

برونداهای تخصصی



گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال سوم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۷



پهن‌بندی دوره بازگشت ضمانت قطریخ بر روی خطوط انتقال نیروی کشور

سلطان رضازاده

مروری بر سوابق تاثیر مخاطر محلی بومی بر صنعت برق

محمد علی محمد سرانی

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانوساختار

آزاده کوردزی

مطالعات تطبیقی در حوزه شناسایی و پهن‌بندی مخاطر محلی زمین مرتبط با صنعت برق

امیر اکبری کرکانی

A Feasibility Study on Implementing Energy Piles in Electric Power Industries
Amir Akbari Garakani

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با بکارگیری و توسعه مصالح هوشمند

علی اصغر کلاوتی

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➤ صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی

سردبیر: امیر اکبری گرکانی

مدیر اجرایی: امیر اکبری گرکانی

گرافیکست و صفحه‌آرا: یاسین ولی‌تبار

ویراستار: محمدعلی جعفری صحنه‌سرای، علی

اصغر ذکاوتی

عکس روی جلد: علی اصغر ذکاوتی

➤ همکاران این شماره:

همکاران گروه: دکتر عسکر جانعلی‌زاده

چوب‌بستی، دکتر امیر اکبری گرکانی، دکتر

محمدعلی جعفری صحنه‌سرای، مهندس علی

اصغر ذکاوتی، مهندس سلمان رضازاده، دکتر آزاده

گودرزی و مهندس علیرضا رهنورد، مهندس

یاسین ولی‌تبار

همکاران معاونت پژوهشی: مهندس ثریا رستمی،

نوشین فرودی

➤ ناشر:

نشانی الکترونیکی: estdept@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری،

پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

➤ اعضای هیأت تحریریه:

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر امیر

اکبری گرکانی، دکتر محمدعلی جعفری

صحنه‌سرای، مهندس علی اصغر ذکاوتی،

مهندس سلمان رضازاده، دکتر آزاده گودرزی

و مهندس علیرضا رهنورد

➤ اعضای هیأت‌داوران:

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر

محمد علی جعفری صحنه‌سرای، دکتر امیر

اکبری گرکانی، مهندس علی اصغر ذکاوتی

➤ اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی

سازه‌های صنعت برق» با هدف فراهم آوردن

بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار

مطالب مرتبط با سازه‌های مورد استفاده در

بخش‌های مختلف صنعت برق به صورت

داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای

هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می‌کند و

استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج

شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب



سخن سردبیر / امیر اکبری گرکانی



مقاله‌های پژوهشی

مروری بر سوابق تأثیر مخاطرات محیطی جوی بر صنعت برق / محمدعلی صحنه‌سرای

مطالعات تطبیقی در حوزه شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق / امیر اکبری گرکانی

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با بکارگیری و توسعه مصالح هوشمند / علی اصغر ذکاوتی

پهنه‌بندی دوره بازگشت ضخامت قطر یخ بر روی خطوط انتقال نیروی کشور / سلمان رضازاده

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانو ساختار / آزاده گودرزی

A Feasibility Study on Implementing Energy Piles in Electric Power Industries/ Amir Akbari Garakani



اخبار پروژه‌ها و جلسات تخصصی گروه



انتشارات اخیر گروه

سخن سردبیر

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، با هدف بهبود روند اهداف بالادستی پژوهشگاه نیرو در مدیریت تحقیقات حوزه صنعت برق کشور، فعالیت‌های متعددی را دنبال می‌کند.

در این راستا، تعریف و تدوین اسناد راهبردی پژوهشی، بنیان‌گذاری تحقیقات بنیادی و به جا مانده از بدنه مراکز دانشگاهی و پژوهشی کشور، ایجاد ارتباط بین دانشگاه و صنعت و همسازي و تجميع روند تحقیقات جزیره‌ای و منتهی انجام شده در مراکز دانشگاهی و پژوهشی کشور از جمله فعالیت‌های گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در تحقق اهداف تعریف شده خود می‌باشد.

در این شماره از برون داد تخصصی گروه که نشانهگر کوشه‌ای از خروجی‌های گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در شش ماه منتهی به بهار سال ۱۳۹۷ می‌باشد، مقالات و گزارش‌های پژوهشی مستخرج از فعالیت اعضای گروه در راستای فعالیت‌های فوق‌الذکر ارائه شده که از آن جمله می‌توان به مقالات و گزارش‌های مستخرج از انجام دو سند راهبردی در حوزه شناسایی مخاطرات جوی و زمینی، استفاده از مصالح هوشمند و نانو ساختار در سازه‌های انتقال و توزیع و نیز توسعه استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر بارو میکرومهندسی ژئوتکنیک اشاره کرد. همچنین، اخبار و آمار مدیریتی پروژه‌های در حال انجام گروه و لیست مقالات ارائه شده از سوی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی ارائه شده است.

امیر اکبری کرکافی

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

مروری بر سوابق تأثیر مخاطرات محیطی جوئی بر صنعت برق کشور

محمدعلی جعفری صحنه‌سرای

عضو هیئت علمی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

mjafari@nri.ac.ir

چکیده: تأسیسات و سامانه‌های صنعتی در طول عمر بهره‌برداری خود در معرض انواع مخاطرات قرار دارند. یکی از مهمترین انواع کلی مخاطرات، مخاطرات محیطی جوئی است که شامل پدیده‌های جوئی نظیر باد، طوفان و گردباد، برف، یخ، بارش، سیل، دما، رطوبت، آلودگی و محیط‌های خورنده مصالح و ... می‌باشند. در راستای تأمین قابلیت اطمینان و ایمنی انرژی و کاهش انواع صدمات و خسارات حاصل از تخریب یا عدم عملکرد سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق، طراحی سازه‌های جدید برای پایداری و دوام در برابر مخاطرات مختلف و ارزیابی سامانه‌ها و سازه‌های موجود برای حفظ سطح ایمنی آنها ضروری است. در این گزارش، سوابق ثبت شده در انواع منابع در دسترس شامل گزارش‌ها، منابع خبری و ... در مورد خسارات و خرابی‌های ایجاد شده در بخش‌های مختلف صنعت برق در اثر وقوع انواع مخاطرات جوئی و پی‌آمدهای آنها، جستجو و به تفکیک نوع مخاطره ارائه شده است. با بررسی سوابق حوادث نتیجه گرفته می‌شود که بطور کلی بخش‌های انتقال و توزیع در برابر مخاطرات جوئی دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند. همچنین فراوانی وقوع و میزان خسارات ناشی از مخاطرات گروه بارش (باران، سیل، برف و ...) بر شبکه برق بیشتر از سایر انواع مخاطرات است.

کلیدواژه: مخاطرات محیطی جوئی، سازه، صنعت برق

معرفی و تاریخچه

صنعت برق یکی از حساس‌ترین صنایع استراتژیک و زیربنایی کشور می‌باشد که علاوه بر تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کننده‌های مختلف، تأمین انرژی مورد نیاز جهت فعالیت صنایع کشور را نیز در ابعاد وسیع بر عهده دارد. با تغییر زندگی روستایی به شهری و افزایش ثروت در سال‌های اخیر، مطالبات در صنعت برق در حال افزایش است. به طوریکه در سال ۱۹۶۰ تنها ۳۴ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند در حالیکه در سال ۲۰۱۴ میلادی این رقم به سرعت به ۵۴ درصد افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود این میزان در آسیا در یک دهه بعد به ۹۱ درصد برسد. این تغییرات موجب رشد انفجاری در سیستم‌های زیر بنایی شهری شده است. بنابراین خطر از دست‌رفتن انسجام اجتماعی در اثر از دست‌رفتن احتمالی این زیرساخت‌های حیاتی به دلیل مخاطرات طبیعی و انسانی وجود دارد [۱]، با توجه به رشد

روزافزون جمعیت، گسترش شهرها، توسعه صنایع، افزایش مصرف انرژی الکتریکی و وابستگی بخش‌های مختلف صنعتی، کشاورزی، اقتصادی و خدماتی به این انرژی، لزوم تأمین برق به صورت گسترده، مطمئن و پایدار اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از طرفی، بر اثر دخالت‌های انسانی در پی افزایش سوخت‌های فسیلی در سال‌های اخیر با پدیده گرمایش جهانی روبه‌رو بوده‌ایم. در اوایل سال ۲۰۰۷ میلادی هیات بین‌الدول تغییرات آب‌وهوایی (IPCC)^۱ در چهارمین گزارش منتشر شده اعلام کرد که در ۱۵۰ سال گذشته دمای سطحی کره زمین به طور میانگین ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. افزایش میانگین دمای جهانی از اواسط قرن ۲۰ در اثر دخالت‌های انسانی در زیست‌کره در پی افزایش گازهای گلخانه‌ای صورت پذیرفته است. همچنین سازمان هواشناسی جهانی اعلام کرده که سال ۲۰۱۷ میلادی گرم‌ترین سال ثبت شده از سال ۱۸۸۰ میلادی، می‌باشد. از مظاهر تغییرات آب‌وهوایی علاوه بر افزایش دمای سطحی می‌توان به تغییرات الگوی بارش‌ها و افزایش فراوانی و شدت وقایع حدی آب‌وهوایی، افزایش تراز آب دریاها در سال‌های اخیر اشاره کرد. افزایش استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی و در پی آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین بوجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی و مخاطرات طبیعی نظیر سیل، توفان، تگرگ، توفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی، افزایش سطح آب دریاها، ذوب‌شدن یخ‌های قطبی، خشکسالی و ... می‌باشد. مخاطرات محیطی، پیشامدهای ناگهانی یا تدریجی با خاستگاه طبیعی یا انسانی به شمار می‌روند که متأثر از آن‌ها، سلامت و امنیت گستره زیست، اسکان بشر و صنعت با خطر مواجه می‌شود. مخاطرات محیطی دارای انواع متنوعی می‌باشند.

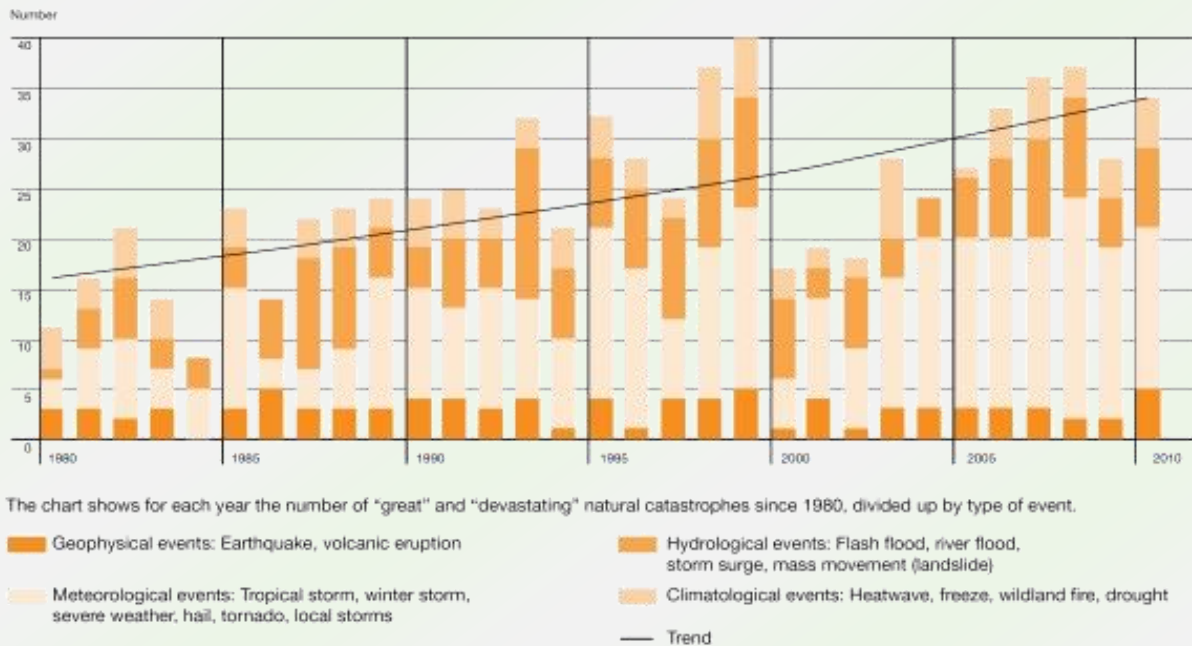
از منظر منشأ، مخاطرات محیطی را می‌توان به سه دسته کلی ذیل طبقه‌بندی نمود:

- مخاطرات جوی (آب و هوایی)
- مخاطرات زمینی (ژئولوژیکی)
- مخاطرات انسانی

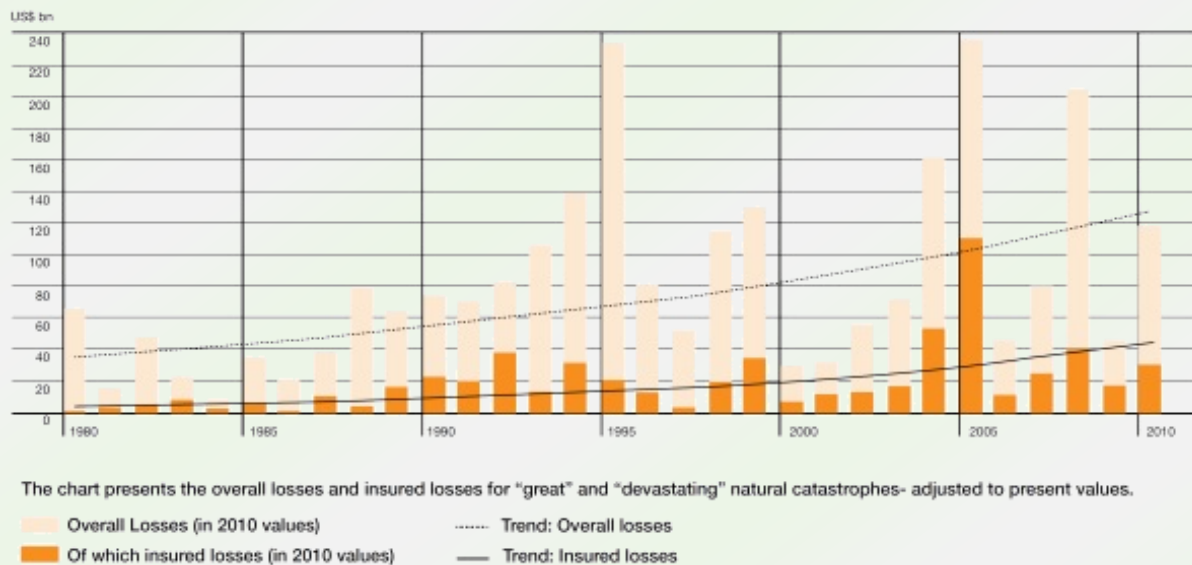
یکی از مهمترین انواع کلی مخاطرات، مخاطرات محیطی جوی است که شامل پدیده‌های جوی نظیر باد، طوفان و گردباد، برف، یخ، بارش، سیل، دما، رطوبت، آلودگی و محیط‌های خورنده مصالح و ... می‌باشند. مخاطرات جوی و محیطی نقش به‌سزایی در سرمایه‌گذاری‌های اولیه و همچنین خسارت بعدی در ارتباط با تجهیزات و تأسیسات صنعت برق دارد و از طرفی افزایش وقوع مخاطرات طبیعی در پی تغییرات

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

آب‌وهوایی در سه دهه گذشته، سبب شده است که ساختمان نیروگاه‌ها و زیرساخت‌های صنعت برق در مناطقی که مستعد ابتلا به مخاطرات طبیعی هستند، با خطرات رو به رشدی مواجه باشند. با شدت گرفتن دفعات وقوع مخاطرات آب و هوایی در سال‌های اخیر که نتیجه پدیده گرمایش جهانی و تغییرات آب‌وهوایی است، میزان تهدیدات و خسارات وارده به صنعت برق افزایش یافته است. به عنوان مثال در ایالات متحده، رویدادهای شدید آب‌وهوایی که اغلب باعث قطع برق می‌شوند، طی سه دهه گذشته شایع‌تر و پرهزینه‌تر بوده است همچنین سوابق بارش و دما، نشان می‌دهد که برخی از انواع حوادث شدید آب و هوایی، مانند خشکسالی شدید در تگزاس، در حال حاضر چندین بار بیشتر از دهه ۱۹۶۰ رخ می‌دهد و نتیجتاً میانگین هزینه کل رویدادهای شدید آب و هوایی از ۲۰ میلیارد دلار در سال، در دهه ۱۹۸۰ به ۸۵ میلیارد دلار، در سال ۲۰۱۰ رسیده است [۲]. از این رو برای تأمین انرژی قابل اعتماد و مقرون به صرفه برای دهه‌های آینده، بخش برق باید با توجه به تغییراتی که در حال حاضر تجربه می‌شود، مقاوم‌تر شده و همچنین با ریسک‌های فزاینده سازگار شود. تغییراتی که با توجه به شدت گرفتن احتمالی گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی در آینده، بیشتر خواهد شد. پس به منظور کاهش در هزینه سرمایه‌گذاری‌های اولیه و هزینه‌های دوران بهره‌برداری، در گام اول، شناخت انواع مخاطرات آب‌وهوایی مؤثر بر صنعت برق، لازم و ضروری است. انتظار می‌رود که تغییرات شرایط آب‌وهوایی و وقوع شرایط حدی جوی، تأثیراتی بر روی کل سیستم‌های انرژی بگذارد. این تأثیرات می‌تواند بر روی میزان تولید سوخت‌های مورد نیاز نیروگاه‌ها، شرایط انتقال این سوخت‌ها به نیروگاه‌های تولید برق، عملکرد نیروگاه‌های تولید برق، عملکرد شبکه انتقال برق فشار قوی و شبکه توزیع برق فشار ضعیف و همچنین تأثیراتی بر الگوی مصرف انرژی مصرف‌کننده‌ها باشد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، به عنوان نمونه در کشور آمریکا تعداد مخاطرات جوی از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۰ (طی ۳۰ سال) دو برابر شده است و همانطور که در شکل ۲ مشخص است، ضررهای اقتصادی ناشی از تغییرات جوی طی همین دوران ۳/۸ برابر گزارش داده شده است [۳].



شکل ۱: تعداد وقایع جوی در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ در کشور آمریکا



شکل ۲: ضررهای اقتصادی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ در پی مخاطرات جوی

متد و روش

یکی از روش‌های بررسی و ارزیابی نحوه عملکرد سیستم‌های زیرساختی، مطالعه رویدادهای خرابی اتفاق افتاده در گذشته می‌باشد که در ادبیات فنی به آن، تحلیل خرابی^۱ نیز اطلاق می‌شود. خرابی به رویدادی گفته می‌شود که منجر به ایجاد اخلال یا توقف کامل کارکرد یک سیستم گردد. بررسی بررسی کیفی و کمی

1. Failure Analysis

(تحلیل آماری فراوانی و نرخ وقوع) رویدادهای خرابی می‌تواند یک دید کلی نسبت به وضعیت و قابلیت اطمینان سیستم‌ها در برابر مخاطرات تهدیدکننده آن‌ها ارائه نماید. همچنین می‌توان نقش و سهم فاکتورها و متغیرهای مختلف مؤثر در خرابی زیرساخت‌ها را نیز بررسی نمود. صنعت برق در دنیا در سالیان گذشته از ناحیه انواع مخاطرات محیطی دچار صدمات و خسارات قابل توجهی شده است. در کشور ایران نیز خسارات متعددی از ناحیه مخاطرات محیطی بر سازه‌ها و تأسیسات صنعت برق تحمیل شده که بررسی سوابق آن‌ها می‌تواند در توجیه ضرورت شناسایی مخاطرات برای بازیگران و ذینفعان مربوطه و جهت‌دهی فعالیت‌های مورد نیاز این حوزه، مفید واقع گردد.

در این گزارش، سوابق ثبت‌شده در انواع منابع در دسترس شامل گزارش‌ها، منابع خبری و ... در مورد خسارات و خرابی‌های ایجاد شده در بخش‌های مختلف صنعت برق در اثر وقوع انواع مخاطرات جوی، جستجو و به تفکیک نوع مخاطره ارائه شده است. در هر مورد سعی شده تا پی‌آمدهای حاصل از خرابی‌های ایجاد شده در صنعت برق (خسارات اقتصادی، میزان قطعی برق و ...) نیز ذکر گردد [۴].

نتایج

۱- خاموشی و قطعی شبکه برق در اثر باد و توفان

○ ۳۰ اردیبهشت ۱۳۸۰

قطعی برق روز ۳۰ اردیبهشت تقریباً در تمام ایران رخ داد. خاموشی برق شهرهای اصفهان، شیراز، تبریز، کرمانشاه، قزوین و همدان را تا چندین ساعت دربرداشت. در کلان شهر تهران مترو متوقف شد و مسافران در خطوط راه‌آهن زیرزمینی گرفتار شدند. علت قطع برق نتیجه چسبیدن خطوط انتقال برق در اثر هوای بسیار گرم بوده است.

○ ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ تهران

در خرداد ۱۳۹۳ توفان شدیدی در تهران رخ داد که به گزارش سازمان هواشناسی در اطراف فرودگاه مهرآباد سرعت آن به ۱۳۰ کیلومتر در ساعت رسید. در اثر وقوع این رخداد با آسیب به دکل‌های فشار قوی شبکه توزیع برق و شبکه اینترنت در برخی مناطق شهر تهران قطع شد. شدت باد سبب فروریختن دیوار چندین ساختمان و سقوط ده‌ها درخت شد و ۵ کشته و ۳۰ مجروح بر جای گذاشت (شکل ۳).



شکل ۳: توفان تهران ۱۲ خرداد ۱۳۹۳

○ ۸ بهمن ۱۳۹۵ اهواز

در تاریخ ۸ بهمن ۱۳۹۵ و در پی وقوع توفانی با شدت ۶۰ کیلومتر در ساعت در اهواز ۳۰ خط فشار متوسط برق قطع شد. ۱۴ خط مربوط به ایستگاه‌های زرگان و پردیس و بقیه در نقاط مختلف شهر پراکنده بودند. در اثر وقوع این توفان شعاع دید به ۵۰ متر و میزان گرد و غبار به بیش از ۶۶ برابر حد مجاز رسید. علت قطع شدن برق برخی مناطق اهواز به علت تداخل شاخ و برگ درختان با شبکه برق و برخورد سیم‌ها با یکدیگر، بریدگی سیم در برخی نقاط را ایجاد بر اساس اعلام اداره کل هواشناسی خوزستان، گرد و غبار کاهش داده و سرعت باد ۶۰ کیلومتر در ساعت است.

○ ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ اردبیل

وقوع توفان در ۲۵ فروردین ۱۳۹۶ در اردبیل باعث ایجاد گرد و خاک، قطعی برق، شکستگی درختان و سیل در برخی مناطق این استان شد. این توفان در مشکین شهر با شدت ۱۳۰ کیلومتر در ساعت باعث خسارات زیادی در این منطقه شد و روند تردد وسایل نقلیه و عبور شهروندان در مشکین شهر را مختل کرد. بر اثر وزش باد شدید آب بسیاری از رودخانه‌های اردبیل نیز بالا آمد و سیل برخی مناطق را فرا گرفت.

○ ۲۴ مرداد ۱۳۹۶ گچساران

تندباد شدید ۲۴ مرداد ۱۳۹۶ خورشیدی در شهرستان گچساران، خسارات فراوانی به شبکه توزیع برق وارد کرده است. مسیر اصلی این تندباد محدوده فرودگاه شهر دوگنبدان مرکز شهرستان گچساران و برخی

روستاهای اطراف این شهر بوده است که سبب شده بسیاری از درختان در این مسیر از ریشه کنده شده و از سویی برخی از پایه‌های برق در این مسیر نیز سقوط کند.

۲- خاموشی و قطعی شبکه برق در اثر گرد و غبار

○ ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ خوزستان

در ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ به دلیل وقوع گرد غبار و رطوبت بالا ۸۰ درصد از خطوط برق استان خوزستان از مدار خارج شد. بر اثر این پدیده و اتصال در تأسیسات تولید و انتقال برق، خاموشی در چند شهر استان اتفاق افتاد که به دنبال قطع برق و آب، خطوط تلفن نیز در برخی از نواحی قطع شد. ۱۴۰۰ مگاوات خاموشی در اهواز، جنوب استان خوزستان و در جنوب شرق استان به وجود آمد و پنج نیروگاه شامل نیروگاه‌های رامین، زردان، خرمشهر، آبادان و ماهشهر از مدار خارج شد. گرد و غبار به املاح و ترکیب همزمان با رطوبت هوا، مانند یک رسانا عمل کرده و موجب اتصالی در رله‌های حفاظتی در تأسیسات می‌شود. در واقع رله‌های حفاظتی برای جلوگیری از آتش‌سوزی به صورت الکترونیکی از مدار خارج شده و موجب قطع برق خطوط انتقال می‌شود (شکل ۴). بنا به گزارش شرکت برق منطقه‌ای خوزستان، بخشی از هزینه‌های ناشی از این واقعه بالغ بر ۹۰۰۰ میلیون ریال می‌باشد. همچنین خسارت مالی غیرمستقیم حاصل از این رویداد به دلیل عدم امکان فروش نفت در اثر قطع برق به مدت ۲۴ ساعت برابر ۴۲ میلیون دلار برآورد شده است.



شکل ۴: اثر گرد و غبار بر مقره‌ها و پوشینگ‌های خطوط و پست‌های انتقال

۳- خاموشی و قطعی شبکه برق در اثر بارش سیلابی، برف و باران و تگرگ

○ اسفند ۱۳۹۲ نهبندان

بارش نزولات آسمانی در نهبندان استان خراسان جنوبی، در اسفند ماه سال ۱۳۹۲ سبب آبگرفتگی معابر شهری و جاری شدن سیلاب در مسیر رودخانه‌ها شد به حدی که در بعضی از مسیرها امکان تردد خودروها در جاده‌ها 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 تأسیسات برق این شهرستان خسارت وارد شد.



شکل ۵: شسته شدن پایه تیرهای برق در اثر وقوع سیل در خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۲

○ تیر ۱۳۹۴ تنکابن

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. تعدادی از این آسیب‌ها در شکل ۶ مشاهده می‌شود. همچنین سیل در منطقه غرب مازندران، به شبکه برق شهرهای نوشهر و عباس‌آباد نیز خساراتی وارد کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۶: کنده شدن و شکستگی در تیرهای برق در اثر وقوع سیل در تنکابن سال ۱۳۹۴ (الف و ب)

○ ۲۰ آبان ۱۳۹۴ جهرم

بارش شدید سبب قطع برق ۱۰ روستای بخش جهرم مرکزی در ۲۰ آبان ۱۳۹۴ شد. «ازک»، «موردک»، «تشک»، «سه چاه»، «چاه تیز»، «گچ برو»، «بیدکوه»، «خاور» از جمله روستاهایی بود که برق آن‌ها قطع شد. آب‌گرفتگی معابر عمومی «کناردان» و همچنین قطعی خطوط تلفن همراه و آب روستای «مانیان» در بخش مرکزی شهرستان جهرم از دیگر پیامدهای این باران سیلابی بود. آب‌گرفتگی روستاهای «گلدامچه» و یوسف‌آباد، تخریب جاده «چنار سوخته»، تخریب قسمتی از پل ورودی «گلدامچه»، آسیب دیدگی سد «چاه مروارید»، چهار مورد تخریب باغ‌ها و هفت مورد تخریب منازل از جمله خسارات وارده به بخش «کردیان» این شهرستان است. همچنین بخشی از خطوط انتقال آب شرب روستای «چهار طاق» و بخشی از شبکه آب شرب روستای «کوشکسار» در بخش «سیمکان» جهرم تخریب شد. تخریب جاده‌های فرعی احداث شده در این بخش، تخریب بخشی از پل ورودی روستای «گودراع» از دیگر خسارات وارده به این بخش بوده است. آب‌گرفتگی ۱۵۰ منزل در بخش «سیمکان» جهرم و ریزش ۳۰ دیوار و سقف همراه بود. اما خوشبختانه در بخش «خفر» هیچ گونه خسارتی گزارش نشد.

○ ۱۳ دی ماه ۱۳۹۴ مهاباد

برف و کولاک شدید در مسیر مهاباد- سردشت تا ارتفاع ۲ متر و انباشت آن در بعضی مناطق تا ارتفاع ۳ تا ۶ متر و وزش تندباد، سبب شد برق ۱۰۵ روستای این شهرستان قطع شود؛ که علت آن پارگی سیم و شکستگی پایه‌ها عنوان شد.

○ ۲۸ فروردین ۱۳۹۵ مشهد

بارش شدید باران و تگرگ در مشهد موجب بروز بیش از ۱۰۰ حادثه از جمله سقوط درخت، آب‌گرفتگی و سقوط اجسام و به محاصره درآمدن شهروندان بر اثر جاری شدن سیلاب در سطح شهر شد. در شامگاه آب‌گرفتگی معابر و به خاموشی بردن برخی از مناطق شهر به ویژه حرم مطهر رضوی همراه بود.

○ فروردین ۱۳۹۵ جاده زنجان - طارم

در اثر بارش باران در فروردین سال ۱۳۹۵ و جاری شدن سیل در مسیر رودخانه سولوچایی واقع در منطقه 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 (شکل ۷).



شکل ۷: خرابی تیرهای برق در اثر وقوع سیل در زنجان سال ۱۳۹۵

○ ۱ آذر ۱۳۹۵ بسطام

در ۱ آذر ۱۳۹۵ در اثر ریزش برف سنگین و در پی آن یخزدگی بر روی سیم‌های شبکه توزیع برق در منطقه کوه قاسم بسطام استان سمنان با شکستگی دو پایه و قطعی برق همراه بود (شکل ۸).



شکل ۸: ریزش برف سنگین ۱ آذر ۱۳۹۵ بسطام

○ ۶ دی ۱۳۹۵ گیلان

در ۶ دی ماه ۱۳۹۵ در گیلان در اثر بارش سنگین برف و کولاک اختلال در خطوط انتقال برق رخ داد و دکل‌های انتقال برق زیر برف و بار سنگین دچار خسارت شدند (شکل ۹).



شکل ۹: بارش سنگین برف و کولاک ۶ دی ۱۳۹۵ گیلان

○ ۱۱ دی ۱۳۹۵ پیرانشهر

در اثر بارش برف سنگین تا ارتفاع ۲ متر در ۱۱ دی ۱۳۹۵ و در پی آن وقوع یخزدگی، برق در شهر پیرانشهر و ۱۴۳ روستای آن قطع شد. در مسیرهای کوهستانی این شهرستان قطر یخ به ۷۰ سانتی‌متر رسید و همین امر سبب شد تا خطوط ۱۳۲ کیلوولت در طول ۱۱۵ کیلومتر، که عمدتاً مسیر کوهستانی را شامل می‌شد، دچار یخزدگی شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: برف سنگین ۱۱ دی ۱۳۹۵ پیرانشهر

○ ۱۱ دی ماه ۱۳۹۵ جیرفت

در ۱۱ دی ماه ۱۳۹۵ شهرستان جیرفت به دلیل ریزش باران سنگین و جاری شدن سیل و تخریب تیرهای برق، دچار قطعی برق شد.

○ بهمن ماه ۱۳۹۵ شهر بابک

بر اثر بارندگی‌های گسترده در بهمن ماه سال ۱۳۹۵، در حدود ۲۰۰ میلیون تومان خسارت به تأسیسات برق شهر بابک وارد شد. این خسارات بیشتر به تیرها و ترانس‌های برق بوده است که به علت باد و یا سیلاب شکسته و یا از جای خود در آمده‌اند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: شکستگی و کج شدن تیرهای برق در اثر وقوع سیل در شهر بابک در سال ۱۳۹۵

○ ۱۵ بهمن ۱۳۹۵ گیلان

بارش برف با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و خارج شدن ۶۰ فیدر ۲۰ کیلوولتی از مدار، در اثر آن، سبب شد شهرهای رشت، انزلی، لاهیجان و بخش‌هایی از آستانه اشرفیه در خاموشی فرو روند.

○ ۲۵ بهمن ۱۳۹۵ ملایر

پس از گذشت چند ساعت ریزش برف سنگین در ۲۵ بهمن ماه ۹۵ در ملایر سبب شد به علت سقوط و شکستن ۶ دکل برق سقوط کرده، و کل شهر در خاموشی فرو برود. خاموشی که چهار روز به طول انجامید و به دنبال خود، مردم این شهرستان را با مشکلاتی همچون قطعی مقععی آب، عدم دسترسی به راه‌های

ارتباطی و روستایی، اختلال در شبکه‌های مخابراتی و اینترنت و کاهش خدمات سوخت‌رسانی مواجه کرد. در این بحران تنها در حوزه برق، بیش از ۴۰ میلیارد ریال خسارت به شبکه برق ملایر وارد شد و ۴۵۰ کیلومتر شبکه برق این شهرستان خسارت دید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: برف سنگین ملایر در ۲۵ بهمن ۱۳۹۵

○ ۳۰ بهمن ۱۳۹۵ مراغه

در اثر برف سنگین و کولاک سبب آفت فشار آب در ۴۰ روستا و قطعی برق در ۳۴ روستا از شهرستان مراغه شد. ۳۰۰۰ نفر در خاموشی قرار گرفتند.

○ ۳۰ بهمن ۱۳۹۵ خراسان جنوبی

در اثر ریزش سنگین باران و جاری شدن سیل و طغیان رودخانه‌ها برق روستاها در خراسان جنوبی قطع شد. ۲۰ روستای شهرستان بیرجند که شامل خراشاد، سورک، بهدان، بهلکرد و حدود ۱۵ روستا در جنوب بیرجند و همچنین ۶ روستا در قائن، روستای حیدر آباد نهبندان و روستای مختاران شهرستان سر بیشه از روستاهایی هستند که با قطعی برق مواجه شدند.

○ ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۶ سلماس

در اثر بارش شدید باران، تگرگ و توفان، ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۶ در سلماس و آبگرفتگی معابر، برق مناطقی از این شهرستان قطع شد.

○ ۲۴ تیرماه ۱۳۹۶ ایرانشهر

در اثر بارش سنگین و سیلابی در ۲۴ تیرماه در شهرستان ایرانشهر و در پی آن شکستن بیش از ۷۰ تیر برق، مناطق بسیاری از این شهرستان ایرانشهر و بمپور قطع شد. در مجموع ۵۰ روستا در خاموشی فرو رفتند.

○ ۲۱ مرداد ۱۳۹۶ آزاد شهر

در اثر وقوع بارش سنگین و سیل در شهرستان آزاد شهر و خسارت به تیرهای برق، سبب قطع برق در روستاهای بالادست شد.

۴- خاموشی و قطعی شبکه برق در اثر آتش سوزی

○ ۷ مرداد ۱۳۹۶ آمل

در ۷ مرداد ۱۳۹۶ خورشیدی در اثر آتش سوزی پست برق منطقه نساجی بابکان باعث قطعی برق سراسری در شهرستانهای آمل، محمودآباد و نور در دمای ۳۸ درجه شد. قدیمی بودن یک ترانس برق و نیز استفاده بیش از حد ظرفیت از این پست برق علت اصلی آتش گرفتن برق بابکان آمل بوده است. این قطعی برق سبب شد حدود ۷۰۰ هزار نفر از شهروندان آمل، محمودآباد و نور در خاموشی به سر بردند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: آتش سوزی پست برق در ۷ مرداد ۱۳۹۶ در مازندران

○ ۲۸ خرداد ۱۳۹۶ اهواز

در اثر وقوع گرمای شدید به علت بالارفتن مصرف برق، ظرفیت بار ترانس‌های شرق اهواز به طور کامل پر شد و فشار زیادی بر این ترانس‌ها وارد شد و در پی آن سر کابل خروجی ۳۲ کیلوولت و ترانس سپیدار دچار آتش‌سوزی شد و شهر در خاموشی فرو رفت. با افزایش تقاضا، افزایش بار مصرف و بار شبکه سبب شد به تجهیزات ایستگاه تغذیه در مناطق باهنر، مستغلات، ۱۰۰ دستگاه، ۲۵۴ دستگاه، نبوت، رسالت، ایثار، منازل ترابری، ستایش، صادقیه، منازل راه کربلا، سپیدار، شهروند، فاز ۲، فاز ۵ پاداد، مهدیس آسیب وارد شود و خساراتی را به وجود آورد.



شکل ۱۴: آتش سوزی ترانس پست سپیدار در خوزستان در اثر موج گرما، ۱۳۹۶

۵- خاموشی و قطعی شبکه برق در اثر گرمای شدید

در پی وقوع گرمای شدید و افزایش نیاز به سیستم‌های خنک‌کننده تقاضای انرژی بالارفته و با افزایش مصرف و فشار بر شبکه در برخی نواحی قطعی برق اتفاق می‌افتد که سلامت و آسایش انسان را به خطر می‌اندازد. در ادامه برخی از نمونه‌هایی که در اثر این امر رخ داده‌اند آورده می‌شود.

○ ۸ خرداد ۱۳۹۶ قصر قند

در اثر وقوع گرمای شدید و رسیدن دما به ۵۰ درجه سانتی‌گراد سبب شد برای چندین روز بخصوص در ساعات میانی روز به طور مکرر برق در شهرستان قصرقند قطع شود و شهروندان را دچار مشکل کند.

○ ۱۷ خرداد ۱۳۹۶ سیستان و بلوچستان

وقوع گرمای بی‌سابقه (در ۴۰ سال اخیر) در سیستان و بلوچستان سبب شد به طور مکرر در ساعات روز و شب برق قطع شود و اهالی را دچار مشکل کند.

○ ۲۵ خرداد ۱۳۹۶ آبادان

وقوع گرمای ۵۰ درجه‌ای در آبادان سبب قطعی برق در ساعات متفاوت روز و شب شد.

تحلیل‌ها

بر اساس گزارش حوادث رخ داده در صنعت برق ناشی از مخاطرات جوی در بازه سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۶ که در بخش قبل ارائه شد، بالغ بر ۵ حادثه در اثر باد و توفان، ۱ حادثه در اثر گرد و غبار، ۱۸ حادثه در اثر بارش باران و سیل و برف، ۲ حادثه در اثر آتش سوزی و ۳ حادثه در اثر گرمای شدید در بخش‌های مختلف صنعت برق (عمدتاً در انتقال و توزیع) به وقوع پیوسته‌اند. فهرستی از مهمترین حوادث مذکور در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱: فهرست مهمترین حوادث رخ داده در صنعت برق کشور ناشی از مخاطرات محیطی جوی

ردیف	شهر - منطقه	تاریخ	رخداد	آسیب‌های وارده	خسارت به شبکه برق (میلیون ریال)
۱	خراسان	۱۳۹۲	بارش و سیل	آسیب به پایه‌های توزیع	۴۳۰۰
۲	تهران	۱۳۹۳	توفان	آسیب دکل‌های برق	-
۳	کردستان	۱۳۹۴	برف و کولاک	پارگی سیم و شکست پایه در شبکه توزیع	-
۴	اهواز	۱۳۹۵	توفان	قطع برق ناشی از بریدن سیم‌های شبکه توزیع	-
۵	خوزستان	۱۳۹۵	گرد و غبار و رطوبت	قطع برق در پستها و خطوط انتقال، خروج ۵ نیروگاه از مدار	-
۶	زنجان	۱۳۹۵	بارش و سیل	شکست پایه‌های شبکه توزیع	-
۷	بسطام	۱۳۹۵	برف و یخ	شکست پایه‌های شبکه توزیع	-
۸	شهراباک	۱۳۹۵	باد و سیل	شکست پایه‌های توزیع	۲۰۰۰
۹	گیلان	۱۳۹۵	برف سنگین	خروج ۶۰ فیدر فشار متوسط از مدار	-
۱۰	ملایر	۱۳۹۵	برف سنگین	سقوط ۶ دکل انتقال برق	۴۰۰۰۰
۱۱	اهواز	۱۳۹۶	گرما	آتش سوزی در ترانس پست سپیدار	-
۱۲	اردبیل	۱۳۹۶	توفان و سیل	قطع برق	-
۱۳	گچساران	۱۳۹۶	توفان	سقوط پایه‌های توزیع و قطع برق	-

همانطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، مهمترین حوادث ناشی از مخاطرات جوی کشور، در بخش‌های انتقال و توزیع رخ داده‌اند و از این رو می‌توان نتیجه گرفت که بخش‌های انتقال و توزیع نسبت به تولید (نیروگاه‌ها) نسبت به مخاطرات جوی دارای آسیب‌پذیری بالاتری می‌باشند. البته بخشی از این نتیجه می‌تواند ناشی از عدم ارائه یا دسترسی به گزارش‌های خسارات در بخش تولید باشد. همچنین به لحاظ فراوانی وقوع، حوادث ناشی از بارش (باران و سیلاب حاصل از آن و برف) در رتبه اول و پس از آن، حوادث ناشی از باد و توفان در رتبه دوم قرار دارند. از نظر میزان خسارات مالی بر اساس اطلاعات موجود، حوادث ناشی از بارش و باد به ترتیب در رده‌های اول و دوم قرار دارند. البته از نظر تأثیرات اجتماعی، رسانه‌ای و امنیتی، حادثه گرد و غبار در خوزستان دارای بازتاب وسیع‌تری نسبت به سایر حوادث می‌باشد.

نتیجه‌گیری

زیرساخت‌ها و سامانه‌ها در طول عمر بهره‌برداری خود در معرض انواع مخاطرات قرار دارند. در راستای تأمین قابلیت اطمینان و ایمنی انرژی و کاهش انواع صدمات و خسارات حاصل از تخریب یا عدم عملکرد سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق، طراحی سازه‌های جدید برای پایداری و دوام در برابر مخاطرات مختلف و ارزیابی سامانه‌ها و سازه‌های موجود برای حفظ سطح ایمنی آنها ضروری است. بدین منظور، شناسایی انواع مخاطرات آسیب‌رسان به سازه‌ها و سامانه‌ها و تعیین ویژگی‌ها و مشخصات آنها بصورت کمی، مورد 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 به منظور برنامه‌ریزی برای انجام فعالیت‌های مرتبط با مدیریت بحران، ضروری است. در راستای شناخت نحوه تأثیر و آسیب‌پذیری صنعت برق در برابر انواع مخاطرات تهدیدکننده آن، بررسی سوابق خسارات وارده بر بخش‌های مختلف صنعت برق در گذشته بسیار مفید و آموزنده است. در این گزارش، سوابق ثبت شده در انواع منابع در دسترس شامل گزارش‌ها، منابع خبری و ... در مورد خسارات و خرابی‌های ایجاد شده در بخش‌های مختلف صنعت برق در اثر وقوع انواع مخاطرات جوی و پی‌آمدهای آنها، جستجو و به تفکیک نوع مخاطره ارائه شده است. با بررسی سوابق حوادث می‌توان دریافت که بطور کلی بخش‌های انتقال و توزیع در برابر مخاطرات جوی دارای آسیب‌پذیری بیشتری می‌باشند. همچنین فراوانی وقوع و میزان خسارات ناشی از مخاطرات گروه بارش (باران، سیل، برف و ...) بر شبکه برق بیشتر از سایر انواع مخاطرات است.

مراجع و منابع

[1] Dunn, Sean Wilkinson, Alistair Ford, "Spatial structure and evolution of infrastructure networks," *Sustainable Cities and Society*, vol. 27, pp. 23-31, 2016.

[۲] بیدرنگ، محمد رضا، حیدری، حمیده «پهنه‌بندی مخاطرات جوی استان زنجان با استفاده از سامانه GIS». اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۱۳۹۴.

[3] "Climate Change and the Electric Power Sector," Asian Development Bank, Philippines, 2012.

[۴] جعفری، محمدعلی، «تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور»، گزارش مرحله اول، پژوهشگاه نیرو، تهران، ۱۳۹۶.

مطالعات تطبیقی در حوزه شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق

امیر اکبری گرکانی

عضو هیات علمی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

aakbari@nri.ac.ir

چکیده: یکی از دغدغه‌های اصلی هر کشور تلاش برای تأمین ایمنی افراد در مواجهه با بلایای طبیعی می‌باشد. در این راستا، شناخت و بررسی مخاطرات گامی مهم جهت نیل و دستیابی به این هدف محسوب می‌شود. بررسی‌های شناخت خطر به طور معمول شامل مکان‌یابی و تهیه نقشه پهنه‌بندی محل‌های خطر می‌باشند و اینگونه نقشه‌ها مکان‌هایی را که احتمال وقوع بحران‌های طبیعی در آن‌ها وجود دارد را بطور مشخص تعیین می‌نمایند. هدف از گزارش حاضر آن است که با بررسی سابقه مطالعات پیشین در تعدادی کشور منتخب در حوزه شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین مرتبط با صنعت برق، از تجربیات و مطالعات آن‌ها در این زمینه استفاده گردد. برای این منظور، ابتدا معیارهایی جهت شناسایی و رتبه‌بندی کشورهای مختلف دنیا تعریف می‌شود. سپس براساس این معیارها، کشورهای مختلف امتیازدهی شده و سرانجام با توجه به امتیاز نهایی کسب شده، کشورهای مقصد جهت انجام مطالعه تطبیقی در حوزه پهنه‌بندی مخاطرات زمین انتخاب می‌شوند. در ادامه، کشورهای انتخاب شده به عنوان هدف به لحاظ مطالعات صورت گرفته در آن‌ها در خصوص شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین مورد بررسی قرار می‌گیرند. در پایان نیز خلاصه‌ای از مهمترین مطالب ارائه شده، در قالب یک جمع‌بندی بیان می‌گردد.

کلیدواژه: مخاطرات زمین، سازه‌های صنعت برق، مطالعه تطبیقی، مدل‌های پهنه‌بندی.

مقدمه

بلایای طبیعی و مخاطرات زمینی هر ساله خسارات زیادی را به منابع مالی و انسانی در سراسر دنیا وارد می‌سازند. یکی از اقدامات اولیه برای کاهش خسارات احتمالی ناشی از وقوع این مخاطرات و مدیریت بحران آن است که بوسیله تعیین میزان حساسیت اراضی به مخاطرات مذکور و شناسایی مناطق مستعد، موجبات شناخت مناطق امن برای گسترش جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و سکونت‌گاه‌ها را فراهم نمود. از جمله راه‌های شناسایی مناطق حساس و مستعد مخاطرات زمینی، استفاده از تکنیک‌های پهنه‌بندی است. این تکنیک‌ها شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز بلایای زمینی می‌باشند. در واقع پهنه‌بندی خطر یک مخاطره زمینی، احتمال نسبی وقوع این پدیده را در یک منطقه براساس ویژگی‌های محیطی آن ناحیه مشخص می‌کند. برای پهنه‌بندی

پارامترهای مشخصه مخاطرات زمین 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 مطالعه شوند. لذا در این گزارش ابتدا مؤلفه‌های مناسب جهت انتخاب کشورهای مقصد به منظور انجام مطالعه تطبیقی در حوزه پهنه‌بندی مخاطرات زمین مؤثر بر سازه‌های صنعت برق شناسایی شده، سپس کشورهای انتخاب شده بر این مبنای معرفی می‌گردند و در انتها، مطالعات و برنامه‌ریزی‌های انجام گرفته در این کشورها در حوزه شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین تأثیرگذار بر سامانه‌های صنعت برق از دیدگاه‌ها و با اهداف مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به اهداف در نظر گرفته شده، این گزارش در ۵ بخش ارائه می‌گردد. در بخش اول، فاکتورهای مؤثر در انتخاب کشورهای مقصد بررسی شده و در بخش دوم، امتیازات کشورهای مختلف بر مبنای معیارهای در نظر گرفته شده محاسبه شده و کشورهای برتر به لحاظ امتیاز کسب شده بعنوان کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی انتخاب می‌گردند. در بخش سوم، روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده برای پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمین در سطح کشور، در مستندات کشورهای منتخب بررسی شده و در بخش چهارم به تحلیل و جمع‌بندی مطالعات صورت گرفته در کشورهای منتخب در زمینه شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین پرداخته و در پایان، مهمترین نتایج حاصل از این بررسی‌ها در قالب یک جمع‌بندی ارائه می‌گردد.

فاکتورهای مورد استفاده برای انتخاب کشورهای مقصد

به منظور انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی نیاز به تعریف مؤلفه‌هایی است که بر مبنای 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 سازه‌های صنعت برق مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا منطقی است که اولین و اصلی‌ترین فاکتور برای تعیین کشورهای مقصد، مؤلفه شباهت مخاطرات زمینی در نظر گرفته 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 می‌باشند، تعیین گردند. بعلاوه، بدلیل آنکه نقشه‌های پهنه‌بندی بصورت توزیع جغرافیایی پارامترهای مشخصه مخاطرات در سطح کشور ارائه می‌شوند، 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، می‌توانند سایر پارامترهای مؤثر جهت یافتن کشورهای مشابه با ایران بر مبنای این معیار را تشکیل دهند. لازم به ذکر است که طبق مطالعات جامع صورت گرفته در مرجع [۱]، ۱۱ گروه مخاطره: زمین‌لرزه (شامل

زلزله، روانگرایی، و گسلش)، زمین لغزش (شامل ناپایداری شیروانی و زمین‌لغزش، و گسترش جانبی)، فرونشست، خاک‌های خورنده، خاک‌های مساله‌دار، خاک‌های فروریزی، خاک‌های تورمی، خاک‌های واگرا، فرسایش، کارستی‌شدن، و آتشفشان دارای بیشترین سهم آسیب‌رسانی به سازه‌های صنعت برق بوده و عمده مخاطرات زمین در ایران را تشکیل می‌دهند. از دیگر عوامل مهم در انتخاب کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی، میزان پیشرو و پیشرفته‌بودن آن‌ها در جهت مقابله با مخاطرات طبیعی می‌باشد. 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 آسیب‌رسانی مخاطرات، و بهره‌گیری از سیستم‌های هشدار) و همچنین آمادگی برای انجام اقدامات اضطراری، آثار و عواقب فاجعه‌آمیز این مخاطرات را کاهش داد. بنابراین، هر چه توانایی یک کشور جهت مقابله با فجایع و بلایا بیشتر باشد، می‌توان انتظار داشت که مطالعات صورت گرفته در آن کشور جهت پیش‌بینی مخاطرات در آینده، گسترده‌تر، و برنامه‌های تدوین شده جهت مدیریت ریسک و بحران در صورت مواجهه با مخاطرات، جامع‌تر باشد. بر این اساس، نیاز به تعریف شاخصی می‌باشد 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 [۲] بدلیل در نظر گرفتن مجموعه‌ای جامع و کامل از پارامترها کمک گرفته شد. شاخص یاد شده دارای پارامترهای بسیاری در زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، طبیعی و انسانی می‌باشد که در هر گروه از طریق لحاظ‌کردن زیرعامل‌های مؤثر و تعریف معیارهای مختلف، در نهایت نمره‌ای را برای میزان خطرپذیری کشورها محاسبه می‌کند. از آنجایی که لحاظ‌کردن همه این موارد با هدف پژوهش پیشرو تناسب نداشت با نظر خبرگان در این زمینه، از مجموعه کل پارامترهای لحاظ شده در محاسبه شاخص INFORM تنها با استفاده از مقادیر دو زیر شاخه «عدم توانایی مقابله» و «مخاطرات طبیعی»، و تقسیم‌کردن آن‌ها بر هم شاخص جدیدی متناسب با هدف پژوهش تعریف شد؛ بطوریکه هر چه میزان این شاخص در کشوری کمتر باشد، نشان‌دهنده آن است که آن کشور به لحاظ مقابله با مخاطرات طبیعی پیشرفته‌تر است. 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، در دسترس‌بودن مطالعات یک کشور به عنوان سومین مؤلفه مناسب برای بررسی دقیق‌تر کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی در نظر گرفته شد. با تعیین فاکتورهای مؤثر در انتخاب کشورهای مقصد، مرحله بعد امتیازدهی و رتبه‌بندی

کشورها بر مبنای این معیارها می‌باشد. اما پیش از آن لازم است خود این معیارها وزن‌دهی شوند. برای این منظور با مشورت و نظر خبرگان در این زمینه هر یک از سه مؤلفه انتخابی: «مشابهت مخاطرات زمین»، «پیشرو و پیشرفته بود»، و «دردسترس بودن مطالعات»، براساس میزان اهمیت و نقش آن‌ها در تعیین کشورهای مقصد وزن‌دهی شدند؛ به نحوی که از مجموع ۱۰۰ امتیازی که بطور قراردادی به سه عامل اثرگذار اختصاص داده شد، هر یک از عوامل بدین ترتیب امتیازبندی شدند:

- (۱) برای مشابهت مخاطرات زمین امتیاز ۴۵ (۳۰ امتیاز برای فاکتورهای شدت مخاطره و فراوانی رخداد آن، و ۱۵ امتیاز برای فاکتورهای خسارات جانی و مالی ناشی از وقوع مخاطره)
- (۲) برای پیشرو و پیشرفته بودن امتیاز ۳۰، و
- (۳) برای دردسترس بودن مطالعات امتیاز ۲۵.

در ادامه، نحوه محاسبه امتیاز کسب‌شده توسط هر کشور، و روند تعیین کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی در هر یک از گروه مخاطرات زمین حاکم بر کشور ایران، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

امتیازدهی به کشورهای مختلف و انتخاب کشورهای برتر جهت مطالعه تطبیقی

بر مبنای معیارهای در نظر گرفته شده در بخش قبل، کشورهای مختلف دنیا امتیازدهی شده و کشورهایی که در مجموع هر سه مؤلفه: مشابهت مخاطره زمینی، پیشرو و پیشرفته‌بودن به لحاظ مواجه با بلایای طبیعی، و دسترسی به اطلاعات، دارای بیشترین امتیاز در هر یک از ۱۱ گروه مخاطره زمین: زلزله، زمین‌لغزش، فرونشست، خاک‌های خورنده، خاک‌های مساله‌دار، فروریزش، تورم، واگرایی، فرسایش، کارستی‌شدن، و آتشفشان بودند، شناسایی شدند. بعنوان نمونه در مورد مخاطره زلزله، برای شناسایی و امتیازدهی کشورهای مشابه با ایران به لحاظ شدت مخاطره از شکل ۱ و برای امتیازدهی آن‌ها به لحاظ شاخص پیشرفتگی از گزارش سالانه شاخص INFORM در سال ۲۰۱۷ [۲]، استفاده شد. محاسبه امتیاز کشورهای مورد مطالعه از نظر معیار در دسترس بودن مطالعات نیز بر مبنای مرجع [۳] که اسامی ۳۰ کشور اول دنیا به لحاظ میزان خروجی تحقیقاتی در حوزه مخاطره زلزله در طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۰۰ را منتشر کرده است، صورت گرفت. بدین ترتیب، نمونه جدول امتیاز محاسبه شده برای کشورهای مختلف در گروه مخاطره زلزله بفرم جدول ۱ می‌باشد. با دنبال کردن روندی کمابیش مشابه، جداول امتیازبندی کشورها برای ۱۰ گروه دیگر مخاطرات زمین نیز به تفکیک تهیه شدند. سپس طبق جدول ۲ در هر یک از گروه مخاطرات زمین، ده کشور برتر به لحاظ امتیاز کسب شده تعیین، و بر مبنای بالاترین تعداد تکرار در گروه‌های مختلف مخاطرات زمین مرتب شدند. در مرحله بعد، با توجه به پتانسیل خطر مخاطرات مختلف برای سازه‌های صنعت برق و

بر مبنای قضاوت مهندسی، ضرایب اهمیتی (I) بر مخاطرات موجود در هر کشور اعمال و امتیاز نهایی هر یک از آنها مطابق جدول ۳ محاسبه گردید. در نهایت از بین ۸ کشور برتر به لحاظ حداکثر امتیاز نهایی کسب شده، کشورهای زیر بعنوان کشورهای مقصد جهت مطالعه تطبیقی در هر یک از گروه مخاطرات زمین 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

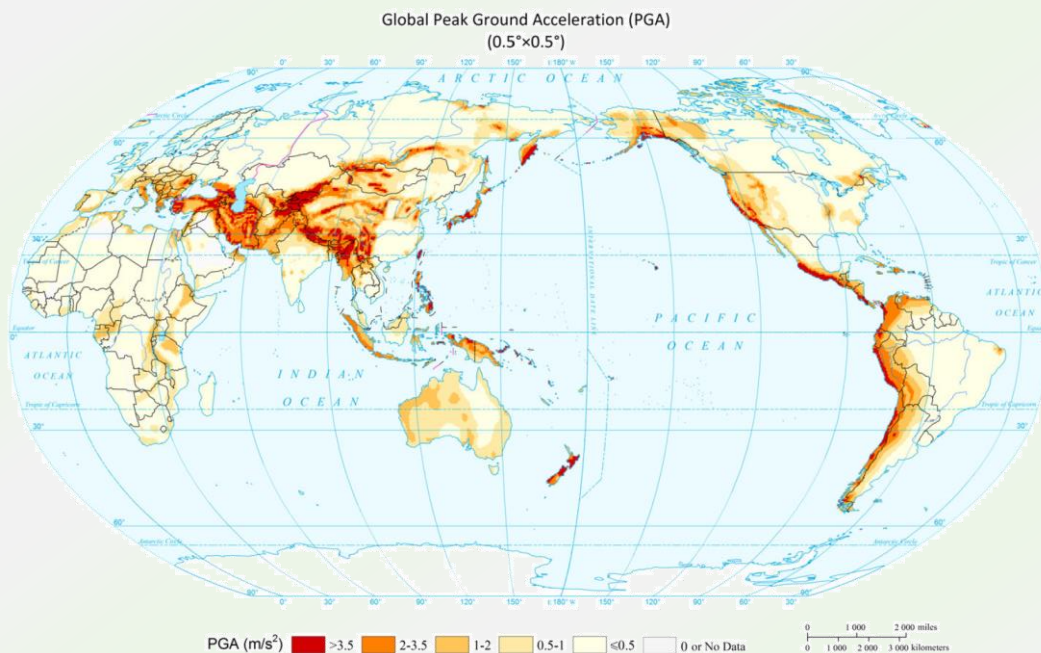
۴- خاک خورنده: چین، امریکا، مکزیک، هند، ترکیه، و روسیه

۵- خاک مساله‌دار: 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



شکل ۱: توزیع جهانی شتاب حداکثر زمین (PGA) [۴]

جدول ۱: امتیازدهی و رتبه‌بندی کشورها بر اساس 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	اکوادور	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 ۲: ده کشور برتر به لحاظ امتیاز کسب شده در گروه‌های مختلف مخاطرات زمین

خاکهای خورنده			فرونشست زمین			زمین لغزش			زلزله		
امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه
99.4	امریکا	1	98.0	مکزیک	1	89.8	چین	1	97.5	امریکا	1
99.2	استرالیا	2	93.4	اندونزی	2	84.4	امریکا	2	93.1	ژاپن	2
99.0	اسپانیا	3	92.6	ژاپن	3	82.4	ایتالیا	3	87.6	چین	3
98.8	چین - کانادا	4	73.1	چین	4	76.3	سوئیس	4	78.3	روسیه	4
98.5	ترکیه	5	71.2	تایلند	5	74.6	هند	5	77.5	هند	5
98.1	هند	6	66.8	امریکا	6	72.0	کلمبیا	6	76.5	ترکیه	6
98.0	مکزیک - پرو	7	65.1	ویتنام	7	71.3	پاکستان	7	74.9	ازبکستان	7
97.7	روسیه	8	64.4	پاکستان	8	70.1	نپال	8	74.7	فیلیپین	8
97.5	رومانی	9	61.1	یونان	9	69.0	مکزیک	9	74.4	مکزیک	9
96.8	بلغارستان	10	60.4	ایتالیا	10	68.9	پرو	10	73.0	شیلی	10
خاکهای نباتی			خاکهای واگرا			خاکهای منبسط شونده			خاکهای فروریزی		
امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه
99.3	استرالیا	1	97.3	امریکا	1	100.0	ژاپن	1	99.4	امریکا	1
98.8	چین	2	97.0	کانادا	2	99.4	امریکا	2	99.3	استرالیا	2
98.7	ایتالیا	3	93.5	هند - الجزایر	3	99.3	استرالیا	3	98.8	چین	3
98.5	ترکیه	4	92.2	کامرون	4	98.8	کانادا - چین	4	98.5	فرانسه	4
98.2	کره جنوبی	5	90.3	غنا	5	98.1	هند	5	98.1	هند	5
98.1	هند - تایلند	6	90.1	چین	6	98.0	مکزیک	6	97.8	آلمان	6
97.7	فیلیپین	7	89.5	بلیوی	7	97.5	ترکیه	7	97.7	روسیه	7
97.2	مصر	8	86.5	کنیا	8	96.6	انگلیس	8	97.5	رمانی	8
96.4	افریقای جنوبی	9	86.3	اتیوپی	9	96.5	رمانی - فرانسه	9	97.2	مصر	9
96.3	پاکستان	10	84.6	برزیل	10	96.0	برزیل	10	97.0	مکزیک	10
آتشفشان			کارستی شدن			فرسایش					
امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه	امتیاز کل (۱۰۰)	کشور	رتبه
100.0	ژاپن	1	99.4	امریکا	1	99.4	امریکا	1	99.4	امریکا	1
99.4	امریکا	2	95.5	فرانسه	2	84.8	چین	2	84.8	چین	2
99.1	نیوزیلند	3	85.1	آلمان	3	80.7	انگلستان	3	80.7	انگلستان	3
98.9	شیلی	4	84.3	چین	4	79.6	استرالیا	4	79.6	استرالیا	4
98.7	کانادا - چین - ایتالیا - فیلیپین	5	83.5	انگلیس	5	78.7	اسپانیا	5	78.7	اسپانیا	5
98.6	یونان	6	83.3	اسپانیا	6	78.3	کانادا	6	78.3	کانادا	6
98.5	ترکیه	7	82.2	ایتالیا	7	77.6	آلمان	7	77.6	آلمان	7
98.1	اندونزی	8	80.6	استرالیا	8	77.0	ژاپن	8	77.0	ژاپن	8
98.0	مکزیک - کلمبیا - اکوادور	9	80.2	مکزیک	9	76.9	فرانسه	9	76.9	فرانسه	9
97.9	پرو	10	79.2	کانادا	10	76.6	ایتالیا	10	76.6	ایتالیا	10

جدول ۳: 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)	فروپزش (I=1)	تورم (I=1)	واگرای (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	1	11	15.4
امریکا	1	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		1	5	8.2
ایتالیا		1	1					1	1	1	1	6	6.9
ترکیه	1			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	1	6	5.2
پاکستان		1	1					1				3	5.2
برو		1								1	1	3	4.7
فیلیپین	1							1				3	4.4
شیلی	1										1	2	4.2
ازبکستان	1											1	4
فرانسه				1	1	1			1	1		4	3.5
رومانی				1	1	1						3	3.5
کلمبیا		1									1	2	3.2
اسپانیا				1						1	1	3	3
سوئیس		1										1	3
نیپال		1										1	3
آلمان				1	1					1	1	3	2.5
انگلیس				1	1	1					1	3	2.5
آندونزی			1								1	2	2.2
تایلند			1					1				2	2.2
یونان			1								1	2	2.2
برزیل					1	1						2	2
ویتنام			1									1	2
بلغارستان				1								1	1.5
مصر					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
آفریقای جنوبی							1					1	0.2
نیوزیلند											1	1	0.2
آکوادور											1	1	0.2

بررسی مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمین در کشورهای منتخب

به طور کلی، انواع نقشه‌های پهنه‌بندی مرتبط با مخاطرات زمین شامل: (۱) پهنه‌بندی وقوع، (۲) پهنه‌بندی حساسیت، و (۳) پهنه‌بندی ریسک، خطر یا آسیب‌پذیری، می‌شوند. نقشه پهنه‌بندی وقوع، پراکنش مخاطره زمینی رخ داده در منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد [۵]. پهنه‌بندی حساسیت، فرآیندی است که در طی آن نقاط مختلف یک منطقه از نظر پتانسیل وقوع یک مخاطره در طبقات مختلف قرار می‌گیرند [۶]. در پهنه‌بندی ریسک یا خطر یک مخاطره نیز، به بررسی و ارزیابی خسارات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از وقوع آن در یک منطقه معین، طی یکسال پرداخته می‌شود [۵]. با توجه به اینکه وقوع اغلب مخاطرات زمین موجب ایجاد تغییراتی در سطح زمین می‌شوند، لذا جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی وقوع آن‌ها می‌توان از: (۱) مدارک و منابع موجود (مانند نقشه‌های توپوگرافی، مدل‌های ارتفاعی رقومی و ...)، (۲) مشاهدات و عملیات صحرایی (نظیر بازدیدهای میدانی، نقشه‌برداری زمینی، نصب ابزار دقیق، انجام آزمایش‌های ژئوفیزیک و ...)، (۳) تکنیک‌های سنجش از دور (شامل عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، ...)، و (۴) سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استفاده نمود [۷]. برای پهنه‌بندی حساسیت و ریسک مخاطرات زمین نیز بسته به نوع مخاطره، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی وجود دارد. برای مثال، برآورد خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی لرزه‌ای معمولاً به دو روش تعینی و احتمالاتی انجام می‌گیرد [۸]. برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از دو دسته روش‌های: کیفی (ابتکاری یا تجربی)، و کمی (شامل روش‌های آماری، احتمالاتی، و ترکیبی)، استفاده می‌شود [۹]. به منظور تشخیص و پایش مناطق نشست خیز، تکنیک‌هایی همچون ترازبندی دقیق، آزمایش‌های ژئوفیزیک، نصب ابزار دقیق، حس‌گرهای فیبر نوری، سیستم‌های مکانیابی جغرافیایی (GPS)، و تداخل سنجی رادار، بکار برده می‌شوند [۱۰]. برای برآورد میزان فرسایش خاک، غالباً از مدل‌های تجربی نظیر مدل جهانی فرسایش خاک [۱۱]، و برای شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور از نمونه‌برداری و کارهای آزمایشگاهی، و فناوری‌های سنجش از دور، استفاده می‌گردد [۱۲]. تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت و خطر کارست نیز به وسیله روش‌های کمی (شامل روش‌های آماری، احتمالاتی، و ترکیبی) [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶]، و پهنه‌بندی خاک‌های مساله‌دار به کمک انجام آزمایش‌های درجا و آزمایشگاهی صورت می‌پذیرد [۱۷]. در ادامه، به تعدادی از روش‌ها و مدل‌های بکار گرفته شده در کشورهای منتخب جهت تهیه انواع نقشه پهنه‌بندی مخاطرات مختلف زمینی، شامل نقشه پهنه‌بندی وقوع، پهنه‌بندی حساسیت، و پهنه‌بندی خطر، اشاره می‌شود. این اطلاعات، به ترتیب در جدول ۴ تا جدول ۷ خلاصه شده‌اند. بعلاوه، نمونه‌ای از نتایج حاصل از این مطالعات در کشورهای مذکور جهت پهنه‌بندی انواع مختلف مخاطرات زمینی ارائه می‌گردد. نتایج در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی، به ترتیب در شکل ۲ تا شکل ۵ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱: نمونه‌ای از روش‌های مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه‌بندی مخاطره زلزله [۷]

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 ۲: نمونه‌ای از روش‌های مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه‌بندی مخاطره خاک‌های متورم شونده [۷]

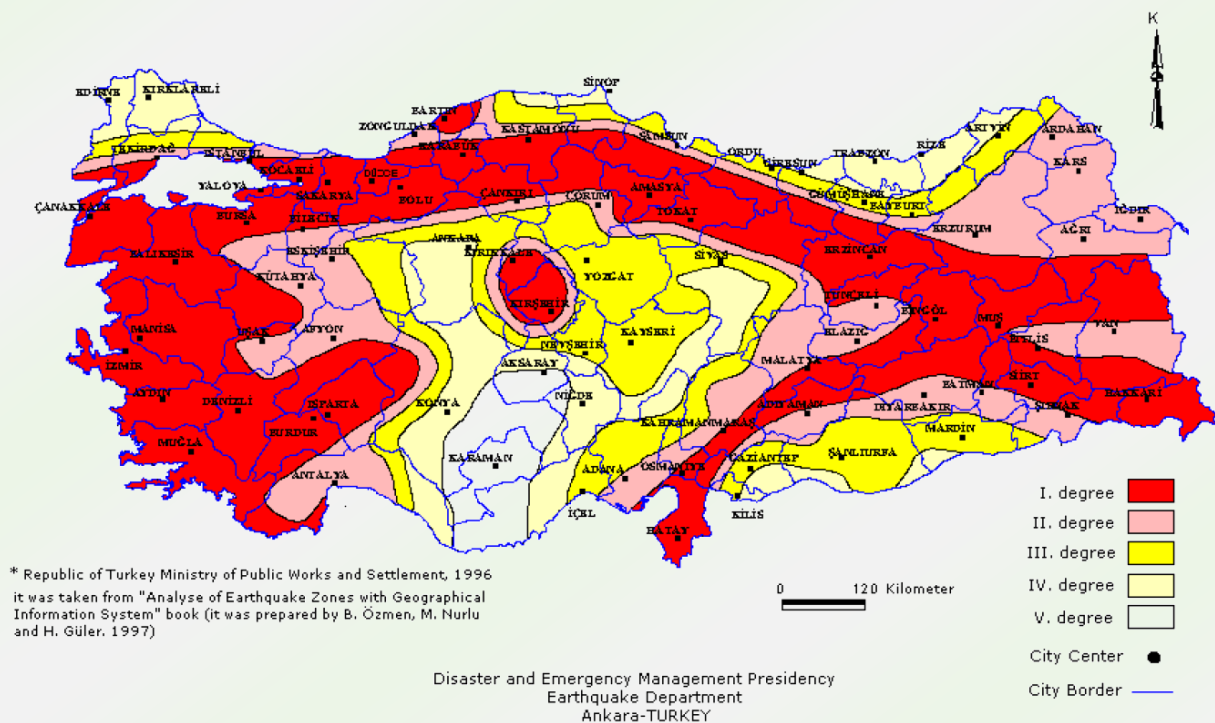
کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- انجام آزمایشهای آزمایشگاهی و تعیین خواص مهندسی خاک (شامل درصد کانیهای رس، شاخصهای فیزیکی-شیمیایی، شاخص های تورم و انقباض، ...)
امریکا	۱- بر مبنای تغییر حجم تخمین زده شده مصالح رسی در واحد زمین شناسی، وجود کانی رسی مونت موریلونیت، عمر زمین شناسی، مشکلات گزارش شده ناشی از مصالح 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 ۳: نمونه‌ای از روش‌های مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه‌بندی مخاطره فرونشست زمین [۷]

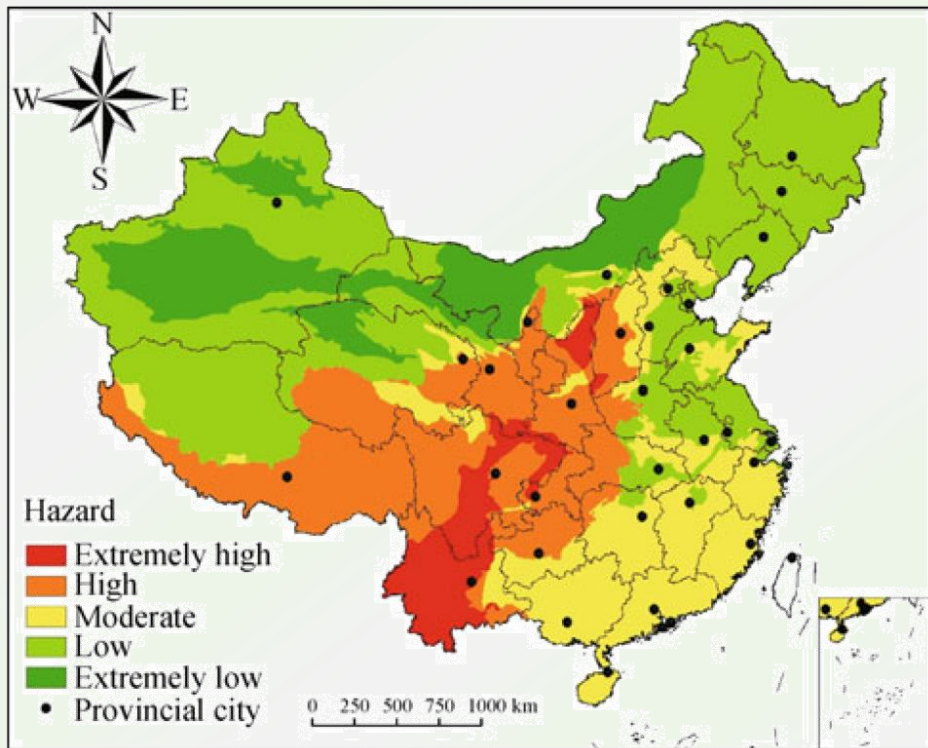
کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- روش تحلیل سلسله مراتبی ۲- روش فازی
امریکا	۱- استفاده از تکنیکهای نقشه برداری زمینی ۲- استفاده از تکنیکهای سنجش از دور، نظیر GPS و تداخل سنجی راداری ۳- پایش سطح آب زیرزمینی ۴- استفاده از ابزار دقیق، نظیر کشیدگی سنج و انحراف سنج گمانه
مکزیک	۱- روش های کیفی ۲- استفاده از آزمایشهای ژئوفیزیک، نظیر گرانی سنجی ۳- استفاده از تکنیکهای سنجش از دور، نظیر تداخل سنجی راداری
هند	۱- تراز یابی دقیق ۲- استفاده از تکنیکهای سنجش از دور GPS و تداخل سنجی راداری (DInSAR)
ژاپن	۱- استفاده از تئوری تحکیم ترازقی 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 ۴: نمونه‌ای از روش‌های مورد استفاده در کشورهای منتخب جهت پهنه‌بندی مخاطره خاک‌های شور [۷]

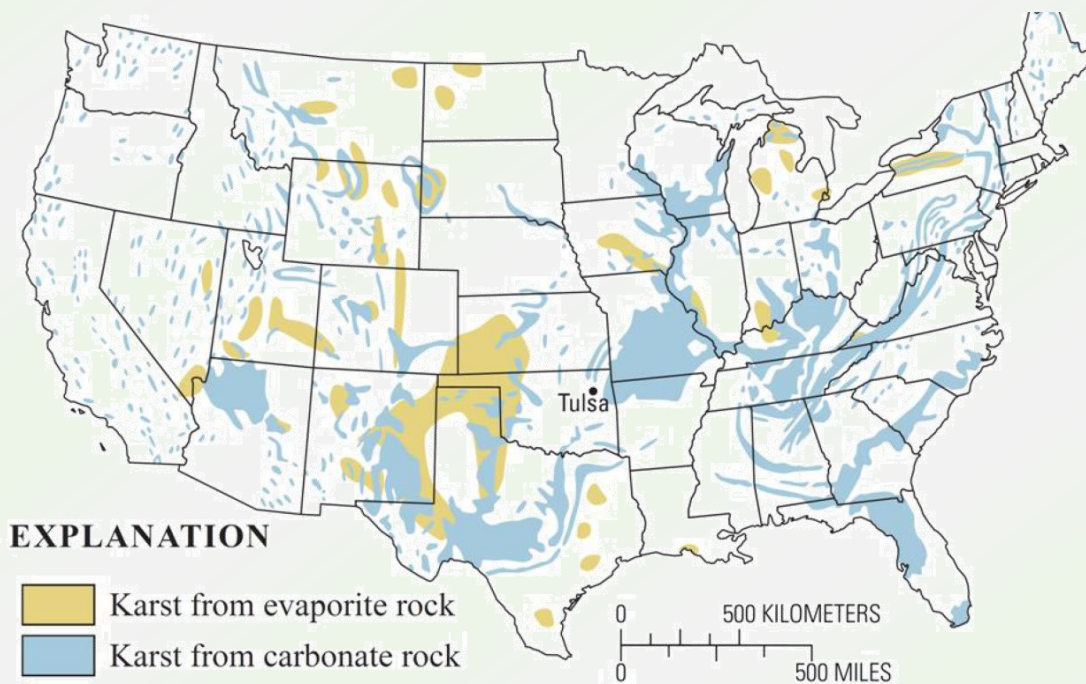
کشور	روشهای پهنه بندی
چین	۱- استفاده از تکنیک سنجش از دور (تصاویر ماهواره ای) ۲- نمونه گیری و انجام آزمایشات آزمایشگاهی به منظور تعیین شوری خاک ۳- استفاده از تکنولوژی GIS
مکزیک	۱- نمونه گیری و انجام آزمایشات آزمایشگاهی به منظور تعیین خواص خاک (نظیر هدایت الکتریکی) ۲- استفاده از تکنیک سنجش از دور
هند	۱- استفاده از تصاویر ماهواره ای و مشاهدات میدانی 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 ۳- نمونه گیری از خاک و تعیین درجه و نوع شوری خاک



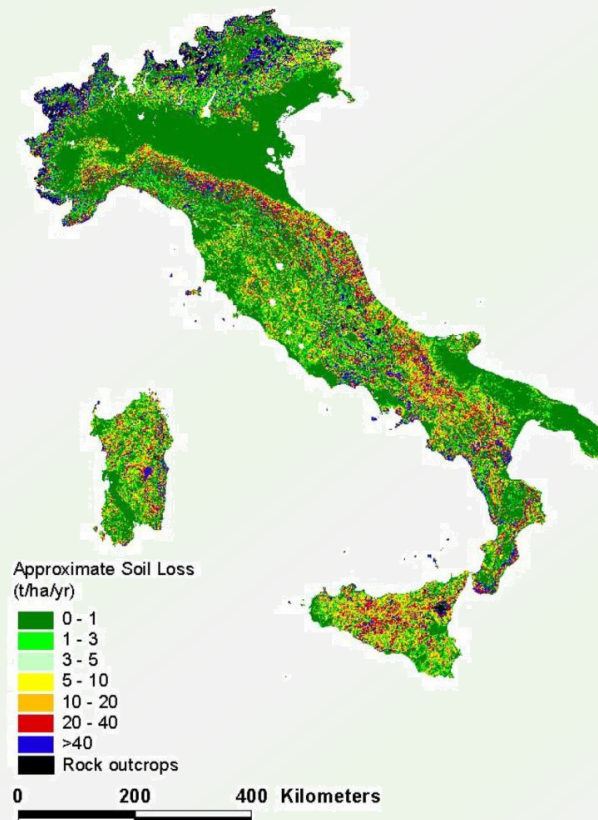
شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای حرکت زمین در ترکیه [۱۸]



شکل ۳: نقشه یکپارچه مخاطره زمین لغزش و جریان واریزه‌ای در چین [۱۹]



شکل ۴: موقعیت کلی نواحی کارست حاصل از سنگ‌های تبخیری و کربناتی در امریکا [۲۰]



شکل ۵: ریسک سالانه فرسایش خاک در ایتالیا [۲۱]

تحلیل و جمع‌بندی نتایج حاصل از بررسی مدل‌های پهنه‌بندی مخاطرات زمین در کشورهای منتخب

بر مبنای مدارک و مستندات موجود، نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در کشورهای هدف در حوزه‌های مرتبط با شناسایی و پهنه‌بندی انواع مختلف مخاطرات زمین را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد [۷]:

۱- در مورد مخاطره زلزله، در هر ۸ کشور منتخب چین، آمریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ایتالیا، ترکیه، و روسیه، پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای در کل سطح کشور صورت پذیرفته است.

۲- در بین کشورهای منتخب مورد بررسی در حوزه زمین لغزش، در ۵ کشور چین، آمریکا، هند، ژاپن، و ایتالیا، پهنه‌بندی وقوع، حساسیت، یا خطر زمین لغزش در سطح کل کشور، و در سایر کشورهای هدف (یعنی مکزیک و ترکیه)، مطالعات پهنه‌بندی زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای انجام شده است.

۳- در خصوص مخاطره فرونشست زمین، دو کشور آمریکا و ژاپن از جمله کشورهای منتخبی هستند که در آن‌ها نقشه مناطق فرونشست کرده زمین، در محدوده جغرافیایی کل کشور تهیه و ارائه شده است. اما بطور کلی در کشورهای مورد بررسی در حوزه این مخاطره، تحقیقات صورت گرفته جهت ارزیابی و پهنه‌بندی آن عمدتاً در مقیاس منطقه‌ای می‌باشند.

۴- در بین کشورهای مورد بررسی در حوزه مخاطره خاک‌های شور، در کشور هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مشاهدات میدانی، و تکنولوژی GIS، نقشه پهنه‌بندی خاک‌های شور در سطح کل کشور تهیه شده است. در سایر کشورهای هدف نیز، مطالعاتی جهت به نقشه درآوردن پهنه‌های حاوی خاک‌های شور، در مقیاس‌هایی کوچکتر از محدوده جغرافیایی ملی صورت گرفته است. بعلاوه، در برخی از این کشورها، نظیر چین، امریکا، مکزیک، و روسیه، نقشه‌هایی که گستردگی مناطق دارای خاک شور را در سطح کل کشور نشان می‌دهند، موجود می‌باشد.

۵- در مورد خاک‌های مساله‌دار، در کشورهای منتخب چین، امریکا، و هند، تحقیقاتی جهت شناسایی، طبقه‌بندی، و پهنه‌بندی خاک‌های متورم شونده در مقیاس ملی، و در کشور ترکیه در مقیاس منطقه‌ای صورت گرفته است. بعلاوه، در ۴ کشور چین، امریکا، مکزیک، و هند، نقشه‌هایی که بصورت کیفی توزیع خاک‌های متورم‌شونده در سطح کشور را نشان می‌دهند، تهیه شده است.

۶- در حوزه فرسایش، سه کشور منتخب چین، ژاپن و ایتالیا، مطالعاتی را در راستای ارزیابی میزان فرسایش خاک و پهنه‌بندی آن در محدوده جغرافیایی ملی، و دو کشور امریکا و هند تلاش‌هایی را به منظور پیش‌بینی وضعیت فرسایش خاک و به نقشه درآوردن آن در مقیاس منطقه‌ای انجام داده‌اند. بعلاوه در کشور هند با استفاده از اطلاعات بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و پروفیل‌های خاک، نقشه کلی توزیع انواع مختلف فرسایش خاک در سطح کل کشور تهیه شده است.

۷- در بین کشورهای منتخب مورد بررسی در حوزه شناسایی و پهنه‌بندی مناطق کارست نیز، در ۲ کشور امریکا و مکزیک تحقیقاتی در محدوده جغرافیایی ملی، و در کشورهای چین و ایتالیا مطالعاتی در مقیاس منطقه‌ای انجام شده است. بعلاوه در این دو کشور تلاش‌هایی هم جهت به نقشه درآوردن توزیع مکانی مناطق کارستی در سطح کل کشور صورت پذیرفته است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در جهان امروز یکی از ارکان مهم توسعه اقتصادی، خطوط انتقال نیرو یا سازه‌های خطی با بازدهی مناسب هستند که به دلیل طولانی‌بودن و عبور از مناطق با ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت، بیشتر از سازه‌های متمرکز، تحت تأثیر مخاطرات زمینی قرار می‌گیرند و موجب خسارات جانی و مالی زیادی می‌شوند. این خسارت‌ها به دلیل حذف یا بی‌توجهی به متغیرهای زمین‌شناختی و زمین‌ریخت‌شناختی مؤثر بر این سازه‌ها هنگام انتخاب مسیر یا رعایت نکردن حریم آن‌ها است. در این راستا پهنه‌بندی مخاطرات زمین احتمالی و شناسایی مناطق پرخطر ضرورت یافته و از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این گزارش به منظور انجام مطالعات تطبیقی در حوزه پهنه‌بندی انواع مختلف مخاطرات زمین در سطح کشور، پس از انتخاب تعدادی کشور مقصد، روش‌ها و مدل‌های مورد استفاده جهت ارزیابی و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمین در مستندات این کشورها مورد بررسی قرار گرفتند. کشورهای منتخب برای این منظور که شامل: چین، امریکا، مکزیک، هند، ژاپن، ایتالیا، ترکیه و روسیه می‌باشند، بوسیله رتبه‌بندی کشورهای مختلف دنیا بر مبنای سه مؤلفه «مشابهت مخاطرات زمین»، «پیشرو و پیشرفته بودن» و «در دسترس بودن مطالعات»، انتخاب شدند.

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

- با توجه به فرم کلی و مبنای ریاضی روش‌های کمی پهنه‌بندی، در سال‌های اخیر گرایش محققین به سمت استفاده از این روش‌ها برای پهنه‌بندی انواع مختلف مخاطرات زمینی افزایش یافته است. در این بین، روش‌های کمی نوین پهنه‌بندی، نظیر روش تحلیل سلسله مراتبی، شبکه عصبی مصنوعی، و ... با استقبال فراوانی مواجه شده‌اند.
- سامانه‌های هشدار سریع از چند دهه آخر قرن بیستم به بعد، به مهمترین ابزار کاهش شدت فاجعه تبدیل شده‌اند. ایجاد این سامانه‌ها می‌تواند 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 حوزه‌های مختلف مطالعات مخاطرات زمینی، شامل شناسایی، پهنه‌بندی، پایش، پیش‌بینی، و ایجاد سامانه‌های هشدار سریع، به طور قابل ملاحظه و با روند رو به رشدی در حال افزایش است.

مراجع و منابع

[۱] تدوین مبانی سند راهبردی شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین مرتبط با صنعت برق، گروه سازه‌های انتقال و توزیع نیرو، پژوهشگاه نیرو، مرداد ۱۳۹۶.

[2] 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.

[3] Liu, Xingjian, et al. "A bibliometric study of earthquake research: 1900–2010." *Scientometrics* 92.3 (2012): 747-765.

[4] Shi, Peijun, et al. *World Atlas of Natural Disaster Risk*. Springer Berlin Heidelberg, 2015.

- [۵] 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.
- [۶] 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.
- [۷] انجام مطالعات تطبیقی و ارزیابی و گردآوری سابقه کارهای مشابه پیشین (منطبق با مرحله دوم شرح خدمات)، گروه ساره های انتقال و توزیع نیرو، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۶.
- [۸] شاداب فر، م.، تحلیل خطر زلزله، گروه سازه و ژئوتکنیک، دانشگاه صنعت آب و برق (شهیدعباسپور).
- [9] Kanungo, D. P., et al. "Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping—A Review." *Journal of South Asia Disaster Studies* 2.1 (2009).
- [۱۰] اجل لوئیان، م.، روش های پایش و محاسبه فرونشست زمین در اثر برداشت بی رویه آب های زیرزمینی، همایش بین المللی افق های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست.
- [11] <http://basin.ir/1395/04/14/USLE>.
- [۱۲] 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.
- [۱۳] ملکی، ا.، شوهانی، د.، علایی طالقانی، م.، پهنه بندی تحول کارست در استان کرمانشاه، فصلنامه علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸.
- [۱۴] خضری، س.، شهابی، ه.، محمدی، س.، ارزیابی و پهنه بندی تحول کارست حوضه آبریز غار سهولان مهاباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶.
- [۱۵] 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.

[۱۶] یمانی، م.، شمسی پور، ع.، جعفری اقدام، م.، باقری سیدشکری، س.، بررسی عوامل مؤثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست 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.

[۱۷] جعفری شالکوهی، ع.، گتمیری، ب.، عالم زاده، ع.، پهنه‌بندی خاک‌های مسئله‌دار در منطقه ساحلی شمال (گیلان، مازندران، گلستان) به کمک تستهای درجا و آزمایشگاهی، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، زیباکنار، ایران، اسفند ۱۳۹۰.

[18] <http://www.deprem.gov.tr/en/Category/earthquake-zoning-map-96531>.

[19] 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>.

[20] 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.

[21] 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.

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با بکارگیری و توسعه مصالح هوشمند

علی اصغر ذکاوتی

کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

azekavati@nri.ac.ir

چکیده: از اواخر دهه ۱۹۸۰ تاکنون مفهوم مواد و سازه‌های هوشمند، کنترل هوشمند (فعال) سازه‌ها و سازه‌های زنده بیشتر و بیشتر در ذهن مهندسان جای گرفته است. مفهوم مصالح و یا سازه‌های هوشمند را می‌توان گامی در انقلاب اساسی وسایل ساخت بشر دانست. مصالح هوشمند (مانند کامپوزیت‌های هوشمند و آلیاژهای حافظه‌دار شکلی) مواد انطباقی یا هوشمند هستند که توانایی‌های ذاتی برای تحریک با محرک‌های خارجی مانند رطوبت، دما، میدان الکترومغناطیسی و فشار به منظور بدست آوردن اثرات کاربردی مورد نظر را دارا می‌باشند. علاوه بر این، عملکرد طبیعی این مواد پویاست و با تعامل با محیط اطراف به صورت فوری پاسخ می‌دهند. در مقام تشبیه، وجود مصالح هوشمند در سازه‌ها مانند وجود سیستم اعصاب در بدن انسان است. این مواد هم‌اکنون در صنایع هوافضا کاربرد دارند و انتظار می‌رود در آینده در سازه‌های عمرانی بیشتر مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله، بررسی انواع مصالح هوشمند در صنایع مختلف به ویژه در صنعت برق به همراه دسته‌بندی، شناسایی و بررسی امکان استفاده از انواع مصالح و سیستم‌های هوشمندسازی سازه‌های صنعت برق مورد نظر می‌باشد.

کلیدواژه: مصالح هوشمند، آلیاژهای حافظه‌دار، بتن‌های خود ترمیم‌شونده، سازه‌های صنعت برق، خطوط

انتقال نیرو

معرفی و تاریخچه

هوشمند^۱، باهوش^۲، حساس^۳ همه برای تعریف ساختارها و مصالحی به کار می‌روند که شامل حسگرها و محرک‌ها^۴ بوده و توانایی سازگاری با تحریکات خارجی مانند بارها و تحریکات محیط را دارند. ریشه لغوی واژه هوشمند به کلمه لاتین *Intelligentia* و مشتق از واژه *Intelligere* در قرن چهاردهم بر می‌گردد

1. Intelligent
2. Smart
3. Adaptive
4. Actuators

که به معنای انتخاب یا تشخیص است. مصالح هوشمند یک اصطلاح جدید برای مصالح و فرآورده‌هایی است که توانایی درک و پردازش رویدادهای محیطی را داشته و نسبت به آن واکنش مناسب نشان می‌دهند. به بیان دیگر این مصالح قابلیت تغییرپذیری داشته و قادرند شکل، فرم، رنگ و انرژی درونی خود را به طرز برگشت‌پذیر در پاسخ به تأثیرات فیزیکی یا شیمیایی محیط اطراف تغییر دهند. اگر مصالح را به سه گروه مصالح غیر هوشمند، نیمه‌هوشمند و هوشمند طبقه‌بندی کنیم، گروه اول یعنی مصالح غیر هوشمند ویژگی خاص بالا را ندارند، نیمه‌هوشمندها تنها قادرند در پاسخ به تأثیرات محیطی شکل و فرم خود را برای یک بار یا مدت زمان اندکی تغییر دهند اما در مصالح هوشمند این تغییرات تکرارپذیر و قابل برگشت خواهد بود.

مصالح هوشمند تحت عنوان مصالح انعطاف‌پذیر و تطبیق‌پذیر نیز شناخته می‌شوند و این به دلیل ویژگی خاص آن‌ها در تنظیم‌نمودن خود با شرایط محیطی است. مصالح هوشمند در پاسخ به تأثیرات فیزیکی و شیمیایی محیط انعطاف‌پذیر بوده و مشخصه‌های ظاهری و یا درونی خود را به صورت برگشت‌پذیر تغییر می‌دهند. این مواد با عملکردی هوشمندانه در مقابل تغییرات محیط می‌توانند مانند موجودات زنده خود را با شرایط محیطی منطبق سازند. برخی از این مواد، هر نوع خدشه و خرابی در ساختار خود را پیش‌بینی کرده و نقایص خود را برطرف می‌سازند. یک یا چند ویژگی این مصالح مانند شکل، میزان سختی، فرکانس و رنگ آن‌ها در یک حالت کنترل‌شده یا تحت اثر محرک به صورت قابل توجهی تغییر می‌کند.

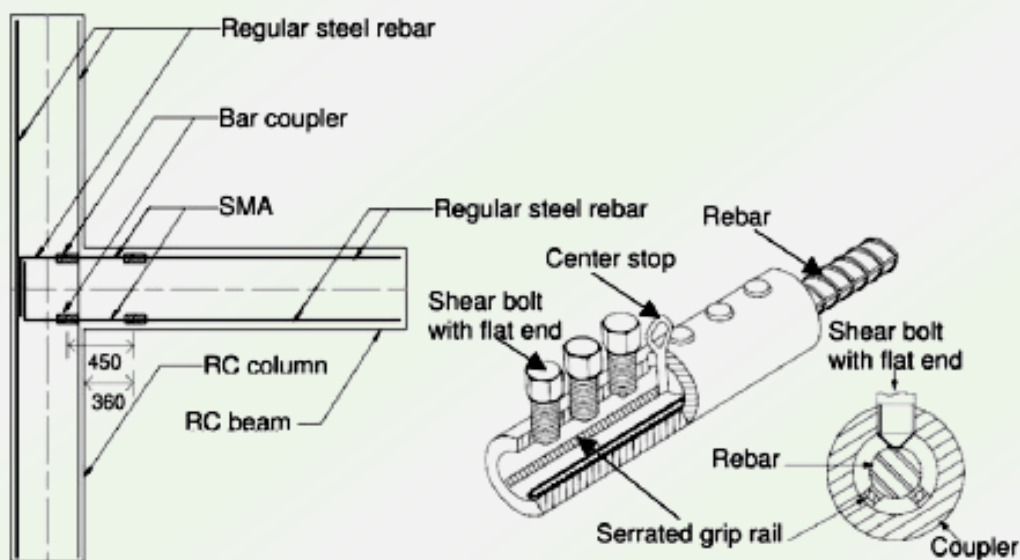


شکل ۱: عملکرد مصالح هوشمند نسبت به برخی محرک‌های خارجی

سابقه تاریخی مواد هوشمند به ۹۰۰ سال قبل از میلاد و دوران کیمیاگری باز می‌گردد. اگر چه در آن زمان توانایی تولید طلا وجود نداشت، اما فعالیت‌هایی برای تغییر رنگ و خصوصیات فلزهای مختلف انجام می‌شد که می‌توان بعضی از مواد مورد استفاده آن‌ها برای ایجاد چنین تغییراتی را از مواد هوشمند به شمار آورد. در

حال حاضر پیچیده‌ترین گروه از مواد و ساختارهای هوشمند شامل محرکه‌ها، سنسورها، قابلیت پردازش سیگنال و الگوریتم‌های کنترلی می‌باشد که این قابلیت را به مواد می‌دهند که به طور مستقل به عوامل محرک خارجی پاسخ دهند. مواد هوشمند این قابلیت را خواهند داشت که عملیات مشخص را در پاسخ به تغییرات در شرایط محیط به طور هوشمند انتخاب و اجرا نمایند [۱].

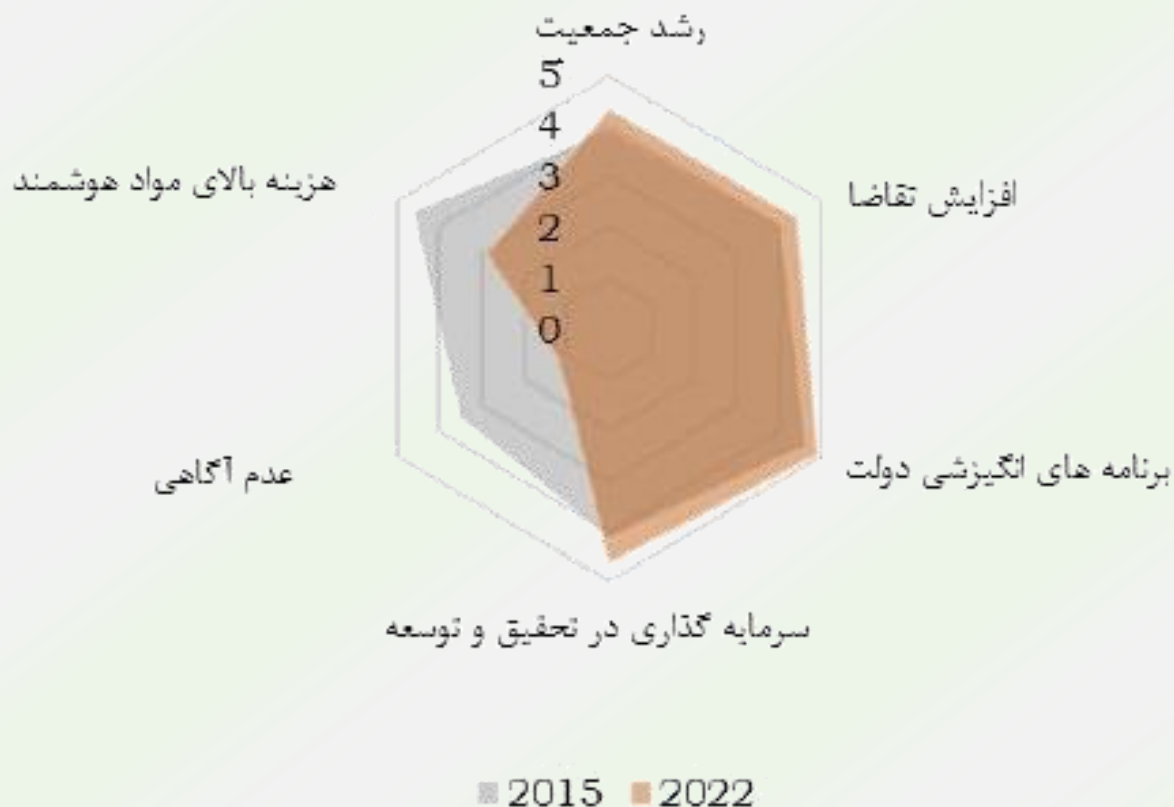
به عنوان نمونه Alam و همکاران در سال ۲۰۰۸ استفاده از مواد حافظه‌دار شکلی را در نواحی مفصل پلاستیک المان‌های تیر ستون در سازه‌های بتن مسلح، برای کاهش دادن مشکل تغییر شکل ماندگار در حین زمین لرزه‌های قوی را با موفقیت مورد آزمایش قرار دادند. شکل زیر شماتیکی از جزئیات یک المان تیر ستون شامل یک غلاف اتصال پیچ و پرچ خاص برای متصل کردن میلگرد SMA با میلگردهای فولادی نشان داده شده است [۲].



شکل ۲: جزئیات اجرای آلیاژ حافظه‌دار در محل اتصال تیر به ستون

در سال ۲۰۱۵، استفاده از مبدل، تحت تأثیر کاربردهای روزافزون در محصولات الکترونیکی مختلف، بیشترین استفاده در بازار جهانی مواد هوشمند را دارا بود با این وجود، انتظار می‌رود که بالاترین نرخ رشد مرکب سالانه^۱ در طول دوره پیش‌بینی شده، به دلیل افزایش استفاده مواد هوشمند در کاربردهای دفاعی، هوافضا و صنعت مربوط به پوشش‌های هوشمند باشد [۳].

۱. نرخ رشد مرکب سالانه: به انگلیسی (Compound annual growth rate) اصطلاح ویژه‌ای برای یک کسب و کار و سرمایه‌گذاری است که با نسبت تصاعد هندسی، نرخ ثابتی برای بازگشت سرمایه در یک دوره زمانی تعیین می‌کند



شکل ۳: نقش عوامل موثر در گسترش استفاده از مواد هوشمند [۳]

دسته‌بندی مصالح هوشمند پر کاربرد در سازه‌ها

مصالح مورد استفاده معمول در سازه ساختمان‌ها، شامل چوب، سنگ، برنز، فولاد، آلومینیوم، بتن، کامپوزیت و پلاستیک است که این مصالح به خودی خود هوشمند نیستند و هر کدام با توجه به خصوصیات خود عملکرد مشخصی بر سازه دارند. استفاده از مصالح هوشمند در سازه‌ها موجب بهینه‌شدن عملکرد سازه در برابر رخدادهای وارد شده بر سازه خواهد شد. مصالح هوشمند در صنعت عمران به دو صورت عمده استفاده در معماری و استفاده در خود سازه می‌باشد که در این بخش بیشتر تمرکز بر کاربرد این مصالح در خود سازه که صرفاً به سه نمونه آلیاژهای حافظه‌دار، پیزوالکتریک و بتن خود ترمیم‌شونده اشاره می‌شود.



شکل ۴: انواع مصالح هوشمند پر کاربرد در سازه‌ها

آلیاژهای حافظه‌دار^۱

آلیاژهای حافظه‌دار شکلی وقتی که در سازه‌ها به کار می‌روند می‌توانند به اشکال زیر مورد کاربرد قرار بگیرند:

- به عنوان جز غیر فعال، نیمه‌فعال و یا فعال برای کاهش لرزش سازه
- وقتی که از سیستم‌های کنترل غیر فعال استفاده می‌شود، از مزیت میرایی آلیاژهای حافظه‌دار شکلی برای کاهش پاسخ سازه و در نتیجه کاهش تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شده در سازه در اثر بارگذاری‌های شدید، به کار می‌رود:

- ✓ سیستم‌های جداگرهای زمینی
- ✓ میلگردهای پل‌های بزرگراه‌ها
- ✓ سیم‌های دستگاه‌های ریسترتینگ
- ✓ سیستم‌های جداگرهای فنی و سیستم‌های جداگرهای تاندونی
- آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سیستم‌های کاهنده‌ی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند:
- ✓ بادبندهای قاب‌های سازه‌ای
- ✓ به عنوان میراگر در پل‌های کابلی

✓ اجزای اتصالات ستون‌ها

✓ تجهیزات مقاوم‌سازی سازه‌های تاریخی

- محرک، مکانیزمی است که به وسیله‌ی آن سیستم کنترلی روی سازه عمل می‌کند و در نتیجه رفتار و پاسخ سازه را تغییر می‌دهد. به دلیل خاصیت آلیاژهای حافظه‌دار شکلی، این آلیاژها می‌توانند به طور گسترده با کاربرد محرک در سازه‌ها مورد استفاده قرار بگیرند.
- آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سیستم‌های کنترل فعال سازه برای کاهش لرزش سازه‌ها به کار می‌روند.

پیزوالکتریک^۱

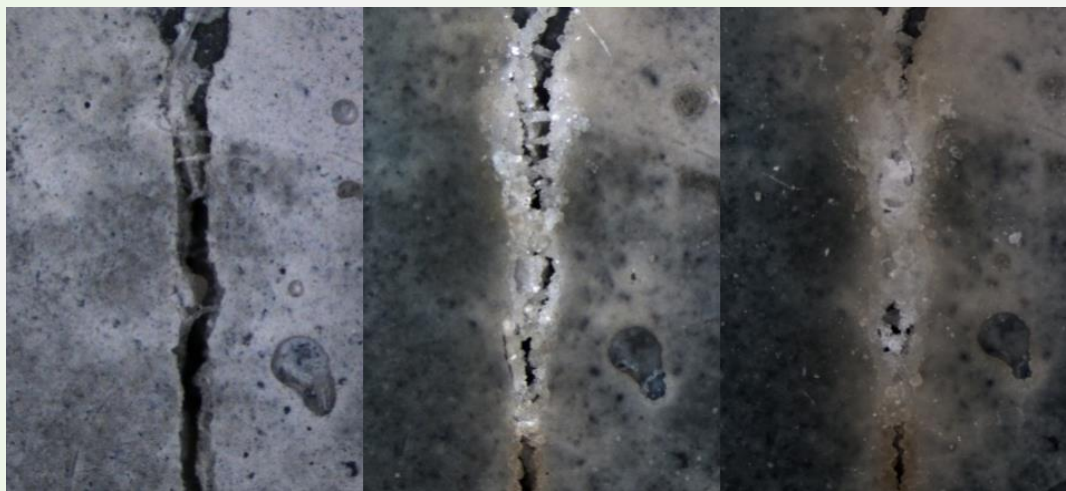
مواد پیزوالکتریک، به دلیل بهبود عملکرد سازه‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته و در زمینه‌های بسیاری کاربرد دارند. از کاربردهای آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- محرک‌های پیزوالکتریک بدون اینکه تغییری در سختی سازه‌ی اصلی ایجاد کنند می‌توانند درون سازه کار گذاشته شوند.
- محرک‌های پیزوالکتریک می‌توانند به عنوان میراگرهای اصطکاکی نیمه‌فعال برای کنترل لرزش سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.
- برای کنترل فعال لرزش‌ها با دامنه‌ی نوسانی کوچکی که در سازه‌های با شکل‌پذیری بالا مثل تیرهای طره وجود دارد، به دلیل وزن کم و سازگاری و دقت بالای مواد پیزوالکتریک می‌توان از این مواد به عنوان سیستم کنترل استفاده کرد.
- از مواد پیزوالکتریک برای سیستم کنترل لرزش سازه‌های خرپایی، سازه‌های قاب خمشی و سازه‌های کابلی می‌توان استفاده کرد.
- مواد پیزوالکتریک به دلیل خاصیتی که دارند می‌توانند در صورت اعمال بار مکانیکی شار الکتریکی تولید کنند و یا به صورت برعکس در حضور میدان الکتریکی، کرنش مکانیکی داشته باشند. به همین دلیل هم در محرک‌ها و هم در سنسورها می‌توانند به طور گسترده‌ای کاربرد داشته باشند.
- استفاده از مواد پیزوالکتریک به عنوان سنسور در پایش سلامت سازه‌ها (SHM) نه تنها نیاز به تعداد سنسورها را کاهش می‌دهد، نیاز به سیم‌کشی و تجهیزات مربوطه را نیز کم می‌کند.
- این مواد دارای قیمت پایینی هستند و از مقاومت مکانیکی بالایی نیز برخوردار هستند.

- از آنجایی که این مواد می‌توانند کرنش مکانیکی وارد شده را به شار الکتریکی قابل استفاده تبدیل کنند، می‌توانند به عنوان ذخیره‌کننده انرژی مورد استفاده قرار بگیرند.

بتن خود ترمیم‌شونده^۱

امروزه روش زیست الهام گرفته‌ای در حال بررسی است که از باکتری‌هایی بهره می‌برد که به طور طبیعی کربنات کلسیم تولید می‌کنند. این باکتری‌ها در داخل بتن، غیر متحرک هستند و چنانچه آب به داخل ترک‌های تازه نفوذ نماید، آن‌ها در حضور اکسیژن شروع به تولید کربنات کلسیم لازم برای تعمیر ترک می‌کنند. اما با این وجود، یافتن محیط باکتریایی مناسب برای رشد خوب، مشکل اصلی این روش است که همچنان در حال بررسی می‌باشد. در داخل ایران نصحیان و همکاران به سرپرستی دکتر مستوفی‌نژاد از نامداران و متخصصین بتن در مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۵ اقدام به ساخت بتن خودترمیم با استفاده از باکتری و آزمایش آن‌ها در محیط سولفات نمودند، در نهایت نمونه‌های ساخته شده با باکتری حدود ۲۰ درصد مقاومت فشاری ۲۸ روزه بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد نشان دادند [۴].



شکل ۵: خود ترمیم شونده‌گی ترک بتن

سایر مواد و مصالح هوشمند کاربردی

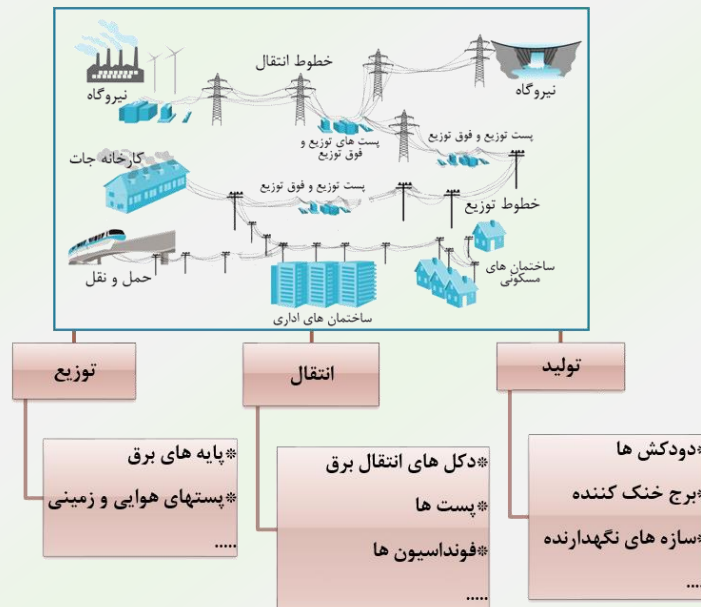
- از دیگر مواد و مصالح هوشمند کاربردی در سازه‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:
- مواد مگنتوستریکتیو^۲: موادی که تحت اثر میدان مغناطیسی، تغییر شکل می‌دهند.

1. Self-healing Concrete
2. Magnetostrictive materials

- سیالات مگنتورئولوژی^۱ (MR) و الکتورئولوژیک^۲ (ER): دسته‌ای از سیالات هوشمند هستند که خواص رئولوژیکی آنها می‌تواند در اثر اعمال یک میدان مغناطیسی به طور برگشت‌پذیری تغییر نمایند. این نوع مواد در دمپرها و استهلاک انرژی نیروهای جانبی ناشی از زلزله و باد بسیار کاربردی می‌باشد.
- مواد خود تمیز شونده و فتوکرومیک: این نوع مواد بیشتر در معماری سازه کاربرد دارد.

کاربرد مصالح هوشمند در سازه‌های صنعت برق

صنعت برق یکی از حساس‌ترین صنایع استراتژیک و زیربنایی کشور می‌باشد که علاوه بر تأمین انرژی الکتریکی مصرف‌کننده‌های مختلف، تأمین انرژی مورد نیاز جهت فعالیت صنایع کشور را نیز در ابعاد وسیع بر عهده دارد. شبکه برق از سه دسته سازه‌ها و تأسیسات مربوط به تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی تشکیل شده است. در حال حاضر گرچه سرمایه‌گذاری در تحقق استفاده از مصالح هوشمند توسط صنعت برق بخصوص در زمینه سازه‌ها همچنان گسترده نبوده است، ولی با این وجود، با توجه به سوابق موضوعی اشاره شده در سایر صنایع که در گزارش‌های پیشین منعکس شده بود، تأثیر استفاده از این مواد و مصالح، با سرمایه‌گذاری در این بخش در آینده به خوبی مشخص می‌گردد. با توجه به شناسایی و دسته‌بندی سازه‌های صنعت برق، به تفکیک در مورد هریک از سامانه‌های تولید، انتقال و توزیع برق و اجزای سازه‌های آنها می‌توان مصالح هوشمند کاربردی را بررسی نمود.



شکل ۶: نقش عوامل موثر در گسترش استفاده از مواد هوشمند [۱]

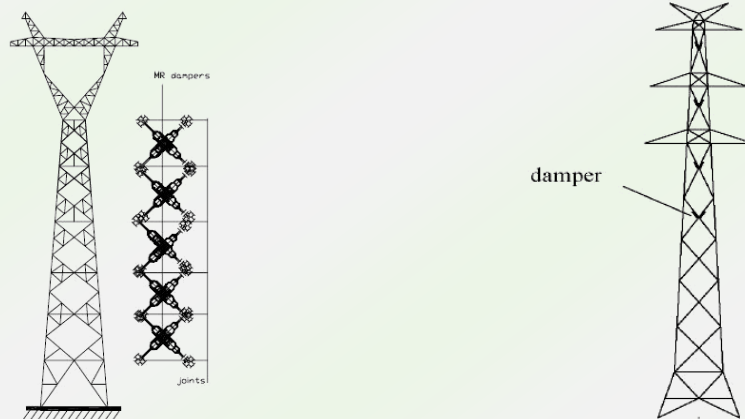
1. Magnetorheological Fluids
2. Electrorheological fluids

در بکارگیری و توسعه مواد و مصالح هوشمند در سازه‌های صنعت برق، به طور کلی ۵ طرح عمده مطرح است:



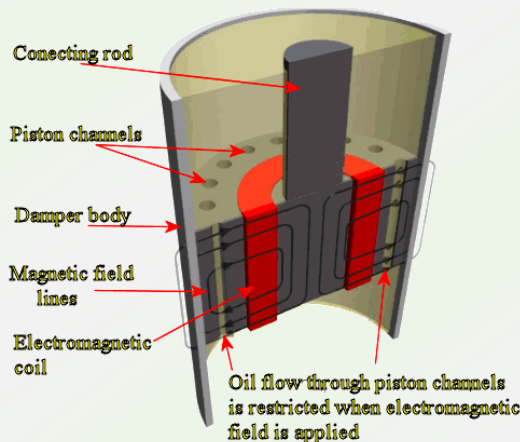
شکل ۷: محورهای کلی کاربرد و توسعه مصالح هوشمند در سازه‌های صنعت برق [۱]

به عنوان مثال با توجه به هدف کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده بتنی نیروگاه‌های حرارتی و همچنین تحمیل هزینه‌های زیاد این دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده‌ی نیروگاه‌های حرارتی، استفاده از بتن خودترمیم می‌تواند سبب کاهش این هزینه‌ها گردد. استفاده از میراگر ساخته شده از آلیاژ حافظه‌دار شکلی در محل اتصالات دکل فشار قوی نیز جز مواردی است که می‌تواند در این صنعت بکار آید. لیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ این مورد را بررسی نمودند [۵] همچنین ایده استفاده از میراگرهای نیمه‌فعال هوشمند ساخته شده از سیال مغناطیسی اولین بار توسط chen و همکاران به منظور کنترل ارتعاشات دکل انتقال برق فشار قوی پیشنهاد شد و یک دکل در چین جنوبی نیز در سال ۲۰۰۷ برای آزمایش این ایده در نظر گرفته شد [۶].



شکل ۸: استفاده از میراگر حافظه‌دار شکلی (راست) و میراگرهای نیمه فعال هوشمند با سیال مغناطیسی (چپ) در محل اتصالات دکل فشار قوی [۳۶ و ۳۷]

استفاده از جداگرهای لرزه‌ای هوشمند و میراگرهای هوشمند با قابلیت اتلاف انرژی بالا در ساختمان‌های حیاتی و پر اهمیت صنعت برق یکی دیگر از انواع کاربرد مصالح هوشمند است. این مصالح به صورت دستگاه‌های اتلاف انرژی در قالب میراگرها و یا دستگاه‌های جداسازی با آلیاژ حافظه‌دار شکلی، پیزوالکتریک و یا سیالات هوشمند ساخته می‌شوند و می‌توانند در سازه‌های پر اهمیت نیروگاهی و مخازن عظیم سوخت بکار گرفته شوند. استفاده از این مصالح می‌تواند برای مقاوم‌سازی و به‌سازی لرزه‌ای سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد، گزینه مناسبی باشد. از مزایا و خواص این نوع میراگر را می‌توان قابلیت بازگشت سازه به حالت اولیه بعد از زلزله با حرارت کم و افزایش میرایی سازه به علت خاصیت ارتجاعی زیاد آلیاژ حافظه‌دار شکلی دانست.



شکل ۹: میراگر حافظه‌دار شکلی (راست) و میراگر مغناطیسی (چپ) برای کاربرد در ساختمان‌های پر اهمیت جهت کنترل تغییر مکان جانبی ناشی از زلزله و باد

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از پیشرفت قابل ملاحظه این نوع مصالح در سازه‌های صنایع مختلف بوده بطوریکه مقالات و کتاب‌های بیشماری در این زمینه ارائه شده است. استفاده از این نوع مصالح در صنعت برق به نسبت سایر صنایع آنچنان توسعه پیدا نکرده است، لذا با توجه به کاربرد فراوان این نوع مصالح در صنعت‌های پیشرو مانند عمران، هوافضا، مواد و پزشکی و .. امکان استفاده از آن را می‌توان برای افزایش قابلیت اطمینان مؤلفه‌ها و بخصوص سازه‌های صنعت برق فراهم نمود.

- نتایج نشان می‌دهد مصالح هوشمند بطور گسترده‌ای می‌تواند در سازه‌های مختلف صنعت برق استفاده شود بطوریکه تقریباً تمامی انواع مواد هوشمند می‌تواند بکار گرفته شود.
- این نتایج شامل سه بخش تولید، انتقال و توزیع می‌شود و عموماً در حوزه‌های ذیل بکار گرفته می‌شود:
 - کنترل تغییر شکل و ارتعاشات سازه‌ای
 - ایجاد عملکرد بهتر سازه در مقابله با مخاطرات متنوع
 - افزایش قابلیت اطمینان سازه
 - پایش سلامت سازه
 - کاهش هزینه‌های ساخت، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری
 - تولید و صرفه‌جویی انرژی
- با توجه به توانمندی فناوری استفاده از مصالح هوشمند برای بهینه‌سازی روند عملکرد و مدیریت نگهداری سازه‌ها و موجود یا قابل تأمین بودن زیرساخت‌های اصلی مورد نیاز برای تحقق آن (نیروی انسانی و تجهیزات) در کشور، فناوری استفاده از مصالح هوشمند در سازه‌ها یک فناوری مناسب می‌باشد. هرچند که توسعه و ارتقاء سطح دانش فنی و تکنیکی و استانداردسازی آن‌ها برای تحقق فناوری در کشور، مورد نیاز می‌باشد.
- توجه به اهمیت وجود برنامه بهینه‌سازی عملکرد در برابر مخاطرات محیطی، افزایش قابلیت اطمینان و ترمیم، نگهداری و تعمیرات در سازه‌های صنعت برق جهت جلوگیری از خسارات و پی‌آمدهای آن‌ها، و نقش قابل توجه، مفید و کلیدی فناوری استفاده از مصالح هوشمند در بهینه‌نمودن عملکرد سازه، استقرار و پیاده‌سازی سیستم هوشمند پایش سلامت به واسطه این نوع مواد و مصالح، می‌توان فناوری مورد نظر را در رده فناوری‌های راهبردی منظور نمود.

مراجع و منابع

- [1] You-Lin Xu and Jia He, *Smart Civil Structures*, Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.
- [2] M. S. Alam, M. A. Youssef, and M. Nehdi, "Analytical prediction of the seismic behaviour of superelastic shape memory alloy reinforced concrete elements," *Eng. Struct.*, vol. 30, no. 12, pp. 3399–3411, 2008
- [3] S. Pal, "World Smart Material Market Opportunities and Forecasts," vol. 1, no. June, 2016.
- [4] F. Nosouhian, D. Mostofinejad, and H. Hasheminejad, "Concrete Durability improvement in a sulfate environment using bacteria," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [5] D. Fengchao Liang, Hualing Chen, Yongquan Wang, Chaoqun Liu and J. Qiang, "A Novel Shape Memory Alloy Damper and Its Application in the Vibration Control of Transmission Towers," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 249–250, pp. 542–550, 2013.
- [6] Q. Xie, Y. Cai, and S. Xue, "Wind-induced vibration of UHV transmission tower line system: Wind tunnel test on aero-elastic model," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 171, no. October, pp. 219–229, 2017.

پهنه‌بندی دوره بازگشت ضخامت قطر یخ بر روی خطوط انتقال نیروی کشور

سلیمان رضازاده

کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

srezazadeh@nri.ac.ir

چکیده: طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور بر اساس اهمیت اصلاح دستورالعمل فعلی وزارت نیرو برای بارگذاری خطوط انتقال نیرو که در آن مقادیر اسمی کمیت‌های بارگذاری بر حسب تقسیم کشور ایران به چهار منطقه آب و هوایی ارائه شده‌اند، مصوب گردید. بررسی این دستورالعمل و مراجع آن و همچنین تجربیات حاصل در پروژه بازبینی طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو برق منطقه‌ای در استان مازندران، مشخص‌کننده این مطلب بود که پهنه‌بندی مذکور و مقادیر اسمی مربوطه، با آمار هواشناسی همخوانی ندارد. بر این اساس به منظور طراحی برج‌های خطوط انتقال نیرو در پروژه‌های جدید اصلاح این دستورالعمل امری ضروری محسوب می‌گردد. ضخامت یخ را می‌توان در صورت داشتن ادوات اندازه‌گیری به صورت مستقیم و در صورت نبود ادوات و امکانات از روی سایر پارامترهای هواشناسی محاسبه نمود. در اکثر کشورها، با توجه به اینکه ثبت داده‌های ضخامت یخ در ایستگاه‌های هواشناسی هزینه‌بر می‌باشد، در مناطقی که ضخامت یخ در ایستگاه‌های هواشناسی ثبت نمی‌گردد، از مدل‌های موجود برای پیش‌بینی بار یخ استفاده می‌نمایند. در این مقاله از بین روش‌های موجود برای محاسبه ضخامت یخ روش کریل^۱، به دلیل همخوانی با بضاعت داده هواشناسی موجود انتخاب شده و دوره بازگشت حداکثر قطر یخ ایجاد شده بر روی سیم بر اساس یک دوره آماری ۲۰ ساله برای تمامی ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری کامل (۱۰۷ ایستگاه هواشناسی) محاسبه شده و سپس نقشه درونیابی ضخامت یخ شعاعی و وزنی بر اساس روش IDW^۲ برای کل کشور تهیه شده است. در مرحله نهایی عوارض زمینی و جغرافیایی به منظور افزایش تفکیک مکانی بر روی این نقشه‌های پهنه‌بندی اعمال شده و خروجی‌های نهایی با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۱ درجه ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: خطوط نیرو، بارگذاری، قطر یخ، پهنه‌بندی، درونیابی، روش کریل، روش IDW

1. CRREL
2. Inverse Distance Weighting

معرفی و تاریخچه

پیش‌بینی بار یخ با استفاده از مدل‌های موجود و داده‌های هواشناسی، پروسه بسیار پیچیده‌ای می‌باشد، زیرا عواملی از قبیل: منبع رطوبت موجود^۱، شکل‌گیری ابر^۲، بارش، تأثیر توپوگرافی منطقه، میزان برخورد ذرات بارش شده با سطح مد نظر (کارایی برخورد)، میزان یخ تشکیل شده، تأثیر سختی پیچشی^۳ سیم در میزان یخ تشکیل شده، تأثیر تغییرات مشخصات سطح در معرض یخ (اندازه، زبری و شکل)، مقدار یخ‌های جدا شده از روی سطح مد نظر، تأثیر درجه حرارت و سرعت باد محلی در این پروسه تأثیر گذار می‌باشد. مدل‌های موجود برای پیش‌بینی بار یخ با توجه به داده‌های هواشناسی در جدول ۱ ارائه شده است [۱][۲][۳].

جدول ۱: مدل‌های موجود برای پیش‌بینی بار یخ

مدل‌های محاسبه ضخامت یخ	
<i>MRI, 1977</i>	<i>Chaîné and Skeates, 1974</i>
<i>MEP, 1984</i>	<i>MRI, 1977</i>
<i>Sakamoto, 1984</i>	<i>Goodwin et al, 1983</i>
<i>Admirat et al., 1984</i>	<i>MEP, 1984</i>
<i>Finstad, 1988</i>	<i>Finstad, 1988</i>
<i>Makkonen, 1990</i>	<i>Makkonen, 1990</i>

روش کریل

روش کریل که توسط آزمایشگاه مهندسی و تحقیقات مناطق سردسیر ارتش آمریکا (CRREL)^۴ ارائه شده است، حاصل همکاری این گروه با مرکز ملی اطلاعات هواشناسی ایالات متحده (NCDC)^۵ مرکز هواشناسی نیروی هوایی ارتش آمریکا (AFCCC)^۶ و ایستگاه‌های هواشناسی مختلف در این کشور بوده است. تحقیقات و آزمایش‌های این گروه از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ میلادی انجام گرفته و در نهایت این روش شکل گرفته است. در روش کریل دو روش برای تعیین کردن ضخامت یخ با استفاده از داده‌های هواشناسی ارائه شده است. این دو روش شامل مدل شار ساده^۷ و تبادل حرارتی^۸ می‌باشد. در این مطالعه از روش شار ساده بر اساس بضاعت داده هواشناسی موجود استفاده گردیده است [۴].

1. Source of moisture
2. Cloud formation
3. Trosional rigidity
4. Army Cold Regions ReseArch and Engineering Laboratory
5. National Climate Data Center
6. Air Force Combat Climatology Center
7. Simple flux model
8. Heat-balance model

رابطه نهایی که برای تعیین کردن ضخامت یخ با استفاده از روش ساده کریل با توجه به داده‌های هواشناسی ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد به صورت زیر است [۵] [۶].

$$R_{eq(3h)} = \frac{3}{0.9\pi} \left[(P_{j(h)} \times 1)^2 + \left[(3.6 \times V_{j(h)} \times 0.7867)(0.067 P_{j(h)}^{(0.846)}) \right]^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

که در رابطه (۱) داریم:

$R_{eq(3h)}$ ضخامت یخ یکنواخت شعاعی تشکیل شده دور سیم در زامین دوره سه ساعته بر حسب (mm)

$$P_{j(h)} \text{ میزان بارش در زامین ساعت بر حسب } (mm/hr) \text{ (که داریم): } \left(P_{j(h)} = \frac{P_{j(3h)}}{3} \right)$$

$P_{j(3h)}$ میزان بارش‌ها در زامین دوره سه ساعته

$V_{j(h)}$ سرعت باد در ارتفاع سیم در زامین ساعت بر حسب m/s (که داریم: $V_{j(h)} = V_{j(3h)}$)

$V_{j(3h)}$ سرعت باد ارائه شده توسط هواشناسی کشور در واحد نات

بنابراین برای هر ۳ ساعت می‌توان ضخامت یخ را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود. لازم به ذکر است که در هر دوره ۳ ساعته که ضرایب وزنی برابر با صفر باشد (هیچ بارشی موجود نباشد)، طبق رابطه (۵) ضخامت یخ تشکیل شده نیز برابر با صفر می‌گردد. در نهایت مقادیر رابطه‌های (۵) با هم جمع جبری شده و مقدار ضخامت یخ معادل تشکیل شده در یک دوره ۶ ساعته تعیین می‌گردد [۷] [۸].

$$R_{eq(6h)} = R_{eq(3h)1} + R_{eq(3h)2} \quad (2)$$

با توجه به شرایط شروع محاسبه تابع کریل، این تابع برای تک تک شش ساعته‌ها محاسبه می‌گردد. در صورت تداوم بارندگی، بارش‌های شش ساعته با هم جمع شده تا ضخامت نهایی یخ تعیین گردد [۹]. در این روش فرض می‌شود که هر دوره یخبندان زمانی شروع شود که دمای هوا زیر صفر درجه سلیسیوس باشد و تا هنگامیکه دمای هوا زیر صفر درجه سلیسیوس است باران یخ باعث تشکیل شدن یخ بر روی سیم می‌گردد. در اولین ساعت پس از اتمام باران یخ که درجه حرارت هوا نیز بیشتر از ۱ درجه سانتی‌گراد باشد یا زمان ۲۴ ساعت از تشکیل آخرین یخ سپری شده باشد، فرض می‌شود که دوره یخ‌زدگی به پایان رسیده است [۱۰].

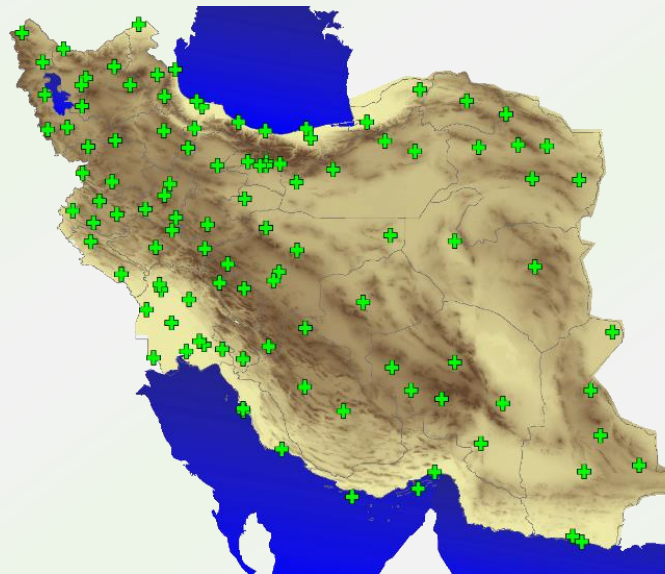
متد و روش

در جدول ۲ اطلاعات جوی ارائه شده توسط سازمان هواشناسی ارائه شده است [۱۱] [۱۲] [۱۳]. بر اساس جدول ۲ کد پدیده مبین نوع، شدت و مدت زمان بارش است.

جدول ۲: مشخصات پارامترهای هواشناسی موجود برای محاسبه قطر یخ

پارامتر	توضیحات
بارش	بارش در سازمان هواشناسی ایران برای ساعت‌های سینوپ اصلی (هر ۶ ساعت یکبار) بر حسب میلیمتر ارائه می‌گردد.
سرعت باد	سرعت باد و جهت وزش آن هر سه ساعت یکبار در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌شود و لذا باید فرض نمود که سرعت باد در هر سه ساعت ثبت اطلاعات ثابت باقی بماند و برابر بیشترین سرعت بادی باشد که برای هر سه ساعت ثبت شده است.
درجه حرارت	درجه حرارت هوا نیز همانند سرعت باد هر سه ساعت یکبار اندازه گیری می‌شود.
کد پدیده	پدیده در حقیقت مشخص‌کننده نوع شرایط جوی در هر سه ساعت از روز می‌باشد.

پس از انجام کنترل کیفی داده‌ها، محاسبات مربوط به قطر یخ بر روی داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های با آمار ۲۰ ساله کامل (۸ گزارش در بازه بین ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶) پیاده‌سازی شد و دوره‌های بازگشت ۵۰ ساله بر اساس خروجی این محاسبات بدست آمد. تعداد ایستگاه‌هایی که محاسبات یخ بر روی آن‌ها انجام شده است ۱۰۷ ایستگاه می‌باشد و پراکندگی آن در شکل ۱ نمایش داده شده است. پس از پیاده‌سازی روابط کرل مربوط به محاسبه ضخامت شعاعی و محاسبه دوره بازگشت ۵۰ ساله، نقشه‌های پهنه بندی بر اساس خروجی‌های بدست آمده تهیه شدند. از جمله روش‌های درونیابی معروف برای پهنه‌بندی پارامترهای هواشناسی دو روش IDW و Kriging می‌باشد. با توجه به روش‌های مختلف موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی نیاز است تا بهترین روش برای انجام پهنه‌بندی هر کدام از پارامترهای هواشناسی بین این دو روش انتخاب گردد.



شکل ۱: پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

برای انتخاب روش مناسب درونیابی از آنالیز درونیابی استفاده شده است. در این آنالیز برای هر یک از روش‌ها مقادیر RMSE محاسبه می‌گردد و روش با RMSE کمتر، روش مناسب‌تر است. محاسبه RMSE در این آنالیز به این صورت انجام می‌گردد که به ازای هر یک از نقاط معلوم اختلاف بین مقدار آن نقطه و مقدار درونیابی شده در صورت حذف آن نقطه از پروسه درونیابی، اندازه‌گیری شده و در نهایت مقدار RMSE برای کل نقاط محاسبه می‌گردد و در نهایت با مقایسه این مقادیر روش مناسب‌تر انتخاب می‌گردد. مقادیر RMSE بین دو روش Kriging و IDW برای پارامتر قطر یخ در جدول ۲ ارائه شده است و همانطور که مشخص است روش IDW مقادیر RMSE کمتری داشته و برای پهنه‌بندی ضخامت یخ مورد استفاده قرار گرفته است. فرض اصلی کلیه روش‌های درونیابی شباهت بیشتر نقاط نزدیک‌تر نسبت به نقاط دورتر می‌باشد. در روش IDW (معکوس وزنی فاصله) برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزندهی کنترل می‌شود، به طوری که اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند.

جدول ۲: مقایسه مقادیر RMSE بین روش‌های درونیابی مختلف

RMSE		روش درونیابی / نام پارامتر	ردیف
Kriging	IDW		
۴۷.۶۷۳۵۶۶۹۱	۴۶.۲۸۷۱۰۵۹۲	ضخامت یخ معادل شعاعی	۱
۲۵.۹۵۳۵۵۳۰۳	۲۳.۰۳۶۸۹۰۵۲	ضخامت یخ معادل وزنی	۲

البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (3)$$

که در آن λ_i = وزن ایستگاه i ام، D_i = فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، α = توان وزن‌دهی می‌باشند. با توجه به پراکندگی بالای ایستگاه‌های هواشناسی موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر ضخامت یخ شعاعی و وزنی (ایستگاه‌های با آمار ۲۰ سال کامل شامل ۱۰۷ ایستگاه هواشناسی) و اهمیت بالا تأثیر عوامل جغرافیایی بر روی پارامتر یخ، به منظور افزایش دقت و قدرت تفکیک نقشه‌ها، عامل ارتفاع و سایر پارامترهای جغرافیایی شامل طول و عرض جغرافیایی، شیب و جهت شیب به علاوه دو عامل اقلیمی میانگین دمای سالانه و مجموع بارش سالانه نیز برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی یخ تأثیر داده شدند و نقشه‌های پهنه‌بندی ضخامت یخ شعاعی و وزنی با تفکیک ۰/۱ درجه تهیه گردیدند.

نتایج و تحلیل‌ها

از بین مدل‌های محاسباتی ضخامت یخ، مدل کریل به دلیل همخوانی با بضاعت داده هواشناسی موجود برای کل کشور بر روی ۱۰۷ ایستگاه هواشناسی اجرا گردید و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس دوره‌های بازگشت ۵۰ ساله ضخامت یخ شعاعی و وزنی و اعمال شرایط جغرافیایی و اقلیمی بر روی این نقشه‌ها به صورت شکل‌های ۲ و ۳ تهیه شدند. به منظور اعمال پارامترهای جغرافیایی و اقلیمی بر روی این نقشه‌ها نیاز بود تا ارتباط هر یک از این پارامترها بر روی ضخامت یخ در نقاط ایستگاهی بررسی گردد. به این ترتیب بر اساس معادلات رگرسیونی ارتباط بین ضخامت یخ شعاعی و وزنی اندازه‌گیری شده برای نقاط معلوم (نقاط ایستگاهی) مشخص شده و سپس این معادلات برای تعیین مقدار ضخامت یخ در سایر نقاط نامعلوم تعمیم داده شده و محاسبه گردید. این روش به اصطلاح «مدل‌سازی بر اساس شرایط توپوگرافی» نامیده می‌شود. لایه‌های جغرافیایی تأثیر داده شده برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شامل لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، طول و عرض جغرافیایی و دو لایه اقلیمی میانگین دمای روزانه و میانگین بارش تجمعی سالانه می‌باشد. روابط رگرسیونی چند متغیره خطی به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس ۶ منطقه اقلیمی با استفاده از روش Stepwise و نرم افزار SPSS استخراج شده و بر اساس جدول ۳ می‌باشد. در

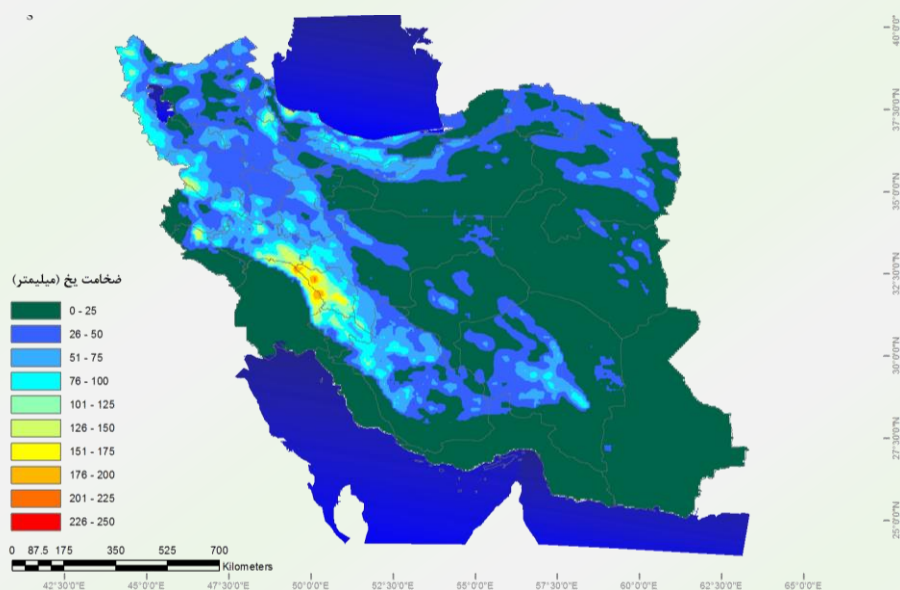
روش Stepwise در صورت عدم تأثیر یک پارامتر مستقل (عوامل جغرافیایی و اقلیمی دخالت داده شده) بر پارامتر وابسته (ضخامت یخ) آن پارامتر مستقل از روند محاسبات حذف می‌گردد.

جدول ۳: روابط رگرسیونی اعمال شده جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ضخامت یخ شعاعی

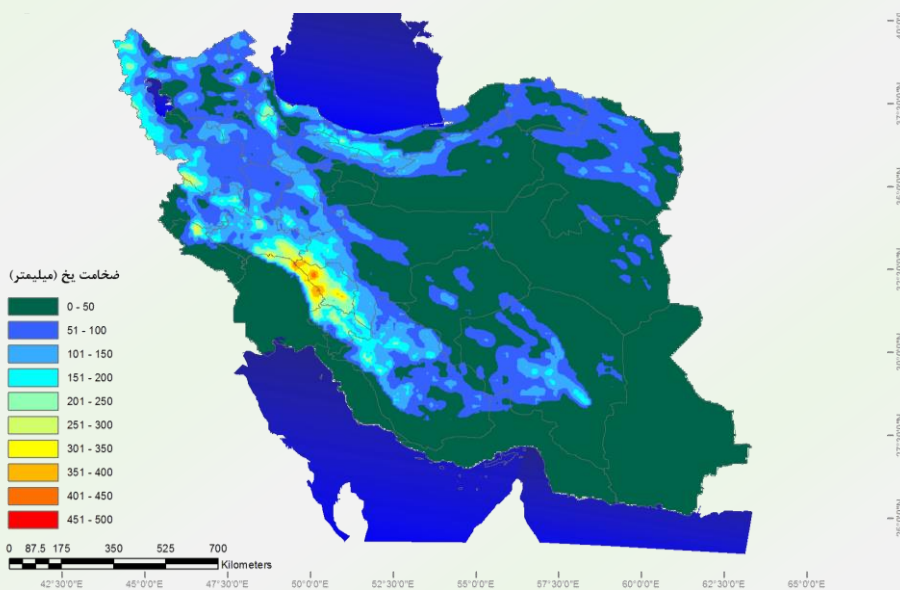
نام منطقه	معادله رگرسیون چند متغیره
زاگرس	$0.022 * \text{ارتفاع} + (-5.131 * \text{عرض جغرافیایی}) + 17.217 * \text{شیب} + 213.168$
سواحل خزر	$0.050 * \text{بارش سالانه} + (-0.402 * \text{ارتفاع}) + 28.798$
نوار غربی	$(-16.015 * \text{شیب}) + 0.099 * \text{ارتفاع} - 2.564$
سواحل جنوبی	$0.172 * \text{بارش سالانه} + 10.215 * \text{شیب} + 0.029 * \text{ارتفاع} - 37.969$
مناطق مرکزی	$(-0.010 * \text{ارتفاع}) + (-0.390 * \text{بارش سالانه}) + (-15.143 * \text{جهت شیب}) + 97.634$
البرز	$0.051 * \text{ارتفاع} - 0.803$

جدول ۴: روابط رگرسیونی اعمال شده جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ضخامت یخ وزنی

نام منطقه	معادله رگرسیون چند متغیره
زاگرس	$(-2.475 * \text{عرض جغرافیایی}) + (8.121 * \text{شیب}) + (0.011 * \text{ارتفاع}) + 103.875$
سواحل خزر	$(0.037 * \text{بارش سالانه}) + (-0.174 * \text{ارتفاع}) + 4.687$
نوار غربی	$(-7.917 * \text{شیب}) + 0.049 * \text{ارتفاع} - 1.235$
سواحل جنوبی	$0.081 * \text{بارش سالانه} + (5.456 * \text{شیب} * 0.015 * \text{ارتفاع}) - 18.828$
مناطق مرکزی	$(-0.006 * \text{ارتفاع}) + (-0.224 * \text{بارش سالانه}) + (-8.341 * \text{جهت شیب}) + 54.801$
البرز	$(0.023 * \text{ارتفاع}) + 2.679$



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی دوره بازگشت ضخامت یخ وزنی برای کل کشور



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی دوره بازگشت ضخامت یخ شعاعی برای کل کشور

نتیجه‌گیری

بر اساس شکل ۲ و ۳ مقادیر ضخامت یخ وزنی برای کل کشور بین ۰ تا ۲۴۱,۲۸ میلی‌متر و ضخامت یخ شعاعی بین ۰ تا ۵۰۵,۸۷ میلی‌متر متغیر است و همانطور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشخص است کمترین مقدار در نواحی مرکزی و سواحل جنوبی و بیشترین مقدار ضخامت یخ شعاعی و وزنی نمایش داده شده بر

روی مناطق جنوب غربی رشته‌کوه‌های زاگرس و متأثر از مقادیر بالای ضخامت یخ محاسبه شده مربوط به ایستگاه هواشناسی کوه‌رنگ می‌باشد.

مراجع

- [1] Farzaneh, M., (2008). "Atmospheric Icing of Power Networks." Springer Science+Business Media B.V.
- [2] Makkonen, L., (1996). "Modeling power line icing in freezing precipitation." Proc. 7th Int. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. IWAI'S'96, Chicoutimi, Canada, pp. 195–201.
- [3] Cigr'e (2008) "Big storms events what we have learned" Cigr'e Working Group B2.06.
- [4] Claudia F., (1983)., "The numerical modeling of wets nowfall event." A PhD dissertation submitted to the ETH University.
- [5] Mulherin, N. D. (1998). "Atmospheric icing and communication tower failure in the United States." Cold Regions Sci. Technol. 27, 91–104.
- [6] Cigr'e (2001) "Guidelines for field measurement of ice loadings on overhead power line conductors" Cigr'e Task Force 22.06.01.
- [7] COST Action 727. (2007). "Measuring and forecasting atmospheric icing on structures. State of the Art".
- [8] Th'eriault J, Stewart RE, Milbrandt JA, Yau MK (2006) "On the simulation of winter precipitation types." J Geophysical ReseArch, vol 111: D18202, doi:10.1029/2005JD006665.
- [9] Makkonen L (1998) "Modeling power line icing in freezing precipitation." Atmos Res 46: 131–142.
- [10] Freddo, A, Ottino, G, Posati, A, Rebolini, M., (2012) "Wet-snow acceration on conductors: The Italian approach to reduce risks on existing OHL" Cigr'e B2-204.
- [11] Fikke, S. (2005) "Cost Action 727 Measuring and forecasting atmospheric icing on structures." Proc. 11th International Workshop on Atmospheric icing of Structures, Montreal, Canada, June Paper IW64.

[۱۲] یزدیان ورجانی، علی، (۲۰۰۶)، "شبیه سازی پدیده یخ زدگی کابل ها به روش کریل بر اساس داده‌های هواشناسی کشور."، بیست یکمین کنفرانس بین المللی برق.

[۱۳] میرشریفی، سید احمد و کلات جاری، وحید رضا (۲۰۰۶)، "تحلیل آماری متغیرهای بارگذاری در طراحی دکل‌های انتقال نیروی ایران." نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۰، شماره ۵، آبان ماه ۱۳۸۵، از صفحه ۷۱۳ تا ۷۲۲.

بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانو ساختار

آزاده گودرزی

کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

Agoodarzi@nri.ac.ir

چکیده: نانو تکنولوژی شاخه‌ای جدید از علوم محسوب می‌شود که هدف آن بررسی و تحلیل رفتار و برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی اجزای ماده در مقیاس نانومتر است. تا پیش از ظهور این حوزه از تکنولوژی، به شکل تاریخی تمامی مطالعات به منظور شناخت خواص مواد در مقیاس ماکرو و میکرو محدود بوده است. اما امروزه، نانو تکنولوژی در حال ایجاد تحول و حرکت به سمت بهبود شناخت خصوصیات تمامی مواد، به خصوص مصالح سازه‌ای است. فولاد، بتن، مواد کامپوزیتی و چوب از جمله رایج‌ترین مصالح سازه‌ای در دنیای امروز به شمار می‌روند. بکارگیری نانوساختارها تنها در زمینه‌ی تقویت و به‌سازی مصالح محدود نشده و در مصارف نوین به منظور هوشمندسازی بتن از جمله به کارگیری نانوحسگرها و کاربردهای بلندمدت همچون نانومواد خودترمیم‌شونده نیز کاربرد یافته است. مصالح فولادی، بتنی و کامپوزیتی به طور عمده به عنوان ماده‌ی اصلی ساختمانی سازه‌های صنعت برق مورد استفاده قرار می‌گیرند. برج و پره‌های توربین بادی، دکل‌های انتقال نیرو، برج‌های خنک‌کننده، دودکش‌ها و فونداسیون‌ها از جمله مهمترین و بزرگترین سازه‌های صنعت برق به حساب می‌آیند که بکارگیری مواد نانوساختار در مصالح آن‌ها می‌تواند خصوصیات استحکامی، دوام و بازدهی فعالیت آن‌ها را در طولانی مدت بهبود بخشد. در این گزارش، که برگرفته از قسمت‌هایی از مراحل اول و دوم پروژه «بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانو ساختار» است، سعی بر آن است تا به ارائه خلاصه‌ای از مرور منابع تحقیقاتی انجام گرفته و نتایج تحقیقات فعالین حوزه نانو تکنولوژی در زمینه‌ی بهبود خواص مکانیکی، کارایی و دوام مصالح سازه‌ای به تفکیک نوع مصالح پرداخته شود و زمینه‌های بکارگیری و نحوه‌ی اثر مواد نانو ساختار در بهبود خواص این مصالح ارائه شود.

کلیدواژه: نانو تکنولوژی، سازه‌های صنعت برق، بتن، کامپوزیت، مواد خودترمیم‌شونده نانو ساختار

معرفی و تاریخچه

علم نانو معرف مطالعه ماهیت و بکارگیری هر ماده‌ای در مقیاس نانو است. مطابق با تعاریف اکثر منابع علمی ارائه شده در این حوزه، مواد نانو ساختار از نظر فیزیکی دسته‌ای از مواد محسوب می‌شوند که دارای حداقل یک بُعد در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشند. خصوصیات مواد نانو ساختار می‌تواند در مقایسه با ویژگی‌های همان نوع ماده در ابعاد میکرو یا ماکرو تفاوت زیادی داشته باشد.

بکارگیری نانو مواد در سازه‌ها نه تنها موجب افزایش عمر و دوام آن‌ها شده، بلکه واکنش این سازه‌ها را نسبت به آتش، خوردگی، نفوذ آب، شکست، ترک و سایر عوامل کنترل می‌کند [۱]. دو مکانیزم اساسی باعث ایجاد تفاوت در خصوصیات نانو مواد نسبت به سایر مواد می‌گردد. اول آنکه در مقیاس نانو، شرایط محیطی به شکل متداول بر ذرات ماده تاثیر نمی‌گذارند. در این مقیاس اثر جاذبه کمرنگ شده و نیروهای الکترواستاتیکی تأثیرگذار بوده و اثرات کوانتومی وارد عمل می‌شوند. از طرف دیگر، به دلیل ابعاد نانوی ذرات، نسبت اتم‌های موجود در سطح ماده نسبت به اتم‌های داخلی آن افزایش می‌یابد و موجب شکل‌گیری خواص جدیدی نسبت به حالات متداول ماده می‌گردد. وجود نواقص بسیار محدود در ساختار این ذرات موجب شده تا مواد نانو ساختار در مقایسه با مواد عادی دیگر، خواص الکتریکی و رسانش گرمایی و استحکام مکانیکی بالاتری از خود نشان دهد [۲]. علاوه بر کاربردهای مقاومتی و به‌سازی، بکارگیری نانو مواد در حسگرها و یا بکارگیری حسگرها در ابعاد نانو مورد توجه محققان این حوزه قرار گرفته است. نانوحسگرها ابزاری بسیار ظریف و حساس‌اند که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به محرک‌های فیزیکی اطراف خود هستند. گستره‌ی عملکرد نانوحسگرها در ابعاد نانومتر است و از این رو از دقت و واکنش‌پذیری بالایی برخوردار هستند. در صنعت ساختمان، نانوحسگرها در دو کاربرد کلی پایش و کنترل شرایط محیطی مانند گاز، دود، رطوبت و دیگری، پایش عملکرد مصالح مانند تنش، کرنش، فشار، ارتعاش و فرسایش توسعه یافته‌اند [۳]. کاربرد حسگرها در حوزه مهندسی عمران، مربوط به پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد. از طریق ارزیابی غیرمخرب توسط این نانوحسگرها نحوه‌ی پاسخ اعضای سازه به محرک‌های محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۴].

صنعت برق مجموعه‌ای عظیم از تجهیزات و دستگاه‌ها به منظور تولید، توزیع، انتقال و فروش انرژی الکتریکی به صنعت و عموم را در برمی‌گیرد. نکته‌ی مهم در بررسی سازه‌های مربوط به این حوزه آن است که هر ساله درصد بالایی از هزینه‌های زیرساختی دولت‌ها و بخش‌های خصوصی فعال در این حوزه صرف تعمیرات و ترمیم این سازه‌ها می‌گردد. اهمیت بالای سازه‌ای و ابعاد بزرگ اکثر این سازه‌ها لزوم توجه بیش از پیش به امکان‌سنجی بکارگیری فناوری‌های نوین در انتخاب مصالح در ساخت این زیرساخت‌ها را

گوشزد می‌نماید. تولید، انتقال، توزیع و فروش نیرو چهار فرآیند اصلی این صنعت را تشکیل می‌دهد. نیروگاه به عنوان رایج‌ترین پایگاه تولید انرژی در سطح وسیع، مجموعه‌ای از تأسیسات صنعتی است که برای تولید انرژی الکتریکی از آن استفاده می‌شود. دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده دو نمونه از بزرگترین سازه‌های نیروگاهی متداول محسوب می‌شوند. برج‌های توربین بادی و دکل‌های انتقال برق نیز از جمله سازه‌های سنگین و پراهمیتی هستند که بکارگیری راهکارهای عملی جهت تقویت استحکام و خواص مکانیکی مصالح بکاررفته در ساخت آنها موجب دستیابی به بازده‌های بالاتر در عین مصرف مصالح کمتر و بازگشت سرمایه‌گذاری انجام شده در اثر کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری می‌گردد. تعداد قابل توجه و حجم بسیار بالایی از سازه‌های نیروگاهی و سازه‌های انتقال نیرو توسط مصالح بتنی ساخته می‌شود و تقریباً تمامی این سازه‌ها بر فونداسیون‌های بتنی استوار هستند. لذا بتن را می‌توان همراه با فولاد به عنوان مهمترین ماده در ساخت سازه‌های صنعت برق توصیف کرد. بتن از پر کاربردترین مصالح ساختمانی در دنیا است. استفاده از افزودنی‌ها و همچنین جایگزین کردن مصالح متداول مورد استفاده در بتن با مصالح جدید همیشه مورد توجه بوده است. مواد نانو ساختار با توجه به خصوصیاتشان در ابعاد بسیار کوچکتر از مقیاس‌های قابل تشخیص توسط چشم، می‌توانند دنیای بتن را کاملاً متحول کنند. بکارگیری این علم در بتن شامل تکنیک‌های دستکاری ساختار مصالح بتنی در مقیاس نانومتری به منظور ایجاد نسل جدید کامپوزیت‌های سیمانی با رفتار مکانیکی ایده‌آل است و با استفاده از این تکنولوژی می‌توان بتن‌های بسیار توانمند با خواص مثل مقاومت الکتریکی پایین، هوشمند بودن، خود تمیزشوندگی، خود ترمیم‌شوندگی، شکل‌پذیری بالا و بسیاری خواص کارآمد دیگری را به وجود آورد، شکل فعالیت‌های تحقیقاتی اخیر در زمینه نانو تکنولوژی در بتن شامل بررسی تأثیر اضافه‌کردن نانو ذرات به سیمان، بتن و پوشش‌های سیمانی و مشاهده تأثیرات آنها بر رفتار و مشخصات مکانیکی ایجاد شده است.



شکل ۲: پل Gärtnerplatz در آلمان با بهره‌گیری از بتن پرمقاومت با استفاده از تکنولوژی نانو برای دال بتنی پل

یکی از مهمترین خصوصیات برجسته مواد بیولوژیکی، توانایی خود اصلاح‌شوندگی و بازیابی عملکرد به محض اعمال آسیب توسط بارهای مکانیکی خارجی است اما مصالح ساخت بشر عموماً این توانایی ترمیم را در اختیار ندارند. پلیمرها و کامپوزیت‌های ساخته شده توسط این مصالح هنگام قرارگیری در معرض بارگذاری ترمومکانیکی پی در پی، مستعد ایجاد میکرو ترک هستند. با گذر زمان و ماندگاری بارهای وارده، این میکرو ترک‌های زمینه به هم می‌پیوندد و باعث سایر خرابی‌ها مثل جدا شدن الیاف از زمینه و لایه‌لایه‌ای شدن آن می‌شود [۵]. تشخیص و در مرحله بعد ترمیم این آسیب‌ها، اغلب مشکل است زیرا اغلب این آسیب‌ها، در عمق سازه رُخ می‌دهد و با پیشروی این آسیب‌ها، در نهایت یکپارچگی سازه به خطر می‌افتد. مواد خودترمیم‌شونده دارای قابلیت‌های گسترده‌ای، مخصوصاً برای کاربردهای ایمن در درازمدت در نواحی غیرقابل دسترس هستند. مواد خودترمیم‌شونده را می‌توان با توجه به منشأ فرایند ترمیم به دودسته «برونی» و «درونی» تقسیم‌بندی کرد. مواد خود اصلاح‌شوندهی برونی دارای قابلیت نهان برای ترمیم خود به خودی نیستند و فرآیند ترمیم در آن‌ها به کمک مؤلفه‌های خارجی صورت می‌پذیرد، مثل کپسول‌های نانو یا میکرو که در ماتریس مواد مختلف، نفوذ داده می‌شود. محتوای این کپسول‌ها، فاز متحرک روی قسمت آسیب‌دیده را به وجود می‌آورد و می‌تواند از جنس مواد نانو ساختار باشد. همچنین مواد نانو ساختار می‌توانند به شکل یک بستر برای حمل مواد خودترمیم مانند باکتری‌ها عمل کنند و با قرارگیری در بافت مادهی زمینه، موجب شکل‌گیری عمل خودترمیم شوند.

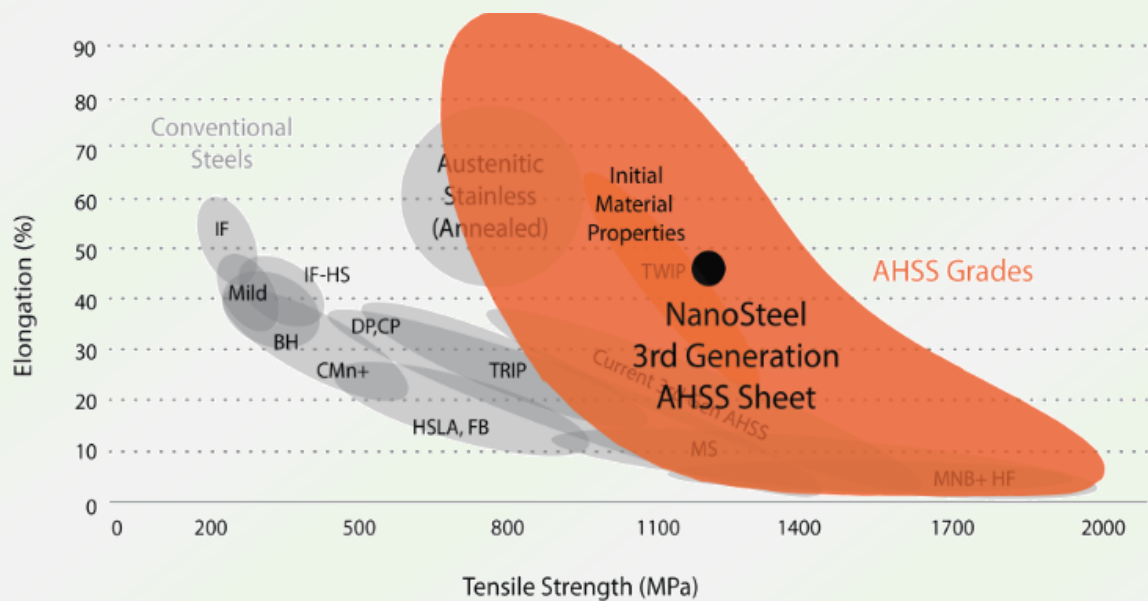
متد و روش

بکارگیری نانومواد در ساختار مصالح مختلف سازه‌ای از در دو دهه اخیر به شکل گسترده‌ای رایج گشته است. این نانو ساختارها به منظور تقویت خواص استحکامی، خواص الکتریکی و خواص رسانش گرمایی بکار می‌روند. همچنین در مطالعات اخیر دانشمندان، نانومواد در راستای هوشمندسازی مصالح زمینه‌ی خود نیز بکار رفته‌اند. نانوحسگرها به منظور پایش تغییر شرایط بارگذاری و تنشی و نانوکپسول‌ها به منظور ترمیم خود به خودی بافت کامپوزیت‌های سیمانی دو نمونه از کاربردهای بسیار نوین نانو ساختارها هستند. در این گزارش، تاریخچه‌ای مختصر از بکارگیری مواد نانو ساختار در مصالح سازه‌های مختلف عنوان شده است. بتن و فولاد از جمله رایج‌ترین مصالح اولیه‌ی ساخت اعضای سازه‌ای محسوب می‌شوند. همواره و به شکل تاریخی، خواص مصالح بتنی در مقیاس ماکرو ارزیابی و مورد تحلیل قرار گرفته است. با این حال آنچه که امروز به وضوح مورد تأیید جوامع علمی قرار دارد این حقیقت است که خصوصیات مختلف مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مواد به طور جدی از برهم‌کنش‌های بین ذره‌ای در مقیاس میکرو، نانو و حتی کوچکتر

تأثیر می‌پذیرد [۶]، عمده‌ی مطالب مربوط به این گزارش از منابعی چون مقالات ژورنالی و کنفرانسی مروری و بروزترین گزارش‌های علمی و وبسایت‌های نانو تکنولوژی داخلی و خارجی بدست آورده شده‌اند. در این گزارش به طور خلاصه به بررسی مقاومت، کارایی، دوام و سایر خواص مکانیکی بتن با بکارگیری نانومواد مختلف پرداخته شده است. بدین منظور بیش از یکصد مقاله علمی-پژوهشی ژورنالی با رویکردهای مختلف آزمایشگاهی و مدل‌سازی جمع‌آوری گردید. همچنین، به پدیده خودترمیم‌شوندگی بتن به جهت بهبود و کارایی مصالح بتنی در حضور نانو مواد پرداخته شده است.

نتایج و تحلیل‌ها

همانگونه که در بخش مقدمه ذکر شد، در این گزارش منابع علمی مختلفی به منظور بهبود خواص مکانیکی مصالح سازه‌ای با شناسایی تاریخچه کاربرد نانومواد در این مصالح جمع‌آوری گردیده است. از حدود دو قرن گذشته تا به امروز استفاده از فولاد به شکل گسترده در صنعت ساخت و ساز فراگیر بوده است. صنعت ساخت‌وساز می‌تواند به میزان قابل توجهی از بکارگیری نانو تکنولوژی در فولاد بهره‌مند گردد. پدیده خستگی در فولاد مسأله‌ای مهم است که می‌تواند باعث شکست سازه‌های در معرض بارهای چرخه‌ای مانند پل‌ها و برج‌ها گردد. این اتفاق ممکن است در تنش‌هایی کمتر از تنش تسلیم ماده رخ دهد و موجب کاستن از عمر مفید سازه شود. مراکز تجمع تنش در فولاد منبع شروع ترک بوده و گسترش همین ترک‌ها عامل خرابی ناشی از خستگی سازه می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که افزودن نانوذرات مس ناهمواری‌های سطح فولاد را کاهش داده و موجب کاهش نقاط تمرکز تنش شده و سبب افزایش مقاومت خستگی فلز می‌گردد [۷]، شکل دو نوع فولاد تجاری Sandvik Nanoflex و MMFX2 معرفی شده‌اند که با تصحیح ریزساختار در ابعاد نانو و همچنین بکارگیری برخی نانو ساختارهای موثر خواص مکانیکی مناسبی از خود نشان می‌دهند، شکل فولاد Sandvik Nanoflex دارای مقاومت و مدول الاستیسیته‌ی بالاست و به دلیل برخوردار بودن از ساختار نانومواد بسیار سخت مانند نانوذرات کروم (Cr)، نیکل (Ni) و مس (Cu)، مقاومت آن در برابر خوردگی بالا بوده و کیفیت سطح و شکل پذیری مناسبی دارد.



شکل ۳: نمودار مقاومت کششی-کرنش فولادهای پرمقاومت نانو ساختار در برابر فولادهای متداول [۷].



شکل ۴: رکاب های فولادی شاه تیر بتنی پل که از فولاد MMFX2 استفاده شده است - اوکلهاما-امریکا

فولاد MMFX2 خواصی مشابه فولادهای ضد زنگ متداول دارد و در عین حال به دلیل داشتن ساختار ورقه‌ای شکل، خواص منحصر به فرد مقاومت مکانیکی، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر خوردگی از خود نشان می‌دهد. استفاده از این نوع فولادها در سازه‌های بتنی موجب دوام طولانی مدت سازه‌ها، تسهیل در جای‌دهی بتن در قالب‌های به شدت مسلح به دلیل وجود فضای بیشتر (ناشی از نیاز کمتر به حجم فولاد زیاد)، نیاز به کاور بتن کمتر و در نهایت قیمت تمام‌شده پایین‌تر سازه بتنی می‌شود [۸]. نوع دیگری از فولادهای نسل جدید نانو ساختار توسط شرکت NanoSteel تولید می‌شود. این دسته از فولادها به دلیل عملیات حرارتی ویژه‌ای که حین فرآیند تولید بر روی آنها انجام می‌گیرد، فازهای متداول بافت فولادی

آن‌ها در ابعاد نانو تشکیل شده و استحکام کششی بسیار بالایی به این مواد می‌بخشد [۹]. از دیگر کاربردها نانوساختارها در فلزات می‌توان به نانوذرات وانادیم (V) و مولیبدن (Mo) در پیچ‌های فولادی اشاره کرد. افزودن این مواد باعث به تأخیر افتادن وقوع ترک‌های ناشی از خستگی، کاهش اثرات تردی هیدروژنی و بهبود ریزساختار پیچ‌های پرمقاومت فولادی می‌گردد.

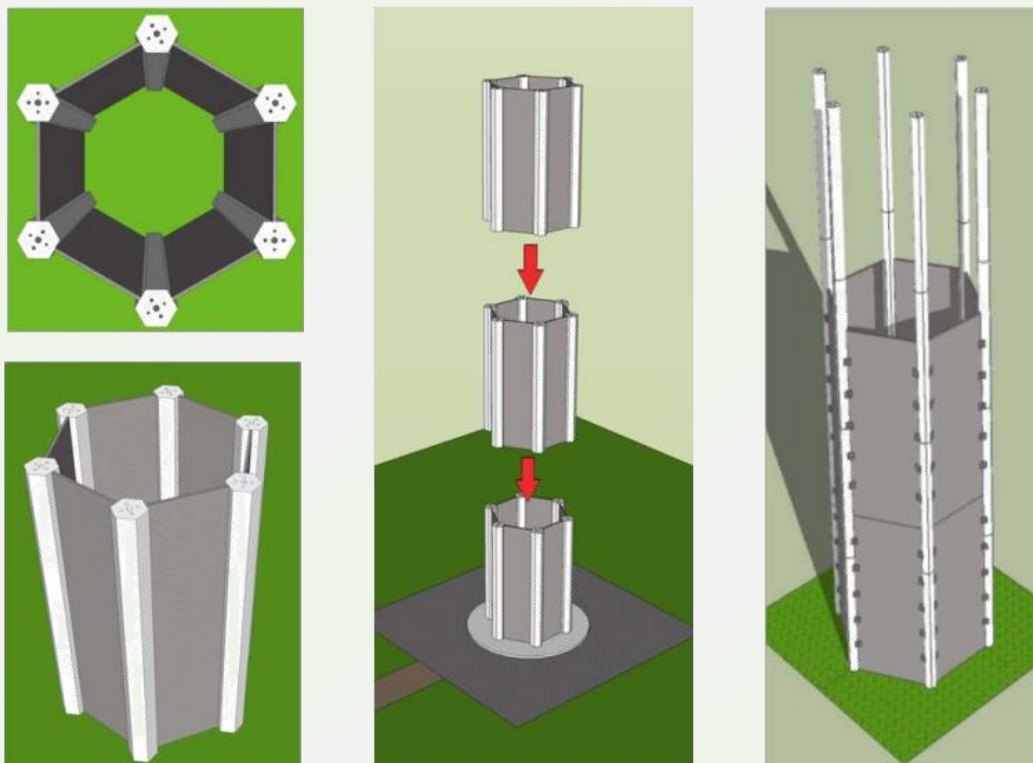
در حوزه سازه‌های صنعت برق و نیروگاهی و سازه‌های عظیمی مانند دودکش و برج‌های خنک‌کننده، به دلیل شرایط محیطی سخت و خورنده‌ی این گونه سازه‌ها، پوشش‌های حرارتی و رنگ‌های ضد آتشی دارای فنآوری نانو، کاربردهای زیادی داشته‌اند. با این حال فارغ از این کاربردهای متداول محصولات نانوساختار، اخیراً شرکت‌های نانو دانش‌بنیان در اروپا اقدام به ساخت ملات‌هایی به منظور ترمیم سازه‌ها کردند که در ساختار خود از نانوذرات بهره می‌برند.

استفاده از این مواد علاوه بر افزایش استحکام بندکشی، تراکم و نفوذپذیری را بهبود می‌دهد و با کاهش زمان، کاهش هزینه‌ها را نیز در بر دارد. مقاومت فشاری ملات‌های سخت‌شده از این نوع به بیش از ۶۰ مگاپاسکال می‌رسد. همچنین مقاومت چسبندگی آن بیش از ۲ مگاپاسکال بوده و در نمونه‌های خشک‌شده آن اثری از ترک مشاهده نمی‌گردد [۱۰]. این ملات قابلیت بکارگیری به صورت گروت به منظور ترمیم، تقویت و پایدارسازی بتن‌های استفاده شده در انواع سازه‌های نیروگاهی مانند دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده را دارد [۱۱].

در بخش دیگری از سازه‌های صنعت برق، توربین‌های بزرگ بادی قرار دارند. امروزه اکثر این سازه‌ها به شکل برج‌های فولادی لوله‌های شکل مخروطی ساخته می‌شوند. این برج‌ها ۳۰ تا ۶۵ درصد وزن توربین را تشکیل داده و همچنین درصد بالایی از هزینه‌های حمل و نقل قطعات توربین را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین استفاده از مصالح سبک‌تر در ساخت سازه برج می‌تواند هزینه‌های تمام‌شده ساخت و حمل و نقل توربین‌های باد را به مقدار زیادی کاهش دهد. با توجه به رقابت شکل گرفته در تولید مقدار بیشتر انرژی در عین راندمان بالا، نیاز است تا ارتفاع برج‌های توربین‌های بادی افزایش یابد. حال به منظور رسیدن به این هدف و در عین حال برای جلوگیری از خمیدگی سازه‌ی برج در ارتفاع‌های بالاتر، نیاز است تا قطر برج نیز افزایش یابد و این خود منجر به چند برابر شدن مصالح مصرفی می‌گردد. موضوع دیگر محدودیت‌های اندازه جاده‌ها است که انتقال برج‌هایی با قطر بیشتر از ۴/۳ متر را دچار مشکل کرده است. در حال حاضر حداکثر قطر قابل جابجایی توسط جاده‌های استاندارد مربوط به مصالح برج‌های فولادی با ارتفاع ۸۰ متر است. لذا رسیدن به ارتفاعی بیش از این مقدار توسط ظرفیت باربری قطعات فولادی برج‌های مورد نظر محدود می‌گردد. سرتاران [۱۲]، روشی مبتنی بر مقاطع پیش‌ساخته‌ی بتنی با استفاده از بتن پرمقاومت یا

بتن با رده‌ی عملکردی بسیار قوی را ارائه داده است. بتن با رده‌ی عملکردی بسیار بالا نوعی نسبتاً جدید از بتن با خواص فوق‌العاده ممتاز از جمله دوام بسیار بالا، مقاومت فشاری در حدود ۲۰۰ مگاپاسکال و مقاومت خمشی در حدود ۵۰ مگاپاسکال است، شکل اصطلاح بتن فراتوانمند به تدریج با توجه به پررنگ‌تر شدن نقش پوزولان‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سیمان از اوایل قرن بیست‌ویکم بر سر زبان‌ها افتاد. از نکات قابل توجه در بررسی علمی این نوع بتن، توجه محققان بر استفاده از تکنولوژی نانومواد در ساختار این نوع بتن‌ها است. بکارگیری این نانومواد در بافت بتن می‌تواند برخی نواقص مانند آفت بتن را پوشش داده و عملکرد کلی آن را بهبود بخشد [۱۳].

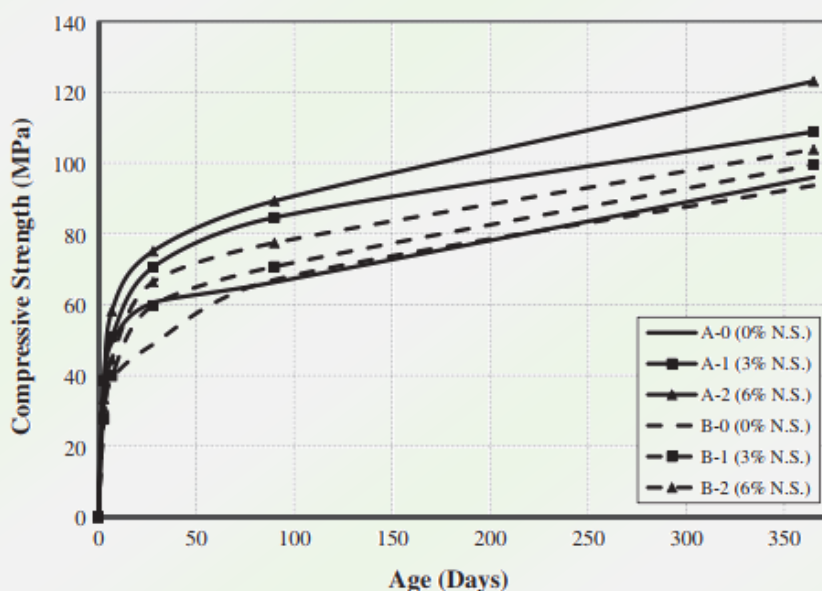
پره‌های توربین‌های بادی در معرض بارهای محیطی و مکانیکی چرخه‌ای، بارهای کششی پیچیده و خارج از محور و بارهای فشاری و برشی قرار دارند. ساخت چنین توربین‌هایی نیازمند توسعه‌ی مصالح بروز، مستحکم و مقاوم در برابر خستگی است تا بتواند بارهای چرخه‌ای، مکانیکی و بارهای حرارتی و محیطی را طی مدت طولانی سرویس‌دهی توربین تحمل کند. از میان ایده‌های مختلف موجود به منظور ارتقای عملکرد مواد کامپوزیتی در کاربردهای مربوط به انرژی باد، دو رویکرد کامپوزیت‌های دوگانه و کامپوزیت‌های تقویت‌شده با نانو بکارگرفته شد. در تحقیقات زیادی مشاهده کرده‌اند که افزودن مقدار بسیار اندکی از نانوذرات به کامپوزیت‌های تقویت‌شده به کمک الیاف، خواص کامپوزیت‌ها را بهبود می‌دهد.



شکل ۵: قطعات پیش‌ساخته‌شده برج توربین بادی بتنی از جنس بتن فوق توانمند [۱۲]

از کاربردهای دیگر نانومواد در سازه‌های توربین بادی می‌توان به بکارگیری نانوحسگرها به منظور پایش سلامت پره توربین‌های بادی اشاره نمود. خواص عالی الکتریکی این حسگرهای نانو ساختار می‌تواند به تشخیص سریع نواقص سازه‌ای پره توربین و تخمین عمر سرویس دهی آن کمک کند. نانوحسگرها پتانسیل بالایی در تنظیم خروجی انرژی و سرعت پرها به منظور جلوگیری از اضافه بار وارده بر اجزای سازه‌ای دارند [۱۴]. تحقیقات انجام گرفته بر روی این نانوحسگرهای منطبق بر کامپوزیت‌های نانولوله کربنی پلیمری توسط محققان دانشگاه هیوستون امریکا در مجله Applied Physics چاپ شده است [۱۵].

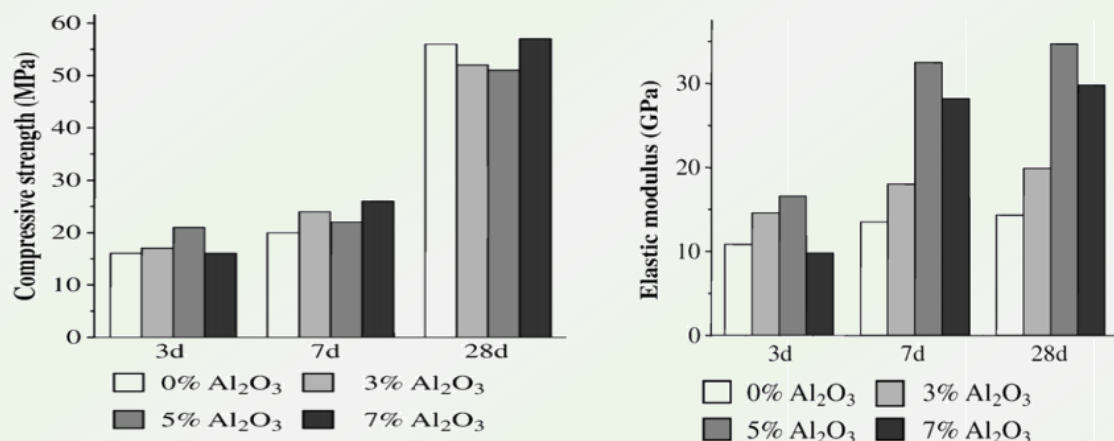
در حوزه بهبود خواص کارایی، مقاومتی و دوام سازه‌های بتنی و کامپوزیت‌های سیمانی با استفاده از نانوذرات مطالعات قابل توجهی تا به امروز انجام گرفته است. یکی از متداول‌ترین نانوساختارهای مورد استفاده در بتن نانوذرات سیلیس یا ذرات سیلیکا هستند که باعث افزایش مقاومت آن می‌شود، شکل این نانوذره می‌تواند حفرات موجود را در زمان اولیه و تا حدی پس از زمان گیرش پر کند، تراکم نهایی را افزایش دهد، تخلخل و نفوذپذیری بتن را کم کرده و در نهایت وزن سیمان استفاده شده در مخلوط را کاهش دهد. در واقع می‌توان گفت حضور نانوذرات سیلیکا در طرح اختلاط بتن، رفتار و خصوصیات بتن در حالت تازه و در حالت سخت شده را بسیار متحول می‌کند [۱۶].



شکل ۶: روند تغییر مقاومت فشاری بتن‌های حاوی نانوسیلیس برای درصد‌های وزنی مختلف سیمان [۱۶]

تحقیقات نشان می‌دهد با افزودن سیلیکافوم کارایی بهبود می‌یابد. دلیل بهبود کارایی بتن مربوط به شکل ذرات نانوسیلیکا است که عملکردی مشابه حرکت بلبرینگ در بین ذرات سیمان از خود نشان می‌دهند. به منظور بهبود کارایی بتن‌های حاوی نانوسیلیکا از فوق روان‌کننده استفاده می‌شود.

به منظور افزایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن می‌توان از جایگزینی بخشی از سیمان با نانوذرات اکسید آلومینیوم بهره برد. نتایج آزمایشات بهفرنیا و سالمی [۱۷] بر روی نمونه‌های حاوی آلومینات را با درصد‌های مختلف وزنی نشان از بهبود ۶ درصدی مقاومت فشاری برای نمونه‌ی ۲۸ روزه و ۹ درصدی برای نمونه‌ی ۱۲۰ روزه داشت، شکل در تحقیقات نشان داده شده است که بهبود زیادی در مقاومت فشاری بتن در حضور این نوع نانو ذرات حاصل می‌گردد. لازم به ذکر است افزودن نانوآلومینیوم زمان گیرش اولیه و نهایی بتن را کاهش می‌دهد.



شکل ۷: مدول یانگ و مقاومت فشاری بتن حاوی درصد‌های مختلف نانوذرات آلومینیوم [۱۷]

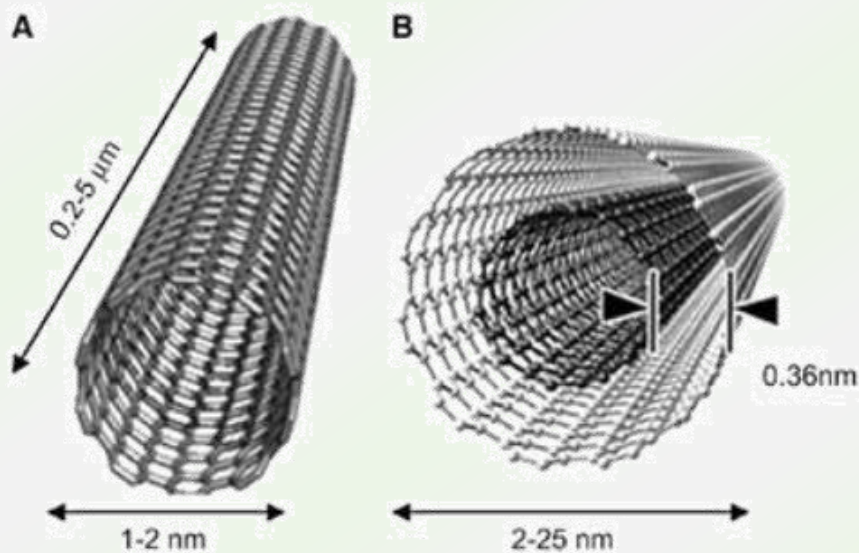
به منظور کاهش نفوذپذیری در بتن می‌توان از نانو ذرات اکسید آهن استفاده نمود. در بررسی تاثیر افزودن نانوذرات اکسید آهن بر خواص و ویژگی‌های بتن‌های سیمانی تحقیقات نظری و ریاحی [۱۸] نشان داد با بکارگیری این نانوذرات، درصد نفوذپذیری آب، سرعت جذب آن و ضرایب جذب آب را برای تمامی نمونه‌ها در هر سنی کاهش می‌دهد. همچنین با افزوده شدن مقدار نانو اکسید آهن میزان کارایی و زمان گیرش بتن تازه کاهش می‌یابد. آزمایشات خوش اخلاق و همکاران [۱۹] بر روی شناخت بهتر خواص نمونه‌های بتن خود تراکم پر مقاومت حاوی نانوذرات اکسید آهن مشخص کرد که افزودن نانو اکسید آهن تا حد ۴ درصد از وزن سیمان، موجب افزایش مقاومت و بهبود نفوذپذیری آب می‌گردد. این ذرات قادرند تا به شکل نانو پرکننده رفتار کرده و با کاهش حفرات زیان بار، بافت بتن را بهبود دهد.

مقاومت و کارایی بتن را می‌توان با بهره‌گیری از نانو موادی از جمله نانو ذرات اکسید روی و نانو ذرات کربنات کلسیم، بهبود بخشید. مطالعات نظری و ریاحی [۲۰] بر روی اثر افزودن نانوذرات اکسید روی بر خواص بتن، نشان از بهبود مقاومت ملات‌های سیمانی حاوی این نانوذرات داشته است. محققان زیادی استفاده از نانوذرات کربنات کلسیم را باعث بهبود شکل‌گیری بافت بتن دانستند زیرا که این ماده به عنوان پایگاهی برای هسته‌زایی عمل کرده و سرعت واکنش‌های هیدراتاسیون را افزایش می‌دهد. کامیلتی و

همکاران [۲۱] متوجه شدند این نانوذره بر بهبود جریان‌پذیری و کارایی کوتاه‌مدت بتن‌های فراتوانمند مؤثر است. علاوه بر آن این ماده تأثیر مثبتی بر گیرش و کسب مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در سنین پایین داشت.

به منظور بهره‌مندی از خاصیت خود تمیزشوندگی بتن می‌توان از نانو ذرات اکسید تیتانیوم استفاده کرد. علاوه بر خصوصیات خود تمیزشوندگی نانوذرات اکسید تیتانیوم، استفاده از آن در کامپوزیت‌های سیمانی برخی خواص مربوط به این بتن‌ها را بهبود داده است [۲۲]. نظری و ریاحی [۲۳, ۲۴] خصوصیات مختلف ملات‌های سیمانی را در اثر افزودن نانوذرات تیتانیوم بررسی کردند و مشاهده شد مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و کششی نمونه‌ها با افزایش مقدار نانوذرات، افزایش می‌یابد. در ادامه و با بررسی خواص بتن تازه، مشاهده شد بکارگیری نانوذرات تیتانیوم گیرش اولیه بتن را تسریع می‌کند.

به منظور بهبود عملکرد بتن می‌توان از نانو ذرات رُس بهره برد. متاکائولن دسته‌ای از نانورس‌ها هستند که طی واکنش با کلسیم خواص پوزولانی بسیار بالایی کسب می‌کنند که بکارگیری آنها موجب ارتقای قابل توجه خواص مکانیکی بتن‌های پایه سیمانی می‌شود. همچنین، به جهت افزایش مقاومت بتن می‌توان از نانولوله‌های کربنی در بتن استفاده کرد. نانولوله‌های کربن ساختاری لوله‌ای شکل با قطری به ابعاد چند نانومتر بوده و نسبت ظاهری طول به قطر بالایی دارند (مطابق شکل ۸)

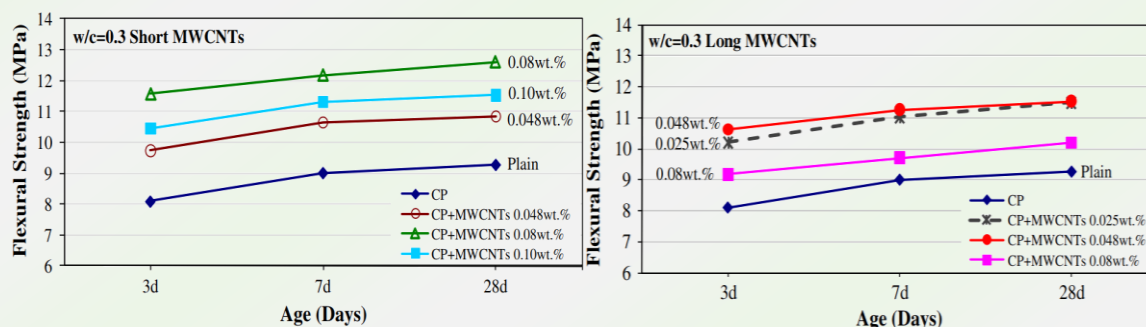


شکل ۸: نانو لوله های تک جداره و چند جداره

به دلیل ساختار خاص و مستحکم نانولوله‌های کربنی، این مواد دارای خواص سودمند زیادی هستند. چاپانیچ و همکاران [۲۵] تأثیر بکارگیری نانولوله‌های کربن در خمیرها و ملات‌های سیمانی را بررسی

کردند. نتایج آزمایشات نشان دادند افزودن ۱ درصد وزنی نانولوله کربنی به سیمان، مقاومت فشاری را تا حدی بهبود می‌دهد.

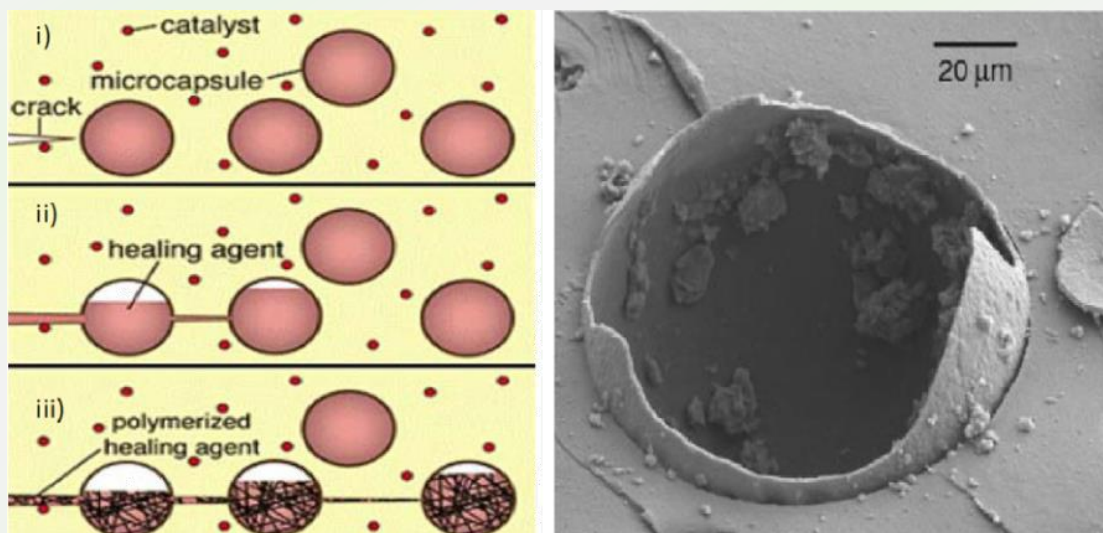
مورسی و همکاران [۲۶] رفتار ماتریس سیمانی در اثر بکارگیری نانولوله‌های کربنی چندجداره و نانورس را بررسی کردند که در نتایج افزایش مقاومت فشاری مشاهده گردید. در بررسی مقاومت خمشی، متاکسا و همکاران [۲۷] مشاهده کردند که مقاومت خمشی نمونه‌های ماتریس سیمانی حاوی نانولوله‌های کربنی افزایش می‌یابد (مطابق شکل ۹).



شکل ۹: مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی الیاف نانولوله کربنی با درصدهای مختلف [۲۷]

در بخش انتهایی گزارش به بررسی یکی از خواص هوشمند مصالح بتنی در مقیاس نانو پرداخته شده است. یکی از رویکردهای تولید مواد و مصالح هوشمند خودترمیم شونده، قرار دادن کپسول‌های کوچکی در ساختار مواد است که به هنگام بروز ترک در ماده، این کپسول‌ها شکسته شده و با آزاد شدن نانومواد درون کپسول‌ها، ترک بسته شده و به این ترتیب از رشد و گسترش آنها جلوگیری می‌شود. جنس این میکروکپسول‌های معمولاً از نوع نانوذرات پلیمری هستند که به همراه ذرات کاتالیزور در بتن استفاده می‌شوند. بنابراین محتویات درون کپسول‌های نهفته در ماده و کاتالیزور توزیع شده در سرتاسر ماتریس، می‌توانند عملیات ترمیم ترک را انجام دهند. هنگام رسیدن ترک به یک کپسول، محفظه شکافته شده و محتویات آن خارج شده و باعث ترمیم ترک موجود می‌گردد. در مطالعات صورت گرفته، نانوکامپوزیت‌های مختلفی مانند پلی‌اتیلن - کربن سیاه، سیلیکا - متاکریلات بوتیل، اپوکسی پلی‌آیلین - کامفورسولفونات و اپوکسی - نانورس به عنوان عامل ترمیم‌کننده در بتن استفاده شده‌اند. این پوشش‌های هوشمند با قابلیت خودترمیم شوندگی از سطح در برابر خوردگی و ترک محافظت می‌کنند و در صورت آسیب دیدن، موجب ترمیم ترک می‌شوند [۲۸]. یکی دیگر از روش‌های خودترمیم‌شوندگی بتن، استفاده از شبکه مویرگی در بتن است. در این روش از یک شبکه مویرگی برای انتقال نانومواد عامل ترمیم با تکیه بر خاصیت موینگی، از منبع به محل ترک خورده و پلیمریزاسیون در مجاورت کاتالیزور و در نتیجه ترمیم ترک استفاده می‌شود. زمانی که ترک در سطح پوشش ایجاد می‌شود، تنش کششی در شبکه افزایش یافته و عامل خودترمیم از

طریق عمل مویرگی و بدون هیچ‌گونه فشار خارجی، از میکروکانال‌ها به ترک می‌رسد و باعث ترمیم ترک می‌شود [۲۹] (مطابق شکل ۱۰).



شکل ۱۰: سمت چپ: شماتیک عملکرد روش میکرو- نانو کپسول‌ها به منظور خود ترمیمی
سمت راست: عکس میکروسکوپی یک کپسول شکسته شده در اثر ترک

نتیجه‌گیری

مرور منابع مطالعاتی حوزه نانو تکنولوژی و بررسی نتایج حاصل از این تحقیقات لزوم سرمایه‌گذاری بیش از پیش جهت بهبود خواص مصالح سازه‌ای با بکارگیری از مواد نانو ساختار را نمایانگر می‌سازد. همانگونه که نتایج مطالعات در حوزه‌ی مقاومتی و به‌سازی نشان می‌دهد، بکارگیری نانومواد در مصالح بتن باعث بهبود بسیار زیاد بسیاری از خواص مکانیکی مصالح مانند مقاومت فشاری، خمشی و کششی و همچنین افزایش دوام و ارتقای کارایی بتن تازه می‌گردد. استفاده از برخی نانوذرات فلزی مانند مولیبدن، کروم، مس، نیکل و وانادیوم و یا حتی ایجاد تغییر در ساختار نانومقیاس، خواص مکانیکی و خستگی فوق‌العاده‌ای به فولاد می‌بخشد. علاوه بر این کاربردها، نانوذرات اکسید آهن، نانوالیاف کربن و برخی دیگر از نانوذرات فلزی به شکل نانوحسگرهای قدرتمندی در مصالح سازه‌ای استفاده می‌شوند که از کاربردهای آن‌ها می‌توان به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و از جمله برج و پره‌های توربین بادی اشاره نمود. علاوه بر این، به‌منظور ساخت بتن‌های فراتوانمند در سازه‌های صنعت برق می‌توان از مواد نانو ساختار استفاده کرد. همچنین، برای ساخت ملات‌های ترمیمی و گروت‌های فونداسیون بتنی سازه‌های عظیم و سازه‌های نیروگاهی همچون دودکش‌ها و برج‌های خنک‌کننده، به جهت بالا بردن مقاومت‌های چسبندگی، خمشی و فشاری می‌توان از مواد نانو ساختار بهره برد. نتایج بررسی نانو ساختارهای بکار رفته در بتن نشان می‌دهد که در جهت افزایش مقاومت‌های مکانیکی و دوام کامپوزیت‌های سیمانی و بتنی می‌توان از نانوذرات سیلیس، کربنات کلسیم،

رس، گرافن، نانولوله‌های کربنی و همچنین برخی اکسیدهای فلزی مانند آلومینیوم، آهن، روی و منیزیم بهره برد. غیر از این موارد می‌توان به قابلیت هوشمندسازی سازه‌ها و ایجاد خواص خودترمیمی بتن با استفاده از نانو ذرات اشاره نمود. از این نانوساختارها به دو شکل و به صورت ماده‌ی خودترمیمی تشکیل دهنده‌ی نانوکپسول‌ها و یا به عنوان بستر حمل‌کننده مواد خودترمیم استفاده شده و بدین ترتیب ماده خودترمیم به داخل بافت بتن اعمال می‌شود. در اثر بروز ترک در سازه و در صورت رسیدن ترک به موضع نانوکپسول یا نانومویرگ‌های تعبیه‌شده در بافت بتن، این محفظه‌ها پاره شده و محتوای ماده‌ی خودترمیمی خارج می‌شود و با قرار گرفتن در بستر ترک، با استفاده از ماهیت واکنشی خود باعث پُر شدن ترک می‌شود. پس از بررسی و ارائه‌ی توضیحات کافی در مورد هر کدام از زمینه‌های کاربردی مواد نانوساختار در مصالح سازه‌ای و حوزه‌های تخصصی هر کدام، در انتها لازم به ذکر است به منظور انجام یک جمع‌بندی مناسب در مورد بهبود عملکرد مصالح سازه‌های صنعت برق با استفاده از مواد نانو ساختار و امکان‌سنجی استفاده از آن‌ها نباید تنها به تحلیل‌های علمی و آزمایشگاهی مواد مربوطه بسنده کرد زیرا که می‌توان گفت بزرگترین عامل بازدارنده بر سر راه گسترش استفاده از مواد نانوساختار در هر مصالح سازه‌ای اعم از سازه‌های ساختمانی عادی و یا سازه‌های صنعت برق به عنوان یک گروه از سازه‌های سنگین و پراهمیت زیرساختی، هزینه‌های خرید مواد اولیه نانوذرات مربوطه و نحوه اعمال آن مواد بدون مواجهه با سایر مشکلات آزمایشگاهی به ماتریس مصالح سازه است. لذا تحلیل همه‌جانبه این مواد با تأکید زیاد بر ملاحظات مسائل اقتصادی آن، بیش از پیش در مقایسه با سایر پروژه‌ها اهمیت پیدا خواهد کرد.

مراجع و منابع

- [1] Das, B. and A. Mitra, Nanomaterials for Construction Engineering-A Review. Vol. 2. 2014. 41-46.
- [2] Arivalagan, K., et al., Nanomaterials and its potential applications. International journal of chemtech research, 2011. 3(2): p. 534-538.
- [۳] ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، کاربرد های فناوری نانو در حسگرهای ساختمانی. ۱۳۹۴.
- [4] Structural Health Monitoring (SHM). 2015; Available from: <http://www.partsazeco.com/fa/2015-07-27-20-52-04>.
- [۵] نجمالدین، ن.، مواد خود اصلاح شونده و مکانیزم های ترمیم خودبه خودی، ماهنامه مهندسی پزشکی. ۱۳۹۵.
- [6] Zhu, W., P.J. Bartos, and A. Porro, Application of nanotechnology in construction. Materials and Structures, 2004. 37(9): p. 649-658.
- [7] Pradesh, H., Application of nanotechnology in building materials. International Journal of Engineering Research and Applications, 2012: p. 1077-1082.

- [8] Rana, A.K., et al., Significance of nanotechnology in construction engineering. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2009. 1(4): p. 46-48.
- [9] Jones, W., et al., *Nanomaterials in construction-what is being used, and where?* 2016.
- [10] MasterEmaco® S 5400, B.w.c. chemistry, Editor.
- [11] Solutions for the Power Generation & Heavy Industry. 2018; Available from: <https://www.master-builders-solutions.basf.com/en-basf/solutions/for-the-power-generation-industry>.
- [12] Sritharan, S. and G.M. Schmitz. Design of tall wind turbine towers utilizing UHPC. in *Proceedings of the RILEM-fib-AFGC International Symposium On Ultra-High Performance Reinforced Concrete*, Eds: F. Toutlemoude, J. Resplendino, RILEM Publications SARL, Bagneux, France. 2013.
- [13] Gu, C., G. Ye, and W. Sun, Ultrahigh performance concrete-properties, applications and perspectives. *Science China Technological Sciences*, 2015. 58(4): p. 587-599.
- [14] Raj, B., M. Van de Voorde, and Y. Mahajan, *Nanotechnology for Energy Sustainability*. 2017: Wiley.
- [15] Curran, S.A., et al., Electrical transport measurements of highly conductive carbon nanotube/poly (bisphenol A carbonate) composite. *Journal of Applied Physics*, 2009. 105(7): p. 073711.
- [16] Qing, Y., et al., Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. *Construction and Building Materials*, 2007. 21(3): p. 539-545.
- [17] Behfarnia, K. and N. Salemi, The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete. *Construction and Building Materials*, 2013. 48: p. 580-584.
- [18] Nazari, A. and S. Riahi, Assessment of the effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability, workability, and setting time of concrete. *Journal of Composite Materials*, 2011. 45(8): p. 923-930.
- [19] Khoshakhlagh, A., A. Nazari, and G. Khalaj, Effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability and strength assessments of high strength self-compacting concrete. *Journal of Materials Science & Technology*, 2012. 28(1): p. 73-82.
- [20] Nazari, A. and S. Riahi, The effects of ZnO nanoparticles on strength assessments and water permeability of concrete in different curing media. *Materials Research*, 2011. 14(2): p. 178-188.
- [21] Camiletti, J., A. Soliman, and M. Nehdi, Effects of nano-and micro-limestone addition on early-age properties of ultra-high-performance concrete. *Materials and structures*, 2013. 46(6): p. 881-898.
- [22] Chen, J., S.-c. Kou, and C.-s. Poon, Hydration and properties of nano-TiO₂ blended cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 2012. 34(5): p. 642-649.
- [23] Nazari, A., et al., Improvement the mechanical properties of the cementitious composite by using TiO₂ nanoparticles. *Journal of American Science*, 2010. 6(4): p. 98-101.
- [24] Nazari, A., et al., Assessment of the effects of the cement paste composite in presence TiO₂ nanoparticles. *Journal of American Science*, 2010. 6(4): p. 43-46.

[25] Chaipanich, A., et al., Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes–fly ash cement composites. *Materials Science and Engineering: A*, 2010. 527(4-5): p. 1063-1067.

[26] Morsy, M., S. Alsayed, and M. Aqel, Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 2011. 25(1): p. 145-149.

[27] Metaxa, Z.S., et al., Highly concentrated carbon nanotube admixture for nano-fiber reinforced cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 2012. 34(5): p. 612-617.

[۲۸] افشار، ش.ت.ن.، کاربرد فناوری نانو در سازه های بتنی هوشمند با قابلیت خود ترمیم شوندگی.

[29] Fickert, J., *Nanocapsules for self-healing materials*. 2013, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.



The banner for the International Symposium on Energy Geotechnics (SEG-2018) features a red background with white text. It includes the title 'International Symposium on Energy Geotechnics SEG-2018', the organizing body 'Under the auspices of Technical Committee TC - 308 of ISSMGE', and the host institution 'Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne' with the dates '25-28 September 2018 · Lausanne, Switzerland'. The EPFL logo is also present. On the left, there are four circular icons with the letters T, H, C, and M. Below the text, there are several small images: a 3D model of a pile foundation, a cross-section of a pile in soil, a 3D model of a pile with a thermal profile, a cross-section of a pile with a CO2 injection point, and a close-up of a pile tip.

A Feasibility Study on Implementing the Energy Piles in Electric Power Industries

Amir Akbari Garakani

Assist. Professor, Structural Research Department

Niroo Research Institute, Tehran, Iran

aakbari@nri.ac.ir

Abstract: *The use of energy pile foundations for heat exchanging with the ground has caught significant attention in recent years. One of the potential fields for energy pile application is electric power industries. Implementing the energy piles in electric power industries can be majorly corresponded to two major subgroups, namely "direct applications" in power production facilities and power transmission-distribution networks and "indirect applications" in industrial target consumers. In both categories, some machineries or components need to be cooled or heated to assure proper operation. For heat exchange purposes, commonly a thermal fluid (e.g., water) circulation system is implemented which can be incorporated in energy pile foundations. Among the most important factors, which should be considered to select the energy pile system for heat exchange purposes in industrial machineries, are the magnitude of the flow rate and initial or final temperatures of the geothermal fluids and those corresponded to the operational capacity of the energy pile systems. In this paper, the possibility of direct or indirect usage of energy piles in electric power industries is studied. In this regard, technical aspects of the issue have been considered, analyzed and discussed. Results revealed that there are many principle or auxiliary devices in electric production and transmission-distribution networks or electric consuming industries, which utilize the energy piles for heat exchange purposes. The economical and executional concerns of the issue are discussed, as well.*

Keywords: *Energy piles, electric power industries, direct and indirect usages, operational characteristics, economic and environmental studies.*

A Brief Review of the Geothermal Energy

Energy resources are categorized into renewable and nonrenewable energies. The repeatable and stable sources of energy are called the renewable energy, like Wind, Biomass, Tidal, Solar and Geo-thermal energies. On the other hand, Nuclear, Coal, Oil, Natural Gas fuels are the nonrenewable forms of energies.

The origin of geothermal resources results from the nuclear interactions, which take place inside the earth. The various resources of geothermal energies are classified in the two groups of shallow and deep resources and the depth of the deep resources is more than 200 m. These resources consist of hydrothermal and developed resources, which naturally contain fluid for heat exchanging, and lacks enough fluid to exchange the energy, respectively. One of the direct applications of the deep geothermal resources is extracting energy for generatin power. In addition, there are more utilization like heating or cooling systems, agriculture, animal husbandry, industrial applications and water treatment (Garakani, 2017).

The shallow resources which are limited to the less than 200 m includes the open and the close systems. In the open systems, the water is extracted from the known place and after the exchanging of the energy it will be injected to the same place from which it was extracted. The shallow resources of geothermal energy are widely used for cooling and heating systems (Nooraliei, 2015).

Geo-Thermal Structures and Energy Piles

The geo-structures that are used to exchange heat are divided into two separated systems, namely open and close systems. In open systems, the groundwater enters into the heat exchanger and returns back to the ground level where it was not extracted. In contrary, in closed systems, the extracted water is injected into the same place where it was extracted. In general, the heat exchanger geo-structures comprise of heat exchanger borehole, energy pile, energy tunnel, the shallow foundation of energy, sewage system of energy, energy wall, energy well, and energy column (Brandl 2006).

The borehole heat exchanger is a vertical borehole that is excavated near the energy consuming structure. In this case, set of pipes are placed inside the borehole and the exchange of energy is performed using an intermediate fluid. Another type of heat exchanging system is the energy tunnel, in which the contact area of the tunnel and the ground makes an efficient path to exchange the energy. The shallow foundation system is the other type of heat exchanger that is highly applicable due to the wide contact areas between the foundation and the upper ground surface, which exceeds the transformation of the energy. Energy wall is regarded as an option to exchange the energy, in which the sewage system is placed in ground depths and it is possible to implement considerable flow of water for energy exchanging. Energy column is established to exceed the consolidation process in soil (Adam and Markiewicz 2009, Rees 2016).

Energy piles play the same role as the structural piles (Fig. 1). Energy piles have both the structural and heat exchanging functions at the same time. The design of energy

piles should satisfy the fact that heat exchanging procedure should not disturb the load transferring procedure. The best-known application of energy pile is cooling and heating the domestic and commercial building. Energy piles provide the underfloor heating system with sufficient fluid to exchange the energy. This system can be applied to deice the runways. Furthermore, energy piles are implemented under the cereal silos to help the process of cereals drying. Switzerland, Austria, Germany, Great Britain are the pioneers through the using of energy piles. Australia, Japan, China, Netherland and United State are the new comers in the utilization of energy piles (Hamada, Saitoh et al. 2007, De Moel, and Bach et al. 2010).

In addition to residential or commercial structures, industrial implementation of energy piles is still a challenging field of interest for researchers and engineers. One of the best possible industries in which the shallow heat exchanging systems can be implemented is “electric power industry”. Energy piles can be used for both “direct” and “indirect” purposes in electric power industries. In “direct” implementations, energy piles are used for heat exchanging (cooling or heating) in electric power facilities to increase using the renewable energy. In “indirect” implementations, energy pile can be used in electricity consuming industrial centers. Both types of implementation can help reduce using non-recoverable sources of energies.



Fig. 1: Implementation of Energy Piles in: Left) Keble College, UK. and, Right) a Walk Road in Japan

Direct Application of Energy Piles in the Electric Power Industry

The direct application of energy pile in electric power industry can potentially results from cooling or heating demands in which large amount of energy consumes. To minimize the energy consumption, introducing energy pile into the power industry can be highly taken into attentions. The direct applications of energy piles in electric power industry is considered for cooling towers, electrical transformers, pre-heating

the raw material and closed cooling water systems in gas plants.

Cooling Towers

Cooling towers are of the most important facilities in electric power plants (Fig. 2). This section exceeds the process of cooling water using evaporation. Through the process of evaporation, large amounts of water evaporate to the air. The high volumes of water, which is used in the cooling tower; plus, wasting water through evaporation describe the needs for finding a more efficient solution. The water flux in cooling towers is on average of 50000 m³/h. Hence, utilization of energy piles in cooling towers for cooling partial amounts of water can be regarded as a valuable idea (Garakani, 2017).



Fig. 2: Cooling Towers in Electric Industries

Cooling Process of Electrical Transformer

Transformers are among the most fundamental components in electricity transmission lines. Transformer is a component, which changes the level of electric voltage for different utilizations. Transformers generate a lot of heat during work and the need for the cooling process is inevitable. In addition, due to the high weight of transformers structure, strong foundation structures are needed to be placed beneath the main body of transformers to transfer the loads to the ground. The utilization of the energy pile in cooling system of transformers is a unique recommendation since the dual function of the energy piles (heat exchanging and structural load bearing) satisfies the needs for the cooling system and the bearing foundation. The fluid flow rate in cooling system of the transformer is on the average of 5 m³/h which matches the working characteristics of the typical energy pile systems (Garakani, 2017). The functional specifications of the cooling towers and cooling system of the transformers are presented in Table. 1.

Table 1: Functional Specification of the Cooling Tower and Cooling system of Transformer (Garakani, 2017)

Power Plant	Input Temperature (°C)	Input Temperature(°C)	Flux (m³/hr)
Cooling Tower	35	27	42000
Transformer Cooling System	30	40.4	3.4

Pre-Heating the Raw Material

In the electric power industry, sometimes it is needed to pre-heat the primary raw materials. For example, in thermal power plants, it is necessary to warm up gasoline or crude oil before entering the combustion chamber, or in boilers the inlet air must be preheated before entering the circulating procedure.

The flow rate of the consuming fuels is typically below 5 m³/hr. In addition, the volume of the air, which enters to the boilers, is about 120 kg/s. Hence, implementing the energy piles is possible for pre-heating the aforementioned materials (Garakani, 2017).

Indirect Applications of Energy Piles

In this section, the utilizations of energy pile in electric consuming industries like oil industry, steel industry, and greenhouse ventilation systems is demonstrated.

Oil industry

Heat exchangers are widely utilized in the oil industry. The fractionating column is the essential part of distillation procedure. To separate the mixture of crude oil in this column the heat exchangers are used. Furthermore, the gas and oil reservoirs are placed in a deep depth of ground; a suitable place to extract geo-thermal energy. The inlet temperature of distillation tower is about 15-30°C which is regarded as the certified temperature for the utilization of energy piles.

Steel Industry

The steel industry is the basic economical foundation of the developed countries. The index of steel consumption is a criterion to evaluate the economical level of the country. Various heat exchangers are installed in the purifying process of ore. For instance, the outlet gases from the purifying process enter to the cooling system. In addition, some facilities like compressors, drier and the hydraulic section need to the cooling systems. Using energy piles in the steel industry can be taken into consideration.

Greenhouse Ventilation System

Based on their application, the temperature of greenhouses should be selected with respect to the treated plants. Generally, the favorable temperature for plants is about 65 °F. Thus, utilization of heating system in the greenhouses is inevitable. There are various methods to heat the greenhouses like using pipes on the surface of the soil, utilization of pipes on the surface of the lateral walls of the greenhouse, and using the unit heaters. Based on the functional properties of these systems, energy piles can satisfy the heating demands in greenhouse systems.

Food Production Industry

Utilizations of heat exchanger in the food and dairy industries are widely taken into consideration. For instance, milk and cream pasteurization, milk and cream cooling, thermal treatment of cream, cooling and heating oil and fat are regarded as the applications of heat exchanger in the food, dairy and drink industry. Based on the functional performance of the heat exchangers in the food industries, energy piles can be used for extracting the geo-thermal energies.

Economic and Environmental Evaluation of Energy Piles

In this research, a complete economic study has been performed to compare the cost of heating or cooling the electric power facilities for different types of energy sources. Accordingly, the average cost values for producing 1 MW.hr energy for cooling or heating purposes in electric power industries are presented in Table 2. As shown in Table 2, the very low cost of using the energy piles in compare to other sources of energy is very significant.

Table 2: Economic Comparison between Different Types of Energy Resources Used for Cooling or Heating Demands in Electric Power Industries

Energy Type	Fossil Fuels	Solar energy	Wind energy	Hydro-power plant	Biomass energy	Geo-thermal resources	Energy Piles
Cost (US\$/MW.hr)	133.3	77.8	73.3	50.0	93.3	115.6	40.0

Despite the fact that the renewable forms of energy have negligible effects on the environment, extracting energy poses destructive manipulations on the environment and the various cycles of producing power slightly change the environment. Fig. 3 demonstrates the production of carbon dioxide per different methods of the energy generating. As it is depicted, the production of carbon dioxide for the fossil fuel is drastically high among other types of energy production. On the other hand, energy piles create the lowest environmental pollution among other sources of energy.

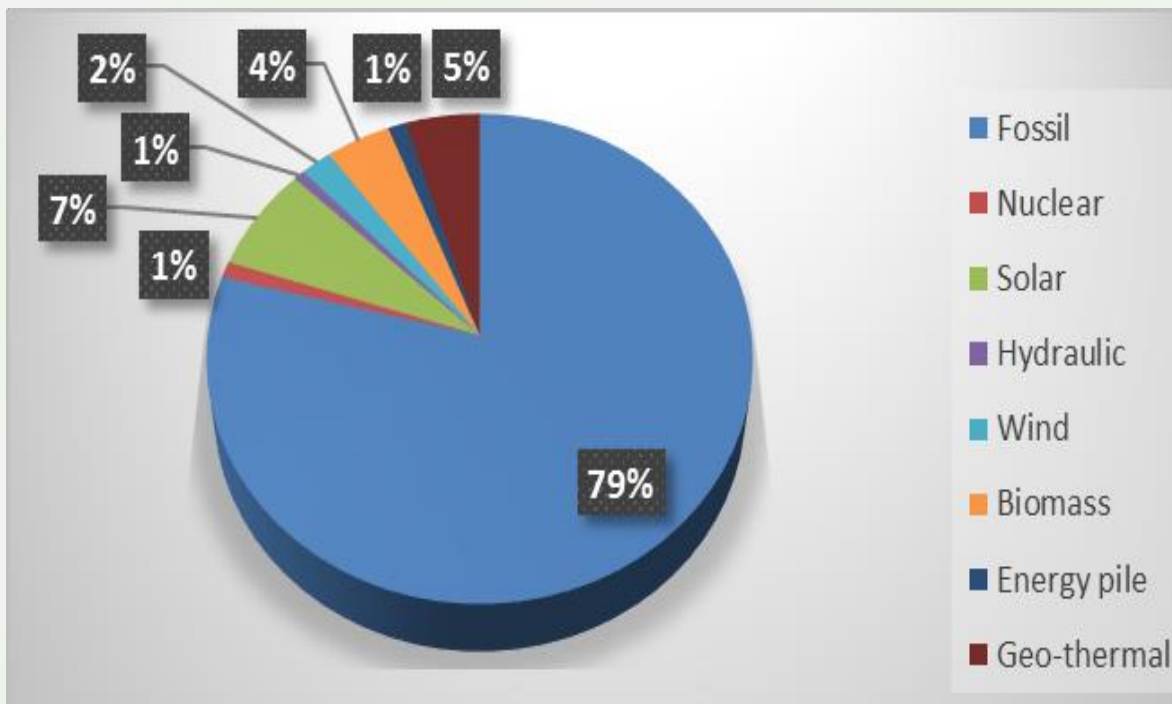


Fig. 3: The mount of greenhouse production (grams of CO₂ per KW/h)

Conclusion

In this paper, a feasibility study on implementing the energy piles in electric power industries is investigated. The utilizations of energy pile in the power industry are divided into the two direct and indirect sections. Cooling towers, cooling system of electrical transformers, pre-heating the raw materials and closed cooling water systems are the examples for direct applications of energy piles and, oil, steel and food industries are the indirect utilizations of this clean source of energy. Based on the functional specifications and economic-environmental considerations, the utilizations of the energy piles in electric power facilities or electric consuming industries are worth to be taken into account.

References

- [1] Nooraliei, j (2015) Strategic Document and Road Map for Development of Geothermal Energy Related Technologies, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
- [2] Garakani, A. A (2017) A Feasibility Study on Implementation of the Energy Piles in Electric Power Industry, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.
- [3] Adam, D. and R. Markiewicz (2009) Energy from earth-coupled structures, foundations, tunnels and sewers. *Géotechnique* 59(3): 229-236.

- [4] Brandl, H. (2006) Energy foundations and other thermo-active ground structures, *Geotechnique* 56(2): 81-122.
- [5] De Moel, M., P. M. Bach, A. Bouazza, R. M. Singh and J. O. Sun (2010) Technological advances and applications of geothermal energy pile foundations and their feasibility in Australia." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9): 2683-2696.
- [6] Hamada, Y., H. Saitoh, M. Nakamura, H. Kubota and K. Ochifuji (2007) Field performance of an energy pile system for space heating." *Energy and Buildings* 39(5): 517-524.
- [7] Lindal, B. (1973) Industrial and other applications of geothermal energy: (except power production and district heating).
- [8] Rees, S. (2016) *Advances in ground-source heat pump systems*, Woodhead Publishing.

در این بخش، خلاصه‌ای از وضعیت پروژه‌های در حال انجام و جلسات تخصصی برگزار شده در گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق ارائه می‌شود. این پروژه‌ها و جلسات به بازه زمانی شهریور ۱۳۹۶ تا انتهای خرداد ۹۷ مربوط می‌باشد.

پروژه‌های در حال انجام

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: امانی
همکاران پروژه: علی اصغر ذکاوتی، امیر اکبری گرکانی، آزاده گودرزی، سلمان رضازاده، علیرضا رهنورد	مدیر پروژه: محمد علی جعفری
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۶۶٪	مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۱۲/۲۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۵/۱۱/۲۰
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • شناسایی کلی انواع مخاطرات جوی موجود در کشور و دسته‌بندی آن‌ها • تعیین وضعیت آسیب‌پذیری شبکه برق در برابر مخاطرات جوی بصورت کیفی • بررسی سوابق موجود و نیازسنجی در خصوص تعیین پارامترهای مشخصه مخاطرات جوی در کشور و پهنه‌بندی آن‌ها • تعیین اقدامات و سیاست‌های مورد نیاز و تهیه برنامه و نقشه راه برای شناسایی، اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات جوی در کشور 	

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: امانی
همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی، محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، سوده صمیمی	مدیر پروژه: علیرضا رهنورد
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۶۲٪	مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۷/۲۳	تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۰۱/۲۳
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • شناسایی کلی انواع مخاطرات زمینی موجود در کشور و دسته‌بندی آن‌ها • تعیین وضعیت آسیب‌پذیری شبکه برق در برابر مخاطرات زمینی بصورت کیفی • بررسی سوابق موجود و نیازسنجی در خصوص تعیین پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور و پهنه‌بندی آن‌ها • تعیین اقدامات و سیاست‌های مورد نیاز و تهیه برنامه و نقشه راه برای شناسایی، اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور 	

عنوان پروژه: تدوین دانش فنی طراحی، اجرا و آزمون استفاده از شمع‌های انرژی در برج فنآوری‌های نوین برق حرارتی	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: حوزه ریاست و روابط عمومی	نوع پروژه: امانی
همکاران پروژه: امید قاسمی فرغ، محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، یاسین ولی‌تبار، محسن هاتقی	مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی
درصد پیشرفت پروژه: پروژه اخیراً شروع شده است.	مجری پروژه: هادی نظریور
تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۱۰/۱۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۷/۰۴/۱۵
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • اجرای شمع انرژی برای اولین بار در ایران و بومی‌سازی دانش فنی طراحی شمع‌های انرژی در کشور • تدوین روش طراحی شمع‌های انرژی به عنوان المان باربر سازه‌ای و المان تأمین‌کننده قسمتی از انرژی گرمایشی (یا سرمایشی) یک ساختمان اداری • تدوین دانش اجرا و روش آزمون شمع‌های انرژی • صحت‌سنجی توأمان تحلیل، آنالیز عددی و آزمون‌های برجا در عملکرد باربری و تغییر شکل‌پذیری شمع‌های انرژی 	

اخبار پروژه‌ها و جلسات تخصصی گروه

عنوان پروژه: تدوین دانش فنی طراحی مکانیکی، اجرا و آزمون شمع‌های ماریپیچ در دکل‌های مشبک ۶۳ کیلوولت	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: امانی
همکاران پروژه: محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، سوده صمیمی، محمدرضا جهانشاهی، هدیه سه‌لاتهنه	مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۱۸/۵٪	مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۹۸/۰۲/۰۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۱۲/۲۹
اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:	
<ul style="list-style-type: none"> • تدوین روش طراحی شمع‌های ماریپیچی به عنوان عنصر اصلی باربری پی در دکل‌های ۶۳ کیلوولت • تدوین دانش اجرا و روش آزمون شمع‌های ماریپیچی • صحت‌سنجی توأمان تحلیل، آنالیز عددی و نتایج آزمون‌های برجا در ظرفیت باربری شمع‌های ماریپیچ 	

عنوان پروژه: امکان‌سنجی، طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه کراس‌آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۱۳۲ یا ۲۳۰ کیلوولت آویزی دو مداره با توجه به انتخاب گزینه برتر	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی معاونت مربوطه: انتقال	نوع پروژه: (امانی - پیمانی)
همکاران پروژه: محمد علی جعفری، علی سعیدی، مصطفی شرفی، کیوان فیروزی، یاسر احمدی	مدیر پروژه: علی اصغر ذکاوتی
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۷۲٪	مجری پروژه: صفر فرضعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۱۳۹۷/۰۵/۲۰	تاریخ شروع پروژه: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷
اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:	
<ul style="list-style-type: none"> • بررسی سوابق موضوعی ساخت کراس‌آرم‌های کامپوزیتی در خطوط انتقال نیرو • بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های ساخت، نگهداری و افزایش عمر • بررسی گزینه‌های مختلف و انتخاب گزینه برتر • ساخت کراس‌آرم و انجام آزمون‌های مرتبط • تدوین و توسعه دانش فنی استفاده از کراس‌آرم‌های کامپوزیت در دکل‌های خطوط انتقال نیرو 	

عنوان پروژه: بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانو ساختار	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: معاونت پژوهشی - پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی
مدیر پروژه: آزاده گودرزی	همکاران پروژه: علی اصغر ذکاوتی، سپیده صفری، مهرداد کریمی، روزبه مولایی
مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۲۳٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۱۲/۲۹	تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۸/۰۱
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • به منظور بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق به شناسایی و بررسی انواع مواد نانو ساختار و موارد کاربرد آن‌ها در مصالح سازه‌ای پرداخته می‌شود. • ادبیات فنی، سوابق موضوعی، دانش‌ها و فناوری‌های به روز جهانی مرتبط با بهبود وضعیت خاک بستر سازه‌ها و همچنین مصالح سازه‌ای با به کارگیری مواد نانو ساختار مطالعه و گردآوری می‌شود. • با شناسایی و بررسی شرکت‌های فعال در زمینه تولید مواد نانو ساختار مورد استفاده در سازه‌ها، امکان بکارگیری و استفاده از این مواد در کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. • تطبیق دانش‌های فنی و فناوری‌های نوین جهانی در ارتباط با بکارگیری مواد نانو ساختار در سازه‌های صنعت برق با اسناد بالادستی کشور و نیازهای آتی صنعت برق کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد و چرخه‌ی عمر فناوری و بازار استفاده از مواد نانو در سازه‌های صنعت برق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. • به منظور بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق، فهرست و دسته‌بندی مواد نانو ساختار کاربردی در این سازه‌ها و روش‌های توسعه‌ی بکارگیری آن‌ها در کشور و مزایا و معایب آنها ارائه می‌شود. • فهرست طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با بکارگیری آن‌ها به منظور تسریع توسعه‌ی این فناوری و نیل به ارزش‌های صنعت برق و انرژی کشور و تعیین مسیر روشن برای محققین در جهت تدوین سندهای راهبردی به جهت بکارگیری این مواد در سازه‌های صنعت برق، ارائه می‌شود. 	

اخبار پروژه‌ها و جلسات تخصصی گروه

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: امانی
همکاران پروژه: محمد علی جعفری	مدیر پروژه: سلمان رضازاده
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۵۰٪	مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۹۸/۲/۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۶/۱
<p style="text-align: center;">اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تعیین ضرورت ارزیابی و مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های صنعت برق • مرزبندی فنی و شناسایی انواع سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق • تدوین راهبردهای ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های صنعت برق 	

عنوان پروژه: طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو	
کارفرما: توانیر معاونت مربوطه: فناوری	نوع پروژه: پیمانی
همکاران پروژه: محمد علی جعفری	مدیر پروژه: سلمان رضازاده
درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۹۵٪	مجری پروژه: صفر فرضعلی‌زاده
تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۵/۱۰	تاریخ شروع پروژه: ۹۴/۴/۱۰
<p style="text-align: center;">اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تحلیل آماری کمیت‌های هواشناسی مرتبط با خطوط انتقال نیرو • تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای جوی مورد نیاز جهت بارگذاری خطوط انتقال نیرو • استخراج مقادیر کمیت‌های هواشناسی بر اساس دوره‌های بازگشت متفاوت 	

جلسات تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق

مکان	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	موضوع جلسه	تاریخ جلسه
دفتر گروه سازه	اعضا شورای راهبری	بررسی عناوین پیشنهاد شده طرح استاد از طرف دانشگاه‌ها	۹۶/۱۰/۱۹
دفتر گروه سازه	اعضا گروه سازه و نمایندگان پژوهشگاه زلزله	طرح تفصیلی و طرح استاد پژوهشگاه زلزله	۹۶/۱۰/۱۱
ساختمان چمران	اعضا گروه سازه، دکتر نظریور / دکتر مهدوی‌نیا	معماری انرژی در ساختمان‌ها	۹۶/۱۱/۰۲
دفتر گروه سازه	اعضا گروه سازه / علی اصغر ذکاوتی	ارائه پروژه «بکارگیری میکروپایل در فونداسیون های دکل های خطوط انتقال»	۹۶/۰۹/۲۱
سالن کنفرانس شهید عباسپور	اعضا گروه سازه / محمد علی جعفری	ارائه پروژه «تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن در سطح کشور»	۹۶/۱۰/۱۱
سالن کنفرانس شهید عباسپور	اعضا گروه سازه و / دکتر شاهرخ رضایی	معرفی فناوری جدید برای مقاوم‌سازی سازه‌های زیربنایی در برابر زلزله	۹۶/۱۰/۲۵
سالن کنفرانس ساختمان فناوری	اعضا گروه سازه / سلمان رضازاده	ارائه پروژه «پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال برق کشور»	۹۷/۰۱/۲۷
دفتر گروه سازه	اعضا گروه سازه / آزاده گودرزی	ارائه پروژه «فاز صفر سیاست پژوهی در حوزه سازه‌های بخش تولید صنعت برق»	۹۷/۰۲/۲۴
دفتر گروه سازه	اعضا گروه سازه / امیر اکبری گرکانی	ارائه پروژه «امکان‌سنجی استفاده از شمع‌های انرژی در صنعت برق»	۹۷/۰۳/۰۸
دفتر گروه سازه	اعضا گروه سازه	برگزاری جلسه هم‌اندیشی به منظور پیاده‌سازی مقدمات مورد نیاز برگزاری سمینار تخصصی شمع انرژی	۹۷/۰۳/۲۸
سالن کنفرانس ساختمان توربین بادی	اعضا گروه سازه، / دکتر بهشتی	پروژه مهاربند جدید پره‌ای	۹۷/۰۳/۲۹

در این بخش در خصوص انتشارات علمی اعضای گروه در سال ۱۳۹۶ اطلاعاتی ارائه خواهد شد.

▪ مقالات ژورنالی ISI

- [1] Naghizadehrokni, M., **Choobbasti, A. J.**, & Naghizadehrokni, M. (2018). Liquefaction maps in Babol City, Iran through probabilistic and deterministic approaches. *Geoenvironmental Disasters*, 5(1), 2.
- [2] Mohammadi, M., & **Choobbasti, A. J.** (2018). The effect of self-healing process on the strength increase in clay. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(16), 1750-1772.
- [3] Rezaei, S., & **Choobbasti, A. J.** (2018). Evaluation of local site effect from microtremor measurements in Babol City, Iran. *Journal of Seismology*, 22(2), 471-486.
- [4] **Choobbasti, A. J.**, & Kutanaei, S. S. (2017). Microstructure characteristics of cement-stabilized sandy soil using nanosilica. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 981-988.
- [5] **A Choobbasti**, Mehran Naghizadehrokni, R Charaty. Microzonation of Liquefaction Hazard using Liquefaction Index in Babol City. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 2017, 48.
- [6] **Janalizadeh Choobbasti, A.**, & Soleimani Kutanaei, S. (2017). Effect of fiber reinforcement on deformability properties of cemented sand. *Journal of adhesion science and Technology*, 31(14), 1576-1590.
- [7] Rezaei, S., & **Choobbasti, A. J.** (2017). Application of the microtremor measurements to a site effect study. *Earthquake science*, 30(3), 157-164.
- [8] Ghasabkolaei, N., **Choobbasti, A. J.**, Roshan, N., & Ghasemi, S. E. (2017). Geotechnical properties of the soils modified with nanomaterials: A comprehensive review. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17(3), 639-650.
- [9] Soleimani Kutanaei, S., & **Janalizadeh Choobbasti, A.** (2017). Effects of nanosilica particles and randomly distributed fibers on the ultrasonic pulse velocity and mechanical properties of cemented Sand. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(3), 04016230.
- [10] Nabizadeh, F., & Choobbasti, A. J. (2017). Field Study of Capacity Helical Piles in Sand and Silty Clay. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 4(1), 3-17.

- [11] Zahmatkesh, A., & **Janalizadeh Choobbasti, A.** (2017). Calibration of an advanced constitutive model for Babolsar sand accompanied by liquefaction analysis. *Journal of Earthquake Engineering*, 21(4), 679-699.
- [12] **Zekavati, A.**, khodaverdian, A., **Jafari, M. A.** and Hosseini, A., (2017) "Investigating the performance of micropiled raft in foundation of power transmission lines towers in cohesive soil: Experimental and numerical study", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 55, No.3, pp. 312-328, DOI: 10.1139/cgj-2017-0027.
- [13] S.M. Haeri, **A. A. Garakani**, H. R. Roohparvar, Ch. Desai, S.M.H.S. Ghafouri, and K. Salemi, (2018), "Testing and Constitutive Modeling of Lime-Stabilized Collapsible Loess. I: Experimental Investigations ", ASCE, *International Journal of Geomechanics*, Accepted for publication.
- [14] **A. A. Garakani**, S.M. Haeri, Ch. Desai, S.M.H.S. Ghafouri, B. Sadollahzadeh, and H. H. Senejani, (2018), " Testing and Constitutive Modeling of Lime-Stabilized Collapsible Loess. II: Modeling and Validations", ASCE, *International Journal of Geomechanics*, Accepted for publication.
- [15] **A. A. Garakani**, A. Pirjalili and Ch. Desai, (2018) "An Analytical Model for Coefficient of Lateral Soil Pressure in Unsaturated Soils" *Canadian Geotechnical Journal*, Under review.
- [16] **A. A. Garakani**, S. M. Haeri, D. Yazdani, F. A. Givi, M. Kabiri, A. H. Hashemi, N. Chiti and F. Ghahremani, (2018) "Effect of road salts on the hydro-mechanical behavior of unsaturated collapsible soils", Elsevier, *Transportation Geotechnics*, Under review.
- [17] **A. A. Garakani**, H. Sadeghi, S. Saheb and A. Lamei, (2018) "Bearing capacity of shallow foundations on unsaturated soils: A new analytical approach with 3D numerical simulations" Elsevier, *Computers and Geotechnics*, Under review.

▪ مقالات ژورنالی ISC

[1] س. م. حائری، م. بیگی، س. صابری و ا. ا. گرکانی، (۱۳۹۷) «ارائه یک مدل هیدرومکانیکی اصلاح شده جهت پیش‌بینی رفتار غیر اشباع خاک‌های فروریزی در شرایط مکش ساختاری ثابت و تنش خالص میانگین متغیر»، مجله علمی و پژوهشی عمران شریف، مقاله پذیرفته شده، انتشار آنلاین از تاریخ ۳۱ خرداد ۱۳۹۷.

▪ مقالات کنفرانسی

[1] **A. A. Garakani**, E. M. Haghghi, A. Rahnavard, M. Beigi, M. Kabiri and T. Razmkhah, (2018). "A Feasibility Study on Implementing the Energy Piles in electric Power Industries". Accepted for oral presentation in International Symposium on Energy Geotechnics (SEG-2018), EPFL, Zurich, Switzerland.

[2] F. Jafarzadeh, **A. A. Garakani**, J. Maleki, M. Banikheir and R. Raesi, (2018). "Sealing Performance of Silveh Embankment Dam Cutoff Wall Based on Instrumentation

Measurements". Accepted for oral presentation in 83rd annual meeting of ICOLD, ATCOLD Hydro Engineering Symposium, Vienna, Austria.

[3] F. Jafarzadeh, **A. A. Garakani**, R. Raeesi, J. Maleki and M. Banikheir (2018). "Predicting Seepage Behavior of Silveh Earth Dam by Implementing 3D Numerical Modeling and Instrumental Measurements During First Impounding". Accepted for poster presentation in 83rd annual meeting of ICOLD, ICOLD Congress, Vienna, Austria.

[4] S. M. Haeri, S. M. Seyed Ghafouri and **A. A. Garakani**, (2018), "Pore Structure Evolution in Collapsible Loess Due to Lime-Stabilization", Accepted for oral presentation in 11th international congress on Civil Engineering, May 2018, Tehran, Iran.

[5] **Zekavati, A.A.**, Sharafi, M., Saeedi, A. A., (2018), "Design of composite cross arm based on the experimental results obtained from the 5% lower exclusion limit" The Biennial International Conference on Experimental Solid Mechanics (X-Mech 2018), 13-14 Feb., 2018, Tehran, Iran

[۶] ا. ا. گرکانی و ع. رهنورد، ۱۳۹۷، «بررسی لزوم توجه به مخاطرات زمین و اثرات آن بر سازه‌های صنعت برق»، یازدهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اردیبهشت ۱۳۹۷، دانشگاه تهران، ایران.

[۷] ذکاوئی، علی اصغر، جعفری، محمد علی، سعیدی، علی، «مطالعه تحلیلی طرح‌های مختلف کراس آرم کامپوزیت در دکل‌های انتقال نیرو به روش اجزاء محدود»، اولین کنفرانس بین‌المللی مکانیک مواد و تجهیزات پیشرفته، بهمن ۱۳۹۶، دانشگاه شهید چمران اهواز.

[۸] ذکاوئی، علی اصغر، رهنورد، علیرضا، «طراحی، ساخت و آزمون پایه های بتنی پیش‌تنیده H شکل شبکه توزیع برق»، سی‌ودومین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۹۶.

[۹] ذکاوئی، علی اصغر، جعفری، محمد علی، گودرزی، محمد، (۱۳۹۶) «بررسی فنی و اقتصادی مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم هوایی»، سی‌ودومین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان.