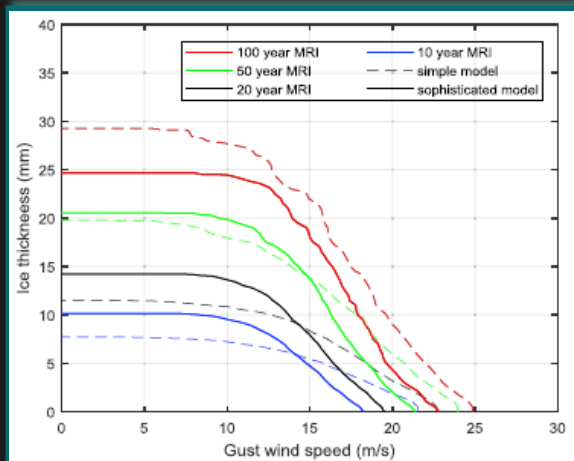
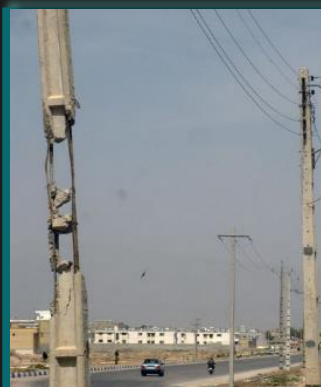
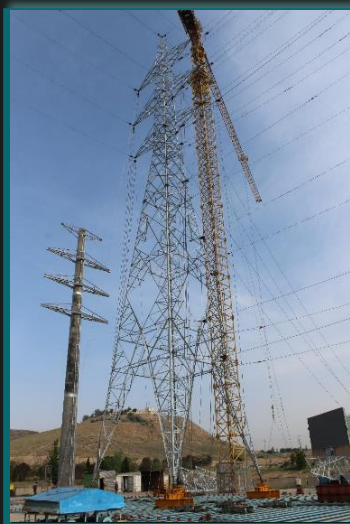
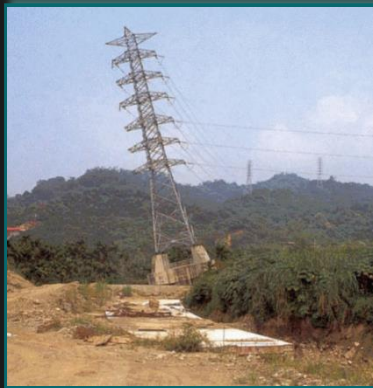




# بروزداد تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال ششم، شماره ۱۰، بهار ۱۴۰۰



- روش‌های تعیین مشخصات ترکیب برف و باد برای بارگذاری خطوط انتقال - محمد علی جعفری صحنه سرایی
- دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارده بر پایه‌های بتنی شبکه‌ی توزیع، بررسی دلایل و منشاء آسیب - علی اصغر دکاوتی
- اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سازه‌های صنعت برق و راه‌مخاست شناسایی و پهن‌بندی آنها - امیر اکبری کرکانی
- فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰ - آرش یگانه فلاح
- انتشارات علمی، پروژه‌ها و فعالیت‌ها

## گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➤ صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: علی اصغر ذکاوتی

سردبیر: محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی

مدیر اجرایی: محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی

ویراستار: علی اصغر ذکاوتی، سلمان رضازاده

گرافیکست و صفحه‌آرا: رفعت امینی

عکس روی جلد: محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی

➤ همکاران این شماره:

دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، دکتر امیر

اکبری گرکانی، مهندس علی اصغر ذکاوتی، دکتر

آرش یگانه فلاح، دکتر مائده ذاکر صالحی، مهندس

علیرضا رهنورد، مهندس سلمان رضازاده

➤ ناشر:

نشانی الکترونیکی: [estdept@nri.ac.ir](mailto:estdept@nri.ac.ir)

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای شهید دامن،

پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

➤ اعضای هیات تحریریه:

محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، مائده

ذاکر صالحی، سلمان رضازاده، امیر اکبری گرکانی،

علی اصغر ذکاوتی، آرش یگانه فلاح، علیرضا

رهنورد، آزاده گودرزی

➤ اعضای هیات داوران:

دکتر مائده ذاکر صالحی (استادیار)، دکتر امیر

اکبری گرکانی (استادیار)، دکتر آرش یگانه فلاح

(استادیار)، دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی

(استادیار)، مهندس علی اصغر ذکاوتی

(پژوهشگر)

➤ 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 برون‌داد تخصصی گروه پژوهشی

سازه‌های صنعت برق با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده

بر عهده نویسندگان است.

## فهرست مطالب

- ۱  سخن سردبیر / محمدعلی جعفری
- ۲  مقالات و مطالب پژوهشی
- ۳ روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال
- ۲۷ دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارده به پایه‌های بتنی شبکه‌ی توزیع، بررسی دلایل و منشاء آسیب
- ۴۷ اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سازه‌های صنعت برق و ره‌نگاشت شناسایی و پهنه‌بندی آنها
- ۵۸ فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰
- ۶۱  انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی
- ۶۳  پروژه‌ها و فعالیت‌های گروه سازه‌های صنعت برق
- ۷۷  جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰

## سخن سردبیر

آغاز نشریه علمی، به سان طلوعی نوین در عرصه آگاهی و دانش است. پاس و ستایش خداوند را که به لطف او با بهجاری اعضا محترم گروه پژوهشی سازه های صنعت برق تدوین و محارث نسخه دیگری از بروندهای تخصصی گروه حاصل شد.

در این شماره از نشریه، بخشی از برون دادهای محورهای تخصصی، فعالیت های پژوهشی اعضای محترم گروه و اخبار مرتبط در بازه ی زمانی زمستان ۱۳۹۹ و بهار سال ۱۴۰۰ ارائه می گردد. در این راستا، در ابتدا مقالاتی در ارتباط با روشهای تعیین مشخصات ترکیب سنج و باد در بارگذاری خطوط انتقال نیرو، دستبندی و حمل آسیب پدیده های تندی توزیع و اولویت بندی و نقشه راه مطالعات پهنه بندی مخاطرات زمینی ارائه شده و سپس مختصری از فعالیت های آزمایشگاه مرجع ارکان و عمده فعالیت های گروه گزارش می شود. سپس خلاصه ای از بهجاری اساتید دانشگاه با طرح های بهتام و همچنین جلسات تخصصی برگزار شده در گروه ارائه می گردد.

در پایان از تمامی اعضا محترم گروه که به نوعی در تدوین و محارث این نشریه سهم بوده اند تشکر و قدردانی می گردد.

محمد علی حسینی صفحه سرایی

عضو هیات علمی گروه سازه های صنعت برق



## مقالات و مطالب پژوهشی

## روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال

محمدعلی جعفری<sup>۱</sup>، سلمان رضازاده<sup>۲</sup>

### چکیده:

یکی از حالات بارگذاری در خطوط انتقال نیرو، حالت ترکیب همزمان باد و یخ می‌باشد که در بسیاری از حالات، موجب ایجاد نیروهای افقی ترانس قابل توجه بر خطوط و دکل‌های انتقال شده و می‌تواند در طراحی دکل‌های انتقال تعیین کننده باشد. از اینرو تعیین مقادیر واقع‌بینانه و منطبق با شرایط جوی کشور از مقادیر پارامترهای طراحی یخ و باد همزمان از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در تأمین قابلیت اطمینان بهینه و اقتصادی در طراحی خطوط، مؤثر می‌باشد. روش‌ها و رویکردهای مختلفی برای بیان الزامات مربوط به این حالات بارگذاری در استانداردهای مختلف بکار گرفته شده‌اند. عمده روش‌های ارائه شده در استانداردها، روش‌های ساده شده‌ای هستند که پارامترهای آنها با استفاده از روش‌های دقیقتر، کالیبره شده و برای استفاده عملی در بارگذاری و طراحی خطوط انتقال، ارائه شده‌اند. در این گزارش، مروری بر رویکردهای مختلف بارگذاری در حالت ترکیب یخ و باد در استانداردهای مختلف و روش‌های مختلف برای تعیین مشخصات این حالات بارگذاری، ارائه شده‌اند.

**کلیدواژه:** خطوط انتقال نیرو، یخ و باد همزمان، ضرایب کاهشی، نمونه‌گیری مونت کارلو، دوره بازگشت

### مقدمه:

متغیرهای بارگذاری یخ و باد همزمان بر خطوط انتقال نیرو شامل ضخامت شعاعی معادل (یا وزن) یخ تشکیل شده حول سیم هادی و سرعت باد همزمان با یخ هستند. فعالیت‌های تحقیقاتی و مطالعاتی گوناگونی در نقاط مختلف دنیا (و عمدتاً در کانادا) برای تعیین بار یخ و همچنین بار حاصل از ترکیب یخ و باد (نیروی باد وارد بر هادی پوشیده از یخ) در خطوط انتقال نیرو انجام شده که نمونه‌هایی از مهمترین آنها در ادامه بطور مختصر معرفی

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق، پست الکترونیکی [mjafari@nri.ac.ir](mailto:mjafari@nri.ac.ir)

<sup>۲</sup> پژوهشگر گروه سازه‌های صنعت برق، پست الکترونیکی [srezazadeh@nri.ac.ir](mailto:srezazadeh@nri.ac.ir)

شده‌اند. موسیلک و همکاران یک مدل شبیه‌سازی برای پیش‌بینی وقوع طوفان‌های یخ و باد و تخمین پارامترهای آنها و همچنین تخمین اثر آنها بر خطوط انتقال ارائه دادند. مدل مذکور با هدف انجام اقدامات آمادگی مورد نیاز برای مدیریت بحران‌های حاصل از خسارات وارد بر خطوط انتقال در اثر طوفان، تهیه شده و به کار می‌رود. [۶]

مک‌کامبر و همکاران (۱۹۸۳) به بررسی نیروهای اثرودینامیکی حاصل از باد بر روی هادی پوشیده شده از یخ پرداختند. آنان با لحاظ سه نوع یخ و با استفاده از تست تونل باد، نیروهای وارد بر هادی را به ازای سرعت‌های مختلف باد همراه با یخ (حاصل از داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت باد در دمای زیر صفر درجه سانتیگراد در تعدادی از فرودگاه‌های کانادا)، اندازه‌گیری کرده و اثر شکل یخ را بر این نیروها بررسی نمودند. [۷] کریشناسامی و طباطبایی (۱۹۹۰) با استفاده از روش تحلیلی به بررسی نیروهای باد وارد بر هادی در دو حالت با و بدون پوشش یخ در ۳۰ ایستگاه هواشناسی در ایالت اونتاریوی کانادا پرداختند. در این مطالعه از روش شبیه‌سازی و با استفاده از داده‌های ثبت شده هواشناسی (روش شبیه‌سازی در مقاله دیگری از ایشان در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است)، برای تعیین ضخامت یخ و سرعت باد در زمان وجود یخ استفاده شده است. [۸] کریشناسامی و کالندران (۱۹۹۸) روش ساده‌ای برای تعیین سرعت باد حدی همزمان با یخ (بصورت نسبی از سرعت باد حدی طراحی) ارائه دادند. در این روش با محاسبه نیروی باد وارد بر هادی یخ زده در رویدادهای مختلف یخ شبیه‌سازی شده در ۳۰ ایستگاه هواشناسی و تحلیل آماری این نیروها، مقادیر سرعت باد حدی همراه با یخ را به نحوی ارائه دادند که منجر به نیروی حدی شود. در نهایت نسبت سرعت باد همراه با یخ به سرعت باد حدی در قالب یک ضریب برای استفاده در طراحی ارائه گردید که مقدار آن بین ۰.۴۵ و ۰.۷۵ قرار داشته و دارای میانگین ۰.۵۶ و انحراف معیار ۰.۰۷ (در ۳۰ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی) می‌باشد. [۹] فرزانه و ساواجو فعالیت‌های تحقیقاتی گسترده‌ای در زمینه اندازه‌گیری و تعیین اثر یخ بر خطوط انتقال نیرو در کانادا انجام داده‌اند که نمونه‌هایی از مهمترین آنها در [۱۰] الی [۱۲] ارائه شده‌اند. عمده فعالیت‌های شاخص این محققین بر مبنای اندازه‌گیری پارامترهای یخ در منطقه کبک

کانادا می‌باشد. در [۱۰] پارامترهای آماری یخ که برای تحلیل آماری ترکیب باد و یخ مورد نیاز است، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده از ۱۵۰ تست یخ در منطقه کبک کانادا ارزیابی و تعیین شده‌اند. [۱۰] اطلاعات حاصل از پارامترهای آماری حاصل شده در [۱۰] برای ارائه یک مدل آماری باد همراه با یخ و تعیین پارامترهای آن برای طراحی خطوط انتقال، استفاده شده و نتایج حاصله در [۱۱] ارائه شده است. در تحقیق مذکور با استفاده از شبیه‌سازی آماری، مقدار سرعت باد همراه با یخ حدی (به ازای دوره بازگشت معین) در قالب یک ضریب کاهش<sup>۱</sup> ارائه شده است. ضریب کاهش در واقع بر مقدار سرعت حدی باد (ماکزیمم سالانه) اعمال شده و سرعت حدی باد همراه با یخ را بدست می‌دهد. نتایج حاصله نشان دادند که مقدار ضریب کاهش مذکور در منطقه کبک کانادا، بسته به ضریب تغییرات توزیع اولیه سرعت باد ساعتی و دوره بازگشت مورد نظر در بازه 0.4 الی 0.7 متغیر است. مجموعه ارزشمندی از فعالیتها و تجربیات فرزانه و همکاران در زمینه بار یخ و ترکیب بارهای باد و یخ وارد بر خطوط انتقال نیرو، در مرجع [۱۲] گردآوری و ارائه شده است. جونز و همکاران (۲۰۰۲) در [۲] فعالیت-های انجام شده در خصوص تهیه نقشه پهنه‌بندی بار یخ و باد همراه با آن را در راهنمای ASCE (شماره ۷۴) ارائه کرده‌اند. برای تعیین ضخامت یخ با توجه به فقدان داده‌های اندازه‌گیری شده به میزان مناسب، از روش شبیه‌سازی CREEL استفاده شده است. در کنار تعیین ضخامت یخ در هنگام وقوع رویداد یخ‌زدگی، سرعت باد همراه با یخ نیز از داده‌های هواشناسی پایه، تعیین شده و با محاسبه نیروی حاصله و انجام تحلیل‌های آماری روی آن، مقدار حدی نیرو و مقادیر ضخامت حدی و سرعت حدی باد همراه با آن به ازای دوره‌های بازگشت مختلف تعیین و بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی (برای دوره بازگشت ۵۰ سال) و جدول ضرایب تبدیل (برای سایر دوره‌های بازگشت) در ASCE ارائه شده‌اند. [۲] یانگ (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی ثبت شده در سایت آزمایشی مونت‌بلیر در کبک کانادا، پارامترها و ویژگی‌های آماری یخ و باد همراه با آن را تعیین و بررسی کرده است. [۱۳]

<sup>۱</sup> - Reduction Factor



هنسون و استوارت (۲۰۰۷) با استفاده از شبیه‌سازی آماری به روش زنجیره مارکوف بر اساس داده‌های ثبت شده هواشناسی در فرودگاه دروال در مونترال کانادا، دوره بازگشت رویدادهای یخ شدید<sup>۱</sup> را مورد بررسی قرار دادند. [۱۴] مارالباشی زمینی (۲۰۰۷) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دو و سه متغیر ورودی، مدلی را برای پیش‌بینی نوع یخ تشکیل شده بر هادی‌های خطوط انتقال توسعه داد. داده‌های مورد استفاده برای یادگیری شبکه عصبی بر اساس توابع مرجع IEC که نوع یخ را به دما و سرعت باد مرتبط می‌کنند، ایجاد شدند. [۲۰] ویرینگ و فیکه (۲۰۱۱) اقدامات انجام شده در راستای به روزرسانی پهنه بندی پارامترهای جوی یخ و باد و ترکیب یخ و باد را برای انگلستان طبق استاندارد BS-EN-50341&50423 را ارائه کرده‌اند. [۱۵] یانگ و همکاران (۲۰۱۰ و ۲۰۱۳) با استفاده از یک مدل احتمالاتی، احتمال خرابی خطوط انتقال را تحت اثر طوفانهای یخی<sup>۲</sup> بدست آوردند. آنها برای مدلسازی احتمالاتی پارامترهای طوفان یخی، از توزیع احتمال کلی پارتو برای سرعت باد و باران یخی رخ داده در طوفان یخ استفاده کرده و سپس با استفاده از تابع کوپولا<sup>۳</sup>، توزیع احتمال مشترک آنها را بدست آوردند. [۲۱] و [۲۲] آنها همچنین در سال (۲۰۱۱) روش نوینی بر اساس ترکیب یادگیری حدی ماشین (ELM)<sup>۴</sup> و تابع کوپولا برای پیش‌بینی آسیب‌های وارد بر خطوط انتقال در اثر توفان‌های یخی ارائه کردند. [۲۳] وانگ و رزوسکی (۲۰۱۳) روشی آماری را برای تعیین مشخصات ترکیب بارهای حاصل از باد و برف جهت استفاده در طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد<sup>۵</sup> ارائه کردند. در این روش رخداد‌های باد و برف (بصورت محتوای معادل آب) بصورت فرآیندهای تصادفی پالسی مدل شده و با استفاده از شبیه‌سازی آماری هریک (بصورت نمونه‌گیری سناریوهای سالانه به روش مونت کارلو) ترکیب شدند. نتایج حاصله بصورت کانتورهای خطر دو متغیره مشترک باد و برف به

<sup>1</sup> - Severe Icing Events

<sup>2</sup> - Ice Storms

<sup>3</sup> - Copula function

<sup>4</sup> - extreme learning machine

<sup>5</sup> - Performance-based design

ازای احتمال‌های فراگذشت مختلف، برای دو منطقه نمونه در آلبانی ارائه گردید. [۲۵] زورانسکی و سوبولوسکی (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های ثبت شده در ۱۲ ایستگاه هواشناسی در لهستان و تحلیل آماری آنها با استفاده از توزیع حدی گامبل و بررسی همبستگی آنها، منحنی‌های دو متغیره خطر (بار برف-فشار باد) به ازای دوره‌های بازگشت مختلف را به همراه ضرایب لازم برای ترکیب بارهای حاصل از باد و برف برای دوره بازگشت ۵۰ سال، ارائه کرده‌اند. [۲۶] سین و همکاران (۲۰۱۶) با شبیه‌سازی عددی وقوع رویدادهای باران یخ‌زن<sup>۱</sup> در غرب مرکزی آمریکا و تعیین توزیع احتمال سرعت باد و ضخامت یخ، توزیع احتمال مشترک آنها را با استفاده از شبیه‌سازی آماری استخراج کردند. سپس با استفاده از توزیع احتمال مشترک، منحنیهای خطر یخ و باد همزمان را تهیه و با الزامات بارگذاری ASCE-7 مقایسه کردند. [۳۱] یانگ و همکاران (۲۰۲۰) با در نظر گرفتن داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت باد و ضخامت یخ در جنوب غربی چین در طول نوامبر ۲۰۱۶ تا مارس ۲۰۱۸ و برازش توزیع احتمال حاشیه ای گامبل و ویبول به آنها، توزیع احتمال مشترک<sup>۲</sup> آنها را با استفاده از ۵۰۰ سال شبیه‌سازی مونت کارلو و بهترین تابع کوپولا<sup>۳</sup> در میان ۵ عدد تابع مورد نظر، تعیین و ارائه کردند. [۳۲] روسی و همکاران (۲۰۲۰) برای مطالعه ریسک وقوع ناپایداری دینامیکی (گالوپینگ) خطوط انتقال تحت اثر همزمان باد و یخ روی هادی، توزیع احتمال مشترک مقادیر خروج از مرکزیت (ضخامت نامتقارن) یخ و سرعت باد را بر اساس داده‌های واقعی هواشناسی بدست آوردند. [۳۳] آریاگا (۲۰۲۰) ویژگی‌های آب و هوا برای یک سایت خاص کوهستانی را بر اساس داده‌های تاریخی ۱۵ ساله به عنوان ورودی برای مدل‌سازی تشکیل یخ، تحلیل کرده و سپس، منحنی‌های خطر مشترک باد و یخ را با شبیه‌سازی ۵۰۰ سال از رویدادهای یخزدگی و با استفاده از توزیع احتمال مناسب یخ و سرعت باد همزمان با یخ، تهیه نمود. [۳۴]

<sup>1</sup> - Freezing Rain

<sup>2</sup> - joint probability distribution

<sup>3</sup> - Copula function

## ترکیب یخ و باد در استانداردهای مختلف بارگذاری:

پارامترهای طراحی برای محاسبه بارهای حاصل از حالت یخ و باد همزمان، به روش‌های مختلف در استانداردهای طراحی خطوط انتقال نیرو ارائه شده‌اند. معمولاً برای کاربردهای مهندسی و عملی در بارگذاری و طراحی خطوط انتقال، حالت ترکیب یخ و باد با استفاده از روش‌های ساده و تقریبی که با روش‌های دقیقتر کالیبره شده‌اند، ارائه می‌شود. در روش‌های ساده ارائه شده در استانداردها، مقادیر سرعت باد و ضخامت یخ برای حالت بارگذاری ترکیب یخ و باد همزمان، یا بصورت مستقیم و یا بصورت ضرایب اصلاحی در مقادیر حدی هر یک از آنها به تنهایی، ارائه می‌شوند. در ادامه، رویکرد و نحوه ارائه حالات بارگذاری ترکیب یخ و باد در تعدادی از استانداردهای معتبر جهانی و استاندارد بارگذاری ایران ارائه شده‌اند.

در استاندارد ASCE برای بارگذاری خطوط انتقال، مقدار سرعت باد همزمان<sup>۱</sup> با ضخامت یخ حدی برای مناطق مختلف بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شده است. نمونه‌ای از این نقشه‌ها در شکل ۱-۱ قابل مشاهده است. [۱] مقادیر سرعت باد همزمان با یخ در این استاندارد، بر اساس تحلیل آماری داده‌های سرعت باد ساعتی که برای تعیین ضخامت یخ مورد استفاده قرار گرفته‌اند، حاصل شده است. ضخامت یخ بر اساس مدلسازی به روش کریل<sup>۲</sup> و با استفاده از داده‌های مربوطه در ایستگاه‌های هواشناسی در سال‌های مختلف محاسبه شده و مقدار حدی آن به ازای دوره‌های بازگشت مختلف، با استفاده از تحلیل آماری و روش POT<sup>۳</sup> با توزیع احتمال عمومی پارتو<sup>۴</sup> تعیین شده است. در روش کریل برای تعیین ضخامت یخ در هر رویداد تشکیل یخ، از داده‌های مختلفی استفاده می‌شود که یکی از آنها، سرعت باد در زمان یخ‌زدگی است. بر این اساس، سرعت باد همراه با یخ به ازای

<sup>۱</sup> - Concurrent wind-on-ice speed

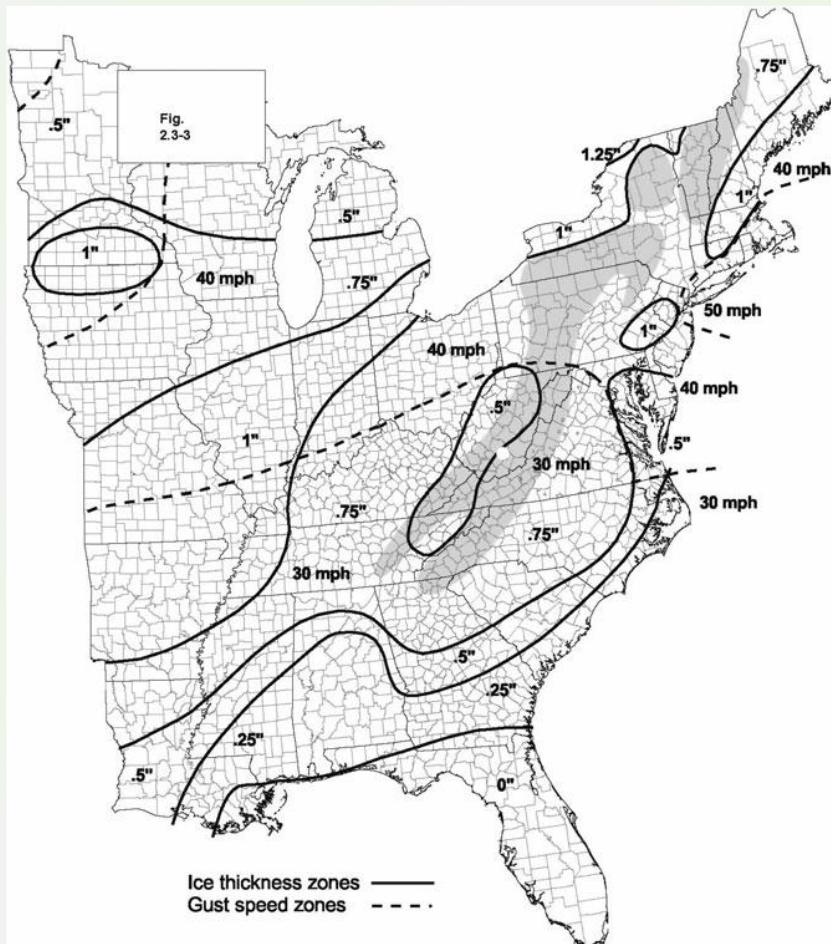
<sup>۲</sup> - CRREL

<sup>۳</sup> - Peaks-over-threshold

<sup>۴</sup> - Generalized Pareto distribution

## روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال

هر رویداد تشکیل یخ، مشخص است. استاندارد ASCE با استفاده از این داده‌های سرعت باد ساعتی، نیروی باد وارد بر هادی با ضخامت ۱ اینچ پوشیده شده با یخ را محاسبه نموده و حداکثر آن را در طی رویدادهای تشکیل یخ استخراج نموده و مقدار حدی این نیرو به ازای دوره‌های بازگشت مختلف را با روش POT (مشابه با ضخامت یخ) تعیین نموده است. سپس با استفاده از این مقادیر حدی نیرو، سرعت باد ساعتی همزمان با یخ حدی را محاسبه نموده است. سپس سرعت باد حدی ساعتی مذکور، با ضرب در فاکتور 1.34 به سرعت تندباد همزمان با یخ<sup>۱</sup> تبدیل شده و مقادیر ۵۰ ساله آنها در نقشه‌های پهنه‌بندی (مانند شکل ۱) ارائه شده است. [۲]



شکل ۱: نقشه پهنه‌بندی مقدار ضخامت یخ ۵۰ ساله با سرعت تندباد ۳ ثانیه‌ای همزمان با آن در ASCE

<sup>۱</sup> - Gust-on-ice speed

در واقع، مقادیر سرعت باد همزمان با یخ که در نقشه‌ها ارائه شده، مقادیری هستند که اگر به هادی پوشیده شده با یخ حدی (با ضخامت ارائه شده در نقشه‌ها) اعمال شوند، نیروی حاصل دارای دوره بازگشت ۵۰ سال خواهد بود. به همین دلیل و بر اساس محاسبات انجام شده توسط ASCE، با تغییر دوره بازگشت، مقدار سرعت باد همراه با یخ تغییری نمی‌کند و تنها کفایت که مقدار حدی ضخامت یخ اصلاح گردد. این موضوع در ضرایب اصلاح بارها برای دوره‌های بازگشت مختلف (جدول ۱) که در ASCE ارائه شده، قابل مشاهده است.

جدول ۱: ضرایب بار جهت تبدیل بار ۵۰ ساله به بار با دوره بازگشت دلخواه در ASCE

RRF	دوره بازگشت بار (سال)	ضریب بار باد $\gamma_w$	ضریب بار یخ	
			ضخامت یخ $\gamma_i$	باد همزمان با یخ $\gamma_w$
0.5	25	0.85	0.80	1.00
1	50	1.00	1.00	1.00
2	100	1.15	1.25	1.00
3	200	1.30	1.50	1.00
4	400	1.45	1.85	1.00

در استاندارد NESC ترکیب یخ و باد در دو حالت زیر منظور شده است:

۱. ترکیب یخ و باد در بارگذاری ناحیه‌ای<sup>۱</sup> (250B)

۲. یخ حدی با باد همراه<sup>۲</sup> (250D)

در حالت اول، پهنه جغرافیایی آمریکا به سه ناحیه آب و هوایی سنگین، متوسط و سبک تقسیم شده و برای هر ناحیه، مقادیر متوسطی از ضخامت یخ و فشار باد بصورت همزمان ارائه شده است. مبانی آماری و نحوه انتخاب

<sup>1</sup>- Combined ice and wind district loading

<sup>2</sup>- Extreme ice with concurrent wind loading

## روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال

یا محاسبه این مقادیر در استاندارد مشخص نشده است. در حالت دوم، مقدار ضخامت حدی یخ (برای دوره بازگشت ۵۰ سال) به همراه باد همزمان با آن بصورت نقشه‌های پهنه بندی، با اقتباس از ASCE ارائه شده است. [۳] خلاصه‌ای از ضوابط فوق در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر پارامترهای بارگذاری در حالات مختلف در NESIC

	Loading districts (for use with Rule 250B)			Extreme wind loading (for use with Rule 250C)	Extreme ice loading with concurrent wind (for use with Rule 250D)
	Heavy	Medium	Light		
Radial thickness of ice (mm)	12.5	6.5	0	0	See Figure 250-3
(in)	0.50	0.25	0	0	See Figure 250-3
Horizontal wind pressure (Pa)	190	190	430	See Figure 250-2	See Figure 250-3
(lb/ft <sup>2</sup> )	4	4	9	See Figure 250-2	See Figure 250-3
Temperature (°C)	-20	-10	-1	+15	-10
(°F)	0	+15	+30	+60	+15

در استاندارد IEC 60826 برای بارگذاری و طراحی سازه‌های خطوط انتقال با تأکید بر طراحی بر مبنای قابلیت اطمینان، لزوم تعیین متغیرهای بارگذاری مربوط به حالات ترکیب یخ و باد با دوره بازگشت مشخص، تصریح شده است. در این استاندارد ترکیب یخ و باد بصورت اثر باد بر روی هادی پوشیده شده با یخ (با توجه خاص به ضریب پسا در این حالت) منظور شده است. اثر باد بر هادی پوشیده از یخ شامل سه متغیر سرعت باد در حضور یخ، وزن یخ و شکل یخ (اثر ضریب پسا) بوده و در دو راستای قائم و افقی ایجاد نیرو می‌کند. در حالت عدم انجام تحلیل‌های آماری دقیق، استاندارد IEC روش ساده‌ای را برای برآورد پارامترهای مورد نیاز پیشنهاد داده است. در این روش، مقدار حدی یکی از متغیرها (متغیر با احتمال کم با اندیس L) بر اساس دوره بازگشت مورد

نظر (مثلاً ۵۰ سال) منظور شده و مقادیر سایر متغیرهای همراه (متغیرهای با احتمال بالا با اندیس H) برابر متوسط

مقادیر حداکثر سالانه آنها منظور می‌شوند. بر این اساس، دو حالت بار به شرح زیر در نظر گرفته می‌شوند:

۱. ترکیب ضخامت یخ با احتمال پایین (با دوره بازگشت T) به همراه متوسط مقادیر ماکزیمم سالانه سرعت باد در زمان حضور یخ (با احتمال بالا)

۲. ترکیب سرعت باد با احتمال پایین در زمان حضور یخ (با دوره بازگشت T) به همراه متوسط مقادیر ماکزیمم سالانه ضخامت یخ (با احتمال بالا)

مقادیر متغیرهای فوق می‌تواند بر اساس تحلیل آماری داده‌های باد (در زمان حضور یخ) و یخ بدست آید. در

حالت نبود داده‌های آماری، مقادیر با احتمال پایین و بالای یخ و باد می‌توانند بصورت زیر منظور شوند:

- برای بار یخ:  $g_L = g_R$  و  $g_H = 0.4g_R$  که  $g_R$  بار یخ مرجع (با دوره بازگشت T) می‌باشد.
- برای بار باد در زمان حضور یخ:  $V_{iL} = B_i \times V_R$  با مقدار  $B_i = 0.6 \sim 0.85$  و  $V_{iH} = B_i \times V_R$  با مقدار  $B_i = 0.4 \sim 0.5$  می‌باشند که  $V_R$  سرعت باد مرجع (با دوره بازگشت T) است.

در تمام حالات فوق، دمای هوا برابر 5- درجه سانتیگراد منظور می‌شود. [۴]

اصول کلی تعیین بارهای حاصل از ترکیب یخ در استاندارد BS EN همانند IEC بوده و تنها بر روی هادی

پوشیده شده از یخ در نظر گرفته می‌شود. متغیرهای مؤثر در تعیین بارهای حاصل از ترکیب یخ و باد شامل سرعت

باد هنگام وجود یخ بر روی هادی، ضخامت (یا وزن) لایه یخ و شکل یخ (شعاع معادل و ضریب پسا) می‌باشند.

در این استاندارد نیز با یک روش ساده شده، دو حالت بار به شرح زیر به عنوان ترکیب یخ و باد در نظر گرفته

می‌شود:

۱. مقدار حدی یخ با احتمال پایین به همراه سرعت باد با احتمال بالا در زمان حضور یخ
۲. مقدار اسمی یخ با احتمال بالا به همراه سرعت حدی باد با احتمال پایین در زمان حضور یخ

مقادیر حدی با احتمال پایین متناظر با دوره بازگشت مورد نظر (۵۰ سال یا بیشتر) و مقادیر با احتمال بالا

متناظر با دوره بازگشت ۳ سال منظور شده‌اند. [۵]

در خصوص ترکیبات بارگذاری خطوط انتقال در استاندارد ایران، حالت یخ و باد با اقتباس از حالت اول

استاندارد NESC (حالت بارگذاری ناحیه‌ای) و برای چهار پهنه سبک، متوسط، سنگین و فوق‌سنگین منظور شده

و مقادیر متوسطی از ضخامت یخ و فشار (و سرعت) باد بصورت همزمان ارائه شده است. همچنین مقادیر درجه

حرارت همراه با حالات مختلف باد نیز ارائه شده است. مبانی آماری و نحوه انتخاب یا محاسبه این مقادیر در

استاندارد مشخص نشده است. [۱۸ و ۱۹]

روش‌های مختلفی برای تعیین پارامترهای طراحی مرتبط با یخ و باد همزمان برای طراحی دکل‌های انتقال

نیرو توسط محققین ارائه شده است. روش‌های مختلف به لحاظ میزان دقت از یکطرف و سهولت بکارگیری از

طرف دیگر، دارای سطوح مختلفی هستند. معمولاً برای کاربردهای مهندسی و عملی در طراحی دکل‌ها، از روش-

های ساده و تقریبی که با استفاده از روش‌های دقیقتر کالیبره شده‌اند، استفاده می‌شود. در ادامه این بخش، خلاصه‌ای

از روش‌های مختلف و مبانی نظری آنها شرح داده شده‌اند.

### تحلیل مقادیر حدی داده‌های اندازه‌گیری و ثبت شده از یخ و باد بصورت همزمان:

بهترین روش برای تعیین پارامترهای طراحی ترکیب یخ و باد، تحلیل آماری مقادیر حدی<sup>۱</sup> بر داده‌های ثبت شده از

مقادیر ضخامت (یا وزن) یخ و سرعت باد (در بازه زمانی تشکیل تا ریزش یخ) که در طول زمان بصورت همزمان

اندازه‌گیری شده‌اند، می‌باشد. همچنین می‌توان تحلیل آماری را به جای پارامترهای یخ و باد، بر روی نیروی حاصل

از آنها (حاصل از محاسبه یا اندازه‌گیری مستقیم) انجام داد که ارجح بوده و مقادیر حدی پارامترهای متناظر با

<sup>۱</sup> - Extreme Value Analysis



مقدار حدی (مثلاً ۵۰ ساله) نیروی حاصله را بدست می‌دهد. در این حالت (اندازه‌گیری نیروی ترکیبی حاصل از باد و یخ در هادی) تأثیر ضریب شکل هادی یخ زده نیز که یکی از متغیرهای مهم و تأثیرگذار در بار ترکیبی یخ و باد است، منظور خواهد شد. مشکلات اجرای این روش، نیاز به داده‌های ثبت شده از یخ و باد (یا نیروی حاصل از آنها که معمولاً موجود نیستند) و هزینه محاسباتی بالای آن است که برای کارهای مهندسی و عملی مناسب نیست. در حالت عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری و ثبت شده یخ، از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی تشکیل یخ برای شبیه‌سازی وقوع رویدادهای یخ‌زدگی و محاسبه ضخامت یخ در طول زمان استفاده می‌شود. بطور معمول از این روش برای کالیبره کردن روش‌های ساده‌تر و کاربردی‌تر استفاده می‌شود. [۲] و [۱۰] و [۱۱]

### تحلیل مقادیر حدی داده‌های اندازه‌گیری و ثبت شده از یخ و باد بصورت جداگانه و استفاده از مقادیر کاهش

#### یافته آنها در ترکیب با هم

در روش‌های ساده‌تر، هریک از پارامترهای ضخامت (یا وزن) یخ و سرعت باد با روش‌های متداول، تحلیل آماری مقادیر حدی شده و مقادیر متناظر با دوره‌های بازگشت مورد نظر برای هرکدام بصورت جداگانه تعیین می‌شوند. سپس این مقادیر حدی با اعمال ضرایب کاهش مناسب (که بر اساس تحلیل‌های دقیق‌تر برآورد شده‌اند) در ترکیب با هم برای طراحی استفاده می‌شوند. این روش‌ها بسته به نحوه تعیین و محاسبه مقادیر کاهش یافته (یا ضرایب کاهش) پارامترهای آنها، دارای انواع مختلفی می‌باشند که مهمترین آنها در ادامه این بخش ارائه شده‌اند.

#### • کاهش هر دو پارامتر ضخامت یخ و سرعت باد حدی

در این روش، مقادیر حدی ضخامت (یا وزن) یخ و سرعت باد متناظر با دوره بازگشت مشخص به نحوی کاهش داده می‌شوند که نیروی ترکیبی حاصل از آنها دارای همان دوره بازگشت مورد نظر باشد. این روش نسبتاً قدیمی بوده و مناسب نمی‌باشد. [۱۱]

### • ترکیب ضخامت یخ حدی و سرعت باد حداکثر همراه با یخ

در این روش ضخامت یخ حدی با دوره بازگشت معین به همراه متوسط سرعت باد حداکثر سالانه در زمان وجود یخ (و یا زمان کمتر بودن دما از صفر درجه سانتیگراد) ترکیب شده و نیروهای حاصله در طراحی دکل استفاده می‌شوند. این روش توسط IEC پیشنهاد شده و دقت خوبی ندارد. [۱۱]

### • ترکیب ضخامت یخ حدی و سرعت باد کاهش یافته

در این روش ضخامت یخ حدی با دوره بازگشت معین به همراه سرعت باد کاهش یافته ترکیب می‌شوند. سرعت باد کاهش یافته ( $V_{ice}$ ) که در واقع مقدار حدی سرعت باد در زمان وجود یخ است، می‌تواند بصورت مستقیم (مانند ASCE) و یا بصورت ضریب کاهش<sup>۱</sup> ( $K_r$ )، تعیین و ارائه شود. ضریب کاهش برابر با نسبت سرعت باد حدی کاهش یافته به سرعت باد حداکثر حدی (با دوره بازگشت مورد نظر مثلاً ۵۰ سال) می‌باشد.

$$V_{ice} = K_r V_r \quad ۳-۱$$

که در رابطه فوق:

•  $V_{ice}$ : سرعت باد حدی کاهش یافته (همراه با یخ)

•  $K_r$ : ضریب کاهش

•  $V_r$ : سرعت باد حداکثر حدی با دوره بازگشت مشخص (سرعت باد مرجع)

در حال حاضر در میان روش‌های ساده و کاربردی، این روش نسبت دارای دقت بهتری می‌باشد. چالش اصلی در این روش، تعیین مناسب سرعت باد کاهش یافته و یا ضریب کاهش متناظر آن می‌باشد. روش‌های مختلفی در این خصوص وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: [۱۱]

<sup>۱</sup> - Reduction Factor

۱. استفاده از تحلیل آماری مقادیر حداکثر سالانه سرعت باد (از رابطه گامبل) با لحاظ دوره بازگشت کاهش یافته (۲ یا ۳ سال)

۲. استفاده از تحلیل آماری مقادیر حداکثر سالانه سرعت باد (از رابطه گامبل) با دوره بازگشت اصلی مورد نظر و مقدار میانگین کاهش یافته با رابطه زیر:

$$\bar{V}_{ice} = \bar{V}_{max} - 0.78 \ln\left(\frac{8760}{T_{ipp}}\right) \sigma_v \quad ۳-۲$$

و انحراف معیار  $\sigma_v$  بدون تغییر. در رابطه فوق،  $\bar{V}_{max}$  برابر میانگین مقادیر حداکثر سرعت سالانه باد و  $T_{ipp}$  نیز متوسط زمان سالانه حضور یخ می‌باشند.

۳. استفاده از تحلیل آماری مقادیر حداکثر سرعت باد (یا نیروی باد اعمالی بر هادی یخ‌زده) در زمان وقوع یخ استفاده از روش شبیه‌سازی آماری مونت کارلو (جزئیات این روش در بخش بعدی توضیح داده شده است)

### استفاده از شبیه‌سازی آماری به روش مونت کارلو

روش شبیه‌سازی آماری مونت کارلو که بر مبنای تولید تصادفی متغیرهای با ویژگی‌های آماری مشخص قرار دارد، یک روش شناخته شده و پرکاربرد برای ارزیابی و تحلیل مسائل مرتبط با متغیرهای تصادفی و احتمالات است. روش ساده‌ای بر مبنای شبیه‌سازی مونت کارلو برای محاسبه سرعت باد کاهش یافته متناظر با ضخامت یخ حداکثر حدی در [۱۱] ارائه شده است. این روش برای شرایطی ارائه شده که داده‌های آماری باد همراه با یخ موجود نبوده و تنها پارامترهای توزیع احتمال اولیه باد ساعتی و مقدار متوسط سالانه زمان حضور یخ مشخص باشند. مراحل اجرایی روش مذکور به شرح زیر می‌باشد:

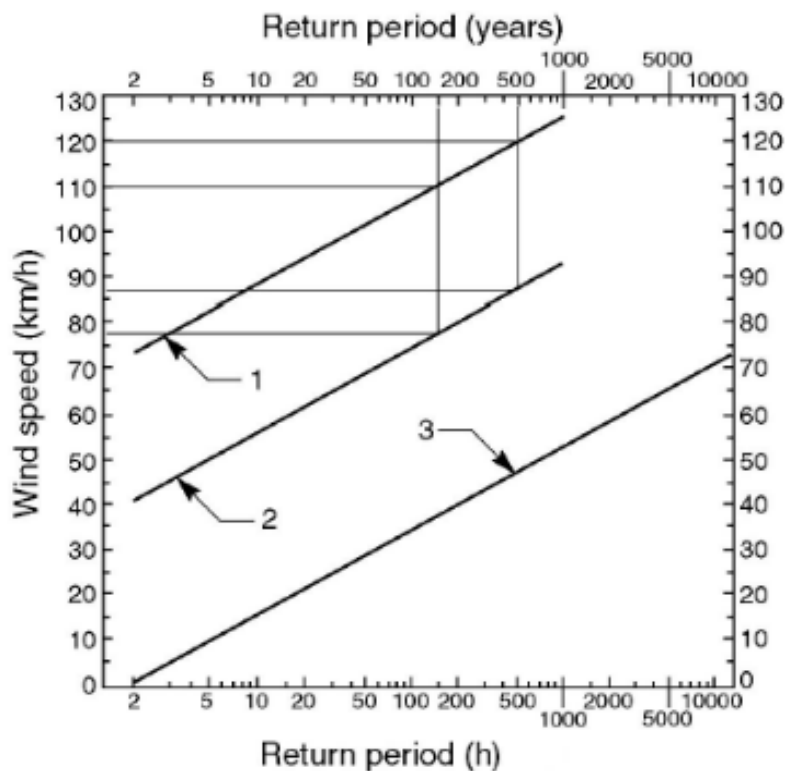
۱. شبیه‌سازی تصادفی سرعت باد اولیه (ساعتی) با توزیع ویبول و پارامترهای مختلف (میانگین، ضریب تغییرات، پارامترهای شکل و مقیاس)

۲. انتخاب حداکثر سالانه سرعت باد از نمونه‌های باد ساعتی در مدت یک سال (با تعداد  $n=8760$ )

## روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال

۳. انتخاب حداکثر سالانه سرعت باد همراه با رویداد یخ از زیرمجموعه با تعداد  $n=T_{ipp}$  از مجموعه نمونه‌های سالانه
  ۴. تکرار مراحل ۲ و ۳ برای تعداد حداقل ۲۰۰۰ سال
  ۵. تخمین پارامترهای تابع توزیع مجانب گامبل برای حداکثر سرعت باد سالانه  $V_{max}$  و حداکثر سرعت باد سالانه همراه با رویداد یخ  $V_{ice}$
  ۶. محاسبه  $V_{ice}(T)$  و  $V_{max}(T)$  برای دوره‌های بازگشت مختلف  $T$  از ۲۰ الی ۵۰۰ سال
  ۷. تعیین ضریب کاهش از رابطه  $k_r = V_{ice}(T)/V_{max}(T)$
- نتایج حاصل از بکارگیری روش فوق در منطقه کبک کانادا در شکل ارائه شده است. [۱۱]

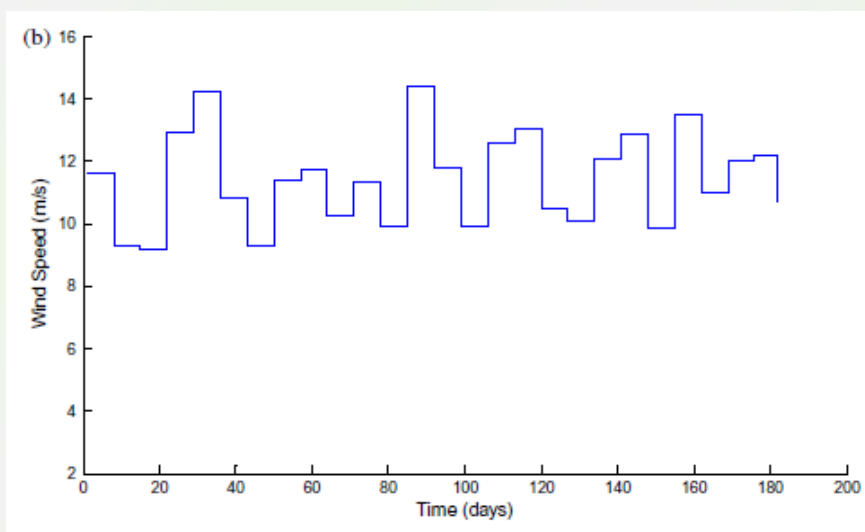
1, extreme wind speed,  $V_{max}$  (Hydro-Québec 1993); 2, wind speed associated with icing,  $V_{ice}$ ; 3, hourly maxima of wind speed,  $V_h$ .



شکل ۲: مقادیر سرعت بادهای مختلف به ازای دوره‌های بازگشت مختلف [۱۱]

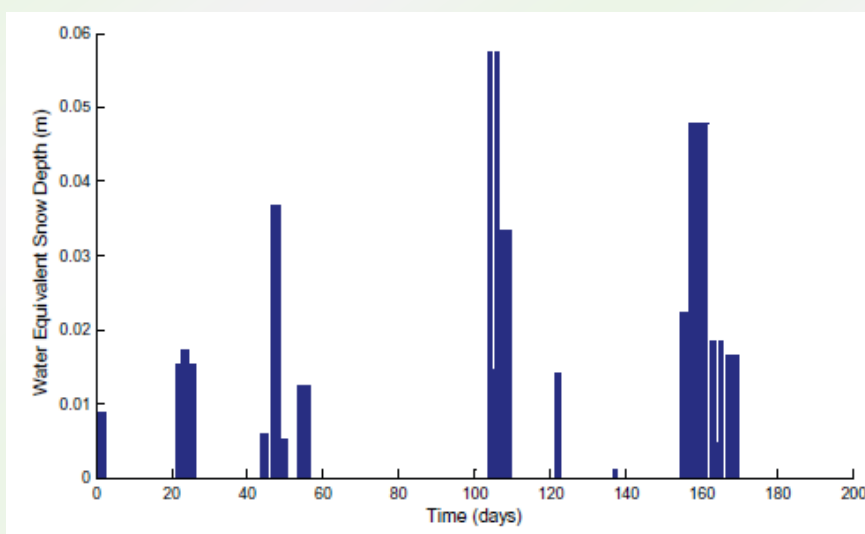
روش فوق در عین سادگی دارای کاستی‌ها و اشکالاتی می‌باشد که اهم آنها عبارتند از:

۱. عدم لحاظ تغییرات و الگوهای فصلی در سرعت باد
  ۲. عدم لحاظ تأثیر فصول در تخصیص زمان وقوع یخ (در هر زمان از نمونه سالانه می‌تواند رویداد یخزدگی اتفاق افتد)
  ۳. لحاظ مدت زمان سالانه حضور یخ بصورت یک مقدار ثابت (در مرجع [۱۱] مقدار  $T_{ipp}$  برابر ۱۴۴ ساعت (مقدار متوسط در منطقه کبک) منظور شده است)
  ۴. تخصیص دوره بازگشت به سرعت باد همراه با یخ، به جای نیروی باد وارد بر هادی یخزده
- روش‌های دقیقتر و کاملتری بر مبنای تولید فرآیندهای تصادفی برای متغیرهای سرعت باد و مشخصات رویدادهای یخزدگی (یا بارش برف) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو توسط محققین ارائه شده است. به عنوان نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌توان به [۲۴، ۳۰ و ۳۱] اشاره نمود. در روش ارائه شده در [۲۴]، پارامترهای بارهای باد و برف به صورت فرآیندهای تصادفی پالسی مدل شده (شکل *Error! No text of specified style in document.*)
- Error! No text of specified style in document.* و در یک شبیه‌سازی عددی ترکیب می‌شوند. سپس نتایج حاصله برای ساخت هیستوگرام مشترک (شکل ۵۵) و پس از آن، برای ساخت کانتورهای مشترک سطح خطر باد و برف متناظر با احتمال فراگذشت سالانه مشخص (شکل) استفاده می‌شوند. روال فوق برای یک ایستگاه نمونه در آلبانی پیاده و نتایج حاصله ارائه شده‌اند.



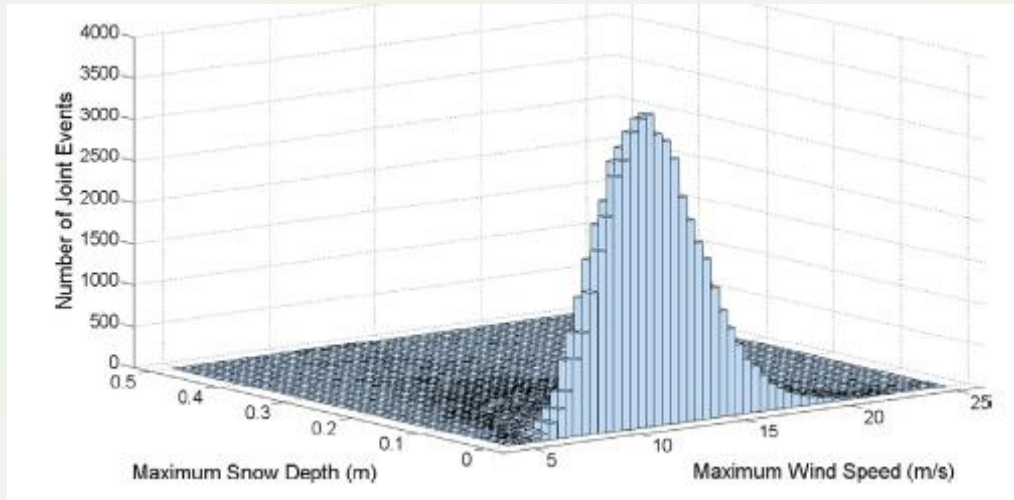
شکل ۴. Error! No text of specified style in document. یک نمونه رکورد سرعت باد شبیه‌سازی شده در دوره زمانی

زمستان [۲۴]



شکل ۴. Error! No text of specified style in document. یک نمونه رکورد ضخامت برف (آب معادل) شبیه‌سازی

شده در دوره زمانی زمستان [۲۴]

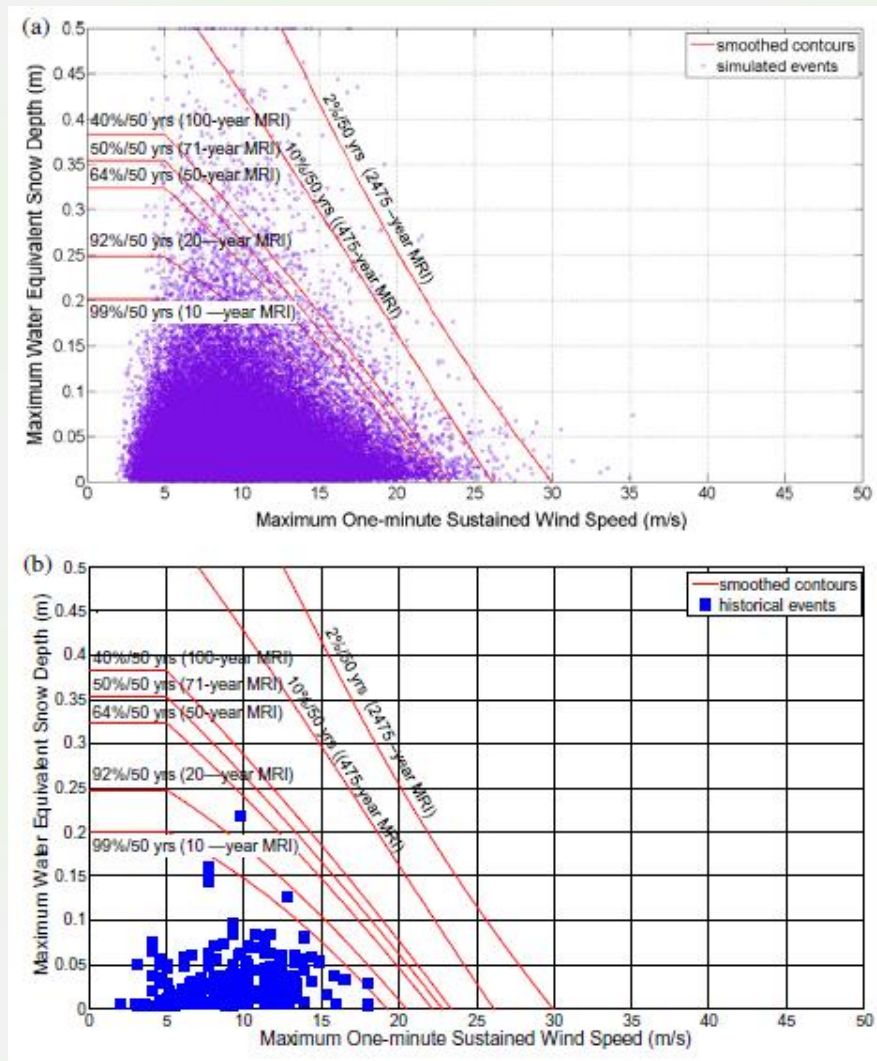


شکل ۵: هیستوگرام مشترک ضخامت یخ و سرعت باد بر اساس شبیه‌سازی فرآیندهای تصادفی [۲۴]

کانتورهای (منحنی) مشترک خطر برف و باد<sup>۱</sup> تهیه شده در [۲۴] در شکل نشان داده شده‌اند. با استفاده از کانتورهای خطر می‌توان زوج مقادیر سرعت باد و ضخامت برف را که دارای یک سطح خطر (احتمال فراگذشت سالانه یا دوره بازگشت) مشخص باشند، تعیین کرده و برای طراحی بر اساس رویکردهای احتمالاتی (مانند طراحی بر اساس قابلیت اطمینان) استفاده نمود.

<sup>۱</sup> - Bivariate Joint Wind-Snow Hazard Contours

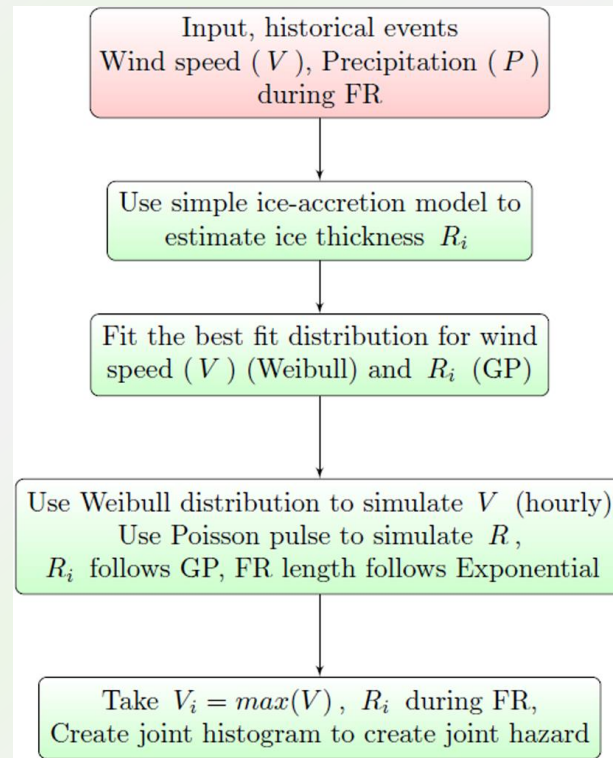
## روش‌های تعیین مشخصات ترکیب یخ و باد برای بارگذاری خطوط انتقال



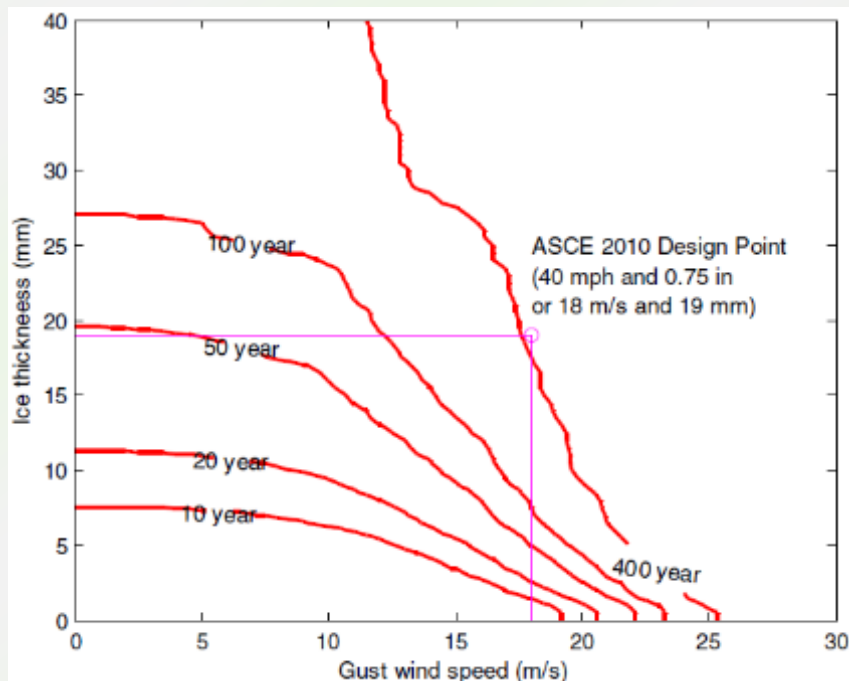
شکل ۶: منحنی‌های (کانتور) خطر مشترک برف و باد برای سطوح خطر مختلف [۲۴]

روش‌های ارائه شده در [۳۰ و ۳۱] نیز دارای مبانی مشابهی بوده و لیکن با جزئیات محاسباتی دقیقتر و کاملتر، کانتورهای خطر مشترک را برای سرعت باد و ضخامت یخ جوی در منطقه غرب آمریکا تهیه و ارائه کرده‌اند. روش ارائه شده در [۳۰] نسبتاً ساده بوده و فلوچارت آن در شکل ۷ و کانتورهای حاصله در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. روش ارائه شده در [۳۱] پیچیده‌تر بوده که فلوچارت آن در شکل ۹ و کانتورهای حاصله در شکل ۱۰۱۰ نشان داده شده‌اند.

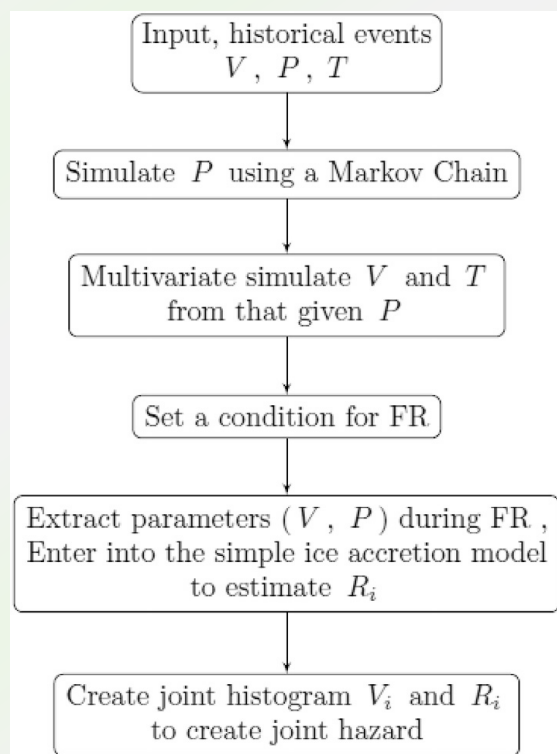




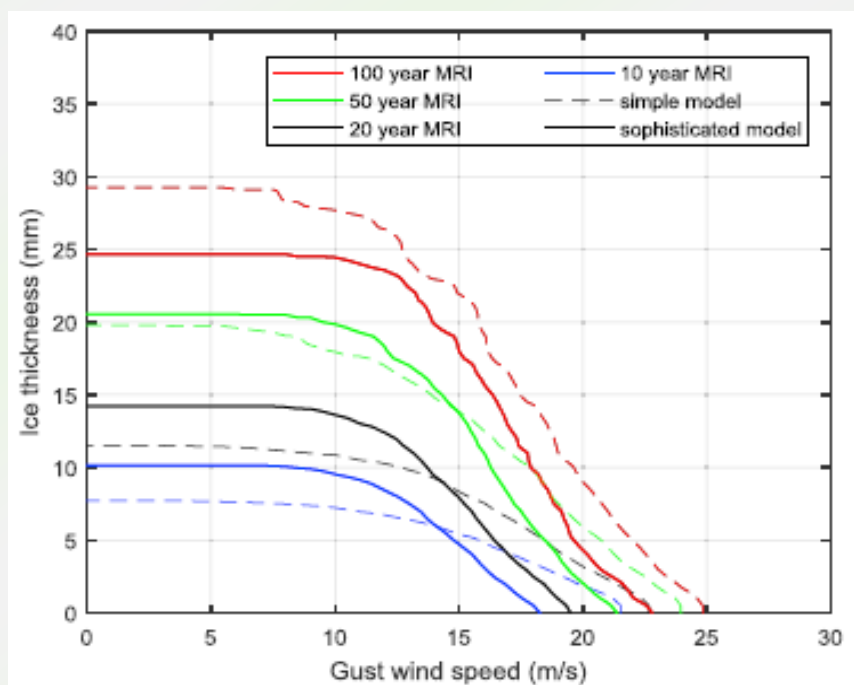
شکل ۷: فلوجارت روش ساده برای تهیه کانتورهای خطر [۳۰]



شکل ۸: منحنی‌های خطر تهیه شده برای منطقه غرب آمریکا با استفاده از روش ساده [۳۰]



شکل ۹: فلوجارت روش پیچیده برای تهیه کاتوره‌های خطر [۳۱]



شکل ۱۰: منحنی‌های خطر تهیه شده برای منطقه غرب آمریکا با استفاده از روش پیچیده [۳۱]

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری:

در این گزارش، ضمن ارائه رویکردها و الزامات استانداردهای مختلف بین‌المللی و داخلی در زمینه بارگذاری خطوط انتقال در حالت ترکیب یخ و باد، خلاصه‌ای از روش‌های محاسباتی برای تعیین مشخصات و پارامترهای موردنیاز این حالات بارگذاری نیز مرور گردید. در استانداردها و راهنماهای معتبر برای طراحی خطوط انتقال نیرو مانند IEC 60826، ASCE-74 و IEEE-NESC با تأکید بر طراحی بر مبنای قابلیت اطمینان، لزوم تعیین پارامترهای بارگذاری یخ و باد و ترکیب همزمان آنها با دوره بازگشت مشخص، تصریح شده است. پارامترهای بارگذاری یخ و باد بر خطوط انتقال نیرو شامل ضخامت (یا وزن) یخ تشکیل شده حول سیم هادی و سرعت باد همزمان با یخ هستند. استانداردهای مذکور، روش‌های ساده و کاربردی برای این منظور نیز ارائه کرده‌اند. در آئین‌نامه فعلی بارگذاری خطوط انتقال در کشور مقادیر پارامترهای بارگذاری در حالت ترکیب یخ و باد بر اساس رویکرد احتمالاتی ارائه نشده است. بر این اساس، طراحی مبتنی بر قابلیت اطمینان سازه‌های خطوط انتقال کشور با استفاده از استاندارد فعلی امکان‌پذیر نیست. از اینرو، تعیین مقادیر پارامترهای بارگذاری یخ و باد همزمان با دوره‌های بازگشت مشخص بصورت واقع‌بینانه و منطبق با شرایط جوی کشور، از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در تأمین قابلیت اطمینان مورد نیاز در طراحی این سازه‌ها، مؤثر است. با توجه به فقدان سوابق مطالعاتی در این حوزه در کشور از یک طرف، و اقدام شرکت توانیر جهت بازبینی آئین‌نامه بارگذاری خطوط انتقال نیرو از طرف دیگر، ضرورت انجام این دست مطالعات آشکار می‌گردد.

## مراجع

- [1]. C.J. Wong and M.D. Miller. (2009), Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading (3rd Edition), Manual No 74, The Task Committee on Structural Loading, ASCE
- [2]. Jones, K. F., Thorkildson, R., & Lott, J. N. (2002). The development of the map of extreme ice loads for ASCE Manual 74. In Electrical Transmission in a New Age (pp. 9-31).
- [3]. National Electrical Safety Code, IEEE, NESC-C2, , The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA, 2007
- [4]. International Electrotechnical Commission, "Design criteria of overhead transmission lines": IEC 60826, 2003.

- [5]. BS EN 50341-1, Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV Part1: General requirements- Common specifications, BSI standards publication, 2012.
- [6]. Musilek, P., Pytlak, P., Lozowski, E., Arnold, D., & Toth, J. Wind and Ice Load Model Using Numerical Weather Prediction.
- [7]. McComber, P., Morin, G., Martin, R., & Van, L. V. (1983). Estimation of combined ice and wind load on overhead transmission lines. *Cold Regions Science and Technology*, 6(3), 195-206.
- [8]. Krishnasamy, S. S. G., & Tabatabai, M. (1990). Wind loads on bare and ice-covered overhead conductors. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36, 171-180.
- [9]. Krishnasamy, S., & Kulendran, S. (1998). Combined wind and ice loads from historical extreme wind and ice data. *Atmospheric research*, 46(1), 123-129.
- [10]. Farzaneh, M., Savadjiev, K., & Druez, J. (2001). Icing event occurrence in Quebec: Statistical analysis of field data. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 11(01).
- [11]. Savadjiev, K., & Farzaneh, M. (2003). Probabilistic model of combined wind and ice loads on overhead power line conductors. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(4), 704-710.
- [12]. Farzaneh, M. (Ed.). (2008). *Atmospheric icing of power networks*. Springer Science & Business Media. ISBN: 978-1-4020-8530-7.
- [13]. Zhang, Y. (2006). *Analysis of Rime Ice Accumulation at Mont Bélair and Design of Transmission Lines*. Library and Archives Canada= Bibliothèque et Archives Canada, Ms.C Thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal.
- [14]. Henson, W., & Stewart, R. (2007). Severity and return periods of icing events in the Montreal area. *Atmospheric research*, 84(3), 242-249.
- [15]. Wareing, B., & Fikke, S. M. (2011). A uk probabilistic wind/ice map. In *14th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures*.
- [16]. Fengying, W., & Lei, F. (2009). Probability Distribution of Minimum Temperature in Winter Half Years in China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 1, 003. Article ID: 1673-1719 (2009) Suppl.-0001-04
- [17]. Singh, V. P., Jain, S. K., & Tyagi, A. (2007, October). *Risk and reliability analysis: a handbook for civil and environmental engineers*. American Society of Civil Engineers.
- [۱۸]. "آئین نامه و استاندارد بارگذاری برجهای خطوط انتقال نیرو"، توانیر، معاونت تحقیقات و تکنولوژی، دفتر استانداردها، تدوین کننده: شرکت مشاور، اردیبهشت ۱۳۷۷
- [۱۹]. "نقشه پهنه بندی مناطق چهارگانه آب و هوایی کشور"، توانیر، معاونت تحقیقات و تکنولوژی، دفتر استانداردها، تدوین کننده: شرکت مشاور، اردیبهشت ۱۳۷۷
- [20]. Maralbashi-Zamini, S. (2007). Developing neural network models to predict ice accretion type and rate on overhead transmission lines= Développement de réseaux de neurone [s] pour la prédiction du type et du taux de glace accumulée sur les lignes aériennes de transport d'énergie électrique. Université du Québec à Chicoutimi.
- [21]. Xu, W. J., Yang, H. M., Lai, M. Y., & Wang, S. (2010). The Probabilistic Method of Failure Analysis to Transmission Facilities under Ice Storms. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 37, pp. 1525-1528). Trans Tech Publications.
- [22]. Yang, H., Chung, C. Y., Zhao, J., & Dong, Z. (2013). A probability model of ice storm damages to transmission facilities. *IEEE Transactions on power delivery*, 28(2), 557-565.

- [23]. Yang, H., Xu, W., Zhao, J., Wang, D., & Dong, Z. (2011). Predicting the probability of ice storm damages to electricity transmission facilities based on ELM and Copula function. *Neurocomputing*, 74(16), 2573-2581.
- [24]. Wang, Y., & Rosowsky, D. V. (2013). Characterization of joint wind-snow hazard for performance-based design. *Structural Safety*, 43, 21-27. DOI: 10.1016/j.strusafe.2013.02.004
- [25]. Rosowsky, D. V., & Wang, Y. (2014). Joint wind-snow hazard characterization for reduced reference periods. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, (ASCE), 28(1), 121-127. DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000385
- [26]. Żurański, J. A., & Sobolewski, A. (2016). An analysis of snow and wind loads combinations based on meteorological data. *Archives of Civil Engineering*, 62(4), 205-230.
- [27]. Yin, Y. J., Li, Y., & Bulleit, W. M. (2010). Stochastic modeling of snow loads using a filtered Poisson process. *Journal of Cold Regions Engineering*, 25(1), 16-36.
- [28]. Jones, K. F. (1996). Ice accretion in freezing rain (No. CRREL-96-2). COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LAB HANOVER NH.
- [۲۹]. سلمان رضازاده، "طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور- گزارش نهایی"، پژوهشگاه نیرو، کد: CTVT01/E، ۱۳۹۷.
- [30]. Nguyen Sinh, Hung, Franklin T. Lombardo, Chris W. Letchford, and David V. Rosowsky. "Characterization of joint wind and ice hazard in Midwestern United States." *Natural Hazards Review* 17, no. 3 (2016): 04016004.
- [31]. Sinh, Hung Nguyen, Franklin T. Lombardo, and Chris Letchford. "Multivariate simulation for assessing the joint wind and ice hazard in the United States." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 184 (2019): 436-444.
- [32]. Yang, F., Zhang, H., Zhou, Q., & Liu, S. (2020, June). Wind-ice Joint Probability Distribution Analysis based on Copula Function. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1570, No. 1, p. 012078). IOP Publishing.
- [33]. Rossi, A., Jubayer, C., Koss, H., Arriaga, D. and Hangan, H., 2020. Combined effects of wind and atmospheric icing on overhead transmission lines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 204, p.104271.
- [34]. Davalos Arriaga, D. (2020). Joint Wind and Ice Effects on Transmission Lines in Mountainous Terrain, Master thesis, The University of Western Ontario.

## دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارده به پایه‌های بتنی شبکه‌ی توزیع، بررسی دلایل و منشاء آسیب

علی اصغر ذکاوتی<sup>۱</sup>

**چکیده:** شبکه‌های توزیع برق در معرض انواع خطرات طبیعی و انسان‌ساز قرار دارد که آسیب‌پذیری آنها، تأمین پایدار برق به مشترکین را تهدید می‌کند. لذا شناسایی و داشتن درکی مناسب از مخاطرات تهدیدکننده‌ی پایه‌های توزیع نیروی برق که یکی از اجزا سازه‌ای مهم شبکه توزیع است، موردی اساسی در جلوگیری زود هنگام از وقوع حوادث و آسیب‌های موثر بر این سازه‌ها می‌باشد. از طرفی پایه‌های شبکه‌ی توزیع برق که اغلب از جنس بتنی است، در اثر مخاطرات مختلف محیطی، در معرض آسیب‌های مختلفی قرار دارند. در این گزارش ابتدا مخاطرات محیطی موثر بر پایه‌های شبکه توزیع شناسایی شده و سپس مهمترین آسیب‌های وارد بر پایه‌های شبکه‌ی توزیع برق و علت و منشا آن‌ها بررسی می‌شود.

**کلیدواژه:** شبکه توزیع، پایه بتنی، مخاطرات محیطی، مخاطرات انسانی، آسیب

### مقدمه

یکی از مهمترین ترین و پرمصرفترین مولفه‌های شبکه توزیع، پایه‌های هوایی انتقال برق شبکه توزیع است. انواع مختلفی از پایه‌های هوایی در نقاط مختلف ایران استفاده شده است. پایه‌های هوایی موجود و شناخته شده در کشور اغلب از جنس بتنی است و به ندرت از دیگر انواع پایه‌ها استفاده میشود و این به دلیل موجود بودن سابقه طراحی، ضوابط مشخص شده مربوط به این نوع پایه‌ها در آیین نامه و کارخانه‌های بیشمار تولیدی است. پایه‌های بتنی مدتهاست در شمار فراوان و در طیف گسترده‌ای از نقاط کشور تولید و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. یکی از جدی‌ترین مسائلی که به عنوان نقطه ضعف مطرح گردید پایین آمدن عمر پایه‌های شبکه توزیع در طول مدت بهره‌برداری بود. از طرفی به دلیل محدودیت‌های بهره‌برداری و در نظر گرفتن هزینه‌های اجرا نیاز به بازبینی طرح‌های فوق و بهبود ساختار پایه‌های موجود است لذا برای داشتن شبکه‌ای ایمن

<sup>۱</sup> پژوهشگر، پست الکترونیکی (azekavati@nri.ac.ir)

در طول مدت بهره برداری و در هنگام رخداد سوانح بایستی عوامل آسیب پذیری و کاهش کیفیت پایه های توزیع شناسایی مورد بررسی قرار گیرد.

### انواع مخاطرات موثر بر پایه‌های شبکه‌ی توزیع

مخاطرات وارد بر شبکه‌ی توزیع نیروی برق را از لحاظ نوع مخاطره می‌توان ناشی از دو مورد محیطی و انسانی دانست. هر یک از دسته‌های مخاطرات بیان شده خود بسته به منشاء مخاطره به زیر شاخه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌گردد. جدول ۳ دسته‌بندی مخاطرات را از لحاظ نوع و منشاء مخاطره نشان می‌دهد.

جدول ۳- دسته‌بندی مخاطرات از لحاظ نوع و منشاء مخاطره

مخاطره	نوع مخاطرات	منشاء مخاطرات	انواع مخاطرات
باران سنگین، سیلاب، برف سنگین، بهمن، باران اسیدی، تگرگ، رعد و برق، مه و رطوبت	بارش	مخاطرات جوی	محیطی
باد و توفان، توفان گرد و غباری، بوران برف	باد		
آلودگی هوا، ریزگرد، تابش فرابنفش خورشید (UV)	آلودگی		
امواج دمایی، خشک‌سالی، یخبندان	دما		
	زلزله	مخاطرات زمینی	
شامل: روانگرایی، گسلش	زمین لغزش		
شامل: ناپایداری شیروانی و زمین لغزش، گسترش جانبی	فرونشست زمین		
	خاکهای خورنده و خاکهای مسئله‌دار		
شامل: خاک‌های فروریزی و متورم شونده، خاک‌های واگرا یا رس‌های حساس، خاک‌های نرم و شل، آلی و دستی، خاک‌های یخزده، رسوبات واریزه ای	فرسایش خاک		
	کارستی شدن زمین		
تخریب عمدی مقره و سایر تجهیزات بالای پایه، پرتاب اشیاء	خرابکاری	عمدی	انسانی
	تصادفات	غیر عمدی	
استفاده از مصالح و مواد نامنطبق با ضوابط طراحی و شرایط محیطی	اشتباهات مهندسی در طراحی پایه و نظارت بر اجرا و ساخت		
اشتباهات کارکنان بخش نگهداری و اپراتور اتاق کنترل	بهره برداری ناصحیح از شبکه		

یکی از مهم‌ترین مخاطرات احتمالی وارد بر شبکه‌ی توزیع برق را مخاطرات محیطی تشکیل می‌دهند. از آنجا که پایه‌های هوایی برخلاف پایه‌های زمینی، کاملاً در معرض محیط بیرونی و محافظت نشده قرار دارند، از این رو تاثیر زیادی از عوامل مختلف محیطی می‌پذیرند. عوامل محیطی را می‌توان به دو دسته‌ی مخاطرات ناشی از آب و هوا (مخاطرات جوی) و مخاطرات ناشی از کیفیت خاک (مخاطرات زمینی) تقسیم‌بندی نمود. بارش، باد، پدیده‌های دمایی و آلودگی، چهار منشاء اصلی مخاطرات آب و هوایی وارد بر شبکه توزیع را تشکیل می‌دهند. بارش‌های سنگین، باران‌های اسیدی، رعد و برق، تگرگ، توفان و بوران ناشی از برف، خشکسالی و یخبندان، ریزگردها و تابش فرابنفش خورشید از جمله خطراتی هستند که کیفیت پایه‌های توزیع نیروی برق را تهدید می‌کنند. از سوی دیگر، مشابه مخاطرات جوی، مخاطرات زمینی نیز بر کاهش عمر مفید سازه‌ی پایه‌های توزیع بسیار موثر است. از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به زمین‌لرزه و گسلش خاک و روانی حاصل از آن، فرونشست و ناپایداری شیروانی خاک، فرسایش خاک و وجود عوامل خوردنده در خاک محل قرارگیری پایه اشاره نمود.



شکل ۲- واژگونی پایه برق در اثر زلزله - نمونه‌ای از مخاطرات محیطی [۱]



مخاطرات محیطی بخش قابل توجهی از حوادث شبکه‌های توزیع برق را تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال، در سال ۱۳۸۰ در منطقه‌ی شمال استان فارس، بارش برف باعث شکستگی حدود ۱۰۰ پایه بتنی گردید. علت این واژگونی، وزن زیاد برف بر روی سیم‌های برق و پارگی سیم‌ها در اثر این فشار بالا بوده است. همچنین در سال ۱۳۸۶ در استان سیستان و بلوچستان و علاوه بر آن در سال ۱۳۸۷ در استان لرستان، به ترتیب بارش برف و وقوع طوفان موجب وارد آمدن آسیب فراوان به شبکه‌ی توزیع برق این دو استان گردید [۲]. شکل ۳ واژگونی پایه‌های بتنی در استان لرستان در اثر بارش شدید برف را نشان می‌دهد.



شکل ۳- واژگونی پایه‌ی بتنی در اثر بارش برف سنگین - لرستان - ۱۳۸۷ [۳]

همچنین بخش مهم دیگری از مخاطرات محیطی را مخاطرات ناشی از رطوبت تشکیل می‌دهد. این عامل به خصوص در مناطق شرجی و نزدیک دریا به شدت عمر مفید پایه‌ها را کاهش داده و سلامت این پایه‌ها را تهدید می‌کند. نمونه‌ای از تخریب بتن و میلگرد در یک پایه‌ی بتنی در شکل ۴ مشخص است. این پایه در جنوب کشور واقع شده و به دلیل شرجی بالا، اجزای پایه به شدت دچار زوال شده‌اند.



شکل ۴- زوال بتن و میلگرد در اثر رطوبت در جنوب کشور - نمونه‌ی مخاطرات محیطی

عوامل انسانی دسته‌ی دیگری از مخاطرات وارد بر پایه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. بخشی از مخاطرات انسانی را خرابکاری‌های عمدی مانند پرتاب اشیاء به سمت تجهیزات قرارگرفته در بالای پایه و آویزان نمودن اشیاء از سیم‌های هوایی تشکیل می‌دهد. در بخشی دیگر، مخاطرات انسانی ناشی از حوادث پیش‌بینی نشده و غیرعمدی مانند برخورد خودروها، کامیون‌ها و یا تجهیزات راهداری می‌باشند که باعث وارد آمدن آسیب به پایه و یا تخریب آن می‌گردد. همچنین، اشتباهات غیرعمدی کارکنان بخش تعمیر و نگهداری پایه‌های توزیع برق ممکن است در مواقعی موجب آسیب‌رسانی غیرعمدی به پایه‌های توزیع و یا تخریب اجزای آن گردد. در همین راستا، اشتباهات غیرعمدی در فرایند طراحی سازه‌ی پایه‌های توزیع مانند انتخاب مواد و مصالح نامتناسب با محیط قرارگیری پایه و بارهای مکانیکی وارده بر پایه، خود می‌تواند موجب کاهش قابلیت اطمینان پایه گردد.



شکل ۵- صدمه وارد بر پایه در اثر تصادف وسیله نقلیه - نمونه‌ای از مخاطرات انسانی



شکل ۶- عدم طراحی یا اجرای نادرست پایه‌ی بتنی (راست) و طرح اختلاط نامناسب و یا ساتریفیوژ با سرعت نامناسب در پایه‌های بتنی گرد (چپ)

### دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارده

پایه‌های شبکه‌ی توزیع برق صرفه‌نظر از جنس پایه، در اثر مخاطرات مختلف بیان شده در بخش قبل، در معرض آسیب‌های مختلفی قرار دارند. همچنین برخی آسیب‌ها مرتبط با مراحل ابتدائی، آماده‌سازی، ساخت و اجرای پایه‌ها بوده که در مرحله‌ی قبل از بهره‌برداری می‌توانند بر مشخصات ظاهری، فیزیکی و دوام پایه تاثیر

منفی بگذارند. در ادامه برخی از مهمترین آسیب‌های وارد بر پایه‌های بتنی شبکه‌ی توزیع برق توضیح داده می‌شود. پایه‌های بتنی در معرض ۷ نوع آسیب کلی می‌باشند که در این قسمت به توضیحات مربوط به هر کدام پرداخته می‌شود.

جدول ۴- انواع آسیب‌های پایه‌های شبکه توزیع

ردیف	پایه های بتنی
۱	خوردگی میلگرد و زوال بتن
۲	ترک‌های سازه ای و عمیق در بتن*
۳	ترک‌های سطحی
۴	آسیب‌های ظاهری (شوره، سفیدک، ریزش پوشش بتن)
۵	کرم‌شدگی بتن
۶	شکستن و واژگونی پایه
۷	انحراف و اعوجاج پایه
* ترک‌هایی که به غیر از عوامل ناشی از انبساط بتن به علت خوردگی و یا تصادفات جاده ای است. به عنوان مثال ترک های ناشی از زلزله، طوفان و ...	

علت های آسیب های وارد را نیز می توان بصورت ذیل دسته بندی نمود:

- عوامل مرتبط با نوع و کیفیت اجزا
  - عوامل مرتبط با کیفیت مصالح بتنی
- عوامل مرتبط با نحوه ی ساخت، نگهداری، حمل و اجرا
  - ساخت، قالب بندی و ویبره نامطلوب
  - عمل آوری نادرست
  - انبارش نادرست پایه
  - انتقال و جابجایی نادرست پایه
  - نحوه نادرست کاشت پایه

• عوامل مرتبط با شرایط محیطی حین بهره برداری

- بارگذاری و تنش‌های مکانیکی حدی
- کربناتاسیون، کلراید، حمله سولفات، چرخه‌های ذوب و یخ - تر و خشک شدگی
- شرایط خاک نامطلوب

### خوردگی میلگرد

خوردگی میلگرد یکی از متداول‌ترین انواع آسیب‌های سازه‌های بتنی است که در پایه‌های بتنی نیز به وفور یافت می‌شود. این آسیب خود می‌تواند هم به عنوان عامل آسیب بوده و همچنین می‌تواند ناشی از تاثیر علل مخرب دیگر رخ می‌دهد. به بیان دیگر، بتن می‌تواند در اثر عوامل دیگر دچار آسیب شده و آن آسیب موجب خوردگی میلگرد شود. اما در هر دو صورت، خوردگی میلگرد درون پایه‌های بتنی موجب ضعف باربری سازه و کاهش دوام پایه می‌گردد. بتن یک محیط قلیایی با درجه‌ی بازی در حدود  $PH$  ۱۲ دارد که این درجه از قلیائیت، باعث بوجود آمدن یک لایه‌ی محافظتی بر روی میلگردها شده که آنها را از خوردگی محافظت می‌نماید. اگر به هر دلیل ثبات این لایه‌ی محافظتی از بین رود، به عنوان مثال زمانی که بتن دچار ترک خوردگی شود و یا پوسته‌پوسته شدن بتن به اندازه کافی اجازه دهد تا آب بدون مزاحمت وارد بتن شود، خوردگی رخ می‌دهد. اکسیدهای آهن تشکیل شده در اثر این فرایند خوردگی، نیاز به فضای بیشتری نسبت فضای موجود در داخل بتن دارند. تنش‌های مکانیکی حاصل از این افزایش فشار در فضای داخلی بتن، باعث بوجود آمدن تنش کششی زیاد در بتن شده و در نتیجه ترک‌های اضافی در بتن رخ می‌دهد و نهایتاً روند خوردگی میلگرد سریعتر خواهد شد. متداول‌ترین دلایل خوردگی، همراه شدن ترک خوردگی‌های بتن با چرخه‌ی انجماد و ذوب شدن، قرار گرفتن در معرض سولفات، و واکنش قلیایی سنگدانه‌ها، قرار گرفتن در معرض اسید، از دست دادن خواص قلیایی به علت کربناتاسیون، فقدان ضخامت کافی کاور بتن، و قرار گرفتن در معرض عوامل کلریدی است.



شکل ۷- خوردگی میلگرد در اثر قرارگیری در معرض رطوبت

### ترک‌های سازه‌ای

ترک‌های سازه‌ای به مجموعه‌ای از انواع ترک‌ها گفته می‌شود که در اثر آنها بخشی از ظرفیت سازه‌ای پایه کاهش یافته و یا پایداری و دوام پایه در دراز مدت در معرض تهدید قرار بگیرد. یکی از مهمترین دلایل رخداد ترک در پایه‌های بتنی، بارگذاری بیش از حد ظرفیت مکانیکی پایه می‌باشد. در صورتی که نیروی وارده از ظرفیت شکست پایه کمتر باشد اما از حد قابل تحمل اسمی پایه بیشتر باشد، پایه ترک می‌خورد. شکل ۸ یک نمونه ترک خمشی در اثر بارگذاری بیش از حد به پایه را نشان می‌دهد. مطابق محاسبات سازه‌ای، بیشترین تاثیر ترک خوردگی بال ناشی از نیروی نگر حاصل از کشش کابل، در بخش گلوبی پایه اتفاق می‌افتد (اثر تخریبی این نیرو در بخش دفنی پایه با توجه به قرارگیری آن در زمین و محصور شدن توسط خاک یا بتن کمتر از بخش گلوبی است). در صورتی که تمهیدات خاص جهت کنترل بروز ترکهای بهره‌برداری در پایه‌ها (عموما پایه‌های زاویه، انتهایی و مواردی از پایه‌های کششی که برآیند نیروهای وارده در آنها صفر نیست) دیده نشود، ترکهای بوجود آمده به عنوان اثر تشدیدکننده‌ی سایر عوامل خورنده، تاثیر قابل توجه در کاهش طول عمر پایه خواهند داشت [۴].



شکل ۸- ترک های خمشی ناشی از بارگذاری بیش از حد مقاومت اسمی پایه [۴]

علاوه بر ترک‌های خمشی که به صورت عرضی در پایه مشاهده می‌شوند، ترک‌های طولی نیز می‌توانند مقاومت مکانیکی پایه را تا حد زیادی کاهش دهند. در واقع این ترک با کاهش مقاومت فشاری بتن، نقش آنرا در تحمل تنش فشاری (ناشی از خمش وارده بر پایه) کاهش داده و پایه را در معرض شکست قرار می‌دهد. کلیوکاس و همکاران [۵, ۶] این ترک را از مهمترین عوامل شکست پایه‌های بتنی توزیع برق عنوان کردند.



شکل ۹- ترک طولی در پایه‌ی بتنی پیش‌تنیده با مقطع گرد

وارد آمدن ضربه به پایه‌ی در حین حمل و جابجایی آن نیز می‌تواند باعث ترک‌خوردگی پایه‌های بتنی شود. این ترک‌خوردگی‌ها در کاهش عمر مفید پایه بسیار تاثیر گذار هستند. لذا برای جلوگیری از این گونه آسیب باید همواره اصول صحیح انبارش، جابجایی، حمل و نصب پایه‌ها مطابق با دستورالعمل مورد نظر [۶، ۷] به درستی رعایت گردد.



شکل ۱۰- ترک‌خوردگی ناشی از عدم رعایت اصول انبارش و حمل صحیح

### ترک‌های سطحی

- ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی خمیری

این نوع از ترک‌ها در روزهای گرم و در آب و هوای با رطوبت کم و دارای باد ایجاد می‌گردد. این نوع ترک در زمستان هم به دلیل هوای سرد با رطوبت پایین هوا می‌تواند رخ دهد. برای جلوگیری از این نوع ترک می‌توان از نگهداری سطح بتن و ایجاد رطوبت در حین جاگذاری بتن استفاده کرد. ریختن، تراکم و عمل‌آوری سریع بتن در روزهای گرم می‌تواند از آن جلوگیری کند. سطح بتن را باید در برابر باد محافظت شده و یا یک لایه جهت کاهش تبخیر سطح بتن روی سطح ایجاد شود. استفاده از الیاف بتن می‌تواند این نوع ترک‌ها را کاهش دهد.





شکل ۱۱- آسیب ناشی از ترک خمیری در بتن

- ترک های ناشی از نشست خمیری

نوع دیگری از ترک خوردگی ناشی از حرکت ذرات سنگدانه به سمت پایین و بالا آمدن ذرات سیمان به بالا و جایگزین شدن آن با سنگدانه‌ها در سطح است. ته نشینی و حرکت مواد با وزن مخصوص بیشتر به سمت پایین با قید شبکه میلگردها و یا قالبها ممانعت می‌گردد. بتن خمیری می‌تواند با تشکیل قوسهایی روی هر میلگرد سطح را با کشش همراه کند. ترکهایی می‌تواند در ارتباط با فضاهای خالی و حفره‌های زیر میلگرد نیز تشکیل شود. هنگامی که میلگردها با فاصله کمی نسبت بهم قرار می‌گیرند، کل بتن روی آنها به صورت قوس درآمده و بتن زیر نشست می‌کند. این حالت می‌تواند سبب ایجاد جدایی و گسستگی زیر میلگردها و وقوع ترک در بتن گردد.



شکل ۱۲- ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری [۸]

- ترک‌های حرارتی

این ترک ناشی از حرارت‌زایی بالا در حین عمل‌آوری و سرد شدن سریع پس از آن است. بتن دارای یک ضریب انبساط حرارتی مشخص است که در یک دمای معمولی (۲۶ درجه‌ی سانتیگراد)، تغییر طولی در حدود ۱/۲۵ سانتیمتر در ۳۰ متر طول می‌تواند در بتن رخ دهد. این نوع ترک می‌تواند در تمام طول عضو امتداد یافته و سازه را در معرض نفوذ عوامل خارجی قرار دهد.

- ترک‌های ناشی از حمل و جابجائی نادرست

در صورتی که الزامات لازم در هنگام جابجایی پایه‌های بتنی در هر یک از مراحل عمل‌آوری، انبارش، خروج از انبار و نصب مورد توجه قرار نگیرد، در اثر وارد آمدن ضربه و یا بارگذاری بالاتر از ظرفیت تحمل بتن، پایه‌ها ممکن است دچار ترک‌های عرضی گردند. این ترک‌ها در کاهش عمر مفید پایه موثراند و باید تا حد امکان از وقوع آنها جلوگیری کرد. نمونه‌ای از این ترک عرضی در بدنه‌ی پایه بتنی در شکل ۱۳ قابل مشاهده است.



شکل ۱۳- ترک عرضی ناشی از انبارش و یا حمل غیراصولی [۴]

### سفیدک و شوره زدگی

یکی از آسیب‌های ظاهری متداول بتن سفیدک یا شوره‌زدگی بتن می‌باشد. رنگ سفید شوره، ناشی از ته‌نشینی نمک‌ها بر روی سطح بتن در اثر تبخیر آب از سطح آن می‌باشد. آب حاوی نمک‌های مختلف موجود در مصالح بتن، با آمدن به سطح و سپس با تبخیر این آب، شوره تشکیل می‌گردد. شکل ۱۴ آسیب ناشی از حمله‌ی سولفات به بتن و در نتیجه تشکیل شوره را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- آسیب ناشی از حمله سولفات به سازه‌ی بتنی و تشکیل شوره بر سطح بتن [۹]

### ریزش پوشش بتن

ریزش پوشش بتن به دو دلیل می‌تواند در پایه‌های بتنی رخ دهد. کیفیت پایین مصالح (استفاده از سنگدانه‌های نشسته، آب نامناسب و مصالح سیمانی منقضی شده و فاسد) و یا اختلاط نامناسب بتن موجب عدم چسبندگی مناسب بین اجزای بتن شده و بتن به مرور در اثر تفاوت نرخ انقباض برای ناحیه‌ی داخلی و خارجی بتن و بوجود آمدن ترک‌های سطحی دچار ریزش می‌گردد [۱۰].

علاوه بر این، کم بودن کاور بتن می‌تواند باعث ریزش این پوشش شود. در صورت طراحی نامناسب میلگردها (جانمایی غیر صحیح در نقشه‌ی ساخت) و یا در صورت عدم رعایت اصول میلگردگذاری (عدم استفاده از جداکننده یا همان اسپیسر)، میلگرد در فاصله‌ی بسیار نزدیکی از سطح بتن در قالب سخت شده و پس از گیرش، در صورت خوردگی این میلگرد، ترک حاصل از آن به راحتی به پوشش نازک بتن سطح فشار وارد کرده و آنرا جدا می‌نماید. همچنین وارد آمدن بارهای دینامیکی و قرارگرفتن بتن در معرض چرخه‌های ذوب و یخ نیز می‌تواند نرخ فرایند ریزش پوشش بتن را افزایش دهد [۶].



شکل ۱۵- جداشدگی و ریزش پوشش بتن در اثر خوردگی میلگرد [۱۱]

### کرمو شدگی پایه بتنی

در صورتی که هنگام جادهی بتن در قالب، حفرات خالی بین ذرات درشت‌تر توسط خمیر سیمان و ریزدانه‌ها پر نگردد، آن بخش پس از برداشت قالب خالی مانده و بتن به اصطلاح کرمو می‌شود. این آسیب، از انواع ایرادات ساختاری محسوب شده و علاوه بر کاهش مقاومت بتن، باعث نفوذ سریع‌تر عوامل خوردنده به درون بتن شده و خوردگی میلگردها را به همراه دارد. ویبره‌ی ناصحیح، عدم دانه‌بندی مناسب مصالح سنگی، عدم درزبندی مناسب قالب و متعاقباً فرار شیره‌ی بتن و تفکیک دانه‌بندی از جمله دلایل کرمو شدگی به حساب می‌آیند. در شکل ۱۶ نمونه‌ای از این آسیب در پایه‌ی بتنی قابل مشاهده است.



شکل ۱۶- کرمو شدگی و ریزش پوسته بتن [۱۱]

### شکستن و واژگونی پایه

یکی از شایع‌ترین آسیب‌های پایه‌های بتنی شکستگی پایه و یا واژگونی کامل می‌باشد. به دلیل قرارگیری اکثر پایه‌های توزیع برق در مجاورت خیابان‌ها و معابر دسترسی، صدمه‌ی ناشی از برخورد و سائل‌نقلیه یکی از مهمترین دلایل شکست و واژگونی پایه‌های بتنی می‌باشند. همچنین به دلیل جذب انرژی نسبتاً پایین پایه‌های

بتنی، در صورت برخورد وسایل نقلیه به پایه، نیروی مقاوم به طور مستقیم به وسیله‌ی نقلیه و متعاقباً به سرنشینان آن منتقل شده و از این رو می‌تواند تلفات جانی و مالی گسترده‌ای به بار آورد. از طرف دیگر، در برخی نقاط آب‌وهوایی و در برخی نقاط کشور، مخاطرات طبیعی همچون طوفان، زلزله و خاک سست نیز در واژگونی پایه موثر هستند.



شکل ۱۷- آسیب ناشی از تصادف وسیله نقلیه با پایه‌ی بتنی

### انحراف و اعوجاج پایه

قراردادن نامناسب پایه‌ها در استخر در حین عمل‌آوری و همچنین انبار نمودن نامناسب پس از گیرش در محل انبار به خصوص در می‌تواند باعث اعوجاج پایه‌ها گردد. در اثر وجود سطح غیرمسطح در زیر محل انبارش و یا وجود فواصل زیاد بین تکیه‌گاه‌های زیرین، پایه‌ها مستعد انحنای در اثر فشار بار ثقلی در اثر وزن خود و یا سایر پایه‌های بالاتر می‌باشند.

## نتیجه گیری

پایه های بتنی شبکه توزیع نیرو به دلیل تشکیل یافتن مصالح از اجزای مختلف و همچنین فرایندهای کارگاهی ساخت به طور بالقوه در معرض آسیب از جهات مختلفی قرار دارند. به طور کلی، آسیب‌های وارد بر این نوع پایه‌ها را می‌توان از لحاظ علل بوجود آورنده‌ی آسیب به سه دسته‌ی مختلف تقسیم‌بندی نمود:

دسته‌ی اول: عوامل مرتبط با نسبت اجزای مخلوط (طرح اختلاط)، مصالح که شامل مواردی همچون واکنش قلیایی سنگدانه و اجزای حاوی مواد شیمیایی خاص مانند کلرید و سولفات می‌باشد.

دسته‌ی دوم: عوامل مرتبط با نحوه عمل‌آوری و اجرا که شامل مواردی همچون ویبره، عمل‌آوری ناقص و ترک‌های حین تولید می‌باشد.

دسته‌ی سوم: عوامل مرتبط با پدیده‌های محیطی و خارجی همچون محیط‌های کلریدی، سولفاتی، عامل کربناسیون، مخاطرات طبیعی و محیطی مانند زلزله و ضربه به پایه می‌باشد.

با توجه به موارد فوق و دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارد شده و مخاطرات اشاره شده می‌توان آسیب، دلایل، منشا آسیب و شواهد تشخیص آسیب‌های پایه‌های بتنی به شرح ذیل دسته‌بندی نمود.

جدول ۵- آسیب، دلایل، منشا آسیب و شواهد تشخیص آسیب‌های پایه‌های بتنی

آسیب	دلیل	منشاء آسیب	شواهد تشخیص
خوردگی میلگرد	آشکارشدگی میلگرد در سطح خارجی بتن	عدم رعایت حداقل فاصله بین میلگرد و دیواره قالب	میلگرد در سطح خارجی پایه بتنی قابل بیرون زدگی دارد
ترک‌های سازه‌ای	وارد آمدن ضربه بتن حین حمل و جابجایی پایه	ایجاد تنش‌های کششی بیشتر از حد مقاومت کششی بتن	ترک‌های عرضی در سطح بتن قابل مشاهده است
	بارگذاری بیش از حد		
ترک‌های سطحی	نشست خمیری	جابجایی بتن در اثر انقباض نسبت به میلگرد ثابت	ترک در محل امتداد قرارگیری میلگرد
	جمع‌شدگی خمیری	تبخیر آب بتن از سطح آن	ترک‌های کوچک در سطح بتن
	افت حرارتی	اختلاف تنش گرمای گیرش داخل بتن و سردشدن سطحی بتن	وقوع ترک‌های طولی در امتداد پایه
	جابجایی، حمل غیر اصولی	تنش کششی	وقوع ترک‌های عرضی در امتداد پایه

## دسته‌بندی انواع آسیب‌های وارده به پایه‌های بتنی شبکه‌ی توزیع، بررسی دلایل و منشاء آسیب

سفیدک و شوره زدگی	حمله سولفاتی	تشکیل کلسیم سولفات و کریستالهای اترینگایت	سفیدک بیشتر در سطح پایه و لبه ها و گوشه های آن قابل مشاهده است
ریزش پوشش بتن	وجود املاح معدنی زیاد (نمک) در مصالح بتنی	تبخیر آب و ته نشینی املاح بر سطح بتن	شوره (ته نشین نمک) در سطح خارجی بتن مشخص است
کرمو شدگی پایه بتنی	کیفیت پایین مصالح یا نحوه ساخت	عدم چسبانندگی مناسب بین سنگدانه و سیمان	بتن به صورت پودر از سطح پایه جدا می شود.
شکستن و واژگونی پایه	کم بودن کاور بتن	خوردگی میلگرد و فاصله بسیار کم میلگرد از سطح بتن	بتن ترک خورده و پوشش به صورت تکه‌ای جدا می‌شود
انحنای پایه بتنی	ویریه نادرست، دانه‌بندی نامناسب مصالح سنگی	باقی ماندن حفرات هوا در داخل جان بتن	سطح خارجی بتن پر از خلل و فرج می باشد
	صدمه ناشی از تصادفات	برخورد خودروها، وسایل نقلیه یا اشیا سنگین	
	افزایش نیروی کشش	طوفان، یخ دور سیم، ضعف فوندانسیون	با توجه به شرایط محیطی قابل تشخیص است
	انبار نمودن نامناسب پایه ها	فواصل زیاد بین دو تکیه گاه زیر پایه ها و انحنا در اثر فشار بار ثقلی	ترک های عرضی در همان اولین زمان بهره برداری قابل تشخیص است

### مراجع

- [1] Japanese scientist predicts another major earthquake in Japan by ۲۰۱۷. Available from: <https://soraneews۲۴.com/۲۹/۰۷/۲۰۱۴/japanese-scientist-predicts-another-major-earthquake-in-japan-by-./۲۰۱۷>
- [۲] خراشادیزاده، ش.، ب. زاهدی، and س.م.ا.ق. زاده، نقش طراحی بهینه شبکه های توزیع در افزایش ایمنی و بررسی حوادث ناشی از طراحی نامناسب. ۱۳۹۱.
- [۳] et al., کمالوند، ش.ا.، ارزیابی پایداری شبکه با جایگزینی تیرهای کامپوزیتی بجای بتونی در مواقع بحران و پدافند غیر عامل، in بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی شبکه های توزیع نیروی برق. ۱۳۹۸: خرم آباد، تهران.
- [۴] دستورالعمل تعیین الزامات، معیارهای فنی و راهنمای حفاظت، ترمیم و مقاوم سازی پایه های بتنی، ش.م.ت.ا.و.ت.ن.ب.ا. توانیر، Editor. ۱۳۹۸.
- [5] Kliukas, R., R. Vadluga, and V. Kesiunas, On carrying capacity of vibrated concrete poles for electric power transmission line supports. *Journal of Civil Engineering and Management*, ۲۰۰۳. ۹: p. ۱۶-۹
- [6] Kliukas, R., et al., Half a century of reinforced concrete electric poles maintenance: Inspection, field-testing, and performance assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, ۲۰۱۸. ۱۴(۹): p. ۱۲۲۱-۱۲۳۲



[۷] دستورالعمل الزامات انبارش، جابجایی، حمل و نصب پایه های بتنی مسلح چهارگوش، ش.م.ت.ا.و.ت.ن.ب.ا. توانیر، Editor. ۱۳۹۶.

[8] Sayahi, F., Plastic Shrinkage Cracking in Concrete: Mitigation and Modelling. ,۲۰۱۹Luleå University of Technology.

[9] Sulfate attack. Available from: <https://betonpasargad.com/wp-content/uploads/07/2019/sulphate-attack-oconcrete-1-1.jpg>.

[10] Dissanayake, D., STUDY ON SPUN CASTING PRE-STRESSED CONCRETE TECHNOLOGY & ITS APPLICATION TO LOW COST UTILITY POLE PRODUCTION IN SRI LANKA. ۲۰۱۵

[11] broken utility pole. Available from: <https://www.dreamstime.com/photos-images/broken-concrete-pole.html>

## اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سازه‌های صنعت برق و رهنگاشت شناسایی و پهنه‌بندی آنها

امیر اکبری گرکانی<sup>۱</sup>، علیرضا رهنورد<sup>۲</sup>، محمدعلی جعفری<sup>۳</sup>، علی اصغر ذکاوتی<sup>۴</sup>

**چکیده:** در این گزارش پژوهشی، فعالیت‌های انجام شده به منظور تعیین مخاطرات محیطی زمینی اولویت‌دار که بر سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق تأثیرگذار هستند، ارائه شده است. بخش اول این گزارش که در خصوص مخاطرات محیطی جوی تهیه شده بود، در برونداد شماره ۹ ارائه گردید. در این راستا به منظور تعیین راهبردها و اقدامات مورد نظر در سند شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات زمین و با توجه به محدودیت‌های منابع، اولویت‌بندی مخاطرات محیطی برای شناسایی، اجتناب ناپذیر است. این اولویت‌بندی طبق یک متدولوژی طراحی شده بر اساس رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و چندشاخصه و با استفاده از معیارهای مؤثر تعیین شده، انجام گردید. جهت تعیین امتیازهای مورد نیاز برای کمی‌سازی شاخص‌ها، از نظر خبرگان استفاده شده که توسط پرسشنامه‌های طراحی شده، اخذ گردیده‌اند. بر اساس اولویت‌بندی انجام شده، مخاطرات زمینی اولویت‌دار مؤثر بر سازه‌های صنعت برق، به تفکیک در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع مشخص و ارائه شده‌اند. در نهایت، رهنگاشت اقدامات مورد نیاز برای شناسایی و پهنه‌بندی این مخاطرات اولویت‌دار نیز تهیه و ارائه شده است.

**کلیدواژه:** مخاطرات محیطی زمینی، سازه‌های صنعت برق، اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، رهنگاشت

### مقدمه

تاسیسات و سازه‌های موجود در صنعت برق همواره در معرض برخورد با مخاطرات مختلف قرار دارند. لذا به منظور بهره‌برداری و سرویس‌دهی مناسب و همچنین کاهش خسارت وارده به این تاسیسات، نیاز به شناخت کامل مخاطرات موجود و دلایل وقوع آنها و همچنین آسیب‌های ناشی از آن می‌باشد. در طبیعت، مخاطرات می‌تواند دارای منشا طبیعی بوده که انسان در پدید آمدن آن دخالتی ندارد و یا می‌تواند به دلایل فعالیت‌های انسانی و اعمال

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی، پست الکترونیکی (Aakbari@nri.ac.ir)

<sup>۲</sup> پژوهشگر، پست الکترونیکی (arahnavard@nri.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار پژوهشی، پست الکترونیکی (mjafari@nri.ac.ir)

<sup>۴</sup> پژوهشگر، پست الکترونیکی (azekavati@nri.ac.ir)

تغییرات بر روی طبیعت به وجود بیاید. در حالت کلی مخاطرات را می‌توان به سه دسته کلی شامل مخاطرات جوی، زمینی و انسانی تقسیم بندی کرد. یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که سازه‌های صنعت برق را همواره مورد تهدید قرار می‌دهد، مخاطرات مربوط به زمین است که در اثر وقوع این مخاطرات، خسارات زیادی به سازه‌های موجود در صنعت برق وارد آمده است. لذا شناخت، دسته بندی و بررسی این مخاطرات دارای اهمیت فراوان می‌باشد. مخاطرات زمین به دلیل اینکه می‌تواند خسارت زیادی به شریان‌های حیاتی از جمله تاسیسات خطوط انتقال نیرو، خطوط گازرسانی و راهها داشته باشد، از اهمیت فراوانی برخوردار است. مخاطرات زمین شامل پدیده‌های مختلفی از جمله فرونشست، روانگرایی، گسترش جانبی، ناپایداری شیروانی و زمین لغزش، فروریزش، تورم و واگرایی در خاک، وجود خاک‌های مساله‌دار، فرسایش، کارستی شدن، زلزله، آتشفشان و گسلش می‌باشد. عمده مخاطرات تأثیرگذار بر سازه‌ها در سال‌های گذشته مورد مطالعه قرار گرفته و برخی از پارامترهای مشخصه آنها نیز تعیین و در سطح کشور پهنه‌بندی شده‌اند. اما با توجه به گذشت سال‌ها و دهه‌ها از این بررسی‌ها، ایجاد تغییرات محیطی و اقلیمی به همراه حصول دانش‌ها و داده‌های جدید از آنها، لزوم بازبینی و بروز رسانی مطالعات گذشته را در کنار انجام مطالعات جدید، نشان می‌دهد. بر این اساس، طرحی در گروه سازه‌های صنعت برق مورد نظر قرار گرفته که در هدف از آن، شناسایی انواع مخاطرات محیطی در ارتباط با سازه‌های صنعت برق، شناسایی ماهیت هریک به همراه مدل‌های رفتاری و آماری مناسب برای بیان پارامترهای مشخصه آنها، گردآوری داده‌های مورد نیاز و در نهایت، ارائه مقادیر کمی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور (بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی) می‌باشد. با توجه به اینکه انجام طرح مورد نظر، نیاز به حوزه‌های مختلفی از دانش علمی و فنی، تخصص و فناوری دارد، وجود برنامه‌ای جامع برای هماهنگ‌سازی و جهت‌دهی فعالیت‌های مورد نیاز ذینفعان مختلف و افزایش کارایی و اثربخشی آنها، ضروری می‌باشد. بدین منظور در گام نخست از اجرای این طرح، به تدوین سند راهبردی و نقشه‌راه (ره‌نگاشت) پرداخته شده است. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها،

راهبردها، اقدامات و برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه دانش و فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند. وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه مورد نیاز برای توسعه دانش و فناوری و نیل به اهداف آن خواهد شد. بخش‌هایی از مهمترین خروجی‌های سند مورد نظر که شامل تعیین اولویت‌های مخاطرات جوی مؤثر بر سازه‌ها و سامانه‌های صنعت برق و رهنگاشت اقدامات و پروژه‌های لازم جهت تحقق اهداف مورد نظر هستند، در قالب یک گزارش پژوهشی در برون‌داد شماره ۹ گروه سازه ارائه شدند. در این گزارش، خروجی‌های مشابه (اولویت‌بندی مخاطرات و رهنگاشت شناسایی و پهنه‌بندی آنها) از سند مربوطه در حوزه مخاطرات زمینی ارائه شده‌اند.

### متدلوژی اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی

انواع مختلف مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سامانه‌های صنعت برق و سازه‌های آنها که در این

اولویت‌بندی مورد نظر قرار دارند، در ۷ دسته کلی به شرح جدول زیر می‌باشند:

جدول ۱: انواع مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سازه‌های صنعت برق

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

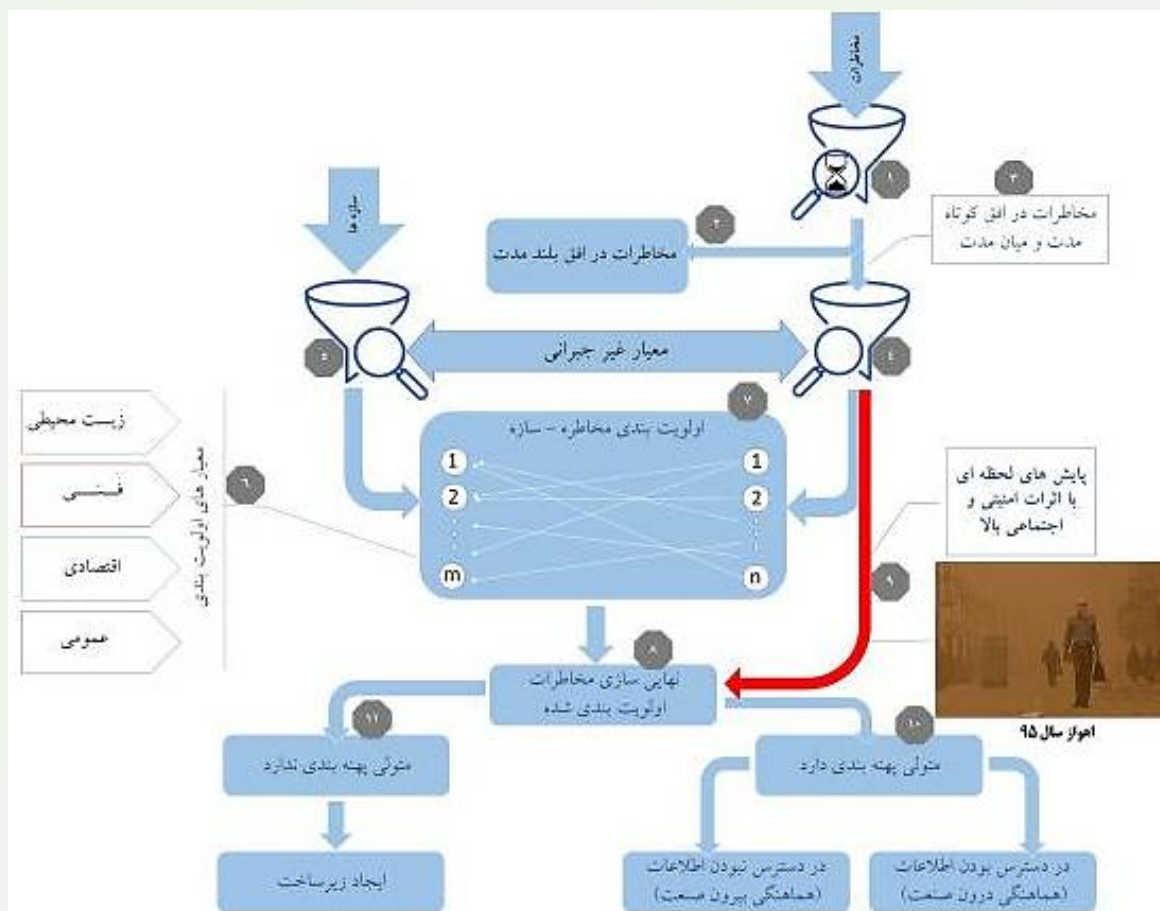
متدلوژی مورد استفاده برای اولویت‌بندی مخاطرات زمینی مشابه با متد انجام شده در خصوص مخاطرات جوی می‌باشد. در اولویت‌بندی مخاطرات به علت وجود چندین معیار و شاخص از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و چند شاخصه استفاده می‌شود. بدین منظور، پس از تعیین معیارهای مورد نیاز برای اولویت‌بندی و شاخص‌های مربوط به هر یک از آنها، مقادیر امتیاز برای کمی کردن شاخص‌ها منظور شده و امتیازات هر یک بر اساس نظر خبرگان (که با پرسشنامه اخذ گردیده) تعیین شده و در نهایت، اولویت‌های مخاطرات مشخص شده‌اند. ملاحظات حاکم بر طراحی متدولوژی به سه دسته زیر تقسیم‌بندی شده‌اند:

- زمانی (افق بلندمدت و کوتاه و میان‌مدت)
- ملاحظات جبرانی و غیرجبرانی
- جامع‌نگری در ابعاد مخاطرات بر اساس معیارها

این ملاحظات و مراحل متدولوژی مورد نظر در نمودار شکل ۱ نشان داده شده‌اند. توضیحات تکمیلی در خصوص مراحل اولویت‌بندی نشان داده شده در شکل ۱، در برونداد شماره ۹ ارائه شده و از اینرو، از تکرار آنها در این گزارش خودداری شده است.

برای انجام اولویت‌بندی، در ابتدا هر مخاطره با توجه به اثر خود در صنعت برق به هر سازه (یا تأسیسات) مرتبط می‌شود و پس از آن به صورت زوج مخاطره-تأسیسات بررسی می‌شوند. سپس اولویت‌بندی بر اساس معیارهای تعیین شده صورت می‌گیرد. برای آن که مهمترین مخاطرات شناسایی شود، می‌بایست این مخاطرات از لحاظ معیارهای مختلف مقایسه و اولویت‌بندی شوند. تأثیر مخاطرات مختلف بر سازه‌های صنعت برق را

می‌توان از ابعاد مختلف (اقتصادی، فنی، زیست محیطی و ...) مورد بررسی قرار داد و در هر بعد معیارهای مختلفی می‌تواند مطرح باشند. ابعاد و معیارهای بررسی در این مرحله در جدول ۲ ارائه شده‌اند.



شکل ۱: متدلوژی طراحی شده برای اولویت بندی مخاطرات جوی

جدول ۲: ابعاد و معیارهای جامع اولویت‌بندی مخاطرات

معیار	ابعاد	ردیف
میزان خسارات مستقیم (درون صنعت)	اقتصادی	۱
میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی)		
تعداد جمعیت تحت تأثیر	عمومی	۲
میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه	فنی	۳

معیار	ابعاد	ردیف
مدت زمان بازگشت به وضعیت عادی		
آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت وقوع خرابی در تأسیسات	زیست‌محیطی	۴

پس از نهایی‌سازی اولویت‌بندی، با توجه به وجود و یا عدم وجود متولی پهنه‌بندی مخاطرات و اطلاعات حاصل از آنها اقدامات لازم برای ایجاد زیرساخت و یا هماهنگی درون و یا بیرون صنعت انجام می‌شود.

### پرسشنامه‌های اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی

برای دستیابی به اولویت‌بندی مخاطرات همان‌طور که در بخش قبل گفته شد نظر خبرگان این صنعت نیاز است. برای این منظور ۳ پرسشنامه طراحی شده و توسط خبرگان به ترتیب زیر تکمیل شده است:

۱. پرسشنامه اولویت‌بندی مخاطرات-تأسیسات (قسمت اول)(شناسایی مخاطرات)

۲. پرسشنامه اولویت‌بندی مخاطرات-تأسیسات (قسمت دوم)(شناسایی معیارهای اولویت‌بندی)

۳. پرسشنامه اولویت‌بندی مخاطرات-تأسیسات (قسمت سوم)(اولویت‌بندی مخاطرات بر اساس معیارها)

در پرسشنامه اول، ارزیابی نحوه تأثیر انواع مخاطرات شناسایی شده بر بخش‌های مختلف سامانه‌های صنعت برق و سامانه‌های آنها (شامل سازه‌ها و تجهیزات اصلی) مورد نظر می‌باشد. " سابقه و یا پتانسیل وقوع به همراه خسارت جدی" موضوع مهمی است که در این پرسشنامه به آن پرداخته شده است.

در پرسشنامه دوم، تلاش بر این بوده تا با توجه به لیست تهیه شده از معیارها، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و صاحب‌نظران، معیارها نهایی شوند. از خبره محترم خواسته شده تا موافقت یا عدم موافقت خود را در رابطه با استفاده از هر یک از معیارهای پیشنهادی جهت اولویت‌بندی مخاطرات، در ستون مربوطه مشخص

نموده و چنانچه معیار(های) دیگری را در نظر داشته که از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و در جدول مربوطه بیان نشده، در قسمت "سایر" یادداشت کند.

پرسشنامه سوم در سه بخش تنظیم و ارائه شده است. در بخش اول، معیارهای که در پرسشنامه‌های پیشین نهایی شده‌اند به عنوان معیارهای اصلی در این پرسشنامه معرفی و علاوه بر وزن هر معیار وضعیت مخاطرات-تأسیسات اصلی شناسایی شده در قسمت‌های پیشین نیز نسبت به آنها تعیین می‌شود. در این پرسشنامه از خبره محترم خواسته شده تا اهمیت و وزن نسبی هر یک از معیارهای نهایی شده را با اعداد ۱ تا ۱۰ مشخص نماید. در بخش دوم، مخاطرات-تأسیسات اصلی انتخاب شده در پرسشنامه‌های پیشین در نظر گرفته شده و از خبره محترم خواسته شده تا در هر خانه با تعیین عددی بین ۱ تا ۱۰ وضعیت هر مخاطره-تأسیسات را نسبت به معیار مورد نظر مشخص کند. (۱: بسیار کم‌اهمیت- ۱۰: بسیار پراهمیت). در این بخش از پرسشنامه از خبره محترم خواسته شده تا برای هر یک از سوالات زیر، پاسخ را بصورت امتیاز در جدول مربوطه درج کند.

۱. میزان خسارت مستقیم (درون صنعت) بر اثر مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۲. میزان خسارت غیرمستقیم (تأثیر بر اقتصاد ملی مثل قطع برق بخش‌های تولیدی، صنعتی و خدماتی بزرگ) بر اثر مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۳. تعداد جمعیت تحت تأثیر ناشی از اثر مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۴. میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه ناشی از اثر مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۵. مدت زمان بازگشت به وضعیت عادی بر اثر وقوع مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)
۶. امکان وقوع بلک‌اوت در شبکه ناشی از اثر مخاطرات زمینی بر تأسیسات چقدر است؟ (۱ تا ۱۰)



۷. آسیب‌های احتمالی به محیط‌زیست در صورت مخاطرات زمینی و وقوع خرابی در تأسیسات چقدر است؟

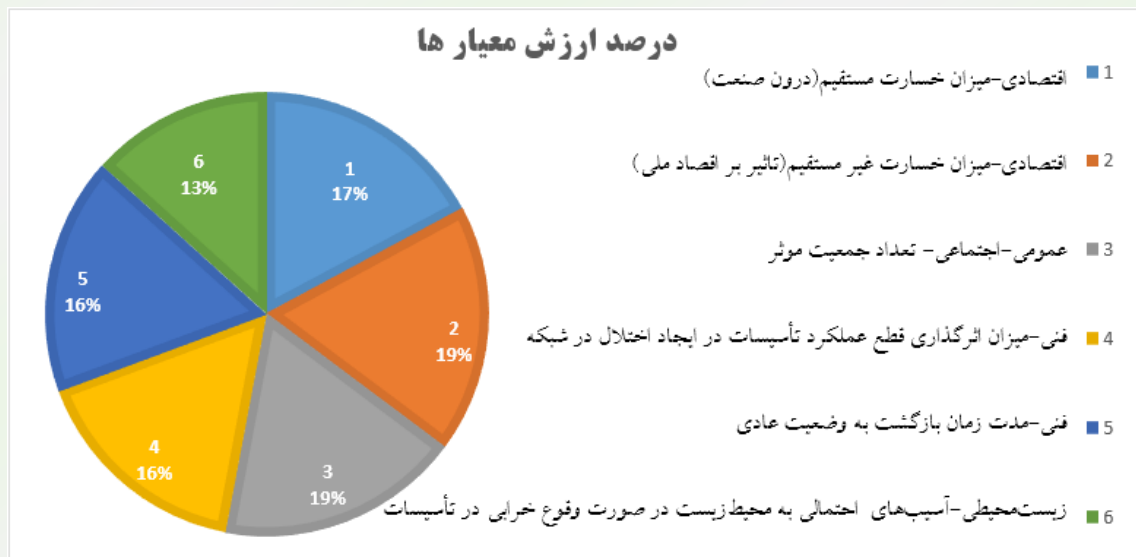
(۱ تا ۱۰)

در بخش سوم، از خبره محترم خواسته شده تا در جداول مربوطه ۵ مخاطره- تأسیسات اصلی با بیشترین فراگیری و شدت اثر را مشخص نماید. معیار "فراگیری" بیان‌کننده شدت اثر و حوزه اثرگذاری مخاطره، تأثیر آن در اعتبار عمومی صنعت برق نزد جامعه و تبعات سیاسی اجتماعی همراه آن می باشد و مخاطرات-تجهیزاتی که بر اساس این معیار فراگیری بالایی دارند به طور مستقیم وارد اولویت اصلی می شوند.

### نتایج اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی

بر اساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط خبرگان، ابتدا میزان وزن نسبی و اهمیت

معیارهای مورد نظر در اولویت‌بندی تعیین و در نمودار زیر نشان داده شده است:



شکل ۲: وزن نسبی و اهمیت معیارهای اولویت‌بندی مخاطرات جوی

با توجه به وزن معیارهای به دست آمده، زوج مخاطرات و سازه‌ها توسط نرم‌افزار و با روش *AHP* مورد تحلیل قرار گرفت. نتیجه اولویت‌بندی در بخش مخاطرات زمینی و سه حوزه تولید، انتقال و توزیع مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج اولیه حاصل از این فرایند حاصل شد. در ادامه، این اولویت‌بندی اولیه طی مصاحبه از خبرگانی که در سطوح کلان حوزه صنعت برق مشغول به فعالیت هستند تکمیل و مستحکم گردید. در این راستا طی جلساتی که با خبرگان مختلف برگزار گردید نتایج نهایی اولویت‌بندی به شرح ذیل تدقیق گردید:

جدول ۳: نتایج اولویت‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مؤثر بر سازه‌ها در بخش‌های مختلف صنعت برق

مخاطرات زمینی اولویت‌دار			ردیف
حوزه تولید	حوزه انتقال	حوزه توزیع	
زلزله (نیروگاه های حرارتی)	زلزله (پست)	زلزله (خط و پست)	۱
فرونشست (نیروگاه های حرارتی)	فرونشست (خط و پست)	فرونشست (خط و پست)	۲
زمین لغزش (توربین بادی)	زمین لغزش	-	۳

### رهنگاشت شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمینی اولویت‌دار

نتیجه نهایی و آخرین گام در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی تدوین رهنگاشت است. رهنگاشت، نمایش کلانی از روش پیمودن مسیر تحقق اهداف را در زمان مشخص بیان می‌کند. رهنگاشت نمایانگر ارکان اساسی فرآیند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی می‌باشد. نمایش کلیه سطوح راهبردی از چشم‌انداز تا فعالیت‌ها، تقدم و تأخر حاکم در سطوح مختلف به‌ویژه در سطح اقدامات، زمان‌بندی تحقق هر سطح به همراه منابع اختصاص یافته و در نهایت معرفی متولیان هر یک از سطوح اجزای تشکیل‌دهنده رهنگاشت می‌باشند. رهنگاشت اقدامات فنی مورد نیاز برای شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمینی مرتبط با صنعت برق و

پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور در افق زمانی ۵ ساله ترسیم و در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳: ره‌نگاشت اقدامات فنی مورد نیاز در جهت شناسایی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی زمینی اولویت‌دار در صنعت برق

- [35]. D. Hyndman, D. Hyndman, Natural Hazards and Disasters, Cengage Learning, 2010.
- [۳۶]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، راهنمای شماره ۱. پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲. ویرایش دوم.
- [۳۷]. روش‌شناسی اسناد ملی راهبردی، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور، ۱۳۹۱.
- [۳۸]. سید محمد اعرابی. دستنامه برنامه‌ریزی استراتژیک. تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، ۱۳۸۵.
- [39]. Voogd, H. "Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data." *Environment and Planning B* 9 (1982): 221-236.
- [40]. Attribute weighting methods and decision quality in the presence of response error: a simulation study, *Journal of Behavioral Decision Making*, 1998
- [41]. Artur Pinto, Institute for the Protection and Security of the Citizen Joint Research Centre, The Workshop "Elaboration of maps for climatic and seismic actions for structural design in the Balkan region", (2015).
- [42]. P. Formichi, General Principles of the Elaboration of Maps for Climatic and Seismic Actions, in, 2015.

## فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰

### آرش یگانه فلاح<sup>۱</sup>

**چکیده:** آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو پژوهشگاه نیرو، بزرگترین و مجهزترین آزمایشگاه آزمون دکل در خاورمیانه می‌باشد که انجام آزمون نوعی بر روی انواع سازه‌های انتقال نیرو را بر طبق الزامات استاندارد IEC 60652-2002 به انجام می‌رساند. آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو پژوهشگاه نیرو، واقع در نزدیکی شهر اراک، به عنوان یکی از آزمایشگاه‌های مرجع وزارت نیرو و تنها آزمایشگاه آزمون نوعی دکل‌های انتقال و توزیع نیرو مورد تأیید در ایران می‌باشد. در این گزارش به معرفی اجمالی فعالیت‌های صورت گرفته زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰ در این آزمایشگاه بیان می‌گردد.

واژگان کلیدی: آزمون نوعی، آزمایشگاه مرجع، دکل مشبک و تلسکوپ.

### فعالیت‌های انجام شده

در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰ پنج آزمون نوعی دکل انتقال نیرو انجام پذیرفت که مشخصات این پنج دکل مطابق با جدول ۱ می‌باشد، که شکل ۱ الی شکل ۴ تصاویری از دکل برپا شده، نحوه اعمال نیرو به دکل توسط کابل‌ها و تغییر شکل دکل پس از انجام آزمون نوعی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱: مشخصات دکل‌های تست شده

ردیف	نام دکل	وزن طبق قرارداد (تن)	ارتفاع (متر)	تعداد مدار	نوع برج	کارفرمای آزمون	تاریخ انجام تست	تصویر از دکل
۱	KZT4-30	۲۳,۹۵۵	۵۰,۸۲	۲*۱۳۲	مشبک	شرکت سازه‌های فلزی یاسان	۹۹/۱۱/۲۰	شکل ۱ و ۲
۲	GLS-2	۱۱,۳۷	۵۵,۴	۲*۲۳۰	مشبک	شرکت صنعتی گام	۱۴۰۰/۰۲/۰۷	شکل ۳
۳	A4T-60	۸۱,۶۵	۳۰,۴۴	۴*۶۳	تلسکوپ - بتنی	شرکت پارس ساختار	۱۴۰۰/۰۲/۲۶	شکل ۳ و ۴
۴	D2-COMPOSIT(DT)	۲,۶۶	۲۳,۶۶	۲*۱۳۲	مشبک	شرکت مهندسی نیرو صنعت غزال	۱۴۰۰/۰۳/۰۹	-
۵	GT2-10	۱۴	۵۶	۲*۲۳۰	مشبک	شرکت آفتاب نیروی سبز گام	۱۴۰۰/۰۴/۰۱	-

<sup>۱</sup> استادیار و عضو هیات علمی، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، [Ayeganeh@nri.ac.ir](mailto:Ayeganeh@nri.ac.ir)



شکل ۱. دکل  $KZT4-30$  در حال مونتاژ عمودی



شکل ۲. نمونه‌ای از نحوه اتصال کابل‌های اعمال نیرو بر روی دکل  $KZT4-30$



شکل ۳. دکل *GLS-2* آماده آزمون و برج تلسکوپی بتنی *A4T-60* آماده ریگینگ



شکل ۴. دکل تلسکوپی بتنی *A4T-60*

انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی

در این بخش، عناوین مقالات و انتشارات پژوهشی اعضای گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق ارائه می‌گردد:

(۱) مقالات ژورنالی (ISI):

1. Haeri, S. M., **Garakani, A. A.**, & Kamali Zarch, M. (2021). *Unsaturated 3D Column Method: New Method for Evaluation of Stability of Unsaturated Slopes Subjected to Vertical Steady-State Infiltration and Evaporation*. ASCE, *International Journal of Geomechanics*, 21(10), 04021177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0002125](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002125).
2. **Garakani, A. A.**, Heidari, B., Jozani, S. M., & Ghasemi-fare, O. (2021). *Numerical and Analytical Study on the Axial Ultimate Bearing Capacity of Fixed-Head Energy Piles in Different Soils*. Accepted for publication in: ASCE's *International Journal of Geomechanics*.
3. **Zekavati, A. A.**, **Jafari, M.A.**, & Saeidi, A., (2021). *Experimental and numerical investigation on the structural performance of a novel type of Pultruded composite cross-arm for power transmission towers*. Submitted for publication in: *Structures*. (Under Review)
4. **Jafari, M.A.**, & **Rezazdeh, S.**, (2021). *Estimation of Reduction Factors for Combined Wind and Ice Loading of Power Transmission Lines Using Multivariate Scenario Sampling*. Submitted for publication in: *IEEE Transactions on Power Delivery*. (Under Review)
5. Mahmoudi, A., **Jafari, M.A.**, & Nasrollahzadeh, K., (2021). *Reliability-Based Approach for Fragility Analysis of Lattice Transmission Tower in the Type Test*. Submitted for publication in: *Scientia Iranica*. (Under Review)

(۲) مقالات کنفرانسی:

1. **Garakani, A. A.**, Banafsheh Varagh, S. T., & **Yeganeh Fallah, A.** (2021). *The Imposed Costs of Land Subsidence on High-Voltage Transmission Lines*. Accepted for oral presentation in: *International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*, (GFAC 2021), Saint Petersburg, Russia.



2. **Garakani, A. A., & Molaei Birgani, M. (2021). Seismic Stability of Unsaturated Clay Slopes under Various Surcharge Loads. Accepted for oral presentation in: 17<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, (17WCEE), Sendai, Japan.**
3. **Jafarzadeh, F., & Garakani, A. A. (2021). Numerical Modeling of Thermomechanical Behavior of Energy Piles under Machine-Induced Vibrations. Accepted for oral presentation in: 17<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, (17WCEE), Sendai, Japan.**

### ۳) گزارش الکترونیکی / EREPORT:

[۱] جعفری، محمدعلی (۱۴۰۰)، تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور. انتشارات پژوهشگاه نیرو، DOI: 10.30503/nripress.2020.059

### ۴) سخنرانی در مجامع علمی:

۱. اکبری گرکانی (۱۳۹۹)، "فرونشست زمین، فاجعه خاموش قرن و آثار مخرب آن بر سازه‌های صنعت برق". کارگاه آموزشی، جشنواره مجازی وزارت نیرو، ۱۴ دی ۱۳۹۹ تهران، ایران.
۲. جعفری، محمدعلی. (۱۳۹۹)، "تحلیل ریسک پستهای انتقال نیرو در برابر زلزله". جشنواره مجازی پژوهش و فناوری وزارت نیرو، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران. ۱۶ دی ۱۳۹۹ تهران، ایران.
۳. ذکاوتی، علی اصغر (۱۴۰۰)، "شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش عمر مفید پایه‌های شبکه توزیع". وبینارهای تخصصی پژوهشگاه نیرو، ۳ خرداد ۱۴۰۰ تهران، ایران.
۴. گودرزی، آزاده (۱۴۰۰)، "بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، به کارگیری و توسعه مواد نانو ساختار". وبینارهای تخصصی پژوهشگاه نیرو، ۲۴ خرداد ۱۴۰۰ تهران، ایران.

پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

در این بخش، خلاصه‌ای از پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، پروژه‌های تصویب شده و پایان یافته گروه سازه در بازه زمانی زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰، همکاری‌های اعضای گروه در پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو و همچنین خلاصه‌ای از همکاری‌های اساتید دیگر دانشگاه‌ها با گروه (طرح بهتام) ارائه می‌شوند.

عنوان پروژه: تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه‌های شبکه انتقال و فوق توزیع	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی	نوع پروژه: آزمون ایده
همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی - محمد علی جعفری صحنه سرایی - مهدیه کلانتری - بهاره حیدری - سحر مختاری جوزانی - مهسا فراهانی - فرشته طریقت	مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۹۲٪	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۰/۳/۳۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۷/۱
تعداد مراحل پایان یافته: مراحل ۱ و ۲ به اتمام رسیده و کمیسیون فنی برگزار شده و مرحله ۳ در انتظار تشکیل کمیسیون فنی	
<p>خلاصه: پس از صنعتی شدن جوامع و گسترش صنعت و تکنولوژی، نیاز جوامع انسانی به استخراج آب به منظور تامین نیازهای کشاورزی و صنعتی افزایش یافته است. این استخراج بیش اندازه و توام شدن آن با دوران خشکسالی و کاهش نزولات جوی، سبب شده که دیگر تحت شرایط طبیعی امکان تغذیه منابع آبی زیرزمینی وجود نداشته باشد. این موضوع سبب نشست ناحیه ای زمین در بسیاری از مناطق شهری شده به گونه ای که در بسیاری از نواحی، پایین آمدن سطح زمین به علت پمپاژ بیش از اندازه آب زیرزمینی تحت عنوان "فرونشست زمین" گزارش شده است. فرونشست در بسیاری از موارد می تواند باعث ایجاد اثرات مخرب زیست محیطی و اقتصادی مانند ایجاد ترکها و شکافهای سطحی، از بین رفتن زمینهای کشاورزی، تغییر در تراز و شیب آبراهه ها، کانال ها و زهکشی ها، خرابی شریانهای حیاتی مانند خطوط انتقال برق، پلها، راهها، لوله های فاضلاب، کانالها و خاکریزها و همچنین شکست لوله چاهها شود. امروزه مناطق بسیاری از استان تهران، از جمله مناطق جنوب غرب شهریار و دشت ورامین دچار فرونشست شدید شده اند و به موازات توسعه و افزایش بهره برداری از منابع آب زیرزمینی این مشکل به گونه ای روزافزون دامنگیر مناطق بیشتری نیز می شود.</p> <p>در این پروژه، تلاش میشود که بر مبنای تئوری ها و تکنیکهای موجود در علوم ژئوتکنیک، ژئولوژی، هیدروژئولوژی و دورسنجی و با توجه به داده های موجود، یک روش یکپارچه جهت شناسایی، تحلیل و پیش بینی میزان فرونشست در یک منطقه ارائه شود. سپس با توجه به محدوده نرمال و محتمل تغییرات نرخ فرونشست زمین، عملکرد فونداسیون سازه های بحرانی خطوط انتقال و فوق توزیع بررسی شده و حد خطر برای آنها معین گردد. در این راستا، در صورت امکان یک محدوده جغرافیایی کوچک نیز انتخاب خواهد شد و مطالعات فوق به صورت پایلوت در آن محدوده صورت خواهد گرفت.</p>	

**عنوان پروژه:** صحت سنجی و مانیتورینگ عملکرد شمع های انرژی در خاک تهران (مطالعه موردی - موقعیت جغرافیایی پژوهشگاه نیرو)

کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی	نوع پروژه: آزمون ایده
همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی - محمد علی جعفری صحنه سرایی - آرش یگانه فلاح - سپیده سفری	مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۳۵٪	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۹/۰۴/۱۵

**تعداد مراحل پایان یافته: مراحل ۱ و ۲ در انتظار تشکیل کمیسیون فنی**

خلاصه: تکنیک استفاده از شمعهای انرژی تجهیز شده با مبدلهای زمینی یک روش مناسب استفاده از انرژی های زمین گرماییست که استفاده از آن کاهش مصرف انرژی های سوختی، تامین قسمتی از انرژی های لازم در مصارف صنعتی، ذخیره انرژی، تامین توانان گرمایش و سرمایش در کاربردهای صنعتی و کاهش آلودگی و انتشار دی اکسیدکربن را به دنبال دارد. از این تکنیک تاکنون در پروژه های متعدد کوچک مقیاس شهری (مانند ساختمانهای مسکونی) و بزرگ مقیاس صنعتی در کشورهایی نظیر امریکا، کانادا، سوئد و ایتالیا استفاده شده است. در پروژه حاضر، با اجرای دو شمع انرژی و یک چاه مانیتورینگ حرارتی در مقیاس واقعی در پژوهشگاه نیرو، تلاش میشود تا روابط تحلیلی و آنالیزهای عددی انجام شده در پروژه پیشین، صحت سنجی شود و فرضیات تدقیق گردد. از نتایج ارزشمند این پروژه اینست که پس از اجرایی نمودن ایده استفاده از شمع های انرژی در ساختمان فن آوری، از دانش، تکنولوژی و اطلاعات به دست آمده از آن میتوان به عنوان داده هایی ارزشمند با نقشی تعیین کننده به کار گیری از آن در سایر پروژه ها استفاده نمود. مخصوصا اینکه بسیاری از تحقیقات عددی صورت گرفته را میتوان از این طریق مورد صحت سنجی قرار داد. در این راستا هدف آنست تا از انجام این پروژه، به موارد زیر دست یافته شود:

- صحت سنجی توانان تحلیل، آنالیز عددی و نتایج آزمون های برجا در عملکرد باربری و تغییر شکل پذیری شمعهای انرژی
- بررسی اثر چیدمان لوله های انتقال سیال بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی
- بررسی اثر دبی سیال بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی
- بررسی اثر حرارت ورودی بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی

عنوان پروژه: شناسایی راهکارها و فناوری های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع	
کارفرما: معاونت پژوهشی - پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی	نوع پروژه: آینده پژوهی
همکاران پروژه: محمد علی جعفری، آقاجان زاده	مدیر پروژه: علی اصغر ذکاوتی
درصد پیشرفت پروژه: ۱۰۰٪ (خاتمه یافته)	مجری پروژه: مسعود حسینی مرزونی
تاریخ پایان پروژه: ۹۹/۱۲/۲۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۰۷/۰۱
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <p>هدف اصلی این پروژه علاوه بر بررسی خرابی ها و فناوری های جدید و ارائه راهکارهای کلی به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع، تعیین و اولویت بندی عناوین پروژه ها و برنامه‌هایی است که پیاده و اجرایی شدن آنها منجر به بهبود پایه های شبکه توزیع گردد. عمده موارد و نتایجی که در این پروژه مورد بررسی و حاصل می‌گردد شامل موارد ذیل خواهد بود.</p> <p>(۱) تبیین مبانی مطالعات افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع</p> <p>در این بخش ضرورت افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع مورد بررسی شده و ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مشخص خواهد شد. علاوه بر آن مستندات حوزه افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع مورد مطالعه قرار می‌گیرد.</p> <p>(۲) گردآوری انواع آسیب های وارده به پایه های هوایی شبکه توزیع و دلایل کاهش عمر و کیفیت</p> <p>در این بخش سوابق موضوعی استفاده از انواع پایه‌های در داخل کشور جمع آوری و مورد بررسی قرار خواهد گرفت و آسیب‌های وارده به انواع پایه‌های هوایی بررسی و علل کاهش عمر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.</p> <p>(۳) بررسی مستندات و دستورالعمل های ابلاغی و شناسایی کاستی ها</p> <p>در این بخش دستورالعمل های ابلاغی دسته بندی شده، کاستی های موثر بر افزایش عمر و کیفیت پایه های استخراج می‌شود و در نهایت عناوین دستورالعمل هایی که نیاز به روز رسانی و یا تدوین دارند با ارائه محتواهای کلی ارائه می‌شوند.</p> <p>در حقیقت در بخش دوم و سوم شناخت وضعیت موجود انجام می‌شود.</p> <p>(۴) فناوری‌ها و دانش‌های مرتبط با افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع</p> <p>در این بخش حوزه‌های فناورانه مرتبط با افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع (مصلح جدید، ساختارهای نوین و ...) در ساخت پایه های شبکه توزیع شناسایی شده و زیرساخت‌های لازم مورد نیاز برای تحقق استفاده از این نوع مصالح طبقه بندی می‌شود و آینده‌های محتمل برای فناوری‌های مرتبط نیز مورد کنکاش قرار خواهد گرفت.</p> <p>(۵) طرح ها و پروژه های پیشنهادی مرتبط با افزایش عمر و کیفیت پایه های شبکه توزیع</p> <p>با توجه به مطالعات فنی بخش های قبل، در این بخش راهکارهای افزایش عمر و کیفیت پایه‌های شبکه توزیع مبتنی بر فرآیندهای اصلاحی وضعیت موجود و استفاده از فناوری های نوین ارائه خواهد شد و در نهایت مشخص خواهد شد که چه پروژه یا مجموعه پروژه هایی با چه اولویت بندی باید اجرا گردد تا در صورت اجرای این پروژه ها بتوان اطمینان حاصل کرد که اقدامات عملیاتی مورد بحث در حوزه بهبود و ارتقا پایه های شبکه توزیع به بار نشستند و اهداف و راهبردها تحقق یافته‌اند. سطح و جزئیات تعیین اقدامات در این بخش کلی می‌باشد و صرفا شامل عناوین و محتوای کلی پروژه های اجرایی با تعیین اولویت بندی است.</p>	

عنوان پروژه: ارزیابی ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه	
کارفرما: معاونت فناوری - پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت فناوری	نوع پروژه: راهبردی
همکاران پروژه: محمدعلی جعفری، آرش یگانه فلاح، آرمان دلاویز، امیر محمودی؛ محمدصادق ایوبی راد	مدیر پروژه: علی اصغر ذکاوتی
درصد پیشرفت پروژه: ۱۰۰٪ (خانمه یافته)	مجری پروژه: محمد علی جعفری صحنه سرایی مدیر واحد مجری: علیرضا رهنورد
تاریخ پایان پروژه: ۹۹/۱۲/۲۶	تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۰۹/۰۱
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <p>هدف اصلی از انجام این پروژه، تخمین و برآورد ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور ناشی از انواع مخاطرات تهدیدکننده آنها می‌باشد. در ادامه پس از ارزیابی ریسک‌های موجود، تأثیر استقرار و پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه بر کاهش آنها با استفاده از روش‌های فوق‌الذکر و مفروضات منطقی ارزیابی گردیده و تأثیر پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه به رویکردهای مختلف بر ریسک‌های موجود در دو حوزه انتقال، مطالعه شده و ریسک آن با توجه به هزینه‌های توسعه و اجرا، مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در تصمیم‌سازی و انتخاب استراتژی‌های کاهش ریسک و افزایش ایمنی در سازه‌های شبکه انتقال مورد استفاده قرار گیرد.</p> <p>اهم موارد و نتایجی که در این پروژه بررسی و حاصل می‌شود شامل موارد ذیل است.</p> <p>(۱) بررسی ادبیات فنی موضوع و گردآوری سوابق موضوعی ارزیابی ریسک سازه‌ها</p> <p>در این بخش، سوابق گذشته و مستندات موجود (اعم از کتاب، گزارش، استانداردها و مقالات) در زمینه ارزیابی ریسک با نگاه ویژه به سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق و پایش سلامت جمع‌آوری و بررسی می‌شود.</p> <p>(۲) شناسایی و معرفی روش‌های ارزیابی ریسک در سازه‌ها</p> <p>در این بخش پس از اخذ اطلاعات مورد نیاز از شرکت‌های برق منطقه‌ای، انواع روش‌های ارزیابی ریسک با توجه به پارامترهای اساسی مؤثر، در حوزه انتقال بررسی و گزینه برتر انتخاب می‌شود.</p> <p>(۳) ارزیابی و تحلیل ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال</p> <p>در این مرحله، با استفاده از اطلاعات و کدهای تهیه شده در مرحله قبل، ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال، به تفکیک شرکت‌های برق منطقه‌ای ارزیابی می‌شود.</p> <p>(۴) بررسی تأثیر پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه بر ریسک‌های موجود</p> <p>در این مرحله، تأثیر پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه به رویکردهای مختلف بر ریسک‌های موجود در حوزه انتقال، مطالعه شده و ریسک آن با توجه به هزینه‌های توسعه و اجرا، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بطوریکه با توجه به دسته‌بندی سازه‌های شبکه انتقال، موده‌های خرابی و مخاطرات مؤثر بر آنها و اطلاعات گردآوری شده، تحلیل ریسک با لحاظ تأثیر پایش سلامت بروی آن با استفاده از الگوریتم طراحی شده انجام شده و میزان صرفه اقتصادی پیاده‌سازی پایش سلامت سازه، با توجه به تأثیر آن بر روی وضعیت ریسک و هزینه‌های مورد انتظار آن، برآورد می‌گردد.</p>	

عنوان پروژه: طراحی، ساخت و آزمون بتن خود ترمیم شونده به منظور استفاده در مخازن صنعت برق	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: آزمون-ایده
همکاران پروژه: مائده ذاکر صالحی، صادق خان محمدی	مدیر پروژه: آزاده گودرزی
درصد پیشرفت پروژه: ۴۲٪	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۰۵/۰۱
<p>بتن یکی از مصالح پرکاربرد در سازه‌های مرتبط با صنعت برق در حوزه‌ی تولید، انتقال و توزیع برق می‌باشد. از طرفی، پایداری و دوام سازه‌های بتنی به واسطه‌ی ترک‌هایی که در بتن ایجاد می‌شود، کاهش می‌یابد. از مهمترین مسائلی که وزارت نیرو با آن درگیر می‌باشد، می‌توان به ترک‌خوردگی و تخریب در بتن سازه‌های بتنی بخش تولید، انتقال و توزیع نیرو بلاخص سازه مخازن نیروگاه‌های حرارتی شامل مخازن زمینی و هوایی آب و سوخت اشاره کرد. به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری سازه‌های مخازن نیروگاهی بخش تولید برق، استفاده از بتن خودترمیم‌شونده می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب در نظر گرفته شود.</p> <p>در این پروژه، کارایی بتن خود ترمیم‌شونده برای استفاده در مخازن صنعت برق با طی مراحل زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شناسایی و معرفی انواع بتن‌های خود ترمیم‌شونده و گردآوری ادبیات فنی و سوابق موضوعی و بررسی وضعیت مخازن بتنی صنعت برق کشور</li> <li>• بررسی و امکان‌سنجی تولید انواع بتن‌های خودترمیم‌شونده و انتخاب مناسبترین سیستم با توجه به شرایط اقلیمی کشور</li> <li>• امکان‌سنجی فنی بکارگیری بتن‌های خود ترمیم شونده با ساخت، آزمون و بررسی نمونه‌های آزمایشگاهی</li> <li>• امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از بتن خود ترمیم‌شونده پیشنهادی به منظور بکارگیری در سازه‌های مخازن بخش تولید صنعت برق</li> </ul>	

**عنوان پروژه: بررسی رویکردهای طراحی و ارائه ضرایب ترکیبات بار و نقشه‌های پهنه بندی کاربردی به منظور بارگذاری سازه‌های خطوط هوایی انتقال**

کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: آینده پژوهی
همکاران پروژه: محمدعلی جعفری، مریم ثنائی	مدیر پروژه: سلمان رضازاده
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۶۳٪	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۹/۰۴/۰۱

اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:  
تحولات و پیشرفت های چشمگیری در زمینه بارگذاری و طراحی سازه های خطوط انتقال در دنیا صورت گرفته و همچنان ادامه دارد و از طرفی کشور ما در این زمینه فاصله زیادی با سطح دنیا پیدا کرده است، بطوریکه رویکرد طراحی بر مبنای قابلیت اطمینان که سالهاست در کشورهای پیشرفته عملیاتی شده، هنوز در کشور ما به صورت مدون بکار گرفته نمی شود. یکی از الزامات طراحی احتمالاتی در اختیار داشتن داده های آماری بارگذاری و تهیه نقشه های پهنه بندی و ضرایب ترکیب بار متناسب با دوره های بازگشت می باشد. بر این اساس، پروژه حاضر با رویکرد آینده پژوهی و با هدف مطالعه پیشرفت های روز دنیا در حوزه های مرتبط با اندازه گیری داده های جوی و ترکیبات ضرایب بار و روند تحولات آنها در آینده و بررسی امکان بکارگیری و پیاده سازی آنها با توجه به امکانات و ظرفیت های کشور در حال و آینده، تعریف شده است. حالت ترکیب بارها در استاندارد بارگذاری فعلی کشور علاوه بر قدیمی بودن، بر اساس انطباق تجربی با یکی از حالات ارائه شده در استاندارد NESG و بصورت تعیینی ارائه شده و قابل استفاده در طراحی سازه ها با رویکردهای نوین نمیباشد. از اینرو تعیین مقادیر واقع بینانه و منطبق با شرایط جوی کشور از مقادیر پارامترهای بارگذاری یخ و باد و درج حرارت برای دوره های بازگشت مختلف و نحوه ترکیب بارهای فوق در حالت وقوع هزمان از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در تأمین قابلیت اطمینان بهینه و اقتصادی در طراحی خطوط، مؤثر می باشد.

در این پروژه، ابتدا مستندات فنی شامل آیین نامه های روز دنیا و مستندات پشتیبان علمی و فنی آنها از قبیل مقالات، گزارشها و پایان نامه ها بررسی شده و روش ها و رویکرد های داخلی مرتبط نیز با استفاده از مستندات موجود و مصاحبه با خبرگان علمی و فنی گرد آوری و بررسی می گردد. همچنین مسیر پیش رو در این حوزه و آینده ترسیم شده در سطح دنیا شناسایی و گردآوری می گردد. به منظور توسعه و تکمیل داده های مورد نیاز بارگذاری خطوط انتقال، ملزومات و روش های مورد نیاز جهت پیاده سازی در آینده تدوین و ارائه می گردد. هدف نهایی پروژه، ارائه ضرایب ترکیبات بار و نقشه های پهنه بندی کاربردی مناسب جهت تدوین آیین نامه بارگذاری و طراحی سازه ای خطوط انتقال کشور بر اساس قابلیت اطمینان می باشد. ضرایب ترکیب بارها در تمامی حالات ممکنه (طبق IEC60826) با استفاده از داده های ایستگاه های هواشناسی کشور (داده های ثبت شده روزانه سرعت باد، حداقل درجه حرارت و داده های شبیه سازی شده رویدادهای یخ زدگی در طول عمر داده برداری در ایستگاه ها) تعیین شده و بر اساس تحلیل آماری آنها، مقادیر مناسب برای کشور (بصورت کلی و یا منطقه ای) ارائه خواهند شد. به منظور محاسبه ضرایب ترکیب بارها، پس از کنترل کیفیت و حصول اطمینان از صحت و اعتبار داده ها، توزیع های احتمال حاکم بر هریک از آنها و ضرایب همبستگی میان آنها در هریک از ایستگاه ها تعیین خواهند شد. سپس با نمونه گیری سناریوهای سالانه به روش مونت کارلو از مقادیر متغیرهای فوق، کانتورهای خطر همزمان برای ترکیبات مورد نظر به ازای دوره بازگشت مشخص (۵۰، ۱۵۰ و ۵۰۰ سال طبق IEC60826) تهیه شده و با استفاده از آنها، ضرایب ترکیب بار به ازای هر دوره بازگشت، بر اساس معیارهای IEC60826 تعیین خواهند شد. همچنین به منظور کاربردی تر شدن ساختار ارائه شده، نقشه های پهنه بندی مورد نیاز جهت بارگذاری خطوط انتقال نیرو ارائه می گردد.

عنوان پروژه: امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: معاونت پژوهشی - پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی
مدیر پروژه: مائده ذاکر صالحی	همکاران پروژه: آزاده گودرزی، رضا رضانی، علی برزگر، فهیمه شاهپوری
مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی	درصد پیشرفت پروژه تا خرداد ۱۴۰۰: ۸۷٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۱۱/۰۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <p>مسکن اجتماعی به نوع خاصی از مسکن اطلاق می‌شود که اساساً توسط دولت‌ها با هدف خانه‌دار کردن گروه‌های کم‌درآمد صورت می‌گیرد. با توجه به تجربیات و مطالعات متعدد انجام شده در این زمینه، این نتیجه حاصل شده است که برنامه‌ریزی برای طراحی و ساخت مسکن اجتماعی باید با توجه به تمامی جنبه‌های فنی، زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و نیز دیدگاه کلان سیاست‌گذاران کشور انجام شود. در این راستا، توجه و تاکید بر مساله بهره‌وری انرژی برای ساخت و توسعه مسکن اجتماعی برای اقبال کم‌درآمد موضوعی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان در کشورهای پیشرفته جهان قرار گرفته است و نیاز به پژوهش در این زمینه و ارائه الگوهای مناسب در کشورمان نیز به شدت احساس می‌شود. دلیل این امر آن است که از یک منظر، توجه به کاهش مصرف انرژی از طریق به‌کارگیری تکنیک‌ها و روش‌های بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان از دیدگاه کلان به مراتب هزینه کم‌تری نسبت به هزینه‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی خواهد داشت که منجر به مزایای عمده‌ای در بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نیز می‌گردد. از منظر دیگر، کاهش هزینه‌های انرژی برای اقبال کم‌درآمد، استطاعت آن‌ها را برای اجاره یا خرید این نوع مسکن‌ها بهبود می‌بخشد. به گونه‌ای که در دنیا از مسکن اجتماعی با مفهوم "خانه قابل استطاعت" و نه صرفاً "خانه ارزان قیمت" تعبیر می‌گردد و بدون شک هزینه‌های انرژی در طول زمان سکونت، فاکتور تاثیر گذاری برای امکان استمرار سکونت اقشار مخاطب این طرح و نیز توانایی دولت برای تامین کمک‌های لازم در این زمینه خواهد بود. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، هدف از این پروژه، امکان‌سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر مساله بهره‌وری انرژی در کشور می‌باشد. برای این منظور ابتدا به بررسی نمونه‌های اجرا شده از مسکن‌های اجتماعی در سطح دنیا و کشور، الزامات و استانداردهای موجود در این حوزه و نیز مطالعات تحقیقاتی به روز پرداخته خواهد شد. در گام بعدی پروژه، مصالح، رویکردها، تکنولوژی‌ها و معماری‌های اجرا شده و در دست مطالعه که به منظور بهبود مصرف انرژی در پروژه، ساخت و بهره‌برداری از ساختمان‌ها توسعه یافته مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه پروژه نیز جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست محیطی برای توسعه مسکن‌های اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی مورد بررسی قرار گرفته و سپس با شناسایی مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار، به مطالعه مزایا و معایب و انتخاب مناسب‌ترین گزینه‌ها با توجه به شرایط کشور پرداخته خواهد شد. سپس پیشنهادهایی نیز برای طرح‌ها و پروژه‌های آتی در زمینه ساخت مسکن اجتماعی با دیدگاه بهره‌وری انرژی ارائه خواهد شد.</p>	



عنوان پروژه: به کارگیری فناوری های نوین آزمایشگاهی برای ارزیابی عملکرد سازه های صنعت برق	
کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی	نوع پروژه: آینده پژوهی
همکاران پروژه: خانم دکتر مائده ذاکر صالحی، آقای مهندس علی اصغر ذکاوتی، خانم مهندس پگاه نادرپور شاد	مدیر پروژه: آرش یگانه فلاح
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۹۶,۳٪	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰	تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۰۹/۱۰
تعداد مراحل پایان یافته: مراحل سه در حال اتمام	
<p>همواره ارزیابی عملکردی سازه‌های صنعت برق به سبب تعیین قابلیت اطمینان آن‌ها و در عین حال بهینه شدن هزینه‌های تولید، نگهداری و افزایش عمر آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. روش‌های ارزیابی عملکرد سازه‌ها بطور کلی به سه دسته اصلی تقسیم می‌گردد: روش‌های عددی، روش‌های مبتنی بر آزمایش و روش‌های ترکیبی. با استفاده از این روش‌ها و یا ترکیب آن‌ها می‌توان عملکرد سازه‌های صنعت برق را تحت انواع مختلف الگوهای بارگذاری آیین نامه‌ای و یا بارهای نهایی مورد بررسی قرار داد. هر یک از روش‌های ارزیابی رفتار سازه‌ها دارای مزایا و معایبی به شرح زیر می‌باشند که با توجه به نوع پروژه و امکانات در دسترس می‌توان نسبت به انتخاب روش مناسب اقدام نمود: روش‌های عددی، دارای بیشترین کارایی برای ارزیابی رفتار سازه‌ها با صرف زمان و هزینه نسبتاً پایین می‌باشد؛ ولی به دلیل ساده سازی‌های روش‌های عددی بسیاری از شرایط مکانیکی مصالح و سازه در مدل سازی، به خصوص مدلسازی رفتارهای پیچیده سازه‌ای، دیده نمی‌شود. از طرفی آزمون‌های آزمایشگاهی واقع گرایانه‌ترین روش برای کسب اطمینان از نحوه عملکرد سازه‌ها خصوصاً مصالح و سیستم‌های نوین سازه‌ای می‌باشد، ولی مهمترین ضعف آزمون‌های آزمایشگاهی، هزینه بالای آن و محدود بودن تعداد آزمون‌هایی که می‌توان انجام داد می‌باشد. در مقابل این دو روش، روش شبیه سازی هیبرید با امکان ارزیابی سازه در دو یا چند بخش مجزا سبب شده تا در سال‌های اخیر توجه زیادی را بخود جلب کند. روش هیبرید که امکان استفاده موازی از امکانات چندین آزمایشگاه و نرم افزار را فراهم می‌آورد، به صورت هیبرید آزمایشگاهی-آزمایشگاهی، آزمایشگاهی-عددی و عددی-عددی دسته بندی می‌گردد. هرچند روش‌های هیبریدی امکان سنجش عملکرد سازه را بصورت دقیق‌تر از روش‌های عددی و ارزان‌تر از روش‌های آزمایشگاهی فراهم می‌آورند، اما بسته به نوع آن زیرساخت‌های سخت افزاری و نرم افزاری اولیه خاصی را می‌طلبد که نیاز به دقت و هزینه بالایی دارد. اهداف اصلی این پژوهش به صورت زیر می‌باشد:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شناسایی و مطالعه ادبیات فنی، سوابق موضوعی در مورد فناوری‌های نوین جهت ارزیابی عملکرد سازه‌ها، بخصوص سازه‌های صنعت برق، شناخت آزمایشگاه‌ها و شرکت‌های فعال در این زمینه</li> <li>• جمع آوری اطلاعات در مورد فناوری‌های مورد استفاده در آزمایشگاه‌های مرجع سازه‌های صنعت برق دنیا</li> <li>• بررسی امکان سنجی استفاده از این فناوری‌های نوین در صنعت برق کشور</li> <li>• ارزیابی آزمایشگاه سازه‌های صنعت برق اراک از لحاظ پتانسیل‌های موجود و ارائه رویکردهای پیشنهادی در ارتباط با افزایش بهره‌وری این آزمایشگاه</li> </ul>	

عنوان پروژه: بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت سازه های صنعت برق، روش های پایش بینی بروز اشکالات و ارائه راه کارهای کاهش آن ها	
نوع پروژه: راهبردی	کارفرما: معاونت فناوری - پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت فناوری
مدیر پروژه: محمدعلی جعفری	همکاران پروژه: علیرضا رهنورد، علی اصغر ذکاوتی، امیر اکبری گرکانی
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۹۷٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۸/۰۲/۰۱	تاریخ پایان پروژه: ۹۹/۱۰/۰۱
تعداد مراحل پایان یافته: ۶	
<p>در راستای تحقق مأموریت و اهداف پژوهشگاه نیرو در خصوص مدیریت پژوهش‌های کاربردی در صنعت برق، سند راهبردی "پایش سلامت سازه‌های صنعت برق روش‌های پایش بینی بروز اشکالات و ارائه‌ی راه‌کارهای کاهش آن‌ها" در گروه سازه‌های صنعت برق در سال ۱۳۹۴ تدوین گردید. پس از آغاز فرآیند اجرایی شدن سند از دی ماه ۱۳۹۶ و طی تعامل با شرکت‌های مادر تخصصی صنعت برق (در قالب کمیته راهبری سند) و کنش‌گران علمی و فنی (شرکت‌ها و دانشگاه‌ها)، تغییرات عمده‌ای در طرح‌ها و پروژه‌های زیرمجموعه سند از جنبه‌های مختلف فنی، زمان و بودجه آنها صورت گرفت. بر این اساس، ضرورت بازنگری کلی در محتوا و قالب سند وجود دارد. تغییرات مورد نیاز در سند بطور کلی مرتبط با عوامل مختلفی به شرح زیر می‌باشند:</p> <p>۱. ایجاد تغییرات محیطی از منظر اقتصادی و مدیریتی در ساختار صنعت برق شامل مسائلی از قبیل:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• لزوم تغییر در نحوه تأمین منابع مالی اجرای سند و نوسانات قابل توجه قیمت‌ها در سال‌های اخیر</li> <li>• جدا شدن بخش تولید از شرکت توانیر</li> <li>• لزوم انجام فعالیت‌های قابل توجه (در حد پروژه‌های مستقل) جهت توجیه ضرورت اجرای سند برای شرکت‌های مادر تخصصی</li> <li>• تغییر در ترکیب اعضای کمیته راهبری سند</li> </ul> <p>۲. اعلام نیازمندی‌ها و اولویت‌های جدید در صنعت برق مانند:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ضرورت پرداختن به ارزیابی، بهسازی، نگهداری و تعمیرات سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات مختلف نظیر زلزله، فرونشست زمین و ... بصورت پروژه‌های مستقل</li> <li>• لزوم نگرش محصول محور در تعریف پروژه‌های سند</li> <li>• اولویت‌بندی اسناد و پروژه‌های آنها توسط شرکت‌های مادر تخصصی</li> </ul> <p>۳. وجود مشکلات در فرآیند اجرایی‌سازی نقشه‌های راه شامل مسائلی از قبیل:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• لزوم بازنگری در عناوین و شرح خدمات پروژه‌های سند طبق نیاز صنعت و نظر کمیته راهبری</li> <li>• مشکلات مربوط به تأمین منابع مالی جهت اجرای سند</li> </ul>	

بر این اساس طبق دستورالعمل و راهنمای ابلاغی معاونت فناوری در خصوص بازنگری اسناد توسعه فناوری، مراحل شش‌گانه تدوین سند پایش سلامت در صنعت برق، بر اساس تجربیات حاصل از تعاملات صورت گرفته با شرکت‌های مادر تخصصی و همچنین نظرات خبرگان و سایر ذینفعان و با لحاظ فصول مشترک با سایر اسناد به جهت اجتناب از انجام فعالیت‌های تکراری، مورد بازنگری اساسی و شفاف‌سازی قرار خواهد گرفت. همچنین مطابق با نیازمندی‌های جدید صنعت برق در حوزه سازه‌ها، پروژه‌های متناسب با آنها نیز به سند اضافه خواهد گردید.

**عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور**

کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: آینده نگاری
همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی، محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی	مدیر پروژه: علیرضا رهنورد
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۱۰۰٪ (پایان فنی)	مجری پروژه: علی اصغر ذکاوتی
تاریخ پایان پروژه: ۹۹/۱۲/۱۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۰۱/۲۳
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شناسایی کلی انواع مخاطرات زمینی موجود در کشور و دسته بندی آنها</li> <li>• تعیین وضعیت آسیب پذیری شبکه برق در برابر مخاطرات زمینی بصورت کیفی</li> <li>• بررسی سوابق موجود و نیازسنجی در خصوص تعیین پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور و پهنه بندی آنها</li> <li>• تعیین اقدامات و سیاستهای مورد نیاز و تهیه برنامه و نقشه راه برای شناسایی، اندازه گیری و پهنه بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور</li> </ul>	

**عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم سازی سازه ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه ای**

کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: آینده نگاری
همکاران پروژه: محمد علی جعفری	مدیر پروژه: سلمان رضازاده
درصد پیشرفت پروژه تا تیر ۱۴۰۰: ۱۰۰٪ (خاتمه یافته)	مجری پروژه: علیرضا رهنورد
تاریخ پایان پروژه: ۹۹/۱۲/۱۵	تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۰۶/۰۱
<p>اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تعیین ضرورت ارزیابی و مقاوم سازی لرزه ای سازه های صنعت برق</li> <li>• مرزبندی فنی و شناسایی انواع سازه ها و تجهیزات صنعت برق</li> <li>• تدوین راهبردهای ارزیابی و مقاوم سازی لرزه ای سازه های صنعت برق</li> </ul>	

پروژه های پایان یافته				
تاریخ خاتمه	کارفرما	مجری پروژه	مدیر پروژه	عنوان پروژه
۹۹/۱۲/۲۵	پژوهشگاه نیرو	مسعود حسنی مروزی	علی اصغر ذکاوتی	شناسایی راهکارها و فناوری های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه های شبکه توزیع
۹۹/۱۲/۲۶	پژوهشگاه نیرو	محمدعلی جعفری	علی اصغر ذکاوتی	ارزیابی ریسک های موجود در سازه های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه

همکاری اعضای گروه سازه‌های صنعت برق در سایر پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو			
سمت در پروژه	واحد مجری/کارفرما	عنوان پروژه/طرح	اعضای گروه
مجری سند	معاونت فناوری	تدوین دانش فنی و پیاده سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال برق	علیرضا رهنورد
همکار	گروه سازه های صنعت برق	بررسی رویکردهای طراحی و ارائه ضرایب ترکیب بار و نقشه های پهنه بندی کاربردی به منظور بارگذاری سازه های خطوط هوایی انتقال	محمدعلی جعفری
مدیر بخش فونداسیون	مرکز توربین بادی	طراحی عملیات اجرایی توربین بادی مشتمل بر مونتاژ، تست، حمل، نصب، راه اندازی، بهره برداری و نظارت بر اجرای آن	
مجری، همکار	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق	ارزیابی ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه	
همکار	گروه سازه های صنعت برق	شناسایی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور افزایش کیفیت و عمر مفید پایه‌های شبکه توزیع	
مجری، همکار	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش تولید)	ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه های نیروگاه رامین اهواز و ارائه راهکارهای بهسازی آنها	مائده ذاکرسالچی
ناظر	طرح پایش سلامت سازه های صنعت برق/معاونت تخصصی انتقال-برق منطقه ای تهران	بررسی فنی و اقتصادی اثرات فرونشست دشت های منطقه اشتهارد و ورامین برخطوط انتقال و اصلاح پدیده فرونشست	

نماینده مدیر طرح	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش تولید)	ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه های نیروگاه رامین اهواز و ارائه راهکارهای بهسازی آنها	
همکار	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق	ارزیابی ریسک‌های موجود در سازه‌های انتقال کشور و برآورد میزان تغییرات مورد انتظار ریسک از طریق پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه	آرش یگانه فلاح
نماینده مدیر طرح	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش انتقال)	تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت	
نماینده مدیر طرح	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش انتقال)	جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه های خطوط و پستهای انتقال و فوق توزیع	امیر اکبری گرکانی
کارشناس	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش انتقال)	نظارت بر مطالعات فرونشست دشت ورامین و اشتهارد	
نماینده مدیر طرح	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش انتقال)	طراحی، ساخت و انجام آزمون های استاندارد مقرر خودکراس آرم کامپوزیتی خربابی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۶۳ کیلوولت	سلیمان رضازاده
نماینده مدیر طرح	سند پایش سلامت سازه های صنعت برق (بخش انتقال)	طراحی، ساخت و آزمون دکل تلسکوپی کامپوزیتی ۶۳ کیلوولت دو مداره انتقال (آویزی و کششی)	
همکار	معاونت فناوری	تدوین دانش فنی و پیاده سازی سامانه جامع ارزیابی، پایش سلامت و مقاوم سازی سازه های انتقال و فوق توزیع	علی اصغر ذکاوتی

همکاری اساتید دانشگاه‌ها با گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در طرح بهتام (طرح‌های تفصیلی)				
ردیف	محقق	دانشگاه	عنوان طرح	آخرین وضعیت
۱	دکتر فرامرز خوشنودیان	صنعتی امیرکبیر	پایش سلامت سازه در مخزن ذخیره سوخت نیروگاه	خاتمه
۲	دکتر رضا کرمی محمدی	صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	شناسایی مشخصات دینامیکی و پایش سلامت دکلهای انتقال نیرو و تجهیزات اصلی صنعت برق	خاتمه
۳	دکتر سعیدرضا صباغ‌یزدی	صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	آزمون مدل‌های قابل اجرا برای کاهش اثرات نامطلوب پدیده تاخت باد (Galloping) بر دکل‌های انتقال نیرو	خاتمه
۴	دکتر مرتضی مدح خوان	صنعتی اصفهان	بررسی و بهینه‌سازی برج‌های خنک‌کننده نیروگاه‌های سیکل ترکیبی	تایید نهایی
۵	دکتر علی نورزاد	شهید بهشتی	ارزیابی ایمنی شمع‌های انرژی تحت بار جانبی	گزارش شش ماهه اول
۶	دکتر هادی نظر پور	صنعتی نوشیروانی بابل	طراحی، ساخت و بررسی خصوصیات مکانیکی، دوام و خودترمیمی کامپوزیت سیمانی مهندسی شده حاوی نانوسیلیس در شرایط محیطی مختلف با نگرش به کارگیری از آن در سازه‌های صنعت برق	تایید نهایی
۷	دکتر حمیدرضا توکلی	صنعتی نوشیروانی بابل	ارزیابی خرابی ناشی از انفجار و آتش‌سوزی در سازه‌های انتقال فوق توزیع شبکه برق	تایید نهایی
۸	دکتر سید محسن حائری	صنعتی شریف	پهنه‌بندی خطرپذیری نیروگاه‌های تولید برق در استان مازندران بر اثر رخداد زمین لغزش	تایید نهایی
۹	دکتر مهدی حمیدی	صنعتی نوشیروانی بابل	امکان‌سنجی ساخت و نصب، و تحلیل و طراحی میراگر ستون مایع-گاز تنظیم‌شونده در سازه‌های توربین بادی، دودکش نیروگاه‌های گازی و برج‌های خنک‌کننده نیروگاه‌های حرارتی	تایید نهایی
۱۰	مرضیه جعفری	تفرش	پایش هندسی تغییر شکل سازه توربین بادی براساس تلفیق اندازه‌گیری‌های ژئودتیک و ابزار دقیق	تایید نهایی
۱۱	دکتر سید مهدی توکلی	صنعتی شاهرود	توسعه یک مدل عددی برای شناسایی آسیب و پایش سلامت سازه‌های پوسته‌ای در نیروگاه‌های حرارتی	عدم احراز اولویت در صنعت برق
۱۲	دکتر علیرضا شاطرزاده	صنعتی شاهرود	دانش فنی تحلیل مکانیکی و حرارتی سازه‌های نیروگاهی	عدم احراز اولویت در صنعت برق
۱۳	دکتر مجتبی محصولی	صنعتی شریف	ارزیابی و ارتقای بهینه تاب‌آوری زیرساخت برق	تحت داوری
همکاری اساتید دانشگاه‌ها با گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در طرح بهتام (طرح‌های مقدماتی)				

ردیف	محقق	دانشگاه	عنوان طرح
طرح‌های پذیرفته شده	۱	پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	توسعه توابع شکنندگی تاسیسات و تجهیزات پست‌های انتقال و فوق توزیع
	۲	پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	توسعه توابع شکنندگی تاسیسات و تجهیزات و ابنیه نیروگاه‌های حرارتی
	۳	دکتر مهناز عبدالله شمشیرساز	پایش سلامت سازه‌های نگهدارنده لوله‌ها، مخازن سوخت و مخازن تحت فشار به صورت برخط و بلادرنگ به کمک سنسورهای پیژوالکتریک
	۴	دکتر مسعود نکویی	جداسازی لرزه ای قایم و کنترل لرزه‌ای سازه های صنعت برق
طرح‌های با عدم احراز اولویت در صنعت برق	۱	دکتر حامد حاج کاظم کاشانی	مدل‌های ارزیابی و بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری برای زیرساخت‌های عمرانی صنعت برق
	۲	دکتر حسین رحامی	بهینه‌سازی همزمان مقطع و هندسه دکل‌های انتقال نیرو
	۳	دکتر بهروز عسگریان	پایش سلامت در سازه های صنعت برق، روش های پیش بینی بروز اشکالات و ارائه راه کار های کاهش آن ها
	۴	دکتر سعید صرامی فروشانی	تصمیم گیری مهندسی برای به سازی سازه‌های صنعت برق و خطوط جریان
	۵	دکتر حمید هاشم الحسینی	اثرات بارهای تناوبی بر رفتار خستگی تیرهای بتن آرمه
	۶	دکتر بشیر موحیدیان عطار	استفاده از روش اجزاء محدود طیفی در پایش سلامت سازه های صنعت برق؛ مطالعه موردی دکل های انتقال نیرو
	۷	دکتر محمدعلی گودرزی	مطالعه آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شناسایی تاسیسات و تجهیزات آسیب‌پذیر در برابر زلزله در بخش نیروگاه‌های حرارتی
	۸	دکتر محمود حسینی	مطالعه آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شناسایی تاسیسات و تجهیزات آسیب‌پذیر در برابر زلزله در بخش پست‌های انتقال و فوق توزیع
	۹	دکتر حمید رضا اویسی	پایش سلامت در سازه های صنعت برق، روشهای پیش بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها
	۱۰	دکتر فرهاد بهنام فر	آیین نامه جامع طراحی لرزه ای سازه ها و تاسیسات صنعت برق کشور
	۱۱	دکتر آرمین عظیمی نژاد	تخمین آسیب‌های سازه‌ای دکل‌های فلزی انتقال نیرو براساس تحلیل‌های پاسخ‌های سازه‌ای ناشی از انتشار امواج
	۱۲	دکتر پیام اسدی	تحلیل ریسک سازه های صنعت برق و خطوط جریان و ارزیابی عملکردی خطوط حیاتی
* طرح مقدماتی ۱۳ نفر دیگر از اساتید محترم نیز وارد مرحله تفصیلی شده است که در جدول مربوطه اطلاعات آن‌ها آورده شده است.			

## جلسات و نشست های تخصصی

### جلسات گروه پژوهشی سازه های صنعت برق در زمستان ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰

ردیف	تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه دهنده	مکان
۱	۹۹/۱۰/۰۲	پروژه ارزیابی لرزه ای ترانسهای اندازه گیری ولتاژ و جریان پستهای انتقال نیرو	آقایان دکتر علیپور، جعفری، مهندس خان- احمدلو، ذکاوتی، رهنورد، خانم دکتر ذاکر صالحی	توانیر
۲	۹۹/۱۰/۰۲	جلسه مشترک گروه و طرح پایش بابت برنامه ریزی و پیگیری پروژه های حوزه فناوری	اعضای گروه	گروه سازه
۳	۹۹/۱۰/۱۰	جلسه بررسی تجاری سازی پروژه لکارگیری مقاطع سرد نورد شده در سازه های پست	آقایان مهندس رهنورد، ذکاوتی	گروه سازه
۴	۹۹/۱۰/۱۵	آزمون دکلهای بتنی پارس ساختار	آقایان دکتر علیپور، مهندس فرضعلی زاده، رهنورد، ذکاوتی	توانیر
۵	۹۹/۱۰/۲۹	سرمایه گذاری کراس آرم کامپوزیتی با شرکت گسترش صنعت نوین افرا	آقایان مهندس رهنورد، ذکاوتی، شیخ مومنی، وزیر، خانم سعادت کیا	آنلاین
۶	۹۹/۱۱/۲۷	بررسی وضعیت محور تخصصی "طراحی فونداسیون های نوین سازه ها" و پروژه های مرتبط	آقایان دکتر اکبری و ذکاوتی	گروه سازه
۷	۹۹/۱۱/۲۷	بررسی وضعیت محور تخصصی "تکنیک های نوین ارزیابی و بهبود عملکرد سازه ها" و پروژه های مرتبط	خانم دکتر ذاکر صالحی و آقای ذکاوتی	گروه سازه
۸	۹۹/۱۱/۲۷	بررسی وضعیت محور تخصصی "ریسک و تاب آوری سازه ها" و پروژه های مرتبط	آقایان دکتر جعفری و مهندس ذکاوتی	گروه سازه
۹	۹۹/۱۱/۲۸	جلسه تجاری سازی کراس آرم کامپوزیت	آقایان مهندس رهنورد، ذکاوتی	آنلاین
۱۰	۹۹/۱۱/۲۸	جلسه در خصوص آزمایشگاه سازه و مناقصه	آقایان دکتر احسانیان و سلوک، ذکاوتی	معاونت پژوهشی
۱۱	۹۹/۱۱/۲۹	کمیته تحقیقات پروژه فرونشست ورامین و اشتهاارد با برق تهران	آقایان مهندس رهنورد، ذکاوتی، خانم دکتر ذاکر صالحی	آنلاین
۱۲	۹۹/۱۲/۰۶	بازگشایی پاکات الف تجدید مناقصه آزمایشگاه اراک	آقایان دکتر پیرمراد، یگانه فلاح، مهندس ذکاوتی، محمودیان، شمس، میراسدی	سالن کنفرانس ط ۲ عباسپور



گروه سازه	آقایان مهندس رهنورد و ذکاوتی	بررسی وضعیت محور تخصصی "تخمین عمر و مدیریت سازه ها" و پروژه های مرتبط	۹۹/۱۲/۰۹	۱۳
گروه سازه	آقایان دکتر اسدی، مهندس رهنورد، فرضعلی زاده، ذکاوتی،	جلسه مفره خودکراس آرم با شرکت سیمکاتک	۹۹/۱۲/۰۹	۱۴
توانیر	آقایان مهندس رهنورد، ذکاوتی، دکتر اکبری	جلسه درخصوص ۴ عنوان تعریف پروژه ارسالی به توانیر	۹۹/۱۲/۰۹	۱۵
گروه سازه	آقایان مهندس رضازاده و ذکاوتی	بررسی وضعیت محور تخصصی "طراحی بهینه سازه ها" و پروژه های مرتبط	۹۹/۱۲/۱۱	۱۶
گروه سازه	خانم دکتر گودرزی و آقای ذکاوتی	بررسی وضعیت محور تخصصی "مصالح و تجهیزات نوین و هوشمند سازه ها" و پروژه های مرتبط	۹۹/۱۲/۱۱	۱۷
آنلاین	آقایان دکتر اسدی، مهندس فرضعلی - زاده، رهنورد، ذکاوتی، متقی	بررسی وضعیت و خاتمه پروژه ارزیابی ریسک	۹۹/۱۲/۱۹	۱۸
گروه سازه	آقایان دکتر جعفری، صفائی، مهندس رهنورد، ذکاوتی	جلسه پروژه "افزایش ظرفیت خطوط انتقال"	۹۹/۱۲/۲۳	۱۹
آنلاین	آقایان دکتر میرولد، حسنی، جعفری، مهندس رهنورد، ذکاوتی،	کمیسیون فنی نهایی پروژه پایه های توزیع	۹۹/۱۲/۲۵	۲۰
آنلاین	آقایان مهندس فرضعلی زاده، رهنورد، ذکاوتی، دکتر جعفری، یگانه، محمودی	کمیسیون فنی نهایی پروژه ارزیابی ریسک	۹۹/۱۲/۲۶	۲۱
گروه سازه	آقایان دکتر یگانه، مهندس ذکاوتی	جلسه با نمایندگان شرکت یاسان	۱۴۰۰/۰۱/۱۶	۲۲
سالن کنفرانس عباسپور ط ۲	آقایان دکتر یگانه، مهندس ذکاوتی	جلسه مناقصه آزمایشگاه اراک	۱۴۰۰/۰۱/۲۱	۲۳
آنلاین	آقایان دکتر یگانه، مهندس ذکاوتی، دردی زاده	جلسه با مشانیر و برق خراسان/ تست دکل یاسان	۱۴۰۰/۰۱/۲۱	۲۴
آنلاین	خانم ها دکتر گودرزی و مهندس ضیائی و آقایان ذکاوتی رهنورد، رضازاده	جلسه AAR پروژه مخاطرات لرزه‌ای	۱۴۰۰/۰۱/۲۹	۲۵
دفتر انتقال	آقایان مهندس فرضعلی زاده، ذکاوتی	جلسه تعریف پروژه های کلان	۱۴۰۰/۰۱/۳۰	۲۶
گروه سازه	آقایان سامان کندی، ذکاوتی، یگانه	جلسه بابت همکاری با آزمایشگاه فراساز	۱۴۰۰/۰۱/۳۰	۲۷
آنلاین	آقای مهندس ذکاوتی و خانم دکتر گودرزی	جلسه با خانم دکتر گودرزی بابت بررسی وضعیت پروژه	۱۴۰۰/۰۲/۰۷	۲۸

## جلسات و نشست های تخصصی

آنلاین	خانم ها دکتر گودرزی و مهندس ضیائی و آقای ذکاوتی	جلسه AAR پروژه بهبود عملکرد سازه های صنعت برق با بکارگیری مواد نانوساختار	۱۴۰۰/۰۲/۱۳	۲۹
آنلاین	خانم ها دکتر گودرزی و مهندس ضیائی و آقایان ذکاوتی و دکتر حسنی	جلسه AAR پروژه پایه های توزیع	۱۴۰۰/۰۲/۱۳	۳۰
آنلاین	خانم ها دکتر گودرزی و مهندس ضیائی و آقایان ذکاوتی و دکتر جعفری	جلسه AAR پروژه ریسک	۱۴۰۰/۰۳/۱۰	۳۱
آنلاین	اعضاء	جلسه بررسی طرح های استاد	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۳۲
آنلاین	آقایان دکتر جعفری، اکبری، مهندس رهنورد، ذکاوتی، زمانی(عمید)	کمیسیون فنی مخاطرات محیطی زمینی	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	۳۳