۸۶]. اسلامی، ا.، سخاوتیان، آ.، "مهندسی ژئوتکنیک؛ طراحی، کاربردها و مخاطرات"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.

[87]. Boylan, N., Jennings, P., & Long, M. (2008). Peat slope failure in Ireland. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 41(1), 93-108.

[88]. https://www.researchgate.net/publication/269042660_Analysis_of_seismic_data_and_correlation_with_downhole_geophysical_measurements_in_the_assessment_of_a_Swedish_area_prone_to_quick_clay_landslides/figures?lo=1.

[۸۹]. معماریان ح.، "زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۱۳۸۴.

[90]. Sinkholes, Pinellas County, Department of Environmental Management Coastal, Management Section in Website: http://www.pinellascounty.org , December 24, 2005.

[91]. Hunt, R. E. (2005). Geotechnical engineering investigation handbook. Crc Press.

[92]. https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/byregion./

[93]. http://redjyydek.blogspot.com/2011/05/earthquake-diagram-epicenter.html.

[94]. http://www.vandaclick.ir/uploads/posts/2013-04/thumbs/1365843953_26.jpg.

[95]. http://www.ibtimes.co.uk/kobe-earthquake-20th-anniversary-facts-about-devastating-1995-great-hanshin-earthquake-1483786.

[96]. https://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-211/NisquallyFinal.html.

[97]. https://depts.washington.edu/liquefy/html/where/where1.html.

[98]. Araneda, J. C., Rudnick, H., Mocarquer, S., & Miquel, P. (2010, October). Lessons from the 2010 Chilean earthquake and its impact on electricity supply. In Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on (pp. 1-7). IEEE.

[99]. http://japanpropertycentral.com/category/all/2011-tohoku-disaster/page/2./

[100]. https://pubs.usgs.gov/gip/volc/types.html.

[101]. http://corr-protection.blog.ir/1394/06/18/

[۱۰۲]. رضایی سامان کندی, م.، ارجمند، ع.، بررسی مشکلات صنعت برق و خوردگی مواد و لزوم احداث پایگاه تحقیقاتی در سواحل جنوبی کشور، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۰

[103]. https://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/08nov/01.cfm

[۱۰۴]. استاندارد و آیین کار سیستم‌های حفاظت کاتدی، شرکت سهامی تولید وانتقال نیروی برق ایران (توانیر)، شماره ۲۰۱-۶۹

[105]. http://www.mehrnews.com/news/3802060/

[106]. http://www.shana.ir/fa/newsagency/264917/

[107]. http://www.sabainfo.ir/fa/news/print/166.

[108]. ChristChurCh, New ZealaNd,. 2011.

[109]. Kashiwazaki, Japan,. 2007.

[110]. http://peer.berkeley.edu/publications/nisqually/geotech/liquefaction/lateralspread/index.html.

[111]. http://www.mehrnews.com/news/1578740/

[112]. http://kurdelectric.ir/

[113]. http://www.bargh-gmaz.ir/index.aspx?fkeyid=&siteid=1&pageid=135&newsview=535.

[114]. Cui, P., Chen, X. Q., Zhu, Y. Y., Su, F. H., Wei, F. Q., Han, Y. S & Zhuang, J. Q. (2011). The Wenchuan earthquake (May 12, 2008), Sichuan province, China, and resulting geohazards. Natural Hazards, 56(1), 19-36.

[115]. http://www.tabnak.ir/fa/news/681057/
[116]. http://www.iribnews.ir/fa/news/1514995/
[117]. http://www.bargh-gmaz.ir/index.aspx?fkeyid=&siteid=1&pageid=135&newsview=532.
[118]. http://www.zedc.ir/news/Pages/
[119]. http://www.skedc.ir/index.php?obj=News&taskName=ShowDetails&IDD=352.
[120]. http://www.javanonline.ir/fa/news/484367./
[121]. http://www.farsnews.com.
[122]. http://barghnews.com/fa/news/21769./
[123]. http://www.mehrnews.com/news/3977905.
[۱۲۴]. ذکاوتی، ع.، جعفری، م.، رهنورد، ع.، ارزیابی عملکرد شبکه توزیع برق در اثر زلزله سال ۱۳۹۲ بوشهر، هفتمین کنفرانس بین-المللی زلزله-شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۴
[125]. https://geohazard.ir/page/Fault_rupture.
[126]. http://tn.ai/1325742.
[127]. http://khouzestan.isna.ir/default.aspx?NSID=5&SSLID=46&NID=86391.
[۱۲۸]. سند چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، مجمع تشخیص مصلحت نظام جمهوری اسلامی ایران، تاریخ تصویب ۱۳ آبان ۱۳۸۲.
[۱۲۹]. سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه (ابلاغی توسط مقام معظم رهبری – مصوب ۱۳۸۴/۰۲/۰۳).
[۱۳۰]. قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور (مصوب مجلس شورای اسلامی به شماره: ۶۰۵/ ۱۸۷۸۵ و مورخ ۱۳۸۷/۳/۲۹).
[۱۳۱]. آئین نامه اجرایی قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور - مصوب مجلس شورای اسلامی (به شماره: ۱۸۵۶۴۵ /ت ۴۰۷۹۲ ک و مورخ ۱۳۸۸/۹/۲۱).
[۱۳۲]. . برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، مصوب اسفند سال ۱۳۸۹ هجری شمسی.
[۱۳۳]. سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو تا افق ۱۴۰۴، معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی دفتر برنامه ریزی راهبردی و تلفیقی، تاریخ ویرایش: ۹۰/۱۰/۲۱.
[۱۳۴]. مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور در افق زمانی ۱۴۰۴ هجری شمسی، وزارت نیرو، ابلاغی طی نامه شماره ۹۱/۴۷۵۵۸/۳۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ .
[۱۳۵]. سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری، بهمن سال ۱۳۹۲.
[۱۳۶]. نظامنامه مدیریت ریسک وزارت نیرو، وزارت نیرو، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، اردیبهشت ۱۳۹۵ .
[۱۳۷]. "روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق-راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم"، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲.
[138]. www.powline.com/products/designcodes, in .
[139]. P.T. Bobrowsky, Encyclopedia of natural hazards, Springer Dordrecht, 2013 .
[140]. E.A. Keller, D.E. DeVecchio, Natural Hazards: Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes, Taylor & Francis, 2016 .
[141]. D. Hyndman, D. Hyndman, Natural Hazards and Disasters, Cengage Learning, 2010 .
[142]. E. Bryant, Natural Hazards, Cambridge University Press, 2005 .
[143]. W. Mitchell, Natural hazards and environmental change, W. McGuire, I. Mason and C. Kilburn. Publisher Arnold, London 2002 (187 pp) ISBN 0 340 74220 8 (PB) 0 340 74219 4 (HB), Journal of Quaternary Science, 18 (2003) 465-465 .

[144]. Rahman, A. A., Boguslawski, P., Anton, F., Said, M. N., & Omar, K. M. (Eds.). (2014). Geoinformation for Informed Decisions. Springer International Publishing .

[145]. F.R. Siegel, Mitigation of Dangers from Natural and Anthropogenic Hazards: Prediction, Prevention, and Preparedness, Springer, 2016 .

[146]. P. Gardoni, C. Murphy, A. Rowell, Risk Analysis of Natural Hazards: Interdisciplinary Challenges and Integrated Solutions, in: Risk Analysis of Natural Hazards, Springer, 2016, pp. 1-7 .

[147]. Scaioni, M. (Ed.). (2015). Modern technologies for landslide monitoring and prediction. Springer .

[148]. J. Birkmann, S. Kienberger, D. Alexander, Assessment of vulnerability to natural hazards: a European perspective, Elsevier, 2014 .

[149]. T. Ghosh, A. Mukhopadhyay, Natural Hazard Zonation of Bihar (India) Using Geoinformatics: A Schematic Approach, Springer Science & Business Media, 2014 .

[150]. áBostenaru Dan, M. (2014). Earthquake Hazard Impact and Urban Planning. Environmental Hazards .

[151]. P. Paron, D.O. Olago, C.T. Omuto, Kenya: A Natural Outlook: Geo-Environmental Resources and Hazards, Newnes, 2013 .

[152]. K. Strelcová, C. Matyas, A. Kleidon, M. Lapin, M. Blazenec, J. Holecy, Bioclimatology and natural hazards, Springer Science & Business Media, 2008 .

[153]. C.A. Iglesias, L. Garrote, A. Cancelliere, F. Cubillo, D.A. Wilhite, Coping with drought risk in agriculture and water supply systems: Drought management and policy development in the Mediterranean, Springer Science & Business Media, 2009 .

[154]. Rivard, L. A. (2009). Geohazard-associated geounits: atlas and glossary. Springer Science & Business Media .

[155]. Free, M., Anderson, S., Milloy, C., & Mian, J. (2006, November). Geohazard risk management for infrastructure projects. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering (Vol. 159, No. 6, pp. 28-34). Thomas Telford Ltd .

[156]. C.E. Haque, Mitigation of natural hazards and disasters: international perspectives, Springer, 2005 .

[157]. L.C. Botterill, D.A. Wilhite, From disaster response to risk management: Australia's national drought policy, Springer, 2006 .

[158]. P. Blaikie, T. Cannon, I. Davis, B. Wisner, At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters, Routledge, 2014 .

[159]. T. Glade, P. Albini, F. Frances, (2001), an introduction to the use of mstorical data in natural hazard assessments, the use of historical data in natural hazard assessments,

[160]. J.V. Vogt, F. Somma, Drought and drought mitigation in Europe, Springer Science & Business Media, 2013 .

[161]. Department of Infrastructure, Local Government and Planning (Queensland Government), State Planning Policy—state interest guideline Natural hazards, risk and resilience, in, 2016 .

[162]. R. Kahn, Aerosol Air Mass Type Mapping Over Urban Areas From Space-based Multi-angle Imaging, in, NASA Goddard Space Flight Center, 2015 .

[163]. Office of the Chief Health Office (NSW Government), Natural Hazards: Public Health Considerations in, 2014 .

[164]. Pan American Health Organization- World Health Organization, Strategic Plan 2013 – 2018: Disaster Risk Reduction and Response, in, 2013 .

[165]. C. Office, Keeping the Country Running: Natural Hazards and Infrastructure, in, UK, 2011 .

[166]. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Strategic Plan: The Nation's Preeminent Emergency Management and Preparedness Agency, in, 2011 .

[167]. D.J. Julia Becker, Wendy Saunders, Kim Wright, Graham Leonard, Maureen Coomer, Douglas Paton, John McClure, Effective policy, decision making and communication for natural hazards, in .

[168]. Greater Wellington Regional Council (New Zealand Government), GW/EP-G-16/80: Natural Hazards Management Strategy, in .

[169]. G. Willis, Managing natural hazard risk in New Zealand: Towards more resilient communities, in, New Zealand: LGNZ, Regional Councils, 2014 .

[170]. Robert R. Holmes et al., Natural Hazards Science Strategy— Public Review Release, in, U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, USGS, 2012 .

[171]. ICSU, science plan on hazards and disasters: Earthquakes, Floods And Landslides in, 2008 .

[172]. L. Jones, R. Bernknopf, S. Cannon, D.A. Cox, L. Gaydos, J. Keeley, M. Kohler, H. Lee, D. Ponti, S. Ross, Increasing resiliency to natural hazards—A strategic plan for the Multi-Hazards Demonstration Project in Southern California, (2007 .(

[173]. A.M. Cruz, F. Pisano, J.-P. Nordvik, A.L. Vetere Arellano, Analysis of Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) Disaster Management, in, European Communities, 2004 .

[174]. K. Ágústsson, T. Jóhannesson, S. Sauermoser, Þ. Arnalds, Hazard zoning for Bolungarvík Technical report, 2002.

[175]. S.S. Þorsteinn Arnalds, Tómas Jóhannesson, and sther Jensen, Hazard Zoning for Eskifjörður in, 2002 .

[176]. X.G.Zhang,"Zinc",Uhlig's Corrosion Handbook, Second editor, edited by R.Winston Revie, John wile_y & Sons. Inc. 2000, pp. 887-904.

[177]. H.E. Townsend, "Extending the limits of growth through development of corrosion resistant steel products", corrosion, Vol. 55, No.6, 1999, pp. 547-553.

[178]. N. Komendantova, D. Kroos, D. Schweitzer, C. Leroy, E. Andreini, B. Baltasar, T. Boston, M. Keršnik, K. Botbaev, J. Cohen, Protecting Electricity Networks from Natural Hazards, in, Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE), 2016 .

[179]. Organization for Security and Co-operation in Europe (OSCE), Sharing Best Practices to Protect Electricity Networks from Natural Disasters, in, 2014 .

[180]. Q.R. Authority, Planning for stronger, more resilient electrical infrastructure, in, Queensland Reconstruction Authority, Brisbane, viewed, 2012 .

[181]. H. Rudnick, Impact of natural disasters on electricity supply [guest editorial], IEEE Power and Energy Magazine, 9 (2011) 22-26 .

[182]. Federal Emergency Management Agency and Department of Homeland Security, FEMA-1674-DR-KS and FEMA-1675-DR-NE: Electrical Transmission and Distribution Mitigation: Loss Avoidance Study -- Nebraska and Kansas, in, 2008 .

[183]. A.T. Crane, Physical vulnerability of electric systems to natural disaster and sabotage, (1990)

[184]. Strand, C., & Masek, J. (Eds.). (2008). Sumatra-Andaman Island Earthquake and Tsunami of December 26, 2004: Lifeline Performance. Amer Society of Civil Engineers .

[185]. Tang, A. K., & Johansson, J. (2010). Pisco, Peru, earthquake of August 15, 2007: lifeline performance. American Society of Civil Engineers (ASCE).

[186]. M.Rezaei Saman Kandi et al, "An investigation on the corrosion behavior of end fitting coating of composite insulators used for 63 kV lines in corrosive environment", NACE Conference, corrosion Asia, Singapore, Oct. 2000.

[187]. J. Eleutério, C. Hattemer, A. Rozan, A systemic method for evaluating the potential impacts of floods on network infrastructures, Natural Hazards and Earth System Sciences, 13 (2013) 983 .

[188]. R. Nateghi, S.D. Guikema, S.M. Quiring, Comparison and validation of statistical methods for predicting power outage durations in the event of hurricanes, Risk analysis, 31 (2011) 1897-1906 .

[189]. M. Bebbington, S.J. Cronin, I. Chapman, M.B. Turner, Quantifying volcanic ash fall hazard to electricity infrastructure, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 177 (2008) 1055-1062 .

[190]. H. Liu, R.A. Davidson, D.V. Rosowsky, J.R. Stedinger, Negative binomial regression of electric power outages in hurricanes, Journal of infrastructure systems, 11 (2005) 258-267 .

[191]. R.A. Davidson, H. Liu, I.K. Sarpong, P. Sparks, D.V. Rosowsky, Electric power distribution system performance in Carolina hurricanes, Natural Hazards Review, 4 (2003) 36-45 .

[192]. Araneda, J. C., Rudnick, H., Mocarquer, S., & Miquel, P. (2010, October). Lessons from the 2010 Chilean earthquake and its impact on electricity supply. In Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on (pp. 1-7). IEEE .

[193]. Massie, A., & Watson, N. R. (2011). Impact of the Christchurch earthquakes on the electrical power system infrastructure. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 44(4), 425-430 .

[194]. Fujisaki, E., Takhirov, S., Xie, Q., & Mosalam, K. M. (2014). Seismic vulnerability of power supply: lessons learned from recent earthquakes and future horizons of research. In Proceedings of 9th international conference on structural dynamics (EURODYN 20 .

[195]. Kwasinski, A., Eidinger, J., Tang, A., & Tudo-Bornarel, C. (2014). Performance of electric power systems in the 2010–2011 Christchurch, New Zealand, earthquake sequence. Earthquake Spectra, 30(1), 205-230 .

[196]. Waltham, T., Bell, F. G., & Culshaw, M. (2007). Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction. Springer Science & Business Media.

[197]. Li, M., Zou, Z., Xu, G., & Shi, P. (2015). Mapping earthquake risk of the world. In World Atlas of Natural Disaster Risk (pp. 25-39). Springer Berlin Heidelberg.

[198]. Frankel, A. D., Petersen, M. D., Mueller, C. S., Haller, K. M., Wheeler, R. L., Leyendecker, E. V., ... & Rukstales, K. S. (2005). Seismic-hazard maps for the conterminous United States (No. 2883).

[199]. https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/

[200]. Chen, F. H. (2012). Foundations on expansive soils (Vol. 12). Elsevier.

[201]. European Union (The ESPON 2013 Program), Natural Hazards and Climate Change in European Regions (Territorial Dynamics in Europe), in, 2013 .

[202]. Haque, U., Blum, P., da Silva, P. F., Andersen, P., Pilz, J., Chalov, S. R., & Lamas, P. C. (2016). Fatal landslides in Europe. Landslides, 13(6), 1545-1554.

[203]. Jimenez, M-J., Giardini, D., Grünthal, G., The ESC-SESAME Unified Hazard Model fo rthe European- Mediterranean region, csem-emsc Newsletter N° 19. April 2003, 2-4, 2003 .

[204]. Solomos, G., Pinto, A., & Dimova, S. (2008). A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of eurocode 8. Support to the Implementation, Harmonization and Further Development of the Eurocodes, JRC European Commission.

[205]. Scientific Technical Report STR11/14, Seismic Hazard and Risk in Central Asia, DOI: 10.2312/GFZ.b103-11149

[206]. Oliver S. Boyd, Charles S. Mueller, and Kenneth S. Rukstales, Preliminary Earthquake Hazard Map of Afghanistan, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia 2007

[207]. Oliver S. Boyd, Charles S. Mueller, and Kenneth S. Rukstales, Earthquake Hazard Map for Afghanistan, USGS, 2007.

[208]. http://www.preventionweb.net/files/3795_jpn.pdf, in .

[209]. https://lisparc.wordpress.com/2012/10/13/map-of-natural-disasters-in-china/, in .

[210]. Huang, R., & Li, W. (2011). Formation, distribution and risk control of landslides in China. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 3(2), 97-116.

[211]. http://jsaeh-old.khu.ac.ir/, in .

[212]. geoeh.um.ac.ir/, in .

[213]. jneh.usb.ac.ir/, in .

[214]. https://jhsci.ut.ac.ir/, in .

[215]. http://gep.ui.ac.ir/journal/aim_scope, in .

[۲۱۶]. نقشه های لرزه خیزی استان های ایران، مرکز لرزه نگاری کشوری، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

[۲۱۷]. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش ۴)، مرکز تحقیقات راه و شهرسازی

[۲۱۸]. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در مقابل زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش ۳)، مرکز تحقیقات راه و شهرسازی

[219]. https://www.iiees.ac.ir/fa/2012-12-25-18-56-39 ./

[220]. https://www.iiees.ac.ir/fa/2012-09-24-07-59-03 ./

[221]. https://www.iiees.ac.ir/fa/2012-09-24-08-01-17 ./

[222]. https://www.iiees.ac.ir/fa/2012-09-24-07-57-04/.

[۲۲۳]. سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری های نوین کنترل خوردگی در صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۴

[۲۲۴]. شریفی کیا، م،۱۳۸۹ "بررسی پی‌آمدهای ناشی از پدیده فرونشست در اراضی و دشت‌های مسکونی ایران، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد سوم، شماره ۳و ۴.

[۲۲۵]. تدوین مبانی سند راهبردی شناسایی و پهنه بندی مخاطرات زمین مرتبط با صنعت برق، گروه سازه های انتقال و توزیع نیرو، پژوهشگاه نیرو، مرداد ۱۳۹۶.

[226]. http://www.seratnews.ir/fa/news/319079/سهم-ایران-از-۴۲-بلایای-طبیعی-در-دنیا.

[227]. INFORM: 2017 results.

[228]. http://www.donyayesafar.com/n/5923.

[229]. http://www.irna.ir/fa/News/82442564.

[230]. Marin-Ferrer, M., Vernaccini, L., Poljansek,K., Index for Risk Management INFORM Concept and Methodology Report-Version 2017, EUR 28655 EN, doi: 10.2760/094023, 2017.

[231]. https://www.elsevier.com/research-intelligence/campaigns/disastersci.

[232]. https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2021.html.

[233]. http://www.indexmundi.com/factbook./

[234]. http://www.nationmaster.com/country-info/stats/Geography/Natural-hazards.

[235]. http://www.preventionweb.net/countries./

[236]. http://www.world-earthquakes.com/index.php?option=sta.

[237]. Shi, Peijun, et al. World Atlas of Natural Disaster Risk. Springer Berlin Heidelberg, 2015.

[238]. https://www.statista.com/statistics/269648/number-of-earthquakes-by-country./

[239].]https://www.theguardian.com/news/datablog/2010/feb/28/deadliest-earthquakes-strongest-data.

[240]. https://www.statista.com/statistics/269649/earthquake-deaths-by-country./

[241]. http://www.statisticbrain.com/earthquake-statistics./

[242]. https://www.statista.com/statistics/273943/biggest-earthquakes-worldwide-by-economic-damage./

[243]. https://www.statista.com/statistics/269651/economic-damage-from-earthquakes-by-country./

[244]. http://www.ngdir.ir/landslide/PLandSlideMap.asp?#Nod.

[245]. Ghazipour, N., Study of the size and distribution of landslides in the Zagrosmountains (Iran),Thèse de doctorat: Univ. Genève, 2015, no. Sc. 4806.

[۲۴۶]. امیدوار، ا.، کاویان، ع.، بررسی امکان برآورد تعداد و مساحت کل زمین لغزش ها با استفاده از تعیین توزیع فراوانی مساحت و حجم (مطالعه موردی: استان مازندران)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳.

[247]. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_landslides.

[248]. https://landslides.usgs.gov/learn/majorls.php.

[249]. http://blogs.agu.org/landslideblog/2012/08/16/global-patterns-of-loss-of-life-from-landslides-my-new-paper-in-the-journal-geology./

[۲۵۰]. کاردان، ر.، قبادی، م.، میرصانعی، ر.، زمین لغزشهای کشور مبتنی بر عکسهای هوایی، پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۱۳۸۶.

[251]. https://www.statista.com/statistics/267837/economic-damage-caused-by-mudslides./

[۲۵۲]. محمودپور، م.، شمشکی، ا.، فرونشست زمین در ایران، کنفرانس ملی حفاظت محیط زیست، ص. ۲۹۲-۲۸۴، بهار ۱۳۹۵.

[253]. Galloway, D.L., Burbey, T.J., Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, Hydrogeology Journal, 19, pp. 1459-1486, 2011.

[254]. Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, M., Nikudel, M.R., Ghassemi, M.R., Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by ground water exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran, Engineering Geology, 201, pp. 6-28, 2016.

[255]. Erkens, G.,Bucx, T., Dam, R., de Lange, G., Lambert, J., Sinking coastal cities,Proc. IAHS, 372, 189-198, 2015.

[256]. https://www.corrosionpedia.com/definition/1465/soil-corrosion.

[257]. Bian, M., Zhou, M., Sun, D., Li, Ch., Molecular approaches unravel the mechanism of acid soil tolerance in plants, THE CROP JOURNAL 1, 91–104, 2013.

[258]. Rattan, L., Encyclopedia of Soil Science, Dekker publisher, 2nd edition,1600 p., 2005.

[259]. Farifteh, Jamshid. Imaging spectroscopy of salt-affected soils: Model-based integrated method. Vol. 143. Utrecht University, 2007.

[260]. http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ah.html.

[261]. Al-Rawas, A. A., Goosen, M. F. A., Expansive Soils: Recent advances in characterizationand treatment, Taylor & Francis/Balkema, 2006.

[262]. Jones, L.D., Jefferson, I.F. Expansive soils. In: Burland, J., (ed.) ICE manual of geotechnical engineering. Volume 1, geotechnical engineering principles, problematic soils and site investigation. London, UK, ICE Publishing, 2012, 413-441.

[263]. Sridharan, A., Prakash, K., Classification procedures forexpansive soils, Proc. Instn. Civ. Engrs. Geotech.Engng., 143, Oct., 235-240, 2000.

[264]. Nelson, J. D., Chao, K. C., Overton, D. D., Nelson, E. J., Foundation Engineeringfor Expansive Soils, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.

[265]. Kaat, A., Joosten, H., Factbook for UNFCCC policies on peat carbon emissions, Wetlands International, December 2009.

[266]. ISRIC (Editor), UNEP (Editor), FAO (Editor), Human-Induced Soil Degradation, Rome, World Food Summit, 1996. URL: www.fao.org/docrep/003/w2612e/w2612eMap12-e.pdf [Accessed: 06.06.2012.[

[267]. https://www.whymap.org/whymap/EN/Maps_Data/Wokam/wokam_node_en.html.

[268]. http://earth.rice.edu/mtpe/geo/geosphere/hot/volcanoes/volcanoes_b2.html.

[269]. Liu, X., Zhan, F. B., Hong, S.,Niu, B., Liu, Y., A bibliometric study of earthquake research:1900–2010,Scientometrics, 92, 747–765, 2012.

[270]. Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., Hong, S., Global research trends in landslides during 1991–2014:a bibliometric analysis, Landslides, DOI 10.1007/s10346-015-0624-z, 2015.

[271]. Osipov, V.I., Problematic Soils, In: Engineering Geology and The Environment, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (Eds.), Vol. 5, Balkema Publications, 2001.

[272]. Zhuang, Yanhua, et al. "Research trends and hotspots in soil erosion from 1932 to 2013: a literature review." Scientometrics 105.2 (2015): 743-758.

[273]. Florea, Lee J., Beth Fratesi, and Todd A. Chavez. "The reflection of karst in the online mirror: A survey within scientific databases, 1960-2005." Journal of Cave and Karst Studies (2005): 229.

[۲۷۴]. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله: استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، نشریه شماره ۲۵۳ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

[275]. Li, J., Wang, Y., Chen, H., and Lin, L.: Risk assessment study of fire following an earthquake: a case study of petrochemical enterprises in China, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 891-900, https://doi.org/10.5194/nhess-14-891-2014, 2014.

[276]. https://earthquake.usgs.gov/hazards/hazmaps/.

[277]. http://www.oaxacanotes.com/Natural_Disasters_%E2%80%94_M%C3%A9xico.

[278]. https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_zones_of_India.

[279]. http://factsanddetails.com/japan/cat26/sub160/item865.html.

[280]. Crowley, H., Colombi, M., Borzi, B. et al., A comparison of seismic risk maps for Italy, Bull Earthquake Eng (2009) 7: 149–180.

[281]. http://www.deprem.gov.tr/en/Category/earthquake-zoning-map-96531.

[۲۸۲]. محمدی واوسری، م.، شعاعی، غ.، سامانه هشدار سریع زمین لغزش: نیازها و کمبودها، سی و دومین گردهمائی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، ۲۷-۳۰ بهمن ۱۳۹۲، ساری.

[۲۸۳]. ایزدی، ز.، انتظاری، م.، زمین لغزشهای ایران: معرفی، عوامل و مدیریت، نشریه رشد آموزش جغرافیا، دوره بیست و هفتم، شماره ۴، تابستان ۱۳۹۲.

[284]. http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e03.htm.

[۲۸۵]. جعفری شالکوهی، ع.، گتمیری، ب.، عالم زاده، ع.، پهنه بندی خاکهای مسئله دار در منطقه ساحلی شمال (گیلان، مازندران، گلستان) به کمک تستهای درجا و آزمایشگاهی، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران، اسفند ۱۳۹۰.

[286]. Shi, Bin, et al. "Engineering geological characteristics of expansive soils in China." Engineering Geology 67.1 (2002): 63-71.

[287]. Radevsky, Richard. "Expansive Clay Problems—How are They Dealt with Outside the US?." Expansive Clay Soils and Vegetative Influence on Shallow Foundations. 2001. 172-191.

[288]. Padilla-Corona, Enrique. "Foundations on Expansive Soils in Mexico." (2008).

[289]. Muthyalu, P. Venkara, K. Ramu, and GVR Prasada Raju. "Study on performance of chemically stabilized expansive soil." International Journal of Advances in Engineering & Technology 2.1 (2012): 139.

[۲۹۰]. مرادی، م.، غنچه پور، د.، نوحه گر، ا.، محمودی نژاد، و.، مقایسه مدلهای EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز پور احمدی (استان هرمزگان)، پژوهش های فرسایش محیطی،شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰.

[291]. http://www.tehrantimes.com/news/418381/Soil-erosion-in-Iran-2-5-times-the-world-average

[292]. Rao, Enming, et al. "National assessment of soil erosion and its spatial patterns in China." Ecosystem Health and Sustainability 1.4 (2015): 1-10

[293]. Nearing, Mark A., et al. "Natural and anthropogenic rates of soil erosion." International Soil and Water Conservation Research (2017)

[294]. Panagos, Panos, et al. "The new assessment of soil loss by water erosion in Europe." Environmental Science & Policy 54 (2015): 438-447

[295]. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion

[296]. Narayana, Dhruva VV, and Ram Babu. "Estimation of soil erosion in India." Journal of Irrigation and Drainage Engineering 109.4 (1983): 419-434

[297]. Bhattacharyya, Ranjan, et al. "Soil degradation in India: Challenges and potential solutions." Sustainability 7.4 (2015): 3528-3570

[۲۹۸]. ملکی، ا.، شوهانی، د.، علایی طالقانی، م.، پهنه بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸.

[299]. Palmer, A. N., Cave Geology: Dayton, 2007.

[300]. Ćalić, J., Karstic uvala revisited: Toward a redefinition of the term, Geomorphology, 2011, 134(1): 32-42.

[301]. White, W. B., Geomorphology and Hydrology of karst, oxford university press. Quinlan, j., Groundwater monitoring in karstterrains, 1988, EPA. 600/ x.

[۳۰۲]. حری، س.، ارزیابی حساسیت پذیری کارست حوضه اخلمد با کمک تئوری مطلوبیت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۴.

[303]. Weary, David J., and Daniel H. Doctor. Karst in the United States: A digital map compilation and database. US Department of the Interior, US Geological Survey, 2014.

[304]. Espinasa-Pereña, R. "Karstic Phenomena Susceptibility Map of MÉXICO." AGU Spring Meeting Abstracts. 2013.

[۳۰۵]. دلجویی، آ.، حسینی، ع.، صادقی، م.م.، "ارزیابی روشهای مختلف پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در اکوسیستم های جنگلی"، نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری، سال چهارم، شماره ۱۳، تابستان ۱۳۹۵.

[۳۰۶]. فتح آبادی، ا.، قندی، ا.، روحانی، ح.، سیدیان، م.، "بررسی کارایی روشهای دو و چند متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه چهل چای)"، نشریه پژوهش های فرسایش محیطی، ۶: ۴ (۲۴)، زمستان ۱۳۹۵.

[۳۰۷]. محمدنیا، م.، امیراحمدی، ا.، بهرامی، ش.، " کاربردمدل شواهد وزنی در ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از فناوری سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جاغرق)"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶سال سی و یکم، شماره دوم،تابستان ۱۳۹۵.

[۳۰۸]. شیرانی, ک.، تومانیان، ن.، بررسی سنجش از دوری زمین لغزش ها (نگرش ها و دستاوردهای نو)، همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، شهرداری یزد، ۱۳۹۳.

[309]. http://surveyir.ir/test2/using-joomla/extensions/997-2-دانستنیها-اخبار-طنز-نقشه-برداری.

[310]. ، آموزشکده نقشه برداری.GISقراگوزلو، ع.، "جزوه کامل

[311]. http://www.armangeomatics.ir/Photogrammetry.aspx.

[۳۱۲]. نقدی، ک.، "مبانی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، گروه مهندسی عمران- نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت، ۱۳۸۷.

[۳۱۳]. لاری، س.، "سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)"، گروه نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، ۱۳۸۹.

[۳۱۴]. اجل لوئیان، م.، روشهای پایش و محاسبه فرونشست زمین در اثر برداشت بی رویه آبهای زیرزمینی، همایش بین المللی افقهای نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست.

[315]. http://apsis.ir/تداخل-سنجی-رادار-دریچه-مصنوعی/

[316]. ، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور.InSARایازی، م.، اصول تداخل سنجی رادار -

[317]. https://ca.water.usgs.gov/land_subsidence/california-subsidence-measuring.html.

[۳۱۸]. شاداب فر، م.، تحلیل خطر زلزله، گروه سازه و ژئوتکنیک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهیدعباسپور).

[۳۱۹]. کیانی، ا.، فلاح اصغری، ج.، تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی(PSHA)با استفاده از سه روش مختلف برای سایت فرضی در شهر تبریز، سومین کنفرانس بین المللی بهسازی لرزه ای، تبریز، ایران، مهر ۱۳۸۹.

[۳۲۰]. راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، نشریه شماره ۶۲۶ معاونت نظام راهبردی و امور نظام فنی،۱۳۹۳.

[321]. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S., Gupta, R.P., Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping - A Review, Journal of South Asia Disaster Studies, Vol. 2, No. 1, June 2009.

[۳۲۲]. اسفندیاری درآبادی، ف.، بهشتی جاوید، ا.، فتحی، م.، "پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین(مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیاهرود)"، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره دوازدهم، زمستان ۱۳۹۳.

[323]. Mora, Sergio, and WILHELM-GÜNTHER VAHRSON. "Macrozonation methodology for landslide hazard determination." Bull Assoc Eng Geol 31.1 (1994): 49-58.

[324]. Anbalagan, A., Sharma, L. and Tyagi, S., Landslide Hazard Zonation (LHZ) Mapping of a Part of Doon Alley, Garthwal Himalya, India. In: Environment Mangement, 1993, pp. 253–260.

[۳۲۵]. رسایی، آ.، خسروی، خ.،حبیب نژاد روشن، م.، حیدری، ا.، مشایخان، آ.،پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چندمتغیره در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آق مشهد، استان مازندران)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۲، پاییز و زمستان ۱۱۳۹۴.

[۳۲۶]. شیرانی، ک.، عرب عامری، ع.، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره هفتاد و دوم، تابستان ۱۳۹۴.

[۳۲۷]. متولی، ص.، حسین زاده، م.، اسماعیلی، ر.، درفشی، خ.، ارزیابی دقت روشهای رگرسیون چندمتغیره، رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز طالقان، پژوهشهای ژئومورفولوژیکی، سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴.

[328]. http://www.aras-stat.ir/page-software-67938/30086-در-تحلیل-ممیزی-تشخیصی-SPSS.html.

[۳۲۹]. شیرانی، ک.، سیف، ع.، نصر، ا.،بررسی عوامل مؤثر بر حرکات توده ای برپایه تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: ارتفاعات دنای زاگرس)، مجله علوم زمین، سال بیست و سوم، شماره ۸۹، پاییز ۱۳۹۲.

[۳۳۰]. قجر، ا.، نقدی، ر.، دلیر، پ.، پهنه بندی حساسیت به وقوع زمین لغزش با روش نسبت فراوانی به منظور طراحی جاده جنگلی، دهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، بیرجند، ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۳.

[۳۳۱]. منصوری، م.، قاضی فرد، ا.، امامی، ن.، شیرانی، ک.، پهنه بندی خطر زمین لغزش به روشهای آنتروپی و و زن شاهد (مطالعه موردی: منطقه دوآب صمصامی استان چهارمحال و بختیاری)، مجله علوم زمین، سال بیست و ششم، شماره ۱۰۲، زمستان ۱۳۹۵.

[332]. Yang, Zongji, and Jianping Qiao. "Regional landslide zonation based on entropy method in Three Gorges area, China." Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010 Seventh International Conference on. Vol. 3. IEEE, 2010.

[۳۳۳]. ابهری، ا.، حسنی، ح.، مروری بر مهمترین روشهای نوین پهنه بندی خطر زمین لغزش، فصلنامه علمی، تخصصی مهندسی معدن، سال بیستم، شماره ۳۸، زمستان ۱۳۹۵.

[334]. Albayrak, Esra, and Yasemin Claire Erensal. "Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: An application of multiple criteria decision making problem." Journal of Intelligent Manufacturing 15.4 (2004): 491-503.

[۳۳۵]. : کرم، ع.، کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری)، مجله جغرافیا و توسعه، پاییز و زمستان ۱۳۸۳.

[336]. Malczewski, J., GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiely and sons, New york, USA, 1999.

[۳۳۷]. محمدی، م.، پورقاسمی، ح.، اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه حساسیت آن با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: بخشی از استان گلستان)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هشتم، شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۳۹۶.

[338]. Macharis, Cathy, et al. "PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP." European Journal of Operational Research 153.2 (2004): 307-317.

[۳۳۹]. یمانی، م.، احمدآبادی، ع.، زارع، غ.، بکارگیری الگوریتم ماشین های پشتیبان بردار در پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱.

[۳۴۰]. : المدرسی, ع.، بلبائی، ع.، InSAR و نقش آن در مطالعه بلایای طبیعی، همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، شهرداری یزد، ۱۱۳۹۳.

[341]. Taghipour, M., Lashkaripour, Gh.R., Ghafoori, M., Hafezimoghaddas, N., Evaluating the soil corrosion of Bushehr, Iran, based on a new classification system for corrosive soils, Anti-Corrosion Methods and Materials, 63/5 (2016), 347-354.

[342]. Dillon, C.P., Corrosion Control in the Chemical Process Industries, 2nd ed., Materials Technology Institute of the Chemical Process Industries, St. Louis, MO, 1994.

[۳۴۳]. پیشنماز احمدی، م.، رضائی مقدم، م.، فیضی زاده، ب.، بررسی شاخص ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آجی چای)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال هشتم/ شماره اول)، بهار ۱۳۹۶.

[344]. Gorji, Taha, Aysegul Tanik, and Elif Sertel. "Soil salinity prediction, monitoring and mapping using modern technologies." Procedia Earth and Planetary Science 15 (2015): 507-512.

[345]. Allbed, Amal, and Lalit Kumar. "Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review." Advances in remote sensing 2.04 (2013): 373.

[346]. Sridharan, A., and K. Prakash. "Classification procedures for expansive soils." Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering 143.4 (2000): 235-240.

[347]. Alkandari, F.A., Collapse of cemented carbonate sand, Ph.D. Thesis, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, USA, 2000.

[348]. Elkadey, T.Y., Static and dynamic behavior of collapsible soils, Ph.D. Thesis, Arizona State University, USA, 2002.

[349]. Haeri, S.M., Garakani, A.A., Khosravi, A. and Ghazizadeh, S. (2016) "Effect of Soil Structure and Disturbance on Hydromechanical Behavior of Collapsible Loessial Soils", International Journal of Geomechanics, DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000656. 2016.

[350]. Garakani, A. A., Haeri, S. M., Khosravi, A. and Habibagahi, G. (2015): "Hydro-mechanical behavior of undisturbed loessial soil under different stress state conditions", Engineering Geology, DOI information: 10.1016/j.enggeo.2015.05.026. 2015.

[351]. Haeri S. M. Garakani A. A. Khosravi A. and Meehan C.L. (2014) "Assessing The Hydro-Mechanical Behavior Of Collapsible Soils Using A Modified Triaxial Test Device" ASTM Geotechnical Testing Journal. VOL. 37, NO. 2,MARCH, DOI: 10.1520/GTJ20130034.

[352]. Haeri, S. M., Garakani, A. A., Saberi, S. and Beigi M. (2016) "A Three-Phased Constitutive Model for Predicting the Wetting Induced Collapse Behavior of Collapsible Soils under Triaxial Loading Condition", 5th International conference on Geotechnical En.

[353]. Haeri, S. M., Beigi M., Saberi, S. and Garakani A. A. (2016) "Study on the Stress Path Dependency of Collapse Behavior of Gorgan Loess Implementing Unsaturated Oedometer Devices" 3rd European Conference on Unsaturated Soils (E-UNSAT2016), Paris, France.,

[354]. Haeri, S.M. and Garakani, A.A. (2015) "Hardening behavior of a hydro collapsible loessial soil" The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Fukuoka, Japan, DOI: 10.3208/jgssp.IRN-02.

[355]. Haeri, S. M., Saberi, S., Beigi M. and Garakani A. A. (2015) "Study on the Behavior of a Collapsible Soil under Constant Matric Suction Loading Implementing an Unsaturated Framework" 15th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engine.

[356]. Haeri, S. M., Khosravi, A., Ghazizadeh, S., Garakani, A., and, Meehan, C., (2014): Characterization of the Effect of Disturbance on the Hydro-Mechanical Behavior of a Highly Collapsible Loessial Soil, 6th International Conference on Unsaturated Soils, S.

[357]. Haeri, S. M., Ghazizadeh, S., Zabihi, N., Garakani, A. A. (2013): Analysis and comparison of SWRCs for reconstituted and stabilized loessial soil specimens obtained from filter paper test and unsaturated oedometer tests, 1st National Conference on Geote.

[358]. Haeri, S.M., Zamani, A., and Garakani, A.A. (2012a) "Collapse potential and permeability of undisturbed and remolded loessial soil samples", Springer, Unsaturated Soils: Research and Applications, pp. 301-308.

[359]. Haeri, S.M., and Garakani, A.A. (2012b) "The variation of total volume change, water volume change, yielding net confining stress and shear strength of undisturbed unsaturated loess under isotropic compression", Springer, Unsaturated Soils: Research and.

[360]. Haeri S.M., Khorshidi M., Akbari Garakani A. (2012c) "Variation of the volume change and water content of undisturbed loessial samples in controlled matric suction odometer tests", 4th International Conference on Problematic Soils, Wuhan, China.

[361]. Haeri, S. M., Garakani, A.A., Ruhparvar, H.R. (2012d): Evaluation of improvement of the base of an irrigation canal in a loessial soil by lime using oedometer tests and numerical modeling, 3rd National Seminar on Irrigation Channels, Karaj, Iran.

[۳۶۲]. بیگی، م.، " بررسی رفتار هیدرومکانیکی خاک های فروریزشی دست نخورده با استفاده از دستگاه ادومتر غیراشباع- مطالعه موردی: لس گرگان " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۴.

[۳۶۳]. گرکانی، ا، ا.، " بررسی رفتار هیدرومکانیکی خاکهای فروریزشی دست نخورده با انجام آزمایش سه محوری غیراشباع"، پایاننامه دکترا، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۹۲.

[364]. :http://basin.ir/1395/04/14/USLE.

[۳۶۵]. رضایی، پ.، فریدی، پ.، قربانی، م.، کاظمی، م.، برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضهٔ آبخیز گابریک- جنوب خاوری استان هرمزگان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳.

[۳۶۶]. واعظی، ع.، بهرامی، ح.، صادقی، ح.، مهدیان، م.، ارزیابی شاخص های فرسایندگی مدلهای USLE، MUSLE، RUSLE و USLEM در خاکهای ناحیه ای نیمه خشک در جنوب استان آذربایجان شرقی، مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ۴، پاییز ۱۳۸۷.

[۳۶۷]. صادقی ، ح.، پورقاسمی، ح.، محمدی، م.، آقارضی، ح.، ارزیابی دقت و کارآیی رابطه جهانی فرسایش خاک و برخی از نسخ آن در برآورد رسوب رگبارهای منفرد (مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی خسبیجان، اراک)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۶.

[368]. Gavrilovic, S., The Use of Empirical Method (EPM) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential Streams, International Conference on River Regime, W.R. White (Ed.), John Wiley, and 18-20 May 1988, 411-423.

[۳۶۹]. دسترنج، ع.، اسدی نیلوان، ا.، فلاح، س.، صالح نسب، ا.، جعفری، ش.، برآورد فرسایش و رسوب سالانه با استفاده از مدل EPM و GIS (مطالعه موردی: حوزه زیدشت، طالقان)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۴، پاییز ۱۳۹۴.

[۳۷۰]. ملکی، ا.، شوهانی، د.، علایی طالقانی، م.، پهنه بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، فصلنامه علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸.

[۳۷۱]. ملکی، ا.، اویسی، م.، شناسایی ساختار گسلی و تحول چشمه های کارستی با استفاده از رادار نفوذی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۱.

[۳۷۲]. کاظمی، م.، بررسی عوامل موثر بر تحول ژئومورفولوژی کارست در کوه گاماسیاب با تاکید بر تحول لاپیه (جنوب نهاوند)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال نهم، شماره ۳۳، بهار ۱۳۹۱.

[373]. Marturia, J., et al. "Monitoring techniques for analysing subsidence: a basis for implementing an Early Warning System." Land Subsidence, Associated hazards and the role of natural resources development. Proceedings of EISOLS (2010.(

[۳۷۴]. خضری، س.، شهابی، ه.، محمدی، س.، ارزیابی و پهنه بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶.

[۳۷۵]. عباسی، م.، باقری، سیدشکری، س.، جعفری اقدم، م.، پهنه بندی تحول کارست با استفاده از مدل آنتروپی نمونه موردی: تاقدیس نوا زاگرس شمال باختری، فصلنامه علوم زمین، زمستان ۱۳۹۳، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صفحه ۱۶۱-۱۶۸ .

[۳۷۶]. یمانی، م.، شمسی پور، ع.، جعفری اقدم، م.، باقری سیدشکری، س.، بررسی عوامل مؤثر در توسعه یافتگی و پهنه بندی ک ارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP، استان کرمانشاه، فصلنامه علوم زمین، تابستان ۱۳۹۲، سال بیست و دوم، شماره ۸۸، صفحه ۵۷-۶۶.

[377]. Gao, Meng-tan. "New national seismic zoning map of China." Acta Seismologica Sinica 16.6 (2003): 639-645.

[378]. Tena-Colunga, Arturo, et al. "Updated seismic design guidelines for model building code of Mexico." Earthquake Spectra 25.4 (2009): 869-898.

[379]. Iyengar, R. N., et al. "Development of probabilistic seismic hazard map of India." Report on the National Disaster Management Authority, Government of India, India (2010.(

[380]. Parvez, Imtiyaz A., Franco Vaccari, and Giuliano F. Panza. "A deterministic seismic hazard map of India and adjacent areas." Geophysical Journal International 155.2 (2003): 489-508.

[381]. Fujiwara, H., et al. "National seismic hazard maps of Japan." Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo 81 (2006): 221-232.

[382]. Ulomov, V. I. "General seismic zoning of the territory of Russian Federation: GSZ-2012." Seismic Instruments 50.4 (2014): 290-304.

[383]. Liu, C., et al. "Susceptibility evaluation and mapping of China's landslide disaster based on multi-temporal ground and remote sensing satellite data." ISPRS-International Archives of the Photogrammetry 39 (2012): B8.

[384]. Wang, Qiqing, et al. "Landslide susceptibility mapping at Gongliu county, China using artificial neural network and weight of evidence models." Geosciences Journal 20.5 (2016): 705-718.

[385]. Hong, Haoyuan, Chong Xu, and Dieu Tien Bui. "Landslide Susceptibility Assessment at the Xiushui Area (China) Using Frequency Ratio Model." Procedia Earth and Planetary Science 15 (2015): 513-517.

[386]. He, Yiping, and R. Edward Beighley. "GIS‐based regional landslide susceptibility mapping: a case study in southern California." Earth Surface Processes and Landforms 33.3 (2008): 380-393.

[387]. Wachal, David J., and Paul F. Hudak. "Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA." GeoJournal 51.3 (2000): 245-253.

[388]. Bravo-Carvajal, Ixtlitzin, et al. "Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS: Nueva Colombia, Chiapas, Mexico." Landslide Science for a Safer Geoenvironment. Springer, Cham, 2014. 405-411.

[389]. Gaidzik, Krzysztof, et al. "Landslide manual and automated inventories, and susceptibility mapping using LIDAR in the forested mountains of Guerrero, Mexico." Geomatics, Natural Hazards and Risk (2017): 1-26.

[390]. Paulín, Gabriel Legorreta, et al. "A GIS method for landslide inventory and susceptibility mapping in the Río El Estado watershed, Pico de Orizaba volcano, México." Natural hazards 71.1 (2014): 229-241.

[391]. Murillo-García, Franny Giselle, and Irasema Alcántara-Ayala. "Landslide Susceptibility Analysis and Mapping Using Statistical Multivariate Techniques: Pahuatlán, Puebla, Mexico." Recent Advances in Modeling Landslides and Debris Flows. Springer Internatio.

[392]. Sarkar, S., and D. P. Kanungo. "Landslide hazard zonation in India: a review." Proc Int Conf Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation, Singapore. 2005.

[393]. Chenkual, L., Lalbiakmawia, F., Laltanpuia, Z. D. "Landslide Hazard Zonation (LHZ) Of Saiha District, Mizoram, India Using Remote Sensing and GIS." International Journal of Engineering Science and Computing (2016): 8724-87281.

[394]. Kawagoe, S., S. Kazama, and Priyantha Ranjan Sarukkalige. "Probabilistic modelling of rainfall induced landslide hazard assessment." Hydrology and Earth System Sciences 14.6 (2010): 1047-1061.

[395]. Wang, Liang-Jie, et al. "Landslide susceptibility mapping in Mizunami City, Japan: a comparison between logistic regression, bivariate statistical analysis and multivariate adaptive regression spline models." Catena 135 (2015): 271-282.

[396]. Wang, Liang-Jie, et al. "A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network." Geosciences Journal 20.1 (2016): 117-136.

[397]. Günther, A., Reichenbach, P., Hervás, J., Approaches for Delineating Areas Susceptible to Landslides in the Framework of the European Soil Thematic Strategy. In Proceedings of the First World Landslide Forum, Tokyo, 18-21 November 2008.

[398]. Trigila, Alessandro, et al. "Landslide susceptibility mapping at national scale: the Italian case study." Landslide Science and Practice. Springer Berlin Heidelberg, 2013. 287-295.

[399]. Mancini, F., C. Ceppi, and G. Ritrovato. "GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy." Natural Hazards and Earth System Sciences 10.9 (2010): 1851.

[400]. Catani, F., et al. "Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues." Natural Hazards and Earth System Sciences 13.11 (2013): 2815-2831.

[401]. Akgun, Aykut, Serhat Dag, and Fikri Bulut. "Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models." Environmental Geology 54.6 (2008): 1127-1143.

[402]. Demir, G. "Landslide susceptibility assessment of the part of the North Anatolian Fault Zone." Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. (2016): 1-17.

[403]. Temiz, A. "GIS Based Landslide Susceptibility mapping: Karabük Province Case in Turkey." 1st WSEAS International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG'08), Malta. 2008.

[404]. Huang, Bijuan, Longcang Shu, and Y. S. Yang. "Groundwater overexploitation causing land subsidence: hazard risk assessment using field observation and spatial modelling." Water resources management 26.14 (2012): 4225-4239.

[405]. Hu, Beibei, et al. "Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China." Environmental Earth Sciences 59.2 (2009): 269.

[406]. Liu, J., H. Wang, and X. Yan. "Risk evaluation of land subsidence and its application to metro safety operation in Shanghai." Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences 372 (2015): 543.

[407]. Zhu, L., et al. "Spatial risk assessment on land subsidence in Beijing, China." 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia, 1–6 December 2013.

[408]. Galloway, D.L., Bawden, G.W., Leake, S.A., Honegger, D.G., Land Subsidence Hazards, Chapter 2 of Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines, Open-File Report 2008–1164.

[409]. Fergason, K. C., M. L. Rucker, and B. B. Panda. "Methods for monitoring land subsidence and earth fissures in the Western USA." Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences 372 (2015): 361.

[410]. Pacheco-Martínez, J., et al. "Application of InSAR and gravimetric surveys for developing construction codes in zones of land subsidence induced by groundwater extraction: case study of Aguascalientes, Mexico." Proc of the Int Assoc of Hydro Sci 372(2015.(

[411]. Cabral-Cano, E., et al. "Satellite geodesy tools for ground subsidence and associated shallow faulting hazard assessment in central Mexico." Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences 372 (2015): 255.

[412]. Goense, A.L., A Sinking Metropolis: A methodology for risk assessment of land subsidence due to groundwater exploitation in Mexico City, Thesis, TU Delft, 2016.

[413]. Chatterjee, R. S., et al. "Detecting, mapping and monitoring of land subsidence in Jharia Coalfield, Jharkhand, India by spaceborne differential interferometric SAR, GPS and precision levelling techniques." J Earth System Science 124.6 (2015): 1359-1376.

[414]. Murakami, S., K. Yasuhara, and F. Murata. "Land subsidence prediction and its visualization using Geographical Information System (GIS)." Groundwater Updates. Springer, Tokyo, 2000. 79-84.

[415]. Raspini, Federico, Francesca Cigna, and Sandro Moretti. "Multi-temporal mapping of land subsidence at basin scale exploiting Persistent Scatterer Interferometry: case study of Gioia Tauro plain (Italy)." Journal of Maps 8.4 (2012): 514-524.

[416]. Rosi, Ascanio, et al. "Subsidence mapping at regional scale using persistent scatters interferometry (PSI): The case of Tuscany region (Italy)." International journal of applied earth observation and geoinformation 52 (2016): 328-337.

[417]. Baldi, P., et al. "GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy)." Earth and Planetary Science Letters 288.1 (2009): 204-212.

[418]. Wu, Jingwei, et al. "Remote sensing monitoring of changes in soil salinity: a case study in Inner Mongolia, China." Sensors 8.11 (2008): 7035-7049.

[419]. Sheng, Jiandong, et al. "Digital soil mapping to enable classification of the salt-affected soils in desert agro-ecological zones." Agricultural Water Management 97.12 (2010): 1944-1951.

[420]. Fernandez-Buces, Norma, et al. "Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico." Journal of Arid Environments 65.4 (2006): 644-667.

[421]. Mandal, A. K., R. C. Sharma, and Gurbachan Singh. "Assessment of salt affected soils in India using GIS." Geocarto International 24.6 (2009): 437-456.

[422]. Azabdaftari, A., and F. Sunar. "Soil Salinity Mapping Using Multitemporal Landsat Data." ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2016): 3-9.

[423]. Chernousenko, G. I., et al. "Digital map of salt-affected soils of Khakassia." Eurasian Soil Science 45.11 (2012): 997-1012.

[424]. Foundations in Expansive Soils, EZpdh.com.

[425]. Patankar, A.M., Mukewar, D.M., Khankhoje, S.L., Black cotton soils of india: a review of engineering properties and Construction Techniques, U.G. Project report, 2015.

[426]. Erguler, Zeynal Abiddin, and Reşat Ulusay. "Engineering characteristics and environmental impacts of the expansive Ankara Clay, and swelling maps for SW and central parts of the Ankara (Turkey) metropolitan area." Environmental Geology 44.8 (2003): 979-99.

[427]. Zhang, Changshun, et al. "Assessment of soil erosion under woodlands using USLE in China." Frontiers of Earth Science 5.2 (2011): 150-161.

[428]. Jiang, Yu. "Rough area soil erosion mapping via gis modeling." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,Vienna, 1996.

[429]. Chen, Tao, et al. "Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China." Environmental Earth Sciences 63.3 (2011): 533-541.

[430]. Cartwright, J.H., Watershed erosion potential mapping using ahp modeling and gis, Geosystems Research Institute, Mississippi State University.

[431]. Rahaman, S. Abdul, et al. "Estimation of Annual Average Soil Loss, Based on Rusle Model in Kallar Watershed, Bhavani Basin, Tamil Nadu, India." ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2.2 (2015): 207.

[432]. Pal, Sharmistha, et al. "Soil erosion in Punjab." Current Science (00113891) 111.10 (2016.(

[433]. Sharma, Garima, and Rohit Goyal. "Qualitative and Quantitative Soil Erosion Mapping of Micro-watersheds of Bisalpur Reservoir using Remote sensing and GIS." UIM-2013 (2013.(

[434]. Nanko, Kazuki, et al. "Prediction of Soil Erosion Rates in Japan where Heavily Forested Landscape with Unstable Terrain." AGU Fall Meeting Abstracts. 2016.

[435]. Abdollahzadeh, A., M. Mukhlisin, and A. El Shafie. "Predict soil erosion with artificial neural network in Tanakami (Japan)." WSEAS T Comput 10 (2011): 51-60.

[436]. Van der Knijff, J. M. F., R. J. A. Jones, and L. Montanarella. Soil erosion risk assessment in Italy. JRC, European Commission, 1999.

[437]. Grimm, M., Jones, R.J.A., Rusco, E., Montanarella, L., Soil Erosion Risk in Italy: a revised USLE approach, European Soil Bureau, Institute for Environment & Sustainability, JRC Ispra Italy, EUR 20677 EN, 2003.

[438]. Zhou, Guoqing, et al. "Risk evaluation of Karst collapse using GIS and RS." Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International. IEEE, 2014.

[439]. Wu, Y. P., Wei Jiang, and Hui Ye. "Karst collapse hazard assessment system of Wuhan city based on GIS." 2010 international symposium in Pacific Rim, Taipei, Taiwan, April. 2010.

[440]. Li, Xueping, Shunping Zhou, and Guangli Xu. "GIS-Based Risk Assessment to Karst Susceptibility of Shenzhen Universiade Center (China)." Procedia Environmental Sciences 10 (2011): 1389-1395.

[441]. Todd, Alexandra L., and Lindsay Ivey-Burden. "A Method of Mapping Sinkhole Susceptibility Using a Geographic Information System: A Case Study for Interstates in the Karst Counties of Virginia." (2015).

[442]. Gutierrez, R. "Compilation and Production of a Karst map of Mexico." AGU Fall Meeting Abstracts. 2008.

[443]. Aguilar, Yameli, et al. "DENSITY OF KARST DEPRESSIONS IN YUCATÁN STATE, MEXICO." Journal of Cave and Karst Studies 78.2 (2016): 51.

[444]. Festa, Vincenzo, et al. "Sinkhole evolution in the Apulian karst of southern Italy: a case study, with some considerations on sinkhole hazards." Journal of Cave and Karst Studies 74.2 (2012): 137-147.

[445]. di Santolo, Anna Scotto, et al. "Sinkhole risk assessment in the metropolitan area of Napoli, Italy." Procedia Engineering 158 (2016): 458-463.

[446]. Canora, Filomena, et al. "GIS thematic layers for assessing karst hazard in Murgia region (Italy)." EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol. 15. 2013.

[447]. Ciotoli, G., et al. "Sinkhole susceptibility, Lazio Region, central Italy." Journal of Maps 12.2 (2016): 287-294.

[448]. Santo, Antonio, et al. "Karst collapse susceptibility assessment: A case study on the Amalfi Coast (Southern Italy)." Geomorphology 285 (2017): 247-259.

[449]. https://www.mapsofindia.com/maps/india/seismiczone.htm.#

[450]. Huang, R., Li, W., Formation, distribution and risk control of landslides in China, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2011, 3 (2): 97–116.

[451]. Liu, X., Yu, C., Shi, P. et al., Debris flow and landslide hazard mapping, Front. Earth Sci. (2012) 6: 306. https://doi.org/10.1007/s11707-012-0328-9.

[452]. https://landslides.usgs.gov/hazards/nationalmap/legend.php.

[453]. http://thinkhazard.org/en/report/162-mexico/LS.

[454]. http://www.bmtpc.org/topics.aspx?mid=56&Mid1=186.

[455]. http://www.thinkhazard.org/en/report/126-japan/LS.

[456]. http://thinkhazard.org/en/report/249-turkey/LS.

[457]. YAMAMOTO, S., Recent trend of land subsidence in Japan, Land Subsidence (Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, The Hague, October 1995). IAHS Publ. no. 234, 1995.

[458]. Szabolcs, I., Review of research on salt-affected soils, Natural Resources Research, UNESCO, 1979.

[459]. Singh, Gurbachan, et al. "Remote sensing and geographic information system for appraisal of salt-affected soils in India." Journal of environmental quality 39.1 (2010): 5-15.

[460]. Pankova, E. I. "Salt-affected soils of Russia: Solved and unsolved problems." Eurasian soil science 48.2 (2015): 115.

[461]. Olive W et al (1989) Swelling clays map of the conterminous United States. Map 1-1940: Miscellaneous investigation series, USGS.[http://geology.com/articles/expansive-soil.shtml.[

[462]. Zepeda Garrido, J. A., and A. H. Castañeda. "Distribución de suelos expansivos en la República Mexicana." Revista de Investigación, No. 21-22, Universidad Autónoma de Querétaro, México , octubre-diciembre (1987).

[463]. http://www.china-food-security.org/data/maps/assod/ass_5_m.htm.

[464]. http://www.dailymail.co.uk/indiahome/indianews/article-2660560/Desertification-land-degradation-affects-quarter-Indias-land.html.

[465]. Yuan, D., Zhang, C., Karst Processes and the Carbon Cycle, Final Report of IGCP 379. Geological Publishing House,Beijing, pp. 1-220, 2002.

[466]. Cui, Qing-Long, et al. "Chinese karst geology and measures to prevent geohazards during shield tunnelling in karst region with caves." Natural Hazards 77.1 (2015): 129-152.

[467]. http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/geologyRome.htm.

[468]. Liu, X., Zhan, F. B., Hong, S., Niu, B., Liu, Y., A bibliometric study of earthquake research: 1900–2010, Scientometrics, 92, 747–765, 2012.

[469]. Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., Hong, S., Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis, Landslides, DOI 10.1007/s10346-015-0624-z, 2015.

[470]. Galloway, D. L., et al. "The UNESCO-IHP Working Group on Land Subsidence: Four Decades of International Contributions to Hydrogeological Related Subsidence Research and Knowledge Exchange." AGU Fall Meeting Abstracts. 2015.

[471]. van Beynen, Ph.E., Karst Management, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, DOI 10.1007/978-94-007-1207-2, 2011.

[472]. Tufty, B., 1001 questions answered about earthquakes, avalanches, floods, and other natural disasters, New York: Dover Publications, 1978.

[473]. http://www.khabaronline.ir/detail/366879/weblog/zare.

[474]. Keilis-Borok, V. I. & Kossobokov, V. G., A complex of longterm precursors for the strongest earthquakes of the world. Proc. 27th Geological Congress vol. 61. Nauka, Moscow, pp. 56-66, 1984.

[475]. Kossobokov, V. G., The test of algorithm M8. In: Sadovsky, M.A. (Ed.), Algorithms of Long-Term Earthquake Prediction. CERESIS,Lima, Peru, pp. 42-52, 1986.

[476]. Keilis-Borok, V. I. & Soloviev, A. A., Nonlinear dynamics of the lithosphere and earthquake prediction, Springer-verlag, Berlin,166-172, 2002.

[۴۷۷]. یزدانی، م.، "پیش نشانگرهای زلزله"، مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله.

[478]. http://rcep.ut.ac.ir/Fa/precursor/p-animal-def-2.asp.

[479]. http://www.gsi.ir/fa/news/2/bodyView/16269/چین.برای.پیش.بینی.زلزله.چاهی.به.عمق.پنج.کیلومتر.حفر.کرد.html.

[480]. http://sinapress.ir/news/11797/استفاده-از-حیوانات-برای-شناسایی-زلزله-در-چین.

[481]. http://rcep.ut.ac.ir/Fa/precursor/p-animal-def-2.asp.

[482]. https://fa.wikipedia.org/wiki/سامانه_هشدار_زمینلرزه.

[483]. https://www.isna.ir/news/96082212630/مروری-بر-راهکارهای-کشورهای-جهان-در-برابر-زلزله.

[484]. David Talbot. A technology review published by Massachusetts Institute of Technology on 2008-05-14. Retrieved on 2008-06-29.

[485]. Gasparini, Paolo; Manfredi, Gaetano; Zschau, Jochen. Earthquake early warning systems. Springer, 2007. Ch. 4, Real-time Estimation of Earthquake Magnitude for Seismic Early Warning. ISBN 3-540-72240-8.

[486]. Gasparini, Paolo; Manfredi, Gaetano; Zschau, Jochen. Earthquake early warning systems. Springer, 2007. Ch. 5, A New Approach to Earthquake Early Warning. ISBN 3-540-72240-8.

[487]. Office Of Technology Assessment Washington Dc. Reducing earthquake losses. DIANE Publishing, 1995. 181-182. ISBN 0-16-048267-4.

[488]. https://www.zoomit.ir/2017/10/8/223106/earthquake-early-warning-system-is-coming./

[489]. https://www.zoomit.ir/2017/10/8/223106/earthquake-early-warning-system-is-coming./

[490]. https://futurism.com/an-earthquake-early-warning-system-is-coming-to-the-west-coast./

[491]. Geological Survey,menlo park, california , sacramento california. 11.

[492]. Nakao, Masateru, et al. "Emergency information broadcasting distribution system." NTT DoCoMo Technical Journal 9.4 (2008): 4-10.

[493]. https://fa.wikipedia.org/wiki/سامانه_هشدار_لحظهای_ملی_ژاپن.

[494]. Kirkland, Kyle. Earth Sciences: Notable Research and Discoveries. Facts on File, 2010. 171-173. ISBN 0-8160-7442-9.

[495]. Asgarya, Ali;Levyb,Jason K. ; Mehregand, Nader. Estimating willingness to pay for a hypothetical earthquake early warning systems. Journal of Environmental Hazards 7, no. 4 (2007): 312-320.

[۴۹۶]. : دشتی، س.، سبزقبایی، غ.، محسنی، ف.، هدایت زاده، ف.، کاربرد دورسنجی (RS) در ارزیابی، پایش و مدیریت سوانح طبیعی، اولین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، ۱۳۹۳.

[497]. Massonnet, Didier, et al. "Radar interferometric mapping of deformation in the year after the Landers earthquake." Nature369.6477 (1994): 227-230.

[498]. UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2009. ww.unisdr.org.

[499]. Tiranti, D., Rabuffetti, D., 2010. "Estimation of rainfall thresholds triggering shallow landslides for an operational warning system implementation". Landslides, 7, p. 471-481.

[500]. Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S., Noro, T., 2010. "Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network". Landslides, 7, p. 325–338.

[501]. Baum, R.L., Godt, J.W., Harp, E.L., McKenna, J.W., McMullen, S.R., 2005. "Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, Washington, USA". In: Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, p. 731–740.

[502]. Intrieri, E., Gigli, G., Mugnai, F., Fanti, R., Casagli, N., 2012. "Design and implementation of a landslide early warning system", Engineering Geology, 147–148, p. 124-136.

[503]. Yin, Y., Wang, H., Gao, H., Li, X., 2010. "Real-time monitoring and early warning of landslides at relocated Wushan Town, the Three Gorges Reservoir, China", Landslides, 7, p. 339–349.

[504]. Staley, D.M., Kean, J.W., Cannon, S.H., Schmidt,K.M., Laber, J.L., 2013. "Objective definition of rainfall intensity–duration thresholds for the initiation of post-fire debris flows in southern California". Landslides, 10, p. 547-562.

[505]. DiBiagio, E., Kjekstad, O., 2007. "Early Warning, Instrumentation and Monitoring Landslides", 2nd Regional Training Course, RECLAIM II, Phuket, Thailand, 29 January–2 February, p. 1–24.

[506]. Baum, R.L., Godt, J.W., 2010. "Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA", Landslides, 7, p. 259–272.

[507]. SafeLand., 2011. "Guidelines for landslide monitoring and early warning systems in Europe: design and required technology", 135pp.

[508]. Intrieri, E., Gigli, G., Casagli, N., Nadim, F., 2013. "Brief communication "Landslide Early Warning System: toolbox and general concepts"", Natural Hazards and Earth System Sciences, 13, p. 85-90.

[509]. Saito, H., Daichi, N., Matsuyama, H. 2010. "Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity-duration thresholds in Japan", Geomorphology, 118, p. 167-175.

[510]. Arbanas Ž., Tofani V. Introduction: Landslide Monitoring and Warning. In: Mikoš M., Arbanas Ž., Yin Y., Sassa K. (eds) Advancing Culture of Living with Landslides. WLF 2017. Springer, Cham.

[511]. https://landslides.usgs.gov/research/rtmonitoring./

[512]. Reid, M.E., LaHusen, R.G., Baum, R.L., Kean, J.W., Schulz, W.H., and Highland, L.M., Real-time monitoring of landslides, U.S. Geological Survey Fact Sheet 2012-3008, 2012.

[513]. NOAA-USGS Debris Flow Task Force, NOAA-USGS Debris-Flow Warning System - Final Report, U.S. Geological Survey Circular 1283, 2005.

[514]. https://landslides.usgs.gov/monitoring./

[515]. Alcántara-Ayala I., Garnica R. Landslide Monitoring and Warning Systems in Mexico. In: Sassa K., Rouhban B., Briceño S., McSaveney M., He B. (eds) Landslides: Global Risk Preparedness. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[516]. Stähli, M. et al., Monitoring and prediction in early warning systems for rapid mass movements, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 905-917, 2015.

[517]. https://landslides.usgs.gov/monitoring./

[518]. https://isa.ir/content/861.رادار-توسط-حساس-مناطق-در-لغزش-زمین-هنگام-زود-پایش/

[519]. Casagli, N., Catani, F.,Del Ventisette, Ch., Luzi, G., Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry, Landslides(2010) 7:291–301.

[520]. Xueping, L., Shangde, X., Huiming, T., and Jinsheng, P.: A GIS-based monitoring and early warning system for cover-collapse sinkholes in karst terrane in Wuhan, China, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., https://doi.org/10.5194/nhess-2017-22, 2017.

[521]. Li, Y., Zhu, P., Lei, M. T., Jiang, X. Zh., Dai, J. L. and Meng, Y.: Monitoring technique and methods of the Karst collapses, Chinese J. Carsol. sinica, 24, 103–108, 2005.

[522]. Intrieri, E., Gigli, G., Nocentini, M., Lombardi, L., Mugnai, F., Fidolini, F. and Casagli, N.: Sinkhole monitoring and early warning: An experimental and successful GB-InSAR application, Geomorphology, 241, 304–314, 2015.

[523]. Meng, Y. and Guan, Zh. D.: A discussion on the key technical problem in monitoring and predicting sinkhole with optical fiber sensing (BOTDR) technique, Chinese J. Carsol. sinica, 30, 187–192, 2001.

[524]. Lei, M.T., et al.: Preliminary study on the Technology and method of sinkhole collapse monitoring and prediction-As an example of sinkhole collapse monitoring station in Zhemu Village, Guilin City, Chinese J. Geol. Hazard and Control, S, 142–146, 2004.

[525]. Collins, M. E., Puckett, W. E., Schellentrager, G. W. and Yust, N. A.: Using GPR for microanalyses of soils and karst features on the Chief land Limestone Plain in Florida, Geoderma, 47, 159–170, 1990.

[526]. McMechan, G. A., Loucks, R. G., Zeng, X. and Mescher, P.: Ground penetrating radar imaging of a collapsed paleocave system in the Ellenburger dolomite, central Texas, Appl. Geophys., 39, 1–10, 1998.

[527]. Leucci, G. and Giorgi, D. L.: Microgravimetric and ground penetrating radar geophysical methods to map the shallow karstic cavities network in a coastal area (Marina Di Capilungo, Lecce, Italy), Explor. Geophys., 41, 178-188, 2010.

[528]. Guan, Z.D., Jiang, X.Z., Wu, Y.B., Pang, Z.Y., Study on monitoring and early warning of karst collapse based on botdr technique, 14th sinkhole conference nckri symposium 5, http://dx.doi.org/10.5038/9780991000951.1054.

[529]. Meng, Y., Dai, J., Jia, L., Lei, M., Ji, F., Typical methods for forecasting karst collapse in china, conference: national cave and karst research institute symposium 2, 2013.

[530]. Conway, B.D., Cook, J.P., Monitoring Evaporite Karst Activity and Land Subsidence in the Holbrook Basin, Arizona Using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), Conference: National Cave and Karst Research Institute Symposium 2, January 2013.

[531]. Rucker, M.L., Hulburt, S., Edwards, M.D., Reconnaissance evaluation of a potential future sinkhole using integrated simple surface geophysics and surface monitoring points, 13th sinkhole conference nckri symposium 2, 2013.

[532]. http://www.sgs.mx/en/environment/water/interpretation-and-modeling/groundwater-and-hydrogeological-studies/karst-studies.

[533]. Intrieri, E., Gigli, G., Nocentini, M., Lombardi, L., Mugnai, F., Sinkhole monitoring and early warning: An experimental and successful GB-InSAR application, Geomorphology 241 (2015) 304–314.

[534]. http://www.beytoote.com/scientific/chera/predictable-volcano.html.

[535]. Sung-Hyo, Y., Cheolwoo, Ch., Analysis of the Active Volcano Monitoring Program of China, The Journal of the Petrological Society of Korea, Volume 25, Issue 1, 2016, pp.95-106.

[536]. https://volcanoes.usgs.gov/vhp/nvews.html.

[537]. https://volcanoes.usgs.gov/vhp/monitoring.html.

[538]. https://volcanoes.usgs.gov/index.html.

[539]. Domínguez, L. and Mendoza, M. J., Instrumentación geotécnica de una ladera en la colonia La Aurora, municipio de Teziutlán, Puebla, Informe Técnico, CENAPREDSEGOB, 21 pp, 2008.

[540]. http://www.jma.go.jp/en/volcano./

[541]. http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/English/level.html.

[542]. Yamasato, H., Funasaki, J., Takagi, Y., The Japan Meteorological Agency's Volcanic Disaster Mitigation Initiatives, Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, No. 380 ; July, 2013.

[543]. M.D'Agostino, G.Di Grazia1, F.Ferrari, H. Langer, A.Messina, D.Reitano and S.Spampinato,Volcano Monitoring and Early Warning on Mt. Etna, Sicily Based on Volcanic Tremor: Methods and Technical Aspects, In: Complex Monitoring of Volcanic Activity, 2013.

[544]. O'Rourke, Thomas, et al. "Earthquake-resilient lifelines: NEHRP research, development and implementation roadmap." Grant/Contract Reports (NISTGCR)-14-917-33 (2014.(

[545]. Rajarathnam, S., Ganapathy, G.P., Landslide hazard zonation of india using gis techniques, centre for disaster mitigation and Management, Anna University, Chennai – 600 025.

[546]. http://www.khabaronline.ir/detail/366879/weblog/zare.

[۵۴۷]. یزدانی، م.، "پیش نشانگرهای زلزله"، مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله.

[548]. Nakao, Masateru, et al. "Emergency information broadcasting distribution system." NTT DoCoMo Technical Journal 9.4 (2008): 4-10.

[549]. Matsumura, Tomoyuki. "Volcano Monitoring and Warning System in Hokkaido, Japan.".

[550]. https://fa.wikipedia.org/wiki.یونوسفر/

[۵۵۱]. تدوین مبانی سند راهبردی شناسایی و پهنه بندی مخاطرات زمین مرتبط با صنعت برق، گروه سازه های انتقال و توزیع نیرو، پژوهشگاه نیرو، مرداد ۱۳۹۶.

[552]. Galloway, D.L., Burbey, T.J., (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction, Hydrogeology Journal, 19: 1459-1486. http://dx.doi. org/10.1007/s10040-011-0775-5 .

[553]. Nevada, S., Ranges, C., enter San, S. C. R., & Bay, F. Sacramento-san joaquin delta .

[554]. Galloway, D, Jones, D.R. & Ingebritsen S.E., (1999), Land Subsidence in the United States. U.S. Geological Survey Circular 1182, Reston, Virginia, 177 p .

[555]. Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., Wang, S.J., (2004), Review on current status and challenging issues of land subsidence in China, Engineering Geology, vol. 76, p. 65- 77 .

[556]. Hazen, "Hydraulic-fill dams," Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 83, pp. 1713-1745, 1920 .

[557]. Kramer, S.L., Geotechnical earthquake engineering: Pearson Education India, 1996 .

[۵۵۸]. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رینس جمهور، نشـــریه شـــماره ۵۲۵ ، راهنمای ارزیابی پتانســـیل روانگرایی خاک، پیامدها و روشهای کاهش مخاطرات آن.

[559]. Lee, C.J., Chen, H.T., Lien, H.C., Wei, Y.C. and Hung, W.Y., Centrifuge modeling of the seismic responses of sand deposits with an intra-silt layer, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 65, pp. 72-88, 2014 .

[560]. Massie, A., & Watson, N. R. Impact of the Christchurch earthquakes on the electrical power system infrastructure. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 44(4), 425-430, 2011 .

[۵۶۱]. کاوند، ع.، بررسی اثرات گسترش جانبی ناشی از روانگرایی بر پی های عمیق و ارائه راهکارهای کاهش آسیب با استفاده از آزمایش های میز لرزان g۱، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۱.

[562]. http://blogs.agu.org/landslideblog/2012/11/12/lateral-spread-failures-from-theburma-earthquake .

[563]. Rauch, A. F., EPOLLS: An empirical method for predicting surface displacements due to liquefaction-induced lateral spreading in earthquakes. Virginia Polytechnic Instiute and State University, USA, 1997 .

[۵۶۴]. اکبری گرکانی، ا.، بررسی عددی اثر لغزش تکیه گاه بر مقادیر تنش و تغییرشکل در سدهای سنگریز (مطالعه موردی: سد گتوند علیا)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴.

[565]. Mathewson, C., an introduction to engineering geology, 1981 .

[566]. Highland, L., & Bobrowsky, P. T., The landslide handbook: a guide to understanding landslides (p. 129). Reston: US Geological Survey, 2008 .

[567]. Haeri, S. M. and Samiee, A. H., (1994): A new method for landslide hazard microzonation base on microzonation studies in Mazandaran province. Geosciences Scientific Quarterly Journal, No.:23-24, P: 67 .

[568]. Conforth D.H, Landslides in practice, John Wiley & Sons, Inc. 2005 .

[569]. Barden, L., McGown, A., Collins, K., 1973, "The collapse mechanisms in partly saturated soils", Engineering Geology, Vol. 7, pp. 49-60 .

[570]. Mackechnie, W.R., 1989, " Collapsible and swelling soils part 1: collapsible soils", General report, proc. Twelfth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Rio de Janiro, Vol. 4, pp. 2485-2490 .

[571]. http://coloradogeologicalsurvey.org/cgs/52-collapsible-soils .

[572]. Rogers, C. D. F., 1995, "Types and Distribution of Collapsible Soils: In Genesis and Properties of Collapsible Soils", 1-17, E. Derbishire et al. (Eds), Kluwer academic publishers .

[573]. Dudley, J.H. 1970, "Review of collapsing soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 96, No. SM3, 925-947 .

[574]. Barden, L., Madedor, A.O., Sides, G.R., 1969, "Volume change calculations of unsaturated clay". J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 95, pp: 33–51 .

[575]. Jotisankasa, A., 2005, "Collapse Behaviour of a Compacted Silty Clay", Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London .

[576]. El Howayek, A., Huang, P., Santaga, M., 2011, "Identifycation and behavior of collapsible soils", Joint transportation research program technical report series .

[577]. Alwail, T., 1990, "Mechanism and Effect of Fines on the Collapse of Compacted Sandy Soils,"Ph.D. thesis, Washington State University, Pullman, Washington .

[578]. Chleborad, A. F., & Schuster, R. L. (1998). Ground failure associated with the Puget Sound region earthquakes of April 13, 1949, and April 29, 1965. Assessing earthquake hazards and reducing risk in the Pacific Northwest: US Geological Survey Professional .

[579]. Nelson, J., & Miller, D. J. (1997). Expansive soils: problems and practice in foundation and pavement engineering. John Wiley & Sons .

[580]. Canadian Foundation Engineering Manual 4th Edition.2006 .

[581]. https://civil-engg-world.blogspot.nl/2012/03/expansive-soils-in-united-states.html .

[582]. Bell, F. G., and Walker, D. J. H., "A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South. 2000 .

[583]. Ouhadi, V. R. and Goodarzi, A. R., "Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum" 2006 .

[584]. http://saieg.co.za/index.php?mact=Album,m57372,default,1&m57372albumid=23&m57372returnid=126&page=126 .

[585]. Penner and G. Lagaly, "Influence of anions on the rheological properties of clay mineral. 2001 .

[586]. Bergaya, F., Theng, B.K.G., and Lagaly, G., Handbook of clay science, vol. 1. Elsevier, 2011 .

[587]. Stohr, W.J. Su, L. Follmer, P. DuMontelle, and R. A. Griffin, "Engineering geology investigations. 1988 .

[۵۸۸]. اسلامی، ا.، سخاوتنان، ا.، "مهندسی ژئوتکنیک؛ طراحی، کاربردها و مخاطرات"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.

[589]. Sabatini, P. J., Bachus, R. C., Mayne, P. W., Schneider, J. A., & Zettler, T. E. (2002). Geotechnical engineering circular no. 5: evaluation of soil and rock properties (No. FHWA-IF-02-034 .(

[۵۹۰]. معماریان، ح ، "زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۱۳۸۴.

[591]. Sinkholes, Pinellas County, Department of Environmental Management Coastal, Management Section in Website: http://www.pinellascounty.org , December 24, 2005 .

[592]. Hunt, R. E. (2005). Geotechnical engineering investigation handbook. Crc Press .

[593]. Araneda, J. C., Rudnick, H., Mocarquer, S., & Miquel, P. (2010, October). Lessons from the 2010 Chilean earthquake and its impact on electricity supply. In Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference on (pp. 1-7), IEEE .

[594]. https://pubs.usgs.gov/gip/volc/types.html .

[595]. http://corr-protection.blog.ir/1394/06/18 ./

[۵۹۶]. رضایی سامان کندی, م.، ارجمند، ع.، بررسی مشکلات صنعت برق و خوردگی مواد و لزوم احداث پایگاه تحقیقاتی در سواحل جنوبی کشور، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۰.

[۵۹۷]. استاندارد و آیین کار سیستمهای حفارت کاتدی، شرکت سهامی تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر)، شماره ۲۰۱-۶۹.

[۵۹۸]. اسکندری، م.، و همکاران، مدل تحلیل خسارت لرزه ای زیرساخت های حیاتی برمبنای سیستم اطلاعات مکانی، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۸، تابستان ۹۵.

[599]. https://www.nps.gov/subjects/renewableenergy/transmission.htm .

[۶۰۰]. دسته بندی سازه های موجود در صنعت برق، گروه سازه های انتقال و توزیع نیرو، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۶.

[601]. http://poweren.ir/نیروگاه-آبی-چیست.html .

[602]. http://www.greenhome.com/blog/how-does-it-work-hydropower .

[603]. http://www.sepinud.org/fa/news/?n=444 .

[۶۰۴]. نیکو، ت.، و همکاران، پتانسیلهای نیروگاههای برق آبی کوچک در استان خوزستان، هجدهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۲.

[605]. http://hiradbms.com/fa/news/10149 /. نیرو-گاه-تلمبه-ذخیره-چیست؟

[606]. http://www.packmangroup.com/content/49 /نیروگاه+تلمبه+ذخیره+ای.

[607]. http://pooranmehr.com/educational/renewable-energy/pumped-storage-power-plant .

[608]. http://www.upsbatterycenter.com/blog/pumped-storage-hydroelectricity ./

[609]. https://220volt.ir/forum/threads/167 ./

[۶۱۰]. خداپرست مشهدی، م.، قزلباش، ا.، ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه برق آبی (تلمبه- ذخیره ای) در سدهای مخزنی کشور- مطالعه موردی: سد و نیروگاه پیرتقی، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال پنجم، شماره ۱۷، بهار ۱۳۹۵.

[611]. http://poweren.ir/ نیروگاه-بادی-چیست؟.html .

[612]. http://www.mhmbargh.blogfa.com/post-6.aspx .

[613]. https://mosalasezard.com /اینفوگرافی-تجهیزات-تولید-توزیع-انتقا/.

[۶۱۴]. جعفری، م.، طراحی فونداسیون و کنترل طراحی برج توربین بادی و نظارت بر اجرای آنها، پژوهشگاه نیرو، تهران، ۱۳۹۰.

[۶۱۵]. فیض اله زاده، م.، محمودی، م.، تحلیل ارتعاشات ناشی از نیروی تراست برج توربین بادی فراساحلی با سکوی ثابت تک شمع، ص. ۳۳-۴۹، ۱۱۳۹۴.

[616]. http://www.packmangroup.com/content/44 / نیروگاه+خورشیدی.

[617]. http://af.hqsolarcn.com/solar-panel-application/solar-panel-for-power-station/solar-panel-power-station-energy-generating.html .

[618]. https://ekahroba.com/electrica/posts /انواع-سیستم-های-خورشیدی-فتوولتائیک.

[619]. http://www.g-m-u.ir /بایگانی.

[620]. http://noursun.com/fa /پنل-خورشیدی-چیست؟ ./

[621]. http://barghnews.com/fa/news/17760 /تصاویر-اجزای-تشکیل-دهنده-یک-سایت-خورشیدی-متصل-به-شبکه.

[622]. http://spowpowerplant.blogfa.com/tag?نیروگاه/p=2 .

[623]. http://www.energy-101.org/renewable-energy/geothermal-facts/geothermal-basics .

[624]. http://lorpub.gadoe.org/State%20of%20Georgia/GAVS%20Shared/Science/Geology_Resources_Shared/Geology_Resources_Shared4.html .

[625]. http://www.tabasenc.ir /نیروگاه-انرژی-زمین-گرمایی-طبس/.

[626]. https://www.theecoambassador.com/Geothermalpowerplant.html .

[627]. https://people.uwec.edu/piercech/210webs/renewable/geothermal.htm .

[628]. https://fa.wikipedia.org/wiki /پمپ_حرارتی_زمینگرمایی.

[629]. https://tidalenergytoday.com/tag/station ./

[630]. http://controlmakers.ir /مختصری-درباره-انواع-نیروگاه-ها/.
[631]. http://wikipower.ir /نیروگاه-جزر-و-مدی-انرژی-اقیانوسی/.
[632]. http://pooranmehr.com/educational/renewable-energy/tidal-power-plant-operation .
[633]. http://www.centralclubs.com/topic-t114373-12.html .
[634]. http://engineering.electrical-equipment.org/others/comparison-overhead-underground-transmission-cables.html .
[635]. http://www.parsgc.com/news101.htm .
[636]. http://grevolt.com/2017/11/04/underground-transmission-lines /.
[637]. https://www.osha.gov/SLTC/etools/electric_power/illustrated_glossary/substation.html .
[638]. http://barghnews.com/fa/news/7331 /مقایسه-خطوط-انتقال-هوایی-و-زمینی.
[639]. https://fa.wikipedia.org/wiki /منهول.
[640]. http://www.avalon-energy.com/sample.aspx?C1=28 .
[641]. http://sa-nitk.vlabs.ac.in/exp8/index.html .
[642]. http://javadcctv.mihanblog.com/post/71 .
[643]. http://kvolt.blogfa.com/tag / ترانسفورماتور-تغذیه-داخلی.
[644]. http://peg-co.com/home/blog /ترانس-زمین-چیست/.
[645]. http://www.iran-transfo.com/productDetail.aspx?q=1019 .
[646]. https://ekahroba.com/electrica/wiki /.
[647]. https://www.bornika.ir/Fact/Detail/70/باس-بار-BusBar -چیست؟.
[648]. http://barghnews.com/fa/news/26028 /شینه-بندی-پست-های-فشار-قوی-از-لحاظ-فیزیکی.
[649]. http://noise1.blog.ir/1393/05/05 /بانک-های-خازنی-در-پست-های-برق.
[650]. http://www.studyelectrical.com/2017/01/substation-earthing-system-design.html .
[651]. http://elyasmsm89.blogfa.com/tag /معرفی-کلی-اجزای-پست-های-فشارقوی.
[652]. http://barghnews.com/fa/news/23878 /هفتاد-سوالی-که-یک-اپراتور-پست-باید-بتواند-پاسخ-بدهد-بخش-اول.
[653]. https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-images-outdoor-high-voltage-substation-steel-gantry-grey-sky-air-insulated-switchgear-moody-gravel-foreground-image39458829 .
[654]. http://techpark.ir/content.php?pagename =برق.
[655]. https://fa.wikipedia.org/wiki /ترانسفورماتور_توزیع.
[656]. http://iraj70.blogfa.com/cat-1.aspx .

[۶۵۷]. حسنی، م.، و همکاران، ارزیابی و تحلیل لرزه ای پست های فوق توزیع شبکه برق، کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، ۴ و ۵ دی ماه ۱۳۹۲.

[۶۵۸]. گزارش زمین لرزه ۱۲ آبانماه ۲۹۳۱ سرپل ذهاب استان کرمانشاه، جلد سوم سازه و شریان های حیاتی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۵ دی ماه ۱۳۹۶.

[۶۵۹]. بهکش, ج.، دیده بان، م.، آسیب پذیری لرزه ای تاسیسات تامین برق و اهمیت مقاوم سازی سازه ها و تجهیزات شبکه برق درمقابله زلزله، اولین کنفرانس ملی مدیریت بحران، زلزله و آسیب پذیری اماکن و شریانهای حیاتی، تهران، ۱۳۹۰.

[۶۶۰]. رودباری، س.، و همکاران، بررسی میزان آسیب پذیری زیرساخت های آب و برق هنگام وقوع زلزله و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارات ناشی از آن، اولین کنفرانس ملی مدیریت ریسک در زیرساخت ها.

[۶۶۱]. کرامتی, ص.، و همکاران، مدیریت بحران و کاهش آسیب پذیری شریانهای حیاتی در زلزله در استان زنجان، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران: نقش فناوری های نوین در کاهش آسیب پذیری ناشی از حوادث غیرمترقبه، تهران، ۱۳۹۱.

[۶۶۲]. فرساد, م.، خلوتی، ا.، ارزیابی آسیب پذیری سازه ها و تجهیزات شبکه برق در مقابل زمین لرزه (مطالعه موردی: ارزیابی کمی سازه های ساختمان کنترل و سالن توربین نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون)، هفدهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۱.
[۶۶۳]. تفویضی، م.، و همکاران، ارزیابی ریسک پذیری لرزه ای تجهیزات اصلی پستهای انتقال نیرو فشار قوی برق واقع در شهر تهران، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۳.
[۶۶۴]. گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دیماه ۱۳۸۲ بم، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۷ دیماه ۱۳۸۲.
[۶۶۵]. فتحی، ه.، و همکاران، بررسی اثرات مخرب محیطی از جمله زلزله بر روی دکل های خط انتقال و معرفی یک نوع روش مقاوم سازی برای فونداسیون دکل ها.
[۶۶۶]. مطاعی، ی.، عکاشه، ب.، خطر زلزله در تهران و بررسی مدهای خرابی تجهیزات توزیع نیروی برق به هنگام زلزله، نشریه پژوهش های نوین در زمین لرزه، سال دهم، شماره ۳۵، بهار ۱۳۹۴.
[۶۶۷]. بهیاری، م.، و همکاران، ارزیابی تأثیر ساختارهای فعال بر خطر فرونشست زمین با استفاده از مدل های تصمیم گیری چند متغیره، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶.
[۶۶۸]. بهنیافر، ا.، و همکاران، بررسی عوامل موثر در فرونشست های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس، سال دوم ، شماره ۵، ۱۳۸۹.
[۶۶۹]. افضلی، ع.، و همکاران، ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت ها و سکونتگا هها از پدیده فرونشست زمین در دشت دامغان، دو فصلنامه ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۲.
[۶۷۰]. آمیغ پی، م.، عربی، س.، گزارش طرح پژوهشی بررسی فرونشست یزد با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری و ترازیابی دقیق، سازمان نقشه برداری کشور، آذر ۱۳۸۸.
[671]. http://asrfarhang.ir /-/فرونشست-خطرناک-زمین-در-دشت-یزد-اردکان.
[۶۷۲]. صالحی، ر.، و همکاران، بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی و تأثیر شکاف های ناشی از آن بر زمین های کشاورزی، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهریور ۱۳۹۰.
[۶۷۳]. مصلحی، ع.، قاضی فرد، ا.، بررسی فرونشست زمین و پهنه بندی خطر فرونشست در دشت کاشان، همایش ملی عمران و توسعه پایدار.
[674]. http://www.afkarnews.ir / بخش-اقتصادی-۵۶۳۰۷۱/۴-خطرقطع-برق-سراسری-با-فرونشست-زمین.
[675]. http://www.irangreenworld.com/Fa/post_single.aspx?id=53758 .
[676]. http://mohammaddarvish.com/desert/archives/10 .
[۶۷۷]. اشجعی سنزیقی، م.، و همکاران، بررسی علل و پیشگیری از پدیده خوردگی تجهیزات خطوط برق شهرستان گنبدکاووس در بستر سامانه اطلاعات مکانی (GIS).
[۶۷۸]. عرب، ن.، و همکاران، خوردگی و تخریب تجهیزات پست های توزیع و انتقال، ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق.
[۶۷۹]. برقندان، ا.، و همکاران، بررسی فنی و اقتصادی سیستم های زمین فولادی در خاک های متفاوت، بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۳.
[۶۸۰]. ایرانی، م.، بررسی خوردگی و پوسیدگی در پایه های انتقال نیرو در مناطق ساحلی و روشهای مقابله با آن، چهارمین کنفرانس شبکه های توزیع نیرو، بندرعباس، ۱۳۷۳.
[۶۸۱]. خراشادیزاده، ش.، و همکاران، نقش طراحی بهینه شبکه های توزیع در افزایش ایمنی و بررسی حوادث ناشی از طراحی نامناسب، مدیریت توزیع برق شهرستان سربیشه، اردیبهشت ۱۳۹۱.
[682]. Nelson, John P., and William K. Holm. "A cathodically protected electrical substation ground grid." IEEE transactions on industry applications 2 (1985): 357-361 .

[۶۸۳]. داداش زاده، ه.، توجه به خوردگی در سیستم زمین ضرورتی انکارناپذیر در شبکه های توزیع، فصلنامه علمی - تخصصی صنعت برق، سال دوازدهم، شماره ۱۳۸، بهمن ۱۳۸۶.

[684]. http://bargh-gmaz.ir/index.aspx?siteid=1&pageid=135&newsview=238 .

[685]. http://www.skedc.ir/index.php?obj=News&taskName=ShowDetails&IDD=352 .

[686]. https://www.mehrnews.com/news/3953869 /سیل-شبکه-برق-?-روستای-تبریز-را-تخریب-کرد.

[۶۸۷]. مریخ پور، م.، بررسی نشست زمین در اثر استخراج آبهای زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، بهمن ۱۳۹۱.

[688]. https://www.mehrnews.com/news/1762185/دشتهای-همدان-مرگ-را-به-انتظار-نشسته-اند-تاخیردر-بهره-برداری-یک.

[689]. https://www.tasnimnews.com/fa/news/1394/06/01/837638/احتمال-ایجاد-فروچاله-در-دشت-های-کبودراهنگ-و-فامنین.

[690]. https://khabarban.com/16582450 / فروچاله_های_دشت_های_کبودرآهنگ_همدان_تصاویر.

[691]. https://khabarban.com/16586410 / فروچاله_های_دشتهای_کبودرآهنگ_همدان.

[692]. https://ircsa.ir/page/66/اخبار-جراید-و-خبرگزاریها

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

[۶۹۴]. "روش‌شناسی اسناد ملی راهبردی"، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، ۱۳۹۱

[۶۹۵]. سیدمحمد اعرابی، "دست‌نامه برنامه‌ریزی استراتژیک"، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، ۱۳۸۵.

[696]. Voogd, H. “Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data.” Environment and Planning B 9 (1982): 221-236.

[697]. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, Operational Research, 1984, 477-490

[698]. eyser, W D, و P Peeters. “A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods .” European Journal of Operational Research 89 (1996): 457-461.

[699]. Attribute weighting methods a nd decision quality in the presence of response error: a simulation study,Journal of Behavioral Decision Making, 1998

[700]. Colebatch H.K., 2002. Policy. Second edition, Open University Press, Buckingham.

[701]. 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.,