

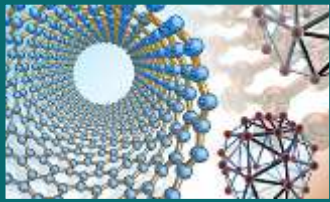


بروزهای تخصصی

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال چهارم، شماره ۶، بهار ۱۳۹۸



بهبود عملکرد مکانیکی و شرایط بتن با بهره‌مندی از مواد نانوساختار - آزاده کوردزی

کنترل های سازه‌ای در طراحی شمع های مارپیچ - امیر اکبری کرکافی، جعفر ملکی

گزارش مدیریتی پروژه سندانزایی و مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق - سلمان رضازاده

مقاوم سازی دکل های انتقال نیرو - علی اصغر دکاوتی، محمد علی جعفری صحنه سرانی

آزمون های پایش و کنترل عملکرد شمع های انرژی - امیر اکبری کرکافی، بهاره حیدری، سحر مختاری جوزانی

مقالات منتشر شده در کنفرانس های بین المللی و مجلات

پروژه‌ها و محورهای تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق

اخبار و جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➤ اعضای هیأت تحریریه:

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر آزاده گودرزی، دکتر امیر اکبری گرکانی، دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، مهندس علی‌اصغر ذکاوتی، مهندس سلمان رضازاده، مهندس علیرضا رهنورد

➤ اعضای هیأت داوران:

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر آزاده گودرزی، مهندس علی‌اصغر ذکاوتی، دکتر محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، دکتر امیر اکبری گرکانی

➤ اهداف و رویکرد:

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

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است. مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده بر عهده نویسندگان است.

➤ صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی

سر دبیر: دکتر آزاده گودرزی

مدیر اجرایی: دکتر آزاده گودرزی

گرافیکست و صفحه‌آرا: دکتر آزاده گودرزی، سرکار

خانم رفعت امینی

ویراستار: دکتر آزاده گودرزی، دکتر محمدعلی

جعفری صحنه‌سرائی، دکتر امیر اکبری گرکانی،

مهندس علی‌اصغر ذکاوتی

عکس روی جلد: دکتر آزاده گودرزی

➤ همکاران این شماره:

دکتر عسکر جانعلی‌زاده چوب‌بستی، دکتر آزاده

گودرزی، دکتر امیر اکبری گرکانی، دکتر محمدعلی

جعفری صحنه‌سرائی، مهندس علی‌اصغر ذکاوتی،

مهندس سلمان رضازاده

➤ ناشر:

نشانی الکترونیکی: estdept@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری،

پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

فهرست مطالب



۲

سخن مدیرمسئول / دکتر عسکر جانعلی زاده چوب بستی



۳

سخن سردبیر / دکتر آزاده گودرزی



مقالات پژوهشی

۴

بهبود عملکرد مکانیکی و شرایط بتن با بهره‌مندی از مواد نانو ساختار

۱۵

کنترل‌های سازه‌ای در طراحی شمع‌های ماریچ

۲۷

گزارش مدیریتی پروژه سند ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق

۳۹

مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو

۵۲

آزمون‌های پایش و کنترل عملکرد در شمع‌های انرژی



۶۸

مقالات منتشر شده در کنفرانس‌های بین‌المللی و مجلات



۷۴

پروژه‌ها و محورهای تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق



۸۰

جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سخن مدیر مسئول

در انجام کارهای تحقیقاتی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، تاکید و تمرکز به انجام پژوهش‌های آینده‌نگر و بکارگیری ظرفیت حداکثری دانشگاه‌ها و نخبگان برای ایده‌پروری و انجام پژوهش‌های نوآورانه عنوان. بخشی از مأموریت‌های اصلی تلقی می‌شود تا با بهره‌گیری از نقطه نظرات متخصصان و صاحب نظران و نیز همکاران بر ظرفیت‌های موجود پژوهشگاه نیرو بتوان هم در جهت برآوردن نیازهای صنعت برق کشور گام برداشت و هم به توانمندسازی و ارتقاء تخصصی تک‌تک اعضای محترم گروه جامعه عمل پوشاند. در قالب چنین رویکردی است که می‌توان محتوای پرونده تخصصی حاضر را بصورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱) بخش عمده فعالیت‌های تخصصی گروه از یک طرف معطوف به پروژه‌هایی از نوع "سیاست پژوهی"، "آینده پژوهی"، "آینده نگاری" و "آزمون ایده" است که مطابق با رویکردهای معاونت محترم پژوهشی تعریف و پس از طرح در کمیته تخصصی پروژه تصویب و انجام می‌شوند. از طرف دیگر از طریق تعامل همکاران محترم این گروه با معاونت‌ها، مراکز و طرح‌ها، همکاری‌های مشترکی در قالب مجری و مدیر طرح، مدیریت پروژه، نظارت و کارشناسی پروژه انجام می‌گیرد.

۲) در راستای مدیریت بر تحقیقات دانشگاه‌های کشور، گروه سعی نموده است از طریق برقراری ارتباط قومی و تخصصی و تعامل مؤثر با اساتید دانشگاهی بوئزده در قالب "شورای راهبردی"، "شبکه متخصصین"، "طرح اساتد" و "دانشجویان تحصیلات تکمیلی مشترک" پروژه‌های تحقیقاتی زیادی تعریف و به تصویب برساند. پیگیری‌های اخیر نشان می‌دهند که روند پیشرفت این طرح با تناسب با سرعت اولیه بوده و لازم است با همت و بزرگواری مسئولین مربوطه شتاب بیشتری پیدا کند.

۳) در زمینه توسعه آزمایشگاه سازه ارکان، اخیراً در جلسه هیئت رئیسه محترم طرح پیشنهادی "توسعه خدمات آزمایشگاه‌های سازه‌های انتقال" مطرح و مقرر گردید ضمن شروع عملیات اجرایی توسعه آزمایشگاه، طرح در گروه بصورت جامع‌تر بررسی شده و از زوایای مختلف تکمیل گردد و جهت تصویب نهایی ظرف حداکثر شش ماه به هیئت رئیسه ارائه گردد.

دکتر عسکر جانعلی زاده چوب‌بستی

مدیر گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سخن سردیر

پاس‌خدا می‌بزرگ را که توفیقی عنایت فرمود تا باری دیگر بتوانیم بخشی از مطالعات انجام شده و دستاوردهای پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق را در قالب این نشریه تقدیم علاقه‌مندان به این حوزه نماییم.

پژوهش، تحقیق، فناوری و فعالیت در جهت رفع نیازهای صنعت برق و انرژی کشور از اهداف گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق می‌باشد و امید است که بتوان بایاری خداوند متعال و حرکت در جهت اهداف بالادستی پژوهشگاه نیرو، به این مهم هرچه بیشتر دست یافت.

هدف از انتشار این شماره از برونداد تخصصی، ارائه‌ی قسمتی از فعالیت‌های پژوهشی اعضای محترم گروه و همچنین اخبار مرتبط با گروه در بازه‌ی زمانی زمستان ۹۷ و بهار ۹۸، می‌باشد. در این راستا، مقالاتی در ارتباط با مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو، بهره‌مندی از نانو مواد در بتن، کنترل‌های سازه‌های شمع‌های مارپیچ و شمع انرژی و همچنین گزارش‌های مدیریتی از سندان‌زیایی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های صنعت برق ارائه می‌شود. همچنین چکیده‌ای از مقالات ارائه شده توسط اعضای محترم گروه در کنفرانس‌های بین‌المللی و خلاصه‌ای از اخبار پروژه‌های جاری، تعریف پروژه‌های جدید و محورهای تخصصی گروه به همراه گزارش‌های از جلسات برگزار شده در این بازه‌ی زمانی، ارائه می‌شوند.

در انتها لازم میدانم از تمامی اعضای هیأت تحریریه این نشریه و عزیزانی که در تهیه این شماره همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

آزاده کوردزی

عضو هیأت علمی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

بهبود عملکرد مکانیکی و شرایط بتن با بهره‌مندی از مواد نانو ساختار

آزاده گودرزی^۱

چکیده: امروزه فناوری نانو دارای کاربردهای وسیعی در علوم و رشته‌های مختلف از پزشکی تا الکترونیک و صنعت ساختمان و سازه‌های مختلف می‌باشد. کنترل خواص مواد در مقیاس نانو و نیز کنترل اثرات فیزیکی و شیمیایی مربوطه، تولید مواد و مصالح کاربردی در سازه‌ها با کارایی بالا را ممکن می‌سازد، که این امر باعث ایجاد ارزش افزوده، افزایش دوام، ارتقاء سطح کیفیت و پایداری محیط زیست می‌شود. فناوری نانو به عنوان یک فناوری کلیدی و بین رشته‌ای، فرصت‌های زیادی را جهت ساخت و ساز مقاوم‌تر، منعطف‌تر، پایدارتر و مقرون به صرفه‌تر فراهم کرده است. فناوری نانو را می‌توان در حوزه‌های مختلفی در ارتباط با سازه‌های صنعت برق بکار برد. از میان این حوزه‌ها بکارگیری از مواد نانو ساختار در بهبود عملکرد سازه‌های و شرایط بتن از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله به مروری بر فعالیت‌های تحقیقاتی داخلی و خارجی انجام شده در راستای بهبود خواص مکانیکی بتن با استفاده از مواد نانو ساختار پرداخته می‌شود و دانش‌ها و فناوری‌های روز جهانی در این راستا معرفی می‌شوند.

کلیدواژه: نانو تکنولوژی، تکنولوژی بتن، سازه‌های بتنی صنعت برق

مقدمه

انقلاب فناوری نانو، تأثیر شگرفی بر زمینه‌های مختلف علمی، مهندسی و تجاری داشته است که از این جمله می‌توان به حوزه ساخت و ساز اشاره کرد. ویژگی‌های منحصر به فرد این مواد می‌تواند منجر به بهبود قابل ملاحظه در ویژگی‌هایی همچون قابلیت کاتالیز، رسانایی، استحکام مکانیکی و حسگری شده و امکان توسعه کاربردهایی همچون کاتالیزورها، ابزارهای الکترونیکی و ذخیره‌کننده انرژی، مواد پیشرفته مکانیکی و حسگرها را فراهم نماید. به دنبال کاربردهای فناوری نانو در صنایع زیست‌پزشکی و الکترونیک، اخیراً این فناوری در صنعت ساخت و ساز نیز مشخصات بنیادی مواد ساختمانی همچون استحکام، دوام و سبکی را

^۱ استادیار و عضو هیأت علمی، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، Agoodarzi@nri.ac.ir

بهبود بخشیده و همچنین توانسته است که ویژگی‌ها و کارکردهای مفیدی همچون عایق‌بندی حرارتی و خودپاک‌شوندگی را در آن‌ها ایجاد نمایند. با وجود قیمت نسبتاً بالای محصولات توانمند شده با نانو تکنولوژی، تمایل برای کاربرد آن‌ها در مواد ساختمانی به دلایلی از جمله، ایجاد ویژگی‌های ارزشمند مقاومتی و مکانیکی با اضافه کردن مقدار بسیار کمی افزودنی نانو مواد و کاهش قیمت نانومواد در اثر افزایش مقیاس تولید، افزایش بارزی را نشان می‌دهد، [۱،۲].

سند [۳]، نخستین گزارش از پتانسیل‌های بکارگیری نانومواد در صنعت ساخت‌وساز و مصالح

ساختمانی را ارائه کرده است که بندهای آن عبارتند از:

- تولید مواد و مصالح با خواص مکانیکی بالاتر و دوام و طول عمر بیشتر.
- تولید نانو حسگرها به منظور پایش سلامت سازه و محیط.
- تولید مواد خود ترمیم پذیر.
- تولید مصالح عایق حرارتی با عملکردی بالا.
- بکارگیری نانو مواد به منظور افزایش مقاومت و دوام کامپوزیت‌های سیمانی در عین کاهش تولید آلودگی.
- تولید فولادها و دیگر فلزات ارزان قیمت با خاصیت ضد خوردگی.
- تولید پوشش‌ها و لایه‌های نازک با قابلیت خود تمیزشوندگی و تغییر رنگ‌دهی خودکار به منظور کاهش مصرف انرژی.

بکارگیری نانومواد در سازه‌ها نه تنها موجب افزایش عمر و دوام آن‌ها شده، بلکه مقدار انرژی لازم برای

ساخت سازه‌ها را کم کرده و واکنش این سازه‌ها را نسبت به آتش، خوردگی، نفوذ آب، شکست، ترک و

سایر عوامل کنترل می‌کند [۱]. دو مکانیزم اساسی باعث ایجاد تفاوت در خصوصیات نانومواد نسبت به آن مواد در ابعاد بزرگتر می‌گردد. اول آنکه در مقیاس نانو، شرایط محیطی به شکل متداول بر ذرات ماده تاثیر نمی‌گذارند؛ در این مقیاس اثر جاذبه کمرنگ شده و نیروهای الکترواستاتیکی تاثیرگذار بوده و اثرات کوانتومی وارد عمل می‌شوند. از طرف دیگر به دلیل ابعاد نانویی ذرات، نسبت اتم‌های موجود در سطح ماده نسبت به اتم‌های داخلی موجود در حجم آن افزایش می‌یابد و اثرات مرتبط به این اتم‌های سطحی موجب پیدایش خواص جدیدی نسبت به حالات متداول ماده در ابعاد بزرگتر می‌گردد.

تکنولوژی بتن با بهره‌گیری از نانو تکنولوژی

بتن از پر کاربردترین مصالح ساختمانی است. ویژگی اصلی بتن ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن است. کاربرد بتن را می‌توان در تمامی امور عمرانی از قبیل ساختمان، مخازن و نیروگاه‌ها، سازه‌های دریایی مثل اسکله‌ها، جاده‌ها و راه‌ها، مسیرهای انتقال آب و سدها مشاهده کرد. بتن در مفهوم وسیع، به هر ماده یا ترکیبی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد گفته می‌شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان‌های هیدرولیکی و آب می‌باشد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بهبود کیفیت بتن انجام شده است که اکثر آن‌ها تغییر در ترکیب بتن (که به آن طرح اختلاط بتن گفته می‌شود) را بررسی کرده‌اند؛ با این حال استفاده از افزودنی‌ها و همچنین جایگزین کردن مصالح متداول مورد استفاده در بتن با مصالح جدید همیشه مورد توجه بوده است. گروهی از مواد جدید که توانسته‌اند خواص مکانیکی و فیزیکی بتن را ارتقا دهند، نانو مواد هستند. نانو مواد با توجه به خصوصیاتشان، در سطوح بسیار ریز می‌توانند دنیای بتن را کاملاً متحول کنند. نانو مهندسی شامل تکنیک‌های دستکاری ساختار در مقیاس نانومتری به منظور ایجاد نسل جدید و مناسب کامپوزیت‌های

سیمانی با رفتار مکانیکی ایده‌آل است و حتی می‌توان بتن با خواص جدیدی مثل مقاومت الکتریکی پایین، هوشمند بودن، خود تمیزکننده، خود ترمیم‌کننده، شکل‌پذیری بالا به وجود آورد. در ادامه منابع و مقالات داخلی و خارجی انجام شده پیرامون کاربرد نانومواد مختلف در ساختار خمیرها، ملات‌ها و یا کامپوزیت‌های بتنی بررسی شده است. تغییرات کارایی و خواص بتن تازه با استفاده از مواد نانو ساختار، تغییرات دوام و نفوذپذیری بتن با استفاده از مواد نانو ساختار، تغییرات مقاومت مکانیکی بتن با استفاده از مواد نانو ساختار، و تاثیر نانو ذرات بر واکنش قلیایی بتن از جمله عواملی هستند که برای بکارگیری نانوتکنولوژی در صنعت بتن مورد توجه قرار میگیرند.

مروری بر تحقیقات انجام شده برای استفاده از مواد نانو در بتن

در این مقاله، مرور جامعی بر روی تحقیقات داخلی و خارجی انجام شده در زمینه بهره‌مندی از مواد نانو ساختار در بتن انجام گرفت و اطلاعاتی شامل نانو ماده‌ی استفاده شده، میزان مواد افزوده شده و تأثیرات آن در شرایط بتن مورد جمع بندی قرار گرفت و به طور خلاصه در جدول ۱ تا ۵ ارائه گردیده است.

افزایش کارایی و کاهش زمان گیرش بتن

جدول ۱: تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی افزایش کارایی و کاهش زمان گیرش بتن با استفاده از مواد نانو ساختار

افزایش کارایی و کاهش زمان گیرش بتن			
مرجع	تأثیر و توضیحات	درصد بهینه ^۱	نانو ماده
[۴]	افزایش کارایی (در صورت حداقل نگاه داشتن فوق روان کننده)	٪۳	نانو اکسید سیلیس
[۵]	به همراه ۵ درصد میکروسیلیس	٪۵	
[۶]	کاهش زمان گیرش با افزودن مقدار نانو مواد	٪۰/۵ تا ٪۰/۲	نانو اکسید آهن
[۷]	افزایش سرعت گیرش اولیه	٪۰/۱ تا ٪۰/۴	نانو اکسید زیرکونیوم
[۸]	افزایش کارایی و مقاومت	٪۳/۲	نانو کربنات کلسیم
[۹]	تسریع در گیرش بتن	٪۰/۵ تا ٪۰/۲	نانو اکسید تیتانیوم
[۱۰]	تسریع در گیرش اولیه و ثانویه بتن	٪۰/۸	نانو اکسید گرافن

^۱ منظور از درصد، نسبت وزنی نانوماده مورد نظر به سیمان یا کل مواد چسبنده در داخل یک ملات یا بتن است.

افزایش مقاومت فشاری بتن

جدول ۲: تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی افزایش مقاومت فشاری بتن با استفاده از مواد نانو ساختار

افزایش مقاومت فشاری بتن			
مرجع	تاثیر و توضیحات	درصد بهینه	نانو ماده
[۱۱]	٪۱۳ افزایش مقاومت فشاری	٪۱	نانو اکسید سیلیس
[۱۲]	٪۸ افزایش مقاومت فشاری	٪۲	
[۱۳]	٪۳۱ افزایش مقاومت فشاری	٪۳	
[۱۴]	افزایش مقاومت فشاری	٪۳	
[۱۵]	افزایش مقاومت فشاری	٪۴	
[۱۶]	٪۱۸ افزایش مقاومت فشاری	٪۵	
[۱۷]	۳۰ درصد افزایش مقاومت فشاری	٪۳	نانو اکسید آلومینیوم
[۱۸]	٪۳۳ افزایش مقاومت فشاری	٪۱	
[۱۷]	بهبود مقاومت فشاری	٪۳	نانو اکسید آهن
[۱۹]	٪۱۵ افزایش مقاومت فشاری	٪۳	
[۲۰]	٪۱۸ و ٪۱۴ افزایش مقاومت فشاری به ترتیب برای دماهای ۲۱ و ۶ درجه سانتیگراد	٪۲	نانو اکسید زیر کونیوم
[۲۱]	افزایش مقاومت فشاری در کوتاه مدت	۵ تا ۱۰٪	نانو کربنات کلسیم
[۹]	افزایش مقاومت فشاری	٪۱	
[۲۲]	افزایش مقاومت فشاری	٪۱ تا ۹٪	نانو اکسید تیتانیوم
[۲۳]	افزایش مقاومت فشاری درازمدت	٪۱۰	نانو اکسید منیزیم
[۲۴]	افزایش مقاومت فشاری	٪۱۰	نانو رس ^۱
[۲۵]	٪۳۵ افزایش مقاومت فشاری	٪۲	
[۲۶]	افزایش مقاومت فشاری در حدود ٪۱۵ تا ٪۳۳	٪۰,۰۵	نانو نانولوله کربن
[۲۷]	٪۷۲ افزایش مقاومت فشاری ۷ روزه و ٪۵۹ مقاومت فشاری ۲۸ روزه با افزودن ٪۰,۰۶ گرافن	٪۰ تا ٪۰,۰۶	نانو اکسید گرافن

^۱ منظور از نانو رس عموماً یکی از شاخه‌های مهم آن یعنی نانوذرات متاکائولن است.

افزایش مقاومت خمشی بتن

جدول ۳: تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی افزایش مقاومت خمشی بتن با استفاده از مواد نانو ساختار

افزایش مقاومت خمشی بتن			
مرجع	تاثیر و توضیحات	درصد بهینه	نانو ماده
[۲۸]	۱۶٪ افزایش مقاومت خمشی	۲٪	نانو اکسید سیلیس
[۱۵]	افزایش مقاومت خمشی	۴٪	
[۲۹]	افزایش مقاومت خمشی	۱٪	نانو اکسید آلومینیوم
[۳۰]	افزایش مقاومت خمشی	۱٪	نانو اکسید آهن
[۳۱]	عمل آوری در آهک	۲٪	نانو اکسید روی
	عمل آوری در آب		
[۱۹]	۳۵٪ افزایش مقاومت خمشی	۳٪	نانو اکسید زیرکونیوم
[۳۲]	افزایش مقاومت خمشی	۱٪	نانو اکسید تیتانیوم
[۳۳]	بالاترین مقاومت خمشی با افزودن ۰/۰۸٪ و برای الیاف کوتاه‌تر، استفاده بیش از ۰/۰۸٪ در مقاومت خمشی موثر نمی‌باشد.	۰/۰۴۸، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۸	نانو لوله کربن
		۰/۰۱	
[۳۴]	۱۳٪ افزایش مقاومت خمشی	۰/۰۰۲٪	
[۳۵]	۱۵٪ افزایش مقاومت خمشی	۰/۰۱۵٪	نانو الیاف سلولزی
[۲۶]	۵۰٪ افزایش مقاومت خمشی	۰/۰۰۵٪	نانو اکسید گرافن

افزایش مقاومت کششی بتن

جدول ۴: تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی افزایش مقاومت کششی بتن با استفاده از مواد نانو ساختار

افزایش مقاومت کششی بتن			
مرجع	تاثیر و توضیحات	درصد بهینه	نانو ماده
[۱۲]	۳۷/۵٪ افزایش مقاومت کششی	۲٪	نانو اکسید سیلیس
[۱۸]	افزایش مقاومت کششی	۱٪	نانو اکسید آلومینیوم
[۳۶]	افزایش مقاومت کششی	۱٪ تا ۴٪	نانو اکسید آهن
[۱۹]	۱۷٪ افزایش مقاومت کششی	۳٪	نانو اکسید زیرکونیوم
[۳۷]	۴۰٪ افزایش مقاومت کششی	۰/۰۳٪	نانو اکسید گرافن

کاهش نفوذپذیری و بهبود ریزساختار بتن

جدول ۵: تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی کاهش نفوذپذیری و بهبود ریزساختار بتن با استفاده از مواد نانو ساختار

کاهش نفوذپذیری و بهبود ریزساختار بتن			
مرجع	تأثیر و توضیحات	درصد بهینه	نانو ماده
[۳۸]	۹۰٪ کاهش نفوذپذیری	٪۲	نانو اکسید سیلیس
[۳۹]	به همراه ۲/۵ درصد میکرو سیلیس افزایش مقاومت در برابر یخبندان	٪ ۲/۵	
[۱۴]	به همراه ۲/۵٪ نانو اکسید تیتانیوم، نمونه حداقل مقدار نفوذ یون کلر را داشت.	٪۲/۵	
[۴۰]	افزایش مقاومت در برابر باران اسیدی	٪۶	
[۱۵]	تأثیر بسیار زیاد در مقاومت در برابر حمله سولفاتی (۲ تا ۱۰ درصد موثر تر از تأثیر میکروسیلیس)	٪۸	
[۱۸]	بهبود ریزساختار بافت بتن	٪۱	نانو اکسید آلومینیوم
[۴۱]	افزایش تراکم بافت بتن و کاهش تخلخل	٪۵	
[۴۲]	کاهش نفوذپذیری آب، کاهش سرعت جذب و کاهش ضرایب جذب آب در تمامی سنین بتن	٪۰/۵ تا ٪۲	نانو اکسید آهن
[۳۶]	کاهش نفوذپذیری بتن و متراکم شدن بافت آن	٪۰ تا ٪۴	
[۴۳]	بهینه‌ترین مقدار برای بهبود ریزساختار و مقاومت کامپوزیت سیمانی	٪۳	
[۲۱]	متراکم شدن بافت بتن و مصرف بیشتر کریستال های هیدروکسی کلسیم	٪۲/۵	نانو کربنات کلسیم
[۴۴]	بهبود ریزساختار بتن	٪۰ تا ٪۲	نانو اکسید تیتانیوم
[۴۵]	افزایش تراکم بافت کامپوزیت‌های سیمانی	٪۱	نانو اکسید منیزیم
[۲۲]	افزایش مقاومت محلول و مقاومت گذردهی یون	٪۱ تا ٪۹	
[۴۶]	کاهش نرخ نفوذ یون کلر	٪۱۰، ٪۲۰	نانو رس
[۴۷]	افزایش مقاومت سولفاتی بتن برای دو نسبت آب به سیمان ۰/۵ و ۰/۶	٪۱۰	
[۴۸]	بهبود ریزساختار و افزایش تراکم (افزودن بیش از ۰/۰۲٪ موجب کلوخه شدگی الیاف شد)	٪۰/۰۲	نانو لوله کربنی
[۴۹]	کاهش ۲٪ تخلخل ملات سیمانی	٪۰/۵	
[۳۷]	کاهش ۱۳/۵٪ تخلخل و ۲۷٪ کاهش حجم منافذ مویرگی	٪۰/۰۳	نانو اکسید گرافن
[۱۰]	کاهش افت بتن و افزایش تراکم	٪۰/۰۸	

نتیجه‌گیری

در این پروژه با مطالعه جامعی که بر روی مقالات و تحقیقات داخلی و خارجی انجام گرفته در زمینه‌ی استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت بتن انجام شد، دانش‌ها و فناوری‌های به‌روز جهانی در ارتباط با بهبود ساختار و عملکرد مکانیکی بتن از جمله، افزایش کارایی و کاهش زمان گیرش بتن، افزایش مقاومت فشاری بتن، افزایش مقاومت خمشی بتن، افزایش مقاومت کششی بتن و کاهش نفوذپذیری و بهبود ریزساختار بتن با بهره‌مندی از مواد نانو ساختار مطالعه و بررسی شد. در جمع‌بندی تحقیقات انجام گرفته که به صورت جدولی در این گزارش ارائه شده است، نشان داده شده است که بکارگیری از مواد نانو ساختار در بتن می‌تواند منتج به بهبود خواص مکانیکی بتن و بهبود شرایط آن شود. در این جمع‌بندی، نوع نانو ماده‌ی مورد استفاده در تحقیقات و همچنین درصد بهینه‌ی این افزودنی‌ها و تاثیری که در خواص بتن دارد به صورت خلاصه گردآوری شد.

مراجع

- [1] Das, B., Mitra, A., "Nanomaterials for Construction Engineering-A Review", Vol. 2. 41-46, 2014.
- [۲] کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان. (۱۳۹۵).
- [3] Pacheco-Torgal, F. and S. Jalali, "Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials", Construction and Building Materials, 25(2): p. 582-590, 2011.
- [4] Wang, X.F., et al., "Effect of nano-SiO₂ on strength, shrinkage and cracking sensitivity of lightweight aggregate concrete", Construction and Building Materials, 175: p. 115-125, 2018.
- [5] Bernal, J., et al., "Fresh and mechanical behavior of a self-compacting concrete with additions of nano-silica, silica fume and ternary mixtures", Construction and Building Materials, 160: p. 196-210, 2018.
- [6] Nazari, A., et al., "Benefits of Fe₂O₃ nanoparticles in concrete mixing matrix", Journal of American Science, 6(4): p. 102-106, 2010.
- [7] Nazari, A. and S. Riahi, "The effects of ZrO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength self compacting concrete" Materials Research, 13(4): p. 551-556 2010.
- [8] Wu, Z., C. Shi, and K.H. Khayat, "Multi-scale investigation of microstructure, fiber pullout behavior, and mechanical properties of ultra-high performance concrete with nano-CaCO₃ particles" Cement and Concrete Composites, 86: p. 255-265, 2018.

- [9] Nazari, A., et al., "Assessment of the effects of the cement paste composite in presence TiO₂ nanoparticles" *Journal of American Science*, 6(4): p. 43-46, 2010.
- [10] Lu, Z., et al., "Early-age interaction mechanism between the graphene oxide and cement hydrates" *Construction and Building Materials*, 152: p. 232-239, 2017.
- [11] Kumar, D. and N. Sharma, "Study of Compressive Strength of Concrete Using Nano Silica" *Journal of Ceramics and Concrete Sciences*, 2016.
- [12] Gesoglu, M., et al., "Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica" *Construction and Building Materials*, 102: p. 706-713, 2016.
- [13] Aly, M., et al., "Effect of colloidal nano-silica on the mechanical and physical behaviour of waste-glass cement mortar" *Materials & Design*, 2012. 33: p. 127-135, 2012.
- [14] Mohseni, E., et al., "Single and combined effects of nano-SiO₂, nano-Al₂O₃ and nano-TiO₂ on the mechanical, rheological and durability properties of self-compacting mortar containing fly ash" *Construction and Building Materials*, 84: p. 331-340, 2015.
- [15] Arel, H.Ş. and B.S. Thomas, "The effects of nano-and micro-particle additives on the durability and mechanical properties of mortars exposed to internal and external sulfate attacks" *Results in physics*, 7: p. 843-851, 2017.
- [16] Ibrahim, M., et al., "Influence of nano-SiO₂ on the strength and microstructure of natural pozzolan based alkali activated concrete" *Construction and Building Materials*, 173: p. 573-585, 2018.
- [۱۷] اسماعیلی‌زاده، دشتی. اثرنانو ذرات بر ویژگی‌های بتن، وب سایت بتن ایران.
- [18] Jaishankar, P., Karthikeyan, C., "Characteristics of Cement Concrete with Nano Alumina Particles" in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2017.
- [19] Ruan, Y., et al., "Mechanical behaviors of nano-zirconia reinforced reactive powder concrete under compression and flexure" *Construction and Building Materials*, 162: p. 663-673, 2018.
- [20] Xu, Q.L., T. Meng, and M.Z. Huang. "Effects of nano-CaCO₃ on the compressive strength and microstructure of high strength concrete in different curing temperature" *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publ, 2012.
- [21] Camiletti, J., A. Soliman, and M. Nehdi, "Effects of nano-and micro-limestone addition on early-age properties of ultra-high-performance concrete" *Materials and structures*, 46(6): p. 881-898, 2013.
- [22] Song, S., et al., "The mechanical properties and electrochemical behavior of cement paste containing nano-MgO at different curing temperature" *Construction and Building Materials*, 164: p. 663-671, 2018.
- [23] Brooks, J. and M.M. Johari, "Effect of metakaolin on creep and shrinkage of concrete" *Cement and Concrete Composites*, 23(6): p. 495-502, 2001.
- [24] Li, Z. and Z. Ding, "Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag" *Cement and concrete research*, p. 579-584, 2003.
- [۲۵] امیرنادی "کاربرد نانولوله های کربنی به عنوان مواد افزودنی در مقاوم سازی ساختمان های بتنی". فصلنامه علمی تخصصی پژوهشی، ۱۳۹۴.
- [26] Pan, Z., et al., "Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide-cement composite" *Cement and Concrete Composites*, 58: p. 140-147, 2015.

- [27] Lv, S., et al., "Effect of GO nanosheets on shapes of cement hydration crystals and their formation process" *Construction and Building Materials*, 231-239, 2010.
- [28] Zhang, L., et al., "Study on the reinforcing mechanisms of nano silica to cement-based materials with theoretical calculation and experimental evidence" *Journal of Composite Materials*, 50(29): p. 4135-4146, 2016.
- [29] Nazari, A., et al., "Mechanical properties of cement mortar with Al₂O₃ nanoparticles" Vol. 6, 2010.
- [30] Nazari, A., et al., "The effects of incorporation Fe₂O₃ nanoparticles on tensile and flexural strength of concrete" *Journal of American Science*, 6(4): p. 90-93, 2010.
- [31] Nazari, A. and S. Riahi, "The effects of ZnO₂ nanoparticles on strength assessments and water permeability of concrete in different curing media" *Materials Research*, 14(2): p. 178-188, 2011.
- [32] Nazari, A., et al., "Improvement the mechanical properties of the cementitious composite by using TiO₂ nanoparticles". *Journal of American Science*, 6(4): p. 98-101, 2010.
- [33] Konsta-Gdoutos, M.S., Z.S. Metaxa, and S.P. Shah, "Multi-scale mechanical and fracture characteristics and early-age strain capacity of high performance carbon nanotube/cement nanocomposites". *Cement and Concrete Composites*. 32(2): p. 110-115, 2010.
- [۳۴] کشاورز، ر.، ا. محبی، ج. مرشدیان، " مطالعه رفتار مکانیکی و میکروساختار کامپوزیت بتن - نانولوله کربنی چند دیواره"، مجله تحقیقات مواد نانوکامپوزیتی.
- [35] Li, H. and h. Zhang, "Abrasion resistance of concrete containing nanoparticles for pavement" *Ou J-p., Wear*, 260- p. 1262-6, 2006.
- [36] Khoshakhlagh, A., A. Nazari, and G. Khalaj, "Effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability and strength assessments of high strength self-compacting concrete" *Journal of Materials Science & Technology*, 28(1): p. 73-82, 2012.
- [37] Gong, K., et al., "Reinforcing Effects of Graphene Oxide on Portland Cement Paste" *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(2), 2015.
- [۳۸] محمدی، صیف‌اللهی. " بررسی تأثیر نانو سیلیس بر خواص مکانیکی مقاومت فشاری و نفوذپذیری بتن غلتکی در سدها" نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی، ۱۳۹۴.
- [39] Massana, J., et al., "Influence of nano- and micro-silica additions on the durability of a high-performance self-compacting concrete" *Construction and Building Materials*, 165: p. 93-103, 2018.
- [40] Mahdikhani, M., O. Bamshad, and M.F. Shirvani, "Mechanical properties and durability of concrete specimens containing nano silica in sulfuric acid rain condition" *Construction and Building Materials*, 167: p. 929-935, 2018.
- [41] Li, Z., et al., "Investigations on the preparation and mechanical properties of the nano-alumina reinforced cement composite" *Materials Letters*, 60(3): p. 356-359, 2006.
- [42] Nazari, A. and S. Riahi, "Assessment of the effects of Fe₂O₃ nanoparticles on water permeability, workability, and setting time of concrete" *Journal of Composite Materials*, 45 (8). 923-930, 2011.
- [43] Sikora, P., et al., "The Influence of Nano-Fe₃O₄ on the Microstructure and Mechanical Properties of Cementitious Composites" *Nanoscale research letters*, 11(1): p. 182, 2016.
- [44] Nazari, A. and S. Riahi, "The effects of TiO₂ nanoparticles on properties of binary blended concrete" *Journal of Composite Materials*, 45(11): p. 1181-1188, 2011.

- [45] Moradpour, R., et al., “The effects of nanoscale expansive agents on the mechanical properties of non-shrink cement-based composites: The influence of nano-MgO addition” *Composites Part B: Engineering*, 55: p. 193-202, 2013.
- [46] Poon, C.-S., S. Kou, and L. Lam, “Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete” *Construction and building materials*, 20(10): p. 858-865, 2006.
- [47] Al-Akhras, N.M., “Durability of metakaolin concrete to sulfate attack” *Cement and concrete research*, 36(9): p. 1727-1734, 2006.
- [48] Morsy, M., S. Alsayed, and M. Aqel, “Hybrid effect of carbon nanotube and nano-clay on physico-mechanical properties of cement mortar” *Construction and Building Materials*, 25(1): p. 145-149, 2011.
- [49] Nochaiya, T. and A. Chaipanich, “Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials” *Applied Surface Science*, 257(6): p. 1941-194, 2011.

کنترل‌های سازه‌ای در طراحی شمع‌های مارپیچ

امیر اکبری گرکانی^۱، جعفر ملکی^۲

چکیده: نحوه اجرای دکل‌های خطوط انتقال نیرو باید به گونه‌ای باشد تا در تمام طول عمر خط انتقال، از عملکرد قابل قبولی برخوردار باشند. تنوع شرایط ژئوتکنیکی در محل اجرای دکل‌های خطوط انتقال و توزیع موجب شده، استفاده از روش مناسب برای اجرای پی دکل‌ها یکی از چالش‌های این حوزه باشد. پی‌های عمیق (شمع‌ها) زمانی به کار گرفته می‌شوند که لایه‌ی خاک‌های سطحی زیر سازه از نظر باربری ضعیف باشند و در عمق، مصالح خاکی با مقاومت بیشتر قرار گرفته باشد. در سال‌های اخیر استفاده از نوع دیگری از شمع‌های عمیق به نام شمع‌های مارپیچ به دلیل ویژگی‌های منحصر بفرد آن رو به افزایش است. از جمله‌ی این ویژگی‌ها این است که شمع‌های مارپیچ را می‌توان به صورت افقی و یا با هر زاویه‌ی دلخواه نصب کرد. این شمع‌ها علاوه بر مقاومت فشاری، دارای مقاومت کششی نسبتاً قابل توجهی می‌باشند که این امکان را فراهم می‌سازد تا از آن‌ها بتوان به عنوان تکیه‌گاه اعضای کششی در دکل‌های انتقال و سازه‌های دیگر استفاده نمود. در این گزارش به قسمتی از کنترل‌های سازه‌ای در طراحی شمع‌های مارپیچ که عمدتاً به طرح سر شمع در گروه شمع‌های مارپیچ و کنترل سازه شمع مارپیچ مرتبط می‌شود، پرداخته خواهد شد.

کلیدواژه: خطوط انتقال برق، گروه شمع مارپیچ، قطر صفحه مارپیچ، قطر شافت فولادی، کلاهک بتنی شمع.

مقدمه

برای طراحی شمع‌های مارپیچ، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های مختلف توصیه‌هایی برای کنترل قطر شفت و قطر صفحه‌ی مارپیچ در نظر می‌گیرند که بهتر است پیش از آنالیز از لحاظ آیین‌نامه‌های طراحی شمع و آیین‌نامه‌های فولادی کنترل شوند. همچنین مسئله‌ی مهم دیگر، طراحی کلاهک شمع مارپیچ است که باید الزامات آیین‌نامه‌ای آن در نظر گرفته شود. ذیلاً موارد فوق‌الذکر به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

^۱ استادیار و عضو هیات علمی، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، aakbari@nri.ac.ir

^۲ کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شریف تهران

طراحی کلاهک شمع‌های ماریچ

در این بخش به بحث طراحی کلاهک شمع‌های ماریچ براساس استاندارد ACI پرداخته می‌شود. اندازه و کلاهک بتنی در درجه‌ی اول تابع مقاومت برشی بتن است. مقدار نسبت فولاد مسلح کننده مورد نیاز برای خمش معمولاً با مقدار حداقل آیین‌نامه‌ای کنترل می‌شود. اندازه‌ی صفحات فولادی باربری شمع ماریچ با استفاده از مقاومت باربری بتن بدست می‌آید. مقاومت برشی بتن و مقاومت فشاری بتن الزامات مهمی در طراحی شمع‌های ماریچ می‌باشند، [۱].

گسیختگی برشی کلاهک بتنی شمع زمانی اتفاق می‌افتد که چسبندگی سیمانی و اصطکاک بین دانه‌ها از بین برود. ترک کلاهک و حرکات جانبی در راستای صفحه مشترک شکست اتفاق می‌افتد. کلاهک شمع بتنی باید برای برش تیر (یکطرفه) و برش منگنه‌ای کنترل می‌شود. دو رویکرد طراحی برای آنالیز مقاومت برشی بتن وجود دارد. رویکرد اول بر اساس استاندارد ACI318 است. برای طراحی اسمی بتن مسلح با کنترل یکطرفه و دو طرفه به ترتیب از معادلات ۱ و ۲ به شرح زیر استفاده می‌شود [۱ و ۲]:

$$\phi V_n = \phi 2\sqrt{f'_c} b_0 d_s \quad (1)$$

$$\phi V_n = \phi 4\sqrt{f'_c} b_0 d_s \quad (2)$$

ϕ = ضریب مقاومت

f'_c = مقاومت فشاری بتن

b_0 = محیط مقطع برش بحرانی

d_s = عمق فولاد مسلح کننده

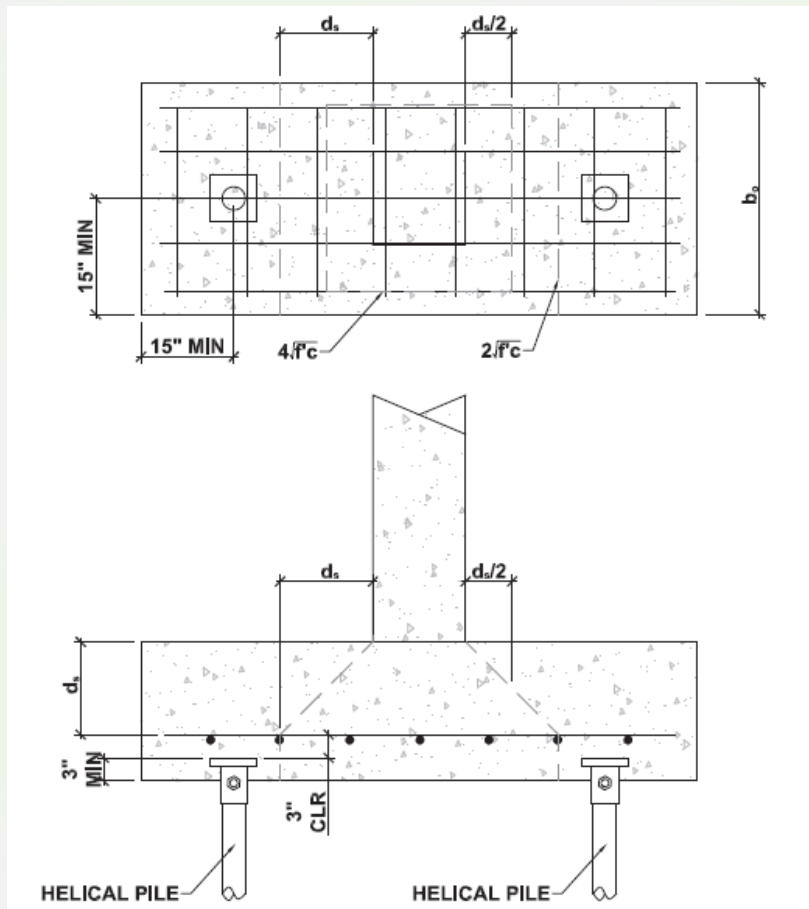
که در آن، ϕ برای فولاد مسلح ۰/۷۵ است. معادلات ۱ و ۲ به واحد حساس هستند و باید با توجه به

رابطه‌ی بالا از واحد پوند و اینچ استفاده نمود.

پارامتر b_0 طول یا محیط مقطع برش بحرانی است. جزئیات بالای شکل ۱ نشان دهنده‌ی نمای پلان کلاهک شمع می‌باشد. برش یکطرفه کلاهک شمع به وسیله‌ی خط تیره در فاصله‌ی d_s از ستون بیان شده است. در این مورد، b_0 برابر با عرض کلاهک شمع است. برش دوطرفه کلاهک شمع به وسیله‌ی خط تیره در فاصله $d_s/2$ از ستون بیان شده است. در این مورد b_0 محیط مربعی است که با خط تیره نشان داده شده است. جزئیات نشان داده شده در پایین شکل ۱ نمای از روبه‌روی کلاهک شمع است که صفحات برش یکطرفه و دوطرفه، که از ستون با زاویه‌ی ۴۵ درجه ادامه پیدا می‌کند را نشان می‌دهد. این جزئیات برای شمع‌های مارپیچ فقط در فشار است.

موسسه ^۱CRSI در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد کرد حداقل فاصله از لبه‌های کلاهک تا مرکز شمع، برای شمع‌هایی با بار طراحی کمتر از ۴۳۰ کیلونیوتن باید ۳۸۱ میلیمتر باشد. CRSI همچنین بیان می‌کند برای ایجاد مهار مناسب برای فولاد مسلح کننده و جلوگیری از گسیختگی حالت برشی باید قلاب تعبیه کرد. برش تیر عمیق باید به جای برش یکطرفه برای شمع‌هایی که در فاصله‌ی نزدیکتر از d_s از ستون قرار دارند کنترل شود. نمونه محاسبات انجام شده در موسسه CRSI شامل ارزیابی برش دوطرفه در اطراف شمع‌ها نمی‌شود. آنها بر این باورند که برش دوطرفه اطراف ستون و برش یکطرفه کلاهک شمع طراحی را کنترل می‌کند. در استاندارد ACI318 داشتن حداقل مساحت فولاد برشی برای اعضای تحت خمش برای کلاهک شمع الزامی نیست و از این بند معاف است. طراحان باید برای کلاهک پوششی چند شمع که نیاز به طراحی برای خمش قابل توجه را دارد محافظه‌کارانه عمل کنند. برای بعضی کلاهک‌ها، محتاطانه است طراحی را برای حداقل آرماتور خمشی انجام دهیم.

¹ Concrete Reinforcing Steel Institute



شکل ۱: نمای کلاهک شمع‌های بتنی

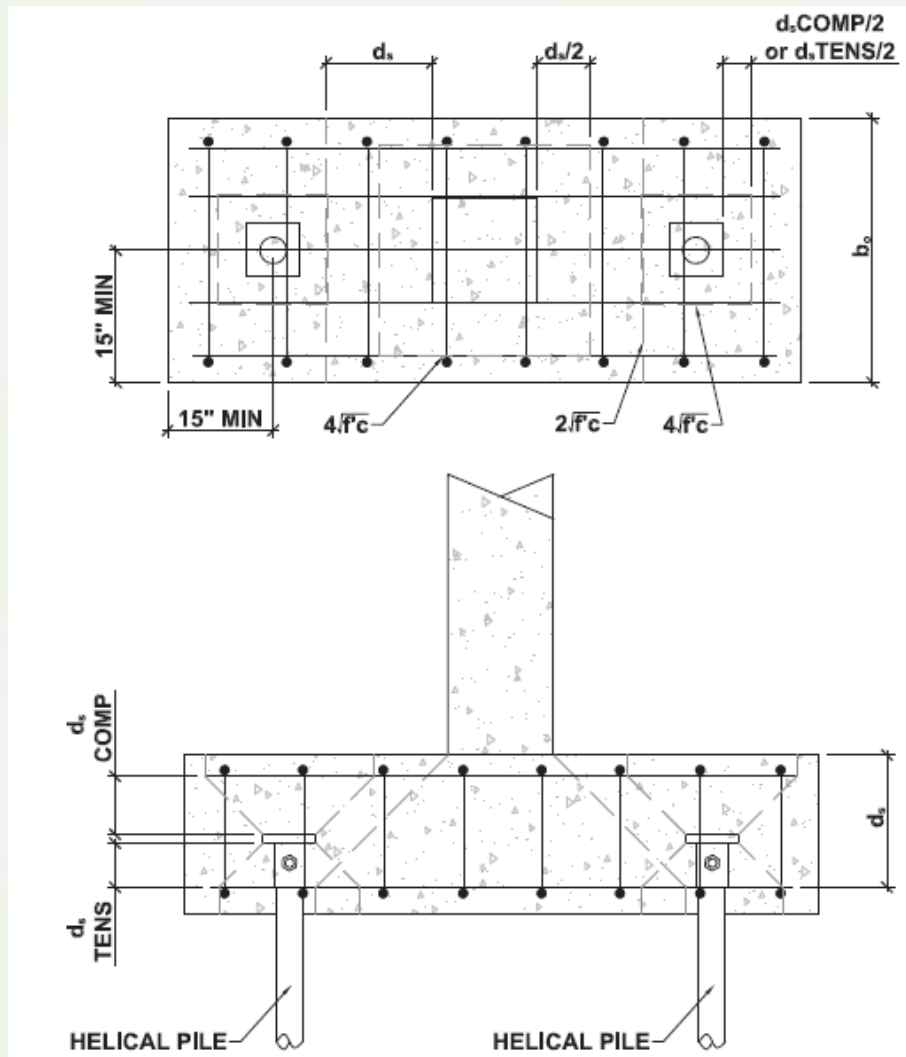
رویکرد دوم طراحی برای آنالیز مقاومت برشی در کلاهک شمع بتنی بر اساس بتن مسلح سنگین با آرماتور برشی است. جزییات آرماتور برشی به طور معمول همراه با نوارهای طراحی در دو جهت کلاهک شمع است. این روش در طراحی کلاهک شمع به جز طراحی برای نمونه‌هایی با بارهای بسیار زیاد کمتر متداول است. استفاده از نوارهای طراحی حداقل در یک جهت در طراحی تیر و پی دیوارهای باربری که مستقیم بر روی شمع ماریچ قرار دارد، بسیار معمول است. زمانیکه از آرماتورهای برشی استفاده می‌شود، مقاومت برشی فولاد می‌تواند شامل محاسبات مقاومت شود. استاندارد ACI318 دستورالعمل و معادلات نسبتاً واضحی را برای فولاد برشی حداقل و مقاومت برشی طراحی فراهم می‌کند، [۱].

یک کلاهک شمع مسلح شده سنگین در شکل ۲ نشان داده شده است. این شمع مارپیچ از آنچه در شکل ۱ نشان داده شده، از آن جهت که آرماتور مسلح کننده هم در بالا و هم در پایین استفاده شده است، متفاوت است. همانند شکل ۱، جزییات نشان دهنده‌ی برش یکطرفه در کلاهک شمع و برش دوطرفه در محیط اطراف ستون برابر است. در این مورد، دو کنترل برش باید در اطراف بیس پلیت شمع مارپیچ کنترل شود. مقدار b_0 همانند شکل قبل است. مقاطع برشی بحرانی برای فشار و کشش نشان داده شده است، [۲۱].

ابعاد صفحات مارپیچ

اولین علت برای محاسبه‌ی ظرفیت باربری تئوری شمع مارپیچ، طراحی ابعاد شمع مارپیچ براساس بار پیش‌بینی شده و شرایط سطح زمین است. برای محاسبه‌ی ابعاد صفحات مارپیچ ممکن است چندین سعی انجام شود تا ابعاد مناسب طراحی شود. روش‌های مختلفی در صنعت برای کمک به طراحان برای انتخاب مناسب ابعاد وجود دارد. هم‌چنین چارت‌های طراحی برای تخمین اندازه‌ی اولیه صفحات مارپیچ وجود دارد. طراحی فاصله‌ی صفحات از یکدیگر با کمک حالت حدی به وسیله‌ی روش ظرفیت باربری انفرادی انجام می‌شود. فشار باربری نهایی با استفاده از عدد SPT برای خاک‌های ریزدانه، درشت‌دانه و سنگ بستر هوازده بدست می‌آید. با استفاده از این روش، ظرفیت باربری چندین شکل از صفحات باربری مارپیچ در شکل‌های ۳ الی ۵ نشان داده شده است. در هر سه نمودار محور Y نشان دهنده‌ی ظرفیت نهایی صفحات مارپیچ و محور X عدد SPT را نشان می‌دهد. هر خط در نمودار نشان دهنده‌ی ظرفیت نهایی پیش‌بینی شده برای هندسه‌ی شمع مارپیچ در عدد SPT های مختلف است. انتخاب اولیه‌ی شمع مارپیچ با کشیدن یک خط افقی از ظرفیت نهایی مورد نیاز و یک خط عمودی از عدد SPT خاک مورد نظر یا سنگ بستر هوازده بدست می‌آید. محل برخورد این دو خط پیکربندی شمع مارپیچ را نشان می‌دهد. ظرفیت باربری نهایی نشان داده شده در نمودارها

به طراحان اجازه می‌دهد ضریب اطمینان مناسبی را با توجه به اهمیت پروژه، تجربه‌ی طراح، شرایط محل، اعتماد به اطلاعات بدست آمده از شرایط خاک منطقه و عملکرد شمع ماریچ انتخاب کنند [۱].

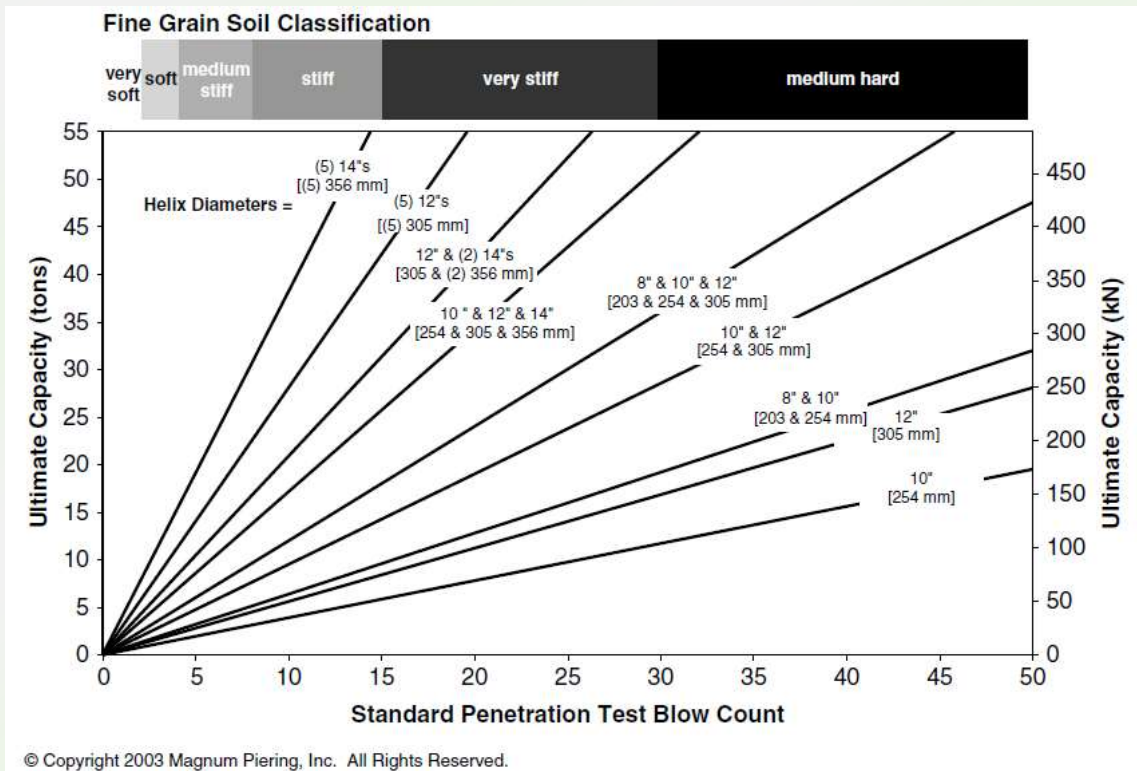


شکل ۲: کلاهک شمع بتنی مسلح شده

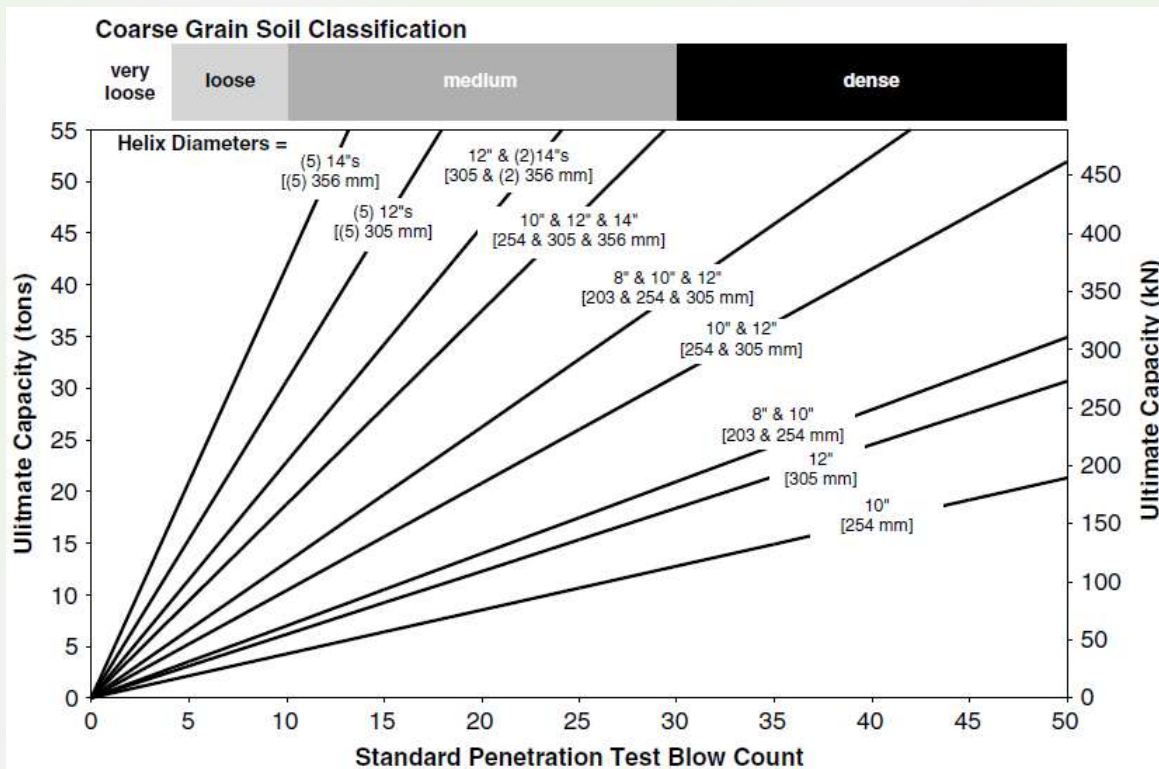
کنترل قطر شفت

برای کنترل قطر شفت باید مقدار قطر در نظر گرفته شده برای شفت را از ضخامت خوردگی استاندارد کم

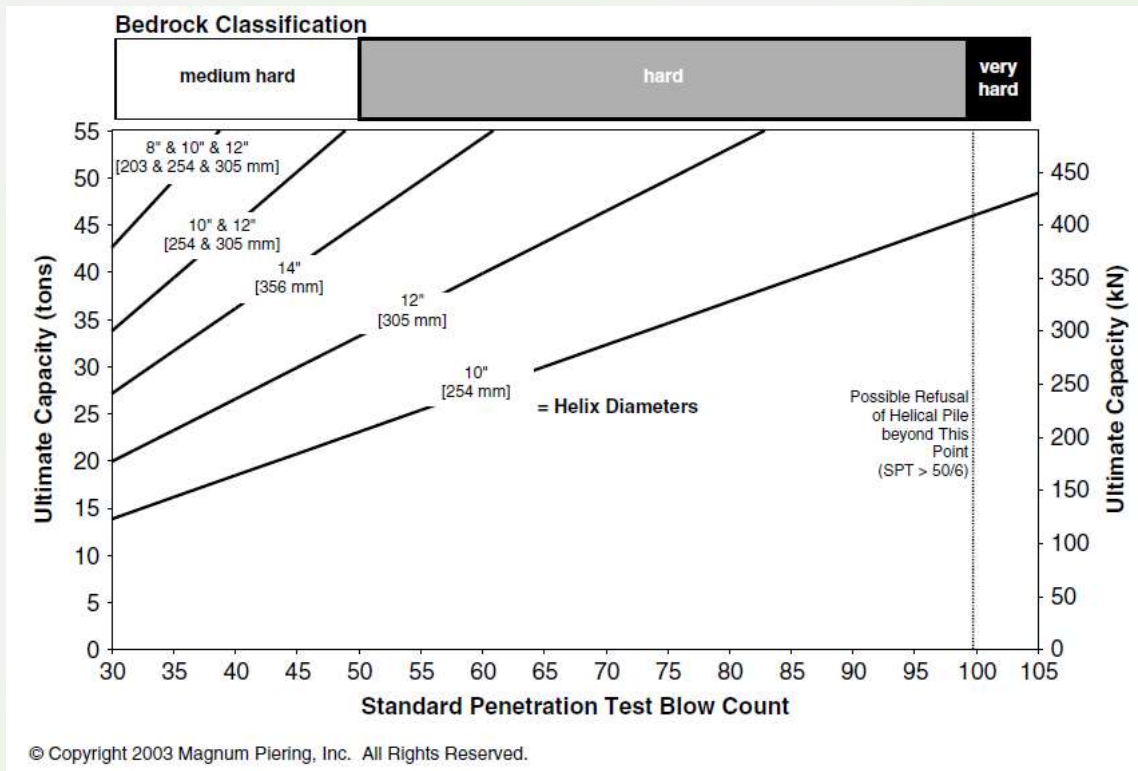
کرده و با معادلات ۶ و ۷ کنترل نمود، [۳]:



شکل ۳: پیکربندی شمع مارپیچ در خاک ریزدانه



شکل ۴: پیکربندی شمع مارپیچ در خاک دانه‌ای



شکل ۵: پیکربندی شمع مارپیچ در سنگ بستر هوازده

$$OD = D_{shaft} - 2 \times 1.6 \quad (۳)$$

$$OD = \text{قطر خارجی}$$

$$D_{shaft} = \text{قطر شفت}$$

$$ID = D_{shaft} - 2 \times 1.6 \quad (۴)$$

$$ID = \text{قطر داخلی}$$

$$A_{shaft} = \frac{\pi}{4} (OD^2 - ID^2) \quad (۵)$$

$$A_{shaft} = \text{مساحت شفت}$$

$$P_{t \text{ allowable}} = 0.55 F_y A_{shaft} \quad (۶)$$

$$P_{t \text{ allowable}} = \text{نیروی مجاز کشش سر شمع}$$

$$P_{c \text{ allowable}} = 0.47 F_y A_{shaft} \quad (۷)$$

$$P_{c \text{ allowable}} = \text{نیروی مجاز فشاری سر شمع}$$

کنترل کمانش شفت برای محاسبه‌ی طول شفت

در ستون‌ها معمولاً کمانش بار فشاری مجاز ستون را تعیین می‌کند. در شمع‌های مارپیچ برخلاف ستون‌های سازه شفت شمع توسط خاک اطراف حمایت می‌شود بنابراین می‌توان بار بحرانی کمانش در شمع‌های مارپیچ را بیش از بار بحرانی ستون در نظر گرفت. به عنوان یک راهنمای عملی، برای خاک‌هایی با عدد SPT (در استاندارد ASTM D-1586) بزرگتر از ۴ در طول مدفون شده‌ی خاک، طول شمع می‌تواند در مقابل کمانش مقاومت کند. برای استفاده از این راهنمایی، توجه به این نکته ضروری است که در این شرایط نباید بار افقی یا ممان خمشی به سر شمع وارد شود. برای خاک‌های ضعیف یا خاک‌هایی که شرایط بند قبلی را ندارند، آنالیز کمانش را می‌توان با استفاده از روش Davission یا به کمک نرم‌افزار LPILE انجام داد [۴].

آنالیز کمانش با استفاده از روش Davission

راه‌حل روش Davission برای شرایط مرزی متفاوت ارائه شده است. فرض می‌شود بار محوری در شمع ثابت است که موجب می‌شود هیچ انتقال باری از طریق اصطکاک بدنه اتفاق نیفتد.

$$P_{cr} = U_{cr} E_p I_p / R^2 \quad (8)$$

$$R = \sqrt[4]{E_p I_p / k_h d} \quad (9)$$

$$I_{max} = L/R \quad (10)$$

P_{cr} = بار کمانش بحرانی

E_p = مدول الاستیسیته پی شفت

I_p = مدول الاستیسیته پی شفت

k_h = مدول عکس‌العمل زیرسطحی

d = قطر شفت پی

L = طول شفت پی جاییکه k_h ثابت است

U_{cr} = نسبت بی‌بعد

با فرض ثابت بودن K_h برای خاک‌های مشخص برای اندازه‌گیری R و با استفاده از شکل ۶ برای

اندازه‌گیری U_{cr} معادله ۱۰ را می‌توان برای محاسبه‌ی بار بحرانی کمانش حل کرد. مقدار معمول برای K_h در

جدول ۱ آمده است، [۴].

جدول ۱: مقادیر مشخص K_h

Soil Description	Modulus of Subgrade Reaction (k_h) (pci)
Very soft clay	15 - 20
Soft clay	30 - 75
Loose sand	20

آنالیز کمانش با استفاده از روش تفاضل محدود

راه دیگر برای ارزیابی بار کمانش شمع‌های مارپیچ در خاک، مدل‌سازی براساس مفهوم Winkler کلاسیک

است. در این روش فرض بر آن است که شفت بر روی یک پی الاستیک قرار دارد که نه تنها بار جانبی بلکه

نیروی فشاری بر روی مرکز ثقل شفت عمل می‌کند و منجر به معادله‌ی دیفرانسیلی زیر می‌شود [۵]:

$$EI \left(\frac{d^4 y}{dx^4} \right) + Q \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) + E_s y = 0 \quad (11)$$

y = جابه‌جایی جانبی شفت در نقطه x در امتداد طول شفت

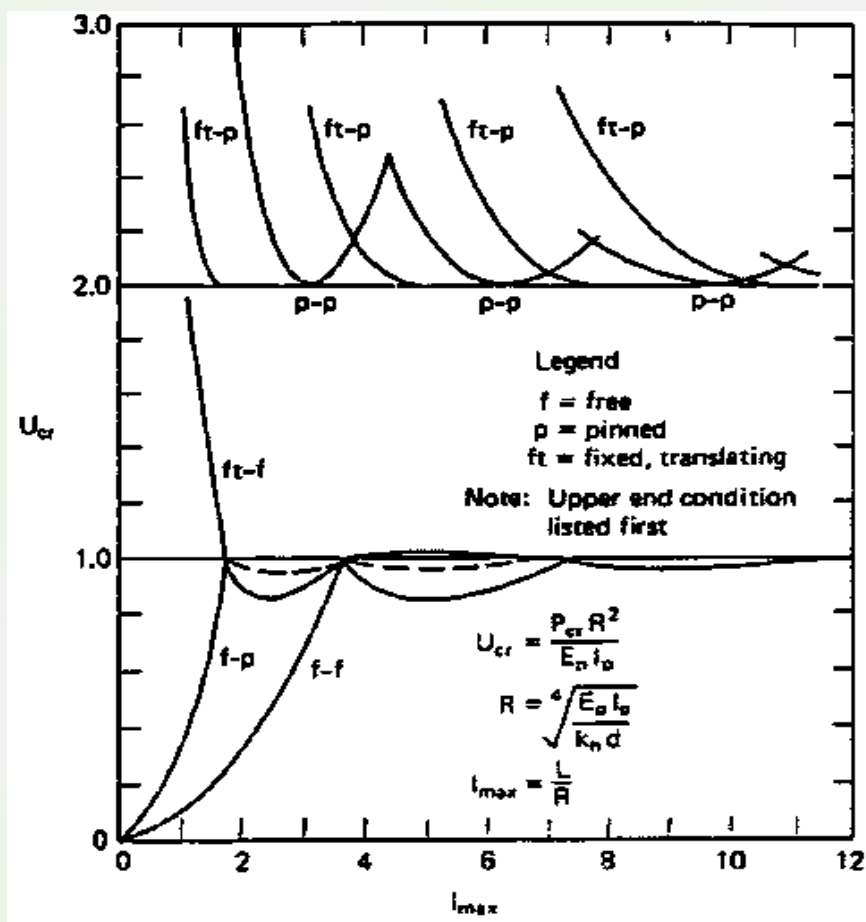
x = فاصله در امتداد محور یعنی در طول شفت

EI = سختی خمشی پی شفت

Q = بار فشاری محوری پی شمع مارپیچ

$E_s y$ = عکس‌العمل خاک در هر طول واحد

E_s = مدول سکانت منحنی پاسخ خاک



شکل ۶: راه‌حل روش Davission برای شرایط مرزی متفاوت

جمله‌ی اول معادله متناظر با معادله برای تیر تحت اثر بار انتقالی است. جمله‌ی دوم بیان‌کننده‌ی اثر بار فشاری محوری است و جمله‌ی سوم اثر عکس‌العمل خاک را نشان می‌دهد. برای خاک‌هایی که خواص آن در عمق تغییر می‌کند، این معادله با استفاده از روش‌های عددی مانند روش اجزا محدود و تفاضل محدود حل می‌شود. بسیاری از نرم‌افزارهای کامپیوتری تجاری، شفت‌های تحت اثر بارهای محوری، بارهای جانبی و ممان‌های خمشی را به خوبی حل می‌کنند، [۴].

آنالیز کماتش با استفاده از روش اجزا محدود

با استفاده از نرم‌افزارهای اجزا محدود می‌توان بار کماتش را برای پی شمع‌های مارپیچ محاسبه کرد. یکی از این ابزارهای طراحی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS است که این روش از مدل غیرخطی محدود شده خاک برای شبیه‌سازی مقاومت خاک بدون افزایش زمان حل در مدل کاملاً غیرخطی استفاده می‌کند. این مدل بسیار پیچیده‌تر از مدل الاستیک پی است و می‌تواند از انواع خاک و لایه‌های خاک تشکیل شود.

نتیجه‌گیری

بدلیل اینکه شمع‌های مارپیچ غالباً بصورت گروه شمع در زیر پایه‌های دکل ها استفاده می‌گردند، ضروری است که کنترل‌های مربوطه جهت طراحی کلاهدک گروه شمع‌ها انجام گردد. به همین منظور می‌توان براساس گراف‌های موجود در منابع معتبر، تخمین اولیه مناسبی از تعداد صفحات، قطر صفحات و قطر شافت این شمع‌ها داشت و سپس براساس توصیه مراجع معتبر، فاصله مناسب شمع‌ها را به‌منظور طراحی کلاهدک بتنی برای گروه شمع محاسبه و کنترل نمود. در این گزارش، به روابط و داده‌های مورد نیاز جهت نیل به این هدف اشاره شده است.

مراجع

- [1] Perko, H. A., "A Practical Guide to Design and Installation". John Wiley & Sons, 2009.
- [2] Nabizadeh, F., Choobbasti, A.J., "Field study of capacity helical piles in sand and silty clay," Transp. Infrastruct. Geotechnol., vol. 4, no. 1, pp. 3-17, 2017.
- [3] Nabizadeh, F., Choobbasti, A.J., "Laboratory and Field Study of the Performance of Helical Piles in Sandy Soil," 2016.
- [4] "Helical Screw Foundation System Design Manual for New Construction," 2003.

گزارش مدیریتی پروژه سند ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق

سلیمان رضازاده^۱

چکیده: زمین‌لرزه پدیده‌ای است که در آن لرزش ناگهانی و کوتاه مدت پوسته زمین اتفاق می‌افتد. دلیل بروز این لرزش، آزاد شدن ناگهانی انرژی در پوسته زمین می‌باشد. در هنگام وقوع زمین‌لرزه، امواج لرزه‌ای از منبع زمین‌لرزه تولید شده و به سرعت در پوسته زمین پخش می‌شوند و زمانی که این امواج لرزه‌ای به سطح زمین می‌رسند، سبب لرزش سطح آن می‌شوند. قدرت و مدت زمان این لرزش به بزرگی زمین‌لرزه، موقعیت محل مورد نظر و ویژگی‌های سایت مربوطه بستگی دارد. در این گزارش، به شرح میزان خرابی‌های ایجاد شده ناشی از مخاطره در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق پرداخته خواهد شد. در یک دسته‌بندی کلی این گزارش به دو بخش زلزله‌های سایر کشورها و ایران تقسیم‌بندی شده است. در این گزارش انواع مدهای خرابی سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق به تفکیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت و سطح خرابی آن‌ها طبقه‌بندی می‌گردد. در ادامه آن فراوانی وقوع هر یک از مدهای خرابی به دست آورده شده و برای استفاده از این داده‌ها در بخش‌های آتی پروژه نیاز به جمع‌بندی داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده می‌باشد.

کلیدواژه: ارزیابی لرزه‌ای، مقاوم‌سازی لرزه‌ای، سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق

مقدمه

در این بخش، توجیه‌پذیری ضرورت ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور با شناسایی و مطالعه پارامترهای دخیل و عوامل تاثیرگذار مرتبط با مخاطره زلزله بر صنعت برق، میزان نیاز صنعت برق به ارزیابی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای بررسی می‌گردد. در بررسی عوامل مخرب ناشی از زلزله در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق، افق زمانی کوتاه مدت و بلند مدت مد نظر قرار می‌گیرد. تحلیل توجیه‌پذیری مطالعات فوق‌الذکر در این بخش، بر اساس بررسی ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست محیطی و قانونی صورت گرفته و ارائه شده است.

^۱ کارشناس پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق، srezazadeh@nri.ac.ir

توجه پذیری فنی

پدیده زلزله، در طول زندگی بشر باعث بروز خسارات مالی و جانی بسیار زیادی شده است. به طور میانگین سالانه هزاران نفر در سرتاسر جهان به دلیل بروز زلزله جان خود را از دست می‌دهند. مناطق بسیاری در سرتاسر جهان تحت اثر خطرات ناشی از زلزله قرار دارند. کشور ما نیز یکی از لرزه‌خیزترین کشورهای جهان می‌باشد. به نحوی که هر چند سال یکبار زمین‌لرزه‌ای با تعداد صدها و یا حتی ده‌ها هزار نفر کشته اتفاق می‌افتد. علاوه بر این کشور ما یک کشور در حال توسعه محسوب می‌شود که سازمان‌های دفاع غیر نظامی آن نیاز به تقویت داشته و اقتصاد کشور توانایی ایستادگی در مقابل بار عظیم مالی خسارت ناشی از زلزله را ندارد.

حادثه طبیعی ناگوار زمانی تبدیل به یک بلا می‌شود که موجب تحمیل تلفات و خساراتی به جوامع و فعالیت‌های انسانی گردد. اگر چه نمی‌توان از وقوع زلزله جلوگیری کرد اما می‌توان آثار و عواقب فاجعه‌آمیز آن را به کمک برنامه‌ریزی‌های قبلی و آمادگی برای انجام اقدامات اضطراری کاهش داد.

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

در این گزارش به طور خاص، شناسایی پدیده زلزله به عنوان عامل ایجاد کننده خرابی در سامانه ها، تجهیزات و سازه های بخش های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) و تعیین ضرورت ارزیابی و مقاوم سازی آن ها، مورد نظر می باشد. عدم شناسایی این پدیده و بالتبع آن عدم وجود آمادگی به منظور پیش بینی و مقابله با آن می تواند منجر به بروز خرابی های متعدد در سامانه ها، تجهیزات و سازه ها شود که علاوه بر ایجاد خسارات مستقیم ناشی از تخریب ها و نیز توقف خدمت رسانی، باعث ایجاد زیان های انسانی و صدمات جانی نیز می گردد. بر این اساس و با توجه به پی آمدهای خرابی ها و خسارات، تدوین سند ارزیابی و مقاوم سازی لرزه ای سازه ها و تجهیزات صنعت برق امری واضح است. علاوه بر این، در همین راستا سندهای مربوط به شناسایی مخاطره زلزله، پهنه بندی خطر آن در کلیه نقاط کشور و پیش بینی شدت وقوع آن در حال انجام می باشد. بسیاری از خرابی های اتفاق افتاده ناشی از زلزله در صنعت برق، در صورت شناسایی میزان خطر و شدت ناشی از زلزله و اتخاذ تدابیر مناسب از قبیل طراحی و اجرای مناسب، مقاوم سازی، بهسازی و غیره در مورد سازه های مربوطه قابل پیشگیری می باشد. بدین ترتیب می توان از وقوع خسارت گسترده ناشی از فروپاشی و خرابی جزئی و کلی سازه ها جلوگیری حین زلزله کرد.

با توجه به حصول دانش و داده های جدید و تجربیات زمین لرزه های اخیر، لزوم بازبینی و به روز رسانی مطالعات گذشته در کنار انجام مطالعات جدید بیشتر مشخص می شود. بر اساس موارد فوق الذکر انجام مطالعات سند ارزیابی و مقاوم سازی لرزه ای سازه ها و تجهیزات صنعت برق در صنعت برق دارای توجیه فنی بوده و ضرورت انجام آن مشخص می شود.

توجه‌پذیری اقتصادی

علاوه بر مزایای فنی، انجام مطالعات شناخت مخاطره زلزله و اثر آن بر سامانه‌ها، تجهیزات و سازه‌های صنعت برق دارای ضرورت‌های اقتصادی نیز می‌باشد. در ابتدا باید به این نکته توجه کرد که انجام خدمات عنوان شده در این سند از جنس فعالیت‌های مطالعاتی و اجرائی می‌باشد و مقاوم‌سازی سازه‌های و تجهیزات صنعت برق کشور را نیز شامل می‌شود. هم‌چنین نتایج به دست آمده از آن مستقیماً کاربرد عملی در صنعت برق دارد. مشخصاً هزینه انجام فعالیت‌های مطالعاتی در قیاس با سود حاصل از جلوگیری از وقوع بحران و کنترل خرابی در طیف وسیعی از سازه‌های صنعت برق و صنایع وابسته به آن، بسیار ناچیز می‌باشد. همین امر منطقاً ایجاب می‌کند که با اتخاذ یک رویکرد پیشگیرانه و یا کنترل‌کننده، از بروز خسارت کلان اقتصادی جلوگیری نمود.

توجه‌پذیری سیاسی اجتماعی

قطع خدمت رسانی صنعت برق به هر دلیل (شامل وقوع خرابی در سازه‌ها، تجهیزات و سامانه‌ها) دارای پیامدهای گوناگونی در سطوح مختلف تاثیر بر جامعه است. پیامدهای اجتماعی قطع برق نظیر توقف و اختلال در فعالیت‌های جاری و روزمره افراد و گروه‌ها، منجر به بروز ناهنجاری و نارضایتی در جامعه می‌گردد. به عنوان مثال در خلال بروز پدیده هجوم ریزگردها در سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان، با قطع آب و برق کل استان به حالت نیمه تعطیل درآمد. از نخستین ساعت‌های بامداد شنبه، ۲۳ بهمن ۱۳۹۵ خورشیدی، آب و برق در اغلب شهرهای بزرگ خوزستان قطع شد و مراکز آموزشی و اداره‌ها تعطیل شدند. گردوغبار شدید و رطوبت زیاد علت این وضعیت اعلام شد. در پی آن، جمعی از مردم اهواز در اعتراض به شرایط سخت و روزهای بحرانی اخیر خوزستان در اهواز تجمع کردند. در این تجمع مردم با بیان شعارهایی و در دست داشتن پلاکاردهای اعتراضی، اعتراض خود را به وضعیت قطعی آب و برق، نبود مدیریت مناسب در شرایط آلودگی

هوا و در شرایط بحرانی خوزستان و عملکرد ضعیف سازمان محیط زیست در رسیدگی به موضوع ریزگردها و بحث انتقال آب، اعلام و خواستار رسیدگی سریع به این موضوعات شدند.

گسترش قطع برق در ابعاد بزرگ استانی یا ملی (بلاک اوت) می‌تواند دارای پیامدهای زیان‌بار سیاسی نیز باشد. بر این اساس، قطع خدمت رسانی شبکه برق می‌تواند منجر به ایجاد یا تشدید شرایط بحرانی در بخش‌های مختلف جامعه گردد. از این منظر، کلیه اقداماتی که در راستای حفظ پیوستگی کارکرد شبکه برق بوده، از بروز خرابی‌ها و آسیب‌های محتمل جلوگیری نموده و به تداوم خدمت‌رسانی آن کمک نماید، می‌تواند در زمره اقدامات پیش‌گیرانه مدیریت بحران و هم‌چنین، پدافند غیر عامل لحاظ و توجیه گردد.

از طرف دیگر، در راستای مقاصد کلان صنعت برق در افق ۱۴۰۴ که ایران را سرآمد کشورهای منطقه در ارائه برق پاک و پایا و مطمئن در نظر می‌گیرد، و هم‌چنین اراده کلی صنعت برق برای صادرات برق به کشورهای همسایه به طور مطمئن و پایدار، جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس‌دهی صنعت برق به دلیل وقوع انواع خرابی‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. توسعه صادرات برق ایران به سایر کشورها با حفظ کیفیت و پایایی مناسب و قابل قبول می‌تواند منجر به افزایش قدرت اقتصادی و به تبع آن قدرت سیاسی کشور شده و جایگاه آن را در عرصه بین‌المللی تقویت نماید. از آنجا که شناخت و مقابله با تهدیدات مخرب زلزله بر سازه‌ها به طوری کلی در راستای افزایش قابلیت اطمینان تولید برق و رساندن آن به مصرف‌کننده بوده و احتمال قطع سرویس‌دهی شبکه برق در اثر خرابی‌های سازه‌ای را کاهش می‌دهد، سبب کاهش پیامدهای اجتماعی و سیاسی ناشی از قطع برق شده و از این لحاظ، توجیه‌پذیر خواهد بود. از دیدگاهی دیگر، بخش‌هایی از صنعت برق (به خصوص در بخش تولید) ممکن است به علت تحریم‌های اعمالی از سوی کشورهای صنعتی دچار مشکلاتی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات شوند. پیش

بینی مخاطرات و جلوگیری از آسیب‌های حاصله می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید و بهره‌برداری بهینه از امکانات و تجهیزات موجود و نیاز کم‌تر به قطعات وارداتی و کاهش مسائل مربوط به آن در صنعت برق کشور شود.

توجه‌پذیری زیست‌محیطی

وقوع خرابی در برخی از انواع سازه‌ها می‌تواند مستقیماً دارای پیامدهای زیست‌محیطی نیز بوده و سبب ایجاد یا انتشار انواع آلودگی‌ها در محیط زیست گردد. در مورد سازه‌های صنعت برق می‌توان پوسته محافظ راکتور در نیروگاه‌های هسته‌ای و یا مخازن سوخت در نیروگاه‌های حرارتی را نام برد که خرابی آن‌ها می‌تواند سبب انتشار مواد آلاینده رادیواکتیو یا شیمیایی شده و دارای پیامدهای زیان بار زیست‌محیطی باشد. همچنین خرابی‌های سازه‌ای در اجزای نیروگاه‌ها ممکن است منجر به حوادث ثانویه نظیر آتش‌سوزی یا انفجار شود که علاوه بر سایر پیامدها و خسارات حاصله، منجر به آلودگی زیست‌محیطی نیز خواهند شد. بر این اساس، هر اقدامی که در راستای جلوگیری یا کاهش آسیب‌های سازه‌های عمل کند (از جمله شناخت زلزله و پیشگیری از خرابی‌های آن)، به طور غیر مستقیم در حفاظت از محیط زیست نیز نقش خواهد داشت.

برای مثال در زلزله و سونامی رخ داده در کشور ژاپن در سال ۲۰۱۱، به علت پخش مواد رادیواکتیو ناشی از بروز خرابی در نیروگاه فوکوشیما، حدود ۱۰۰ هزار نفر به مکان‌هایی امن برای در امان ماندن از تشعشعات رادیواکتیو منتقل شدند و در صورت مقاوم‌سازی این نیروگاه از بروز این حادثه پیشگیری می‌شد.

توجه‌پذیری قانونی

توجه‌پذیری قانونی شناسایی، پهنه‌بندی و آسیب‌های ناشی از مخاطره زلزله بر سامانه‌ها، سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق، بر اساس بررسی و مطالعه اسناد ملی بالادستی صورت می‌گیرد. این بررسی با هدف تعیین میزان مطابقت، تاثیرپذیری و هم‌راستایی کلی مطالعات پیش رو، با اهداف و سیاست‌های کلان کشور انجام می‌گیرد.

متد و روش

برای تعیین فراوانی وقوع خرابی هر یک از مدهای خرابی، ده زلزله مهم شامل ۵ زلزله ایران و ۵ زلزله جهان انتخاب شده و وقوع یا عدم وقوع هر مد خرابی با توجه به آمارهای هر زلزله با علامت * مشخص شده است. در انتها، از جمع‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده از زلزله‌های گذشته چهار سطح فراوانی وقوع برای هر مد خرابی بدست آورده می‌شود.

جدول ۱: تعیین فراوانی وقوع هر یک از مدهای خرابی برای سازه‌های صنعت برق

بخش	سازه‌ها	مد خرابی	زلزله										فراوانی وقوع			
			تبریز	مشهد	زرنند	کمانشاه	بروجرد	کوهد	نوردریز	چمن‌چی	لوه‌رود	ون‌چهاران				
	برج خنک کننده	آسیب به اتصالات											*	A		
		نشت آب												*	A	
		خرابی گروتینگ لوله‌ها							*					*	B	
		حرکت پایه برج												*	A	
	دودکش و سازه نگهدارنده	سقوط قطعات ناشی از تخریب دودکش‌ها													A	
		آسیب به اتصالات دودکش فلزی		*											A	
		ایجاد ترک در دیواره دودکش‌های بتنی و آجری														A
		تخریب کامل دودکش														A
	مخازن	شکسته شدن اتصالات صلب لوله‌ها		*		*									B	
		بروز پدیده کمانش پاقیلی				*									A	
		شکستن جوش دیواره به کف مخزن				*				*					B	
		پارگی و تغییر شکل دیواره مخزن		*		*				*					B	

فرآوانی وقوع	زلزله										مد خرابی	سازه‌ها	بخش
	ون چوران	لومایوتنا	حس حس	نور تریج	کوبه	توجرد	کرمانشاه	زرنند	ت	ت			
A					*						آسیب به مخزن به علت روانگرایی زمین پی		
A					*						نشست ناهمگن زمین و باز شدن دریچه سد حفاظتی		
A					*						ترک در پی		
A											لغزیدن مخازن کوتاه		
A		*									آسیب به سازه بویلر	بویلر و سازه نگهدارنده	
A		*									آسیب به لوله‌ها		
A		*									آسیب به تجهیزات سوخت رسانی		
B	*										نشست غیریکنواخت پی	فونداسیون سازه‌ها	
B	*										آسیب به اتصالات		
B							*		*		ترک در اجزا	سازه سالن توربین	
A									*		آسیب به کانال‌های عبور کابل‌ها		
A									*		کمانش بادبندهای سالن		
A									*		شکسته شدن شیشه‌ها		
A									*		شکستگی نشیمنگاه خرپای سقف		
A											فروریزش کلی سازه		
A	*										سقوط اجزای سازه	ساختمان کنترل و سازه‌های ارتباطی	
A											سقوط وسایل داخلی		
A											آسیب به اجزای سازه		
A											فروریزش کلی ساختمان		
B	*						*		*		سقوط اجزای سازه		

گزارش مدیریتی پروژه سند ارزیابی و مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق

فرآوانی وقوع	زلزله										مد خرابی	سازه‌ها	بخش
	ون چوران	لوعا یوتنا	حصص حصر	نورثربیح	کوبه	تووجود	کرمانشاه	زرنند	ت	تخریب			
A											سقوط وسایل داخلی	تاسیسات و ساختمان‌های جانبی و فرعی	
A											فروریزش کلی ساختمان		
A	*										آسیب به تاج سد	سد	
A	*										آسیب به بدنه سد		
A	*										فرو ریختن سد		
A	*										جابجایی در پایین مخزن سد	مخزن سد	
A	*										آسیب به مخزن سد ناشی سنگ لغزش یا زمین لغزش		
A	*										تغییر شکل دادن دریچه‌ها	دریچه‌ها	
A											ایجاد تایدگی در پایه برج	برج نگهدارنده توربین بادی	
A											جابجایی و نشست پایه برج		
												سازه نگهدارنده پنل خورشیدی	
A											از بین رفتن مقطعی از کانال	کانال و هندهول	
D	*	*			*	*	*	*			ایجاد ترک در ساختمان	اتاق کنترل	انتقال
A	*										ریزش دیوار ساختمان کنترل		
B	*				*						آسیب به بازشوها و پنجره‌های نمای ساختمان		
B	*				*						خرد شدن شیشه‌های پنجره		
A	*										ریزش جانپناه بام در ساختمانها		
A	*										تخریب کلی ساختمان کنترل		
A							*				سقوط پانل‌های سقف کاذب		

فرآوانی وقوع	زلزله										مد خرابی	سازه‌ها	بخش
	ون چوران	لومایرینا	جس جس *	نور تریج	کوبه	پروچود	کرمانشاه	زرنند *	م	منجیل *			
B			*					*		*	لغزش و واژگونی پانلهای کنترل		
C			*					*	*	*	واژگونی باتری‌ها		
A											سقوط تجهیزات نصب شده در بالای باتری‌ها		
A											سقوط کپسول های اطفای حریق		
A											واژگون شدن و صدمه دیدن کامپیوترها و متعلقات آنها		
A										*	واژگون شدن قفسه‌ها و کتابخانه‌ها		
A											جابجایی های زیاد ترانس در صورت کج شدن دال شالوده		
A											تغییر شکل های دائمی در پی ناشی از نشست ناهمگن و روانگرایی خاک زیر دال	فونداسیون ترانس قدرت	
A											القای حرکات گهواره‌ای در پی بر اثر اندرکنش خاک و پی و در نتیجه خرابی شینه‌ها و کنداکتورهای صلب متصل به ترانس		
											مشابه دکل	گتتری	
B	*									*	ترک و شکست شالوده، پایه‌ها و بدنه دکل در اثر برخورد سنگ		
C	*		*		*		*				شکست کلی و واژگونی دکل	دکل	خطوط
B	*		*								ترک خوردگی یا نشست شالوده		
B	*		*							*	تغییر فاصله بین پایه‌های دکل و ایجاد پارگی یا تابیدگی و اعوجاج در اعضا		

گزارش مدیریتی پروژه سند ارزیابی و مقاوم سازی لرزه ای سازه ها و تجهیزات صنعت برق

فرآوانی وقوع	زلزله										مد خرابی	سازه ها	بخش
	ون چوران	لوعا برتیا	حس حصر	نور و تریح	کوبه	بر وجود	کمانشاه	زرنده	تیر	تیر			
C	*		*	*	*						لغزیدن دکل و شالوده به صورت یکپارچه و و انحراف از زاویه قائم		
											مشابه پست های انتقال	تیر، کمانش	
A											ایجاد ترک در پی	سکوی ترانسفورما تور و سکوی پایه ها	
A											فاصله اطراف پی بین خاک و پی		
A											کج شدگی پی		
C	*				*				*	*	شکست تیرهای برق در میانه ارتفاع تیر برق		
C			*	*	*	*					کج شدن تیر برق		
C		*	*	*	*					*	افتادن تیرهای برق		
A						*					شکست و یا شکاف های برشی بتن تیرها، بدلیل عدم استفاده از خاموت و یا فاصله زیاد بین خاموتها		
C	*				*	*			*	*	خسارت وارده به تیرهای برق در اثر ضربه آوار سازه های مجاور، نظیر فروافتادن دیوارها بر روی تیرهای برق یا ریزش ساختمانها	پایه ها	
A									*		کمانش آرماتورهای طولی به علت خرد شدن پوشش بتنی و عدم وجود تنگ		
A									*		دوران تیرهای برق به همراه شالوده تیر برق در اثر لنگر واژگونی ایجاد شده		

فرآوانی وقوع	زلزله									مد خرابی	سازه‌ها	بخش	
	ون چکان	لوماینا	تحت محو	نورترینج	کوبه	توچود	کرمانشاه	زرنند	تیر				تیریل
A											جابجایی‌های بزرگ افقی تیرهای برق		
A											جابجایی‌های بزرگ عمودی برق به‌خصوص در خاکهای نرم و در تیرهای نزدیک به گسل		
A											خم شدن آرماتورهای (میلگردهای) تیرها بدلیل شکستن پوشش بتنی و یا خاموت‌های تیرها		

مراجع

- [۱] عکاشه، ب. مطاعی، ی. "خطر زلزله در تهران و بررسی مدهای خرابی تجهیزات توزیع نیروی برق به هنگام زلزله" نشریه ی پژوهش های نوین در زمین لرزه، vol. 10, no. 35, 1394.
- [۲] "گزارش زمین لرزه ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۶ سرپل ذهاب استان کرمانشاه" پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۶.
- [۳] رثوفیف، ا. حسینی، م. سرور، ا. "ارائه مدلی برای مدیریت شرایط اضطراری شبکه توزیع برق پس از وقوع زلزله در کلان شهرها با تمرکز بر پستهای فشار ضعیف" پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، vol. ۷. سال سیزدهم، no. شماره اول و دوم، ۱۳۸۹.
- [۴] "بررسی سابقه اثرات زمین لرزه های گذشته و انواع خرابی ها در تاسیسات شبکه برق" شرکت متن - بخش سازه های صنعتی.
- [5] Lew, H.s; Cooper, J. Hacopian, S; hays, W; Mahoney, M., "The January 17, 1994, Northridge Earthquake, California," NIST, 1994.
- [6] Roche, T.R; et al., "The January 17, 1994 Northridge Earthquake, Effects on Electric Power and Selected Industrial Facilities," Electric Power Research Institute, 1997.
- [7] schiff, A.J; tang, A.K; The Chi-Chi, Taiwan Earthquake of September 21, 1999 , Lifeline performance(American Society of Civil Engineers: Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering), American Society of Civil Engineers, July 2000 .
- [8] Strand, C; Masek, J., Sumatra-Andaman Islands Earthquake And Tsunami Of December 26, 2004, Lifeline Performance, American Society of Civil Engineers (ASCE), August 2007 .
- [59] Butt, U.A; Ishihara, T., "Seismic Load Evaluation of Wind Turbine Support Structures Considering Low Structural Damping and Soil Structure Interaction," Wind Energy.

مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو

مطالعه موردی: ارتقا و مقاوم‌سازی دکل‌های مشبک با استفاده از یک سیستم دیافراگم مهاری

علی اصغر ذکاوتی^۱، محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی^۲

چکیده: همزمان با روند قابل توجه رشد بار مصرفی برق و توسعه خطوط، نیاز به احداث خطوط جدید و همچنین بکارگیری خطوط با ولتاژهای بالاتر به منظور افزایش ظرفیت خطوط انتقال وجود داشته است. با توجه به اینکه احداث خطوط جدید مشکل و هزینه‌بر می‌باشد، بهبود و ارتقا ظرفیت خطوط و به دنبال آن مقاوم‌سازی دکل‌های خطوط انتقال نیرو در کنار حفظ مزایای آن‌ها، همواره ابزاری با قابلیت گسترده بوده است. از طرفی نیاز به دانش مقاوم سازی در مواردی دیگر از جمله تغییر حریم، مقابله با فرسودگی و تغییر فرضیات طراحی ضروری است. در این مقاله پژوهشی در ابتدا مقالات و مطالعات صورت گرفته در این زمینه ارائه می‌شود و سپس بعد از ارائه روش‌های کلی مقاوم‌سازی دکل‌های خطوط انتقال نیرو، به یک نمونه مطالعه موردی اشاره خواهد شد.

کلیدواژه: دکل‌های خطوط انتقال نیرو، مقاوم‌سازی، افزایش ظرفیت، ارتقا

مقدمه

امروزه به علت افزایش تقاضا استفاده از منابع برق، نیاز به ظرفیت بیشتر انتقال برق بیش از گذشته شده است. همچنین پر هزینه بودن ایجاد حریم برای انتقال بیشتر برق باعث مطرح شدن ایده افزایش ظرفیت انتقال بار خطوط انتقال برق موجود شده است. از طرفی گاهی بدلیل عبور خط انتقال از کنار ساختمان‌ها و تاسیسات صنعتی، ضوابط حریم دستخوش تغییر شده و فرضیات طراحی مکانیکی خط را تحت تاثیر قرار می‌دهد بطوریکه در شرایط کاهش حریم در مناطق شهری نیاز به تغییر فرضیات طراحی از جمله بازنگری در دوره‌های بازگشت بارهای وارده است بنابراین برای جلوگیری از تخریب و آسیب دکل‌های انتقال نیرو

^۱ کارشناس ارشد سازه، azekavati@nri.ac.ir

^۲ استادیار گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، mjafari@nri.ac.ir

در این شرایط لازم است توجه ویژه‌ای به موضوع مقاوم سازی دکل‌های انتقال نیرو^۱ شود. در این موارد که نیاز به افزایش ظرفیت انتقال برق و یا الزام به کاهش حریم باشد می‌توان محدودیت طراحی را با تقویت و ارتقا خط موجود اصلاح نمود. در این صورت با توجه به نیاز به افزایش ظرفیت باربری سازه‌های انتقال دهنده نیرو، مقاوم‌سازی آن‌ها بیش از پیش احساس می‌شود.

آیین نامه و ضوابط مقاوم‌سازی دکل‌ها

مهمترین آیین‌نامه برای طراحی و کنترل طرح جهت مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو، آیین‌نامه "طراحی سازه‌های مشبک انتقال نیرو" که از طرف انجمن مهندسين عمران آمریکا ASCE 10-97 [۱] ارائه شده است می‌باشد. راهنمای این آیین‌نامه با نام "راهنمای تقویت و ارتقاء سازه‌های انتقال موجود" [۲] به بررسی مسائل کلیدی که باید توسط هر دو بخش مهندس طراح و بهره‌بردار در طول فرآیند ارتقا^۲ و افزایش ظرفیت^۳ دکل‌های انتقال قدیمی مورد توجه قرار گیرد می‌پردازد.

بررسی مطالعات و سوابق موضوعی گذشته

تاکنون مطالعات و مقالات متنوعی در خصوص افزایش ظرفیت، ارتقا و نو سازی خط که معمولاً منجر به مقاوم سازی دکل‌های انتقال نیرو می‌شود ارائه شده است. البته حجم این نوع فعالیت‌های در مقایسه با دیگر مطالعات صورت گرفته در خطوط (استفاده از ساختارهای متنوع دکل، تجهیزات الکتریکال، انواع پی، کاهش تلفات و ...) اندک است و دلیل آن خاص بودن این موضوع و در کنار آن ضوابط سخت گیرانه کارفرماها برای ایجاد تغییرات در خصوص احداث شده موجود است. که البته بیشتر این نوع ضوابط به

^۱ Retrofit of Steel Transmission Towers

^۲ UPGRADING

^۳ UPRATING

حفظ ایمنی و بهره‌برداری مناسب از خط مربوط می‌شود. در جدول ذیل به تعدادی از مقالات، آیین‌نامه‌ها و کتاب‌هایی که در ارتباط با مقاوم‌سازی دکل‌ها نگاشته شده است اشاره می‌شود.

جدول ۱: مقالات و مطالعات مرتبط با مقاوم سازی دکل

سال انتشار	عنوان انگلیسی	نام نویسندگان
2016	Upgrading an Existing 230 kV, Single Circuit Transmission Line When Engineers Think Outside the Box	Karen Callery, M.Sc.E.; and Ibrahim Hathout, Ph.D.
2015	New Approach for Upgrading an Existing 115 kV Transmission Line	Karen Callery, M.Sc.E.; and Ibrahim Hathout, Ph.D.
1991	UPGRADING TRANSMISSION LINES	Jerome G. Hanson, Member IEEE
2012	Failure mechanism and retrofitting strategy of transmission tower structures under ice load	Qiang Xie , Li Sun
2004	Upgrading of transmission towers using a diaphragm bracing system	F. Albermani, M. Mahendran, S. Kitipornchai
2007	Cyclic loading test of friction-type reinforcing members upgrading wind-resistant performance of transmission towers	Ji-Hun Parka, Byoung-Wook Moonb, Kyung-Won Minb, Sung-Kyung Leeb, Chee Kyeong Kimc
2016	Structural upgrading of steel columns for overhead power lines	Cristina Campian, Nicolae Chira, Vincentiu Iuhos, Maria Pop, Nikolai Vatin
2015	Determining critical areas of transmission towers due to sudden removal of members	Soheil DadrasEslamlou , BehrouzAsgarian
2016	Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Towers	Abdulaqder M. Tah, Kamiran M. Alsilevanai, Mustafa Ozakca
2016	Practical comparison of powerline uprating and upgrading results	Greg Landwehr, Pierre Marais
2003	Overhead Power Lines	E Kiessling· P. Nefzger· J.E Nolasco· U. Kaintzyk
2015	RETROFIT OF LATTICED COMMUNICATION TOWERS	Yuan Xue

در ایران نیز مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال نیرو توسط مشاوران بر روی خطوط قدیمی (به علت فرسودگی دکل) به صورت موردی انجام گرفته است اما در زمینه افزایش ظرفیت خطوط انتقال موجود و در نتیجه

افزایش استحکام سازه‌ای دکل‌ها فعالیت اجرایی چندانی صورت نپذیرفته است. در زمینه مطالعات می‌توان به مقاله "بررسی فنی و اقتصادی مقاوم سازی دکل‌های انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم هوایی" [۹] که توسط گروه سازه‌های صنعت برق انجام شده است اشاره نمود. در این مقاله، راهکارهای مقاوم‌سازی دکل‌های NN ۶۳ کیلوولت آویزی واقع در خط نوشهر-چالوس به منظور استفاده از حریم هوایی ارائه و نتایج آن به لحاظ فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به بررسی سوابق موضوعی بطور معمول مقاوم‌سازی و تغییر در طرح دکل‌ها به علت موارد ذیل

حادث می‌شود:

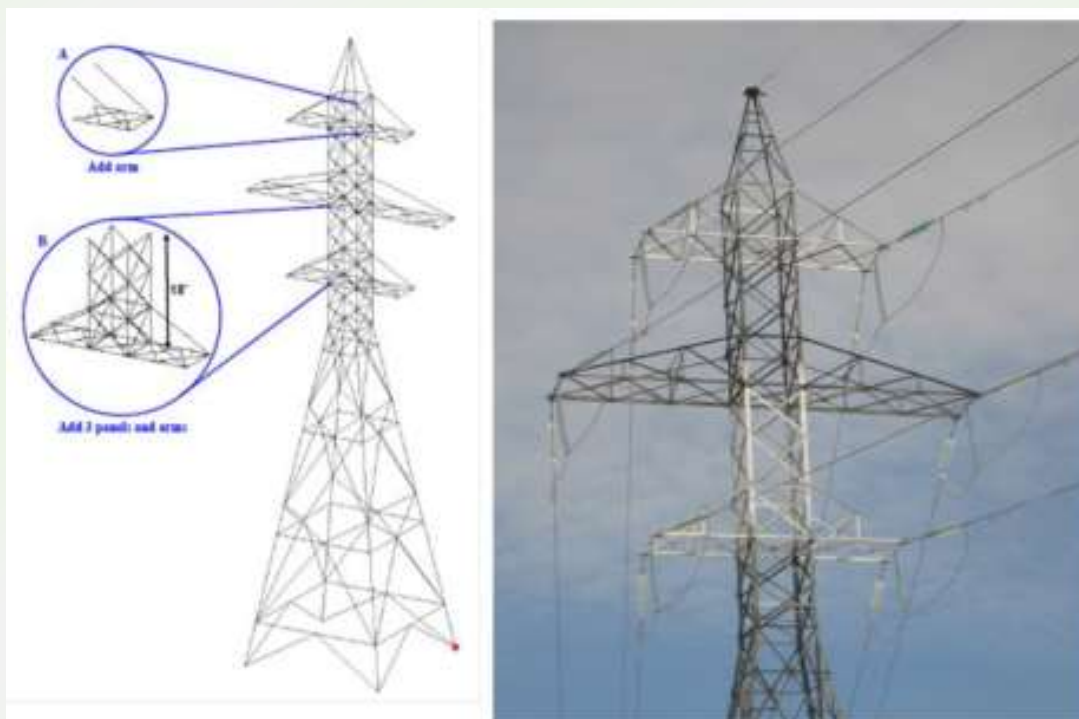
- ۱- تغییر حریم ارتفاعی
- ۲- تغییر حریم افقی
- ۳- افزایش ظرفیت و توان الکتریکی
- ۴- مقاوم‌سازی به علت افزایش قابلیت اطمینان
- ۵- مقاوم‌سازی به علت فرسودگی



شکل ۱: مقاوم سازی دکل به علت فرسودگی و تغییر حریم زمینی (اونتاریو کانادا) [۳]



شکل ۲: مقاوم سازی دکل به علت تغییر حریم عمودی دکل (بازوهای میانی جدید و بدنه میانی اضافه شده) [۳]



شکل ۳: مقاوم سازی دکل به علت افزایش ظرفیت دکل (نیمه مهاری اصلاح شده توسط بدنه میانی و بازوی جدید) [۴]

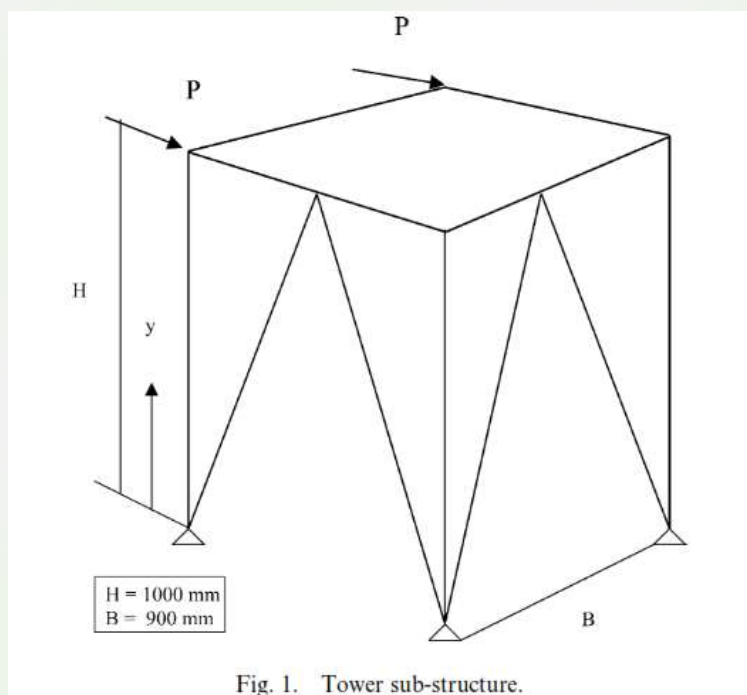
روش‌های مختلفی برای مقاوم‌سازی دکل‌های انتقال در دنیا ارائه و اجرا شده‌اند. با توجه به بررسی‌های بعمل آمده معمولاً چهار روش مقاوم‌سازی اعضا و اتصالات به شرح ذیل در دکل‌ها رایج می‌باشد که در ادامه به یک مطالعه موردی پرداخته می‌شود.

- ۱- افزایش سطح مقطع عضو با اضافه کردن عضو و یا جایگزینی اعضا با گرید مصالح بالاتر [۵]
- ۲- تقویت و یا اضافه کردن سفره‌های افقی (دیافراگم) [۷و۶]
- ۳- اضافه کردن اعضای فرعی برای کاهش لاغری و طول مهارهای عضو اصلی و استفاده از سیستم مهاربندی جدید [۸]
- ۴- تقویت اتصالات با اضافه کردن پیچ، تعداد صفحات برشی و یا افزایش ضخامت صفحه اتصال

مطالعه موردی: ارتقا و مقاوم‌سازی دکل‌های مشبک با استفاده از یک سیستم دیافراگم مهاري

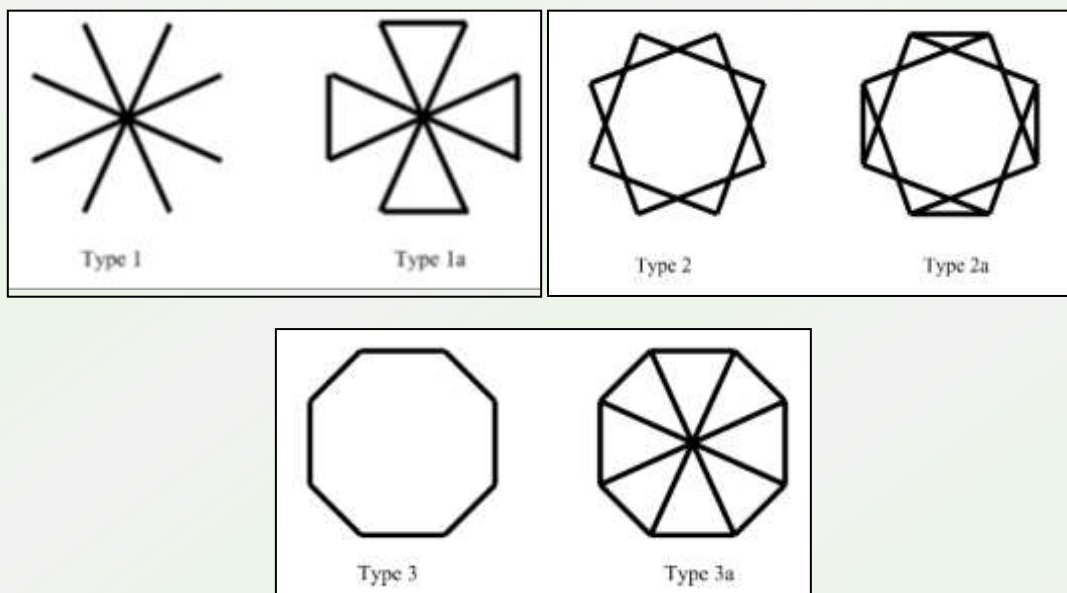
در این مطالعه به صورت عددی و آزمایشگاهی به بررسی تاثیر مهارهای افقی (دیافراگمی) بر روی افزایش استحکام سازه پرداخته می‌شود. این تحلیل‌ها افزایش قابل توجه استحکام و به تبع آن افزایش باربری سازه را بعد از تغییر سیستم دیافراگمی مهاري آن‌ها به آرایش مناسب را نشان می‌دهد. همچنین این نتایج به صورت موفقیت آمیز بر روی یک دکل مشبک ۱۰۵ متری تلویزیونی تست شده است که نتایج آن قابل کاربرد برای دکل‌های خطوط انتقال نیرو نیز می‌باشد.

در این مطالعه از نرم افزار AKTower برای بررسی رفتار سازه استفاده شده است. برای تحلیل، سازه را به اجزاء تشکیل دهنده کوچک تقسیم کرده و ابتدا رفتار آنها را با توجه به مدل مهارهای دیافراگمی تحلیل کرده و سپس سازه اصلی به صورت تمام مقیاس تحلیل می‌شود. کوچکترین جز مورد بررسی در شکل زیر نشان داده شده است:



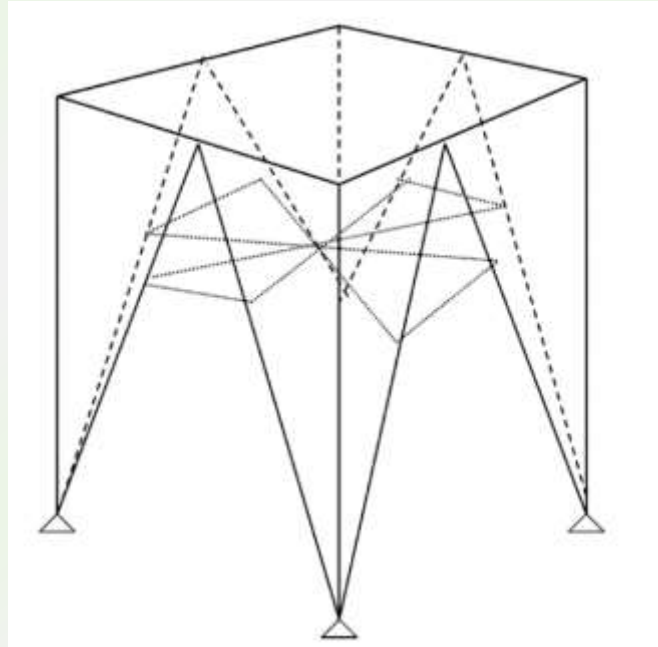
شکل ۴: جز کوچک دکل مورد بررسی

برای سیستم مهارهای دیافراگمی نیز سه حالت کلی زیر در نظر گرفته شده است:



شکل ۵: حالت های کلی مهارهای دیافراگمی

برای مثال نحوه اتصال حالت 1a در شکل زیر نشان داده شده است:



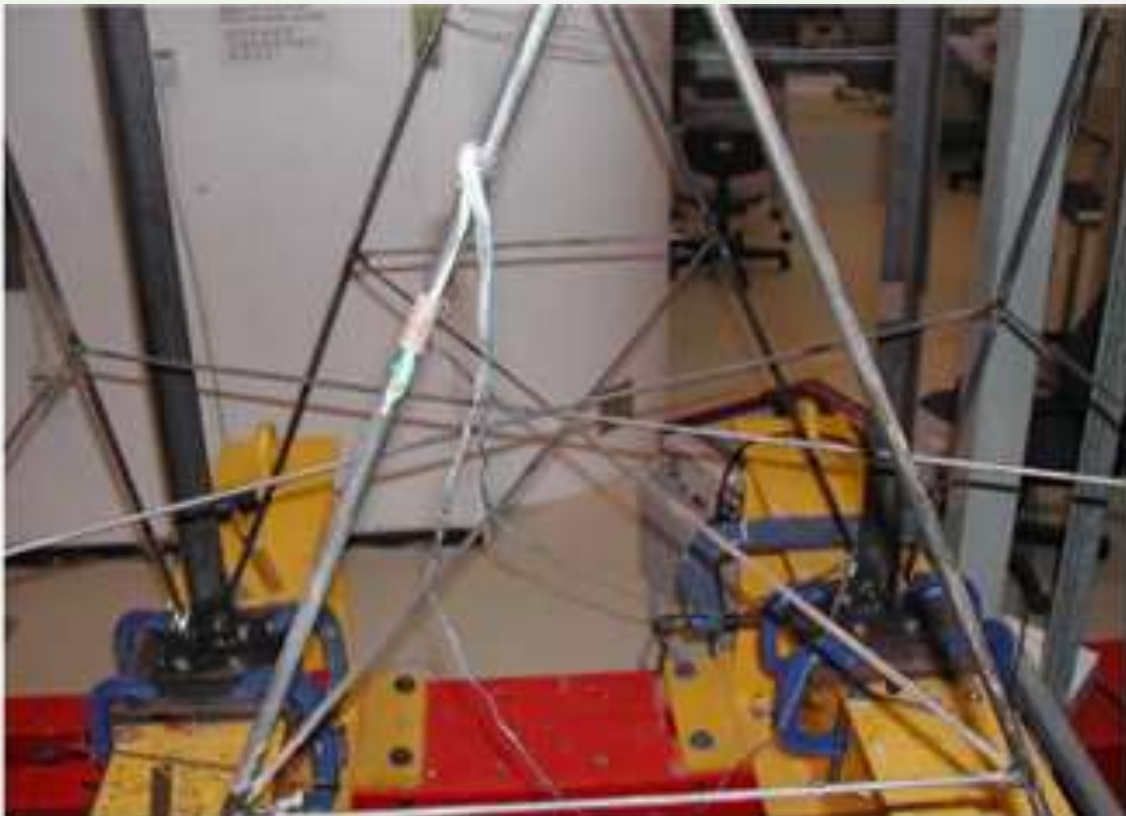
شکل ۶: نحوه اتصال حالت 1a

نتیجه مقایسه بین ظرفیت کمانش در حالات مختلف مهاربندی در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۲: نتیجه مقایسه بین ظرفیت کمانش در حالات مختلف مهاربندی

Diaphragm type	Buckling capacity ratio	
	Bending	Torsion
None	1	1
1	1	1.001
1a	2.264	1.815
2	1.822	1.817
2a	2.115	3.904
3	1.444	1.575
3a	3.708	2.789
1c	1.418	1.470
1ac	3.141	4.103
2c	4.331	4.347
2ac	4.456	4.473
3ac	4.338	4.349

برای ساخت مدل آزمایشگاهی مقدار H که در شکل اول نشان داده شده را برابر ۱۰۸۰ میلی‌متر و همچنین مقدار B را برابر ۸۷۷ میلی‌متر در نظر گرفته و تمامی اعضای عمودی و افقی از نبشی های ۴۵ در ۴۵ در ۵ میلی‌متر ساخته شده است. همچنین برای اعضای قطری از میله‌های به قطر ۱۶ میلی‌متر استفاده شده است. برای اتصال اعضا نیز از پیچ های $M10$ استفاده شده است. برای تکیه‌گاه نیز از صفحات به ضخامت ۱۲ میلی‌متر استفاده شده است. شکل زیر سیستم مهاربندی تیپ 1a که در نمونه آزمایشگاهی اجرا شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۷: سیستم مهاربندی تیپ 1a اجرا شده در نمونه آزمایشگاهی

نتایج تحلیل نهایی در جدول زیر آمده است:

جدول ۳: نتایج تحلیل نهایی نمونه سیستم مهاربندی تیپ 1a

Details of test program and results											
Diag. Rod (mm)	Diaph. Type	Load case	Applied load P (kN) ^f	Test buckling ^a		Analysis P_{cr} (kN)	Test P_{cr}	Buckling mode		P_{cr}/P_{cm} ^b	
				Strain ($\times 10^{-6}$)	Load P_{cr} (kN)			Analysis P_{cr}	Test	Analysis	Test
16.0	None	Bending	5.75	146	5.87	5.31	1.11	IP-1	IP-1	1.00	1.00
16.0	1	Bending	5.75	—	—	5.31	—	IP-1	IP-1	1.00	1.00
16.0	1a	Bending	>13.5	—	—	12.01	—	OP-2	IP-1	>2.35	2.26
16.0	None	Torsion	5.90	—	—	5.34	—	IP-1	IP-1	1.00	1.00
16.0	1	Torsion	5.70	—	—	5.34	—	IP-1	IP-1	0.97	1.00
16.0	1a	Torsion	>15.0	—	—	9.70	—	OP-2	IP-1	>2.54	1.82
10.3	None	Bending	1.78	51	0.85	0.81	1.05	IP-1	IP-1	1.00	1.00
10.3	1ac	Bending	4.52	175	2.91	3.26	0.89	OP-2/IP-2	IP-2	3.42	4.02
10.3	2	Bending	3.06	131	2.18	2.34	0.93	OP-2/IP-2	IP-2	2.56	2.89
10.3	2c	Bending	4.50	193	3.21	3.26	0.98	OP-2/IP-2	IP-2	3.78	4.02
10.3	2ac	Bending	4.53	199	3.31	3.28	1.01	OP-2/IP-2	IP-2	3.89	4.05
10.3	3	Bending	4.56	155	2.58	3.26	0.79	OP-2/IP-2	IP-2	3.04	4.02
10.3	3a	Bending	4.57	174	2.90	3.28	0.88	OP-2/IP-2	IP-2	3.41	4.05
10.3	3ac	Bending	4.80	172	2.87	3.26	0.88	OP-2/IP-2	IP-2	3.38	4.02
10.3	None	Torsion	2.83	53	0.88	0.81	1.09	IP-1	IP-1	1.00	1.00
10.3	1a	Torsion	5.31	157	2.62	3.26	0.80	OP-2/IP-2	IP-2	2.98	4.02
10.3	1ac	Torsion	5.04	150	2.50 ^d	3.25	0.77	OP-2/IP-2	IP-2	2.84 ^d	4.01
10.3	2ac	Torsion	5.04	187	3.11	3.25	0.96	OP-2/IP-2	IP-2	3.53	4.01
10.3	3	Torsion	5.05	158	2.63	3.26	0.81	OP-2/IP-2	IP-2	2.99	4.02
10.3	3a	Torsion	5.05	170	2.83	3.26	0.87	OP-2/IP-2	IP-2	3.22	4.02
10.3	3ac	Torsion	5.60	169	2.81	3.25	0.86	OP-2/IP-2	P-2	3.19	4.01

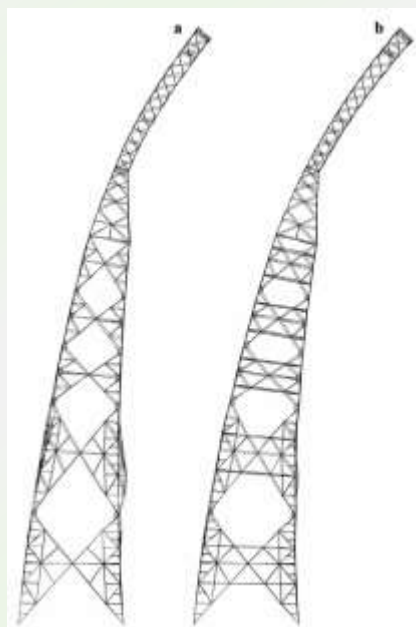
^a Test buckling load P_{cr} is the smaller buckling load of the two diagonal rods and is based on measured axial strains.
^b P_{cr}/P_{cm} is the ratio of the buckling loads of diagonal rods with and without diaphragm braces.
^c P is the applied load at each corner of the frame at the point of buckling of diagonal rods.
^d Diaphragm member was deformed and hence did not adequately restrain the diagonal compression member.

همانطور که از نتایج عددی قابل پیش‌بینی بود نتایج آزمایشگاهی نیز نشان می‌دهد که با استفاده از بادبندی‌های دیافراگمی میزان کماتش اعضا به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در نتیجه استحکام و میزان باربری سازه افزایش می‌یابد. همانطور که اشاره شد از نتایج این تحقیقات برای مقاوم سازی یک دکل مشبک تلویزیونی به منظور نصب آنتن‌های جدید استفاده شده است که در شکل ذیل دکل قبل و بعد از اعمال سیستم مهاربندی جدید مشخص گردیده است. شکل a دکل قبل از اعمال سیستم مهاربندی و شکل b دکل بعد از اعمال سیستم مهاربندی را نشان می‌دهد. مشخصات این دکل به شرح زیر است:

- فونداسیون ۱۵ متر در ۱۵ متر و به شکل مربع
- قسمت انتهایی دکل به صورت مثلث و به ارتفاع ۲۱ متر
- وزن سازه ۶۸٫۷ تن
- مشخصات مصالح فولادی اعضا: تنش تسلیم ۲۵۰ تا ۳۵۰ مگاپاسکال
- طول اعضای قطری بین ۷ تا ۱۱ متر



شکل ۸: a دکل قبل از اعمال سیستم مهاربندی و b دکل بعد از اعمال سیستم مهاربندی
کمانش اعضا سازه قبل (a) و بعد (b) از بارگذاری در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۹: نتیجه کمانش اعضا سازه قبل (a) و بعد (b) از بارگذاری

تحلیل‌ها در این مطالعه نشان می‌دهد میزان قابلیت باربری سازه بعد از مقاوم‌سازی حدود ۴۰ درصد افزایش یافته است لذا نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که برای دکل شاهد فوق بادیابی دیافراگمی می‌تواند بسیار موثر باشد و بهترین نوع برای این کار بادیابی نوع 2c می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه، به اختصار سوابق موضوعی و راهکارهای مقاوم‌سازی دکل‌های خطوط انتقال نیرو بررسی گردید. مطالعات نشان می‌دهد عموماً افزایش استحکام سازه‌ای دکل‌های انتقال نیرو به دلایل مختلف از قبیل تغییر حریم ارتفاعی و افقی، افزایش ظرفیت و توان الکتریکی و مقاوم‌سازی (به منظور افزایش قابلیت اطمینان و یا فرسودگی) انجام می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد معمولاً مقاوم‌سازی اعضا و اتصالات در دکل‌ها با انواع روش‌های مختلفی از قبیل افزایش سطح مقطع، جایگزینی اعضا با گرید مصالح بالاتر، تقویت و یا اضافه کردن سفره‌های افقی، اضافه کردن اعضای فرعی و تقویت اتصالات می‌باشد که در نهایت به یک مطالعه موردی در این زمینه پرداخته شد که نتایج آن نشان داد می‌توان با اضافه نمودن سفره‌های بادیابی دیافراگمی، باربری سازه را تا ۴۰ درصد افزایش داد.

مراجع

- [1] American Society of Civil Engineers, "Design of Latticed Steel Transmission Structures", ASCE 10-97[S], 1998.
- [2] American Society of Civil Engineers, "GUIDELINES FOR UPGRADING/UPRATING EXISTING LATTICED TRANSMISSION STRUCTURES", ASCE 10-97, 2000
- [3] Callery, K., Hathout, I., "New Approach for Upgrading an Existing 115 kV Transmission Line", 2015
- [4] Callery, K., Hathout, I., "Upgrading an Existing 230 kV, Single Circuit Transmission Line When Engineers Think Outside the Box", 2016.
- [5] Kiessling, E., Nefzger, P., Nolasco, J.E., Kaintzyk, U., "Overhead Power Lines; Planning, Design, Construction", SPRINGER, 2003.
- [6] Albermania, F., Mahendran, M., Kitipornchai, S., "Upgrading of transmission towers using a diaphragm bracing system", 2004

[7] Campian, C., Chira, N., Iuhos, V., Pop, M., Vatin, N., "Structural Upgrading of Steel Columns for Overhead Power Lines", 2016

[8] Abdulaqder, M., Kamiran, M., Özakça, M., "Comparison of Various Bracing System for Self-Supporting Steel Lattice Structure Tower", April 23, 2017.

[۹] ذکاوتی، علی اصغر، جعفری، محمد علی، گودرزی، محمد، " بررسی فنی و اقتصادی مقاوم سازی دکل های انتقال نیرو به منظور استفاده از حریم هوایی " سی و دومین کنفرانس بین‌المللی برق، آبان ۱۳۹۶.

آزمون‌های پایش و کنترل عملکرد در شمع‌های انرژی

امیر اکبری گرکانی^۱، بهاره حیدری^۲، سحر مختاری جوزانی^۲

چکیده: کارکرد اصلی پی‌های شمعی، تأمین تکیه‌گاه سازه‌ای مورد نیاز برای سازه است. شمع‌های انرژی المانهای سازه ای هستند که علاوه بر عملکرد باربری سازه، امکان استفاده از انرژی سطحی زمین گرمایی را نیز فراهم می‌آورند. در شمع‌های انرژی توصیه می‌شود که با روش‌هایی مناسب، عملکرد انتقال دما در حلقه حرارتی سیستم پایش و کنترل شود تا بتوان به مقایسه عملکرد سیستم و طرح اولیه سیستم پرداخت. در این گزارش به توصیه‌هایی در مورد نحوه دستیابی به این مهم و عوامل تأثیرگذار در حین این عمل پرداخته خواهد شد. در این رابطه، نحوه کنترل و پایش تنش و کرنش در شمع‌های انرژی، محاسبه فشار در سر شمع و انجام آزمون‌های تاسیساتی در حین اجرا و پس از اجرای شمع‌های انرژی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کلمات کلیدی: شمع انرژی، آزمون و پایش، تنش، کرنش، آزمایش تاسیساتی

مقدمه

برای ارزیابی دقیق میزان درست عملکرد سیستم انتقال حرارت در شمع‌های انرژی، لازم است تا عملکرد پایش گرمایش و سرمایش سیستم در یک طرح پایلوت به همراه بارهای بیشینه تاسیساتی وارد بر آن، در اختیار طراح سیستم تاسیساتی قرار گیرد. دوره پایش باید حداقل یک ماه و طبق توصیه آئین نامه‌های معتبر، بین یک تا چند سال باشد. در جایی که داده‌های بار سالانه برای بازه‌های زمانی کوچکتر از یک ماه محاسبه می‌شوند، بایستی نقاط ضعف استفاده از بازه زمانی کوچک را در نظر داشت. طراحی حلقه حرارتی باید توسط طراح باتجربه‌ای صورت گیرد. ارزیابی‌ها و محاسبات زود هنگام باید توسط طراح سیستم شمع انرژی صورت گیرد. این ارزیابی‌ها منجر به ایجاد اساس برنامه‌ریزی پایش بلندمدت که شامل موارد زیر است، می‌شود، [۱]:

- شرایطی چون ساخت زمین، فاصله و ابعاد فونداسیون

^۱ استادیار و عضو هیات علمی، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، aakbari@nri.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه علم و فرهنگ تهران

- دمای لوله‌های جریان و بازگشت، اطمینان از باقیماندن مقادیر آن‌ها در محدوده دماهای طراحی سیستم، همچون جلوگیری از انجماد یا بیش‌گرمایش
- میزان گرمای تبادل شده با زمین و مقایسه آن با طرح تاسیساتی اصلی
- نشان دادن پایداری تغییرات دمای زمین دست‌نخورده در یک دوره صد ساله و پایداری آن در محدوده ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد

همچنین این نکته حائز اهمیت است که هر تغییری که در حین ساخت اتفاق بیافتد، نیازمند ارزیابی مجدد است، زیرا این تغییرات می‌توانند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر روی گرمایش نهایی و بار سرمایشی سازه بگذارند. این تغییرات ممکن است شامل یکی از موارد زیر باشند:

- تغییر موقعیت سازه
- تغییر موقعیت/حذف/تغییر اندازه و عمق پی
- تغییر در ساختار ساختمان به عنوان بخشی از مهندسی ارزش
- تغییر در کاربری ساختمان
- حدود تصرف

در حین مرحله پیش‌راه‌اندازی سیستم شمع انرژی، عوامل دست‌اندرکار در ایجاد مشخصات سرمایشی و گرمایشی اصلی سیستم و نیازهای حلقه حرارتی منتج از آن، همچون طراح بخش مکانیکی و الکترونیکی، طراح سیستم شمع انرژی و پیمانکار اصلی باید مجدداً ارزیابی‌های اصلی را بررسی کنند تا تغییرات اساسی در آن‌ها را که در حین ساخت سیستم به وجود آمده تأیید کنند و این تغییرات می‌توانند ویژگی‌های بار وارد بر سیستم را تغییر داده باشند. خروجی این بازنگری باید بعداً به عنوان معیاری برای پایش آتی سیستم در

طول عمر آن در نظر گرفته شود. کنترل‌ها و پایش‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که موارد زیر را تضمین کنند:

- جلوگیری از خروج دمای حلقه‌های حرارتی از محدوده طراحی سیستم
 - اعمال پایش پیوسته تغییرات گرمایش و سرمایش سیستم نسبت به طراحی‌های اولیه
 - محاسبه ضریب عملکرد و ضریب عملکرد فصلی سیستم
 - ذخیره دائم داده‌های پایش به صورت پیوسته (قرائت‌هایی با بازه زمانی چند ساعته).
- ذیلا به برخی موارد کنترلی اساسی در پایش عملکرد صحیح شمع‌های انرژی پرداخته میشود:

اندازه‌گیری کرنش و درجه حرارت در طول شمع

اندازه‌گیری کرنش‌ها در شمع برای آزمایش‌های در محل با دو نوع حسگر فیبر نوری و کرنش سنج بدست می‌آید. استفاده از فیبرنوری امکان اندازه‌گیری دقیق کرنش‌ها را فراهم می‌کند اما نیاز به تهیه تجهیزات و تدارکات بیشتر و دقیقتری دارد (به عنوان مثال یک واحد بزرگ قرائت اختصاصی به اضافه یک کامپیوتر برای به راه‌اندازی آن)، در حالی که استفاده از کرنش سنج اندازه‌گیری قابل اعتماد از کرنش و درجه حرارت را با یک واحد قرائت، کوچک و ساده می‌کند.

به عنوان مثال، در یک پروژه عملی در سیستم پایش و کنترل شمع‌های انرژی فرودگاه زوریخ در سوییس،

سیستم‌های مورد استفاده در پروژه برای اندازه‌گیری کرنش در شمع‌ها عبارتند از [۲]:

۱. سیستم Surveillance d'Ouvrages par Fibres Optiques (SOFO) از فیبرهای نوری از

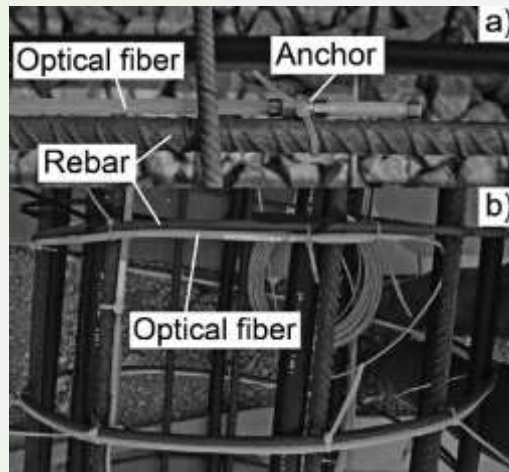
SMARTECTM/ROCTESTTM. این سیستم بر اساس مقایسه یک سیگنال از طول فیبر مرجع

عبور می‌کند. فیبر مرجع به اندازه کافی بلند است و بنابراین هرگز تحت کشش قرار نمی‌گیرد. در

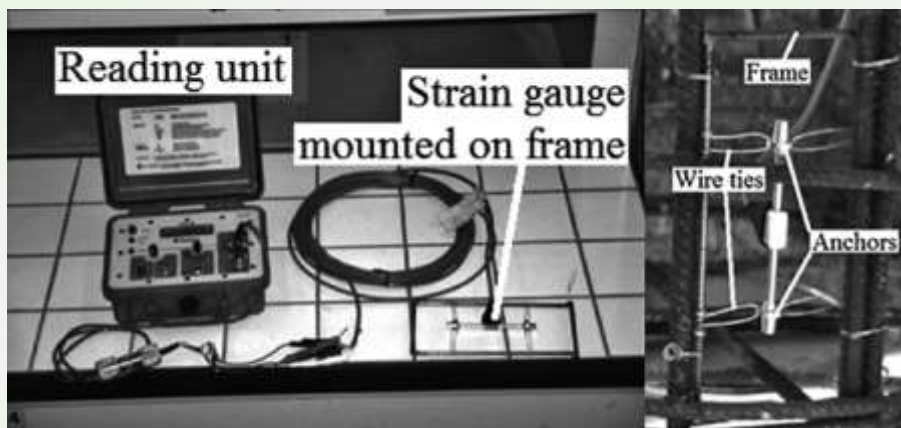
نتیجه، کرنش‌های روی فیبر مرجع تنها با تغییرات دما ایجاد می‌شود. سیستم به صورت خودکار برای تغییرات دما اصلاح می‌شود. همچنین سیستم به طور مستقیم اطلاعات مربوط به تغییر شکل را فراهم می‌کند و بنابراین نیازی به پردازش داده‌های بیشتر ندارد.

۲. سیم مرتعش کرنش‌سنج، مدل C110 از TELEMACTM در اولین سایت و مدل EM-5 از ROCTESTTM واقع در سایت دوم قرار گرفتند که برای اندازه‌گیری کرنش استفاده شدند. همانطور که آزمایش‌ها در شرایط غیر هم دما انجام می‌شود، برخی از کرنش‌های ثبت شده در تار مرتعش سنسور، به علت تغییرات دما است. بنابراین، ترمیستور $3\text{ k}\Omega$ در هر کرنش‌سنج برای اصلاح تغییر درجه حرارت گنجانده شده است. خروجی‌های سنجنده، فرکانس تشدید شده تار مرتعش و درجه حرارت آن است. بنابراین، پردازش و اصلاح مجدد داده‌ها مورد نیاز است.

این دو نوع سنسور در امتداد محورهای شمع متصل به قفس تقویت کننده قرار داده شدند. از آنجایی که فیبرهای نوری با گیره‌هایی بر روی بدنه سنسور نصب شده‌اند، بندهای سیمی یا پلاستیکی برای اتصال آن‌ها در امتداد میلگردهای قفس آرماتوربندی استفاده می‌شود. با این حال، فیبرها باید با کشش اولیه متصل شوند تا از سست شدن فیبرها پس از اعمال فشار مکانیکی شمع جلوگیری شود. کرنش‌سنج‌ها قبل از نصب آن‌ها بر روی قفسه‌های تقویت کننده با یک سیمی که به صورت عمودی به سنجنده‌ها متصل است، به قاب‌ها متصل شده‌اند که مانع اندازه‌گیری کرنش محوری قاب می‌شود. قاب‌ها طوری طراحی شده‌اند که دقیقاً در میان میلگردها و قفسه‌های تقویتی جای گیرند. سپس، قاب‌ها به قفس تقویت کننده با بندهای سیم متصل شدند (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱: فیبرهای نوری متصل به قفسه‌های تقویت‌کننده شمع‌ها (در سایت تست دوم). یک فیبر، (a) در امتداد محور شمع متصل شده است و (b) در امتداد حلقه تقویت‌کننده برای کنترل کرنش‌های شعاعی متصل شده است.



شکل ۲: کرنش‌سنج از پیش نصب‌شده بر روی یک قاب فولادی و متصل به واحد قرائت (سمت چپ) و کرنش‌سنج نصب‌شده بر روی قفسه تقویت‌کننده (سمت راست)

پردازش داده‌ها برای کرنش‌سنج‌ها بر اساس نظریه تار مرتعش است. فرکانس رزونانس واقعی یک سیم با یک مقدار مرجع مقایسه می‌شود و این اطلاعاتی مربوط به کرنش آن یعنی ϵ را فراهم می‌کند. در واقع، فرکانس رزونانس F یک سیم تحت تنش توسط رابطه ۱ بدست می‌آید [۲]:

$$F = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1)$$

که L طول سیم (متر)، T تنش سیم (N) و μ چگالی خطی سیم (کیلوگرم بر متر) هستند. تنش سیم می‌تواند به کرنش آن یعنی ε ، از طریق مدول یانگ، E_w ، و سطح مقطع عرضی، A ، مرتبط باشد:

$$T = AE_w \varepsilon \quad (2)$$

بنابراین، کرنش در سیم می‌تواند به طور مستقیم با مربع فرکانس رزونانس آن از طریق یک رابطه خطی که توسط وسایل اندازه‌گیری ارائه می‌شود، بیان شود:

$$\varepsilon = \frac{K}{1000} F^2 \quad (3)$$

که K یک ثابت است و به ویژگی‌های دستگاه بستگی دارد. با این حال، به این دلیل که آزمایش‌ها در شرایط غیر ایزوترمال انجام می‌شود، انبساط یا انقباض حرارتی سیم باید مورد توجه قرار گیرد. کرنش حرارتی سیم به سادگی به کرنش اندازه‌گیری شده (با دانستن اینکه ضریب انبساط حرارتی خطی $\alpha_w T$ برابر با $11.5 \mu\varepsilon/^\circ\text{C}$ است) اضافه می‌شود.

$$\Delta\varepsilon_{obs} = \frac{k}{1000} (F_1^2 - F_0^2) + \alpha_w^T (T_1 - T_0) \quad (4)$$

در رابطه ۴، F_0 و F_1 به ترتیب فرکانس‌های واقعی و مرجع و T_0 و T_1 به ترتیب درجه حرارت واقعی و مرجع می‌باشند. هر افزایش دمای سیم باعث انبساط و در نتیجه کشش آن را کاهش می‌دهد. بنابراین، کشش مشاهده شده کمتر از کشش مکانیکی اعمال شده است و می‌تواند به صورت رابطه ۵ نوشته شود:

$$\Delta T_{obs} = \Delta T_{mech} + \Delta T_{th} \quad (5)$$

که در آن ΔT_{obs} تغییرات کشش اندازه‌گیری شده می‌باشد و مرتبط با تغییر اندازه در فرکانس است. ΔT_{mech} و ΔT_{th} به ترتیب تغییرات کشش مکانیکی و حرارتی در سیم هستند. ΔT_{obs} توسط ضرب رابطه ۳ در مدول

یانگ و سطح مقطع سیم، تخمین زده می‌شود، در حالی که کاهش حرارت در کشش به علت انبساط حرارتی سیم می‌تواند به صورت رابطه ۶ بیان شود:

$$\Delta T_{th} = -AE\alpha_w^T(T_1 - T_0) \quad (6)$$

با جایگذاری رابطه ۶ در رابطه ۵، رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$\Delta T_{mech} = AE \frac{k}{1000} (F_1^2 - F_0^2) + AE\alpha_w^T(T_1 - T_0) \quad (7)$$

با تقسیم رابطه بالا به مدول یانگ و سطح مقطع سیم به رابطه ۴، نتیجه می‌شود:

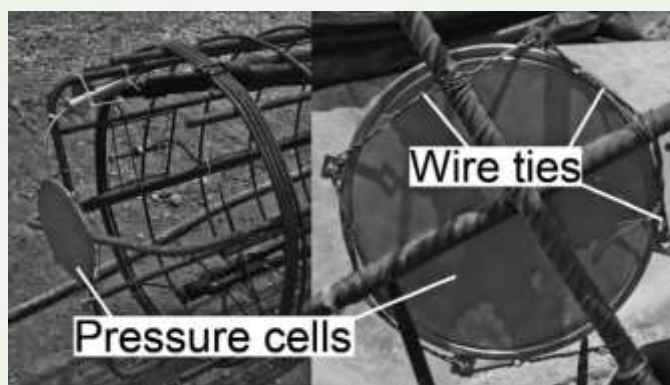
$$\delta\varepsilon = \frac{K}{1000} (2F\delta F + \delta F^2) + \alpha_w^T \delta T \quad (8)$$

واحد قرائت تار مرتعش، مدل MB-۳TL از ROCTESTTM، اندازه‌گیری فرکانس ارتعاش را با دقت ۰/۵ درصد FS (مقیاس کامل) فراهم می‌کند. با این حال، دقت فیبر نوری ۰/۲ درصد FS است. عدم قطعیت در قرائت کرنش سنسور ± 0.05 هرتز برای فرکانس و ± 0.05 درجه سانتی‌گراد برای درجه حرارت است. در نتیجه، عدم قطعیت در اندازه‌گیری کرنش $\delta\varepsilon$ ، توسط رابطه ۸ بدست می‌آید. بنابراین، دقت اندازه‌گیری برای کرنش سنسورها EM-۵ ($K \sim 4$) برای حداکثر فرکانس ۱۲۰۰ هرتز، برابر با $1 \mu\varepsilon$ است.

اندازه‌گیری فشار در سر شمع

فشار سر شمع‌ها با استفاده از فشارسنج‌ها (مدل‌های مرسوم) پایش می‌شود. فشارسنج‌ها در محل می‌توانند به همراه مبدل‌های ارتعاشی نصب شوند و قاعده کلی عملکرد آنها همانند کرنش سنسورها است، [۳]. از ترمیستور $3 \text{ k}\Omega$ برای اصلاح اثر درجه حرارت آنها می‌توان استفاده نمود. مطابق شکل ۳، فشارسنج‌ها عموماً به یک المان صلیبی شکل متصل می‌شوند که در پایه قفس‌های آرماتوربندی جوش می‌شوند. باید توجه داشت

که انقباض بتن ممکن است تماس بین فشارسنج‌ها و بتن اطراف را کاهش دهد. استفاده از لوله‌های تحت فشار برای متورم کردن فشارسنج‌ها در هنگامی که انقباض بتن به میزان قابل توجهی رسیده، می‌تواند راه‌حلی برای غلبه بر این موضوع باشد ولی به کار بردن چنین لوله‌ای در امتداد محور شمع می‌تواند مشکلات اجرایی را به همراه داشته باشد. افزون بر این، نصب فشارسنج‌ها در توده بتن و سپس متورم‌سازی آنها قبل از نصب بلوک در رأس قفس آرماتور، زمان‌بر است. راه‌حل مناسب برای غلبه بر این مشکلات، ریختن مقداری از بتن به پایین گمانه‌ها با استفاده از یک لوله پیت و هل دادن قفس آرماتور به همراه فشارسنج‌ها به پایه آن‌ها، در بتن تازه است.



شکل ۳: فشارسنج متصل شده به پایه قفسه‌های تقویت‌کننده

کنترل کیفیت، آزمایش فشار، فلاش و تخلیه در شمع‌های انرژی

- به منظور کنترل کیفیت عملکرد تاسیساتی در شمع‌های انرژی باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد، [۱،۴]:
- باید یک برنامه زمانبندی از نتایج آزمایش فشار، فلاش و تخلیه سیستم توسط پیمانکار مسئول انجام این آزمایش ارائه شود. در صورت امکان باید آزمایشات به طور مستقل تحت نظر باشند. باید رونوشت‌هایی از نتایج آزمایش توسط پیمانکار اصلی تهیه شود.

- باید هر حلقه حرارتی با مدارک کنترل کیفیت و آزمایش فشار از سوی سازنده آن به محل پروژه وارد شود. همچنین اگر قسمت‌های دیگری نیز به همراه سیستم به محل پروژه وارد شدند (مانند شیرهای چندراهه)، آن‌ها نیز باید دارای گواهی‌های آزمایش تست فشار مربوطه از سوی سازندگان باشند.
- در حین نصب حلقه، باید به بازرسی چشمی لوله در حال ورود به شمع پرداخت تا در صورت آسیب ظاهری به دیواره لوله آن را مشاهده کرد. بیشینه خراشیدگی مجاز برابر با ۱۰ درصد ضخامت جداره لوله بوده و هر مقدار خراشیدگی فراتر از این مقدار منجر به عدم نصب لوله خواهد شد.

- آزمایش فشار در محل

چندین مرحله کلیدی برای مشاهده نقاط دارای پتانسیل آسیب دیدگی در حین نصب سیستم وجود دارد. توصیه می‌شود که ناظر سیستم تاسیساتی به همراه پیمانکار اصلی و سایر بخش‌های مسئول، یک برنامه آزمایش مشخص برای ردیابی سیستم در هر مرحله از اجرای آن ارائه کنند. پیمانکاران مربوطه باید مشخص کنند که کدام یک از مراحل ارائه شده در جدول ۱ باید در برنامه بازرسی و آزمایش سیستم قرار گیرند. همچنین در هر مرحله در صورت آسیب به سیستم، آزمایش فشار متناسب با آن اجرا خواهد شد.

همچنین توصیه می‌شود که یک ناظر ماهر تاسیساتی برای مشاهده و آزمایش لوله‌ها در هر مرحله در دسترس باشد. در مرحله هفتم مسئولیت حلقه حرارتی به ناظر تاسیساتی منتقل می‌شود. همچنین باید تمام اتصالات تا زمان اتمام هر آزمایش فشار در دسترس باشند. در حین فلاش یا انجام آزمایش، باید به بازرسی چشمی تمام اتصالات پرداخت. در هنگامی که آب و هوای مرطوب، عمل بازرسی چشمی و تشخیص نشت کم سیستم را دشوار می‌کند، باید تمام اتصالات توسط پارچه‌هایی خشک شود تا آب باران از آن‌ها جدا شده و سپس به مشاهده نشت احتمالی سیستم مبادرت کرد. چنانچه شرایط جوی بازرسی چشمی را غیر ممکن می‌کند باید پس از اتمام آزمایش، سیستم حداقل به مدت ۲۴ ساعت تحت فشار نگه داشته شود. ضمناً، در

صورت وقوع هر مشکلی در آزمایش باید به طراح سیستم شمع انرژی و مهندس ناظر اطلاع داده شود تا عمل متناسب با شرایط به وجود آمده برای جایگزینی حلقه آسیب دیده و ارائه برنامه زمانبندی آن صورت گیرد.

جدول ۱: مراحل توصیه شده برای اجرای آزمایش‌های تاسیساتی در شمع‌های انرژی

Hold point	Responsible Party	Recommended Test
1. Assembly of loops (potentially with connections/u-bends)	Loop manufacturer / GSHP Contractor	Type A - pressure test with documentation
2. Arrival of loops on site	GSHP Contractor / Piling contractor	Observation - no kinking or damage to pipe
3. During installation within cage	Piling Contractor	Observation - no kinking or damage to pipe
4. Preconcreting of pile	Piling contractor	Bi-directional flow test and Type B - pressure test
5. Immediately post concreting of pile	Piling contractor	Type C - pressure test
6. Pre-trimming of pile heads	Piling contractor / Groundworks Contractor	Bi-directional flow test and Type B pressure test
7. After trimming of pile heads pre connection into header arrangement	Groundworks Contractor / GSHP Contractor	Dip test/Bi-directional flow test and Type C pressure test /
8. Connection of thermal pile loops into zones	GSHP Contractor	Modified test / Type 2 test ref. WRc.
9. Connection of zones to plant room manifold	GSHP Contractor	Final handover test

- آزمایش‌های تاسیساتی در حین ساخت و پیرایش شمع

آزمایش چشمی: این قسمت شامل بازرسی چشمی لوله‌های حلقه حرارتی به منظور اطمینان از نصب صحیح آن‌ها می‌شود.

آزمایش فشار آب- نوع A: این آزمایش عموماً در خارج از محل پروژه با افزایش فشار لوله‌ها تا ۱۵۰٪ فشار کاری آن‌ها و پس از اسمبل شدن اجزای حلقه حرارتی انجام می‌شود. در شرایط کارخانه‌ای، ممکن است یک آزمایش فشار هوا نیز مناسب باشد. چنانچه اجزای حلقه حرارتی در محل پروژه متصل شده باشند، ممکن

است آزمایش فشار پس از این عمل و در محل پروژه صورت گیرد. معیار قابل قبول برای این آزمایش عدم افت فشار مجموعه در حین آزمایش است.

آزمایش دو جهته جریان: برای این آزمایش حلقه حرارتی با آب پر شده و بررسی می‌شود که جریان در هر دو طرف حلقه حرارتی برقرار باشد. معیار قابل قبول برای این آزمایش عدم افت جریان در حین آزمایش می‌باشد.

آزمایش فشار آب - نوع B: این آزمایش بر روی لوله‌های دارای آب و با فشار ۸ بار انجام می‌شود. این فشار که مقدار آن ۸ بار است به مدت ۱۰ دقیقه به وسیله اضافه کردن آب به میزان مورد نیاز انجام می‌شود (لوله پلاستیکی در طی زمان دچار خزش شده و در صورت عدم اضافه شدن آب فشار ثابت می‌شود). سپس این فشار به ۴ بار کاهش یافته و به مدت ۳۰ دقیقه به سیستم اعمال می‌شود. معیار مورد قبول در این حالت، عدم افت فشار در طی ۳۰ دقیقه است. هنگامی که این آزمایش پیش از بتن‌ریزی شمع انجام می‌شود، باید به وسیله درپوش گذاری یک فشار اسمی در لوله‌ها نگه داشته شود. در صورت نیاز می‌توان در حین بتن‌ریزی میزان فشار را پایش کرد. انتظار می‌رود که در حین بتن‌ریزی این فشار افزایش یافته و از آسیب دیدن لوله در حین بتن‌ریزی جلوگیری کند.

آزمایش فشار آب - نوع C: این آزمایش بر روی یک حلقه حرارتی پر شده با آب و تحت فشار ۸ بار انجام می‌شود. فشار به مدت ۱۰ دقیقه به وسیله افزودن آب کافی به میزان ۸ بار نگه داشته می‌شود (لوله پلاستیکی در طی زمان دچار خزش شده و در صورت عدم اضافه شدن آب فشار ثابت می‌شود). سپس این فشار به ۴ بار کاهش یافته و به مدت ۲۴ ساعت در سیستم نگهداشته می‌شود. معیار قابل قبول برای این

آزمایش عدم افت این فشار در مدت ۲۴ ساعت می باشد (هنگام انجام آزمایش بلافاصله پس از بتن‌ریزی، فشار باید در حین آزمایش افزایش یابد).

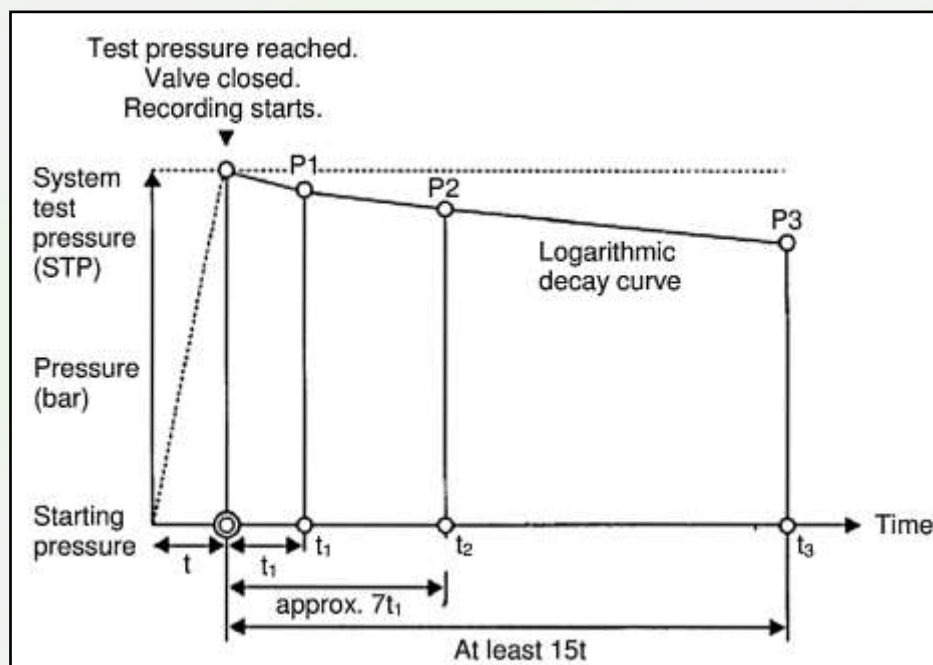
آزمایش شیب: این آزمایش از یک کاوشگر (نوار وزنی) استفاده کرده تا از مطابقت عمق نصب حلقه حرارتی با میزان طراحی شده اطمینان حاصل گردد همچنین باید به مشکل گیر افتادن کاوشگر درون حلقه حرارتی توجه داشت.

• تخلیه سیستم

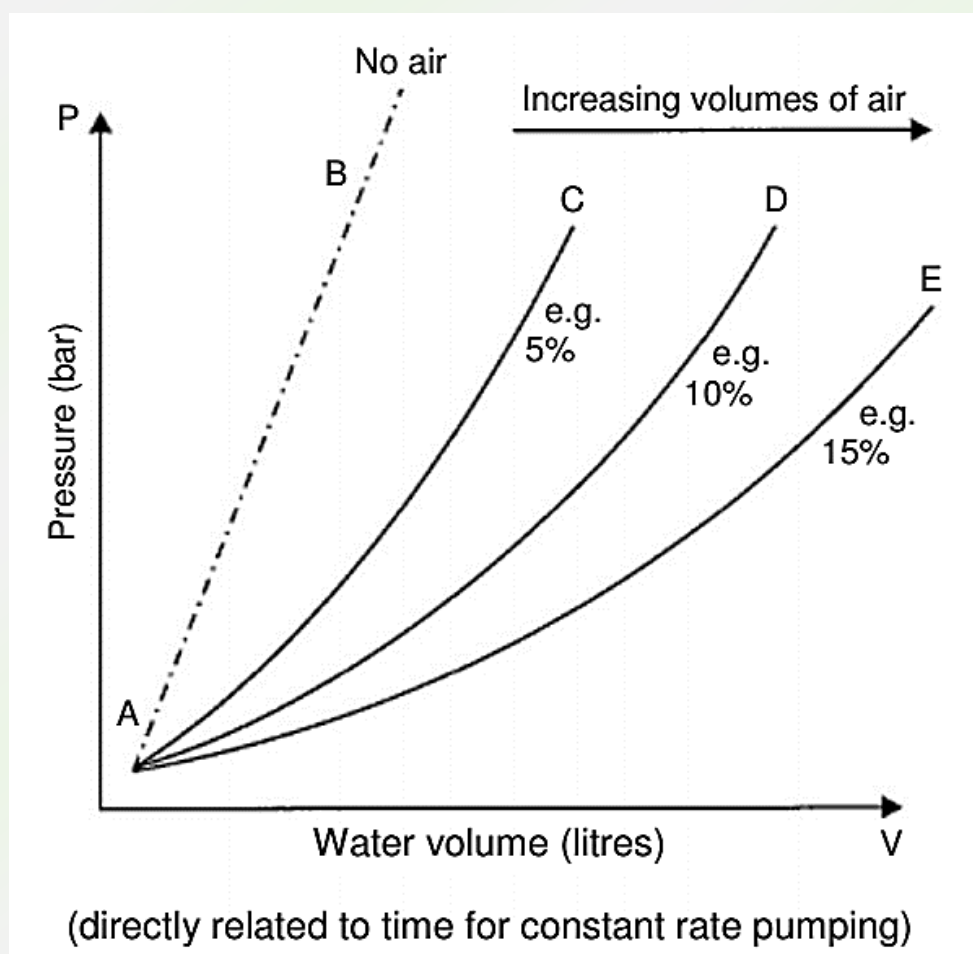
در پایان اجرای شمع‌های انرژی، سیستم باید فلاش بشود تا از هوا و مصالح تخلیه گردد. تجهیزات فلاش سیستم باید قابلیت تامین جریان و تراز فشار کافی برای رسیدن به سرعت جریان ۰/۶۱ متر بر ثانیه در تمام لوله‌های دارای قطرهای متنوع درون سیستم را دارا باشند. چنانچه احتمال ورود سیلت، شن و غیره درون لوله وجود داشته باشد و یا اتصالات از جنس استیل باشند، باید توصیه‌های BG۲۹/۲۰۱۱ مورد توجه قرار گیرد. سیستم پمپ فلاش باید قادر به معکوس کردن جریان، بدون جدا کردن شلنگ‌ها، پایش فشار ورودی و خروجی و پایش نرخ جریان ایجاد شده باشد و دارای قابلیت مشاهده جریان به وسیله شیشه چشمی و فیلتر کردن مصالح باشد همچنین باید تمام مقادیر برای دفترچه راهنمای نگهداری و فعالیت سیستم ثبت شود. آزمایش شامل دوره‌های پایش بارگذاری و دوره‌های آزمایش اصلی می‌باشد. آزمایش اصلی نباید پایش از ثابت شدن فشار اولیه پس از پایش بارگذاری آغاز شود. حجم سیال اضافه شده به آزمایش باید با دقت ثبت شود و فشار و دما نیز به دقت پایش شوند. تجهیزات آزمایش باید دارای قابلیت افزودن خودکار آب را داشته باشند تا از دقت و تکرارپذیری آزمایش اطمینان حاصل گردد. روند آزمایش باید به وسیله افزایش خطی و پایدار فشار، تا حد امکان یکسان باشد. سپس باید نتایج اصلاح شده آزمایش را در مقیاس لگاریتمی رسم کرده و

برای تعیین قبولی یا مردودی آزمایش ارزیابی شوند. به طور مثال در شکل ۴ یک خط افقی نشان‌دهنده قبولی آزمایش و هر خطی غیر از خط مستقیم نشان‌دهنده مردود بودن آزمایش است.

یک آزمایش مردود لزوماً نشان‌دهنده نشت آب از سیستم نیست زیرا وجود هوای اضافی در سیستمی که به خوبی تخلیه نشده نیز می‌تواند آزمایش را مردود کند. باید حجم آب اضافه شده به حلقه حرارتی نسبت به میزان فشار رسم شود تا وجود هوای اضافی در سیستم تعیین گردد (شکل ۵). همچنین نتایج آزمایش در یک نمودار در شکل ۶ رسم شده‌اند. همانطور که حلقه‌های دارای طول‌های متفاوت ممکن است نتایج متنوعی داشته باشند باید اولین آزمایش حلقه ادامه پیدا کند تا به طور قطع بتوان از عدم وجود نشت در سیستم مطمئن شد و در نتیجه به مقادیر کنترل‌کننده برای فشار در بازه‌های آزمایش عادی برای بقیه قسمت‌های مورد نیاز به آزمایش رسید.

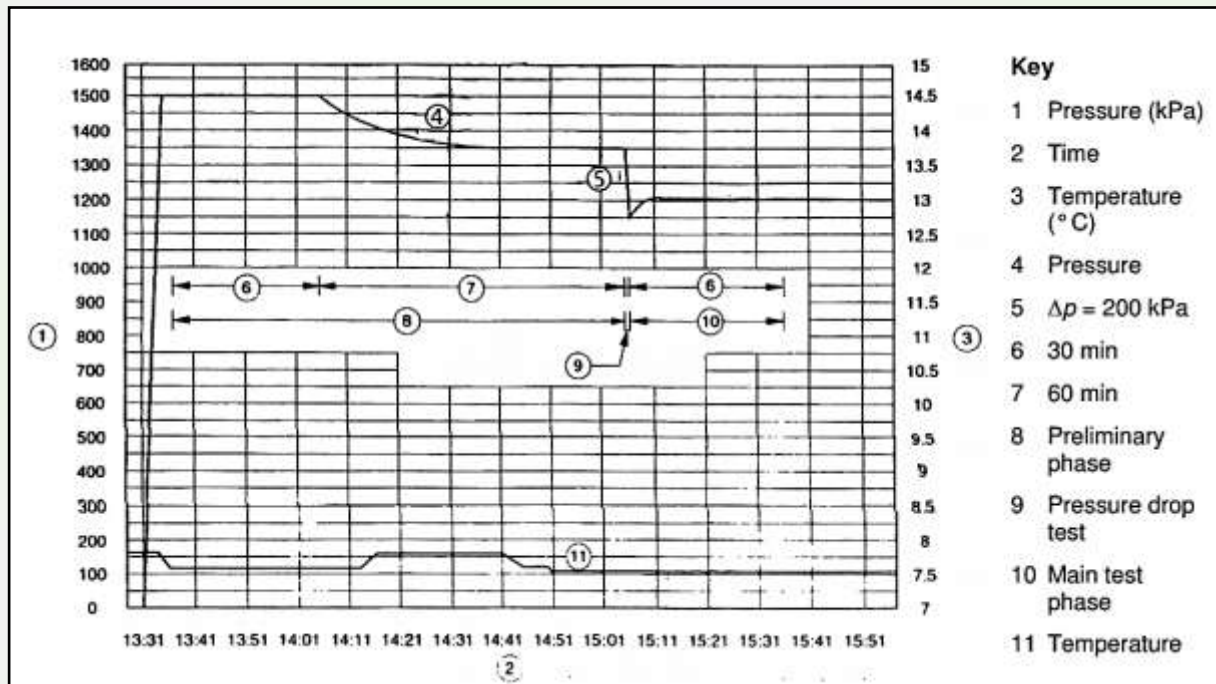


شکل ۴: نمودار تغییرات فشار نسبت به زمان برای تعیین مقبولیت آزمایش فشار [۳]



شکل ۵: نمودار تغییرات فشار نسبت به حجم آب برای تعیین حضور هوای اضافی در سیستم [۳]

در رسیدن به انتهای آزمایش نرمال، حلقه باید حداقل به مدت ۱۲ ساعت تحت فشار باقی بماند و مقادیر فشار آن در مقیاس لگاریتمی رسم شود. ساده‌سازی روند آزمایش بالا می‌تواند با استفاده از تجهیزات ثبت داده شخص ثالث انجام شود. وسایل دارای قابلیت تحلیل داده داخلی می‌توانند روند تشخیص نشت در سیستم را تسریع و تسهیل کرده و افت فشار در سیستم را واضح‌تر نشان داده و بخش دچار مشکل را مشخص کنند.



شکل ۶: نمودار تغییرات فشار بر حسب زمان [۱]

• آزمایش تحویل نهایی

باید بسته به اندازه سیستم، آزمایش جریان برای سیستم شمع انرژی، به صورت کلی یا بر روی بخشی از آن، انجام شود. باید افت فشار در بخش مورد آزمایش سیستم با مقادیر محاسبه شده در طراحی مقایسه شود. حداقل دفعات اندازه‌گیری نرخ جریان و افت فشار برای نرخ جریان بیش از مقادیر طراحی شده سیستم، برابر با ۳ مرتبه است. مقادیر اندازه‌گیری شده باید با مقادیر محاسبه شده در حین طراحی و در شرایط نرخ جریان برابر مقایسه شوند تا از عدم انسداد و پیچ‌خوردگی لوله‌ها اطمینان حاصل گردد. به وسیله فشارسنج در ورودی و خروجی جریان در حال فلاش سیستم، می‌توان میزان افت فشار را مشخص کرد. تفاوت فشار در این دو نقطه از حلقه حرارتی، میزان افت فشار در آن را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این گزارش، به معرفی روشهای کنترل صحت عملکرد شمع‌های انرژی پرداخته شد. بر این اساس، روشهای کنترل تنش و کرنش در این شمع‌ها با در نظر گرفتن مشخصات تبادل حرارتی سیستم مورد بررسی قرار گرفت. همچنین آزمون‌ها و پایشهای تاسیساتی و اجرایی این شمع‌ها در زمان اجرا و بعد از آن ارائه شد. این گزارش اطلاعات پایه‌ای برای آزمون و پایش شمع‌های انرژی را فراهم آورده که میتواند نیازهای مهندسی در زمینه مربوطه را فراهم آورد.

مراجع

- [۱] اکبری گرکانی، امیر. "دستورالعمل طراحی، اجرا و آزمون استفاده از شمع‌های انرژی در برج فن آوری‌های نوین برق حرارتی"، گزارش فنی، پژوهشگاه نیرو، جلد ۶، ۱۳۹۸، تهران، ایران.
- [2] Laloui, L., Nuth, M., & Vulliet, L. "Experimental and numerical investigations of the behaviour of a heat exchanger pile" *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 30(8), 763-781, 2006.
- [3] Di Donna, A., & Laloui, L. "Soil response under thermomechanical conditions imposed by energy geostructures" *Energy Geotechnics: Innovation in Underground Engineering*, 3-21, 2013.
- [4] Loveridge, F. "The thermal performance of foundation piles used as heat exchangers in ground energy systems" (Doctoral dissertation, University of Southampton), 2012.



ارزیابی شرایط بتن و عملکرد سازه‌های بتنی با بهره‌گیری از نانوتکنولوژی به منظور بکارگیری در سازه‌های صنعت برق

آزاده گودرزی^۱، ایمان امین دهقان^۲، آرش یگانه فلاح^۳

۱- استادیار و عضو هیأت علمی، گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو

۲- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Agoodarzi@nri.ac.ir

چکیده

در این مقاله به بررسی و مطالعه دانش‌ها و فناوری‌های به‌روز جهانی استفاده از مواد نانو ساختار به منظور بهبود شرایط و عملکرد مکانیکی بتن پرداخته می‌شود و مرور جامعی بر تحقیقات داخلی و خارجی انجام شده در این زمینه صورت می‌گیرد. همچنین، اسناد بالادستی مرتبط با صنعت برق کشور مورد مطالعه قرار می‌گیرد و با توجه به رویکرد و اهداف این اسناد و نیازهای صنعت برق و انرژی کشور، الزامات بکارگیری از مواد نانو ساختار در سازه‌های بتنی صنعت برق مورد بررسی قرار می‌گیرد و به منظور شناسایی جایگاه کنونی استفاده از مواد نانو ساختار در سازه‌های صنعت برق، چرخه عمر فناوری و بازار استفاده از این مواد در سازه‌های صنعت برق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: مواد نانو ساختار، بتن، سازه‌های صنعت برق، چرخه عمر فناوری



مطالعه آزمایشگاهی و عددی رفتار ستون لوله‌ای شکل کامپوزیتی تحت بارگذاری محوری فشاری با لحاظ تأثیر مودهای خرابی اتصالات پیچی

علی اصغر ذکاوتی^۱، محمدعلی جعفری صحنه‌سرای^۲، علی سعیدی^۳

۱- کارشناس ارشد سازه، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو

۲- استادیار، گروه سازه‌های صنعت برق، پژوهشگاه نیرو

۳- دانشجوی پسادکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

azekavati@nri.ac.ir

چکیده

مقاله حاضر به بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار و چگونگی شروع و رشد آسیب در پروفیل‌های لوله‌ای شکل کامپوزیتی پالتروژن با الیاف شیشه‌ای و رزین پلی‌استر تحت بارگذاری فشار محوری می‌پردازد. نمونه‌های مورد مطالعه در دو حالت مهارشده و مهارنشده تحت بارگذاری فشاری بین دو تکیه‌گاه مفصلی قرار گرفته و مقاومت فشاری به همراه مودهای خرابی آنها مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین شبیه‌سازی عددی رفتار پروفیل‌ها تحت نیروی فشاری با استفاده از تحلیل کماتش غیرخطی در نرم‌افزار ANSYS و با لحاظ مدلسازی آسیب پیش‌رونده در مصالح انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش حاکی از تأثیر قابل توجه اتصال در مقاومت فشاری نمونه مهارشده (نسبت به نمونه مهارنشده) و حاکم بودن مود خرابی اتصال بر رفتار فشاری آن است. مودهای خرابی مشاهده شده نمونه‌ها در آزمایش با نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی توافق مناسبی با یکدیگر دارند.

کلمات کلیدی: مقاطع کامپوزیتی لوله‌ای، آزمایش، نیروی محوری فشاری، تحلیل اجزای محدود، اتصالات

پیچی



Geo-Congress 2020

Minneapolis, Minnesota | February 25–28, 2020

Analytical and Numerical Study on the Ultimate Bearing Capacity of Energy Piles in Sandy Soils

Garakani A. A., Ph.D.¹, Heidari B., BSc.² and Jozani M. S., BSc.³

¹Assistant Professor, Structural Research Department, Niroo Research Institute, P.O. Box 14665517, Tehran, Iran; e-mail: aakbari@nri.ac.ir

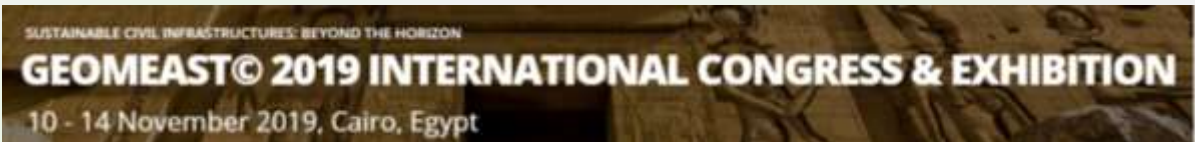
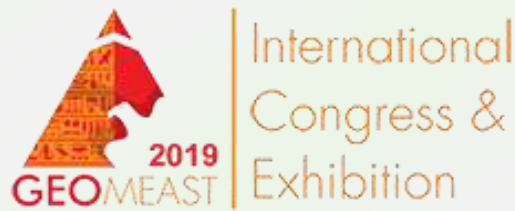
²Graduate Geotechnical Eng. Student, Civil Engineering Group, Faculty of Engineering, University of Science and Culture, P.O. Box 1461968151, Tehran, Iran; e-mail: b.heidari@stu.usc.ac.ir

³Graduate Geotechnical Eng. Student, Civil Engineering Group, Faculty of Engineering, University of Science and Culture, P.O. Box 1461968151, Tehran, Iran; e-mail: s.mokhtari@stu.usc.ac.ir

ABSTRACT

Thermomechanical behavior of energy piles is of great interest to the researchers, these days. In this paper, by considering different conditions for the mechanical behavior of the surrounding soil, an analytical approach is presented to determine the ultimate bearing capacity of the energy piles embedded in dry and saturated sandy soils under the application of the mechanical loads and imposing heating and cooling to the soil-pile system. In addition to analytical solution, a FEM software ABAQUS is implemented to simulate the bearing capacity of the energy piles in 3D condition. Then by making comparison between the analytical and numerical results, the functionality of the implemented approaches is evaluated for estimating the ultimate bearing capacity of the energy piles. Results are considered useful for engineering practical purposes as well as for the research works on this subject.

Keywords: Energy Pile, analytical solution, numerical modeling, ultimate load capacity, sand



Load capacity of helical piles with different geometrical aspects in sandy and clayey soils: A numerical study

Amir Akbari Garakani¹ and Jafar Maleki²

¹Assistant Professor, Niroo Research Institute (NRI), Tehran, Iran, aakbari@nri.ac.ir

²Master of Geotechnical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

In recent years, using helical piles as deep foundations for different types of structures has been increased considerably. In this paper, by using a finite element software (ABAQUS), the compressive and tensile load capacities of helical piles screwed in sandy and clayey soils have been studied numerically and corresponding load-displacement curves are presented. For this purpose, different geometrical aspects of the helical pile element (including the pile length, the main shaft diameter, the helix diameter and the internal helix spacing) have been taken into account for different soil properties conditions. In modeling efforts, a disturbed zone around the pile element is also considered for better catching the effect of the soil disturbance during pile installation procedure. Based on the obtained results, it is observed that for both types of the studied soils, increasing the helix diameter leads to an increase in load capacities. In addition, it is observed that by increasing the internal helix spacing up to three times of the helix diameter, the ultimate load capacities were increased and then remained almost unchanged. Similar trend was obtained from parametric study on the main shaft diameter. However, increasing the pile length was shown to have consistent increasing effect on the ultimate load capacities.

In this paper, to verify the obtained results, some experimental records are also considered and compared statistically with corresponding load capacities from numerical simulations. Comparisons show very good agreement between the numerical results, the experimental records and analytical solutions.

Keywords: Helical pile, numerical study, geometrical parameters, sand, clay, experimental verification



IUST

The Biennial International Conference on Experimental Solid Mechanics



Center of Excellence in Experimental Solid Mechanics and Dynamics,
School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology

Design of composite cross arm based on the experimental results obtained from the 5% lower exclusion limit

^{1*}Zekavati, A., ²Sharafi, M. and ³Saeedi A.

¹ Niroo Research institute, Dadman, Tehran, Iran, Azekavati@nri.ac.ir

² MSc

³ PhD

ABSTRACT

Composite cross arms, with their light weight, long service life and ease of installation, can be utilized in high voltage power transmission lines. In the present paper, mechanical tests were performed on the glass/polyester pultruded composites in order to determine the material properties of the composites. For each mechanical property, a number of 12 specimens were subjected to mechanical tests and the results were obtained based on the 5% lower exclusion limit (LEL). Design process of the cross arm was performed according to the available pultruded profiles within the country. A finite element analysis is conducted based on the obtained material properties, to examine the designed cross arms against the applied loading conditions. The finite element results approved the capability of the designed composite cross arm for utilizing in high voltage power transmission lines.

Keywords: Composite cross arm, Pultruded profile, Experimental tests, Finite element method.



Calibration of Safety Factor for Micropile in Transmission tower Foundations Based on Relative Reliability Approach

Mohammad-Ali Jafari¹, Ali-Asghar Zekavati²

¹ Ph.D, Assistant Professor, Structural Department of Transmission Research Center, Niroo Research Institute (NRI), Tehran, Iran, mjafari@nri.ac.ir

² MSc, Research Assistant, Structural Department of Transmission Research Center, Niroo Research Institute (NRI), Tehran, Iran

ABSTRACT

This paper determines the design safety factor of micropiles utilized in the foundation of electric power transmission towers against the geotechnical failure due to the compressive force (failure of micropile-soil cohesion) by using the relative reliability approach. On the basis of this approach, the design processes are conducted in a way so that the reliability of foundation would be greater than that of tower. In other words, the failure of tower structure should occur prior to that of foundation. In order to calculate the safety factors in terms of specific reliability level of foundation with respect to tower, reliability analyses were adopted using "Monte Carlo Sampling" method. Furthermore, the strength statistical characteristics of transmission towers and micropiles have been extracted based on the reports of previous tests. The results of which reveal that, considering the target value of Relative Reliability Factor (RRF)- the ratio between failure probabilities of tower to foundation- as 12, the values of safety factors attained in the current research are equal to 2.0 and 2.20 respectively for lattice and pole transmission towers. It should be remarked that these safety factors are only valid in cases of micropile design in dense sandy (SP-SM, SP&GW-GM) and clay-silt (SC, SM&SC-SM) soils.

Keywords: Safety factor, relative reliability, transmission line, micropile, geotechnical design

در این بخش، خلاصه‌ای از همکاری‌های اعضای محترم گروه در پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو و همچنین وضعیت پروژه‌های در حال انجام در گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق و پروژه‌هایی که در ابتدای سال ۹۸ عنوان آنها مورد تصویب قرار گرفته و کمیته تخصصی پروژه آنها تشکیل شده و به تصویب نهایی رسیده‌اند و در ادامه، محورهای تخصصی گروه، ارائه می‌شوند.

همکاری اعضای گروه سازه‌های صنعت برق در پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو

اعضای گروه	عنوان پروژه/طرح	واحد مجری	سمت در پروژه
مهندس علیرضا رهنورد	سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	معاونت فناوری	مجری
دکتر آزاده گودرزی	امکان سنجی فنی و اقتصادی و تهیه مدل عملیاتی تولید سازه‌های بتنی مقاوم به خوردگی مورد استفاده در صنعت برق	طرح توسعه فناوری های نوین کنترل و پایش خوردگی در صنعت برق	ناظر
مهندس علی اصغر ذکاوتی	امکانسنجی، طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه کراس آرم کامپوزیتی دکل انتقال نیروی تلسکوپی ۱۳۲ یا ۲۳۰ کیلوولت آویزی دو مداره با توجه به انتخاب گزینه برتر	معاونت تخصصی انتقال	مدیر پروژه
دکتر امیر اکبری گرکانی	تهیه و تدوین طرح استاندارد ایستگاه‌های شارژ در مکان‌های عمومی و خصوصی	مرکز توسعه فناوری خودروربری	ناظر
مهندس سلمان رضازاده بقال	داده برداری و بررسی عملکرد سیستم‌های نصب شده (نیروگاه فتوولتائیک یک مگاواتی اراک)	مرکز توسعه فناوری انرژی خورشیدی	کارشناس پژوهشی
مهندس سلمان رضازاده بقال	تدوین دانش فنی طراحی، اجرا و آزمون استفاده از شمع‌های انرژی در برج فن آوری های نوین برق حرارتی	طرح احداث برج فناوری‌های نوین با هدف تراز انرژی صفر	مدیر پروژه
مهندس سلمان رضازاده بقال	تدوین سند راهبردی و نقشه راه طرح کلان "توسعه فناوری تعمیرات و نگهداری در صنعت انتقال نیرو"	معاونت تخصصی انتقال	مدیر پروژه

پروژه‌ها و محورهای تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق

پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

عنوان پروژه	مدیر پروژه	تاریخ آغاز	تاریخ سررسید	درصد پیشرفت واقعی تا پایان خرداد ۹۸
تدوین دانش فنی طراحی مکانیکی، اجرا و آزمون شمع‌های مارپیچ در دکل‌های مشبک ۶۳ کیلوولت	دکتر امیر اکبری گرکانی	۱۳۹۷/۲/۱	۱۳۹۸/۵/۱	۹۷/۳
بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، به‌کارگیری و توسعه مواد نانو ساختار	دکتر آزاده گودرزی	۱۳۹۶/۱۲/۲۹	۱۳۹۸/۱/۳	۹۸/۸
تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی جوی، مرتبط با صنعت برق و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور	دکتر محمد علی جعفری صحنه سرائی	۱۳۹۵/۱۱/۲۰	۱۳۹۸/۶/۲۵	۷۸/۰۵
تدوین سند راهبردی شناسایی مخاطرات محیطی زمین، مرتبط با صنعت برق و پهنه بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور	مهندس علیرضا رهنورد	۱۳۹۶/۱/۲۳	۱۳۹۸/۲/۲۳	۶۳/۵
تدوین سند راهبردی ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای	مهندس سلمان رضازاده بقال	۱۳۹۶/۶/۱	۱۳۹۸/۱۰/۱	۷۰/۰۵

پروژه‌های تصویب شده گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در ابتدای سال ۱۳۹۸

عنوان پروژه	مدیر پروژه	کارفرما	تاریخ آغاز	تاریخ سررسید
طراحی، ساخت و آزمون بتن خود ترمیم شونده به منظور استفاده در مخازن صنعت برق	دکتر آزاده گودرزی	معاونت پژوهشی	۱۳۹۸/۵/۱	۱۳۹۹/۵/۱
تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه‌های شبکه انتقال و توزیع	دکتر امیر اکبری گرکانی	معاونت پژوهشی	۱۳۹۸/۶/۱	۱۳۹۹/۶/۱
بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راه کارهای کاهش آن‌ها	دکتر محمد علی جعفری صحنه سرائی	معاونت پژوهشی (سند پایش سلامت سازه‌های صنعت برق)	۱۳۹۸/۲/۱	۱۳۹۸/۱۱/۱

محورهای تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

ارزیابی ریسک و تاب‌آوری سازه‌های صنعت برق ناشی از مخاطرات محیطی

اهداف محور تخصصی:	زیر محور تخصصی:
<p>موضوع مورد نظر در این محور، اکتساب دانش فنی و توسعه مدل‌های ریاضی، ابزارهای محاسباتی و تعیین و گردآوری اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی کمی ریسک و تاب‌آوری سازه‌های صنعت برق در برابر انواع مخاطرات محیطی است. ریسک و تاب‌آوری به عنوان جدیدترین شاخص‌های مورد استفاده برای بیان عملکرد سازه‌ها مطرح بوده و مناسبترین ابزار برای تصمیم‌سازی‌های مدیریتی در ساخت، بهره‌برداری و نگهداری سازه‌ها و سیستم‌ها می‌باشند. رویکرد کلی در این محور بصورت تعریف فعالیت‌های تحقیقاتی در حوزه‌های شناسایی مخاطرات محیطی و توسعه مدل‌های احتمالاتی برای بیان وقوع و شدت آنها، توسعه مدل‌های احتمالاتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان و ریسک سازه‌های صنعت برق با نگرش سیستمی و توسعه مدل‌های ارزیابی تاب‌آوری در سازه‌های صنعت برق می‌باشد.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • شناسایی مخاطرات محیطی و پهنه‌بندی پارامترهای مشخصه آنها در سطح کشور • ارزیابی پی آمدهای خرابی سازه‌ها و سامانه‌ها در شبکه برق • توسعه مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های موجود صنعت برق در برابر مخاطرات محیطی • ارزیابی ریسک مخاطرات محیطی در شبکه برق کشور • ارزیابی تاب‌آوری سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات محیطی

تعیین ریسک قابل قبول سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات

اهداف محور تخصصی:	زیر محور تخصصی:
<p>پس از تعیین نوع و شدت مخاطرات محیطی تهدید کننده سازه‌های صنعت برق، برای طراحی و ساخت سازه‌هایی که تامین کننده اهداف "عملکرد تعریف شده، قابلیت اطمینان قابل قبول و تاب‌آوری مناسب" باشند، لازم است میزان ریسک قابل قبول برای این سازه‌ها تعیین تا بر این اساس بدون هدر رفت سرمایه در سه دوره ساخت، بهره‌برداری و نگهداری، و در نهایت نوسازی بتوان به آن اهداف دست یافت. برآورد شدت خطر و میزان خرابی‌های ناشی از آن، تعیین میزان همپوشانی مخاطرات و خرابی‌های محتمل و تصمیم‌گیری با توجه به اسناد بالادستی و سیاست‌های کلی شبکه تولید، انتقال و توزیع نیرو جزو مباحث مورد علاقه این محور می‌باشد.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • تدوین مبانی نظری و روش‌های تعیین ریسک قابل قبول در سازه‌های صنعت برق • تعیین ریسک قابل قبول سازه‌های صنعت برق به تفکیک مخاطرات مختلف

پروژه‌ها و محورهای تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق

بکارگیری و توسعه مصالح و تجهیزات نوین و هوشمند در سازه‌های صنعت برق	
<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>رویکرد این محور تخصصی، اکتساب دانش فنی و توسعه بکارگیری مواد، مصالح و تجهیزات نوین در سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق می‌باشد. با استفاده از فناوری‌ها و مواد نوین از جمله انواع کامپوزیت‌ها، مصالح هوشمند و با بکارگیری از نانو تکنولوژی می‌توان در جهت بهبود عملکرد و شرایط سازه‌ها و تجهیزات صنعت برق و همچنین افزایش ایمنی، قابلیت اطمینان، تاب‌آوری، دوام و طول عمر آنها و کاهش ریسک ناشی از مخاطرات و پایین آوردن هزینه‌های مربوط به تعمیر، نگهداری و بازسازی سازه و تجهیز و همچنین قابلیت تشخیص به موقع خرابی و پایش سلامت آنها اقدام کرد.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • بکارگیری مصالح و تجهیزات نوین در سازه‌های صنعت برق و توسعه ابزارهای مرتبط با آن • بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با استفاده از نانو تکنولوژی • بهبود عملکرد سازه‌های بتنی و فولادی صنعت برق با بکارگیری افزودنی‌های نوین • بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با بکارگیری و توسعه مصالح هوشمند

طراحی فونداسیون‌های نوین سازه‌های صنعت برق و ارائه راهکارهای کاهش ریسک مخاطرات ژئوتکنیکی	
<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>بر اساس رویکردهای موجود در این محور تخصصی، کاهش ریسک مخاطرات زمینی بر شبکه برق مورد توجه قرار می‌گیرد و ایمنی فونداسیون سازه‌های صنعت برق در برابر این مخاطرات بررسی می‌شود. همچنین استفاده از انواع فونداسیون‌های باربر سازه‌ای (مبتنی بر مفاهیم مهندسی ژئوتکنیک، مانند انواع پی‌های سطحی و عمیق) مطالعه می‌شود. از دیگر رویکردهای این محور تخصصی توجه به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر زمین گرمایی (مانند انرژی زمین گرمایی عمیق و شمع‌های انرژی) می‌باشد.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • توسعه و ارائه راهکارها و روشهای کاهش ریسک مخاطرات ژئوتکنیکی در شبکه برق کشور • تدوین و بازبینی استانداردهای طراحی فونداسیون سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان • توسعه روش‌ها و ابزارهای نوین در طراحی و بهینه‌سازی فونداسیون سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک • بکارگیری فونداسیون‌های نوین در سازه‌های صنعت برق • ارزیابی و طراحی فونداسیون‌های سازه‌های صنعت برق با هدف کاهش اثرات منفی زیست محیطی و رویکرد انرژی‌های پاک

طراحی بهینه سازه‌های صنعت برق و بکارگیری اجزاء و فرم‌های سازه‌های نوین

<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>یکی از موضوعات اساسی در سازه‌های صنعت برق، طراحی بهینه، عملکرد مناسب در برابر مخاطرات محیطی و استفاده از اجزا و فرم‌های نوین و کاربردی در طرح آن‌ها می‌باشد به نحوی که علاوه بر کاهش هزینه‌های ساخت و انطباق با محیط بهره‌برداری منجر به افزایش قابلیت اطمینان و توسعه فناوری‌های نوین گردد. در این محور علاوه بر اهداف فوق، توسعه روش‌های کاهش ریسک مخاطرات محیطی بر روی سازه‌های صنعت برق، بکارگیری ابزارهای نوین طراحی و تدوین و بازبینی استانداردهای سازه‌های صنعت برق دنبال می‌شود.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • توسعه و ارائه راهکارها و روش‌های کاهش ریسک مخاطرات محیطی در شبکه برق کشور • تدوین و بازبینی استانداردهای بارگذاری، طراحی و ارتقا سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان • توسعه روش‌ها و ابزارهای نوین در طراحی و بهینه‌سازی سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک • بکارگیری اجزاء، ساختارها و فرم‌های سازه‌های نوین در سازه‌های صنعت برق • ارزیابی و طراحی سازه‌های صنعت برق با هدف کاهش اثرات منفی زیست محیطی و رویکرد انرژی‌های پاک
--	--

تعیین عمر باقیمانده سازه‌های صنعت برق به ازای ریسک قابل قبول شبکه برق

<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>در حال حاضر تمامی تلاش‌های محققین و صنعتگران معطوف به روش‌ها و فناوری‌های مرتبط با پایش و تشخیص عیوب، ارزیابی عمر و وضعیت عملکردی و در نهایت بررسی امکان افزایش عمر تجهیزات موجود، شده است. بطور خلاصه افزایش عمر در صنعت برق بمفهوم تأمین قابلیت اطمینان مورد نظر مشترکین و متصدیان امر با کمترین هزینه تعریف می‌شود در حالیکه اطمینانی از کیفیت و قابلیت اطمینان تجهیزات تا کنون حاصل نشده است. اعمال سخت‌گیری بر روی رعایت سطوح استاندارد، تأکید ناظران و بهره‌برداران بر روی شرایط تضمین سطوح استاندارد و جریمه‌های عدم حصول به آن، پیرشدگی مداوم تجهیزات و در نهایت کمبود منابع مالی بهره‌برداران جهت تاسیس، تعمیرات و نگهداری شبکه برق، لزوم ارزیابی و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های صنعت برق را نمایان می‌سازد.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • پایش سلامت سازه‌های صنعت برق • ارزیابی عمر باقیمانده سازه‌های صنعت برق
---	--

پروژه‌ها و محورهای تخصصی گروه سازه‌های صنعت برق

کنترل کیفیت ساخت، نظارت و اجرای سازه‌های صنعت برق	
<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>همواره اطمینان از کیفیت ساخت سازه‌های صنعت برق و نظارت صحیح بر اجرای آن‌ها و از طرفی توسعه فناوری ساخت و اجرا، از دغدغه‌های کارفرمایان بوده است لذا در این طرح بازبینی و تدوین استانداردهای کنترل و تضمین کیفیت ساخت سازه‌های صنعت برق و توسعه روشها و ابزارهای نوین در اجرای سازه‌های صنعت برق در اجرا و نظارت آن مد نظر قرار دارد.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • بازبینی و تدوین استانداردهای کنترل و تضمین کیفیت ساخت و نظارت بر اجرای سازه‌های صنعت برق • توسعه روشها و ابزارهای نوین در اجرای سازه‌های صنعت برق

مدیریت عمر سازه‌های صنعت برق جهت حفظ قابلیت اطمینان شبکه برق	
<p>اهداف محور تخصصی:</p> <p>موضوع مورد نظر در این محور، اکتساب دانش فنی و توسعه مدل‌های ریاضی، ابزارهای محاسباتی و تعیین و گردآوری اطلاعات مورد نیاز برای مدیریت عمر سازه‌های صنعت برق می‌باشد. رویکرد کلی در این محور بصورت تعریف فعالیت‌های تحقیقاتی در حوزه‌های مدیریت عمر سازه‌های صنعت برق، توسعه مدل‌های احتمالاتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان می‌باشد. آنالیز قابلیت اعتماد یکی از معتبرترین راه حل‌ها برای ارزیابی احتمالاتی رفتار سازه‌های صنعت برق می‌باشد. در این روش، مدل‌های احتمالاتی مناسبی به هر یک از متغیرهای موجود در مساله نسبت داده می‌شود. با شناسایی عوامل تاثیر گذار بر عمر و تعیین مکانیزم تاثیرگذاری بر عمر با توجه به اطلاعات آماری و خرابی‌های گذشته، میزان عمر باقیمانده با انجام بازرسی وضعیت کنونی و استفاده از مبانی قابلیت اعتماد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که مبنای ارائه راهکارهای ارتقاء عملکرد قرار خواهد گرفت. سطح اعتمادپذیری هدف و یا به عبارت دیگر مبانی و معیارهای ایمنی در هر کشور از سوی دولت و با توجه به سیاست‌های اقتصادی و اجتماعی آن و با توجه به مصالح کوتاه و بلند مدت کشور تعیین می‌گردد.</p>	<p>زیر محور تخصصی:</p> <ul style="list-style-type: none"> • توسعه راهکارها و تدوین دستورالعمل‌های مدیریت بحران در صنعت برق • توسعه روشها و ابزارهای نوین مدیریت تعمیرات و نگهداری سازه‌های صنعت برق • توسعه روشها و راهکارهای رفع یا کاهش آسیب‌های موجود در سازه‌های صنعت برق

جلسات تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در زمستان ۹۷ و بهار ۹۸

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۹۷/۱۰/۰۴	جلسه هم‌اندیشی گروه، بررسی تعریف پروژه‌های ۱۳ صفحه‌ای پیشنهادی متناسب با اولویت‌های تحقیقاتی صنعت برق	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۰/۰۴	مصاحبه با متقاضیان جذب هیئت علمی شهریور ۹۷ (آقایان دکتر خان محمدی و دکتر ذبیحی سامانی)	دکتر جانعلی زاده، دکتر جعفری، دکتر اکبری، دکتر گودرزی، مهندس ذکاوتی	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۰/۱۱	جلسه کمیسیون فنی شمع انرژی	دکتر جانعلی زاده، دکتر نظرپور، دکتر قاسمی‌فر، دکتر اکبری / دکتر اکبری	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۰/۱۹	جلسه هم‌اندیشی گروه درخصوص فراخوان بهمن ۹۷ جذب هیئت علمی	دکتر جانعلی زاده، دکتر گودرزی، دکتر اکبری، دکتر جعفری، مهندس ذکاوتی	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۰/۲۶	اولین جلسه شورای راهبری گروه سازه	اعضا شورا، دکتر احسانیان، دکتر حسنی، دکتر عبدلی	سالن کنفرانس ط ۲ ساختمان چمران
۹۷/۱۱/۰۷	جلسه ارائه درخصوص پروژه شمع انرژی	دکتر جانعلی زاده، دکتر نظرپور، دکتر اکبری، مهندس حجت	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۱/۱۶	جلسه درخصوص محورهای تخصصی سال ۹۸	دکتر جانعلی زاده، دکتر احسانیان، مهندس ذکاوتی	دفتر گروه سازه
۹۷/۱۱/۳۰	کمیسیون فنی پروژه: بهبود عملکرد سازه‌های صنعت برق با شناسایی، به‌کارگیری و توسعه مواد نانو ساختار	دکتر جانعلی زاده، دکتر سلیمانی، دکتر گودرزی، دکتر یگانه فلاح، مهندس ذکاوتی / دکتر گودرزی	دفتر گروه سازه
۹۸/۰۱/۲۷	جلسه هم‌اندیشی گروه درخصوص بررسی بودجه پروژه‌های گروه	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۸/۰۲/۱۷	جلسه برگزاری کمیسیون فنی مراحل نهایی پروژه "امکان سنجی، طراحی، ساخت و انجام آزمون‌های استاندارد یک نمونه کراس آرم کامپوزیتی"	مهندس فرضعلی زاده، مهندس محمدی، مهندس ذکاوتی، دکتر جعفری	سالن کنفرانس ط ۲ ساختمان شهیدعباسپور
۹۸/۰۳/۰۸	جلسه با موضوع "بررسی پروژه‌های در دست اقدام گروه"	اعضا گروه سازه	دفتر گروه سازه
۹۸/۰۳/۲۸	جلسه برگزاری کمیسیون فنی مراحل ۲ الی ۶ پروژه "شمعهای انرژی برج فناوریهای برق حرارتی"	دکتر جانعلی زاده، دکتر نظرپور، دکتر اکبری، مهندس حجت، مهندس ذکاوتی / دکتر اکبری	دفتر گروه سازه