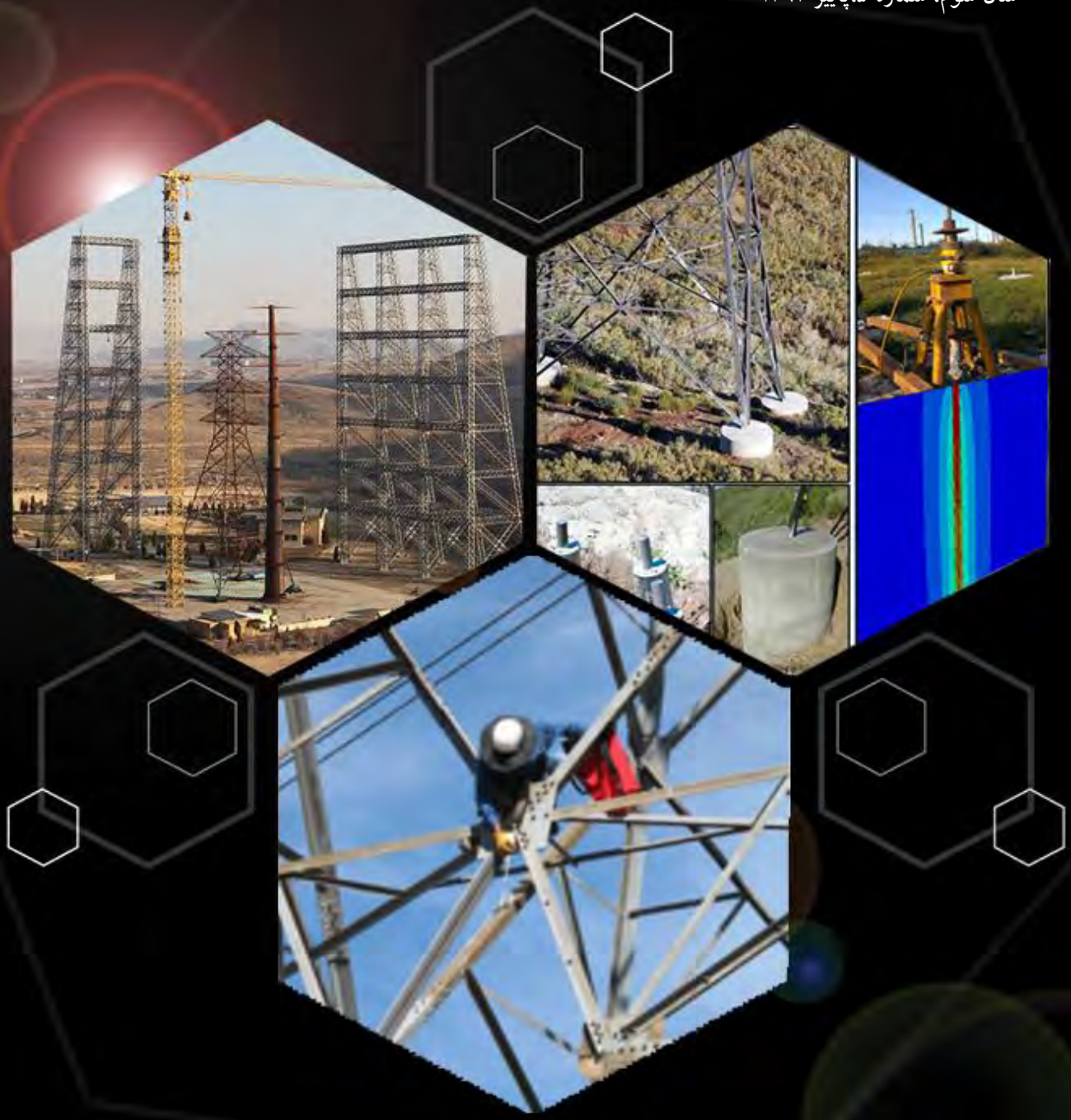
پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

بروندادهای تخصصی
گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال سوم، شماره ۵،پاییز ۱۳۹۷



پهنه بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو/ سلمان رضازاده

پایه های بتنی با میلگرد کامپوزیت/ علی اصغر ذکاوتی

ارزیابی غیر مخرب خرابی‌های در مقیاس میکرو و نانو در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق / آزاده گودرزی

فعالیت‌های گروه سازه‌های صنعت برق در سی و سومین کنفرانس بین المللی برق

بررسی اثر بار جانبی بر روی رفتار محوری شمع مارپیچ / امیر اکبری گرکانی

تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکل-های انتقال نیرو / محمد علی جعفری

به نام خدا

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➢ **صاحب امتیاز:** پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی

سردبیر: سلمان رضازاده

مدیر اجرایی: سلمان رضازاده

گرافیست و صفحه‌آرا: رفعت امینی

ویراستار: محمدعلی جعفری صحنه‌سرایی

عکس روی جلد: علی اصغر ذکاوتی

➢ **همکاران این شماره:**

همکاران گروه: دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب-بستی، دکتر امیر اکبری گرکانی، دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرایی، مهندس علی اصغر ذکاوتی، مهندس سلمان رضازاده، دکتر آزاده گودرزی

همکاران معاونت پژوهشی: نوشین فرودی

➢ **ناشر:**

نشانی الکترونیکی: estdept@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۴۶-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۳۶۱۶۰۳-۰۲۱

➢ **اعضای هیأت‌تحریریه:**

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر امیر اکبری گرکانی، دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرایی، مهندس علی اصغر ذکاوتی، مهندس سلمان رضازاده، دکتر آزاده گودرزی و مهندس علیرضا رهنورد

➢ **اعضای هیأت‌داوران:**

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر محمد علی جعفری صحنه‌سرایی، دکتر امیر اکبری گرکانی، مهندس علی اصغر ذکاوتی

➢ **اهداف و رویکرد:**

«برونداد‌های تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با سازه‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف صنعت برق به صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب



سخن سر دبیر/سلمان رضازاده



مقاله های پژوهشی

پهنه بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو/ سلمان رضازاده

پایه های بتنی با میلگرد کامپوزیت / علی اصغر ذکاوتی

ارزیابی غیر مخرب خرابی‌های در مقیاس میکرو ونانودر سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق / آزاده گودرزی

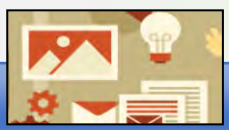
فعالیتهای گروه سازه‌های صنعت برق درسی و سومین کنفرانس بین المللی برق / آزاده گودرزی

بررسی اثر بار جانبی بر روی رفتار محوری شمع مارپیچ / امیر اکبری گرکانی

تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو / محمد علی جعفری



اخبار پروژه های گروه



انتشارات اخیر گروه

سخن سردبیر

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

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

در این شماره از برونداد تخصصی گروه که نشانگر گوشه ای از خروجی‌های گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در شش ماهه منتهی به پاییز ۱۳۹۷ می‌باشد، مقالات و گزارش‌های پژوهشی مستخرج از فعالیت اعضای گروه در راستای فعالیت‌های فوق الذکر ارائه شده که از آن جمله می‌توان به مقالات و گزارش‌های پروژه پهنه بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال، بررسی اثر بار جانبی بر روی رفتار محوری شمع مارپیچ، ارزیابی غیر مخرب خرابی‌های در مقیاس میکرو و نانو در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق، تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو و پایه های بتنی با میلگرد کامپوزیت اشاره کرد. همچنین، اخبار و آمار مدیریتی پروژه های در حال انجام گروه و لیست مقالات ارائه شده از سوی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین المللی ارائه شده است.

سلمان رضازاده

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

گزارش مدیریتی پروژه طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو

سلمان رضازاده

کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده انتقال، تهران، ایران

srezazadeh@nri.ac.ir

چکیده:

در دستورالعمل وزارت نیرو برای بارگذاری خطوط انتقال نیرو، کشور ایران به چهار منطقهٔ آب و هوایی تقسیم شده و برای هر یک از مناطق، مقادیر اسمی کمیت‌های بارگذاری ارائه شده است. بررسی این دستورالعمل و مراجع آن ، بیانگر این مطلب است که پهنه‌بندی مذکور و مقادیر اسمی مربوطه، با آمار هواشناسی همخوانی ندارد. بمنظور طراحی برج‌های خطوط انتقال نیرو در پروژه‌های جدید ضروری است که نسبت به اصلاح و تکمیل این دستورالعمل اقدام گردد. با تحلیل داده‌های هواشناسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مهمترین دستاورد حاصل از آن امکان طراحی دکل‌های انتقال نیرو با رویکرد کاهش وزن و افزایش قابلیت اعتماد می‌باشد بگونه‌ای که در مواردی درخت بارگذاری حاصله از تحلیل داده‌های هواشناسی سبک‌تر از درخت بارگذاری موجود شده که باعث کاهش وزن دکل‌های مورد طراحی و سایر هزینه‌های ساخت و اجرا می‌گردد. از آن طرف چنانچه درخت بارگذاری سنگین‌تر از درخت بارگذاری موجود گردد، با بکارگیری آن در طراحی‌های جدید، قابلیت اعتماد خط افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در نظر گرفتن دوره‌های بازگشت بالا در طراحی خطوط انتقال نیرو باعث افزایش قابلیت اطمینان خطوط و تقویت پایداری شبکه‌های قدرت می‌شود. در مقابل در نظر گرفتن دوره‌های بازگشت بالا مستلزم صرف هزینه به هنگام اجرا می‌باشد. لذا هزینه‌های خاموشی و ریسک خط در مورد خطوط انتقال با اهمیت بیشتر که سطح قابلیت اعتماد بالاتری باید مبنا قرار گیرد کاهش می‌یابد، در حالیکه ممکن است در برخی مناطق هزینه‌های ساخت و اجرا افزایش یابد که برآیند این دو هزینه، کارایی انجام پروژه را بیش از پیش آشکار می سازد. در این خصوص در سطح دنیا و در کشورهای پیشرفته مبنای دوره بازگشت برای رده‌های ولتاژی مختلف و سطوح متفاوت اهمیت خطوط، میزانی است که در آن هزینه‌های خاموشی و هزینه‌های ساخت و اجرا به یک نقطه تعادل رسیده و به عبارتی دوره بازگشت بهینه تعیین می‌گردد. بر این اساس، مصالحه بین هزینه‌های اولیه احداث برج‌ها و خسارت‌هایی که در بهره‌برداری بر اثر بروز خطا در برج‌ها به شبکه‌ی مشترکین تغذیه شده از خط وارد می‌شود، نیازمند مطالعات جامع اقتصادی در این زمینه می‌باشد. مشاوران خطوط با در نظر گرفتن این موارد می‌بایست، خسارت ناشی از خاموشی خطوط را برآورد و براساس سناریوهای در دسترس برای طراحی، نسبت به اجرای عملیات بهینه‌سازی و انتخاب زمانهای بازگشت بارهای آب و هوایی، با تخمین هزینه‌ها و منافع هر سناریو دوره بازگشت بهینه را ارائه نمایند. این پروژه تحت همکاری با معاونت تخصصی انتقال در گروه سازه انجام شده است.

کلیدواژه: پهنه بندی اقلیمی،بارگذاری خطوط انتقال، سازه، صنعت برق

معرفی و تاریخچه

رخدادهای جوی به لحاظ وقوع و شدت در طی زمان، دارای عدم قطعیت[1] بوده و متغیرهای بیان‌کننده مقدار شدت آنها از نوع متغیرهای تصادفی[2] می‌باشند. بر این اساس، نمی‌توان مقدار دقیق و مشخصی را برای مقاصد طراحی تعیین و استفاده نمود. بدین منظور می‌بایست با استفاده از روش‌های مبتنی بر آمار و احتمالات، مقادیر مناسبی از آنها را تعیین و برای استفاده در روش‌های طراحی بر اساس قابلیت اطمینان[3]، استفاده نمود.

اغلب مؤسسات متولی تهیه استانداردهای طراحی خطوط انتقال مانند *ASCE* و *IEC*، روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان را پذیرفته و در استانداردهای خود ارائه کرده‌اند. بر این اساس، مقادیر حداکثر/حداقل سالانه پارامترهای مشخصه رخدادهای جوی، خود به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده و با استفاده از تحلیل آماری و احتمالاتی (با عنوان تحلیل مقادیر حدی[4])، مقادیر کران بالای آنها با سطح مشخصی از شدت، به عنوان پارامترهای طراحی استخراج می‌گردند. بطور متداول برای بیان سطوح مختلف پارامترهای طراحی از لحاظ شدت، از مفهومی به نام دوره بازگشت[5] استفاده می‌شود.

تحلیل آماری مقدار حدی و توابع توزیع احتمال مربوطه

برای تخمین کرانهای مقادیر حدی پارامترهای جوی در آینده برای محاسبات بارها در طراحی، می‌توان از تحلیل آماری مقادیر حدی ثبت شده در گذشته (به عنوان نمونه‌ای از جامعه آماری) استفاده نمود. تحلیل آماری مورد استفاده بدین منظور، اصطلاحاً تحلیل مقدار حدی[6] نامیده می‌شود. با استخراج توابع توزیع این متغیرها و تعیین پارامترهای آنها برای هر منطقه مشخص، می‌توان کرانهای مقادیر حدی متناظر با هر دوره بازگشت مورد نظر را محاسبه نمود. توابع توزیع احتمال برای مقادیر حداقل یا حداکثر یک پارامتر در بازه زمانی مشخص (مثلاً یک سال)، توابع توزیع مقادیر حدی[7] نامیده می‌شوند.

[1] - Uncertainty
[2] - Random Variable
[3] - Reliability Based Design
[4] - Extreme Value Analysis
[5] - Return Period
[6] - Extreme Value Analysis
[7] - Probability Distribution of Extremes

کد نویسی بر روی پایگاه داده

پس از شناسایی و استخراج رابطه‌های یخ و همچنین محاسبات دوره بازگشتِ پارامترهای هواشناسی، موارد ذیل به منظور تهیه گزارش‌ها نهایی و انجام پهنه‌بندی در پایگاه داده انجام گردید:

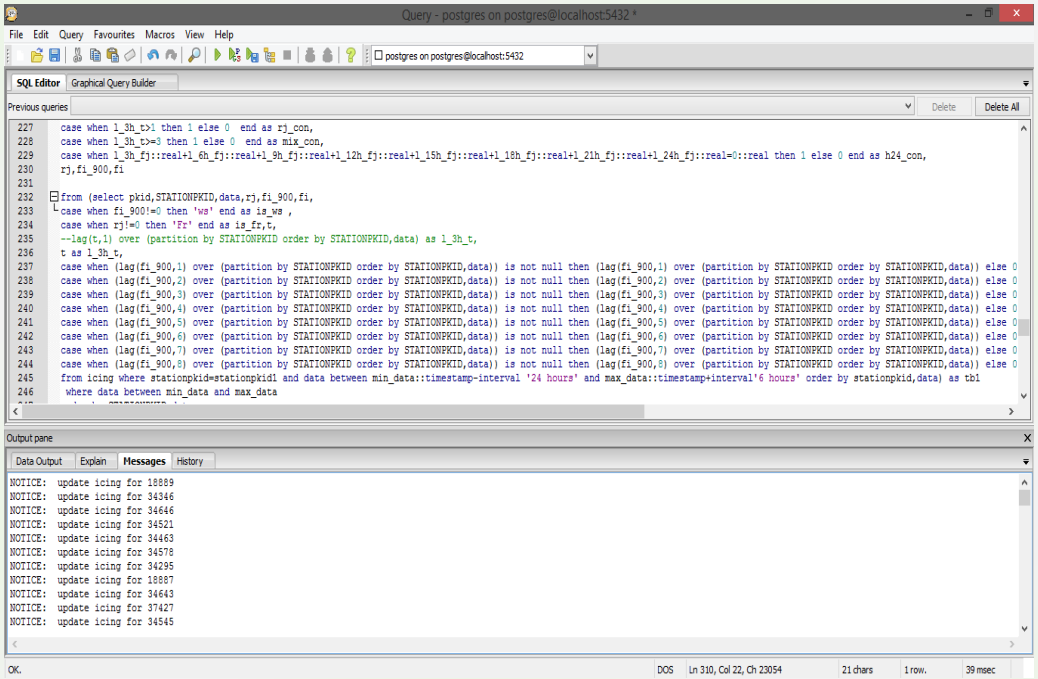
- طراحی دیتابیس مناسب پروژه شامل طراحی جداول مربوط به محاسبات یخ و دوره بازگشت بر اساس داده‌های موجود
- کد نویسی روابط استخراج شده محاسبات باران یخ و برف مرطوب در پایگاه داده
- کد نویسی توابع مورد نیاز برای محاسبه دوره بازگشت هر یک از پارامترها با استفاده از روابطِ استخراج شده
- به روز رسانی جداول فراداده مربوط به پارامترهای هواشناسی (به روز رسانی تاریخ شروع و پایان دوره گزارش پارامترها و همچنین بازه‌های زمانی گزارش‌ها ۲۴ ساعته مربوط به هر ایستگاه)
- اجرای توابع بر اساس فراداده‌های ایستگاه ها و محاسبه دوره بازگشت مربوط به هر پارامتر

این مجموعه کدها در پایگاه داده به صورت ماژول‌های محاسباتی در آمده و در مواردی نیز به منظور ارتقاء سرعت بهبود پیدا کردند. این ماژول‌های محاسباتی شامل:

- ماژول محاسباتی ضخامت یخ
- ماژول محاسباتی مقادیر میانگین کلی و مینیمم و ماکزیمم مطلق پارامترهای هواشناسی (به علاوه ضخامت یخ) در کل دوره آماری ایستگاه
- ماژول محاسباتی مقادیر حدی سالانه (مقادیر ماکزیمم و مینیمم)
- ماژول محاسباتی مقادیر انحراف استاندارد و دوره بازگشت

معرفی پایگاه داده مورد استفاده

پایگاه داده مورد استفاده برای این پروژه *PostgreSQL* نسخه ۹,۴ می‌باشد، که نمایی از رابط کاربری آن در هنگام اجرای ماژول محاسباتی یخ در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱: رابط کاربری پایگاه داده PostgreSQL

نحوه محاسبات مقادیر حدی در تهیه گزارش‌ها هواشناسی

در این بخش نحوه محاسبه مقادیر ماکزیمم و مینیمم مطلق و میانگین‌ها برای کلیه پارامترها شرح داده شده است. این مقادیر اساس محاسبات دوره بازگشت برای تمامی پارامترهای هواشناسی به علاوه ضخامت یخ را تشکیل می‌دهد.

- **دمای مینیمم روزانه**

  - میانگین

برای هر سال میانگین دمای مینیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

  - مقدار حدی

برای هر سال مینیمم دمای مینیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار مینیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال مینیمم دمای مینیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **دمای ماکزیمم روزانه**

- میانگین

برای هر سال میانگین دمای ماکزیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم دمای ماکزیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم دمای ماکزیمم با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **دمای نقطه شبنم**

- میانگین

برای هر سال میانگین دمای نقطه شبنم با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم دمای نقطه شبنم با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم دمای نقطه شبنم با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **مجموع ساعات آفتابی در روز**

- میانگین

برای هر سال میانگین ساعت آفتابی با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم ساعت آفتابی با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم ساعات آفتابی با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **سرعت باد مرجع**

این پارامتر که همان سرعت باد گزارش‌ها سینوپ می‌باشد، به صورت میانگین‌های ۱۰ دقیقه در فواصل زمانی ۳ ساعته اندازه گیری وگزارش می‌گردد.

- میانگین

برای هر سال میانگین سرعت باد با استفاده از داده‌های سرعت باد محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم سرعت باد با استفاده از داده‌های سرعت باد محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم سرعت باد با استفاده از داده‌های سرعت باد محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است که میانگین حدی سرعت باد همان تعریف سرعت باد غالب نیز می‌باشد و از این پارامتر در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سرعت باد غالب استفاده شده است.

- **ضخامت یخ تجمعی شعاعی**

- میانگین

برای هر سال میانگین ضخامت یخ تجمعی (مقدار تجمعی نهایی پیش از ریختن) تنها برای رخدادهای یخ (نه برای کل داده‌ها که معمولا مقداری نزدیک به ۰ است) با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم ضخامت یخ تجمعی با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم ضخامت یخ تجمعی با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **ضخامت یخ تجمعی وزنی**

- میانگین

برای هر سال میانگین ضخامت یخ تجمعی وزنی (مقدار تجمعی وزنی نهایی پیش از ریختن) تنها برای رخدادهای یخ (نه برای کل داده‌ها که معمولا مقداری نزدیک به ۰ است) با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین گرفته می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال ماکزیمم ضخامت یخ تجمعی وزنی با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و در انتها مقدار ماکزیمم مطلق کلی با استفاده از این مقادیر سالانه محاسبه می‌شود.

- میانگین حدی

برای هر سال ماکزیمم ضخامت یخ تجمعی وزنی با استفاده از داده‌های ۳ ساعتی محاسبه می‌گردد و سپس از این مقدارهای سالانه میانگین‌گیری می‌شود.

- **تعداد روزهای همراه با بارش برف در سال**

- میانگین

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای بارش برف با استفاده از داده‌های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با بارش برف در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر میانگین‌گیری می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای بارش برف با استفاده از داده‌های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با بارش برف در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر ماکزیمم‌گیری می‌شود.

- **تعداد روزهای همراه با بارش باران در سال**

- میانگین

برای هر روز مقادیر بارش ۶ ساعته با هم جمع شده و مقدار بارش روزانه محاسبه می‌گردد سپس تعداد روز در هر سال که مقدار بارش روزانه آن بزرگتر از ۰,۰۱ بوده محاسبه می‌شود و در نهایت از این مقادیر سالانه میانگین‌گیری می‌گردد.

- مقدار حدی

برای هر روز مقادیر بارش ۶ ساعته با هم جمع شده و مقدار بارش روزانه محاسبه می‌گردد سپس تعداد روز در هر سال که مقدار بارش روزانه آن بزرگتر از ۰,۰۱ بوده محاسبه می‌شود و در نهایت از این مقادیر سالانه ماکزیمم گیری می‌گردد.

- **تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در سال**

- میانگین

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای گرد و خاک با استفاده از داده-های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر میانگین‌گیری می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای گرد و خاک با استفاده از داده-های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر ماکزیمم گیری می‌شود.

- **تعداد روزهای همراه با ابر در سال**

- میانگین

با توجه به پارامتر میزان ابرناکی با استفاده از پارامتر میزان ابرناکی روزهای ابری و غیر ابری مشخص شده و مجموع آن در هر سال محاسبه می‌گردد، سپس بر روی این مقادیر سالانه میانگین‌گیری انجام می‌شود.

- مقدار حدی

با توجه به پارامتر میزان ابرناکی روزهای ابری و غیر ابری مشخص شده و مجموع آن در هر سال محاسبه می‌گردد، سپس از روی این مقادیر سالانه مقدار ماکزیمم محاسبه می‌شود.

- **تعداد روزهای همراه با رعد و برق در سال**

- میانگین

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای رعد و برق با استفاده از داده‌های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با رعد و برق در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر میانگین‌گیری می‌شود.

- مقدار حدی

برای هر سال با توجه به کد هوای حاضر و گذشته در نظر گرفته شده برای رعد و برق با استفاده از داده‌های ۳ ساعته، تعداد روزهای همراه با رعد و برق در هر سال محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر ماکزیمم گیری می‌شود.

- **تعداد روزهای یخبندان در سال**

- میانگین

با استفاده از پارامتر دمای مینیمم روزانه، تعداد روزهای یخبندان مشخص شده و سپس مجموع آن در هر سال محاسبه می‌گردد و در نهایت بر روی این مقادیر سالانه میانگین‌گیری اعمال می‌شود.

- مقدار حدی

با استفاده از پارامتر دمای مینیمم روزانه، تعداد روزهای یخبندان مشخص شده و سپس مجموع آن در هر سال محاسبه می‌گردد و در نهایت از روی این مقادیر سالانه مقدار ماکزیمم محاسبه می‌شود.

- **مجموع ساعات آفتابی در سال**

- میانگین

در هر سال مجموع ساعات آفتابی محاسبه شده و سپس بر روی این مقادیر سالیانه میانگین‌گیری اعمال می‌گردد.

- مقدار حدی

در هر سال مجموع ساعات آفتابی محاسبه شده و سپس از روی این مقادیر سالیانه مقدار ماکزیمم محاسبه می‌گردد.

اطلاعات مربوط پراکندگی ایستگاه‌ها

نقشه‌های پراکندگی ایستگاه‌های با آمار ۳۰ ساله و بیشتر در شکل ۲ و همینطور ایستگاه‌های با آمار کامل (هشت نوبت در روز) ۲۰ سال و بیشتر در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲: پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک با آمار ۳۰ سال و بیشتر (۱۱۳ ایستگاه)



شکل۳: پراکندگی ایستگاه های سینوپتیک با آمار ۲۰ سال کامل و بیشتر (۱۰۷ ایستگاه)

گزارش‌ها تجمیع شده تمامی پارامترها

این گزارش که محاسبات مربوط به کلیه پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده و محاسباتی (ضخامت یخ معادل شعاعی و وزنی) را شامل می‌گردد، اطلاعات مربوط به مقادیر میانگین کلی، مقادیر حدی (برای دمای مینیمم، مینیمم مطلق و سایر پارامترها ماکزیمم مطلق)، میانگین‌های حدی (برای دمای مینیمم، میانگین مینیمم‌های مطلق و برای بقیه پارامترها میانگین ماکزیمم‌های مطلق)، انحراف استاندارد، نحوه توزیع آماری، ضرایب مربوط به محاسبات دوره بازگشت و دوره‌های بازگشت ۵۰، ۱۵۰ و ۵۰۰ را به صورت یکجا برای هر ایستگاه نمایش می‌دهد. در شکل ۴ نمونه خروجی این گزارش‌ها برای ایستگاه اراک ارائه شده است.

پژوهشگاه نیرو
((پروژه طرح پهنه بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور))
لیست پارامترهای اقلیمی

نام ایستگاه	اراک
کد ایستگاه	۴۰۷۶۹
طول جغرافیایی	۴۹.۷۸
عرض جغرافیایی	۳۴.۰۷
ارتفاع	۱۷۰۲.۸۰
نام استان	مرکزی
سال آماری	۱۹۵۵ - ۲۰۱۶
سال آماری کامل	۱۹۸۲ - ۲۰۱۶
تعداد سال همراه با یخ	۱۸

نام پارامتر	میانگین	پارامترهای آماری: مقدار حدی	پارامترهای آماری: میانگین حدی	پارامترهای آماری: انحراف استاندارد	تابع توزیع: تابع	تابع توزیع: عرض از مبدا	تابع توزیع: شیب خط	تابع توزیع: ضریب همبستگی	محاسبات آماری حدی: دوره بازگشت ۵۰ ساله	محاسبات آماری حدی: دوره بازگشت ۱۵۰ ساله	محاسبات آماری حدی: دوره بازگشت ۵۰۰ ساله
دمای مینیمم روزانه (سانتی گراد)	۷.۱۷	-۳۰.۵۰	-۱۷.۲۸	۶.۰۱	گامبل	-۱۹.۹۸	۴.۸۸	۰.۹۲	-۳۴.۲۷	-۳۹.۸۸	-۴۶.۰۰
دمای ماکزیمم روزانه (سانتی گراد)	۲۰.۹۴	۴۴.۰۰	۳۹.۶۰	۱.۴۷	گامبل	۳۸.۹۴	۱.۲۱	۰.۹۴	۴۳.۷۶	۴۵.۱۳	۴۶.۶۳
دمای نقطه شبنم ۳ ساعته (درجه سانتی گراد)	-۰.۰۴	۲۹.۰۰	۱۶.۳۹	۳.۸۱	گامبل	۱۴.۶۳	۳.۱۹	۰.۹۹	۲۷.۱۷	۳۰.۷۳	۳۴.۶۱
ساعات آفتابی (مجموع روزانه)	۸.۰۹	۱۳.۴۰	۱۲.۹۲	۰.۲۸	گامبل	۱۲.۸۰	۰.۲۲	۰.۸۶	۱۳.۷۳	۱۳.۹۹	۱۴.۲۸
سرعت باد مرجع (متر بر ثانیه)	۱.۵۵	۲۸.۰۰	۱۴.۴۱	۳.۸۷	گامبل	۱۲.۷۴	۳.۱۵	۰.۹۳	۲۵.۴۲	۲۹.۰۳	۳۲.۹۷
ضخامت یخ معادل شعاعی (میلیمتر)	۱۲.۴۲	۸۰.۰۱	۱۴.۷۵	۲۰.۹۲	گامبل	۵.۶۰	۱۶.۹۳	۰.۸۶	۷۶.۱۸	۹۶.۳۸	۱۱۸.۴۲
ضخامت یخ معادل وزنی (میلیمتر)	۶.۱۲	۴۳.۰۰	۷.۳۵	۱۰.۵۲	گامبل	۲.۷۴	۸.۵۲	۰.۸۶	۳۸.۲۴	۴۸.۴۰	۵۹.۴۹
تعداد روزهای همراه با بارش برف در سال	۲۲.۰۲	۴۳.۰۰	--	۸.۶۷	گامبل	۱۸.۰۴	۷.۲۰	۰.۹۷	۴۶.۵۰	۵۴.۵۸	۶۳.۴۰
تعداد روزهای همراه با بارش باران در سال	۶۷.۸۰	۹۷.۰۰	--	۱۳.۸۵	گامبل	۶۱.۵۲	۱۱.۳۸	۰.۹۵	۱۰۶.۹۳	۱۱۹.۸۴	۱۳۳.۹۳
تعداد روزهای یخبندان در سال	۸۹.۴۶	۱۲۴.۰۰	--	۱۵.۴۶	گامبل	۸۲.۴۰	۱۲.۷۹	۰.۹۶	۱۳۳.۱۴	۱۴۷.۵۶	۱۶۳.۲۹
تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در سال	۲۸.۹۳	۱۱۹.۰۰	--	۳۱.۹۶	گامبل	۱۴.۷۱	۲۵.۷۶	۰.۹۱	۱۱۹.۲۴	۱۴۹.۰۴	۱۸۱.۵۶
تعداد روزهای همراه با ابر در سال	۶۴.۲۵	۱۱۲.۰۰	--	۱۵.۴۰	گامبل	۵۷.۲۶	۱۲.۶۵	۰.۹۵	۱۰۷.۷۷	۱۲۲.۱۳	۱۳۷.۸۰
تعداد روزهای همراه با رعد و برق در سال	۷.۳۴	۱۷.۰۰	--	۳.۷۷	گامبل	۵.۶۰	۳.۱۵	۰.۹۸	۱۷.۹۹	۲۱.۵۰	۲۵.۳۴
ساعات آفتابی (مجموع سالانه)	۲۹۵۲.۰۲	۳۲۱۸.۳۰	--	۱۳۹.۳۳	گامبل	۲۸۸۸.۵۷	۱۱۶.۷۲	۰.۹۴	۳۳۵۶.۸۴	۳۴۹۰.۰۹	۳۶۳۵.۵۰



شکل۴: نمونه گزارش کلیه پارامترها برای ایستگاه اراک

متد و روش

پهنه‌بندی پارامترهای هواشناسی و ضخامت یخ

پهنه‌بندی یا تفکیک مکانی به مناطق نسبتا همگن، از جمله موضوع‌هایی است که بیشتر برنامه‌ریزان را در تصمیم‌های منطقه‌ای کمک می‌کند. امروزه به منظور تخمین متغیرهای مکانی در منطقه از روشی آماری تحت عنوان زمین آمار (*geostatistics*) استفاده می‌گردد. تفاوت اصلی این روش با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از یک جامعه آماری، مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچ گونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد. اما روش زمین آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌نماید. روش‌های مختلف زمین آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی و استفاده روز افزون از این سامانه‌ها، اهمیت انتخاب روش مناسب توسط استفاده کننده دوچندان می‌گردد. در مطالعات جغرافیایی برداشت اطلاعات اغلب به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود. معمولا ضرورت دارد اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری نقطه‌ای به سطح تعمیم داده شود.

فرآیند برآورد مقادیر اطلاعاتی برای مکانهایی که اطلاعاتی برای آنها وجود ندارد بر اساس اطلاعات مناطق نمونه، درون‌یابی فضایی نامیده می‌شود. با این حال هنوز باید در استفاده از نتایج حاصل از این مدل‌ها دقت کافی داشت. هرکدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و کاربر با توجه به نیاز خود و در نظر گرفتن میزان دقت و ویژگی‌های این روش‌ها از میان آنها بهترین روش را انتخاب می‌کند.

پارامترهای هواشناسی به دلیل هزینه‌بر بودن نمونه‌برداری، به صورت نقطه‌ای یا ایستگاهی اندازه‌گیری می‌شوند. اما ضرورت ایجاب می‌کند این اطلاعات اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها برای تحلیل‌های منطقه‌ای، به منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شوند و توزیع آنها در پهنه جغرافیایی ترسیم شود. در واقع اعتبار متغیرهای اقلیمی فقط برای همان نقطه‌ای است که اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین جهت تخمین مقدار متغیرهای هواشناسی در مکانهای دیگر و تهیه نقشه‌های پیوسته از روش‌های درون‌یابی فضایی استفاده می‌نمایند. در روش‌های درون‌یابی مکانی، تخمین بر اساس ساختار مکانی موجود در محیط مورد نظر صورت می‌گیرد، که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم برآورد نمود. هدف از درون‌یابی آن است که با استفاده از مجموعه‌ای از نقاط

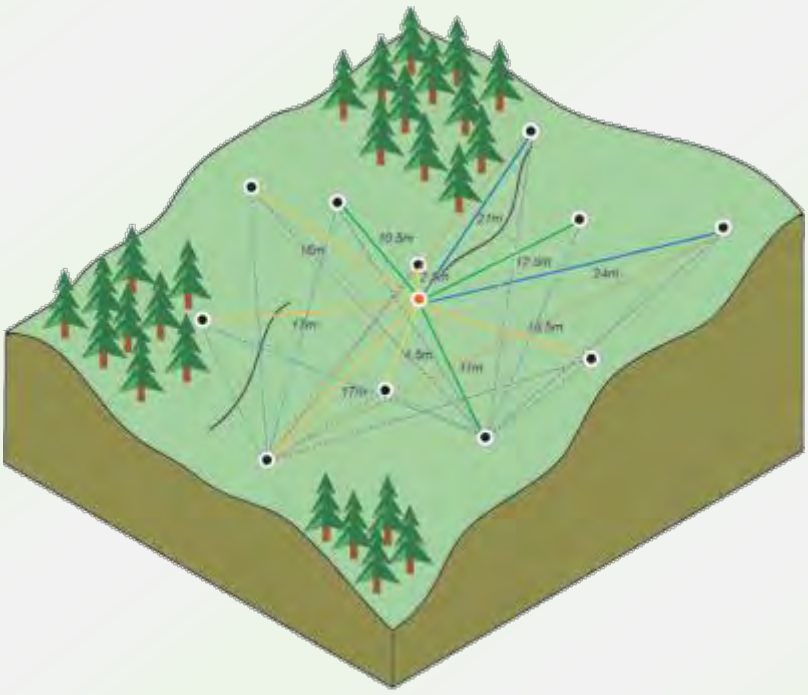
ناپیوسته، پهنه‌ها و سطوح پیوسته‌ای از داده‌ها تولید نمود. در ادامه برخی از روش‌های مورد استفاده درون یابی ارائه می‌شود.

کریجینگ معمولی (OK) [1]

این روش در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که میانگین مجهول می‌باشد. چون در اکثر موارد، تعداد و پراکندگی داده‌ها به حدی نیست که میانگین‌گیری ساده از آنها، میانگین واقعی متغیر در منطقه را نشان دهد، مقدار پارامتر مورد نظر از طریق رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . Z(x_i)$$

که در آن $Z^*(x_0)$ مقدار تخمین زده شده در نقطه مجهول x_0 وزن مقدار مربوطه به نقطه iام، $Z(x_i)$ مقدار معلوم مربوط به نقطه x_i و n تعداد داده‌های معلوم می‌باشد. در شکل ۵ نمایی از نحوه اجرای روش درونیابی کریجینگ نمایش داده شده است.



شکل۵: پهنه‌بندی بر اساس روش کریجینگ

1-Ordinary Kriging-

- **کریجینگ عام (*UK*)** [1]

این مدل زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در منطقه روند وجود داشته باشد. در این روش مدل‌سازی و غربال نمودن روند از مقادیر متغیر مورد مطالعه، هم زمان با پردازش باقیمانده‌ها صورت می‌گیرد. در صورتی که مدل مناسبی برای روند انتخاب شده باشد، باقیمانده‌ها روندی را نشان نمی‌دهند. مقدار پارامتر مورد نظر از طریق رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Z^{*}_{ox}(x) = \sum_{j=0}^{k} \sum_{i=1}^{n} a_j \lambda_i f_j(x_i)$$

که در آن $f_i(x)$ را تابع بنیادی می‌نامند که بر حسب ماهیت روند تعیین می‌شود.

- **روش وزنی معکوس فاصله[2] (*IDW*)**

در روش وزنی معکوس فاصله، برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توانهای بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توانهای کوچکتر وزنها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آنها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

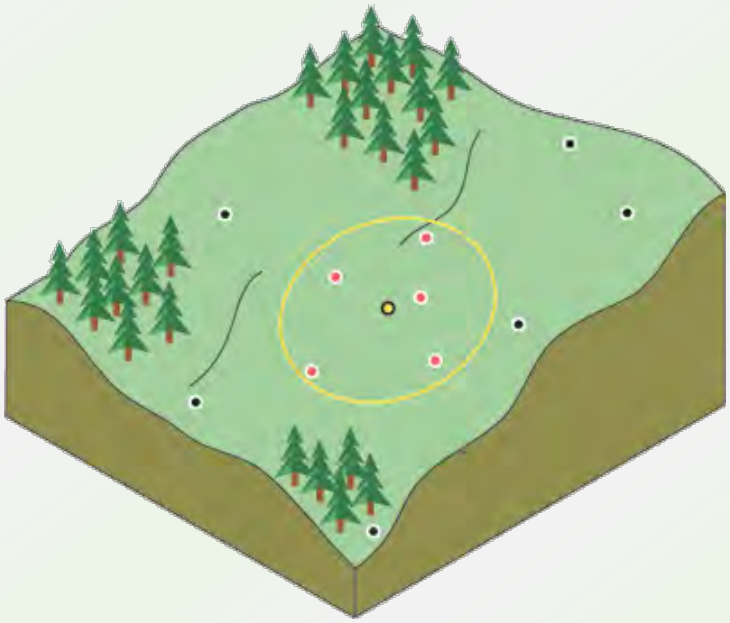
$$\lambda i = \frac{Di - \alpha}{\sum_{i=1}^{n} Di - \alpha}$$

که در آن λ_i = وزن ایستگاه i ام، D_i= فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول، α = توان وزن‌دهی می‌باشند.

در شکل زیر درونیابی به روش IDW نمایش داده شده است.

1 -Universal Kriging

2 - IDW (Inverse Distance Weight)



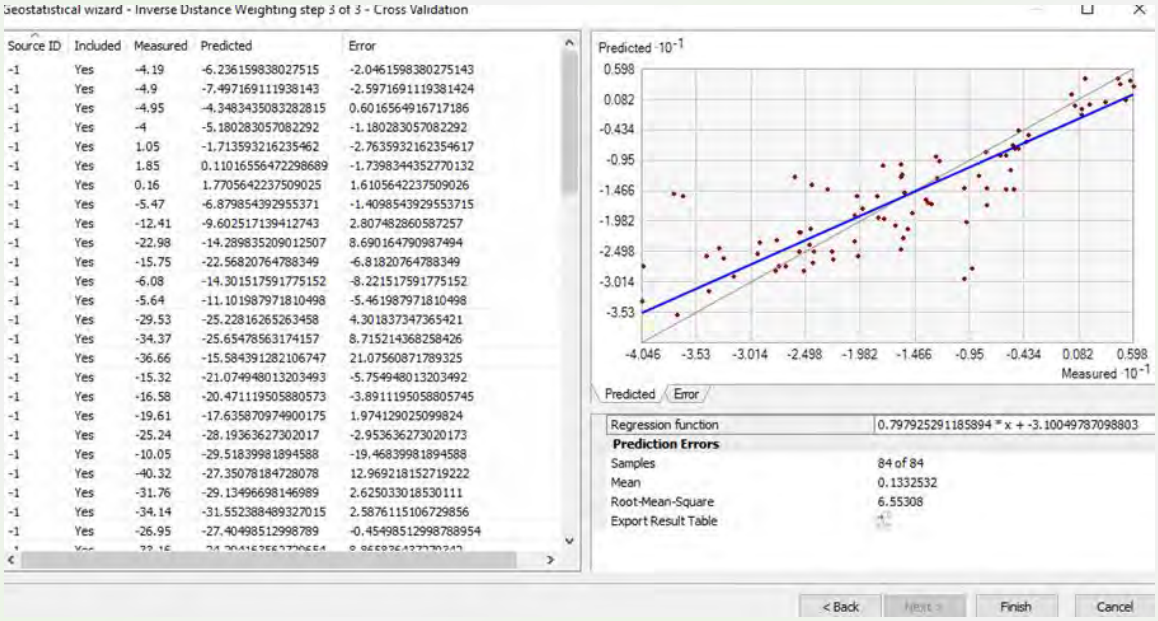
شکل۶: روش درونیابی IDW

انتخاب روش مناسب برای پهنه بندی هر یک از پارامترها

با توجه به روش‌های مختلف موجود برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی نیاز است تا بهترین روش برای انجام پهنه بندی هر کدام از پارامترهای هواشناسی بین روش‌های *Kriging* و *IDW* انتخاب گردد. به این منظور از روش آنالیز درونیابی استفاده می‌گردد. هدف از به‌کارگیری روش‌های درونیابی، تخمین مقادیر برای نقاط نامعلوم بر اساس داده‌های نقاط معلوم می‌باشد. بر این اساس بهترین روش درونیابی، روشی است که بهترین تخمین را نسبت به واقعیت به ازای هر نقطه ارائه کند.

در روش آنالیز درونیابی برای هر یک از روش‌های درونیابی مقادیر *RMSE* محاسبه می‌گردد و روش با *RMSE* کمتر، روش مناسب تر است. محاسبه *RMSE* در این آنالیز به این صورت انجام می‌گردد که به ازای هر یک از نقاط معلوم اختلاف بین مقدار آن نقطه و مقدار درونیابی شده در صورت حذف آن نقطه از پروسه درونیابی، اندازه گیری شده و در نهایت مقدار *RMSE* برای کل نقاط محاسبه می‌گردد و در نهایت با مقایسه این مقادیر روش مناسب تر انتخاب می‌گردد. در شکل ۷ نمایی از صفحه مربوط به آنالیز درونیابی در قالب نرم افزار *Arcgis* نمایش داده شده است. همانطور که در اطلاعات این صفحه مشخص می‌باشد به ازای تمام نقاط معلوم مقادیر اندازه‌گیری شده (*Measured*)، مقادیر تخمین زده شده (*Predict*) و خطای بین مقدار واقعی و مقدار تخمین زده شده برای آن نقطه در صورت نبود در روند محاسبات درونیابی

(*Error*) و مقدار *Root Mean-Square* نهایی در سمت راست صفحه قسمت پایین نمایش داده شده است.



شکل۷: نمایی از صفحه مربوط به آنالیز درونیابی در نرم افزار Arcgis

در ادامه و در جدول ۱ مقادیر *RMSE* مربوط به درونیابی‌ها برای دو روش *IDW* و *Kriging* ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر RMSE محاسبه شده برای هر یک از روش های درونیابی

ردیف	روش درونیابی / نام پارامتر	*RMSE*	
		IDW	*Kriging*
۱	باد مرجع	۴.۵۶۹۳۸۸۳۸۳	۴.۹۰۱۸۰۶۳۵۱
۲	باد غالب	۲.۱۱۰۵۳۴۵۷۵	۲.۳۳۰۰۳۴۰۵
۳	ضخامت یخ معادل شعاعی	۴۶.۲۸۷۱۰۵۹۲	۴۷.۶۷۳۵۶۶۹۱
۴	ضخامت یخ معادل وزنی	۲۳.۰۳۶۸۹۰۵۲	۲۵.۹۵۳۵۵۳۰۳

۵	روزهای همراه با ابرناکی	۲۰.۶۶۶۰۲۸۵۱	۱۷.۸۰۱۵۳۵۷۹
۶	روزهای همراه با گردو خاک	۵۶.۳۶۰۹۳۹۱۸	۵۲.۲۵۶۳۸۸۵۲
۷	روزهای همراه با یخبندان	۳۵.۱۳۶۴۷۱۸۸	۳۴.۳۱۰۴۳۸۶۵
۸	روزهای بارانی	۱۵.۹۸۹۷۴۹۰۶	۱۴.۴۲۳۱۱۹۴۳
۹	روزهای برفی	۱۵.۳۹۵۷۸۳۶۴	۱۵.۱۶۷۲۵۲۸۷
۱۰	تعداد روزهای همراه با رعد و برق	۹.۱۸۱۲۲۹۹۷۹	۸.۸۵۷۸۲۷۶۹۲
۱۱	مجموع ساعت آفتابی روزانه	۰.۴۰۳۹۸۲۵۰۳	۰.۳۸۰۹۴۱۴۴۸
۱۲	مجموع ساعت آفتابی سالانه	۱۸۶.۷۵۸۱۶۸۸	۱۴۸.۷۰۳۷۶۷۶
۱۳	دمای بیشینه روزانه	۴.۱۳۷۲۲۷۴۸۱	۳.۹۴۵۰۶۵۰۰۳
۱۴	دمای کمینه روزانه	۶.۵۵۳۰۷۹۶۶۴	۶.۰۸۰۹۴۰۲۰۵
۱۵	دمای نقطه شبنم	۴.۴۸۷۴۰۲۷۵۷	۴.۲۱۹۷۶۱۰۹۴

بر اساس اطلاعات جدول ۱، بر اساس *RMSE* های هر یک از پارامترها، روش همراه با *RMSE* کمتر انتخاب شده و به این ترتیب پهنه بندی پارامترهای هواشناسی به صورت زیر بر اساس روش‌های انتخاب شده در جدول ۲ انجام گرفته است.

جدول ۲: درون‌یابی‌های مورد استفاده برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

ردیف	نام پارامتر مورد استفاده برای پهنه‌بندی	درونیابی به کار رفته
۱	دمای مینیمم روزانه	*Kriging*
۲	دمای ماکزیمم روزانه	*Kriging*
۳	دمای نقطه شبنم	*Kriging*
۴	مجموع ساعات آفتابی در روز	*Kriging*
۵	سرعت باد مرجع	*IDW*
۶	سرعت باد غالب	*IDW*
۷	ضخامت یخ تجمعی	*IDW*
۸	ضخامت یخ تجمعی وزنی	*IDW*
۹	تعداد روزهای همراه با بارش برف در سال	*Kriging*
۱۰	تعداد روزهای همراه با بارش باران در سال	*Kriging*
۱۱	تعداد روزهای همراه با گرد و خاک در سال	*Kriging*
۱۲	تعداد روزهای همراه با ابر در سال	*Kriging*
۱۳	تعداد روزهای همراه با رعد و برق در سال	*Kriging*
۱۴	تعداد روزهای یخبندان در سال	*Kriging*
۱۵	مجموع ساعت آفتابی در سال	*Kriging*

معرفی نرم‌افزار مورد استفاده در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

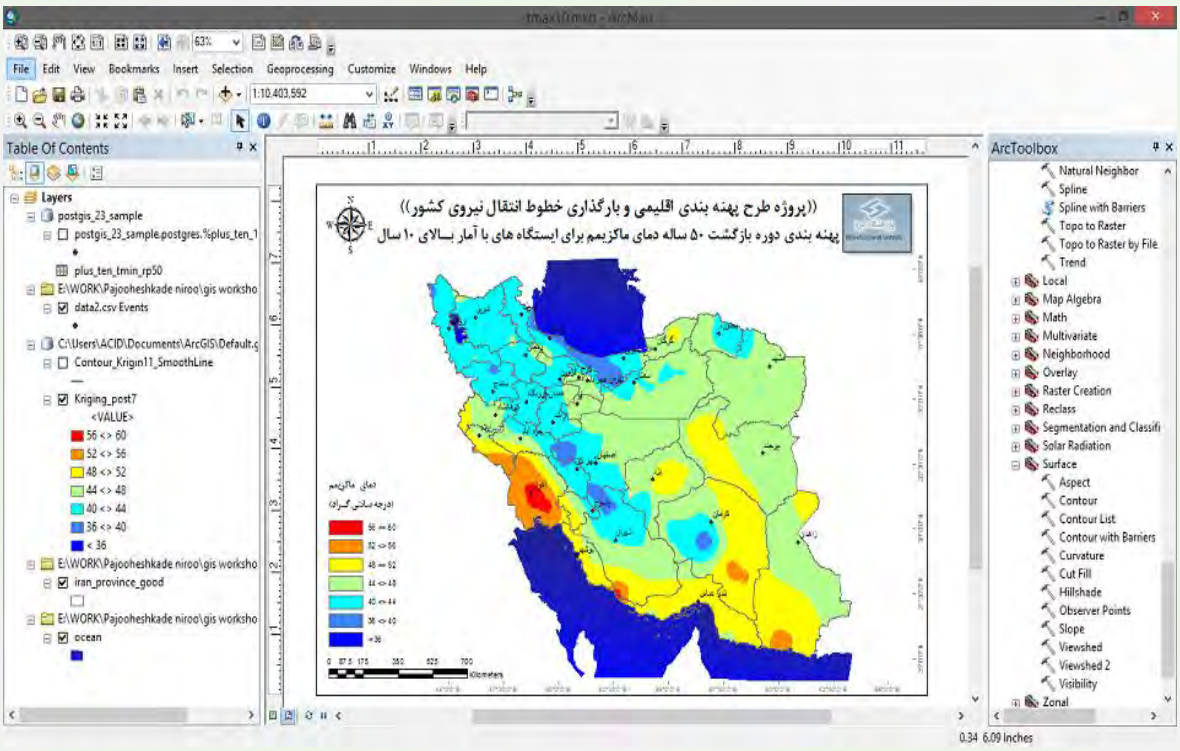
نرم افزار مورد استفاده در این پروژه *ArcGIS* نسخه ۱۰,۳ می‌باشد که از قدرتمندترین نرم افزارهای *GIS* می‌باشد. نرم افزار *ArcGIS* دارای بخش‌های متنوعی است که در ادامه معرفی می‌گردد.

- **ArcCatalog**

بطور کلی این بخش از نرم افزار وظیفه مدیریت داده‌های مکانی، جستجوی داده‌ها، ایجاد لایه‌های جدید، ویرایش فراداده، ایجاد اتصال به داده‌های مکانی موجود در کامپیوتر و پایگاه داده‌های مختلف را برعهده دارد. پرکاربردترین قابلیت *ArcCatalog* را می‌توان ایجاد لایه‌های اولیه نام برد.

- **ArcMap**

عمده فعالیت‌ها در این بخش از نرم افزار شکل می‌گیرد. محیطی که *ArcMap* در اختیار کاربر خود قرار می‌دهد، امکان مشاهده اطلاعات مکانی و توصیفی و ویرایش آنها را فراهم می‌سازد. در شکل ۸ نمایی از رابط کاربری نرم افزار *ArcMap* نمایش داده شده است.



شکل ۸ : نمایی از نرم افزار ArcMap

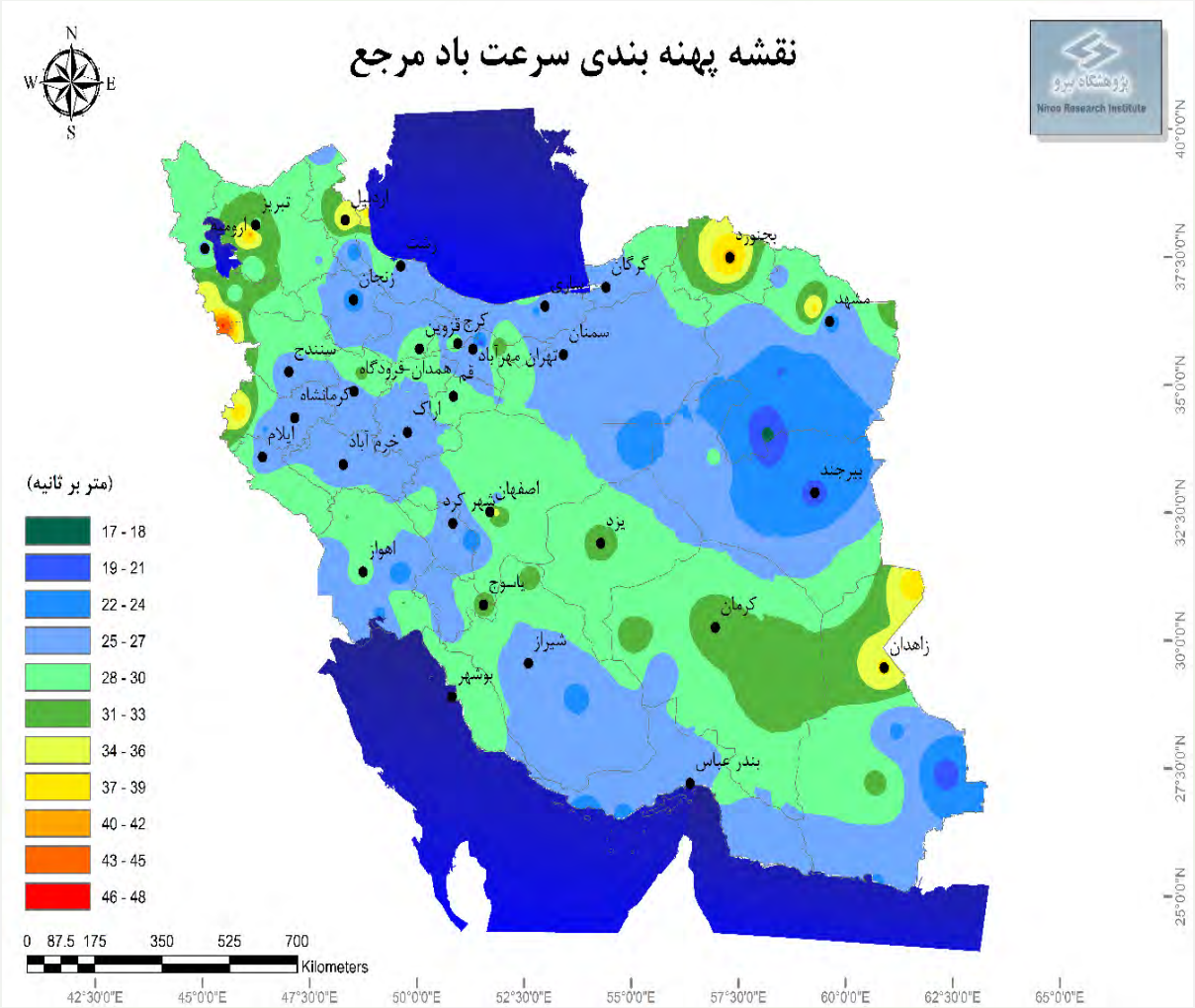
- **ArcToolbox**

این بخش نیز حاوی مجموعه ابزارهایی است که در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. *ArcToolbox* در نسخه‌های قدیمی بصورت یک واحد مجزا تعریف شده بود، اما هم اکنون به عنوان نرم افزار مکمل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

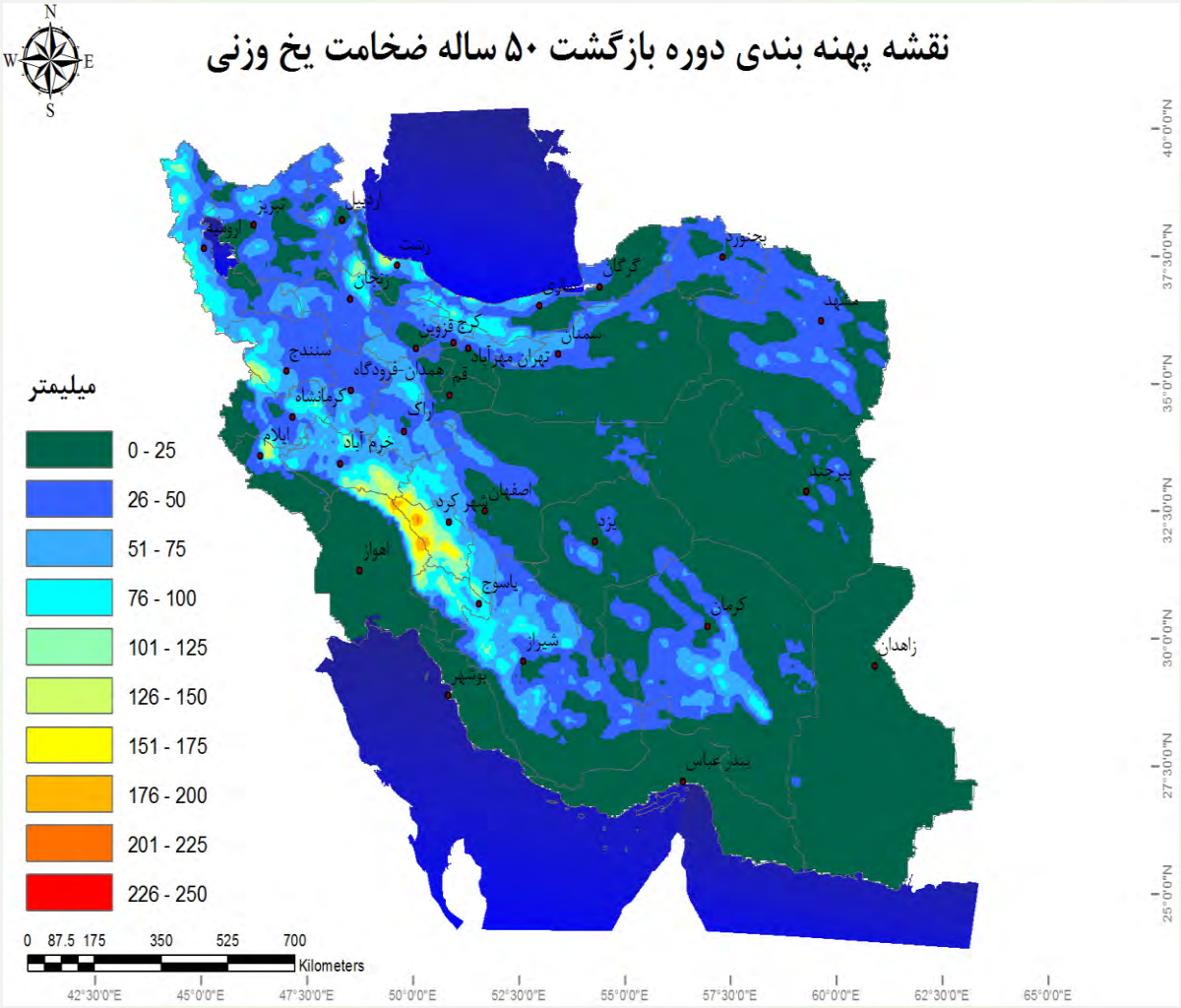
تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد محاسبات دوره بازگشت هر یک از پارامترها، پس از انجام این محاسبات برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی، دوره‌های بازگشت ۵۰ ساله مربوط به هر یک از پارامترها استخراج شده و نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس این مقادیر تهیه شدند. لازم به ذکر است برای حصول اطمینان از فراوانی داده‌های به کار رفته برای انجام محاسبات، برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ضخامت یخ معادل شعاعی و وزنی ایستگاه‌های با دوره آماری ۲۰ سال کامل و بیشتر (ایستگاه‌هایی که در هر روز ۸ گزارش سینوپ ارسال کرده‌اند). و برای بقیه پارامترها ایستگاه‌های با دوره آماری ۳۰ سال به بالا در نظر گرفته شده است.

در شکل های ذیل دو نمونه از نقشه های پهنه بندی تهیه شده برای پارامتر سرعت باد و ضخامت یخ ارائه شده است.



پهنه بندی دوره بازگشت ۵۰ ساله پارامتر سرعت باد مرجع



پهنه بندی دوره بازگشت ۵۰ ساله پارامتر یخ معادل وزنی (با اعمال ارتفاع)

پایه های بتنی با میلگرد کامپوزیت

علی اصغر ذکاوتی

کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

azekavati@nri.ac.ir

چکیده:

یکی از عمده مشکلات و ضعف های پایه های بتنی موجود شبکه توزیع که اغلب از نوع پایه های بتنی با مقطع اچ شکل است، کاهش عمر مفید این نوع پایه ها می باشد. همچنین طراحی پایه های بتنی موجود به نحوی است که پرتی و هدررفت میلگرد فولادی دغدغه بسیاری از سازندگان است. از طرفی تراکم بالای میلگرد موجب کرمو شدن برخی نواحی پایه و عدم پوشش دهی مناسب بتن رویه خواهد شد. همه این موارد در کنار معضل خوردگی پایه ها بخصوص در نواحی شمالی و جنوبی کشور موجب شد طرح استفاده از میلگرد کامپوزیت مطرح گردد.

امروزه با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد مواد کامپوزیتی، این مواد در اکثر کشورهای پیشرفته صنعتی، جایگزین بسیار مناسبی به جای میلگرد به شمار می‌آیند. کشورهایی همچون آمریکا، چین، روسیه، کشورهای اروپایی در این زمینه پیشرو هستند، بطوریکه که آیین نامه متنوعی برای استفاده از این نوع مصالح تدوین گردیده است.



شکل ۱-فرسودگی و خوردگی در پایه های بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی



شکل ۲-فرسودگی و خوردگی در پایه های بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی



شکل ۳-ساخت و آزمون پایه بتنی با میلگرد کامپوزیتی (رومانی)

میلگرد کامپوزیت

میلگرد یا آرماتورهای *FRP* از نظر شکل ظاهری مشابه میلگردهای متداول هستند، ولی در تولید آنها به جای فولاد از رزین پلیمری مخصوص و الیاف (به طور معمول این الیاف از جنس شیشه و کربن می باشند و دارای مقاومت بیشتری نسبت به فولاد هستند) استفاده می شود. می توان این محصول را به عنوان جایگزین مناسبی برای میلگردهای فولادی در نقش تسلیح کننده بتن دانست، شاهد بر این ادعا نیز تعداد کثیر پروژه هایی است که از این محصول بهره گرفته اند. این محصول در مقابل الکتریسیته، امواج مغناطیسی و خصوصاً خوردگی(*corrosion*) مقاوم می باشد. با استفاده از این میلگردها می توان از مشکلاتی همچون تداخل الکترومغناطیسی و خوردگی اجتناب نمود. به علاوه چون میلگردهای *FRP* دارای مقاومت کششی بالایی هستند، می توان از آن ها در بخش کششی مقاطع بتنی استفاده کرد.

انواع میلگردهای *FRP* متناسب با جنس الیاف وجود دارد؛ میلگردهای *CFRP* ساخته شده با الیاف کربن، میلگردهای *GFRP* ساخته شده با الیاف شیشه *E-Glass*، میلگردهای *BFRP* ساخته شده با الیاف بازالت. میلگردهای *GFRP* ارزانترین ومتداول-ترین این میلگردها می باشند.

بزرگترین مزیت انواع میلگرد کامپوزیت*FRP* نسبت به میلگردهای معمول، مقاومت بالای آنها در برابر خوردگی می باشد. مقایسه خصوصیات مکانیکی میلگردهای کامپوزیت *FRP* و میلگردهای فولادی در شکل ذیل ارائه شده است.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS
metallic and FRP reinforcement





CHARACTERISTICS	Rebar	
	Metallic reinforcement class A-III (A400C)	FRP reinforcement
Material	Steel	Fibreglass, soaked in a polymer based on epoxy resin
Ultimate tensile strength, MPa	390	1200
Modulus of elasticity, MPa	200 000	55 000
Elongation, %	25	2,2
Corrosion resistance to aggressive media	Subject to corrosion	Not subject to corrosion
Heat conduction	Is a heat-conducting	Is not heat-conducting
Electroconductivity	Conducts electricity	Non-conducting - is a dielectric
Produced profiles	6 - 80	4 - 20
Length	The rods of length 6-12 m	According to customer request
Environmentally friendly	Is environmentally friendly	Is not toxic, the degree of impact on humans and the environment belongs to the 4 hazard class (low hazard).
Longevity	In accordance with building standards	Predicted life at least 80 years
FRP equivalents for replacing steel rebar	6 A-III	4 AKC
	8 A-III	6 AKC
	10 A-III	7 AKC
	12 A-III	8 AKC
	14 A-III	10 AKC
	16 A-III	12 AKC
	18 A-III	14 AKC
	20 A-III	16 AKC
Weight (with equal strength on the replacement), kg	6 A-III - 0,222	4 AKC - 0,02
	8 A-III - 0,395	6 AKC - 0,05
	10 A-III - 0,67	7 AKC - 0,07
	12 A-III - 0,92	8 AKC - 0,08
	14 A-III - 1,28	10 AKC - 0,12
	16 A-III - 1,58	12 AKC - 0,20
	18 A-III - 2,0	14 AKC - 0,26
	20 A-III - 2,47	16 AKC - 0,35

شکل ۴-مقایسه میلگرد کامپوزیت با میلگرد فولادی

۱. مقاومت میلگردهای FRP در مقابل خوردگی:

بزرگترین عیب میلگردهای فولادی مقاومت پایین آن ها در مقابل عوامل شیمیایی خورنده می باشد. از آن جاییکه امکان وجود ترک در مقاطع بتنی و در نتیجه نفوذ عوامل شیمیایی به داخل بتن وجود دارد، میلگردهای فولادی دچار خوردگی خواهند شد و متعاقباً مقاومت و یکپارچگی مقاطع بتنی از بین خواهد رفت. به علت مقاومت بالای رزین اپوکسی استفاده شده در ساخت میلگردهای *FRP* در مقابل اکسیژن، رطوبت، کلر، سولفاتها و سایر عوامل خورنده، میلگردهای *FRP* از مقاومت بالایی در برابر خوردگی برخوردارند. از این رو میلگردهای *FRP* برای سازه هایی که در معرض خوردگی قرار دارند مانند سازه های دریایی، اسکله ها، عرشه پل ها و سازه هایی که در معرض نمک های یخ زا قرار دارند جایگزین بسیار مناسبی برای میلگردهای فولادی می باشند.

۲. مقاومت میلگردهای FRP در برابر نیروهای مغناطیسی:

مواد کامپوزیت *FRP* دارای خصوصیات منحصر بفردی هستند. از آن جاییکه این مواد از ترکیب رزین با الیاف شیشه، کربن و یا آرامید ساخته می شوند، هیچ گونه تنشی ناشی از میدان مغناطیسی در آن ها وارد نمی شود. با توجه به همین خصوصیت در مواد کامپوزیت*FRP* ، استفاده از میلگردهای *FRP* در سازه های تحت تاثیر میدان های الکترو مغناطیسی نظیر پایه های توزیع برق، راکتورها، فرودگاه ها، بخش های *MRI* بیمارستان ها و لابراتوارها توصیه می شود.

۳. مقاومت میلگردهای FRP در برابر جریان الکتریکی:

هدایت الکتریکی در سازه می تواند یک خطر به حساب آید. قابلیت رسانایی الکتریکی در مصالح فلزی مسئله خطرناکی بوده و می تواند باعث آسیب شود. در مقابل مصالح فلزی، مواد کامپوزیت *FRP* از لحاظ الکتریکی غیرهادی هستند که گزینه مناسبی برای سازه های در معرض میدان الکتریکی می یاشند.

نمونه هایی از بکارگیری مواد کامپوزیت عبارتند از ساخت پایه های انتقال و توزیع برق با استفاده از میلگردهای کامپوزیت *FRP* ، ساخت دکل های بتنی انتقال نیرو با استفاده از میلگردهای کامپوزیت*FRP* ، احداث پست های پیش ساخته با استفاده از میلگردهای کامپوزیت *FRP* ، استفاده از میلگردهای *FRP* در پایه پُست های با ولتاژ بالا و ...)

۴. وزن سبک میلگرد کامپوزیت:

میلگردهای *FRP* با وزن مخصوص ۲/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب بسیار سبک تر از میلگردهای فولادی رایج با وزن مخصوص ۷/۸۵ هستند. این کاهش چگالی می تواند منجر به کاهش هزینه حمل و نقل، آسانی در جابجایی مصالح و هم چنین کاهش بار مرده سازه گردد.

۵. قیمت مناسب میلگرد کامپوزیت:

استفاده از میلگردهای *FRP* در بسیاری از پروژه ها منجر به اقتصادی تر شدن پروژه میگردد چراکه با توجه به خصوصیات مکانیکی به ویژه در مقاومت کششی بالای آن منجر به کاهش حجم میلگردها و در نتیجه کاهش هزینه خواهد شد.

ضرورت ارتقای پایه‌های موجود به پایه بتنی با میلگرد کامپوزیت

به منظور افزایش کیفیت و بهبود عمر پایه های بتنی استفاده از میلگرد کامپوزیت توصیه می گردد. در مجموع میتوان به عمده دلایل ذیل اشاره نمود:

۱. کاهش هزینه های مصالح

هزینه های مصالح با توجه به نتایج فصل بعد که برای یک نمونه پایه ۶۰۰-۱۲ ارائه شده، نشان دهنده کاهش حداقل ۱۰درصد هزینه تامین مواد است. این میزان صرفا با توجه به جایگزینی و معادل سازی میلگرد فولادی و کامپوزیتی حاصل شده است. در صورت طراحی بهینه و انجام آزمون، قطعاً هزینه مصالح به مراتب کاهش بیشتری خواهد داشت.

۲. کاهش وزن

کاهش با توجه به نتایج فصل بعد که برای یک نمونه پایه ۶۰۰-۱۲ ارائه شده، نشان دهنده کاهش حداقل ۶ درصد وزن پایه است. این مقدار با طراحی بهینه که انشاءالله در طول پروژه انجام خواهد شد به مراتب نتایج بهتری را خواهد داد.

۳. افزایش عمر پایه های بتنی

با توجه به خاصیت ضد خوردگی میلگردهای کامپوزیتی و تراکم کم این نوع میلگردها در پایه بتنی نسبت به میلگردهای فولادی، عمر و کیفیت این نوع پایه ها افزایش خواهد یافت.

۴. **تامین ایزولاسیون‌های لازم به علت خاصیت نارسانا بودن**

۵. **مقاومت در برابر خوردگی**



شکل ۵- سطح میلگرد کامپوزیت و میلگرد فولادی و مقایسه مقاومت در برابر خوردگی

۶. **کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری**

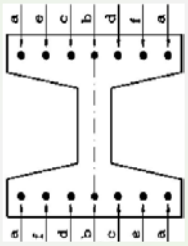
مقایسه اقتصادی

به منظور بررسی و مقایسه پایه های بتنی با میلگرد فولادی و کامپوزیتی، یک نمونه پایه بتنی ۱۲ متری با رده مقاوتی اسمی ۶۰۰ کیلوگرم-نیرو با میلگرد کامپوزیتی طراحی اولیه شده و مصالح و وزن آن با نمونه مشابه پایه بتنی با میلگرد فولادی مقایسه می گردد.

مشخصات پایه های بتنی ۶۰۰-۱۲ با میلگرد فولادی از استاندارد توانیر استخراج شده است و تمامی موارد مربوط به اوزان و حجم مصالح طبق این استاندارد تکمیل گردیده است.

لازم به توضیح است که طرح پایه بتنی با میلگرد کامپوزیتی بصورت طراحی مقدماتی و اولیه استخراج شده است بطوریکه ابعاد کلی پایه و آرایش میلگردها ثابت مانده است و صرفاً میلگردهای فولادی با میلگردهای معادل کامپوزیتی جایگزین شده است.

جدول ۱ :مشخصات پایه بتنی ۶۰۰-۱۲ با میلگرد فولادی و کامپوزیتی

نوع پایه	وزن میلگرد آجدار (کیلوگرم)	وزن خاموت فولادی (کیلوگرم)	حجم بتن (متر مکعب)	مشخصات آرماتور گذاری	
				تعداد و شماره میلگرد	الگوی آرماتور گذاری
پایه بتنی ۶۰۰-۱۲ با میلگرد فولادی	۱۶۵	۳۰	۰،۸۵	10 Φ14 4Φ16	
پایه بتنی ۶۰۰-۱۲ با میلگرد کامپوزیت	۳۶	۳۰	۰،۸۵	10Φ11 2Φ13	

هزینه مصالح فولادی و کامپوزیتی با توجه به استعلام اخذ شده از شرکت های ذیربط و فعال در این حوزه در مهر ماه ۱۳۹۷ مطابق جدول ذیل و پیوست لحاظ گردیده است.

جدول ۲ : هزینه مصالح*

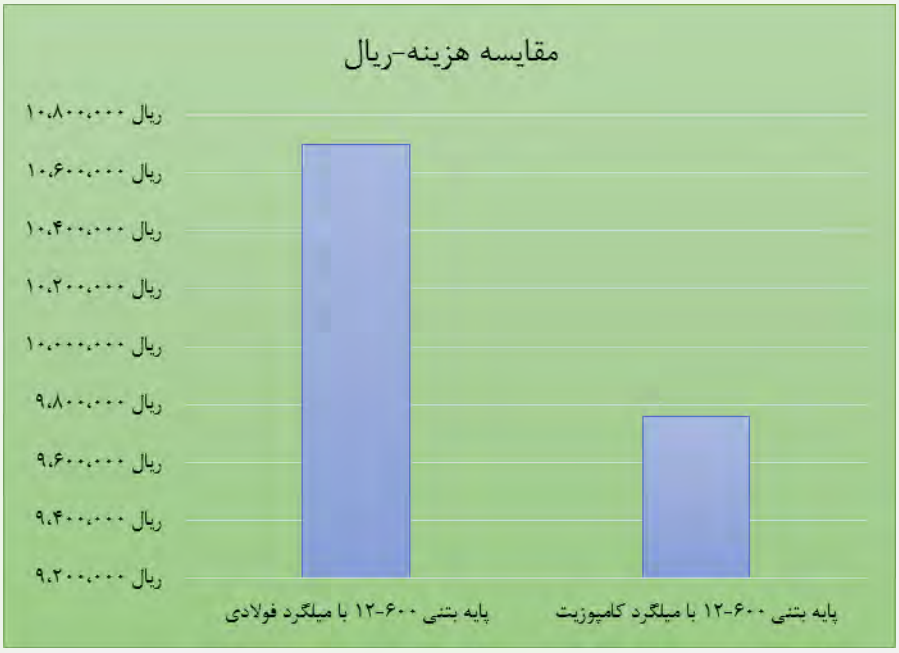
آیتم	هزینه واحد (ریال)
میلگرد فولادی (کیلوگرم)	۴۸،۸۰۰
میلگرد فولادی ۱۴(هر متر طول)	۵۹،۰۴۸
میلگرد فولادی ۱۶(هر متر طول)	۷۷،۱۰۴
میلگرد کامپوزیت ۱۱(هر متر طول)	۴۹،۲۸۰
میلگرد کامپوزیت۱۳ (هر متر طول)	۷۲،۲۷۹
بتن (متر مکعب)	۱،۳۸۰،۰۰۰

*استعلام از شرکت کامپوزیت وطن

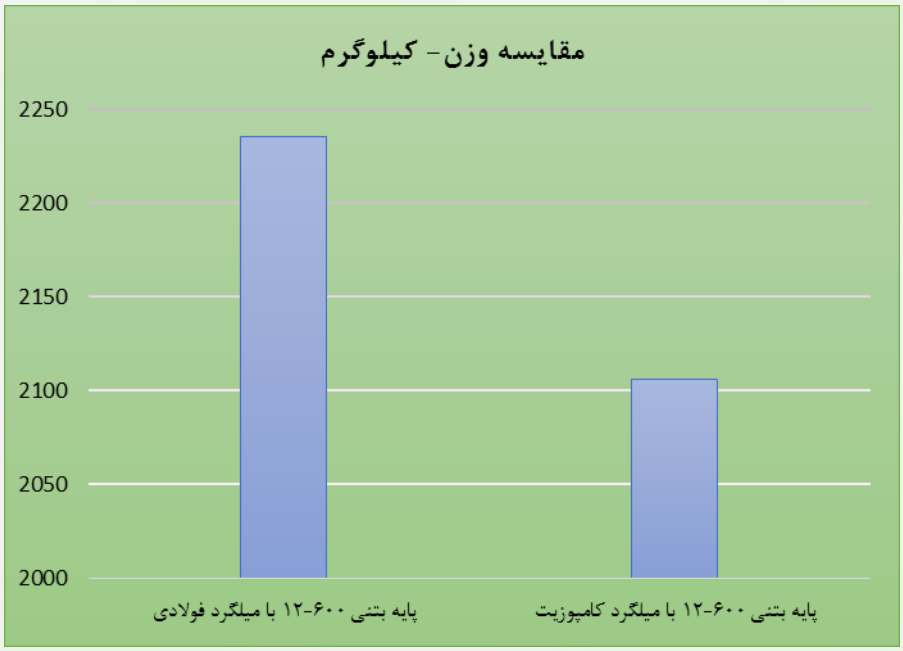
با توجه به جدول هزینه مصالح و طرح مقدماتی خلاصه نتایج اقتصادی به شرح ذیل ارائه می گردد.

جدول ۳ : مقایسه و برآورد هزینه و مصالح پایه بتنی ۶۰۰-۱۲

نوع پایه	برآورد هزینه مصالح (ریال)				وزن مصالح و پایه (کیلوگرم)			
	مصالح فولاد	کامپوزیت	بتن	کل پایه	میلگرد فولادی	میلگرد کامپوزیت	بتن	کل پایه
پایه بتنی با میلگرد فولادی	۹،۵۲۳،۸۰۸	۰	۱،۱۷۳،۰۰۰	۱۰،۶۹۶،۸۰۸	۱۹۵,۱۶	۰	۲۰۴۰	**۲۲۳۵**
پایه بتنی با میلگرد کامپوزیت	۱،۴۷۱،۸۰۸	۷،۱۱۶،۱۱۲	۱،۱۷۳،۰۰۰	۹،۷۶۰،۹۲۰	۳۰,۱۶	۳۶	۲۰۴۰	**۲۱۰۶**
میزان صرفه جویی (٪)				٪۱۰				٪۶



شکل ۶-مقایسه هزینه مصالح مورد استفاده در پایه بتنی ۶۰۰-۱۲



شکل ۷-مقایسه وزن پایه بتنی ۶۰۰-۱۲ با میلگرد فولادی و کامپوزیتی

نتیجه گیری:

این گزارش مقدمه ای بر توجیه فنی و اقتصادی استفاده از میلگردهای کامپوزیت برای استفاده از پایه های بتنی شبکه توزیع برق است که توسط گروه سازه های صنعت برق پژوهشگاه نیرو تدوین گردیده است. نتایج فنی نشان دهنده توجیه پذیر بودن استفاده از این نوع مواد و مصالح در پایه بتنی می باشد. دلایل آن همانطور که ذکر گردید سوابق موضوعی استفاده از این میلگردها در کشورهای توسعه یافته و همچنین مزایای فنی قابل توجه میلگرد کامپوزیتی نسبت به میلگرد فولادی است که به طور خلاصه می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ۸۰ درصد سبک‌تر از میلگردهای آجدار فولادی
- مقاومت در برابر اسیدها و بازها
- مقاومت در برابر زنگ زدگی
- داشتن مقاومت کششی بیشتر از فولاد
- نداشتن هدایت الکتریکی و حـرارتی
- داشتن مقاومت مطلوب در برابر زلزله
- عمر بیشتر تا ۱۵ برابر فولاد

شرکت های متنوعی در ایران مانند کامپوزیت آسیا، کامپوزیت وطن، رادیاب، شرکت فنی مهندسی ابر سازه اریانا و ... در زمینه تهیه و تولید میلگردهای کامپوزیتی فعالیت می کنند، لذا تهیه این نوع مصالح براحتی

امکان پذیر بوده و برای شرکت های پیمانکار تولید پایه های شبکه توزیع قابل دسترس هستند. از طرفی بررسی اقتصادی استفاده از نوع میلگردها در پایه های بتنی نشان دهنده نتایج مناسب و قابل ملاحظه ای می-باشد بطوریکه علی‌رغم طراحی اولیه و مقدماتی که با حفظ ابعاد موجود و آرایش میلگردها صورت پذیرفت، نتایج اقتصادی برای یک نمونه پایه بتنی ۶۰۰-۱۲، شامل کاهش حداقل ۱۰ درصد هزینه و ۶ درصد کاهش وزن است.

بطور قطع، این مقادیر با توجه به طراحی تفصیلی و استخراج آرایش بهینه میلگردها که نیازمند مدلسازی و آزمون است، مقادیر چشمگیری و بهتری را نتیجه خواهد داد بطوریکه با توجه به مذاکرات صورت گرفته با صاحبنظران این حوزه شامل اساتید دانشگاهی و پیشگامان صنعتی، حداقل ۲۰ درصد کاهش هزینه پیش بینی می‌شود. لذا انجام یک پروژه که بتواند **دانش فنی تولید و آزمون پایه های بتنی با میلگرد کامپوزیتی شبکه توزیع برق** را در بر داشته باشد بسیار راهگشا خواهد بود.

ارزیابی غیر مخرب خرابی‌های در مقیاس میکرو و نانو در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق با بکارگیری روش نمونه‌گیری خطی

آزاده گودرزی[۱]، حسین محمدی شجاع[۲]

۱- پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف

Agoodarzi@nri.ac.ir

چکیده

تشخیص زودهنگام و به موقع خرابی‌ها در تجهیزات و سازه‌های شریان‌های حیاتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا، تشخیص به موقع ترک‌ها و خرابی‌ها در تجهیزات دوار مکانیکی و یا سازه‌های حساس نیروگاهی از جمله پوسته‌ی محافظ رآکتور هسته‌ای و یا پره‌های توربین بادی و دیگر تجهیزات حساس نیروگاه‌های تولید برق، در مرحله‌ای که این خرابی‌ها هنوز به مقدار زیاد گسترده نشده‌اند و در مقیاس میکرو و یا نانو هستند بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این تحقیق نشان شده‌است که با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی در تئوری مراتب بالاتر محیط پیوسته میتوان خرابی‌های در مقیاس میکرو و نانو را در یک سازه به روش غیر مخرب تعیین کرد و محل دقیق خرابی، شکل و اندازه آن را بازیابی کرد. در این تحقیق ارزیابی غیر مخرب برای تشخیص خرابی‌های در مقیاس بسیار کوچک (نانو ومیکرو) با بررسی موج‌های الاستیک پراکنده شده از سازه به روش تحلیلی انجام می‌شود. برای بالا بردن دقت مسأله در مقیاس نانو، از تئوری‌های مراتب بالاتر محیط پیوسته استفاده شده است و برای بازیابی خرابی روش نمونه‌گیری خطی در این تئوری توسعه داده شده‌است. به علاوه، برای حالتی که سرعت موج برشی در حالت کلاسیک (عدد موج کلاسیک) در روش‌های وارون نمونه‌گیری خطی مورد استفاده قرار گیرد، خطاهای اندازه بازیابی شده ناخالصی یا خرابی تخمین زده شده است.

واژه‌های کلیدی: ***نانو خرابی؛ نانو ترک؛ ارزیابی غیر مخرب؛ سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق؛***

مقدمه

مفهوم مسائل وارون پراکندگی یک پایه اساسی برای طیف گسترده‌ای از کاربردها نظیر آزمایش‌های غیر مخرب مواد، تصویربرداری‌های پزشکی و شناسایی خواص مواد می‌باشد. اخیراً یک مطالعه بر روی کاربردهای مسائل وارون برای علوم مختلف کاربردی در مقاله مروری [۱] انجام شده است. در دهه‌های گذشته، زمینه تئوری پراکندگی وارون به یک زمینه تخصصی در ریاضیات کاربردی تبدیل شده است. هدف اصلی تحقیقات در این زمینه بازیابی موانع، ترکها یا حفره‌های محصور در مواد از اندازه‌گیری میدان‌های پراکندگی نظیر میدان‌های صوتی، الکترومغناطیس یا الاستیک می‌باشد. در این تحقیق، مسئله پراکندگی وارون بازیابی ناخالصی‌ها و خرابی‌ها در ابعاد میکرو و نانو محصور در یک سازه بررسی شده است. از آنجا که خرابی در سازه های مهم صنعت برق نظیر سازه‌های نیروگاه‌های هسته‌ای، تجهیزات دوار نیروگاه‌های تولید برق مثل ژنراتورها و پره‌های انواع توربین‌ها و همچنین پره‌های توربین بادی میتواند نقش زیادی در ناپایداری شبکه برق و هدر رفت سرمایه‌های ملی در این زمینه باشد، ارزیابی این خرابی‌ها به ویژه در مراحل اولیه وقوع خرابی اهمیت بسیار بالایی دارد. از این جهت، تحقیقات در زمینه‌ی تشخیص زودهنگام وقوع ترک در ماده و یا تشخیص وجود ناخالصی ایجاد شده در آن تجهیز در هنگام ساخت اولیه بسیار کاربردی و حائز اهمیت می‌باشد.

یک نوع از مسائل پراکندگی وارون، بازیابی و تشخیص خرابی را وقتی بررسی می‌کند که میدان دور یک موج ورودی مشخص داده شده باشند،[۲]. در واقع، همانطور که در [۳] مطرح شده است، موج ورودی درون ماده ماتریس منتشر می‌گردد وتوسط خرابی پراکنده می‌شود. بنابراین این تفرق موج به یک میدان پراکندگی منجر می‌شود که حاوی اطلاعاتی در رابطه با آن خرابی نامعلوم می‌باشد و در فاصله دور از خرابی اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از این الگوی میدان دور، خرابی می‌تواند بازیابی شود. روش‌های عددی متعددی برای حل مسائل پراکندگی وارون به کار گرفته شده‌اند. اگرچه این روش‌ها در برخی کاربردها موفقیت آمیز هستند، ولی آنها از نظر حل عددی زمان‌بر هستند و متکی به اطلاعات زیادی در رابطه با ناخالصی هستند که در حالت کلی در دسترس نیستند. بنابراین اخیراً روش‌های جایگزینی توسعه داده شده است که در آن‌ها اطلاعات زیادی از مشخصات ماده نا خالصی نیاز نمی‌باشد. این روش‌ها در تئوری پراکندگی وارون تحت عنوان «روشهای توصیفی» یا «روشهای نمونه‌گیری» بیان می‌گردند [۴]. از مثال‌های این نوع روش‌ها می‌توان به روش نمونه‌گیری خطی اشاره کرد.

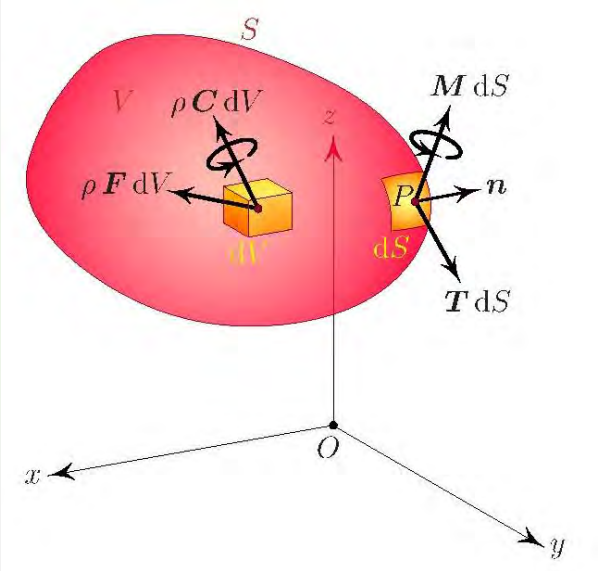
از طرفی تئوری الاستیسیته کلاسیک نمیتواند رفتار ماده در نزدیکی خرابی‌های در ابعاد میکرو و نانو را به خوبی پیشبینی کند. به عنوان مثال، مقدار ماکزیمم ضریب تمرکز تنش در اطراف حفره‌ای که درون صفحه‌ای تحت کشش محوری قرار گرفته است، همواره صرفه نظر از اندازه حفره مقدار ثابتی دارد، در صورتیکه این مقدار در عمل با کاهش اندازه حفره تا مقیاس میکرو و نانو، تغییر می‌کند. همچنین برای نمونه‌هایی از مواد که در مقیاس کوچک باشند، به طور عملی اثبات شده است که خصوصیات مکانیکی آنها می‌تواند بسیار متفاوت از خصوصیات مکانیکی همان ماده در مقیاس بزرگ باشد، در صورتیکه در تئوری کلاسیک الاستیسیته خصوصیات یک نمونه از ماده مستقل از اندازه نمونه است. این مسئله را می‌توان با در نظرگرفتن تئوری‌های مرتبه بالاتر محیط پیوسته مناسب اصلاح نمود. در تئوری‌های غیر کلاسیک، حداقل یک طول مشخصه ذاتی که شامل اطلاعات طبیعت گسسته ماده مورد بررسی می‌باشد، وارد فرمولاسیون می‌گردد. یکی از مهمترین پیامدهای در نظر گرفتن این طول‌های مشخصه، توانایی تئوری‌های مرتبه بالاتر محیط پیوسته در لحاظ کردن «اثر اندازه» در مسائل مرتبط با مقیاس نانو می‌باشد.

از طرف دیگر، در مسائل الاستودینامیک ممکن است طول موج موج منتشر شده قابل مقایسه با طول مشخصه ماده مورد نظر باشد. پراکنش موج مشاهده شده در مطالعات آزمایشگاهی که برای امواج با فرکانس بالا و طول موج کوتاه رخ می‌دهد نشان‌دهنده طبیعت ناهمگن و گسسته این مواد می‌باشد. یک ماده که در مقیاس بزرگ به صورت همگن می‌باشد، ممکن است در تئوری‌های مکانیک محیط پیوسته مرتبه بالاتر دارای ساختار ناهمگن در نظر گرفته شود، درحالیکه همان ماده در تئوری کلاسیک الاستیسیته بدون توجه به طول موج به صورت همگن فرض گردد و انتشار موج برای هر فرکانسی در این ماده رفتار غیر پراکنشی دارد.

از آنجا که طبق مطالب گفته شده، تئوری کلاسیک الاستیسیته در توصیف رفتار مواد در مقیاس‌های میکرو و نانو و همچنین در توصیف رفتار موج با فرکانس‌های بالا دارای ضعف است، بنابر این در این تحقیق که اندازه خرابی های تجهیزات و سازه‌ها در حدود میکرو و یا نانو فرض شده است و همچنین فرکانس موج مورد استفاده برای ارزیابی غیرمخرب نیز بالا لحاظ شده است به طوریکه طول موج‌های منتشر شده در ماده در مقیاس میکرو و نانو باشد و به این ترتیب مسأله مطرح شده در چاچوب یکی از تئوری‌های مرتبه بالاتر محیط پیوسته به نام تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق هدف این است که اندازه و موقعیت خرابی در مقیاس میکرو و نانو را بتوانیم با بررسی امواج پراکنده شده از ماده مورد بررسی بازیابی کنیم. در ابتدا فرمولاسیون مرتبط با مکانیک محیط پیوسته مراتب بالاتر ارائه می‌شود و در ادامه روش نمونه‌گیری خطی توضیح داده می‌شود و در نهایت نتایج عددی مربوط به مسأله وارون پراکندگی، اندازه و موقعیت یک نمونه ناخالصی با ابعاد نانو با به کارگیری این روش بازیابی شده است.

فرمولاسیون مرتبط با تئوری مراتب بالای محیط پیوسته

در این قسمت، به طور خلاصه فرمولاسیون مرتبط با تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی ارائه شده است. فرض می‌کنیم که V و S که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند به ترتیب نشان دهنده حجم و سطح یک بخش دلخواه از یک ماده باشد.



شکل ۱: دیاگرام جسم آزاد یک المان دلخواه

در تئوری تنش کوپل، میکرو چرخش و ماکرو چرخش با هم برابر می‌باشند و از کرل میدان جابجایی $\mathbf{u}(\mathbf{r},t)$ به صورت رابطه زیر به دست می‌آیند:

$$\phi = \frac{1}{2}\nabla \times \mathbf{u}, \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، $\nabla \equiv \partial / \partial \mathbf{r}$ عملگر گرادیان، $\mathbf{r}$ موقعیت نقطه ماده و t متغیر زمان می‌باشد. در دیاگرامی که در شکل ۱ نشان داده شده است، المان سطح dS در نقطه P روی سطح S با بردار خروجی عمود بر سطح $\mathbf{n}$ در نظر می‌گیریم. روی هر سطح بردار ترکشن $\mathbf{T}$ و بردار ترکشن ممان $\mathbf{M}$ وجود دارد. فرض می‌کنیم که چگالی جرمی ماده برابر با ρ باشد و هر نقطه ماده تحت نیروی حجمی $\mathbf{F}$ و کوپل حجمی $\mathbf{C}$ باشد. همچنین معادلات تعادل نیروها و تعادل ممان‌ها به ترتیب به صورت روابط زیر نشان داده می‌شوند، [۵]:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_V \dot{\mathbf{u}}\rho\,\mathrm{d}V = \int_S \mathbf{T}\,\mathrm{d}S + \int_V \mathbf{F}\rho\,\mathrm{d}V, \tag{۲}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int_V \left\{\rho\mathbf{r}\times\dot{\mathbf{u}} + \frac{1}{2}(\nabla\times\dot{\mathbf{u}})\cdot\mathbf{J}\right\}\mathrm{d}V = \int_S (\mathbf{r}\times\mathbf{T}+\mathbf{M})\,\mathrm{d}S + \int_V (\mathbf{r}\times\mathbf{F}+\mathbf{C})\rho\,\mathrm{d}V, \tag{۳}$$

در این روابط $\dot{\mathbf{u}} = \mathrm{d}\mathbf{r}/\mathrm{d}t$است و U انرژی داخلی بر واحد حجم است. همچنین $\mathbf{J}$تانسور ممان اینرسی بر واحد حجم می‌باشد. تانسور تنش σو تانسور تنش کوپل μبه صورت روابط زیر تعریف می‌شوند (شکل ۲):

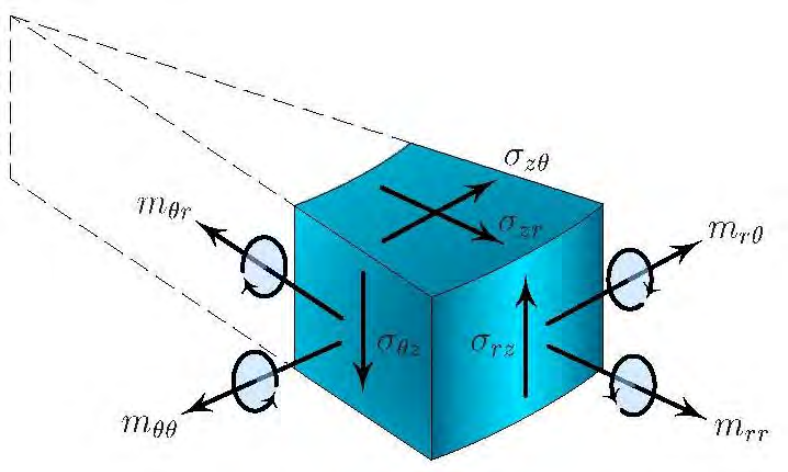
$$\mathbf{T} = \mathbf{n}\cdot\sigma, \tag{۴}$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{n}\cdot\mu \tag{۵}$$

با استفاده از روابط گفته شده، معادله حرکت حاکم به صورت رابطه زیر می‌شود:

$$[1-l_s^2\nabla^2]\nabla^2\mathbf{u} + \left[\frac{1}{1-2\nu}+l_s^2\nabla^2\right]\nabla\nabla\cdot\mathbf{u} + \frac{\rho}{G}\left\{\frac{1}{2}\nabla\times\mathbf{C}+\mathbf{F}\right\} = \frac{\rho}{G}\left\{\left[1-\frac{1}{24}l_d^2\nabla^2\right]\ddot{\mathbf{u}} + \frac{1}{24}l_d^2\nabla\nabla\cdot\ddot{\mathbf{u}}\right\}, \tag{۶}$$

در این معادلات، $\nu = \lambda/(2\lambda+2G)$ ضریب پواسون ماده است. در تئوری حاضر، دو طول مشخصه $l_s = \sqrt{\eta/G}$و $l_d = \sqrt{6j/\rho}$ که در این تحقیق به ترتیب تحت عنوان طول مشخصه استاتیکی و طول مشخصه دینامیکی اسم‌گذاری شده‌اند، وارد فرمولاسیون می‌شوند.



شکل ۲: مولفه‌های غیر صفر تانسور تنش و تانسور تنش کوپل بر روی المان مختصات استوانه‌ای

روش نمونه‌گیری خطی در ارزیابی غیر مخرب

در روش نمونه‌گیری خطی، با حل یک سیستم که فقط بر داده‌های الگوی میدان دور امواج ورودی داده شده وابسته است، هر نقطه از دامنه نمونه‌گیری کنترل می‌شود که آیا این نقطه متعلق به ناخالصی و خرابی است یا نه. روش نمونه‌گیری خطی برای اولین بار برای مسائل پراکندگی وارون دو بعدی معرفی گردید. این روش به صورت دقیق در [۶] ارائه شده است. روش نمونه‌گیری خطی در تحقیقات انجام شده برای حل پراکندگی امواج صوتی و الکترومغناطیس وارون در تحقیقات بسیاری از جمله [۲-۴ و ۶-۸] به کار رفته است.

عملکرد روش نمونه‌گیری خطی

هدف این قسمت، بازیابی اندازه و موقعیت یک نانو ناخالصی یا نانو ترک (خرابی) محصور در یک سازه با استفاده از داده‌های میدان دور موج پراکنده شده با فرکانس بالا می‌باشد. همانطور که می‌دانیم و پیشتر نیز به آن تاکید شده است، تئوری کلاسیک الاستیسیته برای توصیف پدیده‌های مکانیکی در مقیاس‌های میکرو و نانو دقیق نمی‌باشد و دارای ضعف‌های بسیاری است، همچنین قادر به توصیف اثر اندازه ناخالصی‌ها و خرابی‌ها در مقیاس‌های میکرو و نانو نمی‌باشد. همانطور که در بخش‌های پیشین اشاره شده است، پیش‌بینی غیرواقعی غیرپراکنشی بودن موج در فرکانس‌های بالا از دیگر ضعف‌های تئوری کلاسیک الاستیسیته می‌باشد. تئوری‌های مراتب بالاتر محیط پیوسته از جمله تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی بر این مشکلات تئوری کلاسیک در مقیاس‌های کوچک فایق آمده است. بنابر این، در مسأله وارون انتشار موج حاضر، بازیابی اندازه و محل میکرو/نانو خرابی محصور با استفاده از این روش حل برای مسائل وارون در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی، بررسی شده است.

در حل مسائل وارون انتشار امواج، از نظر عملی داشتن اطلاعات اولیه از خصوصیات مکانیکی ناخالصی و خرابی از جمله شرایط مرزی آن، غیر واقعی می‌باشد. در حقیقت، برای دانستن شرایط مرزی بین ناخالصی و ماتریس باید بدانیم که ناخالصی از جنس ماده الاستیک و یا صلب می‌باشد. بنابر این بسیار اهمیت دارد که روشی که برای حل مسائل وارون به کار می‌بریم وابسته به دانستن خصوصیات مکانیکی ماده ناخالصی و یا خرابی نباشد. به همین دلیل، در تحقیق حاضر از روش نمونه گیری خطی که مزایای گفته شده را دارد برای بازیابی خرابی استفاده شده است. در این روش از داده‌های میدان دور موج برشی برون صفحه‌ای با فرکانس بالا برای بازیابی نانو خرابی استفاده می‌شود.

این روش بر پایه انتخاب یک تابع شاخص می‌باشد که بر روی سازه تعریف می‌شوند و با توجه به مقادیر این تابع شاخص در نقاط محیط می‌توان قضاوت کرد که آیا آن نقطه داخل ناخالصی و خرابی و یا بیرون آن قرار گرفته است و به این ترتیب نانو خرابی بازیابی می‌شود.

فرمولاسیون روش نمونه‌گیری خطی

روش نمونه‌گیری خطی بر پایه حل معادله انتگرالی خطی زیر می‌باشد:

$$(F g_z)(\theta) = \int_{\Omega} w_v^{\infty}(\theta,\varphi) g_z(\varphi)\mathrm{ds}(\varphi) = \Phi^{\infty}(\theta,\mathbf{z}), \qquad (۷)$$

معادله (۷)، معادله میدان دور نامیده می‌شود. هدف از حل این معادله به دست آوردن مقادیر تابع $g_z \in L^2(\Omega)$ برای تمامی نقاط روی صفحه ($\mathbf{z} \in R^2$) می‌باشد. در این معادله Ω دایره‌ای به شعاع واحد می‌باشد. همچنین، θ و φ حول Ω تغییر کرده و به ترتیب معرف زاویه موج خروجی و زاویه موج ورودی می‌باشند. در معادله (۷)، عملگر $F : L^2(\Omega) \to L^2(\Omega)$، عملگر میدان دور نامیده می‌شود. همچنین، در سمت راست این معادله، $\Phi^{\infty}(\theta,\mathbf{z})$ الگوی میدان دور مربوط به منبع نقطه‌ای $\Phi(\mathbf{x},\mathbf{z})$ است. منبع نقطه ای در تئوری تنش کوپل به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\Phi(\mathbf{x},\mathbf{z}) = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(k_1 |\mathbf{x}-\mathbf{z}|), \qquad (۸)$$

در نتیجه، میدان دور متناظر با این منبع نقطه‌ای به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Phi^{\infty}(\theta,\mathbf{z}) = \frac{e^{\frac{i\pi}{4}}}{\sqrt{8\pi k_1}} e^{-ik_1 r_z \cos(\theta-\theta_z)}, \qquad (۹)$$

در روابط (۸) و (۹)، مختصات قطبی متناظر با نقطه $\mathbf{z}$ را به صورت (r_z,θ_z) نشان می‌دهیم.

روش بازیابی ناخالصی در روش نمونه‌گیری خطی به این صورت است که در این روش، برای تمامی نقاط $\mathbf{z}$ درون فضا تابع شاخصی محاسبه می‌شود و مقدار این تابع وقتی که نقطه $\mathbf{z}$ از داخل به سمت مرز نانو خرابی می‌رود بینهایت می‌شود. در روش نمونه گیری خطی، تابع شاخص v_g به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$v_g(\mathbf{z}) = \int_0^{2\pi} e^{ik_1 r_z \cos(\theta_z-\varphi)} g_z(\varphi)\mathrm{d}\varphi \qquad (۱۰)$$

در تحقیق حاضر، $\Gamma(\mathbf{z})$ که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Gamma(\mathbf{z}) = \frac{1}{|v_g(\mathbf{z})|} \qquad (۱۱)$$

به عنوان تابع شاخص روش نمونه‌گیری خطی برای بازیابی خرابی به کار برده شده است.

در ادامه نشان داده می‌شود که روش نمونه‌گیری خطی در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی می‌تواند برای بازیابی اندازه و محل یک میکرو/نانو ناخالصی و خرابی محصور در یک محیط مورد استفاده قرار بگیرد. برای به کار گیری روش نمونه‌گیری خطی از معادله انتگرالی (۷) استفاده می‌کنیم.

در ابتدا این معادله انتگرالی را به طور مناسب مجزا می‌کنیم. از این طریق سیستم معادلاتی برای g_z حاصل می‌شود. سیستم معادلات به دست آمده بد رفتار می‌باشد. بنابر این برای حل آن لازم است از روش های منظم سازی استفاده شود. در این تحقیق برای حل این سیستم معادلات بد رفتار در برنامه‌های نوشته شده در Mathematica از روش منظم سازی تیخونوف استفاده شده است.

در روش نمونه گیری خطی، به منظور اینکه اندازه ناخالصی بیشتر و یا کمتر از اندازه واقعی آن تخمین زده نشود لازم است که عدد موج k_1 را به صورت دقیق داشته باشیم. اگر مقدار دقیق k_1 با مقدار $\tilde{k}_1$ جایگزین شود، همگرایی سری (۱۱) معادل با سری زیر می‌شود:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2}\right)\left[\frac{\tilde{k}_1 r_z}{k_1 a}\right]^{2n} \qquad (۱۲)$$

در نتیجه سری (۱۱) فقط در حالت زیر همگرا می‌شود:

$$r_z < \frac{k_1 a}{\tilde{k}_1} \qquad (۱۳)$$

که به این ترتیب، خطایی معادل با $\left(\frac{k_1}{\tilde{k}_1}\right)-1$ وارد اندازه بازیابی شده می‌شود. بنابر این اگر در روابط، عدد موج کلاسیک $k_0 = \omega/c_0$ به جای عدد موج تنش کوپل k_1 استفاده شود، در صد خطایی معادل با $100\left(\frac{k_1}{k_0}-1\right)$ وارد اندازه بازیابی شده می‌شود و به این ترتیب، اندازه نانو خرابی محصور در مواد با خاصیت پراکنشی مثبت

کمتر از اندازه واقعی و اندازه نانو خرابی محصور در مواد با خاصیت پراکنشی منفی بیشتر از اندازه واقعی تخمین زده می‌شود.

نتایج عددی

در این بخش دو مسئله متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یک مسئله در ارتباط با بازیابی اندازه و موقعیت ناخالصی الاستیک در ابعاد میکرو و نانو و دیگری در ارتباط با ناخالصی صلب در ابعاد میکرو و نانو می‌باشد.

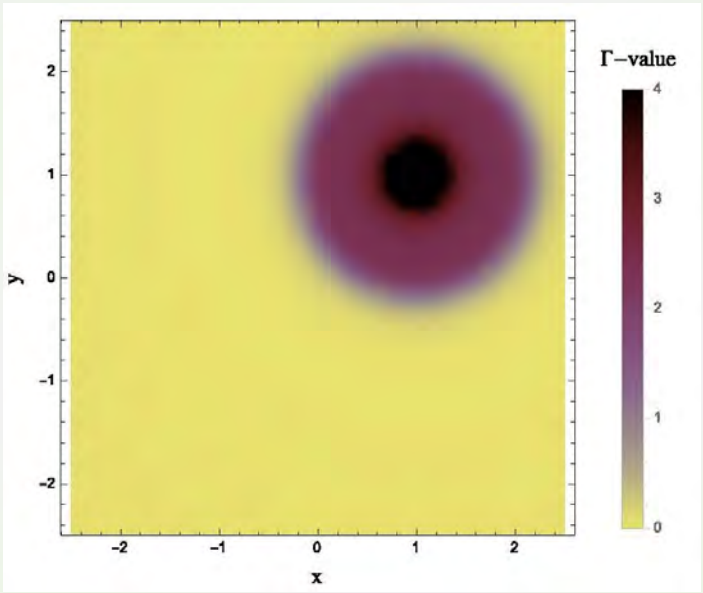
در محاسبه الگوی میدان دور با استفاده از مسئله مستقیم، فرض شده است که مرکز ناخالصی دایروی در نقطه $\left(\sqrt{2},\pi/4\right)$ یا به طور معادل در $(x=1,y=1)$ واقع شده است. فرکانس بدون بعد موج ورودی برابر $\omega l_s/c_0=10$ می‌باشد. به علاوه فرض شده است که طول مشخصه دینامیکی بی بعد شده برابر $\beta=0.5$ باشد.

بازیابی نانو خرابی الاستیک یا صلب در سازه

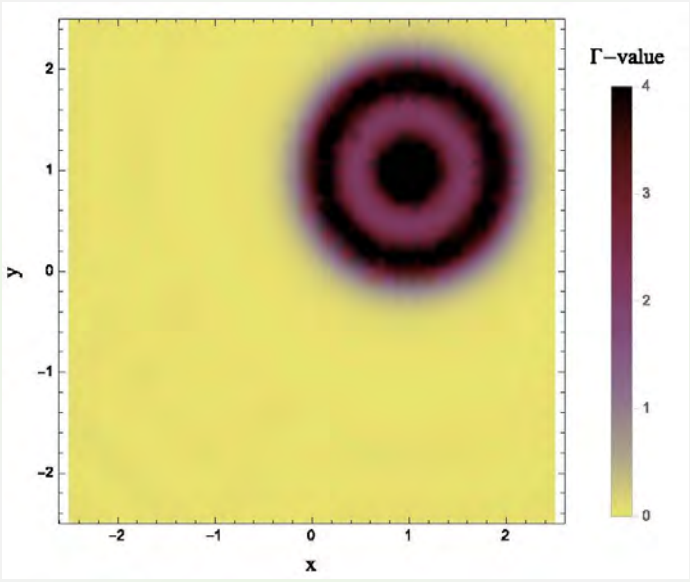
در این مسئله پراکندگی وارون با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی، الگوی میدان دور و عدد موج به دست آمده از حل مسائل مستقیم پراکندگی در معادله انتگرالی وارد شده‌اند و با حل آن بازیابی نانو خرابی مورد نظر انجام گرفته‌است.

روش حل عددی این معادله انتگرالی شامل حل یک سری معادلات بدرفتار برای تابع g_z می‌باشد که در کدهای نوشته شده در برنامه MATHEMATICA با استفاده از روش منظم‌سازی تیخونوف حل شده است.

هنگامی که g_z به دست آمد، تابع شاخص Γ محاسبه می‌گردد. مقادیر این تابع برای دو حالت ناخالصی الاستیک و صلب در فضای $\Re^2$ در بازه $-2.5<x,y<2.5$ به ترتیب در شکل ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: مقادیر تابع شاخص Γ به منظورا بازیابی اندازه و موقعیت ناخالصی با جنس الاستیک در ابعاد میکرو و نانو با شعاع ۱ ($l_s / a = 1$) واقع شده در نقطه $\left(\sqrt{2}, \pi / 4\right)$. مشخص است که مقدار Γ در بیرون از نقاط بازیابی شده مورد نظر به سمت صفر میل می‌کند.



شکل ۴: مقادیر تابع شاخص Γ به منظورا بازیابی اندازه و موقعیت ناخالصی با جنس صلب در ابعاد میکرو و نانو با شعاع ۱ ($l_s / a = 1$) واقع شده در نقطه $\left(\sqrt{2}, \pi / 4\right)$. مشخص است که مقدار Γ در بیرون از نقاط بازیابی شده مورد نظر به سمت صفر میل می‌کند.

مشاهده می‌گردد که مقدار تابع شاخص در بیرون ناخالصی به سمت صفر میل می‌کند. بنابراین با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی، اندازه و موقعیت ناخالصی را می‌توان بازیابی نمود.

بازیابی اندازه نانو خرابی در سازه

یک ناخالصی الاستیک محصور شده را در نظر بگیرید که مرکز آن در مبدا مختصات قرار گرفته است. هدف از این بخش، آن است که اندازه ناخالصی دایروی الاستیک در مقیاس میکرو و نانو با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی به دست آید. دو حالت زیر مورد بررسی واقع شده‌اند.:

- ماتریس از جنس ماده "پراکنش–مثبت" با $\beta = 0.61$ ($l_d / l_s = 3$) و
- ماتریس از جنس ماده "پراکنش–منفی" با $\beta = 1.43$ ($l_d / l_s = 7$)

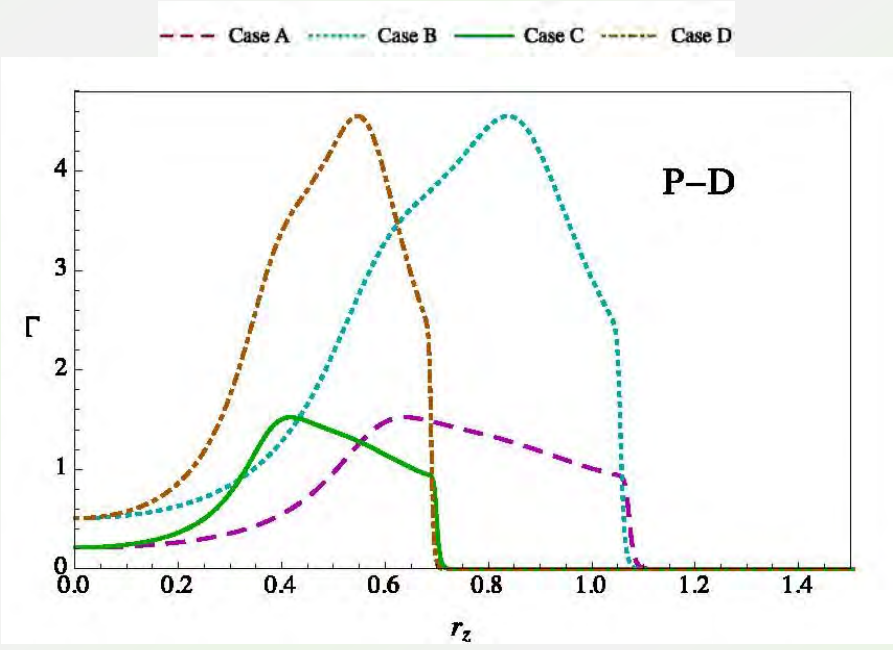
مثال‌های پراکندگی وارون در نظر گرفته شده در این بخش نشان می‌دهد که استفاده از عدد موج محاسبه شده در تئوری الاستیسیته کلاسیک، k_0 به جای عدد موج تئوری تنش کوپل، k_1 به خطای قابل توجهی در اندازه بازیابی شده منجر می‌گردد.

تغییرات تابع شاخص Γ بر حسب r_z برای بازیابی اندازه بر اساس روش نمونه‌گیری خطی به ترتیب در شکل ۵ (الف) و (ب) برای ماتریس از جنس مواد "پراکنش–مثبت" و "پراکنش–منفی" نشان داده شده است.

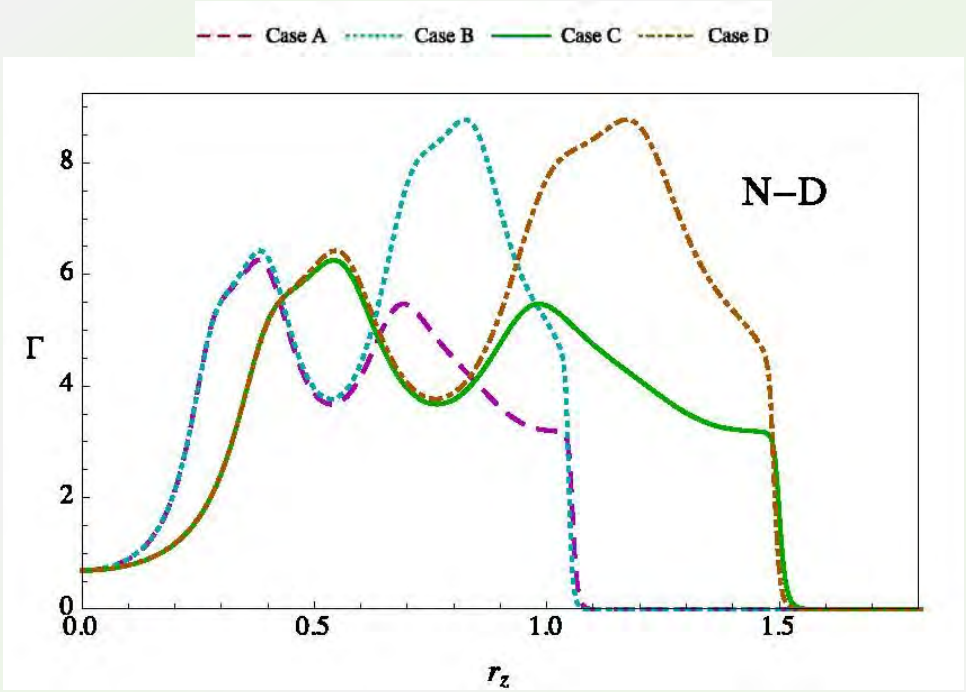
در ارزیابی‌های غیر مخرب، برای آنکه ناخالصی قابل ردیابی باشد، اندازه آن می‌بایست بزرگتر از نصف طول موج، موج ورودی باشد. به عنوان مثال، برای تشخیص ناخالصی محصور با سطح مقطع در حدود $a = 100\,nm$، لازم است که طول موج موج ورودی کوچکتر از $200\,nm$ باشد که این بدان معناست که لازم است فرکانس آن موج بزرگتر از $\omega = 30 \times 10^6\, c_0\, Hz$ باشد. بدیهی است که تئوری الاستیسیته کلاسیک در توصیف پراکنش بررسی انتشار موج در یک ماده با ساختار میکرو و نانو در چنین فرکانس بالایی دقت لازم را ندارد. در حالی‌که در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی، پدیده پراکنش موج با فرکانس بالا قابل توصیف می‌باشد.

در شکل ۵ (الف) و (ب) حالت‌های case A و case B به ترتیب مربوط به فرکانس بدون بعد موج ورودی $\omega l_s / c_0 = 5$ و 8می‌باشند. در case A برای ، دو حالت $\omega l_s / c_0 = 5$ برای مواد "پراکنش- مثبت"

با $\beta=0.61$ (شکل ۵ (الف)) و $k_1 l_s=7.12$ برای مواد "پراکنش- منفی" با $\beta=1.43$ (شکل ۵ (ب)) بررسی شده است. همچنین، در case B برای $\omega l_s / c_0=8$، دو حالت $k_1 l_s=5.05$ برای مواد "پراکنش-مثبت" با $\beta=0.61$ (شکل ۲۸ (الف)) و $k_1 l_s=11.41$ برای مواد "پراکنش- منفی" با $\beta=1.43$ (شکل ۲۸ (ب)) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که عدد موج بدون بعد $k_1 l_s$ مرتبط با حالت‌های case A و case B با استفاده از تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی محاسبه شده‌اند. اما در مسائل پراکندگی وارون مرتبط با حالت‌های case C و case D ، که به ترتیب به $\omega l_s / c_0=5$ و 8 مرتبط است، عدد موج بی بعد $k_0 l_s$ با استفاده از تئوری الاستیسیته کلاسیک به دست آمده است. بنابراین، برای حالت‌های case C و case D، $k_0 l_s=5$ و 8استفاده شده است. حالت‌های case A و case B در شکل ۵ (الف) و (ب) نشان دهنده آن است که روش نمونه‌گیری خطی در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی، تخمین صحیحی از اندازه ناخالصی می‌زنند در صورتی که حالت‌های case C و case D تا ۵۰ درصد خطا دارند. با توجه به شکل ۵ (الف) و (ب) این نکته قابل ذکر است که هنگامی که عدد موج کلاسیک (مانند حالت‌های case C و case D) مورد استفاده قرار گیرد، جواب صحیح $r_z=1$ برای مواد "پراکنش-مثبت" کمتر از مقدار واقعی و برای مواد "پراکنش-منفی" بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۵- مقادیر تابع شاخص Γ به منظور بازیابی اندازه ناخالصی با جنس الاستیک با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی برای مواد (الف) "پراکنش-مثبت"، و (ب) "پراکنش-منفی"

نتیجه‌گیری

در این تحقیق بازیابی خرابی‌های در مقیاس میکرو نانو با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی در تئوری تنش کوپل به منظور ارزیابی غیرمخرب سازه‌ها و تجهیزات با اهمیت صنعت برق، انجام شد. در این تحقیق الگوی میدان دور امواج پراکنده شده با فرکانس بالا و عدد موج محاسبه شده در تئوری تنش کوپل با میکرو اینرسی چرخشی به عنوان داده ورودی برای بازیابی در مسئله پراکندگی وارون به کار رفته است. نشان داده شده است که با استفاده از روش نمونه‌گیری خطی، اندازه و موقعیت نانو خرابی به صورت منحصر به فرد به دست می‌آید. همچنین نشان داده شده است که در صورت عدم استفاده از تئوری‌های مراتب بالاتر محیط پیوسته، بازیابی این خرابی‌ها در سازه‌ها و تجهیزات می‌تواند به گونه‌ای باشد که خرابی را کوچکتر و یا بزرگتر از حد واقعی خود بازیابی کند. در واقع اهمیت به کارگیری این تئوری‌ها در مسائل مرتبط با مقیاس نانو را نشان می‌دهد.

منابع

[1] F. Yaman, V.G. Yakhno, and R. Potthast, “A Survey on Inverse Problems for Applied Sciences. Mathematical Problems in Engineering”, 2013.

[2] G. Pelekanos and V. Sevroglou, “Inverse scattering by penetrable objects in two-dimensional elastodynamics”, Journal of Computational and Applied Mathematics, vol. 151(1), pp. 129-140, 2003.

[3] F. Cakoni, D. Colton, and P. Monk,”The Linear Sampling Method in Inverse Electromagnetic Scattering: Society forIndustrial and Applied Mathematics”, 2011.

[4] F. Cakoni, D. Colton, “Qualitative Methods in Inverse Scattering Theory: An Introduction” Springer Berlin Heidelberg, 2005.

[5] H.M. Shodja, A. Goodarzi, M.R. Delfani and H. Haftbaradaran, “Scattering of an anti-plane shear wave by an embedded cylindrical micro-/nano-fiber within couple stress theory with micro inertia” International Journal of Solids and Structures, Vol. 58, pp. 73-90, 2015.

[6] C. David, P. Michele and P. Roland,”A simple method using Morozov's discrepancy principle for solving inverse scattering problems.”, Inverse Problems, vol. 13(6), 1997.

[7] C. Francis, F. M’Barek, F., and H. Houssem, “Numerical and analytical studies of the linear sampling method in electromagnetic inverse scattering problems”, Inverse Problems, vol. 19(6) 2003.

[8] K. Andreas, “Characterization of the shape of a scattering obstacle using the spectral data of the far field operator”, Inverse Problems, vol. 14(6), 1998.

فعالیت‌های گروه سازه‌های صنعت برق در

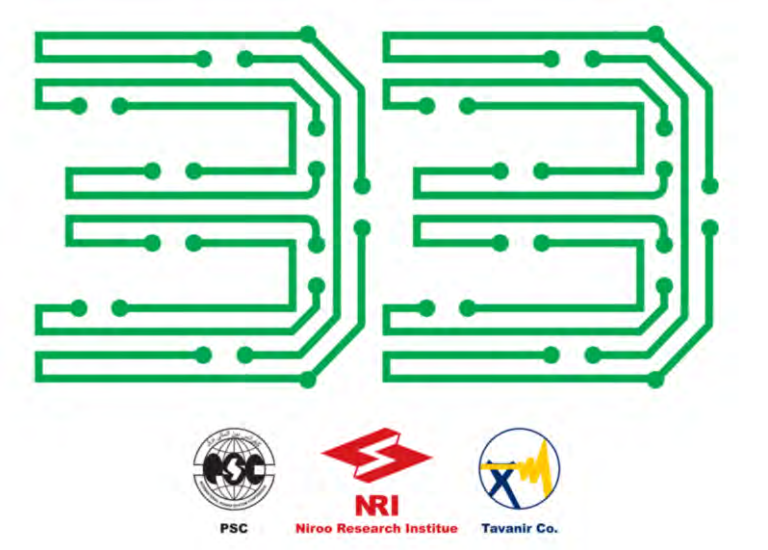
سی و سومین کنفرانس بین المللی برق

و

ششمین کنفرانس ملی فناوری نانو در صنعت برق

۳۰ مهر ماه لغایت ۲ آبان ماه سال ۱۳۹۷

تهیه کننده: آزاده گودرزی



مقدمه

سی و سومین کنفرانس بین المللی برق همزمان با ششمین دوره کنفرانس فناوری نانو در صنعت برق و انرژی در تاریخ ۳۰ مهر ماه لغایت ۲ آبان ماه سال ۱۳۹۷ در پژوهشگاه نیرو برگزار گردید.

کنفرانس بین‌المللی برق با بیش از سی و سه سال قدمت، جایگاه ویژه‌ای در بین کنفرانس‌های معتبر داخلی و خارجی دارد. بنیانگذار کنفرانس بین‌المللی برق شرکت توانیر است که همچنان برگزاری مستمر کنفرانس را برعهده دارد. کنفرانس فناوری نانو در صنعت برق و انرژی به همت مرکز توسعه فناوری نانوی پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۹۲ با هدف معرفی و گسترش این فناوری نوین در صنعت برق کشور آغاز به فعالیت نمود. این کنفرانس طی پنج دوره فعالیت، به عنوان گردهمایی بزرگ اساتید، متخصصان، فناوران و دانشجویان فعال در مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها، صنایع و شرکت‌های دانش بنیان فرصت بسیار مناسبی را جهت ارائه آخرین تحقیقات، دستاوردها و محصولات با محوریت نانو فناوری مورد استفاده در صنعت برق فراهم آورده است.

نمایشگاه جانبی

در سی و سومین کنفرانس بین المللی برق و ششمین دوره کنفرانس فناوری نانو در صنعت برق و انرژی به منظور معرفی توان فنی، تخصصی و تولیدی سازمان‌ها و شرکت‌های داخلی و خارجی در زمینه صنعت برق، نمایشگاه جانبی کنفرانس با حضور تعداد کثیری از شرکت‌ها و مؤسسات برپا گردید.

در نمایشگاه مربوط به کنفرانس بین المللی برق، برای اولین بار غرفه‌ای مستقل برای نمایش دستاوردهای پژوهشی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق اختصاص داده شد. غرفه‌های نمایشگاه در روزهای برگزاری کنفرانس از ساعت ۸ صبح لغایت ۴ عصر برپا بود و تقریبا تمامی اعضای محترم گروه اعم از مدیر محترم گروه جناب آقای دکتر جانعلیزاده، معاون محترم گروه آقای مهندس ذکاوتی، اعضای محترم هیات علمی آقایان دکتر جعفری و دکتر اکبری، کارشناسان تمام وقت پژوهشی خانم دکتر گودرزی و آقای مهندس رضازاده و کارشناسان پاره وقت پژوهشی خانم‌ها مهندس سفری، مهندس محمدی، مهندس مختاری، مهندس حیدری و آقای مهندس جهانشاهی حضوری پرشور و هماهنگ در غرفه به منظور ارائه توضیحات به بازدیدکنندگان از نمایشگاه داشتند.

در برپایی نمایشگاه، مدیر محترم گروه سازه‌های صنعت برق جناب آقای دکتر جانعلی زاده، علاوه بر برگزاری جلسات متعدد در گروه در هفته‌های قبل از شروع کنفرانس و ارائه مشاوره‌های کاربردی و راهنمایی‌های ارزنده در ارتباط با برپایی غرفه و ارائه دستاوردهای پژوهشی گروه، از نخستین ساعات افتتاحیه نمایشگاه در غرفه حضور مستمر داشتند و پیگیری‌های همه‌جانبه و راهبری ایشان در طی روزهای کنفرانس بسیار ارزشمند و قابل تقدیر بود.



در این نمایشگاه از آخرین دستاوردها و پروژه‌های گروه سازه‌های صنعت برق و همچنین فعالیت‌ها و محورهای تخصصی گروه استندی توسط جناب آقای مهندس ذکاوتی طراحی گردید که برای نمایش در غرفه ارائه شد. همچنین، دستاوردهای دو پروژه‌ی انجام شده درگروه با عناوین زیر به صورت بنر ارائه و به نمایش گذاشته شد.

معرفی گروه سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو

Niroo Research Institute NRI

Structural Research Group

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

معرفی گروه:

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق به عنوان تنها گروه تخصصی در زمینه سازه‌های مختلف با رویکرد سه‌گانه انتقال دانش فنی، اجرای دانش فنی و تحقیق و پژوهش در پژوهشگاه نیرو فعالیت می نماید. این گروه در تعامل با حوزه معاونت پژوهشی طرح اعتبار سالیانه تحقیقات اساتید دانشگاه «طرح استاد» را در قالب همکاری با دانشگاه‌ها و موسسات پژوهشی اجرا نموده است و در تعامل با معاونت‌های مختلف با انجام پروژه‌های بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای اقدام به انجام پروژه‌های تحقیقاتی متنوع نموده است.

محورهای تخصصی فعالیت های پژوهشی گروه سازه:

- برآورد مخاطرات و میزان خسارت شبکه برق ناشی از آسیب سازه‌های صنعت برق در برابر آن خطر
- تعیین ریسک قابل قبول سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات
- طراحی بهینه سازه‌های صنعت برق به ازای ریسک قابل قبول
- کنترل کیفیت و نظارت بر اجرای سازه‌های صنعت برق
- ارزیابی مقاومت و دوام سازه‌های صنعت برق در برابر خطرهای محتمل شبکه برق
- تعیین عمر باقیمانده سازه‌های صنعت برق به ازای ریسک قابل قبول شبکه برق
- مدیریت عمر سازه‌های صنعت برق جهت حفظ قابلیت اطمینان شبکه برق

خدمات آزمایشگاهی:



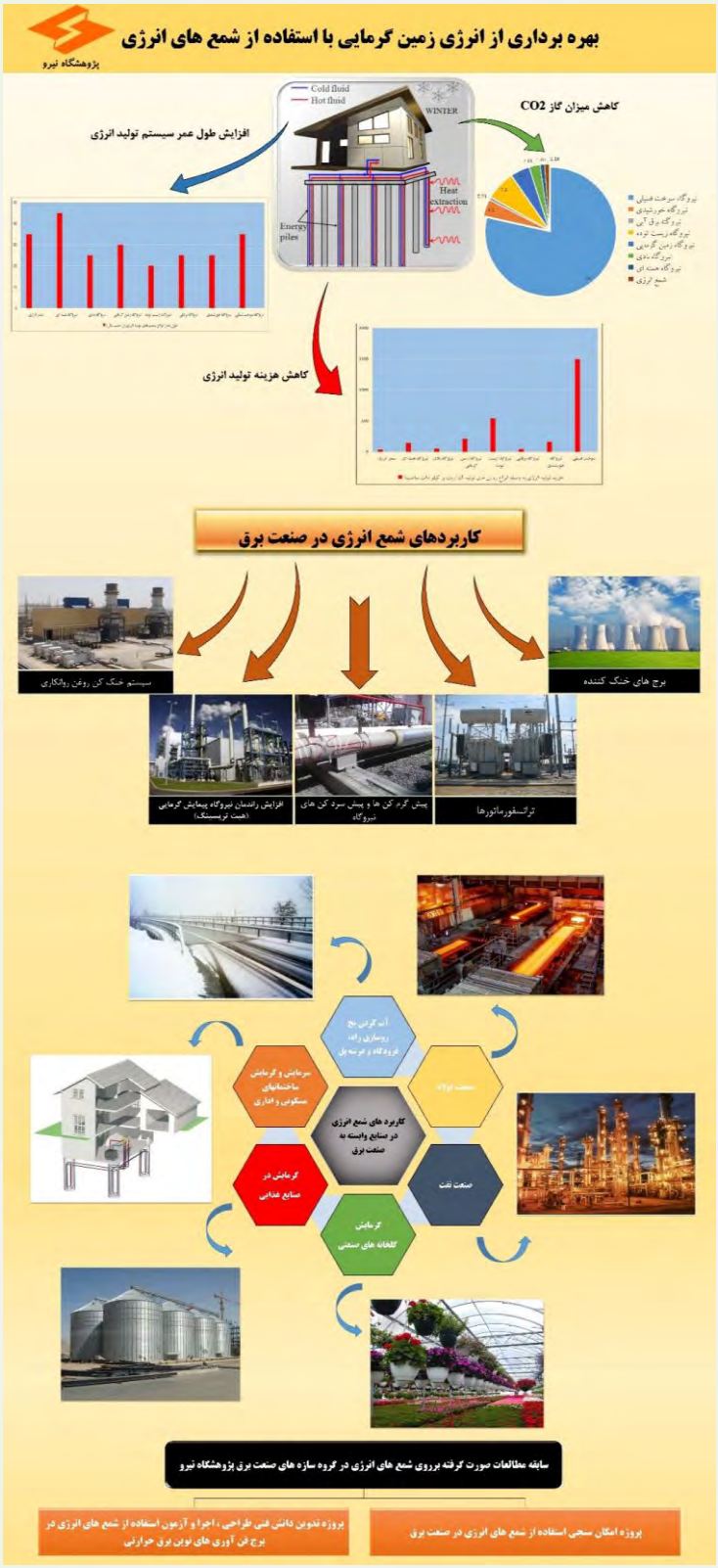
- آزمایشگاه مرجع سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو:
  بزرگترین و مجهزترین ایستگاه تست در خاورمیانه و ارائه دهنده خدمات آزمون نوعی و مصالح بر روی سازه‌های انتقال نیرو براساس استاندارد IEC60652-2002
- آزمایشگاه پایه‌های توزیع و روشنایی:
  انجام آزمون‌های نوعی و نمونه‌ای بر روی پایه‌های شبکه توزیع و المان‌های صنعت برق

فعالیت‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی:

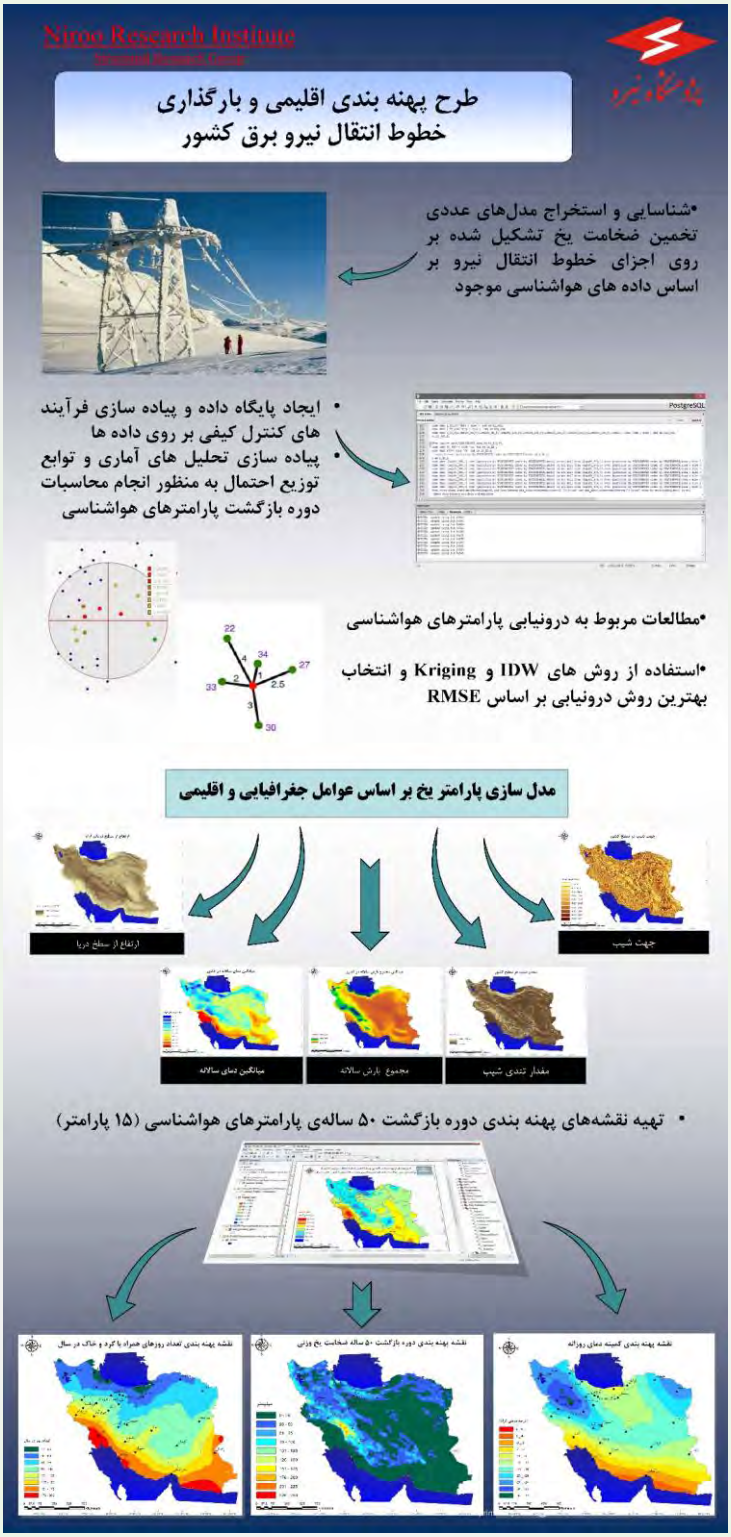


www.nri.ac.ir

استفاده از شمع‌های انرژی در صنعت برق (مدیر پروژه: آقای دکتر اکبری گرکانی)



طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور (مدیر پروژه: آقای مهندس رضازاده)



به منظور معرفی فعالیت‌های پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق، چندین بروشور از جمله بروشور معرفی گروه سازه‌های صنعت برق و بروشور پروژه‌های انجام شده یا در حال انجام در گروه با عناوین زیر به چاپ رسید و در اختیار بازدیدکنندگان محترم قرار گرفت.

معرفی گروه سازه‌های صنعت برق

گروه سازه های صنعت برق

◆ در صنعت برق سازه‌های متنوعی وجود دارد. سازه‌های نیروگاهی، سازه های موجود در پست های برق، سازه‌های خطوط انتقال و توزیع و ساختمانهای تاسیسات و اداری از آن جمله‌اند. گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق به عنوان تنها گروه تخصصی در زمینه سازه‌های مختلف، با رویکرد سه‌گانه انتقال دانش فنی، اجرای دانش فنی و تحقیق و پژوهش در پژوهشگاه نیرو فعالیت می‌نماید. موارد ذیل شرحی کوتاه بر فعالیت ها و توانمندی‌های گروه سازه‌های صنعت برق است.

◆ **محورهای تخصصی فعالیت های پژوهشی گروه سازه:**

گروه سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو در راستای توسعه صنعت برق و اجرای طرح های نوین مطابق با استانداردهای معتبر در موضوعات مرتبط با سازه خدمات تحقیقاتی ارائه می‌نماید. محورهای اصلی تخصصی فعالیت های گروه سازه به شرح ذیل است:

- برآورد مخاطرات و میزان خسارت شبکه برق ناشی از آسیب سازه های صنعت برق در برابر آن خطر
- تعیین ریسک قابل قبول سازه های صنعت برق در برابر مخاطرات
- طراحی بهینه سازه های صنعت برق به ازای ریسک قابل قبول
- کنترل کیفیت و نظارت بر اجرای سازه‌های صنعت برق
- ارزیابی مقاومت و دوام سازه های صنعت برق در برابر خطرهای محتمل شبکه برق
- تعیین عمر باقیمانده سازه های صنعت برق به ازای ریسک قابل قبول شبکه برق
- مدیریت عمر سازه های صنعت برق جهت حفظ قابلیت اطمینان شبکه برق

◆ **خدمات آزمایشگاهی:**



آزمایشگاه مرجع سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، بعنوان بزرگترین و مجهزترین ایستگاه تست در خاورمیانه ارائه دهنده خدمات آزمون نوعی و مصالح بر روی سازه های انتقال نیرو براساس استاندارد IEC60652-2002 می باشد. این مجموعه موفق به کسب گواهینامه بین المللی ISO/IEC17025:2005 از مرجع معتبر بین‌المللی آنالیتیکای روسیه گردیده و بعنوان یکی از آزمایشگاه های مورد تایید بین‌المللی فعالیت می کند و امکان تست کلیه برجها از جمله **برجهای انتقال نیرو و مخابراتی** را دارا می باشد. همچنین این گروه دارای آزمایشگاه مستقل و مجهز پایه های توزیع و روشنایی می باشد که با رویکرد انجام آزمون‌های نوعی و نمونه‌ای بر روی المان‌های صنعت برق فعالیت می نماید.

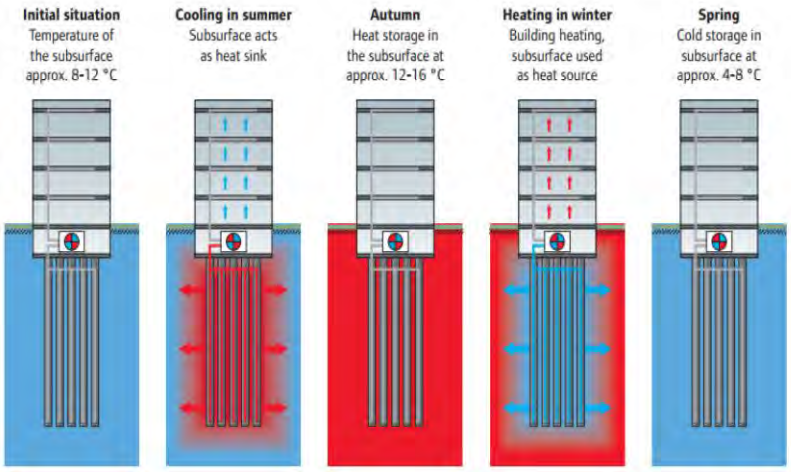
تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶

استفاده از شمع‌های انرژی در صنعت برق

استفاده از شمع‌های انرژی در صنعت برق

◆ شمع انرژی چیست ؟

شمع‌های انرژی در واقع همان شمع‌های سازه‌ای هستند که به عنوان فونداسیون در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند و با اضافه کردن یک سیستم تبادل حرارتی، علاوه بر عملکرد باربری به عنوان پی، می‌توانند جهت ایجاد سرمایش و گرمایش نیز مورد استفاده قرار گیرند.



◆ مزایای استفاده از شمع انرژی

- کاهش مصرف سوخت در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد
- کارآمدی بالا (COP حدود ۴)
- عدم نیاز به حفاری و قابلیت نصب و نگهداری آسان
- عمر مفید بیش از ۲۰۰ سال
- قابلیت گرم کردن و سرد کردن توامان یک سیستم
- کاهش احتمال آتش سوزی نسبت به سایر سیستم‌ها
- کاهش حدود ۵۰ درصد تولید گاز دی اکسید کربن
- دارا بودن ظرفیت حرارتی و رسانایی بالا

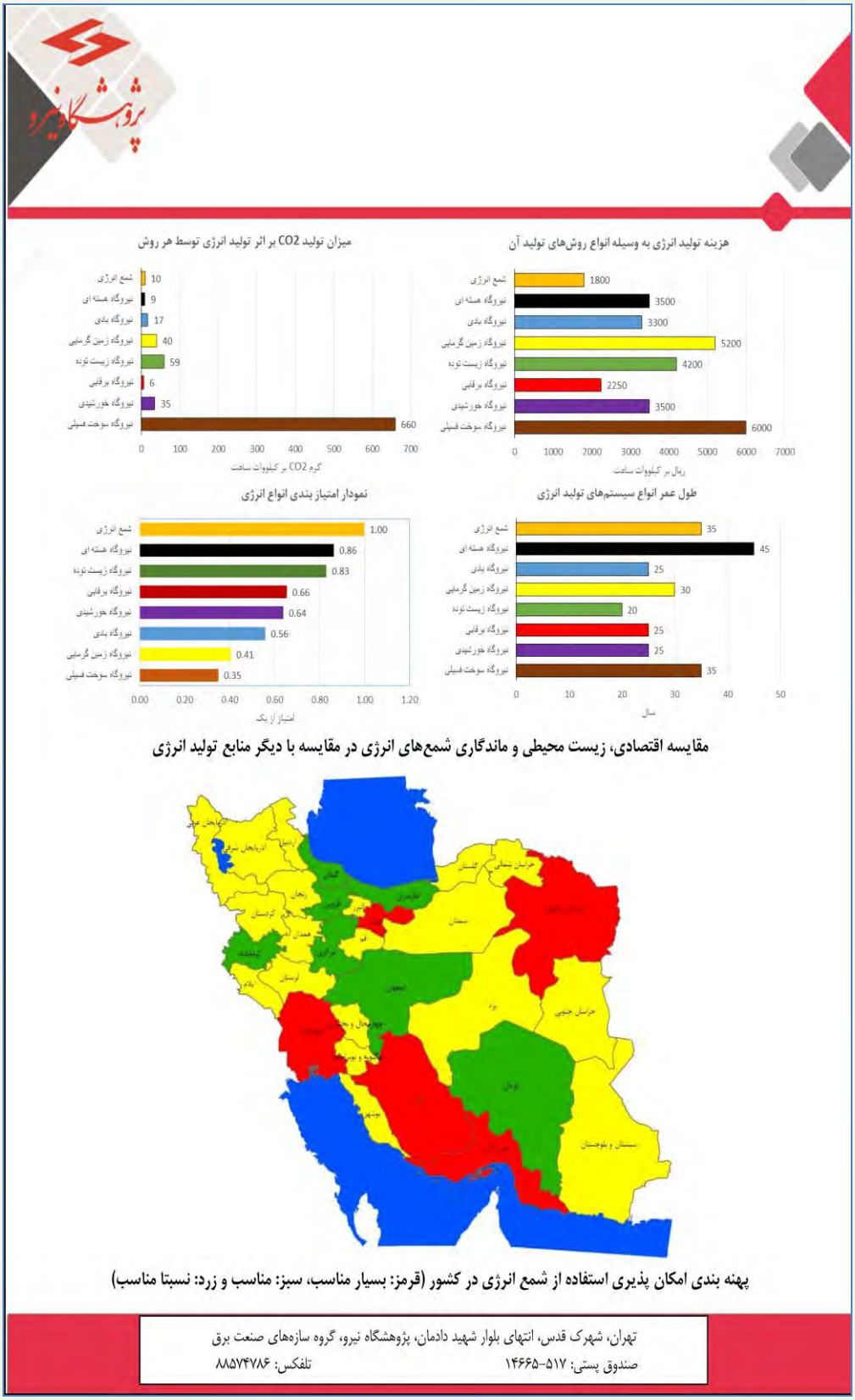
◆ کاربرد شمع انرژی در صنعت برق

- در برج‌های خنک‌کننده و ترانسفورماتورها
- در سیستم خنک‌کن روغن روانکاری نیروگاه گازی
- در نیروگاه‌های پیمایش گرمایی
- در پیش گرم کن‌ها و پیش سرد کن‌ها

◆ استفاده از شمع انرژی در صنایع وابسته به صنعت برق

- صنایع نفت و فولاد
- آب کردن یخ روسازی راه، فرودگاه و عرشه پل
- گرمایش در صنایع غذایی و گلخانه‌های صنعتی
- سیستم‌های سرمایش وگرمایش منازل و ساختمان اداری

تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶



مقایسه اقتصادی، زیست محیطی و ماندگاری شمع‌های انرژی در مقایسه با دیگر منابع تولید انرژی

پهنه بندی امکان پذیری استفاده از شمع انرژی در کشور (قرمز: بسیار مناسب، سبز: مناسب و زرد: نسبتا مناسب)

تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶

طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور

طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور

◆در دستورالعمل وزارت نیرو برای بارگذاری خطوط انتقال نیرو، کشور ایران به چهار منطقهٔ آب و هوایی تقسیم شده و برای هر یک از مناطق، مقادیر اسمی کمیت‌های بارگذاری ارائه شده است. بررسی این دستورالعمل و مراجع آن و همچنین تجربیات حاصل در پروژه بازبینی طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو برق منطقه‌ای مازندران، بیانگر این مطلب است که پهنه‌بندی مذکور و مقادیر اسمی مربوطه با آمار هواشناسی همخوانی ندارد.

◆با توجه به توسعه ایستگاه‌های هواشناسی در دهه‌های اخیر در کشور و دسترسی به داده‌های ایستگاه‌های مختلف امکان تحلیل این داده‌ها و پهنه‌بندی برای شرایط واقعی اقلیمی میسر است که این خود پایه‌ای برای پهنه‌بندی بارگذاری خطوط می‌باشد. با تحلیل داده‌های هواشناسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مهمترین دستاورد حاصل از آن امکان طراحی دکل‌های انتقال نیرو با رویکرد کاهش وزن و افزایش قابلیت اعتماد می‌باشد بگونه‌ای که در مواردی درخت بارگذاری حاصله از تحلیل داده‌های هواشناسی سبک‌تر از درخت بارگذاری موجود شده که باعث کاهش وزن دکل‌های مورد طراحی و سایر هزینه‌های ساخت و اجرا می‌گردد. از آن طرف چنانچه درخت بارگذاری سنگین‌تر از درخت بارگذاری موجود گردد، با بکارگیری آن در طراحی‌های جدید، قابلیت اعتماد خط افزایش می‌یابد.

◆ **فعالیت‌های انجام شده در قالب پروژه:**

- ❖ استخراج روابط مربوط به محاسبات ضخامت یخ بر اساس داده‌های هواشناسی کشور
- ❖ پیاده سازی مدل‌های عددی تخمین ضخامت یخ تشکیل شده بر روی اجزای خطوط انتقال نیرو
- ❖ استخراج توابع توزیع حاکم بر پارامترهای هواشناسی به منظور انجام محاسبات دوره بازگشت
- ❖ استخراج مقادیر پارامترهای جوی حدی در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از تحلیل‌های آماری
- ❖ پیاده سازی تحلیل آماری مقدار حدی و توابع توزیع احتمال مربوطه
- ❖ ایجاد پایگاه داده آماری مربوط به محاسبات ضخامت یخ
- ❖ طراحی و پیاده سازی قالب گزارش‌های مربوط به پارامترها و محاسبات آماری
- ❖ مطالعات مربوط به پهنه بندی پارامترهای هواشناسی و ضخامت یخ و انتخاب فرمت نقشه‌ها
- ❖ مطالعات مربوط به مدل‌سازی پارامتر ضخامت یخ با سایر عوامل جغرافیایی و اقلیمی



تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶



◆ شناسایی مدل‌های مناسب محاسبه ضخامت یخ:

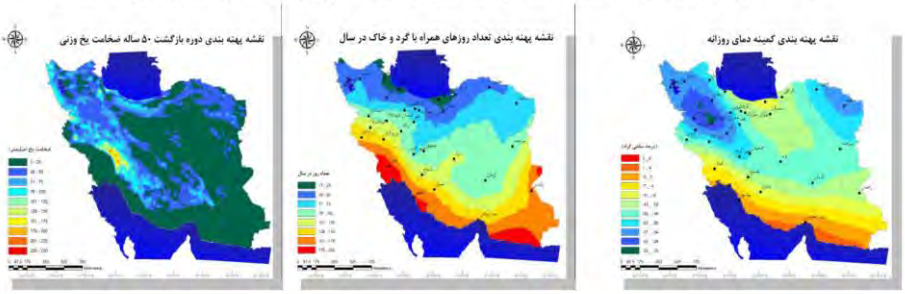
از مدل‌های موجود برای پیش‌بینی بار یخ، روش کریل، به دلیل همخوانی با بضاعت داده هواشناسی موجود انتخاب شده و دوره بازگشت ۵۰ ساله حداکثر قطر یخ ایجاد شده بر روی سیم بر اساس یک دوره آماری ۲۰ ساله برای تمامی ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری کامل (۱۰۷ ایستگاه هواشناسی) محاسبه شده و سپس نقشه درونیابی ضخامت یخ شعاعی و وزنی بر اساس روش درونیابی IDW برای کل کشور تهیه شده است. در مرحله نهایی عوارض زمینی و جغرافیایی به منظور افزایش تفکیک مکانی بر روی این نقشه‌های پهنه بندی اعمال شده و خروجی‌های نهایی با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۱ درجه ارائه گردیده است.

◆ یکی از مهمترین اهداف این پروژه بهبود روند محاسباتی پردازش‌های مربوط به نقشه‌های پهنه‌بندی بوده است. به این منظور پس از انجام مراحل مطالعاتی اقدامات زیر در جهت ارتقاء نقشه‌های درونیابی دوره بازگشت ۵۰ ساله انجام گرفته است:

- ❖ افزایش قدرت تفکیک نقشه‌های ضخامت یخ با روش مدل سازی پارامتر یخ بر اساس عوامل جغرافیایی به ۰٫۱ درجه
- ❖ لحاظ نمودن پارامترهای جغرافیایی (شامل طول ، عرض جغرافیایی ، ارتفاع ، شیب ، جهت شیب و ارتفاع) در محاسبات درونیابی ضخامت یخ و اصلاح مقدار ضخامت یخ تخمین زده شده برای مناطق بین ایستگاه‌ها بر اساس شاخص‌های توپوگرافی

◆ خروجی‌های پروژه:

- ❖ نقشه‌های پهنه بندی دوره بازگشت ۵۰ ساله‌ی پارامترهای هواشناسی شامل تعداد روزهای بارانی، ابری، برفی، گرد و خاک و طوفان توام با رعد و برق، تعداد ساعات آفتابی،تعداد روزهای یخبندان، سرعت باد، درجه حرارت مینیمم، درجه حرارت ماکزیمم، درجه حرارت نقطه شبنم.
- ❖ گزارشات تحلیلی مربوط به محاسبات آماری و خروجی‌های ضرایب و دوره‌های بازگشت ۱۵۰ و ۵۰۰ ساله ضخامت یخ و سایر پارامترهای هواشناسی
- ❖ نقشه‌های پهنه بندی دوره بازگشت ۵۰ ساله‌ی ضخامت یخ حاصل از خروجی مدل سازی مکانی پارامتر ضخامت یخ



تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶

طراحی، ساخت و آزمون دکل KV HST ۴۰۰ مشبک تک مداره آویزی خطوط انتقال نیرو با پروفیل‌های سرد نورد شده (Cold Formed)

طراحی، ساخت و آزمون دکل kV HST ۴۰۰ مشبک تک مداره آویزی خطوط انتقال نیرو با پروفیل های سرد نورد شده (Cold Formed)

دکلهای مشبک خطوط انتقال نیرو، به طور معمول و رایج از نبشی های گرم نورد شده ساخته می شوند. درحالیکه امروزه دکلهای مشبک فولادی اساساً به لحاظ ابعاد، شکل هندسی و بخصوص نوع مقاطع متحول گردیده اند. نمونه ای از مقاطع خاص مورد استفاده در دکلهای نوین، مقاطع سرد نورد شده می باشد.

مقاطع سرد نورد شده جزء مقاطع جدار نازک به حساب می آید. عموماً ضخامت این نوع مقاطع در دکل های انتقال نیرو بین ۳ تا ۸ میلیمتر می باشد. در مقاطع سرد نورد شده به دلیل وجود المان‌های سخت شده مقاومت کمانشی افزایش می‌یابد و می‌توان از آن در قاب های طویل مهار نشده استفاده نمود.

در سالهای اخیر دستگاه های نوین خم کاری با قابلیت خم کردن ورقهای با ضخامت بالا و فرم های متنوع ساخته و یا وارد کشور شده‌اند که هزینه فرآیند نورد سرد را کاهش داده است. از طرفی با توجه به وضعیت فعلی و وارداتی بودن نبشی‌های فابریک با گرید بالا و همچنین قیمت پایین تر ورق نسبت به نبشی گرم نورد شده، استفاده از پروفیل های سرد نورد شده مجموعه ای از پارامترها را بهینه کرده و موجب صرفه جویی در هزینه تمام شده خواهد شد. کاربرد این نوع مقاطع موجب کاهش هزینه و زمان اجرای پروژه خواهد شد و این اختیار را به طراح خواهد داد که طرح خود را متناسب با نیاز پروژه، با حداقل هزینه و مصالح ارائه نماید.

◆ معرفی پروژه:

پروژه فوق به عنوان ایده اولیه از طرف گروه سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو مطرح گردید و در قالب یک پروژه مشارکتی مابین پژوهشگاه نیرو و شرکت سازه‌های فلزی یاسان پیاده سازی شد. در این پروژه یک نمونه دکل 400 kV آویزی خودایستای مشبک به عنوان دکل شاهد انتخاب گردید، سپس دانش فنی طراحی، ساخت و اجرای این نوع دکل‌ها توسط تیم طراح گروه سازه پژوهشگاه نیرو تدوین و مراحل طراحی و بهینه سازی آن سپری گردید، در نهایت بعد از نمونه سازی دکل در کارخانه شرکت سازه‌های فلزی یاسان، آزمون دکل در آزمایشگاه سازه های انتقال نیرو اراک با موفقیت انجام گردید.



◆ معرفی دکل:

- ولتاژ : دکل 400 kV تک مداره
- نوع دکل: خود ایستای مشبک آویزی
- ارتفاع: ۴۵متر
- نوع پروفیل: نبشی های لبه دار و بدون لبه سرد نورد شده
- جنس دکل: فولاد ST-52

تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفکس: ۸۸۵۷۴۷۸۶

◆ مزایای دکل :



- ❖ کاهش هزینه احداث خط
- ❖ کاهش وزن دکل
- ❖ کاهش زمان برپایی دکل
- ❖ امکان ساخت مقاطع متنوع سرد نورد شده مطابق با نیازهای طراحی
- ❖ کاهش هزینه های نیروی انسانی و صرفه جویی در زمان
- ❖ کاهش اثرات نامطلوب بصری با توجه به کاهش تراکم دکل
- ❖ در دسترس بودن امکانات داخلی و زیرساختهای لازم جهت تولید مقاطع

◆ فعالیت های تحقیقاتی و کاربردی پروژه:



- ❖ تدوین دانش فنی طراحی و ساخت دکل مشبک با مقاطع سرد نورد شده
- ❖ مدل سازی عددی با نرم افزارهای متنوع المان محدود و بهینه‌سازی ساختار دکل
- ❖ انجام آزمون‌های فشاری بر روی انواع مقاطع سردنورد شده به منظور کالیبراسیون مدل عددی
- ❖ تدوین روش های کنترل کیفی و رواداری‌های مجاز ساخت مقاطع سرد نورد شده
- ❖ ساخت دکل در ابعاد واقعی و آزمون طبق استاندارد

کارفرمایان پروژه: پژوهشگاه نیرو-شرکت سازه‌های فلزی یاسان
واحد مجری: معاونت تخصصی انتقال — مجری پروژه: مهندس صفر فرضعلی زاده
گروه پژوهشی: سازه های صنعت برق — مدیر پروژه: مهندس علی اصغر ذکاوتی

استفاده از گروه شمع‌های مارپیچ در دکل‌های مشبک ۶۳ کیلو ولت

استفاده از گروه شمع‌های مارپیچ در دکل‌های مشبک ۶۳ کیلوولت

پژوهشگاه نیرو

◆ شمع مارپیچ چیست ؟

شمع‌های مارپیچ از ۲۰۰ سال گذشته تا به حال در صنعت ساخت و ساز در دنیا استفاده می‌شوند. از شمع‌های مارپیچ در پروژه‌های متعددی در سراسر دنیا استفاده می‌شود. در شمع‌های مارپیچ ظرفیت باربری کششی به اندازه ظرفیت باربری فشاری، قابل توجه است. استفاده از شمع‌های مارپیچ به عنوان پی‌های عمیق، یک راه حل نوآورانه با اجرای آسان و مناسب از نقطه نظر محیط زیستی به شمار میرود..





◆ مزایای استفاده از شمع مارپیچ

- امکان اجرای شمع در اغلب مصالح خاکی
- عاری بودن از ارتعاشات مخرب نصب
- امکان اجرای شمع در صورت وجود آب زیر سطحی
- زمان و هزینه اجرایی بسیار پایین
- عدم نیاز به حفاری و قابلیت نصب و نگهداری آسان
- امکان استفاده در پروژه‌های موقت
- قابلیت مانور زیاد ماشین آلات نصب شمع
- امکان اجرا به صورت افقی و در هر زاویه دلخواه

◆ کاربرد شمع مارپیچ در صنعت برق

- پی دکلهای انتقال، پست برق و ژنراتورهای برقی
- پی نیروگاه‌های بادی
- صفحات خورشیدی
- پی دکل و برج‌های مخابراتی

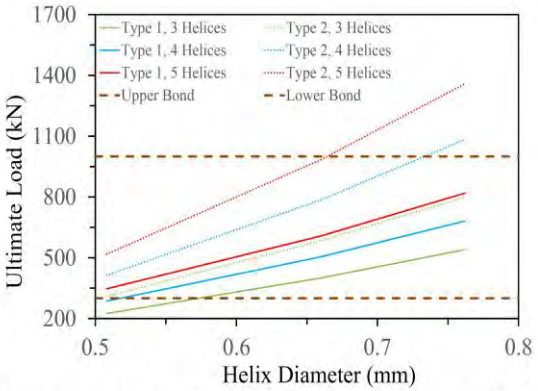
◆ استفاده از شمع مارپیچ در صنایع وابسته به صنعت برق

- پی تجهیزات صنعتی
- خطوط لوله و میل مهار
- سایت‌های هسته‌ای و شیمیایی
- پی‌های ساختمان‌های مسکونی و اداری

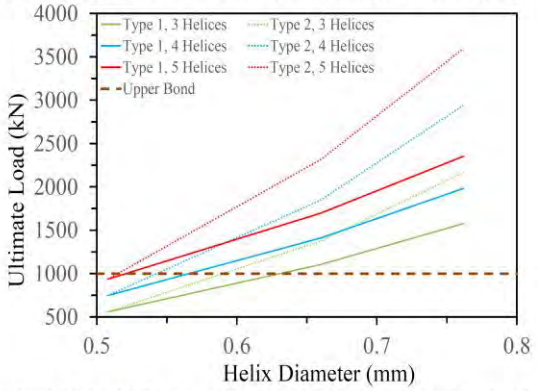
تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفن: ۸۸۵۷۴۷۸۶ نمابر: ۸۸۵۹۰۱۴۴

◆ محدودیت‌های استفاده از شمع مارپیچ

- کاهش عمق مدفون شدگی به دلیل وجود لایه‌های سخت
- عدم توانایی تحمل بار جانبی زیاد به دلیل قطر کوچک بدنه‌ی شمع
- امکان کاهش عمر مفید شمع به دلیل وجود ترکیبات در خاک



نمونه نمودار بار نهایی گروه شمع‌های مارپیچ با آرایش مثلثی بر حسب قطر پره در خاک رسی با چسبندگی ۲۵ کیلوپاسکال



نمونه نمودار بار نهایی گروه شمع‌های مارپیچ با آرایش مثلثی بر حسب قطر پره در خاک ماسه ای با زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه

تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق
صندوق پستی: ۵۱۷-۱۴۶۶۵ تلفن: ۸۸۵۷۴۷۸۶ نمابر: ۸۸۵۹۰۱۴۴

نمایشگاه فرصت مناسبی برای مذاکره مستقیم مدیر محترم و اعضای محترم گروه با صاحبان صنعت، مدیران شرکت‌ها و مسئولان عالی صنعت برق بود. غرفه‌ی گروه سازه‌های صنعت برق توسط مدیران و کارشناسان ارشد صنعت برق و خبرگان این صنعت از جمله جناب آقای دکتر قاضی زاده (ریاست محترم پژوهشگاه نیرو)، جناب آقای دکتر احسانیان (معاونت محترم پژوهشی پژوهشگاه نیرو) به همراه اعضای محترم دفتر معاونت پژوهشی، جناب آقای مهندس فرهادی (مشاور محترم ریاست پژوهشگاه نیرو و مدیر مرکز آزمون، بازرسی و استاندارد صنعت برق و انرژی)، جناب آقای مهندس فلاحتیان (مشاور محترم وزیر نیرو در امور برق و انرژی)، جناب آقای مهندس مهاجری (معاونت محترم تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)، جناب آقای مهندس فارسی (مدیر عامل محترم شرکت یاسان)، جناب آقای مهندس محمدی (مجری محترم طرح انرژی های نو در پژوهشگاه نیرو)، اعضای محترم هیأت عملی دانشگاه‌ها و مدیران و کارشناسان محترم دفتر تحقیقات تعدادی از برق‌های منطقه‌ای بازدید شد و در این ارتباط با ایشان تبادل نظر و مذاکرات صورت گرفت. در ارتباط با پروژه‌ها و اهداف گروه توضیحاتی توسط مدیر محترم گروه و کارشناسان به مسئولین پژوهشگاه که از غرفه بازدید نمودند داده شد و در این راستا علاوه بر ارائه‌ی دستاوردهای گروه برای مسئولین، پیشنهاداتی نیز از جانب ایشان به گروه به منظور توسعه محورهای تخصصی گروه داده شد که از جمله‌ی آن می‌توان به انتشار مجله‌ای علمی-پژوهشی با محوریت سازه‌های صنعت برق با نظارت و مسئولیت گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق اشاره کرد.



مقالات ارائه شده

در این کنفرانس اعضای محترم گروه سازه‌های صنعت برق در قسمت ارائه مقاله حضور داشته و مقالاتی به شرح زیر را ارائه نمودند:

ارائه دهنده	عنوان مقاله	کد مقاله
آقای دکتر جعفری	مقاومسازی خطوط انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم‌هوایی با مطالعه موردی خطوط سیاهکلده-لنگرود و پره‌سر گیلان	*18-F-PTL-16747*
	تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکلهای انتقال نیرو در شرایط استفاده از حریم هوایی	*18-F-PTL-1110*
خانم دکتر گودرزی	ارزیابی غیر مخرب خرابی‌های در مقیاس میکرو و نانو درسازه‌ها و تجهیزات صنعت برق با بکارگیری روش نمونه‌گیری خطی	*NPC18-PG0060*
آقای‌مهندس ذکاوتی	امکان سنجی استفاده از ترکیب کراس آرم کامپوزیتی و مقره در خطوط انتقال فشارقوی	*18- F-PTL-1564*

کارگاه‌های آموزشی

یکی از مهمترین اهداف کنفرانس بین‌المللی برق و کنفرانس فناوری نانو در صنعت برق، فراهم آوردن فرصتی مناسب برای متخصصان صنعت برق، دانشگاه‌ها و سایر مراکز علمی و پژوهشی بود تا به معرفی آخرین نتایج و دستاوردهای خود در زمینه‌های مختلف از جمله روش‌های نوین توسعه و فناوری‌های جدید در صنعت برق کشور بپردازند. در این راستا گروه سازه‌های صنعت برق برای برگزاری دو کارگاه مختلف با عناوین زیر را در این کنفرانس اعلام آمادگی نمود که هدف از برگزاری این کارگاه‌ها ارتقاء سطح علمی و دانش تخصصی کارشناسان و دانش‌پژوهان و معرفی آخرین دستاوردهای علمی و فناورانه در زمینه‌های تحقیقاتی این گروه بوده است.

ارائه دهنده	عنوان کارگاه آموزشی
آقای دکتر اکبری گرکانی	طراحی، اجرا و آزمون استفاده از شمعهای انرژی با تکیه بر صنعت برق
خانم دکتر گودرزی و آقای دکتر سامان سلیمانی	آشنایی با تئوری‌های مرتبط با مسائل نانو مکانیک و مروری بر تأثیر نانوتکنولوژی در مکانیک خاک و بتن

بررسی اثر بار جانبی بر روی رفتار محوری شمع مارپیچ

امیر اکبری گرکانی
عضو هیات علمی گروه سازه‌های صنعت برق
پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
aakbari@nri.ac.ir

چکیده:

امروزه از شمع‌های مارپیچ به طور گسترده‌ای در مسائل مهندسی جهت فراهم کردن پایداری در مقابل نیروهای فشاری، کششی و جانبی استفاده می‌شود. اگرچه امروزه استفاده از این‌گونه شمع‌ها بسیار رایج شده است؛ اما روش طراحی دقیق و اثرات بارگذاری‌های مختلف بر روی رفتار و مکانیسم انتقال بار شمع در حال تحقیق است. هدف از این پژوهش بررسی اثرات بارگذاری جانبی بر مقدار بار محوری شمع مارپیچ و رفتار محوری آن می‌باشد. در این مقاله، ابتدا یک شمع مارپیچ تست شده در محل تحت بار محوری فشاری با استفاده از نرم‌افزار *ABAQUS* صحت‌سنجی گردید و در ادامه به مطالعه پارامتری آن تحت ترکیب بارهای محوری و فشاری در خاک ماسه‌ای پرداخته شد. به دلیل وجود بار جانبی در این مسئله، مدلسازی به صورت سه بعدی و با شرایط تقارن صفحه‌ای انجام گردید. در مطالعه پارامتری فرض شد، خاک ماسه‌ای درای یک لایه بوده و از درصد تراکم بالایی برخوردار است. همچنین رفتار خاک به صورت الاستوپلاستیک، با مدل رفتاری موهر-کولمب و رفتار شمع نیز به صورت الاستیک مدل شد. با توجه به این‌که پره‌های مارپیچ در افزایش ظرفیت باربری محوری این‌گونه از شمع‌ها نقش به سزایی دارند لذا رفتار محوری آن تحت سه نسبت عمق مدفون بالاترین پره به قطر پره (H/D) و تحت بارهای جانبی مختلف مطالعه گردید. نتایج بیانگر این بودکه با افزایش H/D در این‌گونه از شمع‌های خاص، ظرفیت باربری فشاری آن‌ها در ترکیب با بار جانبی افزایش می‌یابد. این مطالعه شروع کننده

بررسی رفتار شمع‌های مارپیچ تحت ترکیب بارهای مختلف و دستیابی به روش طراحی مناسب این شمع‌ها تحت شرایط ذکر شده می‌باشد.

کلیدواژه: شمع مارپیچ، بار محوری، صفحات مارپیچ، ظرفیت باربری

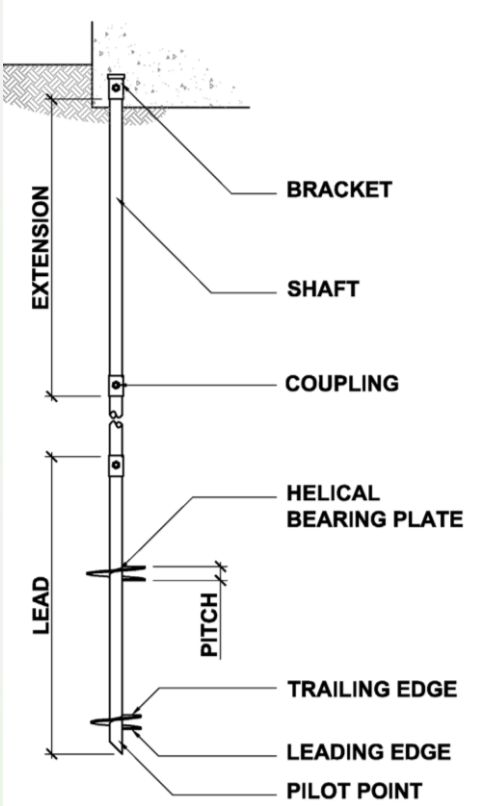
مقدمه

امروزه پی‌های عمیق به‌طور گسترده‌ای در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولا این پی‌ها زمانی به‌کار گرفته می‌شوند که خاک زیر پی به صورت لایه‌هایی از خاک ضعیف در بالا و خاک با مقاومت بیشتر در لایه‌های پایین‌تر تشکیل شده‌باشد. شمع‌های چوبی و فلزی، شمع‌های بتن مسلح درجا ریز و کوبشی از انواع رایج پی‌های عمیق می‌باشند. در سال‌های اخیر استفاده از شمع‌های مارپیچ به عنوان یک نمونه پی عمیق به طور قابل توجهی افزایش یافته است. هم‌اکنون بیش از ۵۰ شرکت در سراسر دنیا انواع مختلف شمع‌های مارپیچ را تولید می‌کنند. شمع‌های مارپیچ، شمع‌هایی هستند که جنس آن‌ها فلزی بوده و به صورت یک پیچ بزرگ ساخته می‌شوند. این شمع‌ها به سبب وجود پره‌های مارپیچی در سرتاسر طول شمع درگیری مناسبی با خاک اطراف دارند؛ لذا نسبت به شمع‌های مشابه مقاومت بالاتری را در برابر فشار و کشش از خود نشان می‌دهند *[1]*.

این نوع شمع‌های عمیق شامل میله‌های فولادی گالوانیزه سبک و بلندی هستند که صفحات فولادی مارپیچ (پره) به آن جوش داده شده‌اند. این شمع‌ها به آسانی با اعمال گشتاور، توسط تجهیزات متهای سوار بر ماشین به داخل زمین هدایت می‌شوند. مولفه‌های اولیه شمع مارپیچ شامل قسمت هادی، قسمت متعلقات، صفحات باربر پره‌ای و سر شمع است که در **شکل ۸** به خوبی نشان داده شده است. قسمت هادی اولین بخشی از شمع است که به داخل خاک رانده می‌شود که شامل یک نقطه نوک تیز هدایت کننده است و به طور معمول از یک یا چند صفحه باربری (پره) تشکیل می‌شود. متعلقات جهت پیشروی قسمت هادی به قسمت‌های عمیق‌تر برای رسیدن به لایه باربر مطلوب استفاده می‌شوند *[2]*.

استفاده از شمع‌های مارپیچ این امکان را ایجاد می‌کند که در صورت تغییر نقشه و استفاده کوتاه مدت از سازه بتوان آن‌ها را جابه‌جا کرد. تجهیزات نصب شمع‌های مارپیچ با قابلیت مانور بالا، شرایطی را فراهم می‌کند که بتوان از این شمع‌ها در مناطقی که مسیر دسترسی نامناسبی دارند استفاده کرد. همچنین این شمع‌ها را می‌توان برای پروژه‌هایی که اجرا شده‌اند و نیاز به افزایش ظرفیت باربری دارند، به کار برد. یکی

از ویژگی‌های منحصر به فرد شمع‌های مارپیچ مقاومت در برابر تورم خاک در اثر یخ زدن و خاک‌های متورم شونده است. وجود شفت لاغر مرکزی در شمع مارپیچ، تنش‌های رو به بالای تورم خاک در اثر یخ زدگی را محدود کرده و همچنین در چنین شرایطی صفحات مارپیچ در مقابل برکنش مقاومت می‌کنند *[3]*.



شکل ۸ – اجزای اولیه شمع مارپیچ *[2]*

ظرفیت باربری شمع

روش‌های طراحی حال حاضر بر اساس چهارچوب و تئوری‌های مرسوم شمع‌ها است. با توجه به معادله ۱ ظرفیت فشاری شمع با استفاده از ترکیب مقاومت جدار و ظرفیت نوک به دست می‌آید.

$$Q_c = Q_f + Q_b$$ معادله ۱

که در آن Q_c ظرفیت فشاری نهایی، Q_f مقاومت اصطکاکی در طول شمع و Q_b مقاومت نوک شمع است. شرکت نسبی مقاومت اصطکاکی بدنه[1] و مقاومت نوک به عمق مدفون، لایه بندی خاک و هندسه شمع

[1] Shaft

بستگی دارد. ظرفیت فشاری نهایی تئوری شمع‌های مارپیچ اغلب با استفاده از معادلات تعادل محاسبه می‌شود (تعادل استاتیکی هنگام شروع گسیختگی در اطراف شمع) *[4]*.

در مطالعات صحرایی ظرفیت باربری محوری شمع مارپیچ از طریق رابطه‌ی تجربی گشتاور نصب صحت‌سنجی می‌شود. با توجه به معادله ۲ نیروی گشتاور با استفاده از یک ضریب تجربی به ظرفیت باربری شمع مرتبط می‌شود.

معادله ۲ $$Q_c = K_T \times T$$

که در آن K_T فاکتور تجربی گشتاور است و از $10\ m^{-1}$ تا $33\ m^{-1}$ را در برمی‌گیرد و T گشتاور میانگین ۱ متر آخر نصب می‌باشد.

به طور معمول قطر پره‌ی شمع مارپیچ ۲ تا ۳ برابر قطر بدنه شمع است؛ بنابراین انتظار می‌رود که مقاومت انتهایی شمع مارپیچ با یک پره در حدود ۴ تا ۹ برابر در مقایسه با شمع مشابه بدون پره با طول دفن شدگی و قطر بدنه مشابه و پارامترهای مقاومتی یکسان خاک باشد *[5]*.

مکانیسم گسیختگی شمع مارپیچ

ظرفیت باربری یک شمع مارپیچ می‌تواند به صورت حداکثر باری که می‌تواند توسط شمع تحمل شود بدون آن‌که موجب نشست‌های نامطلوبی (چه به صورت اولیه و چه به صورت پیشرونده) گردد تعریف شود به طوری که این نشست‌های نامطلوب منجر به آسیب به سازه یا مختل کردن کاربری آن می‌گردند *[6]*.

ظرفیت باربری به فاکتورهای متعددی، نظیر: نوع خاک، خواص خاک، شرایط آب‌های سطحی و یا زیرزمینی، آرایش و پیکربندی شمع مارپیچ (شامل نوع و اندازه شافت، قطر مارپیچ ها، و تعداد صفحات مارپیچ)، عمق باربری، زاویه نصب، فاصله بندی شمع، لنگر پیچشی نصب، نوع بارگذاری (کششی، فشاری، بارهای جانبی)، و غیره بستگی دارد.

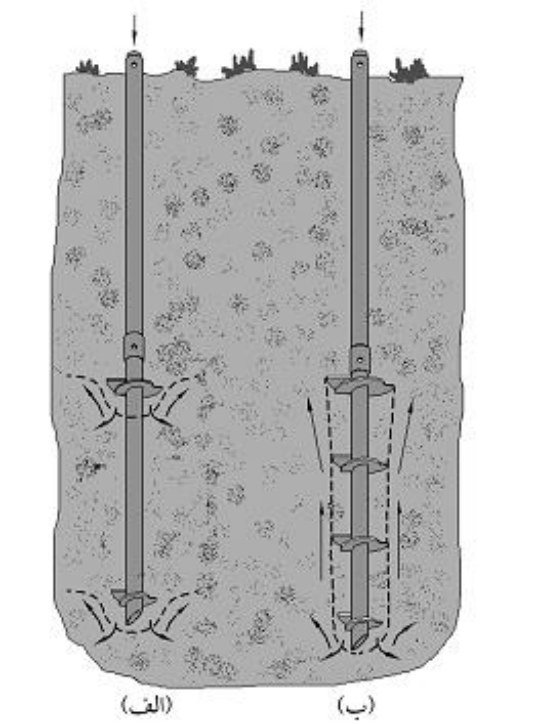
شمع‌های مارپیچ ظرفیت باربری خود را از مقاومت نوک و جداره به دست می‌آورند. به طور کلی، دو حالت ژئوتکنیکی برای گسیختگی شمع‌های مارپیچ پذیرفته شده است :

۱) حالت گسیختگی صفحات مجزا[1]

۲) حالت گسیختگی استوانه ای[2]

[1] Individual plate failure mode
[2] Cylinder failure mode

اگر در یک شمع مارپیچ فاصله صفحات از هم به اندازه کافی بزرگ باشد، به طوری که صفحات ظرفیت باربری سازه‌ای کافی داشته باشند؛ هر صفحه به طور مستقل عمل کرده و حالت خرابی انفرادی در هر صفحه کنترل کننده خواهد بود (شکل ۹–الف). از سوی دیگر همان طور که در شکل ۹–ب نشان داده شده است، چنانچه صفحات مارپیچ به اندازه کافی نزدیک به هم فاصله گذاری شده باشند، ظرفیت باربری شمع مارپیچ برای شرایط بارگذاری فشاری به وسیله گسیختگی پایین ترین صفحه و مقاومت جداره در امتداد استوانه محدود شده بین صفحات مارپیچ کنترل خواهد شد *[2]*.



شکل ۹ – نمای شماتیک مکانسیم‌های متداول گسیختگی شمع مارپیچ

مدلسازی عددی و صحت‌سنجی

آنالیز اجزای محدود یک ابزار قوی وابسته به ریاضی است که حل مسائل پیچیده مهندسی را امکان‌پذیر می‌سازد. روش اجزای محدود یک تکنیک آنالیز عددی بسیار خوب است که به طور گسترده‌ای در بسیاری از مسائل مهندسی عمران استفاده می‌شود. رفتار مشخصه‌ی خاک می‌تواند به‌صورت موفقیت‌آمیزی با آنالیز عددی مدلسازی شود. در روش اجزای محدود محیط‌های پیوسته به المان‌های محدود با هندسه‌های متفاوت تقسیم می‌شوند. همچنین روش اجزای محدود به‌طور مفید و چشم‌گیری می‌تواند جهت مطالعه‌ی الگوی

تغییر شکل و توزیع تنش در حالت نهایی به‌کار گرفته‌شود. مدلسازی اجزای محدود مزیت‌هایی دارد که به کمک آن پارامترها به سادگی تغییر داده می‌شوند و جزئیات تنش و تغییر شکل به واسطه آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به‌دلیل ظرفیت‌های ذکر شده‌ی روش اجزای محدود، امکان مدلسازی و بررسی رفتار شمع‌های مارپیچ با این روش وجود دارد. در این مقاله آنالیز اجزای محدود توسط نرم افزار قدرتمند *ABAQUS* جهت صحت‌سنجی و رسیدن به نمودار بار-تغییر مکان شمع مارپیچ *PA-3* آزمایش شده در محل توسط *Elnaggar* و *Elsherbiny* در سال ۲۰۱۳ استفاده گردید. پارامترهای به کار رفته شده برای مدل رفتاری موهر-کولمب در نرم‌افزار *ABAQUS* برای کالیبراسیون و صحت‌صنجی در **جدول ۴** نشان داده شده‌است. هم‌چنین خصوصیات شمع مارپیچ استفاده‌شده در سایت *A* در **جدول ۵** شرح داده شده است.

جدول ۴ - پارامترهای خاک ماسه‌ای استفاده شده برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی در مدل رفتاری موهر-کولمب

عمق (m)	توضیحات	ϕ_r	ψ	ضریب اصطکاک	γ (kN/m^3)	K_s	ν	E (MPa)
0-5	ماسه (متراکم)	۲۴	۱۰	۰/۴۴	۲۰	۰/۵۵	۰/۳	۵۰
5-9	ماسه (متراکم)	۲۱	۱۰	۰/۴۴	۲۰	۰/۵۵	۰/۳	۵۰

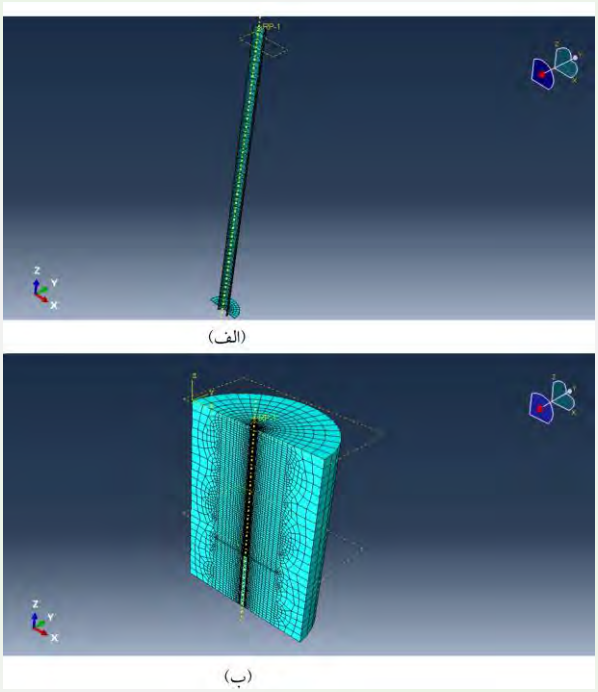
جدول ۵ - خلاصه‌ای از ویژگی‌های شمع *PA-3*

نام شمع	عمق مدفون (m)	تعداد پره‌ها	قطر پره‌ها (mm)	فاصله بین پره‌ها (mm)	قطر شافت (mm)	بار نهایی اعمال‌شده(kN)
PA-3	۵/۶	۱	۵۰۸	–	۲۱۹	۲۱۰

با توجه به این‌که جهت ایده‌آل سازی شمع مارپیچ، پره‌های آن به صورت صفحات افقی مدل شده‌اند، لذا از تقارن صفحه‌ای شمع برای وارد کردن بار جانبی و بررسی تاثیر آن در ظرفیت باربری محوری فشاری استفاده شده است. **شکل ۱۰** مدل سه بعدی مش‌بندی شده هندسه‌ی شمع و خاک را در نرم‌افزار *ABAQUS* نشان می‌دهد. رفتار مماسی سطح بین خاک و شمع با استفاده از مدل اصطکاکی کولمب و از نوع تابع

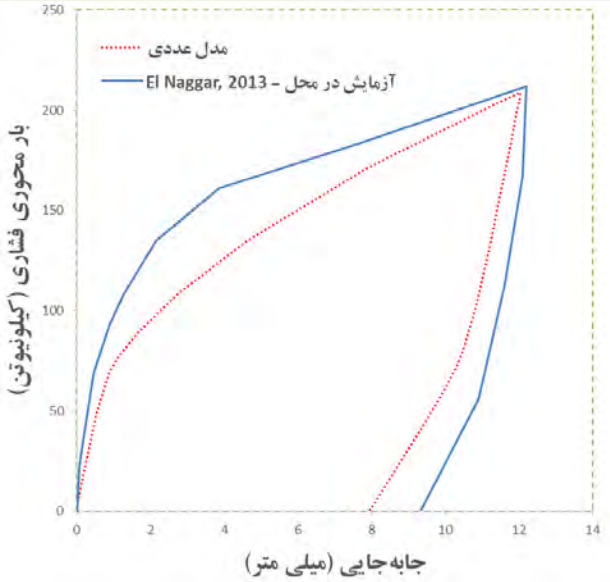
جریمه[1] تعریف شده‌است. همچنین شرایط مرزی به گونه‌ای انتخاب شده‌است که حالت تقارن صفحه‌ای به کار گرفته شود. از حرکت کف مدل در هر جهتی جلوگیری به عمل آمده است به گونه‌ای که $U_x=U_y=U_z=0$ است که U درجه آزادی انتقالی المان‌ها می‌باشد و حرکت مرزهای اطراف خاک در دو جهت جلوگیری شده است بدین صورت که $U_x=U_y=0$ می‌باشند. در مرز تقارن مدل، یعنی جایی‌که هم شمع و هم خاک آن را تشکیل می‌دهند، از شرایط مرزی تقارن در جهت Y استفاده شده‌است یعنی $U_y=UR_{xx}=UR_{zz}=0$ می‌باشند.

شکل ۴ بیانگر نمودار بار-تغییر مکان شمع $PA\text{-}3$ در مدل عددی و آزمایش در محل می‌باشد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، نتایج مدل عددی در تطابق خوبی با نتایج تست با ابعاد واقعی است.



شکل ۱۰ – نمای سه بعدی خاک و شمع مارپیچ مش‌بندی شده در نرم‌افزار *ABAQUS*

[1] Penalty



شکل ۱۱ – نمودار بار محوری-تغییر مکان مدل عددی صحت‌سنجی شده شمع PA-3، مقایسه‌شده با تست در محل تحت بار فشاری محوری

مطالعه پارامتری

با استفاده از مدل کالیبره شده و صحت‌سنجی شده، مطالعه‌ای عددی جهت درک بهتر رفتار و عملکرد شمع‌های مارپیچ تنها انجام شد. تمامی شمع‌های مدل شده متشکل از شافت فولادی همراه با سه پره به قطر ۶۰۰ میلی متر و S_r (نسبت قطر به فاصله) معادل ۲ برابر قطر پره‌ها ($2D$) هستند. نسبت‌های عمق بالاترین پره از سطح زمین به قطر پره (H/D)، شامل اعداد ۲، ۳/۵ و ۵ می‌باشند. شمع فولادی به صورت الاستیک و با مدول یانگ ۲۰۰ گیگاپاسکال و نسبت پواسون (ν) ۰/۳ مدل شد. تمامی شمع‌ها در خاک تک لایه ماسه‌ای با زاویه اصطکاک داخلی باقیمانده‌ی (ϕ_r) ۲۴° و زاویه اتساع (ψ) ۱۰° مدل شدند. چسبندگی خاک (c) برابر ۰ در نظر گرفته شد که بیانگر ماسه با رفتار اصطکاکی خالص می‌باشد. همچنین فرض شد که ماسه دارای وزن مخصوص ۲۰ کیلونیوتن بر متر مکعب و ضریب فشار جانبی افقی (K_s) معادل ۰/۵ است. به علاوه زایه اصطکاک سطح بین خاک و شمع (δ) برابر ۰/۴۴ می‌باشد. در نهایت مدول یانگ خاک ماسه‌ای نیز برابر با ۵۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شد.

در منحنی‌های نوعی بار-تغییر مکان برای شمع‌ها تحت بار فشاری محوری معمولا سه ناحیه نمایان می‌شود: ناحیه اولیه شامل قسمت الاستیک خطی که سختی بالایی دارد، ناحیه دوم قسمت غیر خطی شدید و سومی نیز ناحیه تقریبا خطی گسیختگی، با سختی بسیار کم و شیب نزدیک به صفر است. معمولا گسیختگی در جایی نزدیک به شروع ناحیه غیر خطی رخ می‌دهد. بنابراین انتخاب معیار گسیختگی‌ای که در این ناحیه

قرار می‌گیرد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در شمع‌های مارپیچ رایج است که معیار گسیختگی برابر ۵٪ قطر پره، در حالتی که قطر پره بزرگ‌تر از ۶۱۰mm و برابر ۱۰٪ قطر پره، در حالتی که قطر پره کوچک‌تر از ۳۰۵mm است، انتخاب شود و یا این‌که گسیختگی غوطه‌وری[1] (ادامه پیدا کردن جابه‌جایی تحت بار ثابت) در شمع رخ دهد *[5]*. از آنجایی که در این مطالعه قطر پره‌های شمع مارپیچ برابر ۶۰۰ میلی متر است، لذا معیار ۵٪ قطر پره یعنی معادل ۳۰ میلی متر برای به دست آوردن عدد باربری نهایی انتخاب شده است.

بررسی و تحلیل نتایج

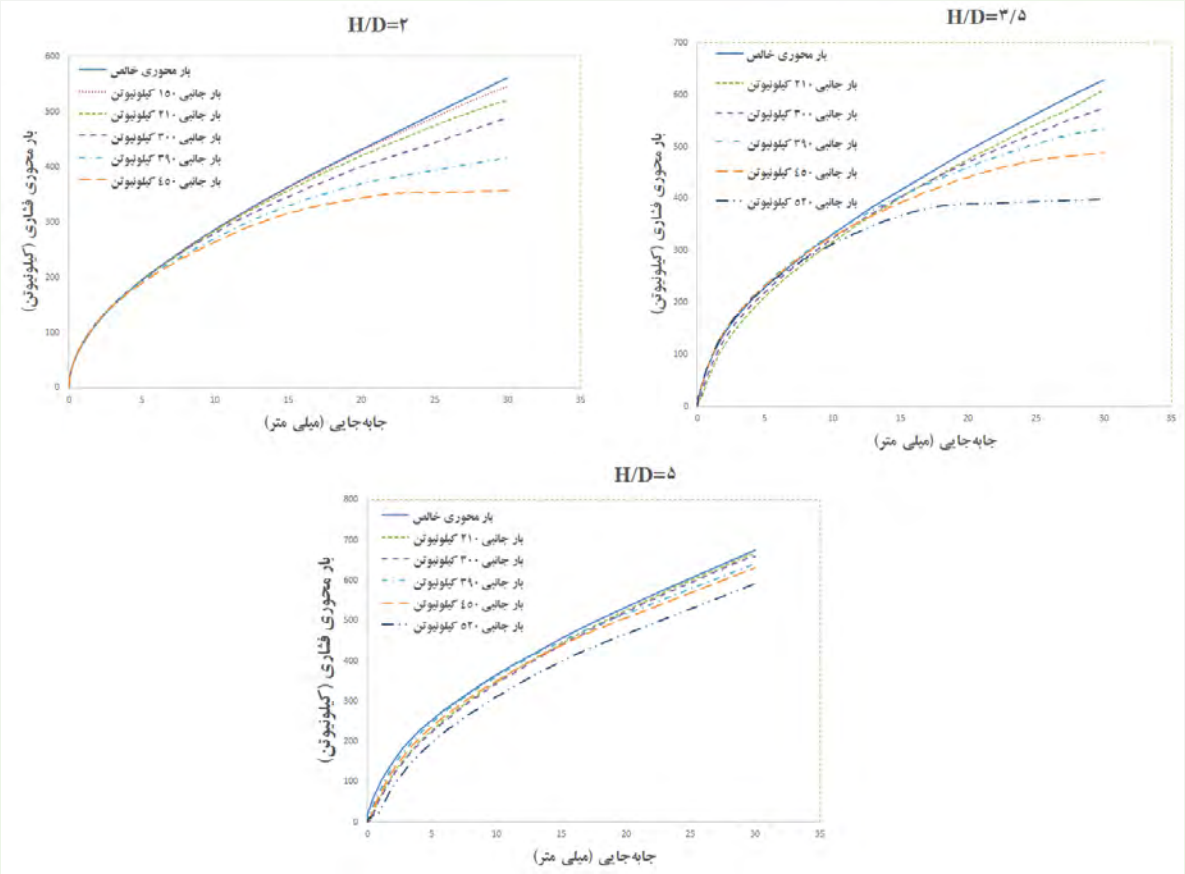
در **شکل ۱۲** نمودار بار محوری-تغییر مکان برای تمامی شمع های مارپیچ با نسبت‌های *H/D* مختلف و تحت بارهای جانبی متفاوت نشان داده شده است. همان طور که در مشاهده می‌شود ظرفیت باربری تمامی شمع‌ها مطابق با معیار ۵٪ قطر صفحه مارپیچ، بعنی ۳۰ میلی متر محاسبه شده‌اند. تمامی منحنی‌ها دارای یک ناحیه اولیه خطی هستند. از شکل می‌توان دریافت که با افزایش عمق شمع مارپیچ سه پره، ظرفیت باربری فشاری محوری آن در حال افزایش است. همچنین هرچه بار جانبی افزایش می‌یابد، بار محوری فشاری شمع در حال کاهش است به طوری که در نسبت‌های *H/D* برابر با ۲ و ۳/۵، گسیختگی محوری در شمع به سمت حالت غوطه‌وری پیش‌روی می‌کند. زمانی‌که نسبت *H/D* به مقدار ۵ می‌رسد، اثر بار محوری بر روی ظرفیت باربری فشاری شمع بسیار کاهش می‌یابد و این به نوبه خود بیانگر این است جهت افزایش کارایی شمع مارپیچ تحت ترکیب بارهای محوری و جانبی نیاز به محاسبه و تخمین دقیق عمق مدفون آن می‌باشد.

جهت درک بیش‌تر مکانیسم گسیختگی شمع مارپیچ، معمولا از آنالیز حالت تنش استفاده می‌شود. در **شکل ۱۳** کانتورهای تنش شمع مارپیچ سه پره در نسبت *H/D* برابر با ۳/۵، تحت بار محوری خالص و در ترکیب با بار جانبی نشان داده شده است. از **شکل ۱۳**-الف می‌توان دریافت که صفحات شمع مارپیچ تحت بار محوری خالص، تاثیر به سزایی در ظرفیت باربری محوری این‌گونه از شمع‌ها دارند. همچنین زمانی که بار محوری و جانبی با هم اثر داده می‌شوند، مشاهده می‌شود که بار جانبی عملاً یک سمت از کانتورهای تنش دو صفحه بالایی را حذف کرده؛ در نتیجه کاهش بسیار شدیدی در ظرفیت باربری فشاری شمع رخ می‌دهد؛ اگرچه از شکل می‌توان دریافت که حباب تنش ایجاد شده در پایین‌ترین صفحه مارپیچ، در حالت بدون بار

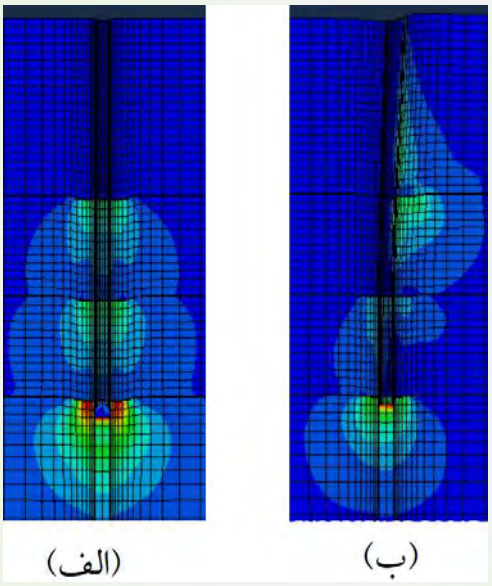
[1] Plunging

جانبی و همرا با بار جانبی یکسان بوده و این موضوع دوباره بیانگر حساسیت بسیار بالای انتخاب عمق مدفون مناسب برای شمع مارپیچ می‌باشد.

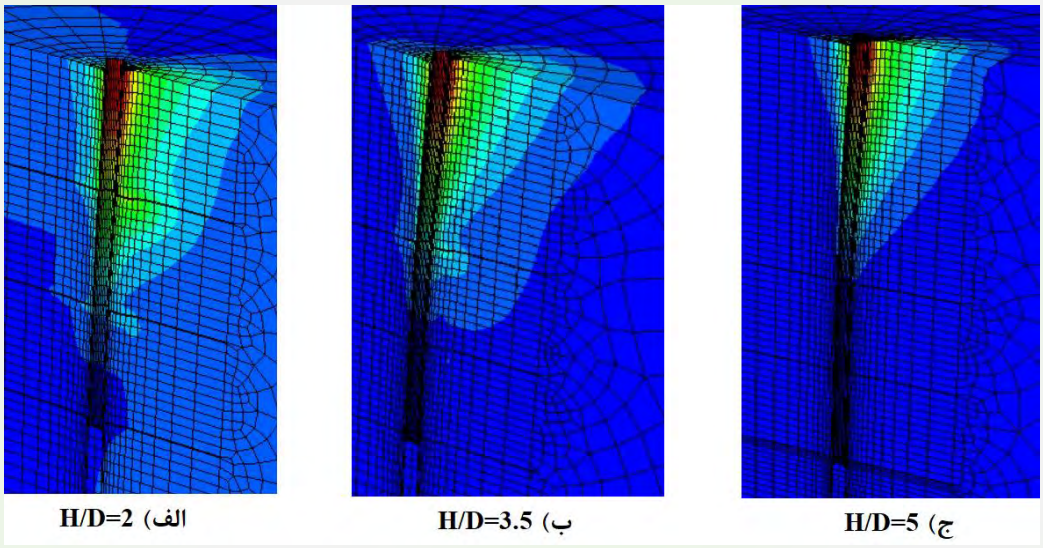
برای فهمیدن بیش‌تر مکانسیم انتقال بار، کانتورهای جابه‌جایی خاک در راستای اعمال بار جانبی در **شکل ۱۴** نشان داده شده است. همانطور که در **شکل ۱۴** مشاهده می‌شود با افزایش عمق مدفون شمع، تداخل کانتورهای جابه‌جایی افقی با صفحات مارپیچ کم‌تر شده؛ به طوری که در نسبت *H/D* برابر با ۵ تقریبا هیچ گونه تداخلی دیده نمی‌شود. این روند منجر به افزایش ظرفیت باربری فشاری شمع تحت بار جانبی در عمق مدفون بالاتر شده است.



شکل ۱۲ – نمودارهای بار محوری-تغییر مکان برای شمع‌های مارپیچ تحت بارهای جانبی مختلف با نسبت‌های *H/D* متفاوت



شکل ۱۳ – کانتورهای تنش شمع مارپیچ سه پره با نسبت ***H/D=3***: (الف) تحت بار محوری خالص، (ب) تحت ترکیب بارهای محوری و جانبی



شکل ۱۴ – کانتورهای جابه‌جایی جانبی شمع مارپیچ سه پره برای نسبت‌های ***H/D*** متفاوت

نتیجه‌گیری:

در این پژوهش ظرفیت باربری فشاوی و عملکرد شمع‌های مارپیچ تحت بارهای جانبی و نسبت‌های عمق مدفون متفاوت، با استفاده از مدلسازی اجزای محدود در نرم‌افزار *ABAQUS* مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌گیری‌های حاصل از تحلیل شامل موارد زیر می‌باشد:

- ظرفیت باربری فشاری شمع‌های مارپیچ با افزایش تعداد پره‌ها و عمق مدفون، افزایش می‌یابد.
- ظرفیت باربری فشاری شمع‌های مارپیچ تحت بار جانبی به شدت تابع عمق مدفون با نسبت *H/D* می‌باشد، به گونه‌ای که در نسبت *H/D* برابر با ۵، تاثیر بار جانبی بر روی ظرفیت باربری محوری شمع به کم‌تر از ۱۰٪ می‌رسد.
- نمودار بار-تغییر مکان شمع‌های مارپیچ در خاک دانه‌ای متراکم با افزایش روند بارگذاری جانبی، به سمت گسیختگی غوطه‌وری پیش‌روی می‌کند. همچنین افزایش بار جانبی باعث تداخل کانتورهای جابه‌جایی جانبی و قائم می‌شود. این رویکرد منجر به کاهش ظرفیت باربری فشاری شده است.

مراجع:

[1] M. P. Mitsch and S. Clemence, "The uplift capacity of helix anchors in sand" In Proceedings of ASCE, USA, New York, pp. 26–47, 1985.

[2] H. A. Perko, "Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation", J. Wiley, Hoboken, N.J, 2009.

[3] IPENZ. Newzealand, Engineers, "Practice Note 28 Screw Piles : Guidelines for Design, Construction & Installation", 2015.

[4] B. Livneh and M. H. El Naggar, "Axial Testing and Numerical Modeling of Square Shaft Helical Piles under Compressive and Tensile Loading", Canadian Geotechnical Journal, vol. 45, no. 8, pp. 1142–1155, 2008.

[5] Z. H. Elsherbiny and M. H. El Naggar, "Axial compressive capacity of helical piles from field tests and numerical study", Canadian Geotechnical Journal, vol. 50, no. 12, pp. 1191–1203, 2013.

[6] S. Mittal and S. Mukherjee, "Vertical Pullout Capacity of a Group of Helical Screw Anchors in Sand: An Empirical Approach", Indian Geotechnical Journal, vol. 44, no. 4, pp. 480–488, 2014.

تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو در شرایط استفاده از حریم هوایی

محمدعلی جعفری، محمد گودرزی
پژوهشکده انتقال
پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

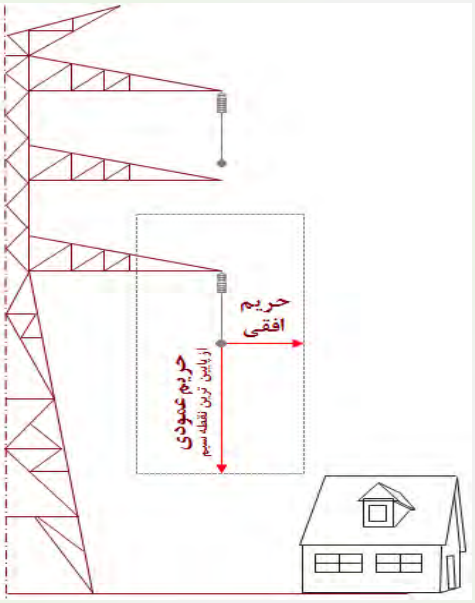
چکیده:

در تصویب‌نامه جدید حریم خطوط انتقال نیرو با توجه به خطرات احتمالی و به منظور رعایت مسائل ایمنی، استفاده از حریم هوایی منوط به تدوین ضوابط فنی مورد نیاز و اطمینان از استقامت مکانیکی خطوط انتقال شده است. استفاده از حریم هوایی سبب می‌شود تأسیسات، منازل مسکونی و سایر ابنیه مجاور خط، نسبت به شرایط حریم زمینی در فواصل کمتری نسبت به خط انتقال قرار گیرند. بنابراین احتمال بروز آسیب‌های جانی ناشی از خرابی اجزای خط در این حالت بیشتر از شرایط رعایت حریم زمینی خواهد بود. بر این اساس در طراحی خط در شرایط حریم هوایی باید میزان ایمنی اجزای سازه‌ای خط بطور عام و دکل‌ها بطور خاص، بالاتر در نظر گرفته شود. بطور متداول در طراحی دکل-های انتقال، سطح ایمنی با انتخاب مناسب دوره بازگشت بارها کنترل می‌شود. ازاینرو در این مقاله با استفاده از مفاهیم روش طراحی سازه‌ها بر اساس قابلیت اطمینان، دوره‌های بازگشت مورد نیاز بارهای حاصل از باد و یخ جوی، برای بارگذاری دکل‌های انتقال در شرایط حریم هوایی، تعیین و ارائه شده-اند.

واژه‌های کلیدی: حریم هوایی؛ دکل؛ استقامت مکانیکی؛ دوره بازگشت

مقدمه:

در تصویب‌نامه جدید حریم خطوط انتقال نیرو به شماره ۱۲۷۲۷/ت۵۰۷۳۲ه حریم خطوط انتقال نیرو به صورت حریم زمینی و هوایی تعریف شده است. حریم زمینی مشابه حریم درجه یک در تصویب-نامه قبلی است که البته مقدار آن کاهش داشته است. حریم هوایی در قالب حریم عمودی و حریم افقی به صورت یک مستطیل در اطراف هادی تعریف می‌گردد که در این حالت رعایت سی درصد حریم زمینی نیز ضروری است. استفاده از حریم هوایی سبب می‌شود تأسیسات، منازل مسکونی و... نسبت به شرایط قبلی در فواصل کمتری نسبت به خط انتقال قرار گیرند. (شکل ۱) با توجه به خطرات احتمالی و به منظور رعایت مسائل ایمنی، در متن تصویب‌نامه جدید استفاده از حریم هوایی منوط به تدوین ضوابط فنی مورد نیاز و اطمینان از استقامت مکانیکی خطوط انتقال شده است. در استانداردهای سایر کشورهایی که شرایطی مشابه با حریم هوایی در خطوط انتقال آنها پذیرفته شده نیز، ضوابطی در راستای افزایش استقامت اجزای خط وجود دارد. [۱] در طراحی خطوط انتقال در دنیا، متداول است که افزایش سطح ایمنی (یا سطح قابلیت اطمینان) خط، با استفاده از افزایش دوره بازگشت بارهای جوی مورد استفاده در طراحی به میزان مناسب، صورت گیرد. این رویکرد که در استانداردهای معتبر طراحی نظیر IEC 60826 و ASCE-74 [۲ و ۳] نیز ارائه و پذیرفته شده، در این تحقیق مورد اسفاده قرار گرفته است. بدین ترتیب در این مقاله، با ورود به پس‌زمینه و فلسفه استانداردهای طراحی خطوط انتقال و سایر انواع سازه‌های ساختمانی و روش‌های طراحی بر اساس قابلیت اطمینان، [۲ الی ۱۰] حداقل مقدار قابل قبول برای سطح ایمنی خطوط انتقال در شرایط حریم هوایی بر مبنای یک استنتاج منطقی تعیین گردید. سپس با محاسبه احتمال خرابی یک دکل انتقال نوعی در حالت کلی، مقادیر دوره‌های بازگشت برای حصول ایمنی مورد نظر تعیین و ارائه گردیدند.



متد:

طبق روال متداول در طراحی خطوط انتقال در دنیا، افزایش یا کاهش در سطح ایمنی طرح خطوط انتقال با انتخاب سطح مناسب از شدت بارهای وارده تعیین و کنترل می‌شود. بر این اساس، در این تحقیق نیز برای افزایش سطح ایمنی دکل‌های انتقال در شرایط حریم هوایی در حوزه بارگذاری، از اصول و مبانی طراحی بر اساس قابلیت اطمینان استفاده شده و سطح شدت بارهای مورد نیاز برای طراحی، تعیین شده است. بدین منظور، ابتدا سطح مناسب برای قابلیت اطمینان (یا احتمال خرابی) هدف مشخص گردیده و سپس با محاسبه احتمال خرابی یک دکل نوعی در حالت کلی با مفروضات مشخص، دوره‌های بازگشت مورد نیاز برای پارامترهای بارهای جوی (سرعت باد و ضخامت یخ) جهت نیل به احتمال خرابی هدف تعیین و ارائه گردیدند که جزئیات آن در ادامه مقاله ارائه شده‌اند

مفاهیم طراحی دکل‌های انتقال بر اساس قابلیت اطمینان

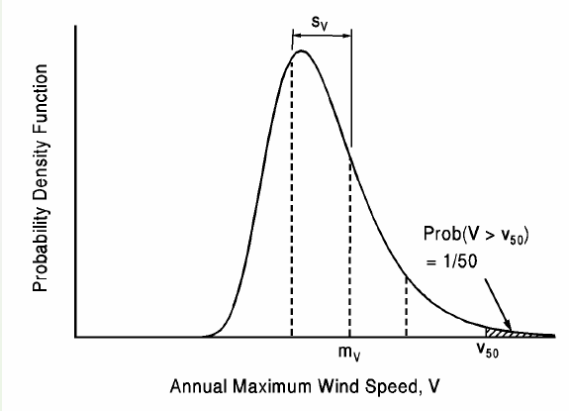
عبارت قابلیت اطمینان بطور معمول به متمم احتمال خرابی اطلاق می‌شود. با استفاده از تکنیک‌های نظریه قابلیت اطمینان می‌توان سازه‌ها را طوری طراحی نمود که احتمال خرابی در آنها (تحت شرایط بارگذاری و در مدت زمان مشخص) در حدود مقدار مشخصی (احتمال خرابی هدف[1]) باشد. هدف اصلی طراحی

[1] Target Probability of Failure

برمبنای قابلیت اطمینان[1] (RDB) آن است که تضمین شود احتمال خرابی یک عضو از یک تراز آستانه قابل قبول (هدف) تجاوز نکرده و از آن دور نشود [۵]. طراحی برمبنای قابلیت اطمینان می‌تواند بصورت زیر بیان شود:

$$P_f = P(Q < L) \le P_T \qquad (۱)$$

که در این رابطه، Q مقاومت یک عضو، L اثر بار که برحسب واحدی مشابه با مقاومت بیان می‌شود، P_f احتمال خرابی و P_T احتمال خرابی هدف می‌باشد. در روش طراحی بر اساس قابلیت اطمینان، پارامترهای مؤثر در طراحی شامل پارامترهای بار، مقاومت و ضرایب اطمینان با استفاده از روش‌های مبتنی بر آمار و احتمالات و در طی یک فرآیند سازگار، تعریف و تعیین شده و در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مورد بارهای متغیر در زمان (مانند بارهای حاصل از رخدادهای جوی نظیر باد، یخزدگی، حرارت)، برای بیان سطوح مختلف پارامترهای طراحی بار از لحاظ شدت، از مفهومی به نام دوره بازگشت[2] استفاده می‌شود. دوره بازگشت مشخص‌کننده مدت زمان متوسط لازم برای تکرار وقوع سطح شدت مورد نظر از رخداد جوی بوده و احتمال فراگذشت شدت پارامتر بار از مقدار مورد نظر در دوره زمانی معین، عدد مشخصی می‌باشد. به عنوان نمونه، احتمال فراگذشت سرعت باد از سرعت باد متناظر با دوره بازگشت ۵۰ سال، برابر ۲٪ در سال و یا ۶۴٪ در ۵۰ سال می‌باشد. (شکل ۲) با فرض ثابت بودن سایر پارامترهای طراحی (پارامترهای مقاومت و ضرایب اطمینان)، استفاده از سطوح مختلف شدت پارامترهای جوی (با دوره‌های بازگشت مختلف) منجر به حصول سطوح مختلفی از قابلیت اطمینان در طراحی سازه‌های خطوط انتقال خواهد شد.



شکل ۱۵: تعریف مقدار اسمی سرعت باد برای دوره بازگشت ۵۰ سال

[1] Reliability-Based Design
[2] Return Period

احتمال خرابی و روش‌های محاسبه آن

احتمال خرابی سازه (یا یک عضو سازه‌ای) تحت یک حالت بارگذاری مشخص و در بازه زمان معینی، بر اساس (۱) برابر با احتمال بزرگتر شدن اثر بار از مقاومت است. در صورتی که پارامترهای آماری (توابع توزیع و چگالی احتمال اثر بار و مقاومت و موقعیت آنها نسبت به هم بر اساس معیار طراحی) مشخص باشند، احتمال خرابی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود: [۵]

$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty} F_Q(l) f_L(l) dl \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق، F و f به ترتیب توابع توزیع و چگالی احتمال متغیرهای مورد نظر هستند. با وجود اینکه محاسبه احتمال خرابی با استفاده از رابطه فوق ساده به نظر می‌رسد، در عمل به دلیل مشخص نبودن توابع توزیع و چگالی متغیرهای اثر بار و مقاومت (با توجه به اینکه خود آنها توابع پیچیده‌ای از سایر متغیرهای تصادفی هستند)، رابطه مذکور برای محاسبه احتمال خرابی استفاده نشده و روش‌های دیگری برای این منظور توسط محققین مختلف ارائه شده‌اند. از جمله روش‌های متداول برای محاسبه عددی احتمال خرابی می‌توان به روش‌های تقریبی مرتبه اول (FORM[۱] و FOSM[۲]) و مرتبه دوم (SORM[۳]) و روش‌های نمونه‌گیری مانند مونت‌کارلو[۴] و لاتین هایپرکیوب[۵] اشاره نمود که جزئیات آنها در مراجع تئوری قابلیت اطمینان سازه‌ها ارائه شده‌اند. [۵]

تعیین احتمال خرابی هدف

یکی از مهمترین چالش‌ها در روش‌های طراحی مبتنی بر قابلیت اطمینان، تعیین سطح حداقل قابل قبول برای قابلیت اطمینان است که قابلیت اطمینان (یا احتمال خرابی) هدف نامیده می‌شود. انتخاب قابلیت اطمینان هدف برای طراحی یک سازه باید برمبنای یک تعادل بهینه مابین ایمنی و اقتصاد صورت گیرد [۵]. مهمترین چالش پیش رو در این تحقیق نیز، انتخاب مقدار مناسبی برای قابلیت اطمینان هدف در شرایط استفاده از حریم هوایی بر اساس معیارهای منطقی می‌باشد.

---

[1] First Order Reliability Method
[2] First Order Second Moment
[3] Second Order Reliability Method
[4] Monte Carlo Sampling
[5] Latin Hypercube Sampling

رویکردهای تعیین احتمال خرابی هدف در طراحی سازه‌ها

جهت تعیین قابلیت اطمینان هدف (یا احتمال خرابی هدف متناظر با آن) برای طراحی احتمالاتی انواع سازه‌های ساختمانی و خطوط انتقال نیرو، تاکنون چندین رویکرد در متون فنی به شرح زیر پیشنهاد شده است:

۱- تعیین قابلیت اطمینان هدف (بهینه) بر مبنای حداقل هزینه کل: در این رویکرد که نخستین بار توسط غنوم [۶] جهت یافتن تراز قابلیت اطمینان بهینه یک خط انتقال پیشنهاد شد، هزینه یک خط بصورت مجموع هزینه اولیه و هزینه مورد انتظار خرابی در طول عمر اقتصادی خط، در نظر گرفته شده و با تغییر سطح ایمنی (یا احتمال هدف) مقدار متناظر با حداقل هزینه کل تعیین می‌شود. [۵]

۲- استفاده از نرخ‌های خرابی تاریخی: یک رویکرد دیگر جهت محاسبه قابلیت اطمینان هدف این است که مقدار آن در ترازی تنظیم شود که با نرخ‌های خرابی تخمین زده شده از موارد تاریخی واقعی[1] قابل مقایسه باشد. [۵]

۳- تعیین قابلیت اطمینان هدف بر مبنای احتمال خرابی ضمنی در طرح‌های موجود: این رویکرد شامل محاسبه احتمال‌های خرابی تئوری طرح‌های موجود و استفاده از این مقادیر بعنوان یک مبنا برای گزینش یک مقدار مناسب برای احتمال هدف می‌باشد. [۸]

۴- انتخاب تراز قابلیت اطمینان هدف طراحی بر مبنای بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر آن: در این رویکرد، احتمال خرابی هدف با درنظرگرفتن چهار جنبه شامل روانشناسی عمومی، اهمیت سازه‌ای، ماهیت آسیب سازه‌ای (یا بعبارتی، مکانیسم خرابی و پیامدهای آن)، و دوام[2] جامعه و اقتصاد در مقابل خرابی سازه‌ای، و مقایسه با سایر ریسک‌های موجود در جامعه و حد قابل پذیرش جامعه نسبت به آنها برآورد می‌شود. [۸]

احتمال خرابی هدف در طراحی سازه‌های خطوط انتقال نیرو

همانطور که توسط غنوم [۷] اشاره شده است، احتمال خرابی هدف در ساختمان‌ها یا پل‌ها بدلیل اینکه معمولاً خرابی آنها موجب تلفات جانی می‌شود، بسیار پایین (معمولاً 10^{-6} تا 10^{-12}) منظور می‌شود. در مقابل، سطوح احتمال سالانه خرابی مطلوب برای خطوط انتقال بنظر می‌رسد که در مرتبه 10^{-2} تا 10^{-3} باشد و خرابی گه‌گدار آنها معمولاً منجر به تلفات جانی نمی‌گردد. بعلاوه، مقادیر احتمال خرابی هدف

[1] Actual case histories
[2] Endurance

توصیه شده در آیین نامه‌های ساختمانی و استانداردهای طراحی خطوط انتقال نیرو هم موید این مطلب می‌باشند. بطوریکه برای مثال در آیین‌نامه طراحی سازه‌های ساختمانی ASCE/SEI 7-10 [۴] محدوده احتمال خرابی هدف سالانه درنظر گرفته شده برای سازه‌ها، بر حسب گروه‌بندی ریسک و ویژگی‌های خرابی آنها، در محدوده 10^{-4} تا 10^{-7} می‌باشد، در حالیکه در استانداردهای مربوط به طراحی خطوط انتقال نیرو (نظیر استاندارد ASCE، IEC و BS)، بسته به اهمیت خط در شبکه، ترازهای قابلیت اطمینانی در بازه ۵۰ تا ۵۰۰ سال (برحسب دوره بازگشت بارهای جوی مورد استفاده در طراحی) پیشنهاده شده است که تقریباً معادل با احتمال خرابی هدف سالانه 10^{-2} تا 10^{-3}می‌باشند. مقادیر فوق برای خطوط انتقال، بر اساس کمینه کردن مجموع هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و هزینه‌های خسارت ناشی از قطع سرویس دهی خط (در صورت وقوع خرابی)، انتخاب شده و مقادیر پایینتر احتمال خرابی هدف، در غالب موارد توجیه اقتصادی ندارد. [۷]

احتمال خرابی هدف سازه‌های خطوط انتقال در شرایط حریم هوایی

بنظر می‌رسد آنچه که موجب تفاوت قابل ملاحظه احتمال خرابی بهینه خطوط انتقال نیرو و دیگر سازه-های عمرانی (مانند ساختمان‌ها، پل‌ها، ...) می‌گردد، فاکتور میزان ایمنی جانی می‌باشد. در نتیجه، زمانیکه بحث کاهش حریم خطوط انتقال نیرو و نزدیک شدن سازه‌ها و تاسیسات به خطوط انتقال مطرح می‌گردد، بدلیل افزایش احتمال وارد شدن آسیب به افراد و تلفات جانی نیاز است که در طراحی خطوط انتقال (حتی در صورت عدم وجود توجیه اقتصادی از لحاظ برق‌رسانی)، از ترازهای قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به مقادیر توصیه شده در آیین نامه‌ها در شرایط متعارف استفاده شود. بطور منطقی انتظار می‌رود که در شرایط عدم رعایت حریم زمینی و استفاده از حریم هوایی در خطوط انتقال، بعلت قرارگیری تاسیسات، منازل مسکونی، و سایر ابنیه در فواصل کمتری نسبت به خطوط انتقال نیرو، میزان پیامدهای ناشی از وقوع خرابی‌های سازه‌ای و مکانیکی در اجزای مختلف خطوط، در مقایسه با شرایط رعایت حریم زمینی افزایش قابل توجهی داشته باشد. این افزایش پی‌آمدها بویژه به لحاظ موارد زیر می‌باشند:

- آسیب جانی مستقیم (ناشی از برخورد اجزای خط با افراد حاضر در مجاورت آن در صورت وقوع خرابی)

- آثار منفی اجتماعی (شامل احساس عدم امنیت، نارضایتی، کاهش اعتبار اجتماعی شبکه برق، افزایش ناهنجاری‌های اجتماعی و... در جامعه به شرط وقوع خرابی در اجزای خط)

از طرفی، نتایج تحلیل روانشناسی عمومی نشان داده است که نرخ خطر پذیرفته شده توسط افراد شجاع حدود 10^{-3} در سال، و برای افراد محتاط، 10^{-4} در سال می‌باشد [۸]. براین اساس، احتمال خرابی سالانه هدف برای دکل‌های انتقال در شرایط حریم هوایی بر حسب نوع ابنیه و تأسیسات مجاور خط (واقع در محدوده حریم زمنی)، برای سه سطح ایمنی بصورت جدول زیر پیشنهاد می‌گردد:

جدول ۱: احتمال خرابی هدف برای خطوط انتقال در شرایط حریم هوایی

احتمال خرابی هدف سالانه	توضیح شرایط خط	سطح ایمنی
10^{-2}	حریم زمینی رعایت شده است. یا شرایطی در حریم هوایی که احتمال آسیب جانی در صورت خرابی خط، ناچیز است.	۱
10^{-3}	شرایطی در حریم هوایی که احتمال آسیب جانی در صورت خرابی خط، وجود دارد. مانند: ابنیه مجاور خط از نوع مسکونی، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های صنعتی.	۲
در این شرایط، استفاده از حریم هوایی مجاز نیست	شرایطی در حریم هوایی که احتمال آسیب جانی در صورت خرابی خط، زیاد است. مانند: ابنیه مجاور خط از نوع ساختمان‌های با اهمیت زیاد مانند اداری، تجاری، هتل‌ها، بیمارستان و درمانگاه؛ ساختمان یا تأسیسات سازنده، پردازنده و فروشنده مواد سمی یا قابل اشتعال؛ پمپ بنزین و گاز؛ مدارس؛ مساجد؛ سینما و تأتر؛ سالن‌های اجتماعات؛ فروشگاه‌های بزرگ؛ ترمینال‌های مسافری.	۳

سطح ایمنی ۱ در جدول فوق معادل با شرایط متداول فعلی در خطوط انتقال بوده و نیازی به افزایش سطح بارگذاری ندارد. همچنین در سطح ۳ نیز به دلیل وجود ریسک جانی بالا، استفاده از شرایط حریم هوایی به صلاح نیست. مقادیر احتمال خرابی هدف در جدول فوق برای سطح ایمنی ۲، بر اساس مقایسه و مشابه-سازی با مقادیر مورد نظر برای سازه‌های ساختمانی (که ایمنی جانی در آنها اولویت اول است) انتخاب شده‌اند. معیارهای مذکور بر اساس خرابی ساختمان‌ها تنظیم شده و از آنجا که احتمال خرابی ساختمان واقع در حریم خط در صورت خرابی اجزای خط ناچیز است، تنها آسیب‌های جانی حاصل از برخورد

مستقیم اجزای خط به انسان‌ها و یا آسیب‌های روانی و اجتماعی محتملتر است. از اینرو مقادیر احتمال هدف دکل‌ها در حدود یک الی دو مرتبه بزرگتر از ساختمان‌ها انتخاب شده‌اند.

محاسبه احتمال خرابی دکل‌های انتقال در حالت کلی

در روش طراحی دکل‌های انتقال بر اساس قابلیت اطمینان در استانداردهای IEC60826 و ASCE74، با فرض اینکه خط انتقال بصورت یک سیستم متشکل از اجزای متوالی (شامل دکل، یراق آلات، زنجیره مقره و هادی) بوده و خرابی اجزای خط همبسته بوده و احتمال خرابی ضعیفترین عضو خط (در اغلب حالات دکل آویزی) به اندازه یک مرتبه از سایر اعضا کوچکتر باشد، احتمال خرابی خط به تقریب برابر با احتمال خرابی عضو ضعیفتر منظور می‌گردد. بر این اساس، محاسبه احتمال خرابی خط محدود به محاسبه احتمال خرابی ضعیفترین عضو آن (دکل آویزی) می‌شود. در استانداردهای IEC60826 و ASCE74 معیار پایه برای طراحی دکل‌ها بصورت برابر قراردادن مقادیر کران بالای پارامترهای حدی بارهای جوی (با دوره بازگشت ۵۰ سال) با مقادیر کران پایین پارامترهای مقاومت (با حد احتمال کران پایین برابر ۵ الی ۱۰ درصد) و بدون اعمال ضریب اطمینان، ارائه شده است. (رابطه زیر:) [۲]

$$Q_{5-10\%} = L_{50} \Rightarrow P_f \approx 0.01 \qquad (۳)$$

که $Q_{5-10\%}$ برابر مقاومت سازه یا عضو با احتمال کران پایین ۵ الی ۱۰٪ و L_{50} اثر بار با دوره بازگشت ۵۰ سال می‌باشد. در این شرایط، احتمال خرابی سالانه تقریباً برابر ۱٪ (10^{-2}) خواهد بود، که برابر با احتمال خرابی هدف در خطوط معمولی می‌باشد. در حالت کلی، اگر دوره بازگشت بارهای جوی مورد استفاده در طراحی برابر T منظور شود، (با فرض ثابت ماندن سایر شرایط طراحی) احتمال خرابی سالانه به تقریب در بازه $1/T$ و $1/2T$ قرار خواهد گرفت. [۲] البته این مطلب در محدوده‌های کم ضرایب تغییرات بار و مقاومت (کمتر از حدود ۳۰٪) صادق است و برای مقادیر بزرگتر، خطای تقریب نسبتاً بزرگتر خواهد شد.

با توجه به اینکه در روال طراحی دکل‌های انتقال در ایران، استفاده از ضریب اطمینان (بصورت ضریب افزایش بار) طبق استاندارد بارگذاری لازم و متداول است، روابط تقریبی فوق (بر حسب دوره بازگشت) برای محاسبه احتمال خرابی دکل‌ها از تقریب خوبی برخوردار نیست. بر این اساس در این تحقیق، برای محاسبه احتمال خرابی طراحی بر اساس قانون طراحی در کشور، از روش نمونه‌گیری مونت‌کارلو استفاده

گردید. بر اساس روال طراحی دکل‌های انتقال در کشور و با هدف تنظیم معیارهای جدید طراحی در شرایط حریم هوایی، قانون طراحی به فرم زیر برای محاسبه احتمال خرابی منظور شده است:

$$Q_{5-10\%} = \gamma L_T \qquad (۴)$$

که L_T برابر اثر بار حدی با دوره بازگشت T و γ ضریب بار (برابر 1.1 طبق جدول استاندارد بارگذاری ایران) می‌باشند. اثر بار L_T برای شرایط بارگذاری ناشی از باد و یخ بصورت جداگانه، به ترتیب از روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$L_{WT} = A_W V_T^2 = A_W(\gamma_W V_{50}^2) \qquad (۵)$$

$$L_{IT} = A_I t_T(t_T + d) = A_I \gamma_I t_{50}(\gamma_I t_{50} + d) \qquad (۶)$$

در روابط فوق، V_T سرعت اسمی مرجع باد (طبق تعریف استاندارد) با دوره بازگشت T، t_T ضخامت یخ اسمی با دوره بازگشت T، d برابر قطر هادی، ضرایب A_i ضرایب تبدیل پارامترهای جوی (سرعت باد و ضخامت یخ) به اثر بار (نیرو) در سازه (وابسته به پارامترهایی نظیر ضریب درگ، ناهمواری‌های منطقه، چگالی هوا، چگالی یخ، ویژگی‌های مکانیکی و هندسی سازه و اعضای آن، اسپن و ... که کمیت‌های قطعی فرض می‌شوند)، ضرایب γ_i برابر ضرایب اعمالی به پارامترهای جوی در شرایط استفاده از مقادیر ۵۰ ساله به جای T ساله و اندیس‌های W و I نیز به ترتیب مربوط به باد و یخ می‌باشند.

تابع حالت حدی مورد استفاده بصورت رابطه زیر می‌باشد:

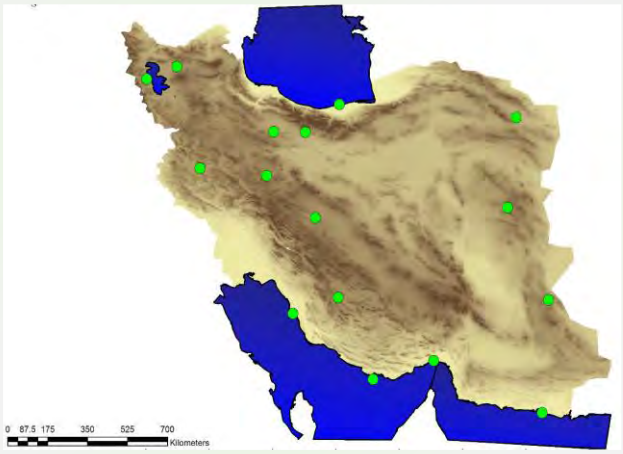
$$g = \ln(\frac{Q}{L}) \qquad (۷)$$

که Q و L به ترتیب متغیرهای تصادفی بیان‌کننده مقاومت سازه و اثر بار (حاصل از باد یا یخ) وارد بر آن (برای مود خرابی دلخواه) می‌باشند که با استفاده از ضرایب تصادفی، به مقادیر اسمی مربوط به خود مرتبط می‌شوند.

با اتخاذ ویژگی‌های آماری برای بارهای وارده و مقاومت، احتمال خرابی (احتمال منفی شدن تابع g) به روش مونت‌کارلو (با تولید متغیرهای تصادفی به تعداد کافی و محاسبه g و شمارش موارد منفی آن) قابل محاسبه می‌باشد. در این تحقیق برای محاسبه احتمال خرابی بر اساس روند فوق، مقادیر پارامترهای مورد نیاز به شرح زیر می‌باشند:

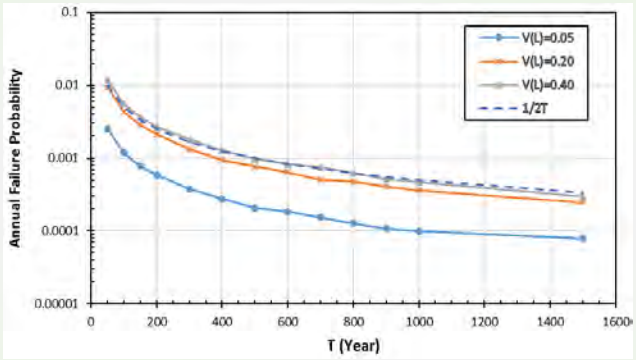
۱. ضریب تغییرات مقاومت در دکل‌های انتقال بر اساس راهنمای ارائه شده در [۷] و با لحاظ تفاوت‌های موجود در شرایط ساخت و مصالح در کشور با سایر کشورها، در بازه ۵ الی ۲۰ درصد منظور می‌گردد. توزیع احتمال مقاومت از نوع نرمال لگاریتمی فرض می‌شود. [۲]

۲. با استفاده از داده‌های در دسترس از تعداد ۱۶ ایستگاه هواشناسی در نقاط مختلف کشور (شکل ۳)، ضریب تغییرات سرعت باد در بازه 0.1 الی 0.4 و ضریب تغییرات ضخامت یخ در بازه 0.3 الی 1.5 منظور شده است. [۱۱]

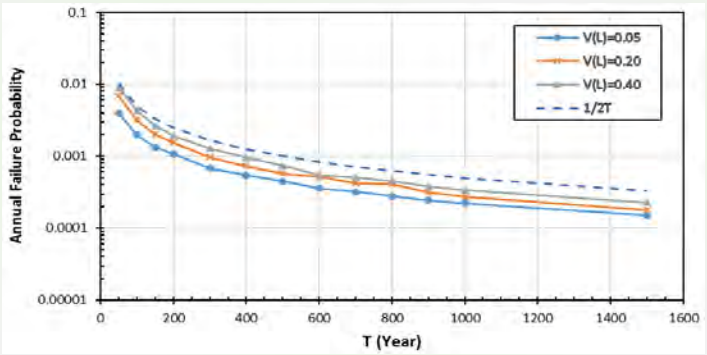


شکل ۱۶: پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های مورد نظر در سطح کشور [۱۱]

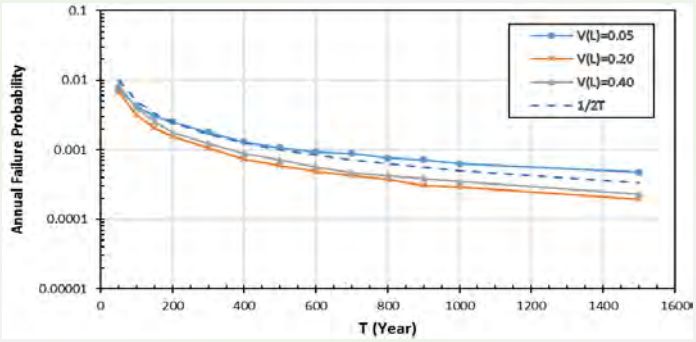
به عنوان نمونه‌هایی از محاسبات انجام شده، مقادیر احتمال خرابی سالانه در شرایط بارگذاری باد شدید به ازای پارامترهای مختلف در نمودارهای زیر ارائه شده‌اند.



شکل ۱۷: تغییرات احتمال خرابی سالانه با دوره بازگشت طراحی و ضریب تغییرات سرعت باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۵ درصد)



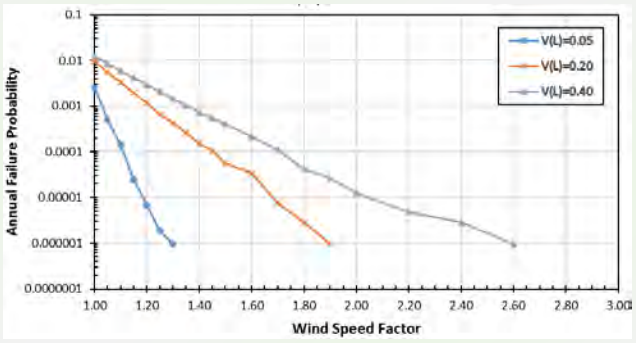
شکل ۱۸: تغییرات احتمال خرابی سالانه با دوره بازگشت طراحی و ضریب تغییرات سرعت باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۱۵درصد)



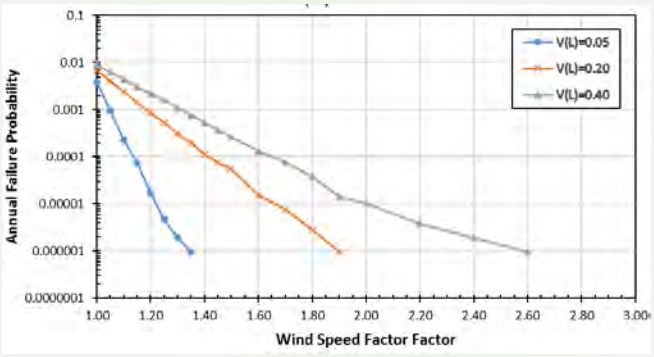
شکل ۱۹: تغییرات احتمال خرابی سالانه با دوره بازگشت طراحی و ضریب تغییرات سرعت باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۲۰درصد)

همانظور که در اشکال فوق قابل مشاهده است، با افزایش دوره بازگشت طراحی، احتمال خرابی کاهش خواهد یافت. روند کاهش احتمال خرابی در دوره های بازگشت بالاتر، کندتر می‌باشد. همچنین بدلیل اعمال ضریب بار، احتمال خرابی در اغلب حالات کمتر از مقدار $1/2T$ (حد پایین احتمال خرابی طراحی با معیار IEC60826 و بدون ضریب بار) می‌باشد.

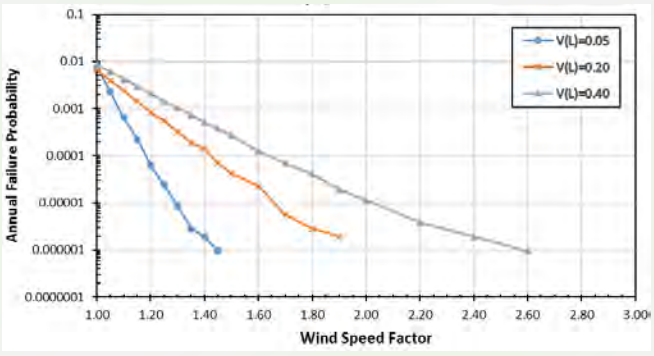
به منظور سهولت طراحی، بجای استفاده از مقادیر جوی با دوره بازگشت بالاتر (T) می‌توان از مقادیر ۵۰ ساله (که معمولاً در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی در دسترس می‌باشند) که با استفاده از ضرایب مناسبی (ضرایب γ_i در روابط ۵ و ۶) افزایش یافته‌اند استفاده نمود. تغییرات احتمال خرابی به ازای ضرایب مختلف باد و یخ (مقادیر پایه با دوره بازگشت ۵۰ سال) در نمودارهای زیر ارائه شده‌اند. همانطور که این اشکال قابل مشاهده است، احتمال خرابی با افزایش ضرایب γ_i کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان مقادیر مناسب ضرایب مذکور که متناظر با احتمال هدف باشند را تعیین نمود.



شکل ۲۰: تغییرات احتمال خرابی سالانه با ضریب سرعت و تغییرات باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۵ درصد)



شکل ۲۱: تغییرات احتمال خرابی سالانه با ضریب سرعت و تغییرات باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۱۵ درصد)



شکل ۲۲: تغییرات احتمال خرابی سالانه با ضریب سرعت و تغییرات باد؛ (ضریب تغییرات مقاومت برابر ۲۰ درصد)

تعیین دوره بازگشت طراحی برای بارهای حاصل از باد و یخ جوی

با محاسبه احتمال خرابی سالانه دکل انتقال نوعی با شرایط و پارامترهای مفروض و با اتخاذ مقادیر مختلف برای دوره بازگشت بارهای جوی (باد و یخ)، مقادیر مناسب دوره بازگشت برای اینکه احتمال خرابی برابر با مقادیر هدف (جدول ۱ برای سطح ایمنی ۲) شود، تعیین می‌گردند. نتایج محاسبات انجام شده، برای بار باد (با پارامتر سرعت حدی باد مرجع با تعریف استاندارد آن) و بار یخ (با پارامتر ضخامت یخ حدی) به ترتیب در جدول ۲ و جدول ۳ ارائه شده‌اند. در جداول مذکور، دوره‌های بازگشت به ازای مقادیر مختلف ضرایب تغییرات پارامترهای جوی (سرعت باد و ضخامت یخ) و مقاومت، محاسبه و ارائه شده‌اند.

جدول ۲: دوره بازگشت سرعت باد حدی در شرایط حریم هوایی (سال)

ضریب تغییرات مقاومت	ضریب تغییرات سرعت باد			
	0.10	***0.20***	***0.30***	***0.40***
0.05	*250*	*400*	*450*	*460*
0.10	*200*	*320*	*380*	*400*
0.15	*220*	*300*	*330*	*350*
0.20	*260*	*300*	*320*	*340*

جدول ۳: دوره بازگشت **ضخامت یخ حدی** در شرایط حریم هوایی (سال)

ضریب تغییرات مقاومت	ضریب تغییرات ضخامت یخ			
	0.30	***0.50***	***0.90***	***1.5***
0.05	*450*	*500*	*530*	*550*
0.10	*350*	*430*	*480*	*500*
0.15	*340*	*380*	*420*	*450*
0.20	*340*	*350*	*420*	*430*

طبق جداول فوق، مقادیر دوره بازگشت مورد نیاز برای حصول احتمال خرابی هدف، وابسته به مقادیر ضرایب تغییرات متغیرهای تصادفی اثر بار (سرعت باد و ضخامت یخ) و مقاومت می‌باشند. بطور کلی در

اغلب حالات، مقدار دوره بازگشت با افزایش ضریب تغییرات بار و کاهش ضریب تغییرات مقاومت، افزایش می‌یابد. بر این اساس برای حصول احتمال خرابی مورد نظر، داشتن مقادیر ضرایب تغییرات پارامترهای مذکور لازم است. در شرایطی که به دلیل عدم دسترسی به داده‌های آماری، مقادیر ضرایب تغییرات مشخص نباشد (که در اغلب حالات اینچنین است) می‌توان با اتخاذ تقریب قابل قبول و تا حدودی محافظه‌کارانه، مقادیر مناسبی از ضرایب تغییرات را فرض نموده و مقادیر دوره بازگشت متناظر با آنها را برای استفاده در طراحی مشخص نمود. با بررسی داده‌های هواشناسی در تعداد ۱۶ ایستگاه هواشناسی در نقاط مختلف کشور (شکل ۳)، مشخص گردید که محتمل‌ترین مقدار برای ضریب تغییرات سرعت باد در کشور، ۲۰٪ می‌باشد. همچنین در مورد ضخامت یخ نیز، محتمل‌ترین مقدار ضریب تغییرات برابر ۹۰٪ است. [۱۱] در مورد متغیر مقاومت، به دلیل شرایط اجرایی کشور و عدم کیفیت نسبی ساخت اجزا و مصالح که امکان افزایش تغییرات مقاومت را بیشتر می‌کند، مقادیر ۱۵ الی ۲۰٪ برای ضریب تغییرات مقاومت دکل‌ها، محتمل‌تر می‌باشند.

با توجه به جمیع مطالب عنوان شده، مقادیر پیشنهادی برای دوره بازگشت طراحی پارامترهای جوی در شرایط بارگذاری مختلف (مطابق با استاندارد بارگذاری ایران) به شرح جدول ۴ می‌باشند. در این جدول، مقادیر ضرایب افزایشی بارهای جوی متناظر با دوره‌های بازگشت فوق، برای شرایطی که مقادیر جوی با دوره بازگشت ۵۰ سال در دسترس باشند نیز ارائه شده‌اند.

جدول ۴: دوره‌های بازگشت پیشنهادی برای پارامترهای جوی در شرایط حریم هوایی (سال)

	باد شدید	**یخ سنگین**
دوره بازگشت	*400*	*500*
ضرایب اعمالی به مقادیر با دوره بازگشت ۵۰ سال	*1.2*	*1.45*

نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از مفاهیم و روش‌های طراحی خطوط انتقال بر اساس قابلیت اطمینان، سطح شدت مورد نیاز بارهای جوی بر حسب دوره بازگشت آنها برای طراحی دکل‌های انتقال در شرایط حریم هوایی تعیین شده است. خلاصه‌ای از نتایج حاصله به شرح زیر است:

- با توجه به لزوم حفظ ایمنی جانی در شرایط حریم هوایی و با اقتباس از سازه‌های ساختمانی، حداقل احتمال خرابی قابل قبول برای دکل‌های انتقال در این شرایط، 10^{-3} می‌باشد.

- دوره‌های بازگشت بارهای حاصل از باد و یخ برای حصول احتمال خرابی مورد نظر، بر حسب ضرایب تغییرات بار و مقاومت در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. در شرایط نامشخص بودن ضرایب تغییرات، در اغلب نقاط کشور می‌توان سرعت باد را با دوره بازگشت ۴۰۰ و ضخامت یخ را با دوره بازگشت ۵۰۰ سال منظور نمود. بجای استفاده از مقادیر با دوره‌های بازگشت فوق، می‌توان از مقادیر با دوره بازگشت ۵۰ سال که در ضرایب 1.2 (برای سرعت باد) و 1.45 (برای ضخامت یخ) ضرب شده‌اند، استفاده نمود.

قدردانی

بدینوسیله از سرکار خانم سوده صمیمی که در به ثمر رسیدن این پژوهش نقش داشتند، قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

[9] "تدوین ضوابط فنی افزایش استقامت مکانیکی خطوط انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم هوایی- بررسی سوابق موضوع در داخل کشور و انجام مطالعات تطبیقی در آیین نامه دیگر کشورها"، پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده انتقال، ۱۳۹۵.

[10] International Electrotechnical Commission, "Design criteria of overhead transmission lines": IEC 60826, 2003.

[11] 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

[12] ASCE Standard (ASCE/SEI 7-10), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Third Printing, incorporating errata, Supplement 1, and expanded commentary, 2013

[13] K. Phoon, F.H. Kulhawy & M.D. Grigoriu, Reliability-Based Design of Foundations For Transmission Line Structures, EPRI Research Report TR-105000, Prepared By Cornell University, 1995.

[14] E. Ghannoum, A Rational Approach to Structural Design of Transmission Line, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, pp. 3506-3511, July 1981.

[15] E. Ghannoum, Probabilistic Design of Transmission Lines, Part II: Design Criteria Corresponding to a Target Reliability, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 9, pp. 3063-3079, September 1983.

[16] G.Q., Li, J.J., Li, Advanced Analysis and Design of Steel Frames, John Wiley & Sons, 2007.

[17] M.E., Criswell, M., Vanderbilt, Reliability-Based Design of Transmission Line Structures: Methods, Report EL-4793 (1), EPRI, Palo Alto, 473 p., 1987.

[18] Peyrot, A., et al. "Reliability-based design of transmission lines: a comparison of the ASCE and IEC methods." Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems, 1991., Third International Conference on.IET, 1991.

اخبار پروژه‌های گروه

در این بخش، خلاصه‌ای از وضعیت پروژه‌های گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق ارائه می‌شود. این پروژه‌ها به بازه زمانی شهریور ۱۳۹۶ تاکنون مربوط بوده و در قالب «پروژه‌های در حال انجام» ارائه خواهند شد.

پروژه‌های در حال انجام

<table>
<tr><td colspan="2">عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور</td></tr>
<tr><td>نوع پروژه: امانی</td><td>کارفرما: پژوهشگاه نیرو
معاونت مربوطه: پژوهشی</td></tr>
<tr><td>مدیر پروژه: محمد علی جعفری</td><td>همکاران پروژه: علی اصغر ذکاوتی، امیر اکبری گرکانی، آزاده گودرزی، سلمان رضازاده، علیرضا رهنورد</td></tr>
<tr><td>مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده</td><td>درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۸۸٪</td></tr>
<tr><td>تاریخ شروع پروژه: ۹۵/۱۱/۲۰</td><td>تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۱۲/۲۵</td></tr>
<tr><td colspan="2">اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه:
• شناسایی کلی انواع مخاطرات جوی موجود در کشور و دسته‌بندی آن‌ها
• تعیین وضعیت آسیب‌پذیری شبکه برق در برابر مخاطرات جوی بصورت کیفی
• بررسی سوابق موجود و نیازسنجی در خصوص تعیین پارامترهای مشخصه مخاطرات جوی در کشور و پهنه‌بندی آن‌ها
• تعیین اقدامات و سیاست‌های مورد نیاز و تهیه برنامه و نقشه راه برای شناسایی، اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات جوی در کشور</td></tr>
</table>

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمین مرتبط با صنعت برق و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آن‌ها در سطح کشور	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی
مدیر پروژه: علیرضا رهنورد	همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی، محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، سوده صمیمی
مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۸۰٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۰۱/۲۳	تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۷/۲۳
اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه: • شناسایی کلی انواع مخاطرات زمینی موجود در کشور و دسته‌بندی آن‌ها • تعیین وضعیت آسیب‌پذیری شبکه برق در برابر مخاطرات زمینی بصورت کیفی • بررسی سوابق موجود و نیازسنجی در خصوص تعیین پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور و پهنه‌بندی آن‌ها • تعیین اقدامات و سیاست‌های مورد نیاز و تهیه برنامه و نقشه راه برای شناسایی، اندازه‌گیری و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه مخاطرات زمینی در کشور	

عنوان پروژه: تدوین دانش فنی طراحی، اجرا و آزمون استفاده از شمع‌های انرژی در برج فنآوری‌های نوین برق حرارتی	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: حوزه ریاست و روابط عمومی
مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی	همکاران پروژه: امید قاسمی فرع، محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، یاسین ولی‌تبار، محسن هاتفی
مجری پروژه: هادی نظرپور	درصد پیشرفت پروژه:۷۲٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۷/۰۴/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۱۰/۱۵
اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه: • اجرای شمع انرژی برای اولین بار در ایران و بومی‌سازی دانش فنی طراحی شمع‌های انرژی در کشور • تدوین روش طراحی شمع‌های انرژی به عنوان المان باربر سازه‌ای و المان تأمین‌کننده قسمتی از انرژی گرمایشی (یا سرمایشی) یک ساختمان اداری	

• تدوین دانش اجرا و روش آزمون شمع‌های انرژی • صحت‌سنجی توأمان تحلیل، آنالیز عددی و آزمون‌های برجا در عملکرد باربری و تغییر شکل‌پذیری شمع‌های انرژی	
عنوان پروژه: تدوین دانش فنی طراحی مکانیکی، اجرا و آزمون شمع‌های مارپیچ در دکل‌های مشبک ۶۳ کیلوولت	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی
مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی	همکاران پروژه: محمد علی جعفری، علی اصغر ذکاوتی، سوده صمیمی، محمدرضا جهانشاهی، هدیه سه‌لاتهنه
مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۷۶٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۱۲/۲۹	تاریخ پایان پروژه: ۹۸/۰۲/۰۱
اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه: • تدوین روش طراحی شمع‌های مارپیچی به عنوان عنصر اصلی باربری پی در دکل‌های ۶۳ کیلولت • تدوین دانش اجرا و روش آزمون شمع‌های مارپیچی • صحت‌سنجی توأمان تحلیل، آنالیز عددی و نتایج آزمون‌های برجا در ظرفیت باربری شمع‌های مارپیچ	

عنوان پروژه: امکانسنجی، طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه کراس‌آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۱۳۲ یا ۲۳۰ کیلوولت آویزی دو مداره با توجه به انتخاب گزینه برتر	
نوع پروژه: (امانی- پیمانی)	کارفرما: پژوهشگاه نیرو- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی معاونت مربوطه: انتقال
مدیر پروژه: علی اصغر ذکاوتی	همکاران پروژه: محمد علی جعفری، علی سعیدی، مصطفی شرفی، کیوان فیروزی، یاسر احمدی
مجری پروژه: صفر فرضعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر:۸۲٪
تاریخ شروع پروژه: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷	تاریخ پایان پروژه: ۱۳۹۷/۱۲/۲۹
اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه: • بررسی سوابق موضوعی ساخت کراس‌آرم‌های کامپوزیتی در خطوط انتقال نیرو • بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های ساخت، نگهداری و افزایش عمر • بررسی گزینه‌های مختلف و انتخاب گزینه برتر • ساخت کراس‌آرم و انجام آزمون‌های مرتبط • تدوین و توسعه دانش فنی استفاده از کراس‌آرم‌های کامپوزیت در دکل‌های خطوط انتقال نیرو	

عنوان پروژه: بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، بکارگیری و توسعه مواد نانو ساختار	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: معاونت پژوهشی – پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی
مدیر پروژه: آزاده گودرزی	همکاران پروژه: علی اصغر ذکاوتی، سپیده صفری، مهرداد کریمی، روزبه مولایی
مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۹۳٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۱۲/۲۹	تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۸/۰۱

اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه:

- به منظور بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق به شناسایی و بررسی انواع مواد نانو ساختار و موارد کاربرد آن‌ها در مصالح سازه‌ای پرداخته می‌شود.
- ادبیات فنی، سوابق موضوعی، دانش‌ها و فناوری‌های به روز جهانی مرتبط با بهبود وضعیت خاک بستر سازه‌ها و همچنین مصالح سازه‌ای با به کارگیری مواد نانو ساختار مطالعه و گردآوری می‌شود.
- با شناسایی و بررسی شرکت‌های فعال در زمینه‌ی تولید مواد نانو ساختار مورد استفاده در سازه‌ها، امکان بکارگیری و استفاده از این مواد در کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
- تطبیق دانش‌های فنّی و فناوری‌های نوین جهانی در ارتباط با بکارگیری مواد نانو ساختار در سازه‌های صنعت برق با اسناد بالادستی کشور و نیازهای آتی صنعت برق کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد و چرخه‌ی عمر فناوری و بازار استفاده از مواد نانو در سازه‌های صنعت برق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
- به منظور بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق، فهرست و دسته‌بندی مواد نانو ساختار کاربردی در این سازه‌ها و روش‌های توسعه‌ی بکارگیری آن‌ها در کشور و مزایا و معایب آنها ارائه می‌شود.
- فهرست طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با بکارگیری آن‌ها به منظور تسریع توسعه‌ی این فناوری و نیل به ارزش‌های صنعت برق و انرژی کشور و تعیین مسیر روشن برای محققین در جهت تدوین سندهای راهبردی به جهت بکارگیری این مواد در سازه‌های صنعت برق، ارائه می‌شود.

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای	
نوع پروژه: امانی	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی
مدیر پروژه: سلمان رضازاده	همکاران پروژه: محمد علی جعفری
مجری پروژه: عسکر جانعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۷۵٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۶/۶/۱	تاریخ پایان پروژه:۹۸/۲/۱
اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه: • تعیین ضرورت ارزیابی و مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های صنعت برق • مرزبندی فنی و شناسایی انواع سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق • تدوین راهبردهای ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های صنعت برق	

عنوان پروژه: طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیرو	
نوع پروژه: پیمانی	کارفرما: توانیر معاونت مربوطه: فناوری
مدیر پروژه: سلمان رضازاده	همکاران پروژه: محمد علی جعفری
مجری پروژه: صفر فرضعلی‌زاده	درصد پیشرفت پروژه در حال حاضر: ۱۰۰٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۴/۴/۱۰	تاریخ پایان پروژه: ۹۷/۰۵/۱۰
اهداف و نتایج به دست‌آمده یا محتمل از پروژه: • تحلیل آماری کمیت‌های هواشناسی مرتبط با خطوط انتقال نیرو • تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای جوی مورد نیاز جهت بارگذاری خطوط انتقال نیرو • استخراج مقادیر کمیت‌های هواشناسی بر اساس دوره‌های بازگشت متفاوت	

جلسات تخصصی گروه سازه های صنعت برق

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه دهنده	مکان
۹۷/۰۴/۰۵	بررسی عناوین پیشنهاد شده طرح استاد ازطرف دانشگاهها	اعضا شورای راهبری	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۴/۲۷	طرح تفصیلی و طرح استاد پژوهشگاه زلزله	اعضا گروه سازه و نمایندگان پژوهشگاه زلزله	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۵/۰۶	معماری انرژی در ساختمانها	اعضا گروه سازه، دکتر نظرپور /دکتر مهدوی نیا	ساختمان چمران
۹۷/۰۵/۰۷	ارائه پروژه "بکارگیری میکروپایل در فونداسیون های دکل های خطوط انتقال"	اعضا گروه سازه /علی اصغر ذکاوتی	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۵/۰۸	ارائه پروژه "تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات جوی مرتبط با صنعت برق و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آن در سطح کشور"	اعضا گروه سازه /محمد علی جعفری	سالن کنفرانس شهید عباسپور
۹۷/۰۵/۲۹	معرفی فناوری جدید برای مقاوم سازی سازه های زیربنایی در برابر زلزله	اعضا گروه سازه و /دکتر شاهرخ رضایی	سالن کنفرانس شهید عباسپور
۹۷/۰۶/۱۱	ارائه پروژه "پهنه بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال برق کشور"	اعضا گروه سازه /سلمان رضازاده	سالن کنفرانس ساختمان فناوری
۹۷/۰۶/۱۱	ارائه پروژه "فاز صفر سیاست پژوهی در حوزه سازه های بخش تولید صنعت برق"	اعضا گروه سازه /آزاده گودرزی	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۶/۲۶	ارائه پروژه "امکان سنجی استفاده از شمعهای انرژی در صنعت برق"	اعضا گروه سازه /امیر اکبری گرکانی	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۷/۰۹	پروژه مهاربند جدید پره ای	اعضا گروه سازه، /دکتر بهشتی	سالن کنفرانس ساختمان توربین بادی
۹۷/۰۷/۱۷	جلسه هم اندیشی گروه سازه	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۷/۲۳	ارائه پروژه " طراحی و ساخت و آزمون دکل با مقاطع سرد نورد شده»	اعضا گروه سازه /علی اصغر ذکاوتی	دفتر گروه سازه

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه دهنده	مکان
۹۷/۰۷/۲۴	برگزاری جلسه هم‌اندیشی به منظور پیاده‌سازی مقدمات موردنیاز برگزاری سمینارتخصصی‌شمع انرژی	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۸/۱۳	جلسه با حضور دکتر قاسمی فرع	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۸/۲۱	برگزاری سمینار تخصصی شمعهای انرژی	روسا و معاونین پژوهشگاه نیرو، اعضا گروه سازه،اساتید دانشگاهها و جمعی از دانشگاهیان/دکتر قاسمی فرع	سالن فردوسی
۹۷/۰۹/۰۵	مصاحبه با متقاضیان جذب هیئت علمی گروه سازه	اعضای هیئت علمی گروه سازه، رئیس و معاون گروه	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۹/۱۲	مصاحبه با خانم دکتر زنگنه متقاضی جذب هیئت علمی گروه سازه	اعضای هیئت علمی گروه سازه، رئیس و معاون گروه	دفتر گروه سازه
۹۷/۰۹/۲۷	ارائه پروژه «مبانی طراحی سازه ای و لرزه ای توربینهای بادی»	اعضا گروه سازه /محمد علی جعفری	دفتر گروه سازه

در این بخش در خصوص انتشارات علمی اعضای گروه در سال ۱۳۹۷ اطلاعاتی ارائه خواهد شد.

سمینار تخصصی برگزار شده:

کارگاه آموزشی ۶ ساعته با عنوان " طراحی، اجرا وآزمون استفاده از شمعهای انرژی با تکیه بر صنعت برق" در سی و سومین کنفرانس بین‌المللی برق در تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۳۰ توسط امیر اکبری گرکانی، عضو هیات علمی گروه پژوهشی سازه های صنعت برق

- مقالات ژورنالی ISI

[1] **A. A. Garakani**, S. M. Haeri, D. Yazdani, F. A. Givi, M. Kabiri, A. H. Hashemi, N. Chiti and F. Ghahremani, (2018) "Effect of road salts on the hydro-mechanical behavior of unsaturated collapsible soils", Elsevier, Transportation Geotechnics, Vol. 17 (Part A), pp. 77-90.

[2] S.M. Haeri, **A. A. Garakani**, H. R. Roohparvar, Ch. Desai, S.M.H.S. Ghafouri, K. Salemi, (2019), " Testing and Constitutive Modeling of Lime-Stabilized Collapsible Loess. *I: Experimental Investigations*", ASCE, International Journal of Geomechanics, Vol. 19, Issue 4 (April 2019)

[3] **A. A. Garakani**, S.M. Haeri, Ch. Desai, S.M.H.S. Ghafouri, B. Sadollahzadeh, and H. H. Senejani, (2019), " Testing and Constitutive Modeling of Lime-Stabilized Collapsible Loess. *II: Modeling and Validations*", ASCE, International Journal of Geomechanics, Vol. 19, Issue 4 (April 2019)

[4] **A. A. Garakani**, H. Sadeghi, S. Saheb and A. Lamei, (2018) "Bearing capacity of shallow foundations on unsaturated soils: A new analytical approach with 3D numerical simulations" ASCE, International Journal of Geomechanics, Under review.

[5] **A. A. Garakani**, A. Pirjalili and Ch. Desai, (2018) "An Analytical Model for Coefficient of Lateral So il Pressure in Unsaturated Soils" Canadian Geotechnical Journal, Under review.

- مقالات ژورنالی ISC

[1] Jafari, M.A.,Zekavati, A.A., " Calibration ofSafety Factor for Micropile in Transmission tower Foundations Based on Relative Reliability Approach", AUT Journal of Civil Engineering, Accepted on October 29, 2018

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

- **مقالات کنفرانسی**

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

[2] F. Jafarzadeh, **A. A. Garakani**, J. Maleki, M. Banikheir and R. Raeesi, (2018). "Sealing Performance of Silveh Embankment Dam Cutoff Wall Based on Instrumentation Measurements". Accepted for oral presentation in 83rd annual meeting of ICOLD, ATCOLD Hydro Engineering Symposium, Vienna, Austria

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

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

[۵] ذکاوتی، علی اصغر.، فیروزی، کیوان.، " امکان سنجی استفاده از ترکیب کراس آرم کامپوزیتی و مقره در خطوط انتقال فشارقوی "، سی و سومین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۹۷

[۶] جعفری، محمدعلی و گودرزی، محمد، (۱۳۹۷) ، " تعیین دوره بازگشت باد و یخ جوی برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو در شرایط استفاده از حریم هوایی "، سی و سومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، پژوهشگاه نیرو، مقاله **F-18-PTL-1110**

[۷] گودرزی، محمد، هدایتی، مریم و جعفری، محمدعلی، ، (۱۳۹۷) ، " مقاومسازی خطوط انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم هوایی با مطالعه موردی خطوط سیاهکلده-لنگرود و پره سر-گیلان"، سی و سومین کنفرانس بین المللی برق، تهران، پژوهشگاه نیرو، مقاله **F-18-PTL-1729**