



# بروزداد تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

پژوهشگاه نیرو - گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال ششم، شماره ۸۲، زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱



- معرفی و دسته‌بندی انواع دکل‌های تکی خطوط انتقال نیرو - علی اصغر دکاوتی، محمد علی جعفری صحنه سرایی
- معرفی روش‌های بهسازی پی سازه‌های انتقال نیرو و اولویت بندی انتخاب آنها در برابر فرونشست زمین - امیر اکبری کرکافی
- بکارگیری فناوری‌های نوین آزمایشگاهی در ارزیابی سازه‌های صنعت برق - آرش یگانه فلاح
- فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱ - آرش یگانه فلاح، علیرضا رهنورد
- انتشارات علمی، پروژه‌ها و فعالیت‌ها

## گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➤ صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: علیرضا رهنورد

سردبیر و مدیر اجرایی: امیر اکبری گرکانی

ویراستار: علیرضا رهنورد، امیر اکبری گرکانی

گرافیکست و صفحه‌آرا: رفعت امینی

عکس روی جلد: مائده ذاکر صالحی، امیر اکبری

گرکانی

➤ اعضای هیات تحریریه:

محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، مائده

ذاکر صالحی، سلمان رضازاده، علی اصغر ذکاوتی،

علیرضا رهنورد، آرش یگانه فلاح و امیر

اکبری گرکانی

➤ اعضای هیات‌داوران:

علیرضا رهنورد، محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی،

آرش یگانه فلاح، مائده ذاکر صالحی، علی اصغر

ذکاوتی، سلمان رضازاده و امیر اکبری گرکانی

➤ همکاران این شماره:

علیرضا رهنورد، رفعت امینی، محمدعلی جعفری

صحنه سرائی، آرش یگانه فلاح، مائده ذاکر صالحی،

علی اصغر ذکاوتی، سلمان رضازاده و امیر اکبری

گرکانی

➤ ناشر: پژوهشگاه نیرو

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

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای شهید دادمان،

پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های

صنعت برق» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب

برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با

سازه‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف

صنعت برق به صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای

هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده

از مطالب برونداد تخصصی گروه پژوهشی

سازه‌های صنعت برق با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج شده

بر عهده نویسندگان است.

## فهرست مطالب

۱		سخن سردبیر / امیر اکبری گرکانی
۲		مقالات و مطالب پژوهشی
۳		معرفی و دسته بندی انواع دکل های بتنی خطوط انتقال نیرو
۲۷		معرفی روشهای بهسازی پی سازه های انتقال نیرو و اولویت بندی انتخاب آنها در برابر فرونشست زمین
۴۰		بکارگیری فناوریهای نوین آزمایشگاهی در ارزیابی سازه های صنعت برق
۶۳		انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس های بین المللی و ملی
۶۴		پروژه ها و فعالیت های گروه سازه های صنعت برق
۷۲		جلسات گروه پژوهشی سازه های صنعت برق در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱

پیشرفت روز افزون دانش صنعت برق، ضرورت ارائه نتایج حاصل از پژوهش‌ها و تحقیقات را برای استفاده محققان و علاقه‌مندان ایجاد کرده است. در این راستا، برون داد‌های علمی و پژوهشی، نقش کلیدی و اساسی در فرایند ثبت، نشر و ارتقای سطح این پژوهش‌ها و نیز ایجاد بستر مناسب برای توسعه ارتباط میان پژوهشگران دارند. در این راستا با عنایت خداوند و همت و بجاری اعضاء گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، نخنی دیگری از برون داد‌های تخصصی این گروه تدوین و نگارش شده است.

در شماره ۱۲ این نشریه، نخنی از برون داد‌های فعالیت‌های پژوهشی اعضاء گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق و رخدادهای مرتبط در بازه‌ی زمانی زمستان سال ۱۴۰۰ و بهار سال ۱۴۰۱ ارائه شده است. این موارد شامل ۳ گزارش پژوهشی حاصل پروژه‌های در حال انجام یا خاتمه یافته، گزارشی از از فعالیت‌های آزمایشگاه مرجع سازه‌های صنعت برق اراک، وضعیت پروژه‌های جاری، در دست تعریف یا تصویب گروه سازه، انتشارات علمی اعضاء گروه سازه و نیز خلاصه‌ای از بجاری اساتید دانشگاه‌ها در طرح‌های به‌تمام و همچنین جلسات تخصصی برگزار شده در گروه سازه می‌باشد.

امیر اکبری کرکافی

استادیار پژوهشی گروه سازه‌های صنعت برق

## مقالات و مطالب پژوهشی

## معرفی و دسته بندی انواع دکل های بتنی خطوط انتقال نیرو

علی اصغر ذکاوتی<sup>۱</sup>، محمدعلی جعفری<sup>۲</sup>

**چکیده:** یکی از مهمترین و پرمصرفترین مولفه های شبکه انتقال، دکل های انتقال برق است. دکل های فلزی به دلیل موجود بودن سابقه طراحی، ضوابط مشخص شده مربوط به این نوع مصالح و دکل ها در آیین نامه ها به نسبت سایر انواع دکل ها در تیراژ بیشتری تولید می گردد ولی در سال های اخیر استفاده و بکارگیری دکل های بتنی با ساختار تک پایه نیز رشد روز افزونی داشته است. در این گزارش مقدمه ای بر انواع دکل های بتنی و مزایای و معایب آن ها ارائه شده و سپس انواع این نوع دکل ها از دیدگاه های مختلف دسته بندی و به روش های ساخت آن ها اشاره می شود.

**کلیدواژه:** دکل بتنی، خطوط انتقال نیرو، سانتریفیوژ، پیش تنیده، بتن مسلح

### مقدمه

دکل های انتقال برای نگاه داشتن هادی های فاز و سیم های محافظ خطوط انتقال هوایی در موقعیت مناسب خود، استفاده می شوند. دکل هایی که معمولاً در خطوط انتقال استفاده می شوند یا از نوع مشبک یا از نوع کنسولی یا تلسکوپی (تک پایه یا قابی) هستند. دکل های مشبک معمولاً از مقاطع نبشی فولادی تشکیل شده اند. دکل های تلسکوپی می توانند چوبی، فولادی یا بتنی باشند. هر یک از انواع دکل ها می توانند خودایستا یا مهاري باشند.

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

<sup>۲</sup> استادیار پژوهشی گروه سازه های صنعت برق، پست الکترونیکی: [mjafari@nri.ac.ir](mailto:mjafari@nri.ac.ir)



بتن یکی از مصالحی است که از دیرباز بصورت تسلیح شده (به همراه میلگردهای فولادی) در اعضای سازه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. بتن مسلح ممکن است مهمترین ماده موجود برای ساخت و ساز باشد. بتن تقریباً برای تمام سازه‌ها به اشکال مختلف استفاده می‌شود. بتن مخلوطی از ماسه، شن، سنگ خرد شده یا سایر سنگدانه‌ها است که در توده‌ای سنگ مانند با خمیر سیمان و آب کنار هم قرار می‌گیرند. گاهی اوقات یک یا چند ماده افزودنی برای تغییر ویژگی‌های خاص بتن مانند کارایی، دوام و زمان سخت شدن آن اضافه می‌شود. مانند بیشتر مصالح سنگی، بتن دارای مقاومت فشاری بالا و مقاومت کششی بسیار کم است. بتن مسلح ترکیبی از بتن و فولاد است که در آن میلگرد فولادی استحکام کششی کم بتن را جبران می‌کند. میلگردهای فولادی همچنین قادر به مقاومت در برابر نیروهای فشاری هستند و در ستون‌ها و همچنین در موقعیت‌های دیگر استفاده می‌شوند [۱].

از مزایای اصلی بتن می‌توان به مقاومت فشاری زیاد نسبت به هزینه آن، ارزان بودن و در دسترس بودن مواد اولیه آن، قابلیت ساخت در انواع اشکال هندسی و با جزئیات مختلف، قابلیت ساخت در کارگاه‌های ساختمانی یا تولیدی‌های قطعات بتنی با استفاده از مصالح تشکیل‌دهنده خود و بدون نیاز به نیروی کار با مهارت‌های خاص، مقاومت خوب در برابر آتش و آب اشاره نمود. در مقابل مزایای فوق، مهمترین عیب بتن مقاومت کششی پایین آن است که تسلیح آن با استفاده از مصالح دیگر (فولاد، کامپوزیت و...) را ایجاب می‌کند. از دیگر معایب بتن می‌توان نسبت پایین مقاومت به وزن و حجم (که منجر به وزن و حجم نسبتاً بالای قطعات بتنی می‌شود)، تغییرات نسبتاً زیاد و پراکندگی بالای خواص مکانیکی آن (به دلیل عدم امکان کنترل دقیق بر فرآیند ساخت، عمل‌آوری و ریختن آن) را نام برد [۱].

یکی از مهمترین ویژگی های بتن، امکان تنظیم مصالح تشکیل دهنده و روش های ساخت آن برای ارتقاء کیفیت و خواص آن است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بهبود کیفیت بتن (در زمینه هایی نظیر افزایش مقاومت، افزایش شکل پذیری، افزایش دوام، کاهش وزن، کاهش نفوذپذیری) انجام شده است که اکثر آنها تغییر در ترکیب بتن (که به آن طرح اختلاط بتن گفته می شود) را بررسی کرده اند، با این حال استفاده از افزودنی ها و همچنین جایگزین کردن مصالح متداول مورد استفاده در بتن با مصالح جدید، همیشه مورد توجه بوده است.

همانند سایر انواع سازه های مهندسی، از بتن در ساخت بدنه دکل های انتقال و پایه های توزیع نیز استفاده شده که این نوع از سازه ها بطور کلی، دکل (یا پایه) بتنی<sup>۱</sup> نامیده می شوند. در این گزارش، ضمن معرفی دکل های بتنی (با تأکید بر رده انتقال و فوق توزیع) و مزایا و معایب آنها، انواع آنها از جنبه های مختلف، سوابق ساخت و استفاده از آنها در خطوط انتقال نیرو مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### معرفی و دسته بندی انواع دکل های بتنی

دکل ها و پایه های بتنی مسلح در طول سالیان متمادی در طرح های مختلف برای خطوط هوایی برق مورد استفاده قرار گرفته اند و امروزه به طور گسترده به عنوان تیرهای بتنی برای خطوط فشار ضعیف و متوسط شبکه توزیع استفاده می شوند. در سال های اخیر از دکل های بتنی برای خطوط انتقال نیز استفاده شده است. زمانی که دکل های بتنی به درستی طراحی و ساخته شوند، بدون هیچ گونه تلاشی برای تعمیر و نگهداری، عمر مفید بالایی خواهند داشت. به طور خاص، پوشش مجدد دکل ها برخلاف سازه های فولادی ضروری نخواهد بود. نمونه های بهره برداری شده نشان داده اند که دکل های بتنی پس از ۵۰ سال کارکرد،

---

<sup>۱</sup> - Concrete Pole



قابلیت سرویس‌دهی کاهش نیافته‌ای داشته‌اند. دکل‌های بتنی به دلیل تأثیر بصری مطلوب خود، در نزدیکی مناطق مسکونی مورد توجه خاص هستند. آنها به لحاظ هزینه‌های ساخت به دلیل نیاز کمتر به فولاد، منطقی و قادر به رقابت با سایر انواع دکل‌های انتقال هستند. این دکل‌ها بطور خاص در کشورهایی مورد توجه قرار می‌گیرند که نیاز به واردات فولاد دارند؛ اما سیمان و سنگدانه‌های بتن در دسترس هستند. وزن بالا یک نقطه ضعف بزرگ برای دکل‌های بتنی بوده و تلاش برای حمل و نقل و نصب را افزایش می‌دهد. وزن بالا در بیشتر موارد کاربرد را به ارتفاعات کمتر محدود می‌کند. به همین ترتیب ابزارهای قدرتمندی برای نصب ضروری هستند که در هر نوع زمین قابل استفاده نیستند. هنگام حمل و نقل، ممکن است ترک‌هایی ایجاد شود و دکل دیگر قابل استفاده نباشد. علاوه بر تولید، امکانات حمل و نقل نیز طول قطعات دکل‌ها را محدود می‌کند. در مناطق کوهستانی، استفاده از دکل‌های بتنی اغلب به دلیل دشواری انتقال آنها به محل استقرار، مشکل است [۲].

پایه‌های بتنی پیش‌تنیده از دوام بیشتری نسبت به پایه‌های چوبی یا فولادی برخوردارند و از نظر زیبایی‌شناسی دلپذیر هستند. تسلیح این پایه‌ها از یک قفسه سیم مارپیچ برای جلوگیری از ترک‌های طولی و استرندهای طولی با استحکام بالا برای پیش‌تنیدگی تشکیل شده است. پایه‌های بتنی بسیار سنگین‌تر از انواع فولادی یا چوبی هستند. وزن بیشتر آنها هزینه‌های حمل و نقل و جابجایی را افزایش می‌دهد. بنابراین، معمولاً زمانی که یک کارخانه تولیدی در نزدیکی محل پروژه وجود دارد، استفاده از پایه‌های بتنی به صرفه می‌شود [۳].

با توجه به عملکرد مناسب (در صورت طراحی و ساخت مناسب) دکل‌های بتنی در برابر مخاطراتی همچون آتش‌سوزی‌های جنگلی، رویدادهای شدید آب و هوایی و طوفان‌های یخ و در نتیجه خرابی کمتر

این نوع دکل ها، تعداد دکل های مورد نیاز جهت جایگزینی و زمان مورد نیاز برای بازیابی شبکه بعد از حوادث کمتر شده و به همین دلیل موجب صرفه جویی مالی خواهد شد. دکل های بتنی می تواند تأثیر مالی قابل توجهی به دنبال داشته باشد و در نتیجه ایجاد شود [۴].

مهمترین مزایای دکل های بتنی در صورت که به درستی طراحی و ساخته شوند عبارتند از:

- در دسترس بودن و هزینه پایین مصالح برای ساخت داخل
- نصب سریع و هزینه های پایین فونداسیون (در حالت دفن مستقیم)
- ایمنی بیشتر در برابر خرابکاری و سرقت قطعات بتنی
- امکان صعود و بهره برداری راحت تر
- نیاز کمتر به تعمیر و نگهداری در طول عمر
- استحکام بالا و بدون کاهش در طول عمر
- عمر طولانی در صورت طراحی و ساخت صحیح
- مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی و اثرات زیست محیطی
- مقاومت بالا در برابر آتش و آب
- زمان بازیابی انرژی سریعتر پس از حوادث شدید طبیعی

مهمترین معایب دکل های بتنی عبارتند از:

- وزن نسبتاً زیاد
- حمل و نقل و نصب نسبتاً دشوار (به خصوص در نواحی صعب العبور)
- حساسیت در برابر بارهای دینامیکی و زلزله

- اثرات محیط زیستی نامطلوب با توجه به لحاظ چرخه عمر و بکارگیری مصالح بتنی
- نیاز به کنترل کیفیت مستمر و بیشتر فرآیند ساخت

دکل‌های بتنی مسلح از دو ماده اصلی بتن و میلگرد فولادی ساخته می‌شوند. میلگردهای مورد استفاده در دکل‌های بتنی در دو راستای طولی (برای تأمین مقاومت خمشی و محوری) و عرضی (بصورت مارپیچ یا خاموت برای تأمین مقاومت برشی و پیچشی، مقاومت در برابر تنش‌های شعاعی حاصل از اثر گوه‌ای در دکل‌های پیش‌تنیده و کنترل ترک‌های بتن) بکار می‌روند. در دکل‌های پیش‌تنیده، از تاندون یا استرندهای چند رشته‌ای برای تسلیح مقطع در راستای طولی استفاده می‌شود که ممکن است میلگردهای معمولی نیز به عنوان تقویت اضافی استفاده شوند [۵]. دکل‌های بتنی دارای انواع مختلفی بوده و از جنبه‌های گوناگون قابل دسته‌بندی می‌باشند. در ادامه، دسته‌بندی انواع دکل‌های بتنی از جنبه‌های مختلف ارائه شده است.

### دسته‌بندی دکل‌های بتنی از نظر ساختار ایستایی سازه

از نظر ساختار ایستایی سازه‌ای، دکل‌های بتنی را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود: (شکل ۱) [۷]

۱. دکل‌های تک‌پایه<sup>۱</sup> یا کنسولی<sup>۲</sup>

۲. دکل‌های مهار<sup>۳</sup>

۳. دکل‌های قابی<sup>۴</sup>

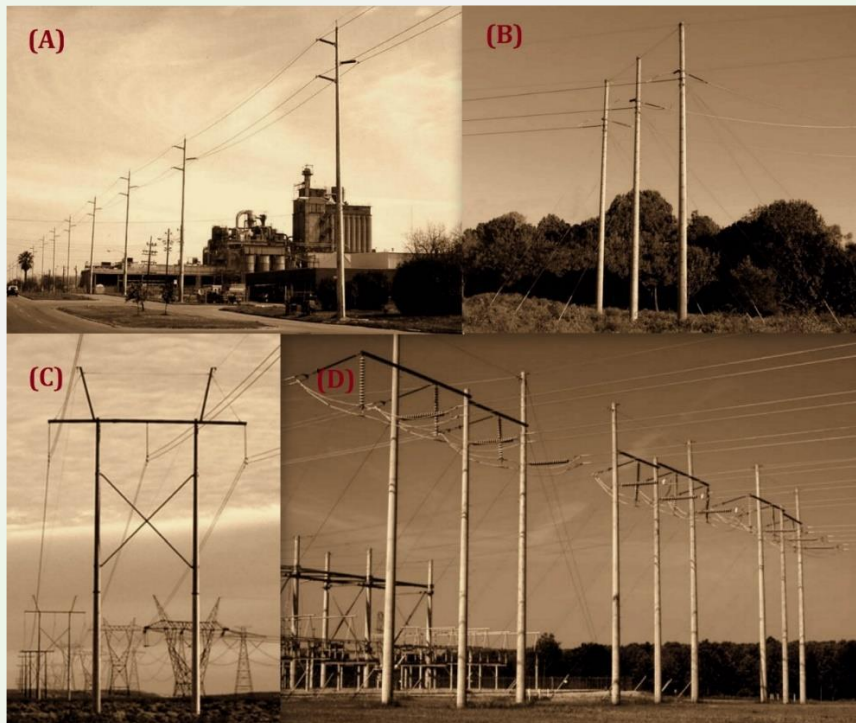
<sup>۱</sup> - Monopole

<sup>۲</sup> - Cantilevered

<sup>۳</sup> - Guyed

<sup>۴</sup> - Framed

#### ۴. دکل های ترکیبی<sup>۱</sup>



شکل ۱: انواع دکل های بتنی به لحاظ ساختار ایستایی: (a) تک پایه کنسولی (b) مهاري (c) قابي (d) ترکیبی [۶]

متداول ترین نوع دکل بتنی، دکل های تک پایه یا کنسولی است که مستقیماً در زمین دفن شده و یا بر روی فونداسیون احداث می شوند. این نوع دکل ها بسته به نحوه جهت گیری هادی های فاز، می توانند سازه های تک یا چند پایه باشند. دکل های کنسولی که اغلب سازه های خود ایستا نامیده می شوند، به گونه ای طراحی می شوند که ترکیبات مختلف بارهای عمودی و افقی را به عنوان یک تیر-ستون بدون تکیه گاه اضافی تحمل کنند. اگرچه بارهای برشی و پیچشی باعث ایجاد تنش در سازه می شوند، طراحی یک سازه کنسولی عموماً توسط تنش های خمشی ناشی از بارهای افقی کنترل می شود. بارهای افقی معمولاً در نتیجه کشش سیم و

<sup>۱</sup> - Combined

نیروهای باد وارد بر سازه، تجهیزات و سیم‌ها هستند. بارهای عمودی خارج از مرکز نیز به تنش‌های خمشی کمک می‌کنند [۵].

دسته دیگری از دکل‌های بتنی (پیش‌تنیده) سازه‌های مهاریه هستند. برای کاهش تنش‌های خمشی مرتبط با سازه‌های کنسولی، می‌توان سیم‌های فولادی مهاریه را برای انتقال بارهای افقی وارد بر سازه به زمین نصب کرد. اگر چه سیم‌های مهاریه به طور قابل توجهی تنش‌های خمشی در سازه را کاهش می‌دهند، مولفه عمودی نیروی مهار باعث بارگذاری عمودی اضافی بر روی دکل می‌شود. این بار عمودی و تمرکز تنش موضعی در نزدیکی اتصالات سیم مهار باید در طراحی سازه در نظر گرفته شود. اندازه سیم مهار، جهت‌گیری، پیش‌کشش، و حداکثر بار مجاز مهار باید برای سازنده سازه مشخص شود [۵].

دکل‌های قابی از اعضای سازه‌ای متعددی از جمله پایه‌ها، کراس‌آرم، مهاربندهای متقاطع و مهاربندهای X تشکیل می‌شوند. دو یا چند دکل توسط اعضا به یکدیگر متصل می‌شوند به طوری که دکل‌ها و اعضای اتصال به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر خمش عمل کنند. سازه‌های قابی به گونه‌ای پیکربندی شده‌اند که امکان انتقال بارهای افقی به زمین را از طریق سختی کل سیستم سازه فراهم می‌کند. سختی با استفاده از اعضای مهاربندی با اتصالات مفصلی، اتصالات گیردار یا ترکیبی از این دو به دست می‌آید. البته لازم به ذکر است که سازه در جهت طولی، عمود بر صفحه مهاربندی، کنسولی است. یک دکل قابی H شکل متقارن بدون مهاربندی ممکن است به عنوان یک سازه کنسولی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، زیرا اتصال مفصلی دکل به کراس‌آرم، یک اتصال مقاوم در برابر خمش ایجاد نمی‌کند. مانند سازه‌های مهاریه، دکل‌های قابی نیز معمولاً به عنوان یک سیستم با استفاده از نرم‌افزار تحلیل سازه سه بعدی تحلیل می‌شوند. طراح سازه باید اندازه، جهت و جزئیات اتصال همه اعضای قاب را تعیین کند [۵].



دکل ها ممکن است به صورت ترکیبی از سازه های کنسولی، مهاری یا قابی طراحی شوند. نمونه های این ساختار عبارتند از: ساختار تک پایه مهار شده در زیر هادی پایینی، ساختار قابی H شکل که بالای کراس آرم بصورت کنسول قرار گرفته است، و ساختار قابی H که در پایین مهاربند X با سیم مهار شده است. ماهیت کنسولی در جهت طولی یک ساختار قابی H مهاربندی شده را می توان با اضافه کردن سیم مهار در این جهت تغییر داد. شکل 2 یک ساختار ترکیبی را نشان می دهد که در برابر برخی از بارها از طریق سیم های مهار مقاومت می کند [۵].



شکل ۲: نمونه دکل ترکیبی از دو پایه قابی مهار شده [۵]

برای دکل های بتنی، استفاده از کراس آرم های ساخته شده از بتن نیز مرسوم است. کراس آرم های فولادی و مقره های خود کراس آرم<sup>۱</sup>، جایگزین هایی هستند که به طور فزاینده ای بخصوص در آمریکای شمالی استفاده می شوند [۲].

<sup>۱</sup> - Post Insulator





کراس آرم بتنی



کراس آرم فولادی خربایی



مقره خودکراس آرم

شکل ۳: انواع متداول کراس آرم در دکل‌های بتنی

### دسته‌بندی دکل‌های بتنی از نظر شکل هندسی مقطع

از نظر شکل هندسی مقطع، دکل‌های بتنی را می‌توان به سه دسته به شرح ذیل تقسیم نمود: (شکل ۴)

۱. مقطع لوله‌ای (گرد) توخالی<sup>۱</sup>

۲. مقطع مستطیلی (چهارگوش)<sup>۲</sup>

۳. مقطع  $H$  شکل<sup>۳</sup>

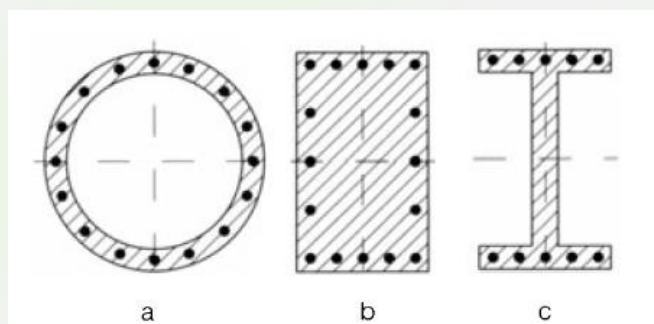
دکل‌های با مقطع توخالی لوله‌ای، که ابعاد مقطع به صورت مخروطی از بالای دکل تا پایین آن متغیر است، با توجه به اینکه تقارن آرماتورهای آن، برای بارهای اعمال شده در هر جهتی، مقاومت یکسانی دارند.

<sup>۱</sup> - Tubular Hollow Cross Section

<sup>۲</sup> - Rectangular Cross Section

<sup>۳</sup> - H-Cross Section

در دکل های با مقطع مستطیلی نیز، ابعاد مقطع از بالا به پایه دکل افزایش یافته و سنگین تر از دکل های بتنی توخالی هستند. اگرچه، می توان آنها را با استفاده از تجهیزات ساده در محل تولید کرد. در دکل های با مقطع H، که به آنها مقطع دوگانه T یا I شکل نیز می گویند نیز، ابعاد مقطع به طور یکنواخت از بالا تا پایه دکل افزایش می یابد. این نوع دکل ها در جهت عمود بر ضلع باریک تر مقاومت بیشتری داشته و می توانند برای بارهای متوسط، اقتصادی تر از انواع دیگر باشند [۲].



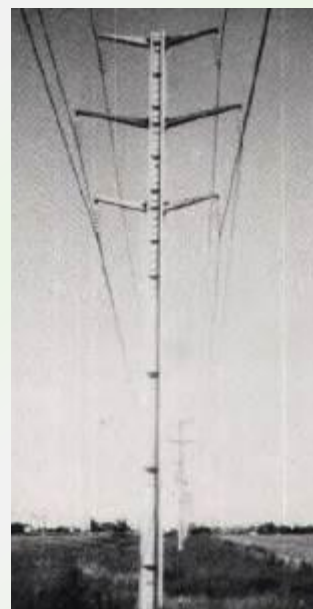
شکل ۴: انواع مقطع دکل های بتنی به لحاظ شکل هندسی: (a) مقطع لوله ای توخالی (b) مقطع مستطیلی (c) مقطع H [۲]



مقطع لوله ای (گرد) توخالی



مقطع مستطیلی



مقطع H شکل

شکل ۵: انواع شکل مقطع در دکل های بتنی

دسته بندی دکل های بتنی از نظر نوع تسلیح مقطع

دکل‌های بتنی مسلح از نظر نوع تسلیح مقطع خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱. دکل‌های بتنی با میلگرد معمولی<sup>۱</sup>

۲. دکل‌های بتنی پیش‌تنیده<sup>۲</sup>

در دکل‌های با تسلیح معمولی، میلگردهای طولی از نوع میلگردهای فولادی متداول در سازه‌های بتنی مسلح می‌باشند که در ترکیب با بتن، مقاومت مقطع را در برابر نیروی محوری و لنگر خمشی تأمین می‌کنند. در دکل‌های بتنی پیش‌تنیده، با اعمال یک تنش ثابت دائمی فشاری در امتداد طولی دکل بتنی به اندازه لازم، مقداری از تنش‌ها و ترک‌های کششی ناشی از بارهای وارده خشی شده و در نتیجه مقاومت کششی بتن و مقاومت مقطع افزایش پیدا می‌کند. اعمال تنش فشاری بر بتن از طریق کشیدن تاندون‌های فولادی تعبیه شده در آن و متصل کردن این تاندون‌های کشیده شده به عضو بتنی و رهاسازی آنها صورت می‌گیرد. تاندون‌های دکل‌های بتنی پیش‌تنیده معمولاً بصورت یکی از موارد زیر است:

- سیم تغییر شکل یافته با استحکام بالا، سرد یا عملیات حرارتی با مقاطع دایره‌ای یا بیضی
- استرند (رشته‌های) هفت سیم از یک سیم گرد صاف
- بسته‌های چند سیم مشابه
- میلگردهای ساخته شده از فولاد کم آلیاژ نورد گرم یا فولاد عملیات حرارتی شده

بتن‌های پیش‌تنیده خود به دو دسته پیش‌کشیده و پس‌کشیده تقسیم می‌شوند. در حالت پیش‌کشیده، اعمال پیش‌تنیدگی در تاندون‌ها قبل از فرآیند بتن ریزی و سخت شدن بتن انجام می‌شود. پس از سخت شدن بتن

<sup>1</sup> - Concrete Poles with Common Reinforcement Steel

<sup>2</sup> - Prestressed Concrete Poles

و رسیدن به مقاومت لازم، نیروی کششی تاندون فولادی به سطح مقطع بتن منتقل شده و در آنجا، پیش‌تنیدگی فشاری ایجاد می‌کند. در حالت پس کشیده، تاندون‌ها داخل غلاف‌هایی در داخل بتن قرار داده شده و پس از بتن ریزی و سخت شدن بتن، نیروی کشش به آنها اعمال می‌شود.

### دسته‌بندی دکل‌های بتنی از نظر نوع مصالح بتنی

انواع بتن مورد استفاده در دکل‌های بتنی را با توجه به مصالح مصرفی، می‌توان به سه دسته کلی زیر تقسیم نمود:

۱. بتن معمولی<sup>۱</sup>

۲. بتن پرمقاومت (با مقاومت بالا)<sup>۲</sup> ( $HSC$ )

۳. بتن با کارایی بالا<sup>۳</sup> ( $HPC$ )

بتن معمولی دارای نسبت آب به سیمان عموماً بین ۰٫۴ تا ۰٫۶ و مقاومت فشاری سیلندری ۲۸ روزه کمتر از ۴۰ مگاپاسکال بوده و فاقد الیاف داخلی است.

بتن با مقاومت بالا معمولاً به عنوان بتن با مقاومت فشاری سیلندری ۲۸ روزه بیشتر از حدود ۴۰ مگاپاسکال شناخته می‌شود [۱]. به طور کلی، بتن با مقاومت فشاری تک محوری بیشتر از آنچه که معمولاً در یک منطقه جغرافیایی خاص به دست می‌آید، مقاومت بالا در نظر گرفته می‌شود، اگرچه مقدار مذکور به طور گسترده‌ای پذیرفته شده است. بتن با مقاومت تا ۱۴۰ مگاپاسکال نیز در کاربردهای مختلف استفاده

<sup>۱</sup> - Conventional Concrete

<sup>۲</sup> - High-Strength Concrete

<sup>۳</sup> - High-Performance Concrete



شده است [۷]. بتن‌های با مقاومت بالاتر از حدود ۲۰۰ مگاپاسکال با نام بتن فوق پرمقاومت<sup>۱</sup> (UHSC) نامیده میشوند. با حذف سنگدانه‌های درشت، بهبود چگالی پودرها با توزیع دانه‌بندی خاص و استفاده از عمل آوری در آب با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، می‌توان مقاومت فشاری این بتن‌ها را به بیش از ۲۰۰ مگاپاسکال در هنگام استفاده از پودرهای معدنی، ۲۷۰ مگاپاسکال با پودر شیشه و ۸۰۰ مگاپاسکال با پودر آهن رساند [۸]. کلاس‌های مقاومتی بتن قابل استفاده در دکل‌های بتنی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. کلاس‌های بتن C 30/37 تا C 55/67 برای دکل‌های بتن مسلح شده با فولاد معمولی و کلاس‌های C35/45 تا C55/67 برای دکل‌های بتنی پیش‌تنیده، توصیه شده است. در صورت الزام توسط استانداردهای ملی، می‌توان از کلاس‌های بتن بالاتر نیز استفاده نمود. در عمل، کلاس‌های بتن C 70/85 تا C 100/115 برای تولید دکل‌های بتنی پیش‌تنیده ترجیح داده می‌شود [۲].

جدول ۱: رده‌های مقاومت بتن برای دکل‌های بتنی طبق prEN 1992-1 [۲]

Designation	Characteristic cylinder strength $f_{ck}$ N/mm <sup>2</sup>	Characteristic cube strength $f_{ck\ cube}$ N/mm <sup>2</sup>	Design strength value $f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_{cr}$	
			Standard concrete	Prefabricated concrete
C 30/37	30	37	17,0	18,2
C 35/45	35	45	19,8	21,3
C 40/50	40	50	22,7	24,3
C 45/55	45	55	25,5	27,3
C 50/60	50	60	28,3	30,4
C 55/67	55	67	31,2	33,4
C 60/75	60	75	34,0	36,4
C 70/85	70	85	39,7	42,5
C 80/95	80	95	45,3	48,6
C 90/105	90	105	51,0	54,6
C 100/115	100	115	56,7	60,7

به طور کلی، دکل‌های بتنی پیش‌تنیده از بتن متراکم با مقاومت ۲۸ روزه ۲۱ تا ۵۹ مگاپاسکال ساخته می‌شوند. برخی از دکل‌ها با بتن دارای مقاومت ۶۹ مگاپاسکال ساخته شده‌اند و در ایالات متحده از بتن ۸۳

<sup>۱</sup> - Ultra High Strength Concrete

مگاپاسکال نیز استفاده شده است. مقاومت بتن و فولاد پیش تنیده مورد استفاده در پایه ها و دکل های بتنی در کشورهای مختلف متفاوت است. مقادیر متداول برای کشورهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است [۹]. بر اساس راهنمای ASCE 123، حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیلندر بتن برای استفاده در دکل های بتنی پیش تنیده نباید کمتر از ۳۵ مگاپاسکال بوده و مقدار متداولتر آن در بازه ۴۰ الی ۸۲ مگاپاسکال است [۷].

جدول ۲: رده های مقاومت بتن در کشورهای مختلف برای دکل های بتنی [۹]

Country	Concrete		Prestressing steel		
	Compressive strength, psi (MPa)	Type	Type	Ultimate strength, psi (MPa)	Section and shape
Czechoslovakia	7100 (50)	Normal concrete	ST 140/175	250,000 (1716)	¼ in. (6 mm) Round
France	5500-8500 (40-60)	Normal concrete	ST 140/160	230,000 (1569)	Plain round
East Germany	6400-8500 (45-60)	Normal concrete	ST 140/175	230,000 (1569)	0.03-0.062 in. <sup>2</sup> (20-40 mm <sup>2</sup> ) Deformed oval
West Germany	4200-10000 (30-69)	Normal concrete	ST 140/175	230,000 (1569)	0.03-0.06 in. <sup>2</sup> (20-40 mm <sup>2</sup> ) Deformed oval
India	6000-7500 (42-52)	Normal concrete	Indented and plain round	230,000-255,000 (1569-1765)	¼-¾ in. (3.25-4.5 mm) Indented and plain round
Japan	7100 (88)	Normal concrete	J15G3109	193,000 (1334)	¾-¾ in. (8-16 mm) Round deformed
New Zealand	5500 (38)	Normal concrete	Hard drawn high tensile steel wire	192,000 (1373)	¾-¾ in. (5-12.7 mm) Round
Poland/Romania	3000-8500 (20-60)	Normal concrete	ST 140/160	230,000 (1569)	Plain round
United Kingdom	6000 (42)	Normal concrete	Plain and hard drawn steel wire	213,000 (1471)	¼, ¾, and ¾ in. (3.25, 4.5, and 7 mm)
Soviet Union	3000-9000 (20-60)	Normal concrete	Vr-II	227,000-241,000 (1569-1667)	¾, and ¾ in. (4 and 5 mm) Round deformed
	4260-5100 (30-40)	Lightweight concrete	V-II	213,000-241,000 (1471-1667)	¾ and ¾ in. (9, 12, and 15 mm) 7-wire strand
United States	>5000 (35)	Normal concrete	ASTM A416	240,000 and 270,000 (1657 and 1863)	¾, ¾, and ¾ in. (9.5, 12.7 and 11 mm) 7-wire strand

بتن با کارایی بالا اصطلاحی است که برای تو صیف بتن با خواص ویژه که به بتن معمولی نسبت داده نمی شود؛ استفاده می شود. کارایی بالا به این معنی است که بتن دارای یک یا چند ویژگی زیر است: انقباض



کم، نفوذپذیری کم، مدول الاستیسیته بالا، یا مقاومت بالا. بتن با کارایی بالا در ACI اینگونه تعریف شده است: "بتنی که الزامات عملکردی و یکنواختی خاصی را برآورده می‌کند که همیشه نمی‌توان به طور معمول تنها با استفاده از مصالح متعارف و روش‌های اختلاط، قرار دادن و عمل‌آوری معمولی به دست آورد." الزامات مورد نظر ممکن است شامل افزایش کیفیت بتن‌ریزی و تراکم بدون جداشدگی مصالح، خواص مکانیکی طولانی مدت، استحکام در سنین پایین، چقرمگی، پایداری حجم، یا عمر مفید در محیط‌های سخت باشد [۷]. در سال‌های اخیر بتن با کارایی فوق‌العاده بالا<sup>۱</sup> (UHPC) نیز مطرح شده است. بتن با کارایی فوق‌العاده بالا به عنوان یک ماده کامپوزیت سیمانی متشکل از یک درجه‌بندی بهینه از مصالح دانه‌ای، نسبت آب به سیمان کمتر از ۰٫۲۵ و درصد بالایی از تقویت‌کننده الیافی داخلی ناپیوسته تعریف می‌شود. خواص مکانیکی UHPC شامل مقاومت فشاری بیشتر از ۱۵۰ (MPa) و مقاومت کششی پایدار پس از ترک بیش از ۵ مگاپاسکال است. بتن با کارایی فوق‌العاده بالا دارای ساختار منفذی ناپیوسته است که میزان مایعی را که وارد بتن می‌شود کاهش می‌دهد و به طور قابل توجهی دوام بتن را در مقایسه با بتن معمولی و با کارایی بالا افزایش می‌دهد [۱۰]. با استفاده از بتن با کارایی بالا و فوق‌العاده بالا و همچنین میلگرد تقویت‌کننده و پیش‌تنیدگی با مقاومت بالا در ترکیب با روش ساخت گریز از مرکز، می‌توان دکل‌های بتنی را به عنوان جایگزینی مبتکرانه و اقتصادی برای دکل‌های مشبک فولادی ایجاد کرد [۱۱].

ذکر این نکته ضروری است که با توجه به گستردگی انواع مصالح بتن، استفاده از سایر انواع بتن با مصالح مختلف که ترکیبی از ویژگی‌های ارائه شده در این بخش را شامل شود، می‌تواند در دکل‌های بتنی کاربرد داشته باشد. به عنوان نمونه استفاده از بتن‌های خودتراکم با کارایی و مقاومت بالا، استفاده از بتن‌های

<sup>۱</sup> - Ultra High Performance Concrete

پلیمری با افزودنی های ویژه و یا استفاده از بتن های سبک با دانه های طبیعی و یا مصنوعی از دیگر انواع بتن است که به فراخور مقاومت در مخاطرات محیطی و مسائل فنی و اقتصادی می تواند مطلوب واقع شود.

### دسته بندی دکل های بتنی از نظر روش ساخت

دکل های بتنی مسلح از نظر روش ساخت به دو دسته کلی به شرح زیر تقسیم می شوند:

۱. دکل های بتنی ساخته شده به روش گریزازمرکز<sup>۱</sup> یا سانتریفوژ<sup>۲</sup>

۲. دکل های ساخته شده به روش استاتیکی<sup>۳</sup> (قالب ساکن) یا ویبره<sup>۴</sup>

دکل های ساخته شده به روش گریزازمرکز که دکل های بتنی چرخشی متراکم<sup>۵</sup> نیز نامیده می شوند، با استفاده از فرآیند چرخش (سانتریفوژ) با سرعت بالا برای ایجاد فضای خالی مرکزی و پوسته بتنی با چگالی بالا تولید می شوند. این دکل ها عملاً بدون تعمیر و نگهداری، مستحکم و ارزان تر از دکل های فولادی هستند. با این حال، باید توجه ویژه ای به طراحی مخلوط بتن و سرعت چرخش شود تا از جدا شدگی در حین چرخش که منجر به جمع شدگی نایکنواخت و ترک خوردگی بتن می شود، جلوگیری شود. این دکل ها عمدتاً دارای مقطع دایره ای با یک فضای توخالی پیوسته در داخل آنها (مقطع لوله ای توخالی یا رینگ) می باشند. این دکل ها دارای شکل خارجی مخروطی هستند که قطر آن از بالا به پایین با نرخ حداقل ۱۵ میلیمتر بر متر، افزایش می یابد. فرآیند ساخت گریزازمرکز در این دکل ها امکان حصول مقاومت بالا برای بتن تا حدود ۱۰۰ مگاپاسکال را فراهم می کند. بافت متراکم بتن در این دکل ها از آرماتورها در برابر خوردگی محافظت می کند

<sup>۱</sup> - Spun Cast

<sup>۲</sup> - Centrifugally-cast

<sup>۳</sup> - Static Cast

<sup>۴</sup> - Vibrated Cast

<sup>۵</sup> - Spun Concrete Poles

و از ایجاد ترک نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین، این دکل‌ها صرفاً در صورتی که به درستی ساخته و نصب شوند، به میزان کمی در معرض خطر خوردگی هستند. خواص بتن ساخته شده با این روش، (به‌خصوص مقاومت آن) به دلیل تفاوت روش تراکم، با بتن‌های ویبره متفاوت است. مقاومت بتن چرخشی متراکم بیشتر از بتن متراکم شده استاتیک (روی میز ویبره) است. امکان دستیابی به استحکام لازم برای دکل‌های زاویه و کششی با بتن چرخشی متراکم، محرک اصلی کاربرد این دکل‌ها در خطوط انتقال بوده است [۲ و ۶ و ۱۲].



شکل ۶: فرآیند کلی تولید دکل بتنی چرخشی متراکم (از چپ به راست: ساخت قفسه میلگردها و بتن‌ریزی، بستن قالب لوله‌ای،

چرخاندن قالب در ماشین چرخش) [۱۱]

دکل‌های ساخته شده به روش استاتیکی که دکل‌های بتنی ویبره متراکم<sup>۱</sup> نیز نامیده می‌شوند، دارای مقطع توپر مستطیلی یا H شکل بوده و بر روی تخته‌های ویبره تولید و متراکم می‌شوند. به دلیل وزن زیاد این دکل‌ها، طول آنها محدود (تا حدود ۲۴ متر) است و عمدتاً پایه‌های بتنی چهارگوش رده توزیع با این روش ساخته می‌شوند. از دکل‌های بتنی ویبره متراکم در رده انتقال برای پروژه‌های خاص و خطوطی استفاده می‌شود که ساخت، نصب و یا حمل و نقل دکل‌های بتنی چرخشی متراکم گران بوده و توجیه اقتصادی نداشته باشد [۲].

<sup>۱</sup> - Vibrated Concrete Poles



شکل ۷: قالب های تولید دکل بتنی ویبره متراکم (نیجریه) [۲]

تولید کراس آرم های بتنی به روش گریزازمرکز به دلیل شکل مقطع آنها معمولاً امکان پذیر نیست. بنابراین، این نوع کراس آرم ها در کارخانه و به روش ویبره تولید می شوند. اگرچه هر دو نوع دکل ساخته شده به روش گریزازمرکز و استاتیک به عنوان دکل بتنی نامیده می شوند، هر کدام از نظر عملکرد، مشخصات و موارد توصیه شده کاربرد، تفاوت هایی دارند [۲].

### دسته بندی دکل های بتنی از نظر نوع فونداسیون

نوع فونداسیون در دکل های بتنی مسلح به دو دسته زیر تقسیم می شود:

۱. فونداسیون دفنی مستقیم<sup>۱</sup>
۲. فونداسیون بتنی درجا<sup>۲</sup>
۳. فونداسیون بتنی پیش ساخته<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> - Direct Embedment Foundation

<sup>۲</sup> - Cast-in-Place Foundation

<sup>۳</sup> - Precast Foundation

نوع و الزامات فوندا سیون برای یک سازه دکل بتنی به بارهای وارده و شرایط خاک اطراف آن بستگی دارد. نوع فوندا سیون برای دکل بتنی بسته به ظرفیت خمشی دکل در تراز زمین، متفاوت خواهد بود. برای اکثر کاربردهای دکل‌های بتنی، دفن مستقیم دکل کافی است [۹]. دفن مستقیم رایج‌ترین نوع فوندا سیون مورد استفاده در سازه‌های دکل بتنی است. این روش شامل قرار دادن دکل به طور مستقیم در یک سوراخ حفر شده در زمین است. دکل‌های دفن شده در خاک‌های دانه‌ای یا سست ممکن است با نازل‌های فشار هیدرواستاتیکی که به صورت هیدرولیکی خاک را جابه‌جا می‌کنند، در جای خود پرتاب شوند؛ زیرا جرثقیل نگهدارنده دکل به آن اجازه می‌دهد تا تحت اثر وزن خود به سمت پایین حرکت کند. این روش در مناطقی با سطح آب بالا که تمایل به فرو ریختن دیواره‌های یک سوراخ حفر شده قبل از تنظیم دکل را دارند، مفید است. روش سوراخ حفر شده شامل قرار دادن پایه دکل در یک سوراخ حفر شده و پر کردن فضای اضافی سوراخ با مواد مناسب موجود در محل، ماسه فشرده، شن، یا بتن است. (شکل ۹) بسته به عملکرد پیش‌بینی شده فوندا سیون، نوع مواد و فشردگی مواد پرکننده باید مشخص شود [۵]. در فوندا سیون دفنی، دکل‌ها مستقیماً در گمانه‌های عمیق حفر شده در زمین قرار می‌گیرند. سپس فضای اطراف دکل در گمانه با افزودن خاک پرکننده آمیخته با سیمان (یا بتن سازه‌ای) پر می‌شود [۲]. دفن مستقیم سازه‌ها قدیمی‌ترین شکل فوندا سیون است، زیرا از زمان‌های بسیار قدیم در خطوط انتقال با پایه‌های چوبی استفاده می‌شده است. دفن مستقیم شامل حفر سوراخ در زمین، قرار دادن سازه در سوراخ و پر کردن است. بنابراین، سازه به عنوان پایه خود عمل می‌کند و بارها را از طریق مصالح پرکننده به خاک درجا منتقل می‌کند. مصالح پرکننده می‌تواند مخلوط سنگ، مخلوط سنگ و سیمان، مواد حفاری شده، فوم پلی‌اورتان یا بتن باشد. نقطه ضعف دفن مستقیم، وابستگی به کیفیت مواد پرکننده است. برای بدست آوردن دقیق انحراف و چرخش سازه‌های دفن شده مستقیم، باید سختی را در نظر گرفت. روش طراحی برای دفن مستقیم مشابه شفت‌های حفاری شده است [۳].





شکل ۸: اجرای فونداسیون دفنی مستقیم [۴]



شکل ۹: پرکردن اطراف دکل در فونداسیون دفنی مستقیم [۵]

به طور معمول، دکل های بتنی (به خصوص دکل های آویزی) به عنوان سازه های دفنی شده مستقیم طراحی می شوند. با این حال، استفاده از فونداسیون های بتنی درجا یا پیش ساخته (مثلاً بصورت شمع های سوکت دار و بیس پلیت) نیز امکان پذیر بوده و عمدتاً در دکل های کششی مورد استفاده قرار گرفته اند. (شکل ۱۰)

فونداسیون درجا به حفاری خاک در محل سازه و قرار دادن آرماتورهای فولادی و سپس، بتن ریزی آن اشاره



دارد. انواع متداول پی‌های بتنی درجا عبارتند از: پایه حفاری شده بتن مسلح<sup>۱</sup>، فوندا سیون منفرد<sup>۲</sup> و پایه‌های سبک<sup>۳</sup>. پایه حفاری شده بتن مسلح یک شفت حفاری شده با میلگردهای طولی و میلگردهای مارپیچی عرضی است. دکل بتنی را می‌توان در داخل آن قرار داده و با تعبیه میلگردهای مورد نیاز، بتن‌ریزی کرد یا ممکن است با استفاده از انکربولت‌ها و بیس‌پلیت که در بالای فوندا سیون قرار داده می‌شود، دکل را به آن متصل نمود [۵].



شکل ۱۰: دکل بتنی با فوندا سیون شمع استوانه‌ای سوکت‌دار [۵]

فوندا سیون‌های پیش‌ساخته آنهایی هستند که در یک کارخانه تولیدی ساخته می‌شوند یا در نزدیکی محل خط انتقال ساخته می‌شوند تا در محل سازه نهایی نصب و برپا شوند. دو نوع متداول از فوندا سیون‌های پیش‌ساخته عبارتند از، شمع‌های استوانه‌ای بتنی پیش‌تنیده<sup>۴</sup> و شمع‌های مربعی<sup>۵</sup> [۵].

<sup>۱</sup> - Reinforced Concrete Drilled Pier

<sup>۲</sup> - Spread Footing

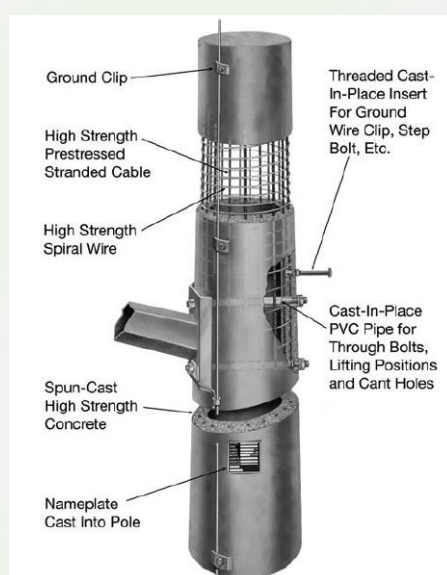
<sup>۳</sup> - Light Pole Bases

<sup>۴</sup> - Prestressed Concrete Cylinder Piles

<sup>۵</sup> - Square Piles

## جمع بندی

در بخش های قبل، دسته بندی انواع دکل های بتنی از جنبه های مختلف ارائه گردید. در ادامه، خلاصه ای از مطالب ارائه شده، شامل دسته بندی انواع دکل های بتنی در جدول ۳ ارائه شده است. اجزای یک دکل بتنی پیش تنیده با مقطع لوله ای (ساخته شده به روش گریزازمرکز) در شکل ۱۱ نشان داده شده است [۵].



شکل ۱۱: اجزای یک دکل بتنی پیش تنیده لوله ای ساخته شده به روش گریزازمرکز [۵]

جدول ۳: دسته بندی انواع دکل های بتنی

ردیف	معیار دسته بندی	دسته بندی انواع دکل	نوع متداول تر در خطوط انتقال
۱	ساختار ایستایی سازه	تک پایه، مهاری، قابی، ترکیبی	تک پایه
۲	شکل هندسی مقطع	لوله ای توخالی، مستطیلی، $H$ شکل	لوله ای توخالی
۳	نوع تسلیح مقطع	معمولی، پیش تنیده	پیش تنیده
۴	نوع مصالح بتنی	معمولی، با مقاومت بالا، با کارایی بالا	با مقاومت بالا
۵	روش ساخت	گریزازمرکز یا سانتریفوژ (چرخشی متراکم) استاتیکی (ویبره متراکم)	گریزازمرکز یا سانتریفوژ (چرخشی متراکم)
۶	نوع فونداسیون	فونداسیون دفنی مستقیم فونداسیون بتنی درجا فونداسیون بتنی پیش ساخته	فونداسیون دفنی مستقیم

## مراجع

- [1]. McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2015). *Design of reinforced concrete*. John Wiley & Sons.
- [2]. Kiessling, F., Nefzger, P., Nolasco, J. F., & Kaintzyk, U. (2003). *Overhead power lines: planning, design, construction* (Vol. 759). Berlin: Springer.
- [3]. Fang, S. J., Roy, S., & Kramer, J. (1999). *Transmission structures. Structural engineering handbook*.
- [4]. *Spun Concrete Utility Poles, The STRESSCRETE GROUP*
- [5]. Task Committee on Concrete Transmission Pole Structures. (2012, August). *Prestressed Concrete Transmission Pole Structures: Recommended Practice for Design and Installation*. American Society of Civil Engineers (ASCE manuals and reports on engineering practice; no. 123)
- [6]. Dissanayake, D. M. K. W. (2015). *Study on Spun Casting Pre-Stressed Concrete Technology & its Application to Low Cost Utility Pple Production in Sri Lanka*, Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Sri Lanka
- [7]. <https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/concreteprop/highstrengthconcrete/highstrength.html>
- [8]. Aitcin, P. C. (2016). *Ultra high strength concrete*. In *Science and Technology of Concrete Admixtures* (pp. 503-523). Woodhead Publishing.
- [9]. Rodgers Jr, T. E. (1984). *Prestressed Concrete Poles: State-of-the-Art*. *PCI Journal*, 29(5), 52-103.
- [10]. Plevny, Zachary, "Applications of Ultra-High Performance Concrete" (2020). Williams Honors College, Honors Research Projects. 1162.
- [11]. Remitz, J., Wichert, M., & Empelmann, M. (2017). *Ultra-High Performance Spun Concrete Poles—Part I: Load-bearing behaviour*. *Proceedings of HPC/CIC*, 57(54).
- [12]. Henin, E., Morcous, G., & Tadros, M. K. (2017). *Design, Fabrication, and Construction of Static-Cast Concrete Poles Reinforced with GFRP*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 22(4), 04017007.

## معرفی روشهای بهسازی پی سازه های انتقال نیرو و اولویت بندی انتخاب آنها در برابر فرونشست زمین

امیر اکبری گرکانی<sup>۱</sup>

**چکیده:** در کمتر پروژه مهندسی است که نگرانی از جنس بستر پی، جهت دارا بودن ویژگی های مکانیکی و شیمیایی لازم، دغدغه ای را برای مهندسان ایجاد نکرده باشد. در سازه های خطوط انتقال نیز به ناچار بستر های خاکی از جنس های مختلف با مقاومت ها و پارامترهای مختلفی وجود دارند. خاک های مختلف، خواص مکانیکی، تورم زایی، ظرفیت باربری و نشست پذیری مختلفی دارند، لذا شناخت انواع خاک های مشکل ساز در پروژه ها و تثبیت آنها با مصالح مناسب اهمیت فراوانی پیدا می کند. روش های مختلف جهت بهسازی خاک با توجه به اهمیت پروژه، جنس خاک اولیه، وسعت منطقه مورد نظر جهت بهسازی، دسترسی محلی به مصالح، تجهیزات و نیروهای متخصص، فاکتورهای زیست محیطی، تجارب مهندسان، مسائل اقتصادی و زمان مجاز برای تکمیل پروژه انتخاب می شوند. یکی از مخاطرات زمینی که در حال حاضر شریانهای حیاتی کشور و از جمله خطوط انتقال نیرو را تهدید میکند، فرونشست زمین است. در این نوشتار به انواع راه های بهسازی پی سازه های انتقال و اولویت بندی انتخاب آنها با تاکید بر مساله فرونشست زمین پرداخته میشود.

**کلیدواژه:** بهسازی زمین، مخاطرات زمینی، سازه های انتقال نیرو، فرونشست زمین، اولویت بندی انتخاب

### مقدمه

پیشینه وقوع سوانح طبیعی بیش از قدمت تاریخ بشر است. بسیاری از جوامع در مقابل سوانح طبیعی آسیب پذیر هستند، اما میزان تأثیر پذیری آنها از مکانی به مکان دیگر متفاوت است. در کشور ایران پس از زلزله، سیلاب و خشکسالی، پدیده فرونشست را می توان یکی از مهم ترین، خطرناک ترین و شایع ترین مخاطرات به شمار آورد و بسیاری از شهرها تحت تأثیر فرونشست قرار دارند. اصولاً فرونشست خاک به تحکیم عمقی خاک

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی، پست الکترونیکی: [aakbari@nri.ac.ir](mailto:aakbari@nri.ac.ir)

در یک لایه خاک ریزدانه با ضخامت زیاد وابسته است. فرونشست در ایران، عمدتاً در دشتهای مسطح که برداشت آب از سفره آبهای عمیق زیرزمینی صورت میگیرد، رخ میدهد که به دلیل ایجاد تغییر شکلهای قابل توجه، درز و شکافهای عمیق و گسترده در سطح زمین، ایجاد فروچاله و کاهش سختی و ظرفیت باربری خاک، مشکلات قابل توجهی را برای روسازه‌ها و شریانهای حیاتی ایجاد میکند.

با توجه به محدوده‌ی خطر فرونشست که در فضای مسکونی، تأسیساتی و زیرساختی شهر است، خطرپذیری ناشی از پدیده فرونشست و تحلیل آن به منظور اقدامات پیشگیرانه و آمادگی، ضرورت می‌یابد؛ به ویژه که وقوع این پدیده در مناطقی با تراکم سازه‌ای و جمعیتی که با توسعه فیزیکی نامناسب و در مواردی ناموزون همراه است، درجات بالایی از خطرپذیری را رقم می‌زند. با افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش استفاده از منابع انرژی، تامین منابع لازم و انتقال آنها به مناطق دور و نزدیک، تامین راندمان بهتر و کاهش افت انرژی اهمیت بسیاری پیدا کرده است. هر شبکه انتقال نیروی گسترده را می‌توان شامل بخش‌های تولید، انتقال، تبدیل، توزیع و مصرف دانست. از مهم‌ترین روش‌های انتقال انرژی دکل‌ها و تونل‌های انتقال نیرو را می‌توان نام برد. وظیفه‌ی این خطوط انتقال انرژی الکتریکی از نقاط تولید به نقاط مصرف می‌باشد و در واقع این خطوط شریان حیاتی صنعت برق است. یکی از مهم‌ترین دلایل اولیه ایجاد خسارت در سازه‌های انتقال نیرو، بلایای طبیعی و به خصوص فرونشست خاک می‌باشد که شناخت و درک میزان خطرپذیری این سازه‌ها تحت فرونشست می‌تواند زیر ساخت مناسبی از منابع و اطلاعات را برای مدیران و مجریان در راستای پیشگیری از فاجعه فراهم آورده باشد [۱]. در این گزارش، انواع روشهای بهسازی پی برای سازه‌های انتقال معرفی میشوند. سپس، یک الگوی اولویت بندی برای انتخاب روش بهینه بر اساس شرایط فنی، اقتصادی، اجرایی و سرعت اجرا معرفی میشود [۲].



## روشهای بهسازی ژئوتکنیکی خاک

براساس شرایط مختلفی مانند نوع خاک، نوع مخاطره زمینی، حدود ظرفیت باربری مورد نیاز پی، حدود نشست مجاز پی و سایر موارد مانند مسائل اقتصادی و اجرایی و مقتضیات کارفرمایی، انواع روشهای بهسازی خاک را میتوان در نظر گرفت که در این بخش به اختصار به آنها اشاره میشود [۳].

### الف - حفاری، برداشت، جابه جایی و جایگزینی

در صورتی که خاک بستر پارامترهای مقاومتی مورد نیاز را نداشته باشد و از طرفی شرایط حاکم بر پروژه و نوع خاک راه حل دیگری جز تعویض خاک بستر با خاک مناسب دیگری از قرضه را باقی نگذاشته باشد به ناچار خاک بستر پی را باید بسته به نوع پروژه تا عمق مورد نظر، میتوان با خاک مناسب که با پارامترهای مد نظر مجاز تطابق دارد، جایگزین کرد. عمق متوسط برای جایگزینی مصالح حدود ۲ متر می باشد که در شرایط مختلف بسته به نوع پروژه و ظرفیت باربری مد نظر، اندکی قابل تغییر است. خاک حفاری شده را نیز در محل مناسب دیگری که مشکلات زیرست محیطی ایجاد نکند، با رعایت مقررات مربوطه میتوان دپو کرد. گاهی الزام است خاک جایگزین شده نیز با مواد و روشهای مناسب دیگری بهسازی و تثبیت شود. باید اشاره کرد که این روش برای خطوط انتقال در دست احداث مناسب است و برای خطوط انتقال موجود کاربرد ندارد.

### ب - تراکم سطحی خاک

زمانی که خاک در رطوبت بهینه خود قرار دارد، مصالح سطحی خاک و تراکم آن موجب افزایش ظرفیت باربری خاک می شود؛ تراکم موجب کاهش چشمگیر تخلخل، افزایش فزاینده وزن مخصوص و خواص شده و پارامترهای زیادی از خاک را افزایش می دهد [۴]. این روش در لای رس به طور خاص اثر چشمگیری ندارد. تراکم سطحی مانند روشهای مر سوم در رو سازی، به این صورت است که لایه ها در ضخامت مشخص بر



اساس ضوابط اجرایی و استانداردهای موجود [۵] ریخته شده و تحت رطوبت بهینه مورد نیاز قرار می‌گیرند، سپس متناسب با جنس خاک، توسط غلتک مناسب کوبیده می‌شوند این روش نیز برای خطوط در دست احداث قابل استفاده می‌باشد.

### ج - تراکم دینامیکی

این روش بهسازی و تثبیت، بر اعمال ضربه به خاک جهت افزایش تراکم آن استوار است. درجه تراکم نسبی بدست آمده به پارامترهای مختلف بسیاری وابسته است، که مهمترین آن‌ها عبارتند از: فواصل نقاطی که تحت اثر ضربه قرار می‌گیرند، شدت اثر ضربه و عمق مورد نظر جهت بهسازی با ضربه. طی این روش وزنه ای را از ارتفاع رها می‌کنند. در طول سقوط وزنه، بسته به ارتفاع و وزن وزنه، می‌توان شدت و قدرت تراکم خاک را کنترل کرد، می‌توان نیروی کمی را به خاک وارد کرد و یا می‌توان نیرویی معادل قوی ترین زلزله های بالقوه را شبیه سازی کرد. وزنه های مورد استفاده در این روش بسته به نیاز، مکعب و یا استوانه ای شکل می‌باشند. سطح زمین مورد نظر باید تقسیم بندی شود تا هر محل دو یا سه سری توسط این روش کوبیده شود، به طور معمول سه ضربه در یک خاک برای هر محل مد نظر است. جهت خروج آب و کاهش فشار آب منفذی می‌بایست زهکش هایی را اطراف محل تعبیه کرد تا عمل زهکشی به خوبی انجام شود. نشست و تراکم خاک‌ها بسته به جنسشان متفاوت است، به همین دلیل می‌بایست پس از اتمام عملیات سطح توسط غلطک مناسب جهت تسطیح بستر برای اجرای عملیات عمرانی اصطلاحاً اتوکشی شود. روش تراکم دینامیکی برای متراکم کردن خاک‌های دستی، زباله ها، ماسه های سست، خاکریزهای سنگی، نخاله های ساختمانی، خاک‌های آهکی و خاکهای بسیار متخلخل مناسب است. از مزیت‌های این روش می‌توان به هزینه کم، سرعت اجرا و محدوده کاربرد وسیع از نظر نوع خاک طبیعی، خاکریزها و خاک‌های دستی اشاره کرد و از طرف دیگر از معایب آن این است که این روش

همراه با صدا، ارتعاش و گرد و غبار و پرتاب قطعات سنگی یا گل در اثر ضربه به اطراف و وارد نمودن خسارت به نیروی انسانی و ابنیه مجاور است و در مناطق شهری یک عیب محسوب می شود.

#### د - پیش بارگذاری خاک

از طریق پیش بارگذاری، فشاری بزرگتر و بیشتر از فشاری که فونداسیون سازه قرار است بعداً به خاک وارد کند، به بستر وارد میشود؛ پس نتیجه ی آن، پیش فشردگی بستر قبل از عملیات اجرایی است. پیش بارگذاری به کمک خاکریزی، ایجاد مخازن آب، ایجاد استخرهای آب با پوشش نشست ناپذیر و پایین بردن سطح آب زیر زمینی و مکش انجام می شود. از اهداف عمده این روش این است که، اعمال بارهای موقت برای حذف و یا کاهش نشست هایی که احتمال بعد از ساخت بنا قرار است اتفاق بیفتد، بهبود مقاومت برشی خاک بستر، با افزایش وزن مخصوص، کاهش تخلخل و کاهش درصد رطوبت آن، افزایش سختی خاک و کم کردن رطوبت موجود در خاک، پیش بارگذاری در خاک های لای دار و رس تحکیم عادی یافته از تاثیر بیشتری برخوردار می باشد، در شرایطی که خاک اشباع باشد؛ استفاده از زهکش های قائم همراه با پیش بارگذاری، سبب همزمانی تحکیم قائم و شعاعی شده و حدود ۱۶ برابر زمان تحکیم را کاهش می دهد. در استفاده از روش پیش بارگذاری میدان پیش بار بایستی بر اساس مقدار باری باشد که سازه اصلی قرار است به زمین وارد کند. از مزایای پیش بارگذاری علاوه بر کاهش نشست، عدم ایجاد سرو صدا می باشد که در مناطق شهری یا در جاهایی که محدودیت همسایگی مطرح است، این روش مناسب است. از معایب پیش بارگذاری می توان به طولانی شدن زمان بهسازی، غیر انتفاعی شدن خاکبرداری و حمل مصالح به جای دیگر اشاره کرد. این روش نیز مربوط به قبل از احداث خط می باشد. این روش برای خاک های تحکیم پذیر ماسب بوده و به طور کلی در همه مواقع شاید مفید واقع نشود. هزینه مورد نیاز در این روش نیز مربوط به هزینه حمل مصالح و ساخت خاکریز می باشد.

## ر - تزریق مواد سیمانی در خاک

در روش تزریق، کار با ایجاد چاله ها و گمانه هایی به فواصل معین، توسط دستگاه حفار و پرکردن این چاه ها با مواد سیال و نفوذ این مواد با سیستم های مختلف جذبی و ایجاد فشار در زمین مورد نظر می باشد، این روش پر هزینه بوده و در حالت های خاص مثل تثبیت بستر خاک برای بهسازی خاک در موارد ویژه به کار می رود. کاربرد های روش تزریق عبارتند از: الف) پر کردن فضاهای خالی جهت جلوگیری از نشست های زیاد ب) کنترل نشست و کاهش قابلیت نفوذپذیری خاک توسط ایجاد پرده های آب بند ج) مقاوم سازی خاک، زیرسازه ی موجود جهت جلوگیری از جابه جایی ساختمان به دلیل خاکبرداری در همسایگی د) کنترل جابه جایی زمین در حین عملیات احداث تونل ه) مقاوم سازی خاک برای کاهش سیستم های محافظتی جانبی و) مقاوم سازی خاک برای افزایش مقاومت شمع ها ز) تثبیت ماسه های شل، برای جلوگیری از واگرایی ح) کنترل واگرایی و ناپایداری در خاک های متعدد ط) تثبیت شیروانی های ی) کنترل تغییر حجم خاک های انبساطی به کمک تزریق دوغاب آهک و سیمان) موادی که برای تزریق به کار می روند، شامل دوغاب سیمان، دوغاب آهک، بتونیت، مواد سمی جدید و رزین ها می باشند. انتخاب نوع ماده تزریقی، غلظت آن و فشار تزریق بستگی به اقتصاد پروژه و نوع خاک، روش اجرایی تزریق، عمق عملیاتی و شعاع تاثیر آن دارد.

## س - استفاده از مواد افزودنی تثبیت

یکی از قدیمی ترین روش های بهسازی خاک است. قرن هاست که تثبیت با آهک و سیمان همراه با واکنش های شیمیایی و سیمانی شدن همراه است. استفاده از خاک سیمان دار در سازه های هیدرولیکی، روسازی و راهسازی راه ها، محوطه های وسیع و پارکینگ ها، ساختن سدها با سیب تندتر و وسعت عملیات کمتر، رواج بسیاری یافته است. بهترین هدف استفاده از افزودنی های شیمیایی، کنترل و بهبود پایداری حجمی خاک و نیز

مقاومت تعویض خواص تنش-کرنش آن می‌باشد. اگر تثبیت در عمق نیاز باشد، ضمن حفاری با دستگاه دورانی، افزودنی‌ها به آن اضافه شده مثل آهک و سیمان و سپس خاکریزی انجام می‌شود. در این روش در واقع ستون‌های خاکی آهکی در خاک ایجاد شده که ظرفیت مقاومتی و باربری خاک را افزایش داده و تغییر شکل را کاهش می‌دهد.

#### ه - بهسازی حرارتی خاک

روش‌های حرارتی، اعم از گرمایی و سرمایی می‌تواند برای تثبیت خاک به کار رود، مثال اگر خاک‌های ریزدانه تا ۱۶۶ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شوند، خشک شده و مقاومتشان افزایش می‌یابد، به شرط آن که از افزایش رطوبت بعدی جلوگیری شود. حرارت دادن این خاک‌ها باعث بهبود دائمی خواص خاک می‌شود، ویژگی‌هایی از جمله کاهش حساسیت نسبت به آب، کاهش تورم و تراکم پذیری با افزایش مقاومت خاک، خواصی هستند که با قرار گرفتن خاک در این درجه حرارت بوجود می‌آیند. از مهمترین محدودیت‌ها، نیاز به انرژی زیاد برای ایجاد حرارت می‌باشد. دو روش کلی برای تامین انرژی حرارتی استفاده می‌شود: روش اول- این روش که روش احتراقی نیز نام دارد، به صورتی است که گمانه‌ای در داخل زمین زده شده و یک مشعل در بالای گمانه قرار داده می‌شود. هوای فشرده و مواد سوختنی به داخل گمانه تزریق شده، سپس در یک لحظه چند گمانه که به یک دستگاه مرکزی وصل شده‌اند، آتش زده می‌شوند. روش دوم- این روش ایجاد حرارت توسط جریان الکتریسیته می‌باشد. در روش دوم گرم‌کننده‌های الکتریکی داخل گمانه قرار داده شده و حرارت ۲۶۶ درجه سانتی‌گراد تا ۱۰۶۶ درجه سانتی‌گراد را ایجاد می‌کنند. خاک مجاور گمانه در اثر حرارت بالا، به صورت یک توده سفت و سخت و کلوخه‌ای در می‌آید. در روش‌های یخ زدگی و افت دما، برای حفاری و پایداری موقت دیواره‌های حفاری، جلوگیری از جریان آب زیر زمینی و عالوه بر آن تثبیت خاک‌های نرم اطراف تونل‌ها

و معادن کاربرد دارد. الزم به ذکر است که این روش، روشی کاملاً موقت می‌باشد. این روش به طور کلی برای بهسازی خاک‌ها پیشنهاد نمی‌شود چراکه هزینه‌های مربوط به تجهیزات این روش بسیار گران‌قیمت بوده و بیشتر برای کارهای تحقیقاتی مناسب است.

### ی - تسلیح خاک

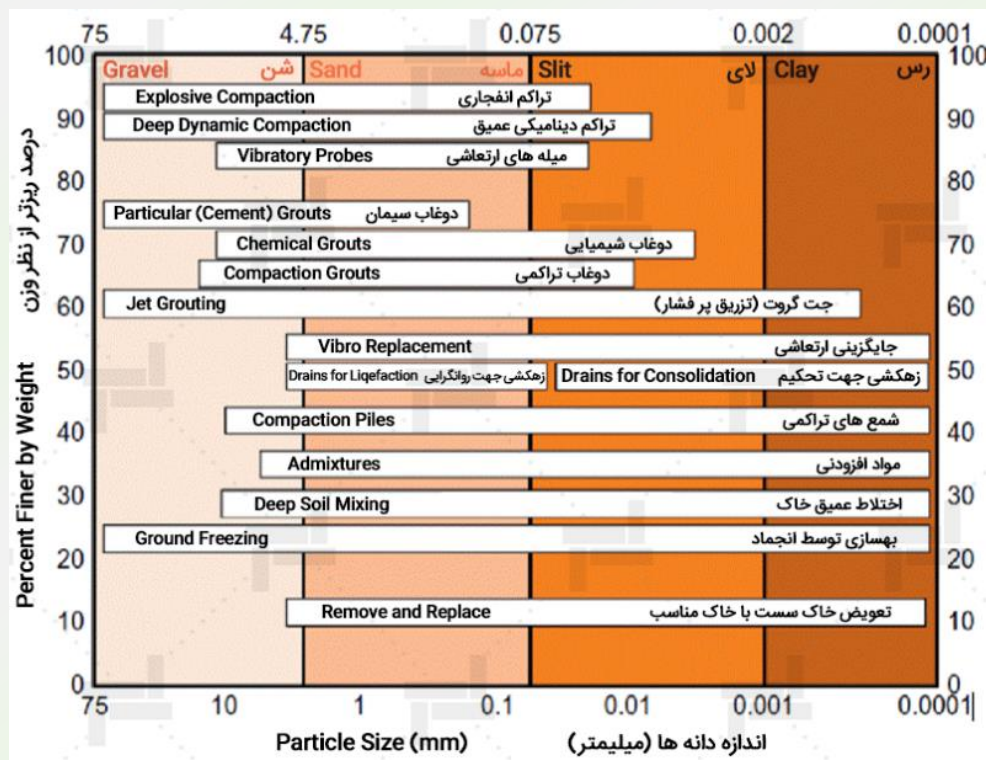
یکی از روش‌های بهسازی و مقاوم سازی زمین که امروزه کاربرد زیادی دارد، مسلح کردن خاک می‌باشد. این روش مشابه افزودن المان تسلیح کننده ای مانند آرماتور به بتن برای افزایش مقاومت کششی آن است. خاک را به روش‌های مختلف می‌توان مسلح نمود، همچنین تسلیح خاک را می‌توان به صورت قائم، افقی و یا مایل انجام داد. تسلیح خاک توسط شمع‌ها و سپرها، ستون‌های سنگی و ماسه‌ای، ریز شمع‌ها، میل مهارها، شمع‌های مارپیچ و خاک مسلح انجام می‌شود.

مشخصات روش‌های متداول بهسازی خاک که به آنها اشاره شد، بطور خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین، در شکل ۱ به عنوان یک توصیه کلی، محدوده عملکرد بهینه هر یک از روش‌های بهسازی خاک در انواع خاک‌ها نشان داده شده است. شناخت روش‌های مرسوم و اجرایی بهسازی و تثبیت خاک‌ها، کمک شایانی به انتخاب بهترین روش در هر یک از پروژه‌های عمرانی وابسته به شرایط خاص هرکدام دارد.



جدول ۱ - شناخت روش های مرسوم و اجرایی بهسازی و تثبیت خاک ها

نام روش	مشخصه	روش انجام	مرحله اجرای روش
حفاری و برداشت، جابه جایی و جایگزینی	تعویض خاک بستر	انتقال خاک مناسب از قرضه	پیش از شروع ساخت یا قبل از نصب دکل
تراکم سطحی	کاهش تخلخل، افزایش وزن مخصوص	تراکم خاک در درصد رطوبت بهینه	پیش از شروع ساخت یا قبل از نصب دکل
تراکم دینامیکی	ایجاد ضربه جهت افزایش تراکم خاک	استفاده از دستگاه سقوط وزنه	پیش از شروع ساخت یا قبل از نصب دکل
پیش بارگذاری	پیش بارگذاری به کمک خاکریزی	اعمال بارهای موقت	پیش از شروع ساخت یا قبل از نصب دکل
تزریق مواد سیمانی	تزریق مواد مناسب در لایه های مختلف خاک	حفر چاله ها و گمانه ها	پیش و پس از ساخت در اطراف دکل
استفاده از مواد افزودنی	تثبیت با افزودنی	اضافه کردن مواد مناسب به خاک	پیش و پس از ساخت در اطراف دکل
بهسازی حرارتی	انجماد و یا تبخیر آب منفذی	گرمایش و سرمایش خاک	پیش و پس از ساخت در اطراف دکل
تسلیح خاک	اضافه کردن المان مناسب جهت تسلیح خاک	عمدتا جایگذاری المان تسلیح کننده با حفاری	پیش، حین و پس از ساخت در اطراف دکل



شکل ۱ - محدوده به کارگیری روش های مختلف بهسازی برای انواع خاک ها

## روشهای ژئوتکنیکی بهینه برای بهسازی پی دکل‌های انتقال نیرو در برابر فرونشست زمین

به منظور حفاظت از پی دکل‌های انتقال در برابر آسیب‌های ناشی از فرونشست زمین، از روشهای مختلفی

میتوان استفاده کرد. پیش از انتخاب هر روش، باید پاسخ سوالات زیر مشخص باشد:

- مقدار فرونشست زمین در حال حاضر چقدر است و چه پیش‌بینی از روند آن در آینده وجود دارد؟
- مقدار فرونشست تجربه شده توسط پی دکل چقدر است؟
- مقدار نشست مجاز پی دکل چقدر است؟
- مقدار اضافه تنش حال حاضر در اعضای دکل چقدر است؟
- مقدار اضافه تنش مجاز در اعضای دکل چقدر است؟
- مقدار باقیمانده از نشست مجاز پی و اضافه تنش مجاز اعضای دکل چقدر است؟
- اهمیت دکل و خط مربوطه چه اندازه است و اصولاً به چه مدت، دکل و خط باید در مدار باقی بماند؟
- نوع و مشخصات ژئوتکنیکی خاک زیر پی دکل چگونه است؟
- روش بهسازی مورد نظر تا چه زمانی و تا چه اندازه ای میتواند مقادیر نشست پی و اضافه تنش ناشی از فرونشست در اعضای دکل را کنترل کند؟
- هزینه اجرا، زمان اجرا، امکانات اجرا، تکنولوژی و دانش طراحی و اجرا و مقتضیات کارفرمایی در انتخاب روش بهسازی به چه اندازه است؟

پس از مشخص نمودن پاسخ موارد فوق میتوان از میان روشهای مختلف بهسازی گزینه‌های برتر و در نهایت بهترین گزینه را انتخاب کرد. اما به عنوان یک توصیه کلی، در زمین‌هایی که روند ایجاد فرونشست زمین حاد و بحرانی باشد، اصولاً استفاده از روشهای بهسازی عمقی باید بیشتر مد نظر قرار بگیرند. این روشها شامل اجرای شمع‌های بتنی یا فولادی، شمع‌های مارپیچ، ریز شمع، تاندونهای پس کشیده زمینی، اختلاط عمیق، پی

های دیواره ای عمیق و اختلاط عمیق خاک میباشند. همچنین استفاده از پی های تعادلی یا مهار شده سطحی (در بین پایه های یک دکل) ممکن است بصورت مقطعی یا موضعی بتواند برخی مشکلات پی دکلها را محدود یا کنترل کند. در کنار این روشها، جلوگیری از آثار ثانویه فرونشست زمین مانند فرسایش سطحی، فروچاله و آب شستگی را میتوان با انجام کارهای ترمیمی سطحی یا روشهای آب بندی و حفاظت پی اجرا نمود که البته باید توجه کرد این روشها در صورتی بازدهی قابل قبول دارند که حتما در کنار سایر روشهای تقویت مکانیکی عمقی خاک که به آنها اشاره شد، اجرا شوند.

### اولویت بندی استفاده از روشهای بهسازی ژئوتکنیکی

به منظور انتخاب گزینه بهینه جهت بهسازی ژئوتکنیکی پی دکلهای انتقال نیرو در برابر آسیبهای ناشی از فرونشست زمین، پارامترهای مختلفی مانند محدوده کاربرد، عمومیت داشتن روش بهسازی، کارایی روش در افزایش ایمنی، سهولت اجرای روش، سرعت اجرای روش و مسائل اقتصادی را باید مد نظر قرار داد. بر این اساس، با لحاظ نمودن وزن اهمیت مناسب به هر یک از پارامترهای فوق الذکر و امتیاز دهی به هر روش برای هر پارامتر، میتوان یک معیار اولویت بندی ساده را برای انتخاب روش بهسازی پیشنهاد نمود. در این تحقیق، برای پارامترهای عمومیت، بازدهی، سهولت اجرا، سرعت اجرا و مسائل اقتصادی به ترتیب اوزان اهمیت ۱۰، ۱۰، ۵، ۵ و ۱۰ پیشنهاد شده است. به هر روش نیز در محدوده امتیاز ۱ (معادل ضعیف تر بودن) تا ۵ (معادل بهتر بودن)، امتیاز مورد نظر (بر اساس تجربیات پیشین و قضاوت مهندسی) داده شده است و در نهایت امتیاز مجموع هر روش از مجموع حاصل ضرب امتیاز هر پارامتر در وزن اهمیت آن (تا سقف ۲۰۰) امتیاز محاسبه شده و در جدول ۲، جزئیات امتیاز دهی به روشهای بهسازی ژئوتکنیکی ارائه شده است. اوزان اهمیت و امتیاز ارائه شده در این جدول ممکن است بسته به شرایط ویژه یک منطقه و اهمیت خط انتقال مزبور تغییر نماید.

جدول ۲: امتیاز دهی و اولویت بندی روشهای بهسازی ژئوتکنیکی

نوع روش	نام روش	محدوده کاربرد	امتیاز (۵ برای بهتر بودن و ۱ برای ضعیف تر بودن)					امتیاز نهایی (از ۲۰۰)
			عمومیت داشتن برای نواحی مختلف و شرایط دکل (وزن ۱۰)	افزایش ایمنی پی دکل (وزن ۱۰)	سهولت اجرا (وزن ۵)	سرعت اجرا (وزن ۵)	اقتصادی بودن (وزن ۱۰)	
روشهای بهسازی ژئوتکنیکی نسبتاً عمیق	شمع های مارپیچ	تا اعماق زیر ۵۰ متر از سطح زمین - انواع خاکها (ترجیحا بدون قلوه سنگ و دانه های درشت)	۴	۴	۴	۳	۴	۱۵۵
	اختلاط عمقی خاک	تا اعماق زیر ۶۰ متر از سطح زمین - انواع خاکها و ترجیحا غیرریزشی	۴	۵	۲	۳	۲	۱۳۵
	شمع های بتنی حفر درجا	تا اعماق زیر ۳۰ متر از سطح زمین - خاکهای نه چندان سفت و غیر ریزشی	۳	۵	۳	۲	۲	۱۲۵
	شمع های کوبشی	تا اعماق زیر ۳۰ متر از سطح زمین - عمدتاً خاکهای ریزدانه نه چندان سفت	۱	۵	۳	۲	۳	۱۱۵
	ریزشمع	تا اعماق زیر ۳۰ متر از سطح زمین - خاکهای نه چندان سفت و ترجیحا با قابلیت تزریق پذیری مناسب	۲	۳	۴	۳	۳	۱۱۵
روشهای بهسازی ژئوتکنیکی سطحی	پی های باسکولی	برای نواحی دارای فرونشست کم و پایه خطوط دارای نشست کم و نامتقارن	۲	۳	۴	۴	۳	۱۳۰
	خاکریزی و تراکم بستر	عمدتاً برای خطوط در دست احداث یا نواحی دارای فرونشست کم	۲	۳	۳	۳	۳	۱۱۰
	پیش بارگذاری	برای خطوط در دست احداث یا پیش بینی نرخ فرونشست کم در منطقه	۲	۲	۴	۳	۳	۱۰۵
	تراکم دینامیکی	عمدتاً برای خطوط در دست احداث یا نواحی دارای فرونشست کم و در خاکهای دانه ای	۱	۳	۲	۱	۱	۶۵

## جمع بندی

پدیده فرونشست امروزه در کشور ایران به یک مسئله مهم و مشکل ساز تبدیل شده است. فرونشست می تواند بر روی بخش های مختلفی مانند کشاورزی، مناطق مسکونی، سازه های گوناگون مانند دکل های انتقال نیرو و... تاثیر مخرب داشته باشد. عامل اصلی این پدیده عدم مدیریت منابع آب های زیرزمینی و برداشت بیش از حد مجاز از این منابع می باشد. در گزارش حاضر به روشهای مختلف بهسازی زمین برای پی دکل های انتقال در برابر مخاطرات زمینی پرداخته شده و یک روش برای اولویت بندی در انتخاب آنها با تاکید بر پدیده فرونشست زمین ارائه شده است.

## مراجع

- (۱) اکبری گرکانی، امیر، گزارش مرحله اول پروژه تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون و سازه های انتقال و فوق توزیع، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹
- (۲) اکبری گرکانی، امیر، گزارش مرحله چهارم پروژه تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون و سازه های انتقال و فوق توزیع، پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱
- 3) *Xanthakos, Petros P., Lee W. Abramson, and Donald A. Bruce. Ground control and improvement. John Wiley & Sons, 1994.*
- 4) *Bowles, Joseph E. Foundation analysis and design. 1988.*
- 5) *US Army Corps of Engineers, General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams, 2004*



## بکارگیری فناوریهای نوین آزمایشگاهی در ارزیابی سازه‌های صنعت برق

### بهبود عملکرد آزمایشگاه سازه‌های انتقال و توزیع نیرو اراک

#### آرش یگانه فلاح<sup>۱</sup>

**چکیده:** همواره ارزیابی عملکردی سازه‌های صنعت برق به سبب تعیین قابلیت اطمینان آن‌ها و در عین حال بهینه شدن هزینه‌های تولید، نگهداری و افزایش عمر آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی و گسترش فناوری‌های نوین روش‌های ارزیابی نیز ارتقاء یافته‌اند، همین این موضوع سبب شده تا با هزینه کمتر امکان ارزیابی با دقت بالاتر و روش‌های اجرایی راحت‌تر ارائه گردد. در این مقاله خلاصه برخی از فناوریهای نوین ارزیابی سازه‌ها با دیدگاه روش‌های آزمایشگاهی بیان می‌گردد و سپس براساس شرایط حال حاضر آزمایشگاه اراک و پتانسیل‌های آن، رویکردهای پیشنهادی برای ارتقاء بهره‌وری آزمایشگاه اراک ارائه می‌گردد.

**کلیدواژه:** فناوریهای نوین، ارزیابی، سازه‌های صنعت برق، آزمایشگاه سازه‌های انتقال

#### مقدمه

سازه‌های عمرانی اهمیت ویژه‌ای در زندگی انسان‌ها از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی دارند. همچنین از دیدگاه توسعه پایدار سطح عملکرد و قابلیت اطمینانی که هر یک از این سازه‌ها تأمین خواهند کرد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این موضوع سبب شده است تا توجه ویژه‌ای به فناوری‌های نوین چه در زمینه ساخت و چه در زمینه تولید و نگهداری این گونه سازه‌ها گردد. یکی از کاربردهای فناوری‌های نوین استفاده از آن‌ها در ارزیابی عملکرد سازه‌ها می‌باشد.

<sup>۱</sup> استادیار پژوهشی، پست الکترونیکی: [ayeganeh@nri.ac.ir](mailto:ayeganeh@nri.ac.ir)

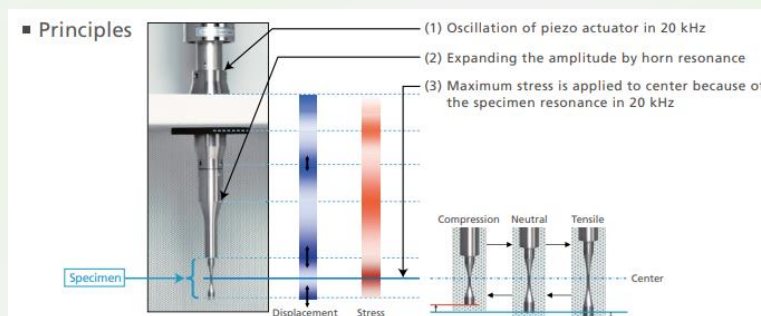
در این مقاله، به شناسایی و بررسی برخی از فناوریهای نوین شاخص جهت ارزیابی عملکرد سازهها، پرداخته خواهد شد. در این راستا سوابق موضوعی و فناوریهای روز جهان در ارزیابی عملکرد سازهها مورد شناسایی و بررسی قرار میگیرد، همه فناوریهای شناسایی شده در این گزارش فناوریهایی میباشند که در در حوزه آزمایشگاهی کاربرد دارند و فناوریهایی که در حوزه پایش سلامت سازهها استفاده میگردند، سپس براساس مطالعه صورت پذیرفته رویکردهایی که سبب بهبود بهره وری آزمایشگاه سازههای انتقال و توزیع نیرو اراک از لحاظ فنی و مطالعاتی می گردد ارائه می شود.

### فناوریهای نوین آزمایشگاهی در ارزیابی سازهها

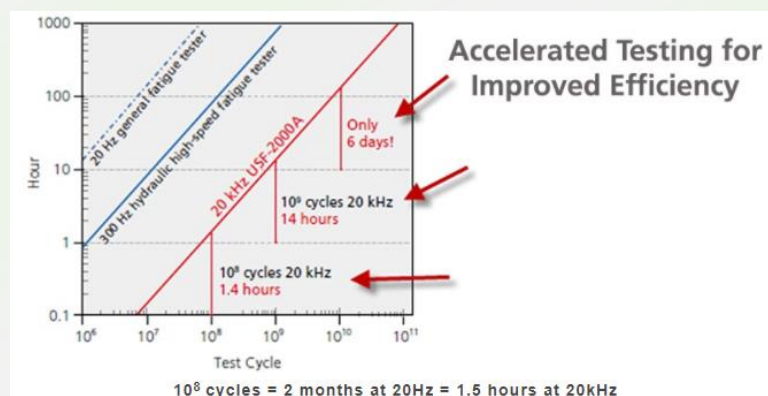
در ادامه ابتدا به تعدادی از فناوریهای نوین و شاخص در ارزیابی سازههای صنعت برق اشاره می گردد و سپس در خصوص رویکردهای پیشنهادی جهت بهبود عملکرد آزمایشگاه سازههای انتقال و توزیع نیرو اراک توضیحاتی ارائه می گردد.

### آزمایش خستگی دینامیکی با استفاده از فناوری آکوستیک در ارزیابی عملکرد سازهها

همواره آگاهی از عمر مفید یک سازه یکی از مسائل مهم در صنعت است، بخصوص توجه به این موضوع که بسیاری از سازههای صنعت تحت بارهای چرخه ای قرار دارند. استفاده از مصالح نوین در اجزای سازه سبب شده تا طول عمر بهره برداری آنها از  $10^7$  به  $10^9$  ( ۱ گیگا) چرخه افزایش یابد. روش خستگی آلتراسونیک توانایی تشخیص خستگی تمامی مصالح سازه ای را با دقت بسیار بالایی فراهم می آورد. روش التراسونیک نسبت به روشهای سنتی شامل مزایای فنی نظیر: بارگذاری تا فرکانس ۲۰ کیلو هرتز، شکل 12، کاهش چشمگیر زمان آزمایش، شکل 13، امکان انجام آزمایش خستگی برای مصالح ترد مانند بتن، امکان بررسی طول عمر مصالح، شروع خستگی و گسترش ترک خوردگی، ابعاد کوچک دستگاه جهت آزمایش خستگی می باشد.



شکل ۱۲: نمونه مورد استفاده در دستگاه آزمون خستگی التراسونیک مدل USF-2000A از شرکت شیمادزو<sup>۱</sup>، [۱]



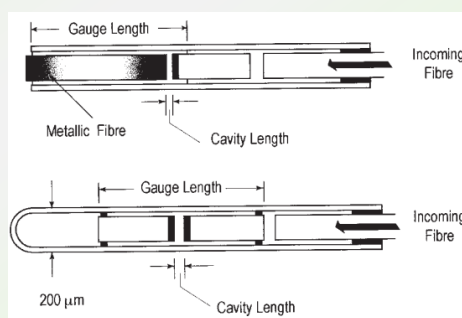
شکل ۱۳: تاثیر استفاده از دستگاه آزمون خستگی التراسونیک در کاهش زمان آزمایش، [۱]

### حسگر فیبر نوری در ارزیابی عملکرد سازه‌های صنعت برق

حسگر فیبر نوری، دستگاه مبتنی بر فیبر می‌باشد که برای تشخیص برخی از مقادیر مانند دما، فشار، ارتعاشات، جابجایی، چرخش و یا غلظت گونه‌های شیمیایی، کنترل سطح مخازن، تشخیص پارگی ورق، کنترل انحراف پارچه و کنترل تردد و... به کار برده می‌شود. از ابزارهای دقیق و دستگاه‌های مخصوص مورد نیاز برای حسگر می‌توان به منبع نوری (اغلب لیزر تک فرکانس فیبر)، عنصر اصلی حسگر، آشکارساز نوری و دستگاه‌های پردازش پایانی اشاره کرد. حسگرهای فیبر نوری محض به تغییرات ناشی از محیط در نور به هنگام عبور آن از داخل فیبر نوری

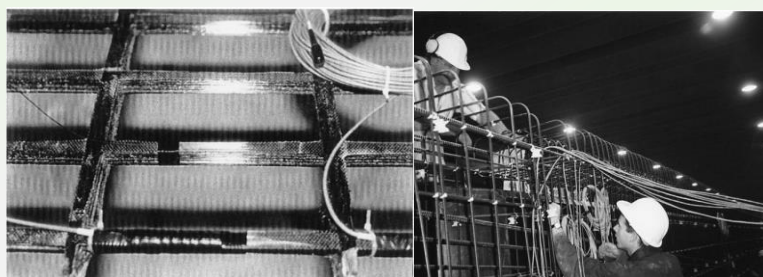
<sup>۱</sup> Shimadzu

وابسته اند. حسگرهای فیبر نوری با استفاده از اختلاف فاز بین نور ورودی و خروجی قادر به اندازه گیری خصوصیات فیزیکی متفاوت می باشند. در شکل 14 دو ساختار از حسگر کرنش فیبر نوری تداخل سنج را نمایش می دهد.



شکل ۱۴: دو ساختار از حسگرهای کرنش فیبر نوری تداخل سنج

حسگر فیبر نوری دامنه وسیعی از حسگرهای مختلف را پوشش می دهد، یکی از پرکاربردترین حسگرهای فیبر نوری در مهندسی سازه حسگر کرنش می باشد. استفاده این حسگر در مهندسی سازه از بکارگیری آن در پایش و تست بارگذاری پل ها، تا استفاده آن ها در آزمون خمش پره های توربین بادی را می توان نام برد. یکی از مزایای حسگرهای فیبر نوری بکارگیری آن بصورت دائم مدفون در بتن می باشد که میتواند بطور دقیق اطلاعات همان نقطه از عضو را نشان دهد، شکل 15.



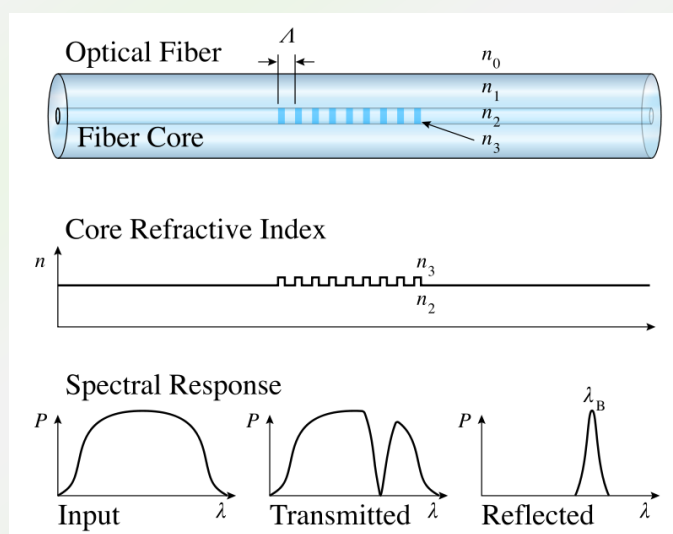
شکل ۱۵: نمونه ای از استفاده فیبر نوری بصورت مدفون در بتن

حسگر فیبر نوری دامنه وسیعی از مزایای فوق العاده را ارائه می دهد که به همین خاطر در بسیاری از زمینه ها به موفقیت فراوان رسیده است. حسگر فیبر نوری، سیگنال اولیه نور است، بنابراین، هیچ خطر جرقه برای فیبر وجود

ندارد. از آنجا که فیبرها از مواد عایق مانند شیشه تشکیل شده اند حسگر فیبر نوری به فرکانس رادیویی و الکترومغناطیسی حساسیتی ندارد. کوچک، وزن سبک و انعطاف پذیر بودن این حسگر باعث گسترش کاربرد حسگر فیبر نوری در بسیاری از زمینه ها مانند صنعت هواپیمایی شده است. حسگرهای فیبر نوری بسیار حساس هستند و دارای پهنای باند بزرگی می باشند. هنگامی که تعدادی از حسگرها با پهنای باند بالا در کنار هم قرار میگیرند دارای مزیت های فراوانی شده و نتایج و داده های حاصله را به خوبی انتقال می دهند. با تلفات کم فیبرهای نوری، سیگنال نوری را می توان در یک فاصله طولانی ( $m-1000m^{10}$ ) منتقل کرد. بنابراین سنجش از راه دور با فیبر نوری امکان پذیر است. فیبر نوری از موادی نظیر پلاستیک یا شیشه ساخته شده است که زنگ زدگی با خود به همراه ندارد، بنابراین، فیبرها هنگامی که در مجاورت الکترولیت، اشعه های یونساز و غیره قرار می گیرند دارای ثبات بسیار عالی می باشند. به علاوه فیبرها می توانند تا دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس را تحمل کنند. در فیبرهای خاص این رقم تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس نیز افزایش می یابد.

یکی از انواع فناوریهایی که با فیبرهای نوری توسعه داده شده حسگر توری براگ فیبری نوعی از حسگرهای فیبر نوری می باشد که با توجه به نوع ساخت و هدف آن قادر است دما، کرنش / جابه جایی، شیب، شتاب، فشار، میدان مغناطیسی و دوران را اندازه گیری نماید. شکل ۱۶ عملکرد کلی حسگر فیبر توری براگ را براساس نور بازتابی نمایش می دهد.





شکل ۱۶: عملکرد حسگر فیبر توری براگ براساس نور بازتاب شده

شکل ۱۷ سه مدل از حسگر کرنش توری براگ فیبر نوری را نمایش می دهد نوع اول با قابلیت جوش پذیری جهت اتصال، نوع دوم از نوع تماسی که باید چسبانده شوند، نوع سوم بصورت مدفون در بتن یا هر ماده دیگر قابل استفاده می باشد، [۲].



شکل ۱۷: سه مدل از حسگر کرنش توری براگ فیبری [۲]

نحوه قرارگیری حسگر کرنش *FBG* همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می گردد، می توان از چندین حسگر پی در پی در یک رشته فیبر نوری استفاده کرد.



شکل ۱۸: قرارگیری تعداد بالای حسگر کرنش FBG، [۳]

انواع دیگر حسگرهای ساخته شده از *FBG*، که بصورت تجاری در حال حاضر در صنعت بکارگرفته می‌شوند حسگر شتاب *FBG*، حسگر انحراف سنج *FBG*، حسگر فشار *FBG* و حسگر اندازه‌گیری جابجایی با قابلیت حذف اثر دما می‌باشد که بیشترین کاربرد را در ارزیابی سازه‌های عمرانی دارند،

**found.**



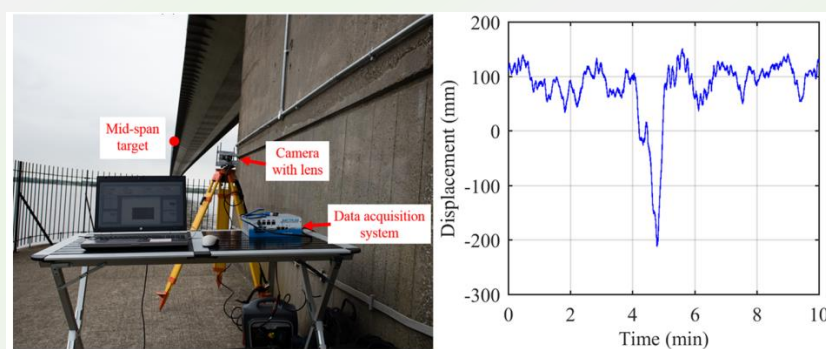
شکل ۱۹: حسگر شتاب توری براگ فیبری، [۳]

### سنجش جابه‌جایی سازه مبنی بر دید در ارزیابی عملکرد سازه‌های صنعت برق

یکی از مشکلاتی که همواره در سنجش جابجایی سازه‌های عمرانی بوسیله تجهیزات متداول نظیر *LVDT* وجود دارد نیاز به یک نقطه مبنا می‌باشد تا جابجایی نسبت به آن نقطه سنجیده شود، و این امر مستلزم فراهم آوردن تکیه‌گاهی برای *LVDT* می‌باشد که بعنوان نقطه مبنا در نظر گرفته می‌شود، البته در هنگام بارگذاری در اکثر مواقع تکیه‌گاه نیز دچار تغییر مکان‌هایی می‌گردد که سبب ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌گردد. و یا اندازه‌گیری‌های که توسط دوربین‌های نقشه‌برداری برای سنجش جابجایی انجام می‌پذیرد همواره به خطای شخص وابسته بوده و از

سویی برای اندازه گیری ها با فرکانس مشخص اصلا مناسب نمی باشد تنها برای اندازه گیری جابجایی ها در بارگذاری استاتیکی می تواند استفاده گردد.

به همین سبب اندازه گیری جابجایی با استفاده از روش های غیر تماسی بسیار مورد توجه اهداف آزمایشگاهی قرار گرفته است. روش سنجش جابجایی سازه براساس دید یکی از روش هایی است که با استفاده از دوربین فیلم برداری و روش های پردازش تصویر توانسته است به راحتی مشکل های اندازه گیری جابجایی را در ارزیابی سازه ها حل نماید. در این روش با قراردادی یک تصویر از قبل کالیبره شده بر روی سازه از تصویر در هنگام انجام آزمون فیلم برداری می گردد، و بصورت آنلاین ماتریس نمایش هر فریم محاسبه می گردد و با ماتریس کالیبره شده ابتدایی مقایسه می شود با توجه به اختلافهایی که بین دو ماتریس ایجاد شده توسط یک الگوریتم پردازش تصویر جابجایی آن نقطه از سازه بدست می آید. شکل 20 به کارگیری دوربین را برای اندازه گیری ۱۰ دقیقه ای جابجایی بر روی پل هامبر را نمایش می دهد.



شکل ۲۰: کاربرد عملی روش اندازه گیری جابجایی بر روی یک پل، [۴]

### ارتعاش سنج داپلر لیزری در ارزیابی عملکرد سازه ها

همانطور که در گزارش مرحله اول توضیح داده شد،  $LDV$  به عنوان یک حسگر بدون نیاز به تماس استفاده می شود و روی یک سطح صلب نزدیک هدف قرار داده می شود. برای کسب داده از یک  $LDV$  در مقایسه با سایر روش های

مذکور به پردازش کمتری نیاز است و می‌توان از آن برای اندازه‌گیری زمان- واقعی جابه‌جایی بهره برد.  $LDV$  بنابر اصل اثرات داپلر کار می‌کند که این اثرات شامل انتقال در فرکانس بین امواج فرستاده‌شده و بازتاب‌شده از یک هدف متحرک است که وابسته به سرعت و راستای حرکت هدف است، شکل 21.



شکل ۲۱: ارتعاش سنج داپلر

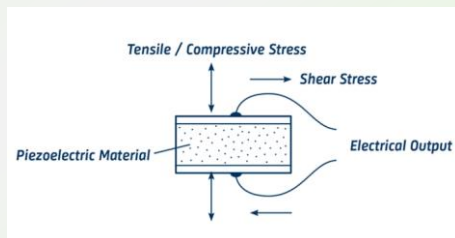
ارتعاش سنج داپلر ثبت تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و یا جابجایی سازه‌های عمرانی را ساده می‌سازد. این ارتعاش سنج بصورت غیر تماسی و بصورت اتوماتیک از فاصله دور می‌تواند در لحظه ارتعاش ایجاد شده بر روی سازه را ثبت نماید. همچنین با کمک فیلترهای فرکانسی مناسب تنها ارتعاشاتی که در محدوده ارتعاش سازه می‌باشد را ثبت می‌نماید و باقی سیگنال‌هایی که بصورت اغتشاش در داده‌ها ثبت می‌گردند را حذف می‌نماید.

### حسگرهای پیزو الکتریک در ارزیابی عملکرد سازه‌های صنعت برق

حسگرهای پیزوالکتریک، با استفاده از قانون مواد پیزوالکتریک قادر است نیرو، جابجایی و یا کرنش وارده را به ولتاژ تبدیل کند سپس با استفاده یک مبدل می‌توان ولتاژ را به مشخصه ورودی تبدیل نمود، شکل 22، ماده پیزوالکتریک در حال حاضر با توجه به این ویژگی آن‌ها بطور گسترده‌ای در صنعت تولید حسگر استفاده می‌گردد و حسگرهای مختلفی توسط این خصوصیت در حال تولید می‌باشد. حسگرهای سلول نیرو، فشار، کرنش، شتاب از جمله مهمترین

حسگرهایی می باشند که با استفاده از ماده پیزوالکتریک تولید می گردند. در شکل **23Error! Reference**

**source not found.** حسگرهای مختلفی از این فناوری مشاهده می شود.



شکل ۲۲: ساختار کلی حسگرهای پیزوالکتریک



فشار



کرنش



شتاب

شکل ۲۳: حسگرهای شتاب، کرنش و فشار پیزوالکتریک برند کیستلر<sup>۱</sup>

به دلیل گستره حسگرهایی که از پیزوالکتریک تولید می گردند و همچنین دقت و فرکانس برداشت اطلاعات این فناوری سبب شده تا بسیار در ارزیابی و پایش سلامت سازه های مختلف مورد استقبال واقع گردند.

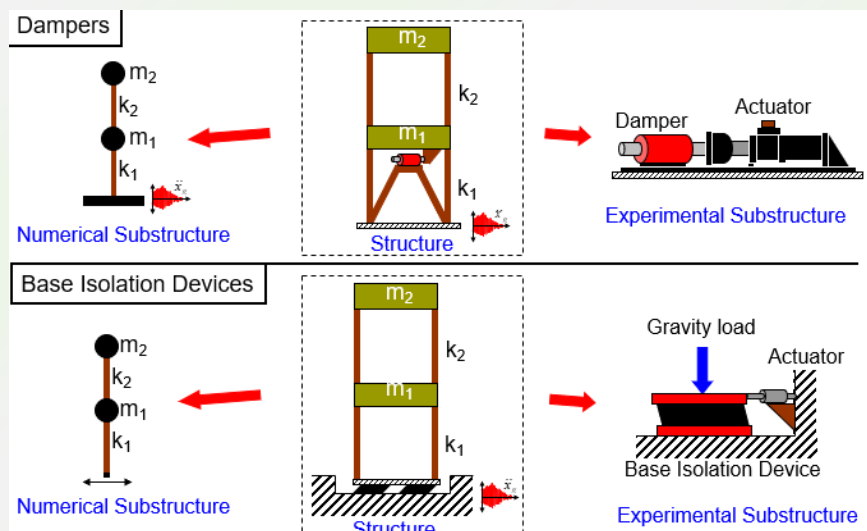
### شبیه سازی ترکیبی در ارزیابی عملکرد سازه ها

هزینه بالای آزمون تمام مقیاس، و مشکلات مدل سازی و تحلیل های استاتیکی و دینامیکی بخصوص در مدل سازی اتصالات که در واقعیت رفتاری کاملاً متفاوت با مدل سازی و تحلیل های انجام شده از خود نشان می دهند مهمترین مواردی است که سبب شده تا محققین جهت حل این مسائل آزمایش ترکیبی سازه ها را بخصوص در مورد سازه های

<sup>۱</sup> KISTLER



بزرگ مقیاس ارائه دهند. در این روش بخشی از سازه که رفتار آن ناشناخته می‌باشد در آزمایشگاه ساخته شده و بخش دیگر سازه در نرم افزار مدل سازی می‌گردد و سپس با تحلیل سازه در نرم افزار نیروهای اندر کنش توسط عملگرهایی با فرکانس متناسب با سرعت تحلیل در حال انجام به نمونه آزمایشگاهی وارد می‌گردد، و به همین صورت بازخورد نمونه توسط سنسورهایی و سخت افزارهای مشخصی به نرم افزار برای ادامه تحلیل در هر گام زمانی ارسال می‌گردد، شکل ۲۴.



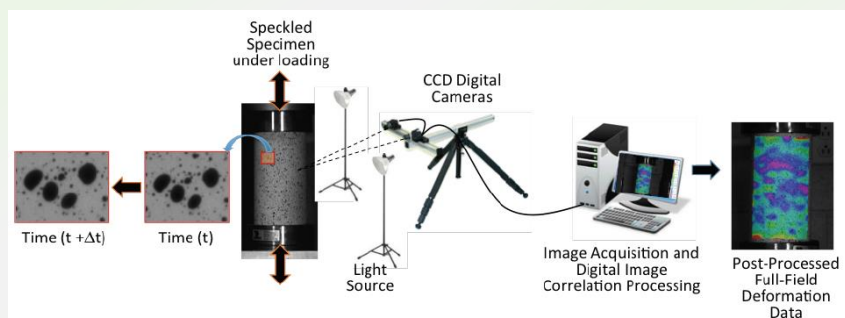
شکل ۲۴: مفهوم کلی شبیه سازی ترکیبی آزمایشگاهی-عددی

### تصویر دیجیتال همبسته<sup>۱</sup> برای سنجش میدان کرنش و تنش

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر توجه محققین را به خود جلب کرده استفاده از فناوری پردازش تصویر در ارزیابی سازه‌ها می‌باشد. در این روش با استفاده از دوربین‌های با لنز مناسب و تعداد فرم‌های بالا، از نقطه مشخصی از سازه فیلم برداری می‌گردد، معمولاً در آن نقطه از سازه بسته به روش پردازش تصویر صفحه‌ای با سطح خاصی می‌چسبانند، سپس الگوریتم پردازش تصویر در هر لحظه تصویر برداشت شده را آنالیز می‌کند و تغییرات ایجاد شده

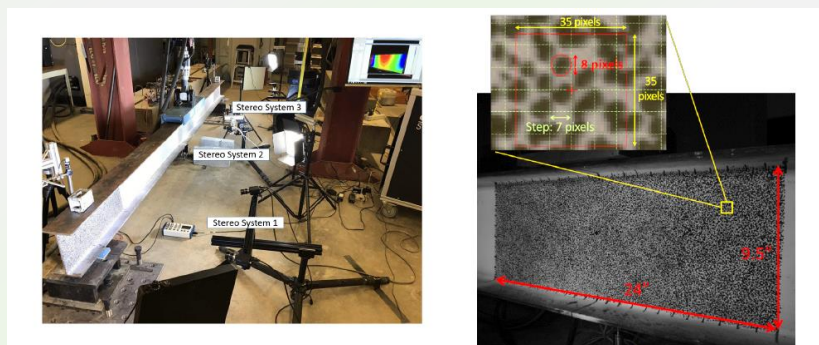
<sup>۱</sup> Digital Image Correlation (DIC)

در تصویر را که به دلیل بارهای وارد به سازه می باشد، تبدیل به میدان تنش و کرنش می کند، [۵]. شکل 25 روند کلی عملکرد فناوری *DIC* را در تعیین میدان کرنش نمایش می دهد.

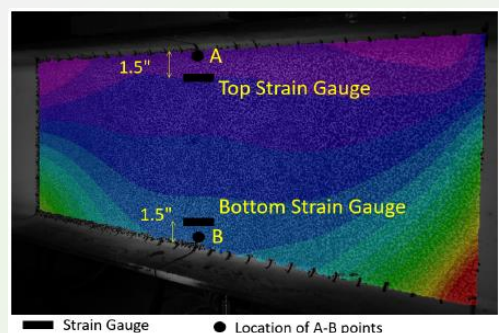


شکل ۲۵: شمای کلی عملکرد فناوری *DIC* در تعیین میدان کرنش [۵].

نمونه ای از استفاده از *DIC* بر روی یک تیر دو سر مفصل به منظور تشخیص میدان کرنش در ناحیه ابتدایی تیر، در شکل 26 و شکل 27 نمایش داده شده است.



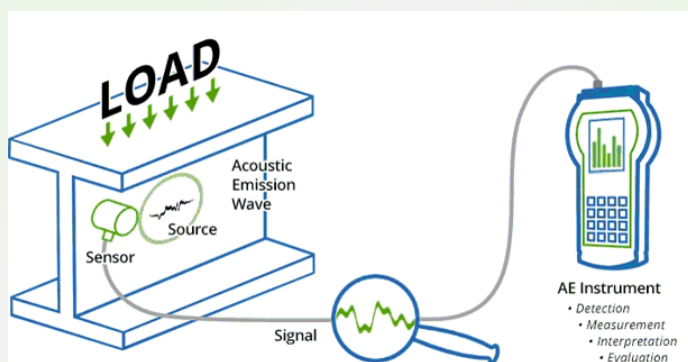
شکل ۲۶: نمونه آزمون خمش ساده بر روی تیر I شکل و برداشت کرنش بخشی از تیر که روی تکیه گاه می باشد، [۵].



شکل ۲۷: تشخیص میدان تنش در ناحیه مشخص شده از تیر، [۵].

### حسگرهای مبتنی بر انتشار آکوستیک جهت ارزیابی عملکرد سازه

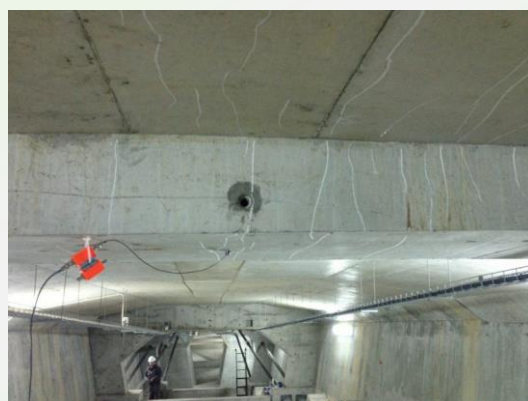
آزمون نشر امواج صوتی<sup>۱</sup> گونه ای از آزمون های غیرمخرب می‌باشد که به منظور بررسی شکل گیری و رشد نواقص (هم چون ترک ها و...) درون قطعه، به صورت دینامیکی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از نشر صوت، تولید امواج الاستیکی (مکانیکی) ناشی از تغییر ناگهانی تنش درون ماده است. زمانی که ماده در معرض محرک خارجی (تغییرات فشار، نیرو یا دما) قرار بگیرد، منابع متمرکز انرژی در ماده شروع به آزاد سازی امواج الاستیکی می‌کنند و این امواج تا سطح قطعه انتشار می‌یابند و به وسیله حسگر ها ثبت و بررسی می‌شوند، شکل **28Error!** *Reference source not found.* نشر صوت مربوط به تولید امواج الاستیکی همزمان با آزاد یا رها شدن سریع انرژی کرنشی در ماده می‌باشد. با استفاده از تجهیزات مناسب می‌توان حرکاتی در بازه پیکومتر را نیز بررسی کرد. امواج صوتی تولید شده در روش *AE* در کنترل کیفیت، بررسی سلامت سازه، کنترل فرآیند و... حائز اهمیت می‌باشند. از این تست در پروژه های تحقیقاتی (آزمایش کشش، آزمایش مکانیک شکست و...) و پروژه‌های صنعتی (بازرسی جوش، بررسی ترک ها در پل ها و...) استفاده می‌شود.



شکل ۲۸: عملکرد کلی حسگرهای مبتنی بر انتشار آکوستیک، [۶]

<sup>۱</sup> Acoustic Emission (AE)

همانطور که بیان شد این روش برای بازرسی سلامت سازه ها بسیار کاربردی می باشد، از مزایای استفاده از روش AE شامل شناخت ترک های فعال در بتن، و هر نوع نقصی در سازه ها، شکل 29، پایش خوردگی های الکترو-شیمیایی و دیگر خوردگی ها در آرماتورها و کابل ها، **Error! Reference source not found.** ارزیابی سازه ها یا المان های آنها تحت بار سرویس، پایش تغییرات طولانی مدت در سلامت سازه، ارزیابی سرویس پذیری سازه تحت شرایط بار گذاری خاص، پایش بین خرابی، خصوصیات مکانیکال و مکانیک شکست اعضای بتنی در سازه می گردد.



شکل ۲۹: استفاده از حسگرهای مبتنی بر انتشار آکوستیک بر روی بخش داخلی بتن پل صندوقه ای، [۷]

### ارائه رویکردهای پیشنهادی جهت افزایش بهره‌وری آزمایشگاه سازه اراک

آزمایشگاه سازه های انتقال و توزیع نیرو اراک از ابتدا با اهداف آزمون نوعی برج های انتقال نیرو و پایه های توزیع نیروی و پایه های روشنایی شروع به کار نمود. بستر آزمایشگاه قادر است بسیاری از آزمایش های نوعی مربوطه را با دقت مناسبی پوشش دهد. امکانات موجود و فضای بسیار مناسب موجود می تواند با کمی توسعه و ارتقاء امکان انجام آزمون های مختلف دیگر را فراهم آورد و سبب افزایش خدمات آزمایشگاهی، فنی، مطالعاتی و انجام خدماتی

با دقت بیشتر گردد و همچنین سبب بی‌ماند بودن این آزمایشگاه در منطقه و افزایش بهره‌وری آزمایشگاه گردد. در ادامه رویکردهای پیشنهادی به منظور دستیابی به اهداف فوق بیان می‌گردد.

### استفاده از جابجایی سنج‌های لیزری به جای دوربین تئودولیت در آزمون نوعی برج‌های انتقال نیرو

در حال حاضر جهت اندازه‌گیری جابجایی‌های برج‌های انتقال نیرو در آزمون نوعی برج‌های انتقال نیرو در آزمایشگاه اراک از خط‌کش و دوربین تئودولیت استفاده می‌گردد. دقت خط‌کش مورد استفاده ۵ سانتی‌متر می‌باشد، لذا با احتساب خطای انسانی در هنگام ثبت جابجایی‌ها حداقل خطایی برابر با ۵ سانتی‌متر محتمل می‌باشد، لذا استفاده از تجهیزاتی که بصورت ماشینی و اتوماتیک قادر به ثبت جابجایی سازه برج در هنگام آزمون باشد، می‌تواند سبب حذف خطای انسانی گردد، و همچنین با توجه به اینکه تجهیزات نوری دقت بسیار بالاتری نسبت به خط‌کش و دوربین دارند و امکان ثبت داده بصورت غیر تماسی در چنین تجهیزاتی وجود دارد این موضوع سبب کاهش خطای تجهیزات نیز می‌گردد.

جابجایی سنج‌های لیزری با توانایی سنجش جابجایی از فواصل دور یکی از بهترین جایگزین‌ها در این روش می‌باشند، از مهمترین مزایای جابجایی سنج‌های لیزری موارد زیر می‌باشد:

- غیر تماسی بودن،
- دقت بالا،
- فرکانس داده برداری مناسب،
- هزینه تجهیز نیز در قیاس با دوربین تئودولیت مناسب می‌باشد.
- حذف بسیاری از موارد خطای انسانی

ارتقاء سیستم اکتساب داده جهت ثبت داده کرنش از کرنش سنج و نیروهای اعمالی بصورت هم زمان



یکی از خدماتی که ایستگاههای آزمون نوعی برجهای انتقال نیرو به مشتریان خود می‌دهند، امکان رصد تنش و کرنش‌های ایجاد شده در اعضای بحرانی برج می‌باشد، این موضوع می‌تواند قابلیت اطمینان طراحی‌های انجام شده را افزایش دهد، و همچنین در صورت بروز ضعف در عضو بحرانی در ترکیب بارهای بعدی عضو جایگزین و یا قوی‌تر بر روی برج جایگزین گردد، این موضوع هزینه‌های آزمون را برای شرکت‌های دکل ساز به شدت کاهش داده و مورد استقبال واقع می‌گردد. از طرفی استفاده از این تجهیز در آزمون‌های مطالعاتی به مانند پیشنهاد قبل می‌تواند در شناخت رفتار سازه بسیار کاربردی واقع گردد. جهت استفاده از این فناوری تنها کفایت از کرنش سنج‌های فیبر نوری، یا توری براگ، و یا پیزوالکتریک که در گزارش مرحله قبل بیان شده استفاده نمود، علاوه بر تامین تجهیزات فوق لازم است سیستم اتاق کنترل از لحاظ نرم افزاری و سخت افزاری ارتقاء یافته تا امکان ثبت کرنش‌های اندازه‌گیری شده توسط کرنش سنج‌های فوق را با فرکانس داده برداری مناسب فراهم آید.

### تجهیز آزمایشگاه به دستگاه انتشار آکوستیک جهت تشخیص میدان‌های کرنش و عیوب ایجاد شده

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد مهمترین کاربرد حسگرهای انتشار آکوستیک تشخیص نقص و آسیب در عضو می‌باشد علاوه بر آن با استفاده از این فناوری و از کنار هم قرارگیری چند حسگر آن بر روی یک عضو می‌توان میدان‌های تنش و کرنش را در عضو تشخیص داد، با توجه به کاربردهای مختلف این فناوری یکی از مهمترین کاربردهای آن استفاده از آن در آزمون برج‌های بتنی و تیرهای بتنی به منظور تشخیص شروع ترک‌ها و گسترش آن‌ها می‌باشد، استفاده از دستگاه انتشار آکوستیک در آزمون سازه‌های کامپوزیت به مانند پره توربین بادی به منظور تشخیص میدان‌های تنش و کرنش و نقص ایجاد شده در آن‌ها نیز می‌تواند بسیار کارآمد باشد. علاوه بر آزمون‌های فوق این فناوری آزمایشگاه را برای آزمایش‌های میدانی و پایش سازه‌های مختلف تجهیز می‌نماید. کاربرد این تجهیز

در آزمون‌های مطالعاتی می‌تواند بسیار کار آمد باشد، ضمن اینکه به توجه به ویژگی‌های آن که در گزارش مرحله پیش بیان شد از اولویت بالایی نسبت به آزمون‌های دیگر در ارزیابی عملکرد سازه‌های صنعت برق برخوردار است. مزایای این فناوری برای آزمایشگاه سازه‌های انتقال و توزیع نیرو:

- امکان انجام آزمایش‌های میدانی
- ارزیابی دقیق برج‌های بتنی انتقال نیرو در هنگام آزمون از نظر شروع ترک‌های سازه‌ای
- دامنه گسترده‌ای از آزمون‌های مطالعاتی که با کمک این فناوری امکان‌پذیر می‌گردد
- ارزیابی دقیق کلیه اعضای فولادی و کامپوزیت

#### استفاده از فناوری سنجش میدان کرنش و تنش با استفاده از دوربین و فناوری پردازش تصویر

یکی از فناوری‌هایی که بسیار در حوزه آزمون‌های مطالعاتی می‌تواند کارایی داشته باشد استفاده از دوربین و پردازش تصویر در سنجش میدان تنش و کرنش می‌باشد، علاوه بر آن تجهیز آزمایشگاه به این فناوری در خصوص ارزیابی سازه‌های خاص با هدف مشخص می‌تواند کارایی داشته باشد، در حال حاضر در هیچ استاندارد استفاده از این فناوری به طور مستقیم اشاره نشده است. مشکلاتی نظیر نیاز به کالیبره شدن، نیروی متخصص و حساسیت به تغییرات نور در محیط از جمله مواردی است که استفاده از این فناوری را برای موارد تحقیقاتی و موارد عملی خاص محدود می‌نماید.

#### تهیه ارتعاش سنج‌های پیزو یا فیبر نوری و یا غیر تماسی لیزری جهت انجام آزمون‌های مطالعاتی

هدف از استفاده کلیه ارتعاش سنج‌ها جهت شناخت رفتار دینامیکی سازه و مشخصات دینامیکی سازه و مصالح می‌باشد، این کاربرد در ابتدا در حوزه پایش سلامت سازه مطرح می‌باشد، اما از سویی شناخت رفتار دینامیکی برخی

از سازه ها بخصوص سازه هایی که دائما تحت اثر بارهای دینامیکی قرار دارند سبب می گردد آزمون های دینامیکی در آنها از اهمیت بالایی برخوردار باشد نظیر پره های توربین های بادی. لذا تجهیز آزمایشگاه به این فناوری می تواند فرصت انجام آزمون های مطالعاتی - صنعتی بسیاری را در آزمایشگاه فراهم آورد. آزمون هایی نظیر شناخت رفتار و مشخصات دینامیکی پره های توربین بادی، صحت سنجی رفتار برج های انتقال نیرو و....

### تجهیز آزمایشگاه به شبیه ساز ترکیبی جهت انجام آزمون ها سازه های بزرگ مقیاس

شبیه ساز ترکیبی با شبیه سازی بخشی از سازه در نرم افزارهای تحلیلی و بخشی به صورت آزمایشگاهی سبب می گردد هزینه و زمان آزمون بسیار کاهش یابد، در آزمایشگاه سازه های انتقال و توزیع نیروی اراک توسعه آن روش می تواند کمک بسیار شایانی در آزمون برج های انتقال نیرو و کاهش هزینه های آن داشته باشد، به عنوان مثال با تهیه مدل آزمایشگاهی بخشی از برج و شبیه سازی باقی برج در آزمایشگاه سبب کاهش شدید هزینه آزمون کمک به طراح در افزایش قابلیت اطمینان سازه طراحی شده و کاهش هزینه خواهد شد. تجهیزات این آزمون، گیرگاه های مناسب، جک های هیدرولیک با فرکانس بارگذاری مناسب، حسگرهای کرنش، جابجایی، شتاب و...، سیستم کنترل کننده، و رابط نرم افزاری مناسب بین سیستم کنترل کننده و نرم افزار تحلیلی مد نظر می باشد، البته می توان با هزینه بیشتر ساختارهای پیشرفته تری از این فناوری تهیه نمود بعنوان مثال ساختار آزمایشگاهی می توان شامل میز لرزه جهت آزمون های دینامیکی نیز گردد. از مزایای استفاده از این نوع فناوری میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش هزینه آزمون و زمان آزمون
- افزایش قابلیت اطمینان طراحی سازه
- افزایش خدمات آزمایشگاهی با توجه به کاهش محدودیت های آزمایش

جمع بندی

هرچند ممکن است توسعه آزمایشگاه تنها از لحاظ فنی توجیه پذیر نباشد اما برای نیل به یک آزمایشگاه جامع و ایده‌آل لازم است تمامی امکانات لازم را جهت ارائه کامل خدمات فنی، مطالعاتی در حوزه سازه‌های صنعت برق فراهم آورد، از این رو رویکردهای پیشنهادی در این پژوهش بیشتر با دیدگاه فنی - مطالعاتی ارائه گردیده است.

### مراجع

1. Available from: <https://www.ssi.shimadzu.com/products/fatigue-testing/usf-2000a.html>.
2. FBG Strain Sensor. Available from: [http://www.idealphotonics.com/mod\\_product-view-p\\_id-404.html](http://www.idealphotonics.com/mod_product-view-p_id-404.html).
3. Available from: [http://www.bostoninstruments.com/efbg\\_sensor.html](http://www.bostoninstruments.com/efbg_sensor.html).
4. Xu, Y. and J.M. Brownjohn, *Review of machine-vision based methodologies for displacement measurement in civil structures*. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2018. **8**(1): p. 91-110.
5. Harris, D.K. and M.S. Dizaji. *Preserving Coastal Infrastructure through the Design and Implementation of Image-Based Structural Health Monitoring (iSHM)*. in *iSHM*. 2019.
6. Available from: <https://mistrasgroup.co.uk/products-and-systems/ae-systems/>
7. Available from: <http://www.idinspections.com/acoustic-emission-structural-health-monitoring-of-critical-structures/>

## فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱

آرش یگانه فلاح<sup>۱</sup>، علیرضا رهنورد<sup>۲</sup>

**چکیده:** آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو پژوهشگاه نیرو، بزرگترین و مجهزترین آزمایشگاه آزمون دکل در خاورمیانه می‌باشد که انجام آزمون نوعی بر روی انواع سازه‌های انتقال نیرو را بر طبق الزامات استاندارد IEC 60652-2002 به انجام می‌رساند. آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو پژوهشگاه نیرو، واقع در نزدیکی شهر اراک، به عنوان یکی از آزمایشگاه‌های مرجع وزارت نیرو و تنها آزمایشگاه آزمون نوعی دکل‌های انتقال و توزیع نیرو مورد تأیید در ایران می‌باشد. در این گزارش به معرفی اجمالی فعالیت‌های صورت گرفته زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱ در این آزمایشگاه بیان می‌گردد.

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

### آزمون‌های انجام شده

در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱ دو آزمون نوعی دکل انتقال نیرو انجام پذیرفت که مشخصات این دو دکل مطابق با جدول ۱ می‌باشد، که شکل ۱ الی شکل ۴ تصاویری از دکل برپا شده، نحوه اعمال نیرو به دکل توسط کابل‌ها و تغییر شکل دکل پس از انجام آزمون نوعی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات دکل‌های تست شده و در حال انجام در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱

ردیف	نام دکل	وزن طبق قرارداد (تن)	ارتفاع (متر)	تعداد مدار	نوع برج	کارفرمای آزمون	تاریخ انجام تست	تصویر از دکل
۱	GT2-60	۲۲/۵	۵۵	۲	مشبک	شرکت صنعتی گام اراک	۱۴۰۰/۱۱/۱۰	شکل ۱ الی ۳
۲	KZT4-60	۲۹/۹	۵۰/۸۲	۴	مشبک	شرکت صنایع فلزی یاسان	۱۴۰۱/۰۱/۲۳	شکل ۴ الی ۶

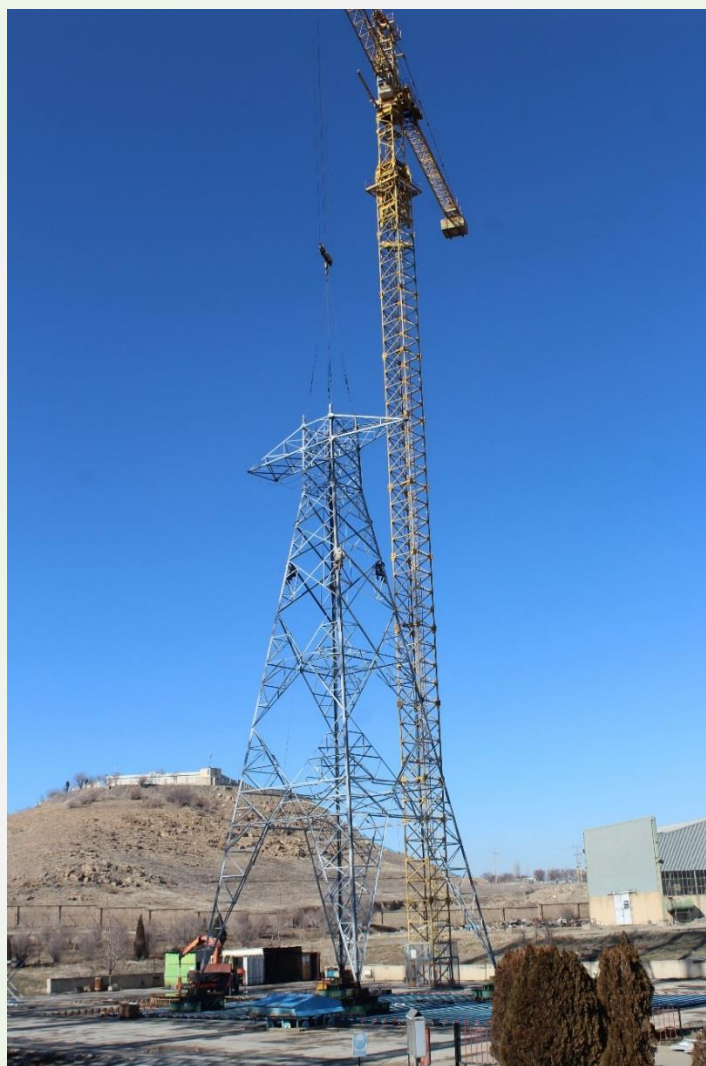
<sup>۱</sup> استادیار و عضو هیات علمی، گروه پژوهشی سازه های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، [ayeganeh@nri.ac.ir](mailto:ayeganeh@nri.ac.ir)

<sup>۲</sup> مدیر گروه پژوهشی سازه های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، [arahnvard@nri.ac.ir](mailto:arahnvard@nri.ac.ir)





شکل ۱. مونتاژ افقی GT2-60



شکل ۲. مونتاژ عمودی برج GT2-60

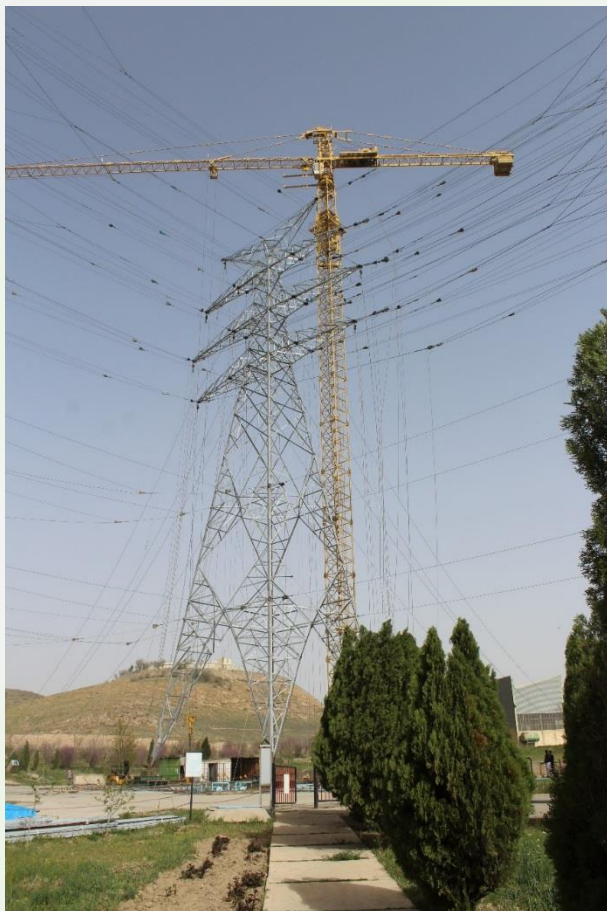


شکل ۳. سیم‌کشی (ریگینگ) GT2-60



شکل ۴. مونتاز افقی KZT4-60





شکل ۶. سیم‌کشی (ریگینگ) KZT4-60



شکل ۵. مونتاژ عمودی برج KZT4-60

تعداد قراردادهای منعقد شده و منتظر انجام آزمون نیز یک قرارداد می باشد که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲ قراردادهای منعقد شده

ردیف	نام دکل	وزن طبق قرارداد (تن)	ارتفاع (متر)	تعداد مدار	نوع برج	سطح ولتاژ	کارفرمای آزمون
۱	LS2-3G	۹	۵۳	۲	مشبک	۲۳۰	آفتاب نیروی سبز گام

## انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی

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

### (۱) مقالات ژورنالی (ISI):

1. **Jafari, M.A., and Rezazdeh, S.,** (2022). Estimation of Reduction Factors for Combined Wind and Ice Loading of Power Transmission Lines Using Multivariate Scenario Sampling, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics.* , 226, 105045, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.105045>
2. **Garakani, A. A., Jozani, S.M., Heidari, B. and Tari, P.H.,** (2022). Effects of Heat Exchange Fluid Characteristics and Pipe Configuration on the Ultimate Bearing Capacity of Energy Piles. *Elsevier, Energy*, 248 (2022): 123583. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123583>
3. **Garakani, A. A. and Serjoie, K. A.,** (2022). The Ultimate Bearing Capacity of Helical Piles as Electric Transmission Towers Foundations in Unsaturated Soils: Analytical, Numerical and Experimental Investigations. Accepted for publication in: *ASCE's International Journal of Geomechanics*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0002585](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002585).
4. **Zekavati, A. A., Jafari, M.A., and Mahmoudi, A.,** (2022). Regional Multi-Hazard Risk Assessment Method of Overhead Transmission Line Structures Based on Failure Rate and a Bayesian Updating Scheme, Accepted for publication in: *Journal of Performance of Constructed Facilities*.

### (۲) سخنرانی در مجامع علمی:

۱. اکبری گرکانی، "دستاوردهای نوین در محاسبه ظرفیت باربری شمعهای انرژی تحت بارهای استاتیکی، و رفتار ارتعاشی آنها به عنوان پی ماشین آلات صنعتی"، کارگاه تخصصی، جشنواره مجازی پژوهش و فن آوری وزارت نیرو، زمستان ۱۴۰۰
۲. مائده ذاکر صالحی، و بینار تخصصی "امکان سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره‌وری انرژی"، پژوهشگاه نیرو، بهار ۱۴۰۱
۳. اکبری گرکانی، "آثار فرونشست زمین بر سازه‌های صنعت برق در شهر تهران". سخنرانی تخصصی در جلسه یازدهم کارگروه ملی فرونشست زمین، شورای شهر تهران، بهار ۱۴۰۱

### پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

در این بخش، خلاصه‌ای از پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق، پروژه‌های تصویب شده و پایان یافته گروه سازه در بازه زمانی زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱، همکاری‌های اعضای گروه در پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو و همچنین خلاصه‌ای از همکاری‌های اساتید دیگر دانشگاه‌ها با گروه (طرح بهتام) ارائه می‌شوند.

عنوان پروژه: صحت سنجی و مانیتورینگ عملکرد شمع‌های انرژی در خاک تهران (مطالعه موردی - موقعیت جغرافیایی پژوهشگاه نیرو)	
نوع پروژه: آزمون ایده	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: معاونت پژوهشی
مدیر پروژه: امیر اکبری گرکانی	همکاران پروژه: امیر اکبری گرکانی - محمد علی جعفری صحنه سرایی - آرش یگانه فلاح - سپیده سفری
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه: ۴۰٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۹/۰۴/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵
تعداد مراحل پایان یافته: کمیسیون فنی مراحل ۱ و ۲ برگزار و این مراحل به تایید مجری رسید.	
<p>خلاصه: تکنیک استفاده از شمعهای انرژی تجهیز شده با مبدلهای زمینی یک روش مناسب استفاده از انرژی های زمین گرماییست که استفاده از آن کاهش مصرف انرژی های سوختی، تامین قسمتی از انرژی های لازم در مصارف صنعتی، ذخیره انرژی، تامین توانان گرمایش و سرمایش در کاربردهای صنعتی و کاهش آلودگی و انتشار دی اکسیدکربن را به دنبال دارد. از این تکنیک تاکنون در پروژه های متعدد کوچک مقیاس شهری (مانند ساختمانهای مسکونی) و بزرگ مقیاس صنعتی در کشورهایی نظیر امریکا، کانادا، سوئد و ایتالیا استفاده شده است. در پروژه حاضر، با اجرای یک مدل فیزیکی در پژوهشگاه نیرو، تلاش میشود تا روابط تحلیلی و آنالیزهای عددی انجام شده در پروژه پیشین، صحت سنجی شود و فرضیات تدقیق گردد. از نتایج ارزشمند این پروژه اینست که پس از اجرایی نمودن ایده استفاده از شمع های انرژی در ساختمان فن آوری، از دانش، تکنولوژی و اطلاعات به دست آمده از آن میتوان به عنوان داده هایی ارزشمند با نقشی تعیین کننده به کار گیری از آن در سایر پروژه ها استفاده نمود. مخصوصا اینکه بسیاری از تحقیقات عددی صورت گرفته را میتوان از این طریق مورد صحت سنجی قرار داد. در این راستا هدف آنست تا از انجام این پروژه، به موارد زیر دست یافته شود:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• صحت سنجی توانان تحلیل، آنالیز عددی و نتایج آزمون های برجا در عملکرد باربری و تغییر شکل پذیری شمعهای انرژی</li> <li>• بررسی اثر چیدمان لوله های انتقال سیال بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی</li> <li>• بررسی اثر دبی سیال بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی</li> <li>• بررسی اثر حرارت ورودی بر عملکرد شمع های انرژی در مقیاس واقعی</li> </ul>	



عنوان پروژه: طراحی، ساخت و آزمون بتن خود ترمیم شونده به منظور استفاده در مخازن صنعت برق	
نوع پروژه: آزمون-ایده	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی
مدیر پروژه: آرش یگانه فلاح	همکاران پروژه: مائده ذاکر صالحی، صادق خان محمدی
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه: ۴۲٪
	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶
<p>بتن یکی از مصالح پرکاربرد در سازه‌های مرتبط با صنعت برق در حوزه‌ی تولید، انتقال و توزیع برق می‌باشد. از طرفی، پایداری و دوام سازه‌های بتنی به واسطه‌ی ترک‌هایی که در بتن ایجاد می‌شود، کاهش می‌یابد. از مهمترین مسائلی که وزارت نیرو با آن درگیر می‌باشد، می‌توان به ترک‌خوردگی و تخریب در بتن سازه‌های بتنی بخش تولید، انتقال و توزیع نیرو بلاخص سازه مخازن نیروگاه‌های حرارتی شامل مخازن زمینی و هوایی آب و سوخت اشاره کرد. به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری سازه‌های مخازن نیروگاهی بخش تولید برق، استفاده از بتن خودترمیم‌شونده می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب در نظر گرفته شود.</p> <p>در این پروژه، کارایی بتن خود ترمیم‌شونده برای استفاده در مخازن صنعت برق با طی مراحل زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• شناسایی و معرفی انواع بتن‌های خود ترمیم‌شونده و گردآوری ادبیات فنی و سوابق موضوعی و بررسی وضعیت مخازن بتنی صنعت برق کشور</li> <li>• بررسی و امکان‌سنجی تولید انواع بتن‌های خودترمیم‌شونده و انتخاب مناسبترین سیستم با توجه به شرایط اقلیمی کشور</li> <li>• امکان‌سنجی فنی بکارگیری بتن‌های خود ترمیم شونده با ساخت، آزمون و بررسی نمونه‌های آزمایشگاهی</li> <li>• امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از بتن خود ترمیم‌شونده پیشنهادی به منظور بکارگیری در سازه‌های مخازن بخش تولید صنعت برق</li> </ul>	

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

کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی	نوع پروژه: آینده پژوهی
همکاران پروژه: محمدعلی جعفری، مریم ثنائی	مدیر پروژه: سلمان رضازاده
درصد پیشرفت پروژه: ۸۵٪	مجری پروژه: علیرضا رهنورد
تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۸/۱	تاریخ شروع پروژه: ۹۹/۰۴/۰۱

تعداد مراحل پایان یافته: ۲ مرحله

اهداف و نتایج به دست آمده یا محتمل از پروژه:

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

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

## انتشارات علمی، پروژه‌ها و سایر فعالیت‌های اعضای گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

پروژه های پایان یافته			
عنوان پروژه	مدیر پروژه	مجری پروژه	کارفرما
تدوین دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه های شبکه انتقال و فوق توزیع	امیر اکبری گرکانی	علیرضا رهنورد	پژوهشگاه نیرو
امکان سنجی ساخت و توسعه مسکن اجتماعی با تاکید بر بهره وری انرژی	ماتilde ذاکر صالحی	علیرضا رهنورد	پژوهشگاه نیرو
بازنگری سند راهبردی و نقشه راه پایش سلامت سازه های صنعت برق، روش های پيش بينی بروز اشکالات و ارائه راه کارهای کاهش آن ها	محمدعلی جعفری صحنه سرایی	علیرضا رهنورد	پژوهشگاه نیرو
بکارگیری فن آوری های نوین آزمایشگاهی در ارزیابی سازه های صنعت برق	آرش یگانه فلاح	علیرضا رهنورد	پژوهشگاه نیرو

تعریف پروژه های تهیه شده (طرح در شورای پژوهش- فناوری/ارسال به شرکت برق منطقه ای و توزیع)			
عنوان پروژه	پیشنهاد دهندگان	معاونت	نتیجه
تدوین دانش فنی افزایش ظرفیت خطوط موجود با استفاده از افزایش سطح ولتاژ و ارائه راهکارهای مقاومسازی دکل ها	محمد علی جعفری، علی ذکاوتی، علیرضا رهنورد، هادی نوروزی	انتقال	در حال بررسی
اولویت بندی نیروگاه های برق حرارتی برای بهسازی در برابر زلزله با استفاده از ارزیابی ریسک لرزه ای	محمد علی جعفری، علیرضا رهنورد، ماتilde ذاکر صالحی	پژوهشی	در حال بررسی
آزمون ایده میزان تاثیر توامان بهینه سازی سازه ای و استفاده از شمع های انرژی در افزایش بازدهی سیستم های خنک کننده هوایی (ACC) نیروگاه های سیکل بخار و واحدهای بخار سیکل ترکیبی کشور	امیر اکبری گرکانی، علیرضا رهنورد	پژوهشی	در حال بررسی
شناسایی و اولویت بندی نیروگاه های برق حرارتی دولتی در معرض خطر فرونشست زمین و ارزیابی وضعیت آسیب پذیری سازه ها در یک نیروگاه با بالاترین اولویت	امیر اکبری گرکانی، علیرضا رهنورد، محمدعلی جعفری صحنه سرایی	تولید	در حال بررسی
بهره گیری از تکنولوژی و روشهای پی بندی (Underpinning) به منظور افزایش ایمنی فونداسیون دکل های انتقال نیرو در برابر مخاطرات زمینی	امیر اکبری گرکانی، علیرضا رهنورد	انتقال	در حال بررسی
کنترل خطرات وارد بر پی توربین های واحدهای تولید نیرو (ناشی از ارتعاشات در حین عملکرد) با استفاده از روشهای بهسازی ژئوتکنیکی	امیر اکبری گرکانی، علیرضا رهنورد	تولید	در حال بررسی
بررسی فنی و اقتصادی روش های نوین در اجرای فونداسیون خطوط انتقال در استان گیلان با استفاده از شمع های تثبیتی (روش اختلاط عمیق) و اجرای سه نمونه پایلوت	امیر اکبری گرکانی، علیرضا رهنورد	برق منطقه ای گیلان	در حال بررسی
ارزیابی ریسک HSE با روش JHA (Job Hazard Analysis) و تدوین و پیاده سازی روش های اجرایی کار ایمن (SOP) در آزمایشگاه سازه های انتقال نیرو پژوهشگاه نیرو	علیرضا رهنورد، مرتضی ممیزی، علی اصغر ذکاوتی، آرش یگانه فلاح	پژوهشی	در حال بررسی

داوری های انجام شده		
ارجاع شده	داور	عنوان
معاونت پژوهشی	علی اصغر ذکاوتی مائده ذاکر صالحی	بررسی گزارش شش ماهه اول طرح استاد آقای دکتر حمیدرضا توکلی / دانشگاه نوشیروانی بابل
معاونت پژوهشی	امیر اکبری گرکانی مائده ذاکر صالحی	بررسی گزارش شش ماهه اول طرح استاد آقای دکتر علی نورزاد / دانشگاه شهید بهشتی
معاونت پژوهشی	امیر اکبری گرکانی مائده ذاکر صالحی	بررسی گزارش سال اول طرح استاد آقای دکتر سید محسن حائری / دانشگاه صنعتی شریف
نیروگاه تولید برق لوشان	امیر اکبری گرکانی	ریشه یابی علل ارتعاش فونداسیون توربین بخار واحد ۲ نیروگاه شهید بهشتی لوشان و ارائه راه حل جهت کاهش آن
پژوهشکده تولید	امیر اکبری گرکانی	ریشه یابی علل ارتعاش فونداسیون توربین نیروگاه بندرعباس
پژوهشکده استاندارد ایران	امیر اکبری گرکانی	پیش نویس اولین استاندارد انجام عملیات خاکی ایران
معاونت پژوهشی	آرش یگانه فلاح	بررسی گزارش شش ماهه اول آقای دکتر مجتبی محصولی با عنوان ارزیابی و ارتقای بهینه تاب‌آوری زیر ساخت برق / دانشگاه صنعتی شریف
شرکت برق منطقه ای باختر - پژوهشکده انتقال	آرش یگانه فلاح	انجام مطالعات امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم‌های کنترلی غیرفعال فلزی تسلیمی در بهسازی لرزه‌ای پست‌های برق
شرکت برق منطقه‌ای تهران - پژوهشکده انتقال	آرش یگانه فلاح	مقاوم سازی ترانسفورماتورهای قدرت در برابر زلزله

## انتشارات علمی، پروژه‌ها و سایر فعالیت‌های اعضای گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

همکاری اعضای گروه سازه‌های صنعت برق در سایر پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو			
اعضای گروه	عنوان پروژه/طرح	واحد مجری/کارفرما	سمت در پروژه
محمد علی جعفری صحنه سرایی	ارزیابی تحلیلی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ترانس‌های جریان و ولتاژ پست‌های انتقال و ارائه راهکارهای مقاوم‌سازی و بهبود رفتار لرزه‌ای آنها-فاز اول: طراحی تفصیلی و تهیه اسناد فنی	طرح/ پژوهشکده انتقال	مدیر پروژه
علیرضا رهنورد	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال	طرح/ پژوهشکده انتقال	مدیر طرح
	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌های تولید	طرح/ پژوهشکده تولید	مدیر طرح
مائه ذاکر صالحی	ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه‌های نیروگاه رامین اهواز و ارائه راهکارهای بهسازی آنها	شرکت مادر تخصصی برق حرارتی	مدیر پروژه
آرش یگانه فلاح	تدوین دانش فنی ارزیابی عمر باقیمانده دکل‌های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال	نماینده مدیر طرح
امیر اکبری گرکانی	جلوگیری از خسارات ناشی از فرونشست زمین در سازه‌های خطوط و پستهای انتقال و فوق توزیع	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال	نماینده مدیر طرح
علی اصغر ذکاوتی	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاوم‌سازی سازه‌های انتقال	طرح/ پژوهشکده انتقال	همکار



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

## همکاری اساتید دانشگاه‌ها با گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

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

**جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در زمستان ۱۴۰۰ و بهار ۱۴۰۱**

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۰/۱۰/۰۵	جلسه شورای پژوهشی پژوهشگاه نیرو	مدیران گروه‌های پژوهشی	سالن حافظ
۱۴۰۰/۱۰/۰۶	جلسه تعریف پروژه نیروگاه	خانم دکتر ذاکر صالحی، دکتر جعفری، مهندس ذکاوتی	دفتر گروه
۱۴۰۰/۱۰/۰۸	نشست با اعضای هیئت رئیسه	ریاست و کارکنان مجموعه	سالن خلیج فارس
۱۴۰۰/۱۰/۱۱	جلسه بررسی گزارش پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	آقایان دکتر صادقی و همراه، جعفری، اکبری، مهندس ذکاوتی، رهنورد	سالن ط ۲ چمران
۱۴۰۰/۱۰/۱۵	جلسه بررسی طرح استاد دکتر نورزاد	خانم دکتر ذاکر صالحی، دکتر اکبری، مهندس ذکاوتی	دفتر گروه
۱۴۰۰/۱۰/۲۰	جلسه بررسی فایلهای اصلاحی	دکتر جعفری، مهندس ذکاوتی و محمودی	دفتر گروه
۱۴۰۰/۱۰/۲۱	جلسه آموزشی مقابله با تخلیه تلفنی	همه کارکنان پژوهشگاه نیرو	سالن خلیج فارس و سالن فردوسی
۱۴۰۰/۱۰/۲۲	بررسی گزارش پیشرفت پروژه ارزیابی عمر باقیمانده دکل‌های انتقال نیرو ۴۰۰ و ۲۳۰ ک‌و	آقایان دکتر تقی‌خانی، یگانه، مهندس رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۰/۲۵	بررسی پروژه تخمین عمر دکل‌های انتقال نیرو	دکتر اسدی، یگانه، مهندس رهنورد و خانم نظری	مجازی
۱۴۰۰/۱۰/۲۵	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	دکتر صادقی، اکبری، مهندس حسنی، رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۰/۲۷	جلسه بررسی وضعیت پروژه دکل بتنی	دکتر احمدی، جعفری، مهندس رهنورد و ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۰/۲۹	جلسه بررسی گزارش پیشرفت پروژه اثرات فرونشست پایش سلامت	دکتر اسدی، اکبری، مهندس رهنورد و خانم نظری	مجازی
۱۴۰۰/۱۰/۲۹	شورای پژوهش فناوری پژوهشگاه تولید نیرو	آسایش، ژام، قدیمی، توکلی، قدیری، تشیعی، جعفری، ذکاوتی، ذاکر صالحی	سالن حافظ
۱۴۰۰/۱۱/۱۱	کمیته راهبری و کمیسیون فنی پروژه‌های طرح پایش حوزه انتقال	دکتر احمدی، دامغانیان، علیپور، م حسنی، رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۱/۱۲	کمیسیون فنی مرحله ۲ و ۱ پروژه مانیتورینگ شمع انرژی	دکتر قاسمی‌فر، حسنی مرزونی، اکبری، مهندس رهنورد، ذکاوتی، خ موسوی	مجازی

## جلسات و نشست های تخصصی

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه دهنده	مکان
۱۴۰۰/۱۱/۱۸	جلسه بازگشایی پاکات مناقصه دکل کامپوزیت	مهندس رهنورد، نمایندگان حقوقی و مالی	سالن کنفرانس ط ۱ عباسپور
۱۴۰۰/۱۱/۲۳	جلسه با پارس ساختار(طراحی دکل بتنی)	دکتر جعفری، ذکاوتی، محمدزاده	مجازی
۱۴۰۰/۱۱/۲۳	گزارش پیشرفت پروژه دکل بتنی	دکتر احمدی، جعفری، مهندس رهنورد و ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۱/۲۴	کمیسیون فنی نهایی مسکن اجتماعی	دکتر تسنیمی، ذاکر صالحی، حسنی مرزونی، مهندس رهنورد، ذکاوتی، موسوی	مجازی
۱۴۰۰/۱۱/۲۵	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	دکتر صادقی، اکبری، مهندس حسنی، رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۴	کمیسیون فنی مرحله ۵ طراحی معماری سامانه پایش سلامت سازه های نیروگاهی	دکتر دشتی، کرمی، نکویی، جعفری، مهندس تشیعی، آسایش، رهنورد، رضازاده، خانم کاظمی	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۴	بررسی پروژه تخمین عمر دکل های انتقال نیرو	دکتر احمدی، تقی خانی، یگانه، رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۵	جلسه توانیر	دکتر علیپور، خانم سلیمان، مهندس فرضعلی زاده، سامان کندی، رهنورد	توانیر
۱۴۰۰/۱۲/۱۵	جلسه بررسی گزارش نهایی نیروگاه رامین	دکتر ذاکر صالحی، جعفری، نمایندگان مرکز تحقیقات	پژوهشگاه
۱۴۰۰/۱۲/۱۶	بازگشایی پاکات ترک تشریفات مناقصه ارائه خدمات آزمون آزمایشگاه سازه سال ۱۴۰۱	دکتر پیرمراد، رهنورد، میراسدی، شمسی، سلوک، تکبیری	سالن کنفرانس ط ۲ شهید عباسپور
۱۴۰۰/۱۲/۱۷	جلسه پیشنهاد پروژه پست تاک	دکتر صادقیان، جعفری، رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۷	جلسه با برق گیلان	دکتر اکبری، مهندس رهنورد	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۷	جلسه داخلی تعرفه آزمون دکل	دکتر یگانه، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۷	جلسه تعرفه آزمون دکل	دکتر احمدی، یگانه، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۱۸	بازگشایی پاکات ترک تشریفات مناقصه افزایش تاب آوری شبکه انتقال نیرو با استفاده از دکل موقت	دکتر پیرمراد، رهنورد، میراسدی، شمسی، سلوک، تکبیری	سالن کنفرانس ط ۲ شهید عباسپور
۱۴۰۰/۱۲/۲۴	گزارش پیشرفت پروژه دکل بتنی	دکتر احمدی، جعفری، مهندس رهنورد و ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۰/۱۲/۲۴	جلسه گروه (نشست آخر سال)	اعضای گروه	دفتر گروه

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۰/۱۲/۲۵	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	دکتر صادقی، اکبری، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۱/۱۷	طرح پژوهشی فرونشست دکل‌های انتقال ورامین و اشتهاورد	داریان (برق تهران)، دکتر ذاکر صالحی، اکبری، مهندس رهنورد	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۱/۲۰	تعریف پروژه ریسک نیروگاهها	دکتر ذاکر صالحی، جعفری، رهنورد	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۱/۲۲	بررسی پروژه‌های گروه با نماینده کنترل کیفی	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۱/۲۲	تعریف پروژه افزایش ظرفیت خطوط	دکتر جعفری، رهنورد، ذکاوتی	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۱/۲۳	پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، مهندس رهنورد، حسنی، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۱/۲۴	جلسه تست دکل گام	مهندس سهرابیان، رهنورد	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۱/۲۷	تنظیم مفاد قراردادهای تست دکل	دکتر مهدیزاده، رهنورد، خ راشدی	دفتر امور حقوقی
۱۴۰۱/۰۱/۲۸	درخصوص اهمیت پستهای انتقال	دکتر شیخی، جعفری	ط ۲ س فناوری
۱۴۰۱/۰۱/۲۹	جلسه AAR پروژه بکارگیری فناوریهای نوین آزمایشگاهی	خ ضیائی، رهنورد، یگانه	مجازی
۱۴۰۱/۰۱/۲۹	جلسه گروه	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۲/۰۴	بررسی ارزیابی تخمین عمر دکل‌های انتقال نیرو	دکتر احمدی، تقی خانی، یگانه، رهنورد	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۰۵	شورای سیاست‌گذاری آزمایشگاهها- بازبینی روش ارزیابی عملکرد مالی از سازه	آقایان سامان کندی، فرهادی، گودرزی، رضاخانی، رهنورد و خانم سیدفرشی	سالن کنفرانس ط ۲ عباسپور
۱۴۰۱/۰۲/۰۷	کمیسیون فنی مرحله ۱ و ۲ ترکیبات بارگذاری	نریمانیان، جعفری، رهنورد، رضازاده، خانم موسوی	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۱۱	کمیسیون تصویب پروژه ریسک لرزه‌ای نیروگاه ها	آسایش، سیدفرشی، ناصراسدی، پیری-زاده، بابک امینی، تشیعی، ذاکر صالحی، جعفری، رهنورد	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۲۱	جلسه AAR پروژه مسکن اجتماعی	خ ضیائی، ذاکر صالحی، رهنورد	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۲۱	جلسه گروه	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۲/۲۴	جلسه با متن آرا-سقف قرارداد دکل	آقایان ریسمانچیان، یگانه، رهنورد	دفتر گروه



## جلسات و نشست های تخصصی

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه دهنده	مکان
۱۴۰۱/۰۲/۲۵	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	دکتر صادقی، اکبری، رهنورد، ذکاوتی، حسنی	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۲۶	برگزاری کارگاه حراست	اعضای هیئت علمی و کارشناسان پژوهشی	سالن خلیج فارس
۱۴۰۱/۰۲/۲۶	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست	دکتر صادقی، اکبری، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۲/۲۸	تدوین دستورالعمل ملی بارهای طراحی سازه های غیرساختمانی	توانیر (گلاب کش)، قدس نیرو، نمایندگان برق منطقه ایهای کرمان، گیلان، هرمزگان، مهندس ذکاوتی، رضازاده، دکتر جعفری	ویدئوکنفرانس
۱۴۰۱/۰۳/۰۱	جلسه شورای پژوهشی	اعضای شورا	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۱۰	جلسه شورای پژوهشی	اعضای شورا	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۱۱	جلسه با توانیر درخصوص پروژه ۳۵۳۰۰۵	آقایان رهنورد، جعفری، خان احمدلو	توانیر
۱۴۰۱/۰۳/۱۶	پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، دولتشاهی، اکبری، جعفری، مهندس رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۲۱	جلسه ارائه گزارش مناقصات دکل موقت و کامپوزیت	مهندس فرضعلی زاده، رهنورد، جعفری، رضازاده	توانیر (علیرضاپور)
۱۴۰۱/۰۳/۲۳	بررسی مرحله ۳ پروژه تخمین عمر دکل های انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	دکتر ترقی خانی، یگانه، جعفری، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۲۴	جلسه پروژه ایمن سازی آزمایشگاه سازه	ممیزی، یگانه، ذکاوتی	دفتر دکتر یگانه
۱۴۰۱/۰۳/۲۵	جلسه درخصوص تفاهم نامه نیروگاه خورشیدی اراک	ذکاوتی، خلیج	
۱۴۰۱/۰۳/۲۵	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری، حسنی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۲۵	بررسی مشکلات طرحها	دکتر احسانیان، روسای پژوهشکده ها، مدیران طرحها، دکتر جعفری	سالن جلسات ریاست
۱۴۰۱/۰۳/۲۹	جلسه معاونت پژوهشی	مدیران گروهها	سالن دکتر رنجبر
۱۴۰۱/۰۳/۲۹	جلسه کمیسیون فنی مرحله چهارم پروژه اثرات فرونشست سازه های انتقال (امانی گروه)	آقایان دکتر حائری، اکبری، مهندس رهنورد و خانم موسوی	مجازی
۱۴۰۱/۰۳/۳۰	جلسه گروه	اعضای گروه	دفتر گروه