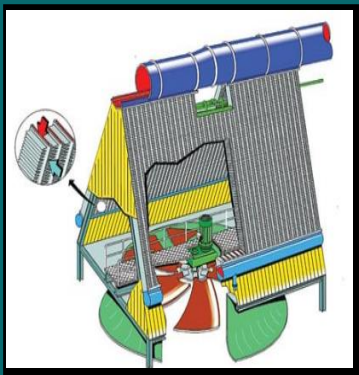
برونداد تخصصی گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

سال ششم، شماره ۱۳، تابستان و پاییز ۱۴۰۱

پژوهشگاه نیرو- گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق



ایده‌های مفهومی از موارد استفاده آب خنک شده توسط سیستم شمع های انرژی در خنک کاری کندانسورهای هوا خنک در نیروگاه های برق حرارتی - امیر اکبری گرکانی

ارزیابی ریسک در سازه ها و زیرساخت های حیاتی- علی اصغر دیکاوتی

فعالیت های آزمایشگاه سازه های انتقال نیرو در تابستان و پاییز ۱۴۰۱- آرش یگانه فلاح ، علیرضا رهنورد

انتشارات علمی، پروژه ها و فعالیت ها

به نام پروردگار یکتا

گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

➢ **صاحب امتیاز:** پژوهشگاه نیرو

مدیر مسئول: علیرضا رهنورد

سردبیر و مدیر اجرایی: سلمان رضازاده

ویراستار: علیرضا رهنورد، سلمان رضازاده

گرافیست و صفحه‌آرا: رفعت امینی

عکس روی جلد: سلمان رضازاده

➢ **همکاران این شماره:**

علیرضا رهنورد، رفعت امینی، محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، آرش یگانه فلاح، مائده ذاکرصالحی، علی‌اصغر ذکاوتی، سلمان رضازاده و امیر اکبری گرکانی

➢ **ناشر:** پژوهشگاه نیرو

نشانی الکترونیکی: estdept@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سازه‌های صنعت برق

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۴۶-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۳۶۱۶۰۳-۰۲۱

➢ **اعضای هیات‌تحریریه:**

محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، مائده ذاکرصالحی، سلمان رضازاده، علی‌اصغر ذکاوتی، علیرضا رهنورد، آرش یگانه فلاح و امیر اکبری-گرکانی

➢ **اعضای هیات‌داوران:**

علیرضا رهنورد، محمدعلی جعفری صحنه‌سرائی، آرش یگانه فلاح، مائده ذاکرصالحی، علی‌اصغر ذکاوتی، سلمان رضازاده و امیر اکبری گرکانی

➢ **اهداف و رویکرد:**

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

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن 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

سخن سردبیر / سلمان رضازاده ۱

مقالات و مطالب پژوهشی ۲

ایده‌های مفهومی از موارد استفاده آب خنک شده توسط سیستم شمع‌های انرژی ۳

ارزیابی ریسک در سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی ۱۴

انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های بین المللی و ملی ۴۰

پروژه‌ها و فعالیت‌های گروه سازه‌های صنعت برق ۴۴

پروژه های در دست تعریف و تصویب شده گروه پژوهشی سازه های صنعت برق ۵۲

فعالیت‌های آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در تابستان و پاییز ۱۴۰۱ ۵۴

جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در تابستان و پاییز ۱۴۰۱ ۶۶

سخن سردبیر

پیشرفت روزافزون دانش صنعت برق، ضرورت ارائه نتایج حاصل از پژوهش ها و تحقیقات را برای استفاده محققان و علاقه مندان ایجاب کرده است. در این راستا، برون دادهای علمی و پژوهشی، نقش کلیدی و اساسی در فرایند ثبت، نشر و ارتقای سطح این پژوهش ها و نیز ایجاد بستر مناسب برای توسعه ارتباط میان پژوهشگران دارند. در این راستا با عنایت خداوند و همت و همکاری اعضاء گروه پژوهشی سازه های صنعت برق، نسخه ی دیگری از برونداد های تخصصی این گروه تدوین و نگارش شده است.

در شماره ۱۳ این نشریه، بخشی از برون دادهای فعالیت های پژوهشی اعضای گروه پژوهشی سازه های صنعت برق و رخدادهای مرتبط در بازه ی زمانی تابستان و پاییز سال ۱۴۰۱ ارائه شده است. این موارد شامل ۲ گزارش پژوهشی حاصل پروژه های در حال انجام یا خاتمه یافته، گزارشی از فعالیتهای آزمایشگاه مرجع سازه های صنعت برق اراک، وضعیت پروژه های جاری، در دست تعریف یا تصویب گروه سازه، انتشارات علمی اعضاء گروه سازه و نیز خلاصه ای از همکاری اساتید دانشگاه ها در طرح های بهتام و همچنین جلسات تخصصی برگزار شده در گروه سازه می باشد.

سلطان رضازاده

کارشناس پژوهشی گروه سازه های صنعت برق

مقالات و مطالب پژوهشی

گزارش پژوهشی

ایده‌های مفهومی از موارد استفاده آب خنک شده توسط سیستم شمع‌های انرژی در خنک-کاری کندانسورهای هواخنک *(ACC)* در نیروگاه‌های برق حرارتی

امیر اکبری گرکانی[1]، علی نصرتی، سهیل صاحب

چکیده:

از چالشهای پیش رو در مدیریت نیروگاه‌های برق حرارتی می‌توان به کاهش راندمان سیستم های خنک کننده آنها در شرایط مختلف کاری، به ویژه در فصل تابستان، اشاره نمود. برای حل این معضل باید بخش‌های دخیل مانند کندانسور هواخنک، هوای ورودی به کمپرسور و سیستم خنک‌کاری روغن را مورد بررسی قرار داد و راه‌حل مناسب به منظور استفاده از راهکارهای کمکی را ارائه نمود. یکی از راه‌های موجود استفاده از آب خنک‌شده در چرخه شمع‌های انرژی جهت خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور، یاری کندانسور هواخنک در تقطیر بخار خروجی از توربین و یا سیستم خنک‌کاری روغن است. در این گزارش به ایده‌های مفهومی از موارد استفاده آب خنک شده توسط سیستم شمع‌های انرژی در خنک-کاری کندانسورهای هواخنک (***ACC***) در نیروگاه‌های برق حرارتی پرداخته میشود.

کلیدواژه: کندانسور هواخنک، شمع انرژی، افزایش راندمان خنک کاری

مقدمه

یکی از دغدغه‌های فنی در بهبود عملکرد کندانسورهای هواخنک، افزایش راندمان خنک‌کنندگی آن‌ها به‌ویژه در فصل تابستان است. در واقع، اگر بتوان از سیستمی کمکی برای این کندانسورها جهت فرایند خنک‌سازی بهره برد، امکان افزایش بازدهی فن‌ها و کاهش توان مصرفی کندانسورهای هواخنک وجود دارد و همچنین از افت توان نیروگاه می‌توان جلوگیری کرد. از راهکارهای موجود می‌توان استفاده از شمع‌های انرژی را

[1] استادیار پژوهشی گروه سازه های صنعت برق پژوهشگاه نیرو، aakbari@nri.ac.ir

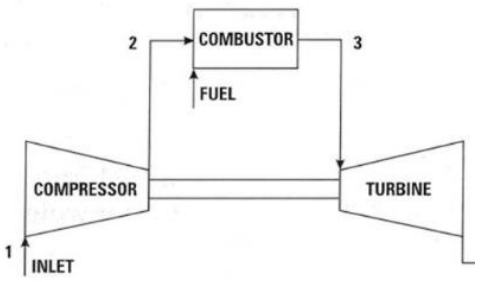
برشمارد. شمع‌های انرژی، المان‌های سازه‌ای از نوع فونداسیون‌های عمیق و مدفون در خاک تا عمق حداکثر ۳۰ متر هستند که زیر فونداسیون سازه‌ها بنا می‌شوند. شمع‌های انرژی عملکرد دوگانه‌ای دارند؛ آنها از یک سو باربری سازه را تأمین می‌کنند، و از سوی دیگر، به‌واسطه تجهیز آن‌ها به لوله‌های تأسیساتی، امکان گردش آب و جذب انرژی زمین گرمایی سطحی را به منظور فرایندهای سرمایش یا گرمایش فراهم می‌آورند[۱-۴].

شرح مسأله

از مشکلات نیروگاه‌های ترکیبی تغییر در جهت کاهش راندمان آن‌ها بوده که از موارد مختلفی از جمله گرمای هوای دریافتی کپرسور در سیکل اولیه برایتون و یا عدم خنک‌کاری مناسب کندانسورهای هواخنک در سیکل ثانویه رانکین نشأت می‌گیرد [۵]. یکی از راه‌های بهبود عملکرد نیروگاه استفاده از آب سرد حاصل از شمع انرژی در بخش‌ها و مراحل مختلف چرخه نیروگاهی است. در ذیل به راه‌های یاری‌کننده آب خنک شده حاصل از عملکرد شمع انرژی در بخش‌های مختلف اشاره میشود [۶].

۱. خنک‌کاری هوای ورودی به کمپرسور در سیکل برایتون نیروگاه

سیکل برایتون، سیکل بازی بوده که در آن بواسطه عملکرد یک کمپرسور، فشار و دمای هوا افزایش میابد و سپس، احتراق این هوا به کمک سوخت در محفظه احتراق یک توربین گاز به تولید توان می‌انجامد [۷]. روند شماتیک این سیکل در شکل ۱ نشان داده شده است.

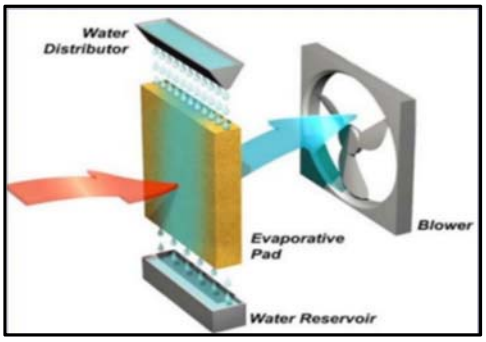


شکل ۱: شماتیک عملکرد یک سیکل برایتون

در سیکل برایتون، هوای ورودی به کمپرسور، به خصوص در فصل تابستان، گرم است و این مورد توان مصرفی کمپرسور را با افزایش مواجه می‌کند. لذا، برای بهبود عملکرد کمپرسور باید هوای ورودی به آن سرد شود. در این راستا، سه روش پیشنهاد می‌گردد.

الف) سرمایش تبخیری

مطابق شکل ۲، در روش سرمایش تبخیری که همانند کولر آبی عمل می‌کند، با خیس نمودن پوشال یا پدهای سلولزی و عبور جریان هوا بر آن سرمایش ایجاد می‌گردد. علاوه بر سرمایش، با تبخیر آب روی پوشال به چگالی هوا نیز افزوده خواهد شد. آب مورد استفاده در روش فوق باید تصفیه شده باشد و از لحاظ آلاینده‌های نمکی و یونی که امکان ایجاد رسوب دارند، شرایط کنترل شده و استانداردی داشته باشد [۸]. علاوه بر ایجاد رسوب بر پوشال، ممکن است بخار آب این یون‌ها را با خود به داخل کمپرسور حمل کند و روی پره‌ها رسوب کند که خرابی پره‌ها را به دنبال دارد.



شکل ۲: سرمایش تبخیری هوای ورودی به کمپرسور

ب) سرمایش با استفاده از نازل‌های مه‌پاش [۲]

در سیستم مه‌پاشی، مطابق شکل ۳، پاشش مستقیم آب به هوا با نازل‌های خاص، موجبات خنک‌سازی هوا را فراهم می‌آورد. هر دو روش سرمایش تبخیری و استفاده از نازل‌های مه‌پاش، از نوع تماس مستقیم بوده که

[2] Fog

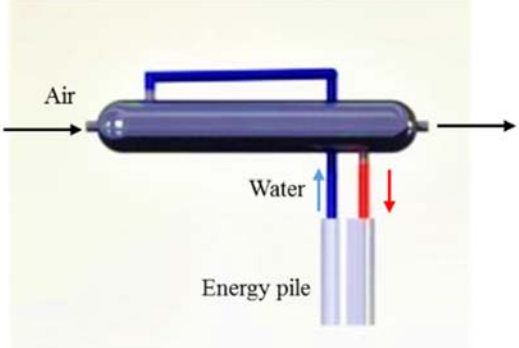
علاوه بر مزایایی مانند کاهش توان مصرفی کمپرسور و افزایش کار خالص توربین با افزایش چگالی و دبی جرمی در اثر اختلاط هوا و بخار آب، محدودیت‌هایی همچون عدم دسترسی به نازل‌های خاص در روش مه‌پاش، امکان ایجاد رسوب بر کمپرسور و صدمه به آن و مصرف بالا آب را شامل می‌شوند.

شکل ۳: نازل‌های مه پاش

ج) سرمایش هوا به کمک مبدل حرارتی و تماس غیر مستقیم

در این روش، مطابق شکل ۴، هوا هنگام عبور از روی لوله‌های حاوی آب سرد شده در سیکل شمع انرژی، در مبدلی مانند مبدل پوسته و لوله، خنک شده و پس از آن وارد کمپرسور می‌شود. این مورد همانند سردکننده میانی [3]عمل می‌کند؛ با این تفاوت که خنک کاری هوا در این روش در ابتدای ورودی مسیر هوا به کمپرسور قرار انجام میشود. در این روش، با توجه به بسته بودن سیکل آب خنک‌کننده، مصرف آب وجود ندارد ولی به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه ناچیز هوا، انتقال حرارت به سختی صورت می‌گیرد. همچنین با عدم تبادل جرم، تغییری در کار توربین رخ نمی‌دهد.

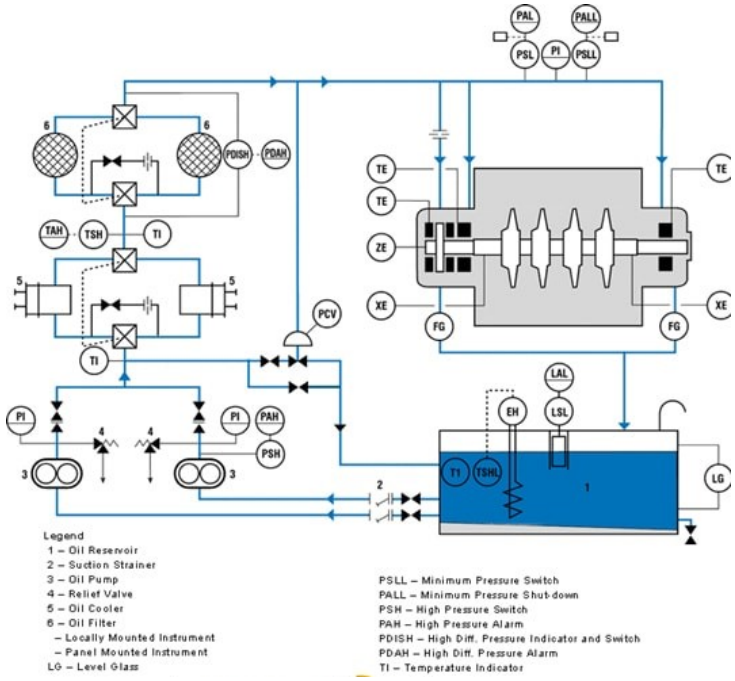
[3] Intercooler



شکل ۴: سرمایش هوا به روش غیرمستقیم

۲. خنک‌کاری روغن

یاتاقان یا بیرینگ‌هایی محوری و شعاعی اطراف توربین و کمپرسور در مقابل نیروها در جهت شعاعی و محوری مقاومت کنند. در این یاتاقان‌ها یک لایه‌ی نازک روغن به کار گرفته میشود، و شفت اصلی، در بستر این لایه روغن که مانند یک بالش عمل می‌کند، می‌چرخد. این روغن وظیفه خنک‌کاری، روانکاری جهت چرخش راحت شفت و خارج کردن آلودگی‌ها از یاتاقان را به عهده دارد. اگر روغن داغ شود، ویسکوزیته آن کاهش پیدا می‌کند و باعث برخورد شفت به بدنه یاتاقان، و به عبارتی برخورد فلز به فلز می‌شود و صدمات سختی را به سیستم وارد میکند. بنابراین، روغن خود نیاز به خنک‌کاری دارد تا بتوان ویسکوزیته آن را حفظ کرد و از کاهش کارایی آن جلوگیری نمود. در شکل ۵، یک سیکل روغن‌کاری نشان داده شده که برای خنک‌کاری از مبدل‌های صفحه‌ای استفاده گردیده که در آن برای خنک‌سازی، دبی سیال خنک‌کننده محدود و تحت کنترل است. برای این منظور می‌توان در مبدل صفحه‌ای از آب سرد حاصل از عملکرد شمع انرژی، به جای هوا جهت خنک نمودن روغن بهره برد. شکل ۶ نمونه‌ای از مبدل صفحه‌ای را نشان میدهد.



شکل ۵: سیکل روغن‌کاری یک کمپرسور

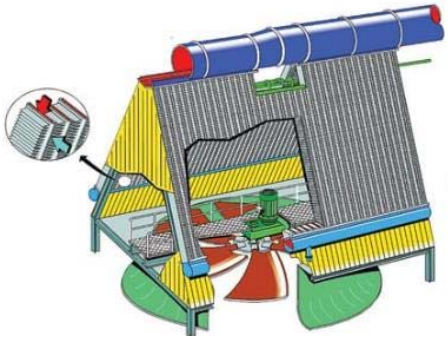
شکل ۶: مبدل صفحه‌ای

۳. استفاده ترکیبی شمع انرژی با کندانسورهای هوا خنک [۴]

امروزه در نیروگاه‌های حرارتی، به دلیل کمبود منابع آب، برای خنک‌سازی بخار خروجی از توربین بخار و تبدیل آن از فاز گاز به مایع، عمدتا از کندانسورهای خشک هوا خنک استفاده می‌گردد (شکل ۷). در این کندانسورها که در دو نوع V شکل و A شکل وجود دارند، فن‌های مکنده یا دمنده هوا برای خنک کردن بخار و

[4] Air Cooler Condenser (ACC)

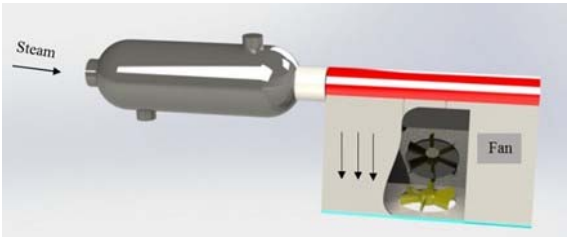
تقطیر آن به کار می‌روند. در این کندانسورها، چهار گذر لوله رفت وجود دارد که هشتاد درصد بخار را تقطیر می‌کنند و یک گذر برگشت نیز وجود دارد که به کمک اجکتورها[5]، حدود ۱۸ درصد دیگر بخار را مایع می‌سازد و مابقی بخار از سیستم خارج می‌گردد. به چند روش می‌توان از آب سرد شده در شمع انرژی برای کمک به کندانسورهای هواخنک بهره برد.



شکل ۷: شماتیک کندانسور هواخنک

الف) پیش سرمایش بخار ورودی به کندانسور با بهره گیری از یک مبدل

در این روش، طبق شکل ۸، قبل از ورود بخار به کندانسور هوا خنک، میتوان آن را از مبدل پوسته و لوله در مجاورت آب سرد حاصل از عملکرد شمع انرژی، پیش سرمایش نمود. از مزایای این روش، عدم هدررفت آب و کاهش توان مصرفی فن‌ها بوده و از محدودیت‌های آن نیز می‌توان به کاهش دمای آب میعان شده به زیر دمای اشباع و هزینه قابل توجه خرید و نصب مبدل حرارتی مورد نیاز اشاره نمود.

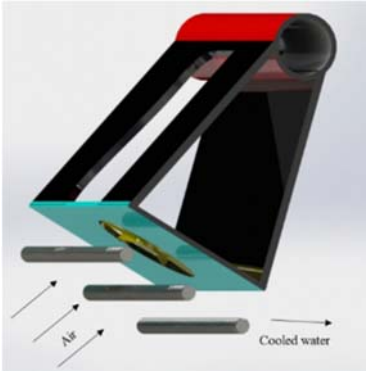


شکل ۸: پیش‌سرمایش بخار به کمک آب سرد حاصل از شمع زمین در مبدل پوسته و لوله

ب) سرمایش هوا قبل از دمیده شدن بر بخار:

[5] Ejector

در این روش، طبق شکل ۹، ابتدا هوای محیط با عبور بر لوله‌های پره‌دار حاوی آب خنک سرد شده و سپس به کمک فن بر بخار دمیده می‌شود. کاهش دبی هوا و توان مصرفی فن‌ها و نرخ مایع‌سازی بیشتر در گذر رفت کندانسور هواخنک از مزایای این روش بوده که ظرفیت گرمایی ویژه پایین هوا در آن بسیار مؤثر است. همچنین از محدودیتهای آن میتوان به دشواری تبادل حرارت با هوا به دلیل ظرفیت گرمایی ویژه پایین و نیاز به فن دمنده قوی‌تر جهت جبران افت فشار اشاره نمود.

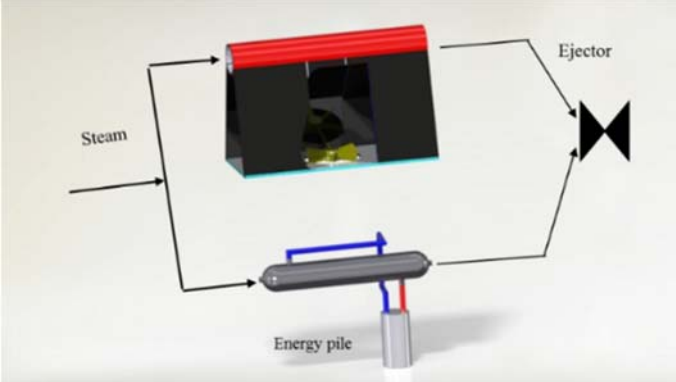


شکل ۹: سرمایش هوا قبل از دمیده شدن بر بخار

ج) استفاده ترکیبی از کندانسور هوا خنک و شمع انرژی

در این روش، طبق شکل ۱۰، آب سرد حاصل از عملکرد شمع انرژی به طور جدا از کندانسور هوایی زمینه تقطیر بخار خروجی از توربین را فراهم می‌آورد. ولی در نهایت، بخار خروجی مبدل پوسته و لوله و گذر برگشت کندانسور هواخنک که دفلگماتور[6] نام دارد، باید از اجکتور جهت تقطیر نهایی عبور کند. کاهش تعداد آرایه‌های کندانسور هوا خنک و عدم هدررفت آب از مزایای این روش، و ایجاد مشکل در برابری شرایط فشار برگشتی یا همان فشار خروجی از توربین برای هر دو کندانسور پوسته و لوله و کندانسور هواخنک و عدم هم‌دمایی آب تقطیری در دو کندانسور از محدودیت‌های این روش است.

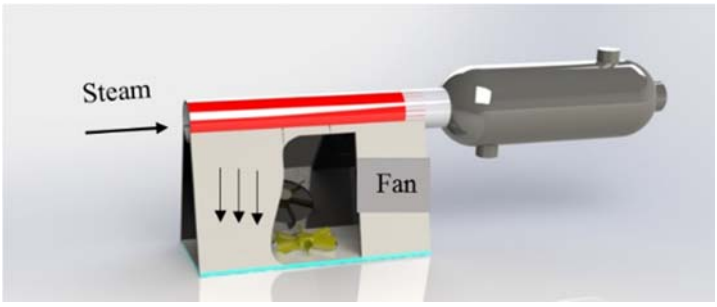
[6] Dephlegmator



شکل ۱۰: ترکیب کندانسور هوایی و مبدل پوسته و لوله با گردش آب سرد شمع انرژی

د) جایگزینی مبدل پوسته و لوله به کمک آب سرد شمع انرژی با گذر برگشت کندانسور هوا خنک

در این روش، طبق شکل ۱۱، با حذف اجکتور و دفلگماتور در انتها، مبدل پوسته و لوله یا صفحه‌ای قرار داده شود و تقطیر به کمک تبادل حرارت با آب سرد صورت گیرد. کاهش تعداد آرایه‌های کندانسور هوا خنک، عدم هدررفت آب و تبدیل درصد بیشتری از بخار ورودی به آب در کندانسور از مزایا، و امکان کاهش دمای مایع تقطیر شده به زیر دمای اشباع از محدودیتهای این روش است.

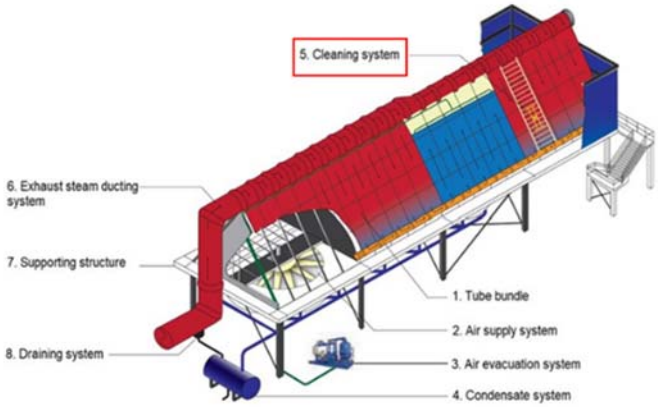


شکل ۱۱: جایگزینی مبدل پوسته و لوله به جای گذر برگشتی در کندانسور هوا خنک

۴. شست و شوی کندانسور هوا خنک

نشستن گرد و خاک برصفحات و لوله‌های کندانسور هوا خنک در انتقال حرارت بین هوا و بخار خروجی توربین اخلال ایجاد می‌کند. با شست و شوی کندانسور هوایی در بازه‌های زمانی مشخص با آب خنک شده از عملکرد

شمع‌های انرژی، میتوان از افت راندمان کندانسورهوایی جلوگیری کرد (شکل ۱۲). این کار باعث حفظ راندمان کندانسور شده، البته به دلیل بسته نبودن سیکل آب خنک مصرفی، هدررفت آب در این روش وجود دارد.



شکل ۱۲: بخش‌های مختلف کندانسور هوایی شامل آب‌پاش‌های شست وشو

نتیجه‌گیری

در این گزارش، روش‌های مختلف بهره‌گیری از آب سرد حاصل از عملکرد شمع‌های انرژی، روش‌های استفاده ترکیبی یا کمکی جهت خنک سازی یا افزایش راندمان خنک‌کنندگی کندانسور هواخنک بررسی شد. ایده-های مطرح شده شامل مواردی میشود که دو نوع سیکل بسته یا باز استفاده از آب خنک در آنها وجود دارد. با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، با بررسی جزئی و تفصیلی موارد یاد شده میتوان امید داشت که با استفاده از شمع‌های انرژی، به عنوان یک سیستم کمکی، بتوان روش مناسبی را جهت استفاده از انرژی پاک، تجدیدپذیر و رایگان زمین گرمایی جهت کمک به عملکرد کندانسورهای هوا هنک در نیروگاه‌های برق حرارتی یافت.

مراجع

[1] Garakani, A. A., Jozani, S.M., Heidari, B. and Tari, P.H., (2022). Effect of Heat- Exchanging Fluid Characteristics and Pipe Configuration on Ultimate Bearing Capacity of Energy Piles. Elsevier, Energy, 248, p.123583, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123583.

[2] Garakani, A. A., Heidari, B., Mokhtari Jozani, S. and Ghasemi-Fare, O., (2022). Numerical and Analytical Study on Axial Ultimate Bearing Capacity of Fixed-Head Energy Piles in Different Soils. ASCE, International Journal of Geomechanics, 22(1): 04021258. https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002223.

[3] Heidari, B., Garakani, A. A., Jozani, S.M. and Tari, P.H., (2022). Energy piles under lateral loading: Analytical and numerical investigations. Elsevier, Renewable Energy, 182: 172-191. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.125.

[4] Garakani, A. A., B. Heidari, and S. M. Jozani. (2020, Feb). Analytical and Numerical Study on the Ultimate Bearing Capacity of Energy Piles in Sandy Soils. In Geo-Congress 2020: Foundations, Soil Improvement, and Erosion (pp. 295-304). Reston, VA: American Society of Civil Engineers, https://doi.org/10.1061/9780784482780.028.

[5] Říhová, Z. and Kočová, M., 2019. Technological Structures for Air Cooled Condensers. European Journal of Engineering and Technology Research, 4(11), pp.93-98, https://doi.org/10.24018/ejeng.2019.4.11.1622.

[۶] اکبری گرکانی، امیر، (۱۴۰۱)، گزارش مرحله اول پروژه آزمون ایده میزان تاثیر توامان بهینه سازی سازه ای و استفاده از شمع‌های انرژی در افزایش بازدهی سیستم‌های خنک کننده هوایی (ACC) نیروگاه‌های سیکل بخار و واحدهای بخار سیکل ترکیبی کشور، پژوهشگاه نیرو، ایران

[7] Sun, Y. and Hong, Y., 2012. Analysis of dynamic performance of air-cooled condenser structure system. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 170, pp. 2675-2680). Trans Tech Publications Ltd, https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.170-173.2675.

[8] Baweja, M. and Bartaria, V.N., 2013. A review on performance analysis of air-cooled condenser under various atmospheric conditions. International Journal of Modern Engineering Research, 3(1), pp.411-414.

گزارش پژوهشی

ارزیابی ریسک در سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی

علی اصغر ذکاوتی[۷]

چکیده: ارزیابی ریسک، فرآیندی است که بوسیله آن می توان تعادل را میان پیشرفت تکنولوژی و به روز شدن روش‌های ایمن انجام کارها، برقرار کرده و از پدید آمدن حوادث با شدت بالا جلوگیری به عمل آورد. در حقیقت از طریق ارزیابی ریسک میزان کارآمدی و اثربخشی روش‌های کنترلی موجود مشخص شده و داده‌های باارزشی برای تصمیم‌گیری در زمینه کاهش ریسک، خطرات، بهسازی سیستم‌های کنترلی و برنامه‌ریزی برای واکنش به آن‌ها فراهم می گردد. در این گزارش به ارزیابی ریسک در سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی پرداخته شده و سپس به مروری بر تحقیات انجام شده بویژه در حوزه صنعت برق پرداخته می شود.

کلیدواژه: ارزیابی ریسک، شبکه برق، تحلیل خطر، زیر ساخت حیاتی

مقدمه

ریسک در تعریف عام، احتمالی است که یک رویداد مشخص منجر به زیان یا آسیب و پیامدهای ناخوشایند و ناخواسته گردد. تقریباً همه کوشش‌های بشری دربردارنده درجاتی از ریسک است، با این همه برخی از آن‌ها ریسک‌های بیشتری را به همراه دارند[۱]. طبق استاندارد ANSI/ASSE Z690.3-2011 [۲]، ارزیابی ریسک بخش مهمی از مدیریت ریسک است که یک فرآیند ساختاری را ارائه می‌دهد که چگونگی تأثیرگذاری در اهداف را مشخص می کند، و خطر را از نظر عواقب و احتمال آنها قبل از تصمیم گیری در مورد نیاز به اقدامات بیشتر، تجزیه و تحلیل می‌کند.

ارزیابی ریسک فرآیندی است با هدف شناخت بیشتر ریسک(خطر)، به تعیین الویت آن‌ها به منظور انجام عملیات بیشتر از قبیل تحلیل کمی ریسک و یا برنامه‌ریزی برای پاسخگویی به آن می‌پردازد. این

[۷] پژوهشگر ، پست الکترونیکی (azekavati@nri.ac.ir)

فرایند برای تخصیص بهینه زمان، بودجه و امکانات بخش مدیریت ریسک در مواجهه بهتر با ریسک‌ها صورت می‌گیرد، زیرا محدودیت ابزارها، امکان مواجهه با تمام ریسک‌ها را به گروه مدیریت ریسک

نمی‌دهد، به همین دلیل ضروری است ریسک‌هایی مورد توجه قرار بگیرند که اهمیت بیشتری برای سازمان یا شرکت دارند [۳]. در این خصوص می توان ارزیابی و مدیریت ریسک را به مراحل زیر تقسیم نمود:

- شناسایی فعالیت ها
- شناسایی خطرات
- محاسبه احتمال و شدت
- تعیین سطح و رتبه ریسک
- پذیرش/ عدم پذیرش
- اقدام برای کاهش ریسک
- بازنگری

از مراحل بالا، مراحل شناسایی خطرات، محاسبه احتمال و شدت، ارزیابی ریسک و تعیین سطح و رتبه ریسک جزء مراحل تحلیل و ارزیابی ریسک است و مراحل پذیرش یا عدم پذیرش، اقدام برای کاهش ریسک جزء فرایند مدیریت ریسک است. ارزیابی ریسک به طور فزاینده‌ای در کاهش حوادث، بهبود ایمنی و بهبود پیامدهای خطر بسیار مهم است و کمک می‌کند تا [۲و۴]:

۱) از ریسک‌ها و خطرات موجود آگاه باشیم.
۲) مشخص می‌کند چه کسانی ویا چه تجهیزی در معرض خطر هستند.
۳) مشخص می‌کند که آیا یک برنامه کنترل برای یک خطر خاص مورد نیاز است یا نه.
۴) تعیین می‌کند که آیا اقدامات کنترل‌کننده موجود کافی است یا باید اقدامات بیشتری انجام شود.
۵) از صدمات و خسارت ویا حتی از بیماری‌ها جلوگیری می‌کند، بخصوص هنگامی که در مرحله طراحی یا برنامه‌ریزی انجام شود.
۶) الویت‌بندی خطرات محتمل و سعی در کاهش پیامد حاصل از آن.

ارزیابی ریسک به دو قسمت تقسیم می‌شود: (۱) ارزیابی ریسک منفرد[8] (۲) ارزیابی ریسک سیستم[9][۵]. ارزیابی ریسک می‌تواند در مقیاس بزرگتری انجام شود، مثل ارزیابی ریسک نیروگاه‌ها، شبکه انتقال برق (که دارای یک سیستم تعاملی پیچیده مکانیکی، الکتریکی، انسانی هستند). سیستم‌ها ممکن است به عنوان خطی و غیرخطی (یا پیچیده‌تر) تعریف شوند، سیستم‌های خطی با تغییر در ورودی، قابل درک و نسبتاً آسان هستند ولی سیستم‌های غیرخطی هنگام تغییر ورودی‌ها غیرقابل پیش-بینی هستند. به همین خاطر، ارزیابی ریسک سیستم‌های غیرخطی/ پیچیده چالش برانگیز است [۱].

در مهندسی، ارزیابی ریسک‌های پیچیده، اگر مربوط به تهدید حیات انسان‌ها، محیط زیست و کاربری و خدمت‌رسانی باشد، اغلب در قالب مهندسی ایمنی و مهندسی قابلیت اعتماد انجام می‌شود. صنایع کشاورزی، هسته‌ای، هوافضا، نفت، راه آهن و صنایع نظامی سابقه طولانی در مقابله با ارزیابی ریسک دارند. هم‌چنین در زمینه‌های پزشکی، بیمارستانی، خدمات اجتماعی و صنایع غذا، ارزیابی ریسک به صورت مستمر انجام می‌شود و خطرات کنترل می‌شوند [۶]. روش‌های ارزیابی ریسک، با توجه به هدف مطلوب از ارزیابی ریسک، ممکن است بین صنایع متفاوت باشد.

دسته‌بندی روش‌های تحلیل ریسک

ارزیابی ریسک یک روش منطقی برای تعیین اندازه کمّی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، تجهیزات و محیط است. در حقیقت از این طریق میزان کارآمدی روش‌های کنترلی موجود مشخص شده و داده‌های باارزشی برای تصمیم‌گیری در زمینه کاهش ریسک، خطرات، بهسازی سیستم‌های کنترلی و برنامه‌ریزی برای واکنش به آن‌ها فراهم می‌شود. ارزیابی ریسک کمّی نیازمند محاسبه دو مؤلفه ریسک یعنی شدت پیامد رخداد و احتمال روی دادن آن رخداد می‌باشد. برای بدست آوردن وزن احتمال یا وزن شدت پیامد سه نوع راهکار وجود دارد [۱].

- روش‌های کمی[10]: نتیجه، در نهایت به یک عدد(در صورتی که مقدار مورد انتظار[11](میانگین) مد نظر باشد) و یا یک توزیع احتمال منتهی می‌شود.
- روش‌های کیفی[12]: نتیجه، حاکی از کیفیت خاصی در زمینه ریسک خواهد بود.

[8] Individual risk assessment
[9] Systems risk assessment
[10] Quantitative
[11] Expected value

- روش‌های نیمه کمی[13] (کمی-کیفی): روشی مابین روش‌های کیفی و کمی می‌باشد.

مفاهیم و تعاریف پایه در فرایند تحلیل ریسک

پارامترهای اصلی ارزیابی ریسک شامل دارایی، آسیب‌پذیری و تهدید یا خطر است. در ادامه هر یک از این پارامترها را براساس منابع مختلف تعریف می‌کنیم.

شکل 1: پارامترهای اصلی تحلیل و ارزیابی ریسک

الف- تهدید یا خطر[14]:

- لغت نامه کمبریج: حادثه یا رویداد خطرناکی که به احتمال زیاد موجب خسارت می شود [۷]
- خطر، هر شیء، وضعیت و یا رفتاری است که می تواند باعث به خطر افتادن سلامتی، یا آسیب به اموال و دارایی ها ویا محیط زیست شود.
- فما ۴۵۲: رویداد یا اتفاقی که پتانسیل اعمال تخریب یا از بین بردن کامل دارایی‌ها را داشته باشد، تهدید محسوب می شود[۸].

ب- آسیب‌پذیری[15]:

- لغت نامه کمبریج:آسیب پذیری، میزان گسترده‌ای از حساسیت در برابر تحمل تلفات و خسارت‌ها است. [۷]
- سازمان وضعیت اضطراری استرالیا: درجه حساسیت و برگشت پذیری جامعه و محیط در برابر خطرات[۹]

[12] Qualitative
[13] Semi-Qualitative
[14] Threat or Hazard
[15] Vulnerability

- فما ۴۵۲: شناسایی هر نقطه ضعفی از دارایی ها که باعث بهره‌گیری مهاجمین برای حساس کردن آن دارایی در برابر ابجاد صدمات می شود[۸]

پ) دارایی[16]:

- منابع با ارزشی که نیاز به حفاظت دارند[۷]
- چیز ارزشمندی که یک نهاد در اختیار دارد یا از آن برای تولید درآمد یا ارائه خدمات به جامعه استفاده می‌کند[۱۰]

مدیریت ریسک

مدیریت خطر یا مدیریت ریسک کاربرد سیستماتیک سیاست‌های مدیریتی، رویه‌ها و فرایندهای مربوط به فعالیت‌های تحلیل، ارزیابی و کنترل ریسک می‌باشد. مدیریت ریسک عبارت از فرایند مستندسازی تصمیمات نهایی اتخاذ شده و شناسایی و به‌کارگیری معیارهایی است که می‌توان از آن‌ها جهت رساندن ریسک تا سطحی قابل قبول استفاده کرد.

شکل ۲: فرایند مدیریت ریسک

مدیریت ریسک یکی از قسمت‌های محوری مدیریت استراتژیک هر سازمان به‌شمار می‌رود. این شیوه شامل فرایندهایی است که از طریق آن سازمان‌ها می‌توانند به صورت روشمند خطرهای مرتبط با فعالیت‌هایشان را شناسایی کنند. یک رویکرد مدیریت خطر موفق باید با سطح خطر در سازمان متناسب و با

[16] Asset

دیگر فعالیت‌های سازمان هم‌راستا باشد. از دیگر ویژگی‌های مدیریت خطر موفق می‌توان به جامعیت گستره کار، گره‌خوردگی با فعالیت روزمره، و پویایی در پاسخگویی به شرایط نام برد [۱۱]

از وجود ریسک، گریزی نیست و با هر پیشرفتی در تکنولوژی، ریسک‌های جدیدی ایجاد می‌شود، بسیاری از ریسک‌های قدیمی همچنان باقی می‌مانند و در نتیجه، موجودی ریسک‌ها (فراوانی تجمعی ریسک‌ها) افزایش پیدا می‌کنند. روش جمع‌آوری اطلاعات در میزان این ریسک‌ها موثر است. مدیریت ریسک شامل فعالیت‌های

شناسایی[۱۷]، ارزیابی[۱۸]، پایش[۱۹] و کاهش تاثیر ریسک‌ها بر یک صنعت و یا کسب و کار می‌شود. یک برنامه مدیریت ریسک صحیح با استراتژی های مدیریت ریسک مناسب می تواند مشکات هزینه بر و استرس‌زا را به حداقل رسانده و ادعای خسارت و حق بیمه را کاهش دهد. بنا به نظر بوهم[۲۰] است مدیریت ریسک، فرایندی شامل دو فاز اصلی است: که شامل شناسایی، تحلیل و اولویت بندی است و کنترل ریسک که مراحل برنامه ریزی مدیریت ریسک برنامه‌ریزی نظارت ریسک و اقدامات اصلاحی را شامل می‌شود. به اعتقاد فیرلی[۲۱]، مدیریت ریسک دارای هفت مرحله است:

۱) شناسایی عوامل ریسک؛
۲) تخمین احتمال رخداد ریسک و میزان تاثیر آن؛
۳) ارائه راهکارهایی جهت تعدیل ریسک‌های شناسایی شده؛
۴) نظارت بر عوامل ریسک؛
۵) ارائه یک طرح احتمالاتی؛
۶) مدیریت بحران؛
۷) احیای سازمان بعد از بحران.

پاسخ به ریسک

در مرحله پاسخ‌گویی به ریسک نیز یک مسئله تصمیم‌گیری وجود دارد، یعنی انتخاب یک راهبرد از بین چند راهبرد پاسخ مربوط به یک ریسک [۱۲]

[17] Identify
[18] Assess
[19] Monitor
[20] Boehm
[21] Fairly

شکل ۳: استراتژی‌های پاسخ به ریسک

پاسخ به ریسک به‌طورکلی شامل موارد زیر است [۱]:

- **استراتژی جلوگیری از وقوع ریسک**[۲۲]: از بین بردن ریسک یا تهدیدی خاص با از بین بردن علت آن؛ جلوگیری کردن از وقوع ریسک به معنای آن است که مدیر پروژه و تیم وی شرایطی را فراهم آورده‌اند که علت به وجود آورنده ریسک به صورت کامل از بین برود. برای مثال اگر مدیر پروژه به این نتیجه برسد که بخشی از پروژه دارای ریسک با درجه زیاد است، مدیر پروژه می تواند آن بخش از پروژه را بنا به صلاحدید خود حذف نماید یا با انجام فعالیت هایی زمینه کامل وقوع ریسکها را از بین ببرد.
- **استراتژی کاهش ریسک (کاهش احتمال یا تبعات)**[۲۳]: کاهش ارزش مالی مورد انتظار یک ریسک از طریق کاهش امکان وقوع آن؛ به صورت معمول از این استراتژی بیشتر در پروژه استفاده می گردد. کاهش ریسک به این معناست که مدیر پروژه پیش فعالیت هایی را انجام می دهد تا اطمینان حاصل نماید که ریسک اتفاق نمیافتد یا در صورت وقوع تبعات و تاثیرات آن اندک خواهد بود. بدین ترتیب در پروژه‌ها احتمال از بین بردن علت ریسک به صورت کامل کم است و بیشتر از تکنیک کاهش احتمال وقوع یا تبعات آن استفاده می شود.
- **استراتژی انتقال ریسک به غیر**[۲۴]: در بعضی از موارد امکان دارد که مسئولیت برخورد با ریسک یا مسئولیت های ناشی از تبعات آن با صلاحدید مدیر پروژه و تیم پروژه از پروژه جدا شده و به شخص حقیقی یا حقوقی دیگری واگذار گردد. برای مثال ممکن است ریسکی در زمینه یک

[22] Avoid
[23] Mittigate
[24] Transfer

تکنولوژی خاص در پروژه مشاهده شده باشد که تیم پروژه بنا به هر دلیل قادر به مدیریت آن یا پذیرش تبعات ناشی از آن نباشد، بنابراین یکی از گزینه های قابل انجام، واگذاری اجرای آن به یک فرد یا شرکت خاص دارای صلاحیت و تجربه مشابه می باشد.

- **استراتژی قبول ریسک**[۲۵]**:** در این رویکرد، مدیر پروژه با توجه به شرایط ریسک با درجه اهمیت بالا تصمیم می گیرد که هیچگونه اقدامی جهت برخورد و جلوگیری از آن و پس از مواجه با آن انجام ندهد. این تصمیم می‌تواند با توجه به وجود یکی از علل ذیل گرفته شود: مدیر پروژه ممکن است به این نتیجه برسد که می‌تواند با ریسک برخورد کند، اما هزینه برخورد و واکنش های پیش‌گیرانه از آن از تاثیری که در صورت به وقوع پیوستن ریسک ایجاد می شود بسیار بیشتر است. مدیر پروژه و تیم پروژه ممکن است نتوانند آلترناتیوی جهت برخورد و پاسخ به منظور جلوگیری از وقوع ریسک ارائه کنند. هر چند که ممکن است درجه اهمیت ریسک بسیار بالا باشد، اما به دلیل عدم شناسایی راه حل مناسب، مجبور به قبول وقوع ریسک می باشند. پذیرش عواقب ناشی از ریسک؛ این کار اغلب از طریق توسعه‌ی یک برنامه‌ی اضطراری برای رویدادی که ممکن است رخ بدهد صورت می‌گیرد.

تحلیل ریسک و تصمیم‌گیری

ارزیابی ریسک هرگز نباید صرفاً برای برآوردن برخی از الزامات نظارتی انجام شود. بلکه باید با هدف تهیه اطلاعات برای تصمیم‌گیری در مورد ریسک انجام شود. به عبارتی، پس از شناسایی خطرات و انجام تحلیل ریسک و الویت‌بندی خطرات، نوبت به تصمیم‌گیری در مورد چگونگی مقابله با ریسک مطرح شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که خطر همیشه تنها یک بعد از مشکلات تصمیم‌گیری است. ملاحظات عملیاتی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی نیز ممکن است معیارهای مهم تصمیم‌گیری باشند. همیشه محدودیت‌هایی مانند قوانین و مقررات، محدودیت‌های زمان و هزینه و مواردی از این دست وجود دارد که باید در نظر گرفته شود و همواره افرادی هستند که دنبال منفعت خود هستند و تلاش زیادی می‌کنند تا در تصمیم-گیری نفوذ کنند[۱]

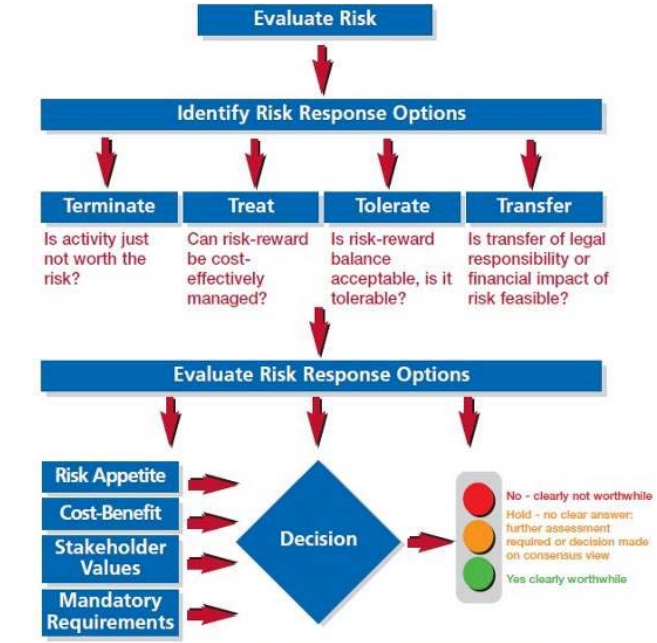
[25] Accept

تصمیم‌گیری براساس ریسک[۲۶] (*RBDM*)، یک فرایند تصمیم‌گیری است که صرفاً بر اساس نتایج ارزیابی ریسک استوار است. وزارت انرژی ایالات متحده[۲۷][۱۳] ، *RBDM* را بصورت زیر تعریف می‌کند: فرآیندی که از کمی‌سازی خطرات، هزینه‌ها و مزایا، برای ارزیابی و مقایسه گزینه‌های تصمیم‌گیری و باتوجه به منابع محدود استفاده می‌کند. گارد ساحلی ایالات متحده شرح مفصلی از روند *RBDM* در چهار جلد *USCG* (۲۰۰۸) [۱۴] ارائه می‌دهد. این روند را می توان به چهار مرحله تقسیم کرد:

۱) ساختار تصمیم‌گیری را ایجاد کنید (گزینه‌های احتمالی تصمیم و عوامل مؤثر بر این موارد)
۲) ارزیابی ریسک را انجام دهید.

۳) نتایج را در تصمیم‌گیری در مورد مدیریت ریسک اعمال کنید (برای مثال، گزینه‌های ممکن برای مدیریت ریسک را ارزیابی کنید و از اطلاعات مرحله ۲ در تصمیم گیری استفاده کنید).

۴) نظارت بر اثربخشی از طریق ارزیابی اثر (اثربخشی اقدامات انجام شده برای مدیریت ریسک را ردیابی کنید و تأیید کنید که سازمان نتایج مورد انتظار را از تصمیمات مدیریت ریسک دریافت می کند).



شکل ۴: فرایند تصمیم‌گیری براساس ریسک

[26] Risk-based decision-making
[27] U.S. Department of Energy

ارزیابی ریسک در زیر ساخت های حیاتی

واژه زیرساخت حیاتی[۲۸]، برای توصیف حداقل دارایی‌ها و تاسیساتی به کار می‌رود که وجود و کارکرد صحیح‌شان برای ادامه کارکرد اجتماع و اقتصاد ضروری است. زیرساخت حیاتی به معنی سامانه‌ها و دارایی‌های فیزیکی (سخت‌افزاری) و مجازی (نرم‌افزاری) است که به قدری برای کشور ضروری هستند که ناتوانی یا عدم کارکرد و یا اختلال در آن‌ها دارای تاثیر ضعیف‌کننده و آسیب‌رسان روی امنیت ملی، امنیت اقتصادی، سلامت یا ایمنی جامعه یا هر ترکیبی از موارد یاد شده است[۱۵]. واژه زیرساخت حیاتی معمولاً از سوی دولت‌ها برای توصیف دارایی‌هایی استفاده می‌شود که مدیریت و عملیات ساختارهای اساسی جامعه مثل اقتصاد را ممکن می‌سازد و برای اجرای آن ضروری می‌باشند. در یک تقسیم‌بندی کلی این واژه با موارد زیر در ارتباط است: [۱۶]

۱) تولید، انتقال و توزیع برق
۲) تولید، انتقال و توزیع گاز
۳) نفت و تولید و توزیع محصولات نفتی
۴) ارتباطات و خطوط ارتباطی
۵) منابع تأمین آب شامل آب آشامیدنی و نیز فاضلاب و آب‌های سطحی
۶) کشاورزی و ساختارهای کشاورزی و نیز محصولات کشاورزی و خطوط توزیع آن
۷) ابزارها، وسایل و اسباب گرمایشی شامل سوخت نفت و گاز طبیعی و...
۸) بهداشت و سلامت عمومی شامل بیمارستان‌ها و وسائط حمل و نقل مربوط مثل آمبولانس‌ها
۹) سیستم‌های حمل و نقل شامل شبکه‌های ریلی، هواپیمایی، بنادر و حمل و نقل داخلی
۱۰) سیستم‌های خدمات مالی مثل بانک‌ها
۱۱) سیستم‌های امنیتی شامل نیروهای پلیس و ساختارهای نظامی

[28] Critical Infranstructure

صنعت برق، یکی از صنایع پر خطر در بین صنایع مختلف می‌باشد، که در صورت آسیب‌دیدن یکی از بخش‌های این صنعت نه تنها موجب ایجاد خسارات مستقیم اقتصادی در مورد تعمیر و جایگزین کردن تجهیزات آسیب‌دیده می‌شود بلکه موجود از کار افتادگی اکثر صنایع و زیرساخت‌های دیگر کشور می‌شود. همچنین با قطعی برق(خاموشی) خسارات غیرمستقیم روحی و روانی و اجتماعی نیز به همراه دارد. از این جهت ارزیابی ریسک این صنعت و شناسایی ریسک‌های غیرقابل قبول و تلاش در جهت کاهش این ریسک‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. براساس گزارش موسسه تحقیقاتی انرژی الکتریکی[۲۹]، که بر اساس نظرسنجی ملی در کلیه بخش های تجاری انجام می شود، اقتصاد ایالات متحده به دلیل قطع سیستم‌های برق، بین ۱۰۴ تا ۱۶۴ میلیارد دلار در سال دچار زیان می‌شود[۱۷و۱۸]. بعنوان مثال؛ اختلال شدید در انتقال و توزیع برق در سال ۱۹۹۶ در شورای هماهنگی برق غرب[۳۰]، در غرب آمریکای شمالی، باعث اختلال در خدمت رسانی به ۷/۵ میلیون مشتری به مدت ۹ ساعت شد. در سال ۱۹۹۸ در منطقه تجاری مرکزی اوکلند در نیوزلند، قسمت عظیمی از مرکز شهر را به مدت ۲ ماه بدلیل قطعی برق متضرر شد، در نتیجه پرونده‌های دادخواست، در مجموع ۶۰۰ میلیون دلار شرکت برق جریمه گردید. در سال ۲۰۰۳، خاموشی گسترده در شرق آمریکای شمالی که ۷ ایالت آمریکا و ۲ استان کانادا را تحت تاثیر قرار داد، باعث شد تا در حدود ۵۰ میلیون نفر به مدت چند روز در تاریکی به سر ببرند [۱۸] لذا برای کاهش چنین پیامدهای گسترده و زیان‌ده، شناخت ریسک، تحلیل و ارزیابی آن و تلاش برای کاهش ریسک از رویکردهای مهم در صنعت برق است.

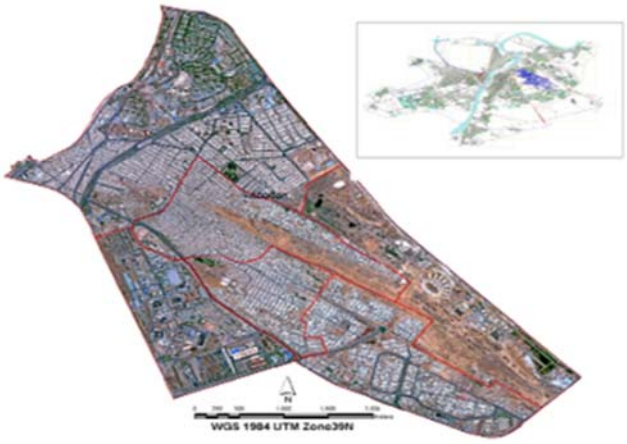
شکل ۵ : تصویری از چند زیرساخت‌های حیاتی

[29] Electric Power Research Institude (EPRI)
[30] Western Electricity Coordinating Council (WECC)

مروری بر ادبیات فنی تحلیل ریسک در صنعت برق

با توجه به مقدمه اشاره شده در بخش های قبل، شبکه برق به عنوان یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی کشور نقشی اساسی را در وضعیت اقتصادی، اجتماعی و حتی روابط سیاسی یک کشور ایفا می کند به طوری‌که اگر بنا به عللی در این شبکه و روند تولید انرژی آن خللی ایجاد گردد، صدمات جبران ناپذیری به بار خواهد آمد. علت این امر آن است که هر یک از زیرساخت‌ها برای ادامه فعالیت‌ها خود به نوعی به برق نیاز دارند. نیاز به انرژی برق به خصوص در شرایط بحرانی پس از وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله و تهدیدهای انسان‌ساز مانند جنگ و تروریسم، برای انجام فعالیت‌های اضطراری و مدیریت بحران در بخش‌های مختلف ضروری است. از این رو بخش‌های مختلف مؤثر در تأمین برق (تولید، انتقال و توزیع) باید در شرایط بحرانی قادر به ادامه فعالیت خود باشند.

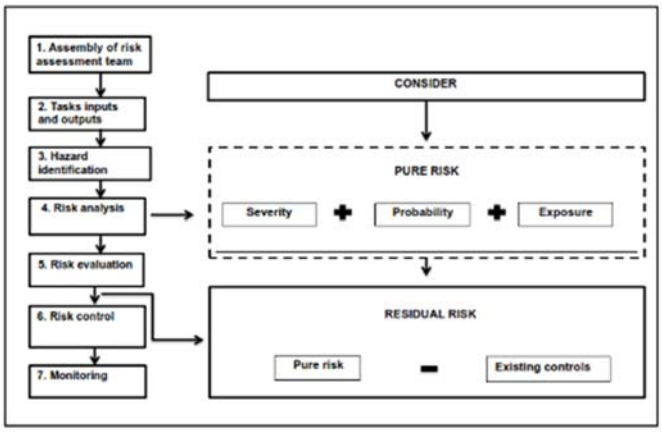
در مطالعه انجام شده توسط جوزی و همکاران [۱۹] ابتدا، فرآیند انتقال برق و تجهیزات مورد استفاده در آن، شناسایی و حالات خرابی و شکست تجهیزات که منجر به وقوع ریسک در منطقه (منطقه حصیرآباد در شرق شهر اهواز- شکل ۲) می‌شود، تعیین گردید. به منظور اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس ناشی از خطوط، از دستگاه *EMF TESTER 3D*، استفاده شد. ریسک‌های شناسایی شده، بر اساس پارامترهای روش *FMEA*، نمره‌دهی و برای هر یک، *RPN* محاسبه گردید. و با کمک نرم‌افزار *SPSS*، سطح ریسک محاسبه و موارد شناسایی شده بر اساس آن اولویت‌بندی و تجزیه و تحلیل شدند. بیشترین مقادیر *RPN* به دست آمده مربوط به ریسک‌های بهداشتی بوده و کلیه ریسک‌های این گروه در شرایط اضطراری قرار دارند. بالاترین مقادیر مربوط به از بین رفتن حریم با *RPN* ۳۶۰ و کمترین مقدار جز سکسیونر با *RPN*، ۶۰ به دست آمد. از نتایج بدست آمده در مرجع [۱۹] می‌توان به بالا بودن اکثر ریسک‌های به دست آمده اشاره کرد که اقدامات کنترلی بر اساس نظرات کارشناسی در بخش‌های ایمنی مربوط به تجهیزات، آموزش اپراتورها، اقدامات نظارتی، در جهت کاهش سطح ریسک‌ها، ارائه گردیده است.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده در مرجع [54]

هدف از تحقیق انجام شده توسط ***Moja*** و همکاران [۲۰] شناسایی مخاطرات و ریسک‌های ناشی از فرایندهای مختلف درگیر در هر حوزه‌های سه گانه صنعت برق و ارائه اقدامات احتمالاتی برای کنترل خطرات شناسایی شده است. برای این موضوع شرکت برق سوازیلند (*SEC*) به عنوان یک مطالعه موردی مورد استفاده قرار گرفت که در آن هر سه قابلیت صنعت برق(تولید، انتقال و توزیع) وجود دارد. در این تحقیق، مخاطرات موجود در صنعت برق شناسایی شده و با استفاده از ابزارهای ساده شده به تحلیل ریسک سلامت و ایمنی جانی پرداخته شده است بطوریکه از این ابزارها برای انجام تحلیل ریسک در صنایع و حوزه‌های دیگر نیز می‌توان استفاده کرد. بطوریکه با استفاده از داده‌های بدست آمده از بررسی پرسشنامه‌هایی که توسط گروه متخصص و خبره پر شده بودند و امتیاز داده شده توسط این گروه براساس ***Error! Reference source not found.***، بوده است. روش تحلیل ریسک انجام داده شده بصورت شکل ۳ است. براساس نتایج مطالعه انجام شده، سه خطر مهم شناخته شده شامل؛ قرار گرفتن در معرض هادی‌های برق دار[31]، خطرات جاده‌ای و استفاده از تجهیزات غیرقابل اعتماد ویا نقص اشتباه فردی یا ماشین آلات می‌باشد(شکل ۴) و حوزه توزیع نیرو نسبت به بقیه حوزه‌ها آسیب‌پذیرتر و خطرناک شناخته شده است(جدول ۲).

[31] Live wires



شکل ۳: فرایند تحلیل ریسک در منبع [۲۰]

جدول ۱: جداول امتیازدهی [۲۰]

Score	Description	Definition
1	Insignificant	No Injury or first aid treatment required
2	Minor	Minor injuries or minor exposure requiring medical attention. No lost time
3	Moderate	Disabling injury or occupational disease. Lost time
4	Major	Number of disabilities or disabling disease
5	Catastrophic	Accidental fatality or fatalities or serious occupational disease

Table 1: Severity rating (adopted from NOSA 2012 and modified).

Score	Description	Definition
1	Rare	Risk consequence will only occur in exceptional circumstances
2	Unlikely	Risk consequence is not likely to occur in a year
3	Possible	Risk consequence may occur within a year
4	Likely	Risk consequence could likely occur a few times per year
5	Almost certain	The event is almost certain to occur within a month

Table 2: Probability rating (adopted from NOSA 2012 and modified).

Score	Description	Definition
1	Minimal:	Only one employee is affected (Minimal time of exposure)
2	Restricted:	More than one employee may be affected
3	Local:	50% of employees may be affected
4	Widespread:	More than 50% of employees may be affected
5	Extensive:	100% of employees and general public may be affected

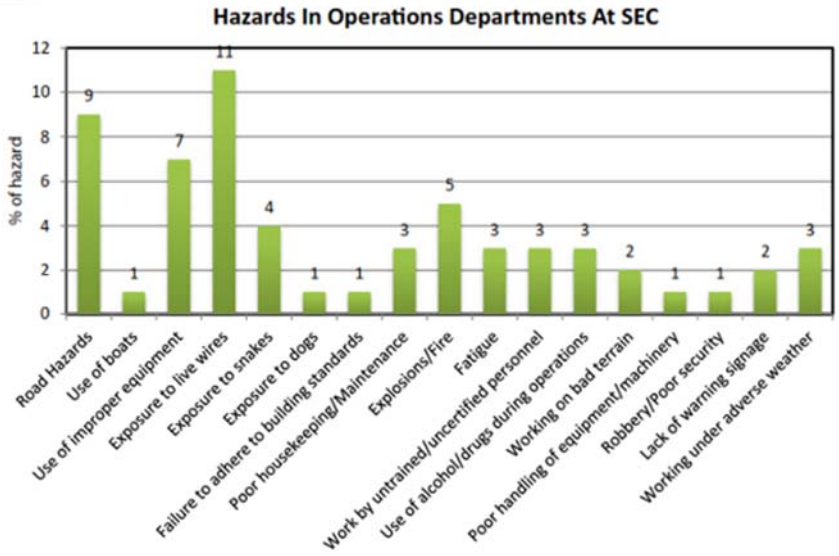
Table 3: Exposure rating (adopted from NOSA 2012 and modified).

Score	Description
1	Those that protect and control the individual from exposure such as exposure to chemicals. E.g. Dust masks, safety shoes, hard hats etc.
2	Those that are procedural and include non-engineering controls to alter the way work is done as means of ensuring safe work practices. E.g. Procedures, work-instructions, medical checks ups, training and awareness etc.
3	Those that limit the hazard by using engineering means. Includes designs or modification to plants and equipment. E.g. Bunding, Insulating, Barricading, Filtration system)
4	Those that replace a component so to avoid the hazard. E.g. Substituting chemical X with another user friendly chemical
5	Those that completely eliminate the hazard from the work place, therefore eliminating the risk consequence.

Table 4: Hierarchy of control rating (adopted from NOSA 2012 and modified).

Total score	Level of significance	Action	Time-frame
1-5	Low level of Concern	Short Term	Monitor
6-9	Medium Level of Concern	Medium	Within 6 Months
10-15	High Level of Concern	Immediate	Within 3 months

The intention is to reduce impacts to "as low as reasonably practicable" (ALARP).



شکل ۴: ریسک‌های شناسایی شده در شرکت برق سوازیلند [۲۰]

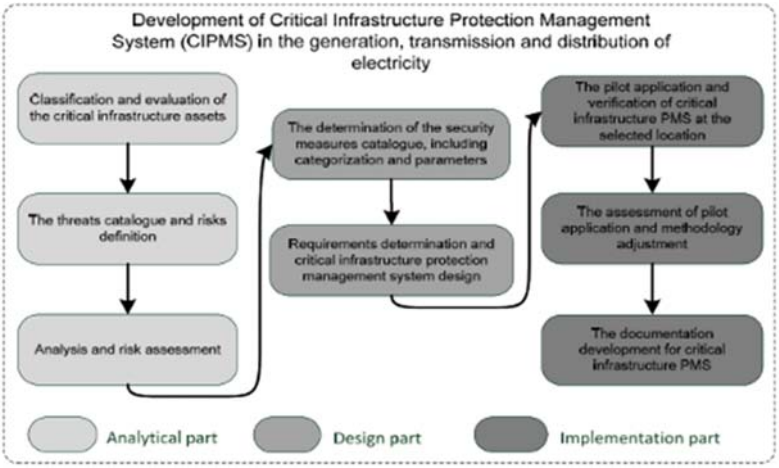
جدول ۲: تعداد ریسک‌های مهلک و غیرمهلک به تفکیک حوزه‌های مختلف [۲۰]

Departments	Health and Safety Risks	
	Fatal	Non-fatal
Generation	9	41
Transmission	9	14
Distribution	42	65
TOTAL	60	120

در برخی از مطالعات انجام شده متدولوژی و روش برای ارزیابی ریسک سامانه‌های صنعت برق ارائه شده است برای مثال، در تحقیق انجام شده توسط رهاک و همکاران [۲۱]، یک روش برای ارزیابی تاب‌اوری زیرساخت‌های حیاتی ارائه داده شده است، که برای ارزیابی تاب آوری از روش کیفی استفاده کرده است و شاخص تاب‌آوری تابعی از ضریب ریسک، ضریب اصلاح، ضریب *Robutness* و ضریب *Preparedness* است؛

$$R_E = f(C_{RI}, C_c, C_{RO}, C_p)$$

همچنین یک متدولوژی برای اطمینان از مدیریت حفاظتی زیرساخت‌های حیاتی صنعت برق در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع، مطابق شکل ۵، ارائه داده شده است، که یکی از قسمت‌های این متدولوژی، تحلیل خطر و تحلیل ریسک می‌باشد.



شکل ۵: چارچوب ارائه شده توسط [56] برای اطمینان از ایمنی زیرساخت

روش انجام ارزیابی ریسک پیشنهادی در این مقاله، روش نیمه کمی، که از سه مولفه‌ی دارایی، تهدید یا خطر و آسیب‌پذیری تشکیل شده است(هر سه مولفه در قسمت‌های قبل گزارش تعریف شده‌اند.)، است. سطح مولفه‌های تحلیل ریسک در نظر گرفته شده در این مطالعه بصورت جدول ۳ است. براساس این تحقیق، بعد از تعیین مولفه‌های ریسک، می‌توان سطح ریسک نهایی را از رابطه زیر بدست آورد.

$$R = A.T.V$$

در رابطه بالا، A: ارزش دارایی، T: سطح خطر ویا تهدید و V: سطح آسیب‌پذیری است. حال برای مقایسه سطوح ریسک، نیازمند این هستیم که سطح ریسک مبنا تعریف شود که سطح ریسک مبنا طبق این مطالعه بصورت

جدول ۴ است.

جدول ۳: سطوح ریسک مولفه‌ها [۲۱]

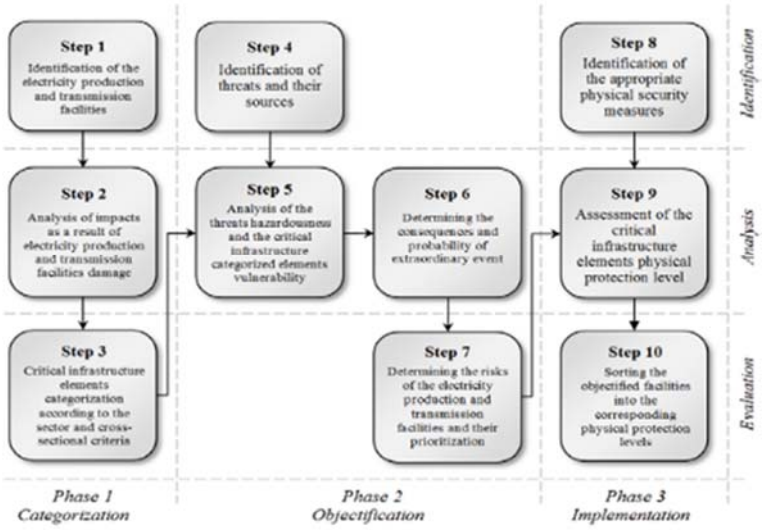
Numerical value	Asset value	Threat level	Level of vulnerability
0	none or no unrated	unlikely or unrated	none or no unrated
1	low	very unlikely	low
2	insignificant	unlikely	insignificant
3	middle	moderately likely	middle
4	high	very likely	high
5	very high	highly probable or certain	very high

جدول ۴: دسته‌بندی سطوح مختلف ریسک در [۲۱]

کیفیت ریسک	بازه سطح ریسک
ریسک کم	*1-40*
ریسک متوسط	*41-70*
ریسک زیاد	*71-125*

رهاک و همکاران همچنین در منبع [۲۲] ،برای ارزیابی ریسک حوزه تولید و انتقال نیرو صنعت برق، الگوریتمی ارائه داده‌اند، این الگوریتم شامل گام‌های مختلفی است که در سه فاز ارائه شده است (شکل ذیل). فاز اول بر روی شناسایی دارایی‌ها و ارزشیابی آن‌ها و دسته‌بندی دارایی براساس گستره تاثیر متمرکز

شده است. در فاز دوم به تحلیل و ارزیابی ریسک و الویت‌بندی ریسک‌ها می‌پردازد. در فاز سوم، عناصر حفاظت ویژه بحرانی به سطوح مناسب از حفاظت فیزیکی طبقه‌بندی می‌شوند. در ادامه روش انجام تحلیل و ارزیابی ریسک براساس الگوریتم ارائه شده، شرح داده می‌شود.



شکل ۶: الگوریتم ارائه شده توسط [۲۲] برای ارزیابی ریسک حوزه‌های تولید و انتقال صنعت برق

فاز اول: دسته‌بندی

گام۱- شناسایی دارایی‌های صنعت برق: گام اساسی الگوریتم پیشنهادی برای شناسایی مخاطراتو تهدیدهای که متوجه دارایی‌های صنعت برق است، شناسایی دارایی‌ها (تجهیزات) این صنعت و ارزشیابی این تجهیزات است. شناسایی دارایی‌ها اصلی زیرساخت‌ها شامل اسم دارایی و موقعیت قرارگیری آن است.

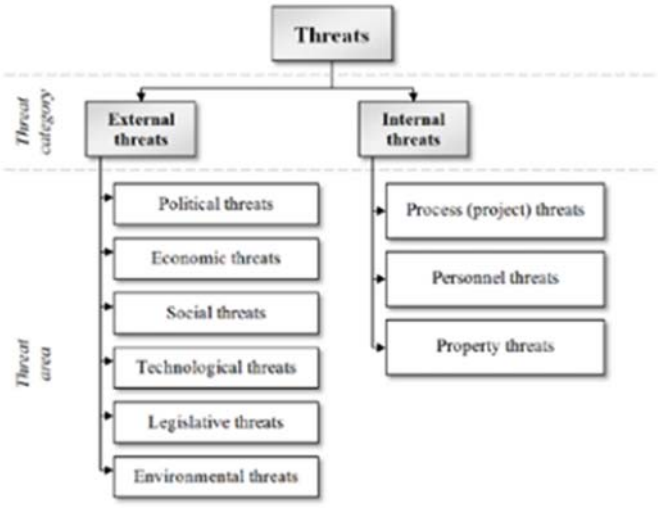
گام۲- تحلیل پیامدهای ناشی از خرابی تجهیزات و دارایی‌ها: در این مرحله، همه تجهیزات شناسایی شده باید براساس معیار گستره تاثیر[1] (مقطعی) مورد ارزیابی پیامد قرار بگیرند.

گام۳- دسته‌بندی کردن دارایی‌های زیرساخت براساس حوزه و گستره‌ی تاثیر: براساس اطلاعات بدست امده از گام قبلی، دارایی‌ها براساس حوزه عملکردی‌شان و گستره تاثیرشان در صورت خرابی دسته‌بندی می‌شوند. برای این‌کار ابتدا این دارایی‌ها براساس حوزه عملکردی دسته‌بندی می‌شوند، مثلا: دسته ۱: دارایی‌های سامانه انتقال نیرو، شامل خطوط انتقال نیرو با حداقل ولتاژ ۱۱۰ کیلوولت. سپس این دارایی‌ها براساس گستره تاثیرشان طبقه‌بندی می‌شوند، مثلا: کاتاگوری ۱: تجهیز با گستره منطقه‌ای.

[1] Cross-sectional criteria

فاز دوم: تحلیل ریسک و الویت‌بندی ریسک‌ها

گام۴- شناسایی تهدیدات و مخاطرات و منبع آن‌ها: اولین گام در فاز دوم شناسایی مخاطرات می‌باشد. برای لیست کردن مخاطرات می‌توان از ادبیات فنی حوزه مورد ارزیابی، مطالعات قبلی و تجربیات افراد خبره و داده‌های تاریخی استفاده کرد. در این مرحله تهدیدات به ۲ دسته طبقه‌بندی می‌شوند، دسته اول، تهدیدات خارجی شامل تهدیداتی است که نمی‌توان آن‌ها را تحت تاثیر قرار داد و یا از شدتشان کاست و شامل تهدیدات سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، تکنولوژی، محیطی و قانونی[۲] است. دسته دوم شامل خطراتی است که می‌توان حذف یا از شدت‌شان کاست (شکل ۷).



شکل ۷: دسته‌بندی مخاطرات به دو گروه داخلی و خارجی

گام۵- تحلیل میزان خطرآمیز بودن تهدیدات و دسته‌بندی کردن آسیب‌پذیری دارایی‌ها: در این مرحله به ارزیابی میزان خطرناک بودن تهدید و سطح آسیب‌پذیر بودن دارایی‌ها در برابر این تهدیدات می‌پردازیم. در نهایت لیست "تهدید-دارایی" حاصل می‌شود. ارزیابی سطح خطر به عواملی نظیر تداوم تهدید، پتانسیل

[2] Legislative

تخریب تهدید بستگی دارند و همچنین ارزیابی سطح آسیب‌پذیری دارایی به عواملی همچون میزان دسترسی به دارایی، زمان بازیابی و احیاء، قابل تشخیص بودن و ایمنی بستگی دارد. به همین خاطر ارزیابی ریسک سامانه‌های صنعت برق، به ۴ گروه اصلی زیر تقسیم می‌شوند:

۱- معیارهایی که برای ارزیابی سطح آسیب‌پذیری دارایی‌ها نسبت به احتمال وقوع رویدادهای خطرناک، استفاده می‌شوند.

۲- معیارهایی که برای ارزیابی سطح خطر نسبت به احتمال وقوع رویدادهای خطرناک، استفاده می‌شوند.

۳- معیارهایی که برای ارزیابی سطح آسیب‌پذیری دارایی‌ها نسبت به پیامدهای وقوع رویدادهای خطرناک، استفاده می‌شوند.

۴- معیارهایی که برای ارزیابی سطح خطر نسبت به پیامدهای وقوع رویدادهای خطرناک، استفاده می‌شوند.

گام۶- محاسبه شدت پیامدهای خطر و احتمال وقوع آن‌ها: برای این کار ۳ روش وجود دارد، روش کمی، روش کیفی و روش کمی-کیفی. در این مطالعه از روش نیمه کمی(کمی-کیفی) استفاده شده است. در این روش، از مقادیر عدد برای تعیین سطح شدت و احتمال استفاده می‌شود(برای مثال از ۱ تا ۵). هدف از این روش، این است که مقیاس وسیع‌تری از ارزیابی از آنچه معمولاً در آنالیز کیفی استفاده می شود ایجاد شود، اما برای محاسبه ریسک مقادیر واقع بینانه (آنچه در تحلیل کمی استفاده می‌شود) را پیشنهاد نمی‌کند. لازم است به اجرای تحلیل نیمه کمی توجه جدی شود، زیرا اعداد منتخب ممکن است به اندازه کافی با واقعیت مطابقت نداشته باشند، که در این صورت ممکن است منجر به نتایج متناقض ویا نامتناسب شود. تحلیل نیمه‌کمّی ممکن است بین خطرات به طور صحیح تمایز قائل نشود، خصوصاً وقتی تأثیر یا احتمال به مقادیر شدید (مقدار عددی ۴ و ۵) برسد.

گام۷: محاسبه سطح ریسک سامانه تولید و انتقال نیرو: آخرین گام در فاز دوم الگوریتم پیشنهادی تخمین سطح ریسک و به دنبال آن الویت‌بندی ریسک‌ها است. نحوه ترکیب احتمال و پیامد برای بدست آوردن سطح ریسک بسته به نوع تحلیل ریسک و هدف و خروجی مطلوب از تحلیل ریسک، متنوع است[۲۳]. در حالت کلی سطح ریسک از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$R = f(Z_p, N_p).f(Z_D, N_D)$$

در رابطه بالا، R سطح ریسک، Z_p سطح آسیب‌پذیری دارایی موثر بر احتمال رخداد رویداد خطرناک، N_p سطح خطرآمیز بودن خطر مورد ارزیابی موثر بر احتمال رخداد رویداد خطرناک، Z_D سطح آسیب‌پذیری دارایی مورد ارزیابی موثر بر شدت پیامد خطر، N_D سطح خطرآمیز بودن خطر مورد ارزیابی موثر بر شدت پیامد خطر، می‌باشند. بعد از اینکه سطح ریسک هر یک از مولفه‌های "دارایی-تهدید" مشخص شد، ارزیابی نهایی که الویت‌بندی ریسک‌ها است، صورت می‌گیرد. ضرورت انجام این کار کمک برای تحلیل تصمیم-گیری(براساس نتایج تحلیل ریسک) است.

مطالعاتی نیز براساس تحلیل ریسک براساس ماتریس ریسک نیز توسط محققین انجام شده است. برای مثال لیو[۲۴]تحلیل ریسک اولیه در شبکه برق هوشمند تحت ریسک‌های و با استفاده از ماتریس ریسک و روش فرایند سلسله مراتبی(*AHP*) انجام داده است. همچنین شرکت انتقال برق بریتیش کلمبیا[3] [۲۵] ماتریس ریسکی بصورت شکل ۸ ارائه داده است. در این شکل انواع و سطح پیامدها و درست‌نمایی آورده شده است. همچنین براساس بروشور فنی *CIGRE TB 541* [۲۶]ماتریس ریسک بصورت شکل ۹ ارائه شده است در این شکل زیر انواع و سطح پیامدها و فراوانی وقوع مشاهده می‌شود.

جدول ۵: انواع ریسک در شبکه هوشمند برق براساس مطالعه [59]

Risk indicators for Smart Power Grids	*Strategic Risk*	*Regulatory policy*
		Transport capacity
		Mergers and acquisitions
	External Risks	*Natrual disasters risk*
		Costomer preferences
	Financial Risks	*Capital management risk*
		Cost control risk
		Electricity pricing risk
	Compliacne Risks	*Contract Risk*
		The risk of information
		Subsidiaries control
		Project approval risk
	Operational Risks	*ntegrated scheduling risks*
		Electricity pricing risk

[3] British Columbia Transmission Corporation (BCTC)

		Human resource risk
		Security risk
		Technological innovation
		New market risk
		Material procurement risk

LIKELIHOOD GUIDELINES	LIKELIHOOD OF OCCURRENCE						
90%	(9 in 10) or greater likelihood that event will occur within next year.	5	Moderate	Moderate	High	Extreme	Extreme
50%	(1 in 2) or greater likelihood that event will occur within next year.	4	Guarded	Moderate	High	Extreme	Extreme
10%	(1 in 10) or greater likelihood that event will occur within next year.	3	Guarded	Moderate	Moderate	High	Extreme
1%	(1 in 100) or greater likelihood that event will occur within next year.	2	Low	Guarded	Moderate	Moderate	High
<1%	<1% (1 in 100) likelihood that event will occur within next year.	1	Low	Low	Guarded	Guarded	High
IMPACT CRITERIA			1	2	3	4	5
Safety			First aid injury/illness	Medical aid injury/illness	Lost time injury/ temporary disability	Permanent disability	Fatality (ies)
Financial			Impact totaling < $500,000	Impact totaling $500,000 - $1 Million	Impact totaling $1 Million - $5 Million	Impact totaling $5 Million - $10 Million	Impact totaling ≥ $10 Million
Reliability			One of: < 250,000 customers hrs lost or < 2 GWh of energy not served or delivered.	One of: 250,000 – 1 million customers hrs lost or 2 -7 GWh of energy not served or delivered.	One of: 1 - 3 Million customer hrs lost or 7 - 20 GWh of energy not served or delivered.	One of: 3 Million – 7 Million customer hrs lost or 20 - 50 GWh of energy not served or delivered.	One of: ≥ 7 Million customer hrs lost or ≥ 50 GWh of energy not served or delivered.
Market Efficiency			Customers and rate payers lodge complaints to BCTC	BCTC customers and rate payers lodge complaint to Government or the Utilities commission	Government or BCUC enquiry conducted into BCTC practices and policies	Government or BCUC impose strategic and operational changes upon BCTC	Failure to deliver required level of service resulting in loss of license to operate
Relationships			External opposition resulting in short term delays or minor modifications to work plans.	External opposition affecting BCTC's ability to implement its work plans is constrained and/or substantive modifications of its work plans are required.	External opposition resulting in increased regulatory oversight; shareholder scrutiny and/or restricted access to work sites.	External opposition resulting in increased regulatory/ legislative/court action or government intervention resulting in a loss of responsibilities impacting BCTC's corporate mandate, including restricted access to major project sites.	External opposition resulting in loss of license to operate and/or imposed corporate restructing
Organization & People			Negligible impact on service delivery and staff.	Impacts the efficiency or effectiveness of some services, but would be dealt with internally.	Portions of the organization experience unexpected attrition or reduced attraction factors.	The ability to achieve the corporate goals is threatened or there is a significant increase in the cost of service.	Unexpected loss of multiple critical staff including senior leadership and the ability to deliver critical services.
Environment			Non-reportable environmental incident	Reportable environmental incident with short term mitigation (<1year)	Reportable environmental incident with long term mitigation (> 1year)	Reportable environmental incident with regulatory fines and mitigation possible.	Reportable environmental incident with regulatory prosecution and/or uncertain mitigation.

شکل ۸: ماتریس ریسک پیشنهادی توسط BCTC

Risk matrix

Strategic objectives		Impact: Catastrophic	Serious	Considerable	Mediocre	Small	Very small	Minor
Safety		Multiple casualties	One casualty	Serious injury	Injury with absenteeism	Injury without absenteeism	Minor injury with first aid	Minor injury without first aid
Quality of supply		See table	See table	See table	See table	See table	See table	See table
Financial		> 100.000 k€	10.000 k€ - 100.000 k€	1000 k€ - 10.000 k€	100 k€ - 1000 k€	10 k€ - 100 k€	1 k€ - 10 k€	< 1 k€
Reputation	Attention	National / Politics	National / Regional / In sector	National / Politics	National / Regional / In sector	National	Regional / In sector / Local	Local
	Cause	Intentionally / Fraud	Intentionally / Fraud	Unintentional	Unintentional	Force majeur	Force majeur	Unintentional
Environment		Criminal law sanction	Law suit	Administrative fine	Disturbance over more than 500 metres	Effect > 125% of associated code / disturbance within 500 metres	Effect in between 100% and 125% of associated code / disturbance within 50 metres	Disturbance within fence
Compliance		Criminal law sanction	Law suit	Administrative fine	Indemnification	Non-conformity / warning	Grouped and honoured complaint	Honoured complaint
Failure frequency								
Very often	More than 10 times a year	Unacceptable	Unacceptable	Unacceptable	Very high	High	Medium	Low
Often	More than once a year	Unacceptable	Unacceptable	Very high	High	Medium	Low	Negligible
Regular	Once every 1 - 10 years	Unacceptable	Very high	High	Medium	Low	Negligible	Negligible
Probable	Once every 10 - 100 years	Very high	High	Medium	Low	Negligible	Negligible	Negligible
Possible	Once every 100 - 1,000 years	High	Medium	Low	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Improbable	Once every 1,000 - 10,000 years	Medium	Low	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
Nearly impossible	Less than once ever 10,000 years	Low	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

Quality of supply		Duration: < 2 hours	2 - 6 hours	6 - 12 hours	12 - 24 hours	24 hours - 1 week	> week
Outage	< 100 MW	Very small	Small	Mediocre	Considerable	Serious	Catastrophic
	< 250 MW	Small	Mediocre	Considerable	Serious	Serious	Catastrophic
	< 500 MW	Mediocre	Considerable	Considerable	Serious	Catastrophic	Catastrophic
	< 1000 MW	Considerable	Considerable	Serious	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic
	< 1500 MW	Serious	Serious	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic
	> 1500 MW	Serious	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic	Catastrophic

شکل ۹: ماتریس ریسک پیشنهادی توسط CIGRE TB 541

جمع بندی

تحلیل و ارزیابی ریسک به عنوان بخشی از فرایند مدیریت ریسک، نقش مهمی در تصمیم‌گیری مدیران و اپراتورها برای مقابله با مخاطرات می‌باشد. بطوریکه بعد از انجام تحلیل و ارزیابی ریسک، دارایی‌هایی که ریسک بالایی در برابر مخاطرات مختلف دارند شناسایی و الویت‌بندی می‌شوند و بسته به نوع و جنس مخاطره روش مقابله مناسب (مانند بهسازی و مقاومت‌سازی یا حذف و جایگزینی) برای دارایی بخصوصی اتخاذ میگردد. در این خصوص شبکه انتقال برق به عنوان یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی کشور نقشی اساسی را در وضعیت اقتصادی، اجتماعی و حتی روابط سیاسی یک کشور ایفا می‌کند، به طوری‌که اگر بنا به عللی در این شبکه و روند تولید انرژی برق خللی ایجاد گردد، صدمات جبران ناپذیری به بار خواهد آمد. علت این امر آن است که هر یک از زیرساخت‌ها برای ادامه فعالیت‌ها خود به نوعی به برق نیاز دارند. نیاز به انرژی برق به خصوص در شرایط بحرانی پس از وقوع بلایای طبیعی مانند زلزله و تهدیدهای انسان-ساز مانند جنگ و تروریسم، برای انجام فعالیت‌های اضطراری و مدیریت بحران در بخش‌های مختلف ضروری است. از این رو بخش‌های مختلف مؤثر در تأمین برق (تولید، انتقال و توزیع) باید در شرایط بحرانی قادر به ادامه فعالیت خود باشند. به علت اهمیت موضوع ارزیابی ریسک در زیر ساخت های حیاتی اللخصوص شبکه برق، در این گزارش علاوه بر ارائه انواع روش های ارزیابی ریسک شناسایی و معرفی شدند. همچنین مفاهیم کلی تحلیل و ارزیابی ریسک سازه‌ها و زیرساخت‌ها بررسی گردید و ادبیات فنی و مستندات موجود در این حوزه گردآوری و دسته بندی گردید.

مراجع

[1] [۱] [2] M. Rausand, Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications., John Wiley & Sons, 2013 .

[2] [۳] [4] Des Plaines, IL: American Society of Safety Engineers, ANSI/ASSE Z690.3. Risk Assessment Techniques., 2011 .

[۵] [۳]عزت اله اصغری زاده، حمدصادق بهروز، آزیتا سعیدی, "بهینهسازی ارزیابی ریسک پروژه با توسعه شاخصهای اثر گذاری بر تکنولوژی," *پژوهش و فناوری*, ۱۳۹۴. [۶]

[4] [۷] [8] Stanley Kaplan, B. John Garrick, "On the quantitative definition of risk ", *Risk Analysis* ,۱ شماره ,۱ جلد ,pp. 11-27, 1981 .

[5] [۹] [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Risk_assessment .

[6] [۱۱] [12] Vamanu, B.I.; Gheorghe, A.V.; Kaina, P.F., "Critical Infrastructures: Risk and Vulnerability Assessment in Transportation of Dangerous Goods: Transportation by Road and Rail ",*Springer* .۲۰۱۶ ,

[7] [۱۳] [14] https://dictionary.cambridge.org/dictionary .

[8] [۱۵] [16] F. E. M. Agency(FEMA), FEMA 452 - Risk Assessment: A How-To Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings, 2017 .

[9] [۱۷] [18] E. M. Australia, "Emergency Management Arrangements in Australia - Queensland Arrangements," 2011.

[10] [۱۹] [20] Popov, G., K. Lyon, B., Hollcroft, B., RISK ASSESSMENT- A Practical Guide to Assessing Operational Risks, 2015 .

[11] [۲۱] [22] "A Structured Approach to Enterprise Risk Management (ERM) and the Requirements of ISO 31000," The Institute of Risk Management (IRM), 2016.

[12] [۲۳] [24] Behrouz Dorri, Ehsan Hamzehi, "Determining the Best Responding Strategy to Project Risk Using ANP Technique (Case Study: North Azadegan Oil Field Development Project) ",*Industrail Management* .۱۳۸۹ ,

[13] [۲۵] [26] U. D. (1998), "Guidelines for risk-based prioritization of DOE activities," Technical report DOE-DP-STD-3023-98, U.S. Department of Energy, Washington, DC..

[14] [۲۷] [28] guidelines, U.S. Coast Guard, , "USCG (2008). Risk based decision making. RBDM guidelines," 2008.

[15] [۲۹] [30] Boin, R.A. and McConnell, A., "Preparing for Critical Infrastructure Breakdowns: The Limits of Crisis Management and the Need for Resilience ",

Journal of Contingencies and Crisis Management ,۱۵ جلد ,pp. 50-55, 2007 .

[16] [۳۱] [32] https://fa.wikipedia.org/wiki .حفاظت_از_زیرساخت‌های_حیاتی/

[17] [۳۳] [34] https://fa.wikipedia.org/wiki/حفاظت_از_زیرساخت/E2%80%8C .های_حیاتی

[35] [18] [36] Wenyuan Li, Risk Assessment Of Power Systems, 2005 .

[۳۷] [۱۹] سید علی جوزی، جعفرزاده حقیقی فرد، بهبهانی, "شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش FMEA," فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران, جلد ۱٪ از ٪۲۵۵-۶۴, ۱۳۹۳.

[38] [20] Moja SJ, Van Zuydam CS, Mphephu F, "Hazard and Risk Assessment in Electricity Sector: A Case of Swaziland Electricity Company," Journal of Geography & Natural Disasters, 2016 .

[39] [21] David Rehak, Martin Hromada, Petr Novotny, "European Critical Infrastructure Risk and Safety Management: Directive Implementation in Practice," CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, 2016 .

[40] [22] David Řehák and Libor Hadáček , "ELECTRICITY PRODUCTION AND TRANSMISSION FACILITIES ASSESSMENT AS PART OF CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION ."

[41] [23] Danihelka, Pavel, Poledňák, Pavel. , "Risk analysis – general approach," Communications – Scientific Letters of the University of Žilina, pp. 20-23, 2008 .

[42] [24] Ruihua Liu, "Preliminary Analysis of Smart Grid Risk Index System and Evaluation Methods," Energy and Power Engineering ,۵ جلد ,pp. 807-810, 2013 .

[43] [25] British Columbia Transmission Corporation (BCTC), BCTC 2007 Transmission System Capital Plan (REPORT .(

[44] [26] CIGRE WG C1.16: Transmission Asset Risk Management, Technical Brochure 422..

انتشارات علمی اعضای گروه در مجلات و کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی

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

۱) مقالات ژورنالی *(ISI)*:

[1] Zekavati, A. A., ***Jafari, M. A***., & Mahmoudi, A. (2023). "Regional Multihazard Risk-Assessment Method for Overhead Transmission Line Structures Based on Failure Rate and a Bayesian Updating Scheme". Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE), 37(1), 04022068. *DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001777*

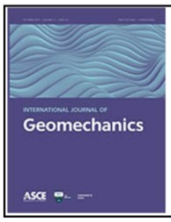
[2] Garakani, A. A. and Serjoie, K. A. (2022). Ultimate Bearing Capacity of Helical Piles as Electric Transmission Tower Foundations in Unsaturated Soils: Analytical, Numerical, and Experimental Investigations. ASCE, International Journal of Geomechanics, 22(11), 04022194, https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943- 5622.0002585.

۲) مقالات علمی-پژوهشی

[۱] سادات ناصری، شراره، حامد صادقی و **امیر اکبری گرکانی**. ۱۴۰۱. بهینه یابی سطح گسیختگی بحرانی در شیروانی های غیراشباع تحت بارش باران با الگوریتم برخورد اجسام. مجلـه علمی و پژوهشـی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۳۸,۲(۲,۱), ۵۱-۶۱، https://dorl.net/dor/20.1001.1.26764768.1401.382.21.6.1

۲) سخنرانی در مجامع علمی:

اکبری گرکانی، ا. (شهریور ۱۴۰۱)، " دانش فنی شناسایی اثر فرونشست زمین بر عملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه‌های شبکه انتقال و فوق توزیع ، پژوهشگاه نیرو، ایران



International Journal of Geomechanics
Volume 22 Issue 11 – Aug. 2022
ASCE

Ultimate Bearing Capacity of Helical Piles as Electric Transmission Tower Foundations in Unsaturated Soils: Analytical, Numerical, and Experimental Investigations

Amir Akbari Garakani; Kay Armin Serjoie

ABSTRACT

In this paper, the compressive and tensile ultimate bearing capacity of helical piles, in the load range required for designing 63-kV transmission towers are studied by conducting analytical and numerical investigations. In this light, an explicit easy-to-use analytical framework was developed by considering the unsaturated soil condition that was validated against experimental records. Also, finite element models were constructed for fully saturated and fully dry soil conditions. Then, to validate the analytical and numerical solutions in fully saturated and fully dry soil conditions, three compressive and one tensile field-tests were carried out, and the results were compared quantitatively with analytical and numerical calculations. Comparative studies showed that the analytical, numerical and experimental results have a high level of conformity. In accordance with the load ranges of transmission towers, analytical parametric studies were conducted for different geometrical aspects of the helical piles in different soils. Also, for two typical unsaturated sand and clay soils, the ultimate load of helical piles were calculated versus matric suction. Moreover, a vast numerical parametric study was performed to investigate the role of the geometrical aspects of helical piles and soil characteristics on the load-transfer mechanism and ultimate bearing capacity values for helical piles driven in sandy and undrained saturated clayey soils. Results showed that the maximum load capacity of helical piles was occurred in a matric suction less than that of a fully dry soil. In addition, the soil type and the geometrical aspects of the helical pile were shown to have significant effects on the load-displacement behavior and ultimate bearing capacity values.

Keywords: Helical pile, 63-kV transmission towers, unsaturated soils, field-test, analytical solution, numerical simulation.

شناسه دیجیتال (DOI): 10.24200/J30.2022.59000.3016
مجله علمی پژوهشی شریف
مهندسی عمران

بهینه یابی سطح گسیختگی بحرانی در شیروانی های غیراشباع تحت بارش باران با الگوریتم برخورد اجسام

شراره سادات ناصری، حامد صادقی و **امیر اکبری گرکانی**

چکیده:

تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی از مسائل مهم در طراحی ایمن زیرساخت‌هاست و تاریخچه‌ی مخاطرات ناشی از لغزش و گسیختگی شیروانی‌های غیراشباع در اثر بارندگی، مؤید این مطلب است. اما چالش پیش رو، توسعه‌ی الگوریتم‌های نوین بهینه‌یابی سطح گسیختگی همچون الگوریتم فراکاوشی است، که علاوه بر لحاظ گشتاورهای محرک و مقاوم در تحلیل پایداری، بتواند شرایط پیچیده‌ی جریان گذرای آب در شرایط دو فازی غیراشباع، شامل: بارندگی و آبیاری را نیز در تحلیل تراوش لحاظ کند. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، توسعه‌ی یک برنامه‌ی رایانه‌یی مبتنی بر روش بهینه‌یابی برخورد اجسام *(CBO)*برای اولین بار در چارچوب روش عددی تفاضل‌های محدود است، تا بتواند در مطالعات آتی، شرایط پیچیده‌تری همچون پوشش گیاهی و ترک را در معادله‌ی ریچاردز لحاظ کند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم جدید محاسباتی، قادر به کاهش درصد به کارگیری واحد پردازنده‌ی مرکزی تا ۱۷۱٪ به طور متوسط در مقایسه با الگوریتم قدرتمند به کار رفته در بسته‌ی نرم‌افزاری ژئواستودیو است.

کلمات کلیدی: پایداری شیروانی غیراشباع، بارندگی، بهینه‌یابی، الگوریتم بهینه‌یابی برخورد اجسام، روش تفاضل محدود

Regional Multihazard Risk-Assessment Method for Overhead Transmission Line Structures Based on Failure Rate and a Bayesian Updating Scheme

Ali Asghar Zekavati[1]; Mohammad Ali Jafari[2]; and Amir Mahmoudi[3]

ABSTRACT

In this study, a new method for multihazard risk assessment of an overhead transmission line grid located over a relatively large area is proposed. The main task of this method was to assess annual risk for overhead transmission lines using failure rates estimated from historical failure data and then modifying these estimated failure rates by reanalysis data and a Bayesian updating scheme. For this purpose, a comprehensive database of structural failures was collected for climatic, geologic, and man-made hazards to overhead transmission lines. Risk denotes the probability of exceeding the sum of direct losses due to repair costs of overhead transmission line components and indirect losses due to energy not supplied or unplanned power-off after outages. The performance of the proposed method was evaluated in a case study of a target area. The results showed that climatic hazards contributed the most to total losses in the study area. Furthermore, when using indirect losses to estimate the annual loss, the average annual loss may increase by up to about 45% relative to direct losses, depending on the type of hazard. This demonstrates the importance of investigating indirect losses from structural failures in the risk assessment of overhead transmission lines.

Keywords: Overhead transmission line; Repair cost; Energy not supplied; Bayesian updating; Multihazard risk assessment; Failure rate.

پروژه‌های جاری گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق

در این بخش، خلاصه‌ای از پروژه های جاری گروه پژوهشی سازه های صنعت برق، پروژه های تصویب شده و پایان یافته گروه سازه در بازه زمانی تابستان و پاییز 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: ارزیابی تحلیلی آسیب‌پذیری لرزه ای ترانس‌های جریان و ولتاژ پست‌های انتقال و ارائه راهکارهای مقاوم سازی و بهبود رفتار لرزه‌ای آنها-فاز اول: طراحی تفصیلی و تهیه اسناد فنی	
نوع پروژه: کاربردی (زیرمجموعه طرح)	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: انتقال
مدیر پروژه: محمدعلی جعفری	همکاران پروژه: علیرضا رهنورد، آرش یگانه فلاح، سلمان رضازاده، روزبه بهزادی، عظیم سلیمی لاهیجی
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۶۰
تاریخ شروع پروژه: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۱/۱۵
تعداد مراحل پایان یافته: ۲	
خلاصه: تاسیسات شبکه برق به دلیل مصرف گسترده انرژی الکتریکی در صنایع مختلف در زمره شریان های حیاتی مهم قرار دارند و باید در برابر حوادث غیرمترقبه به خصوص زلزله از مقاومت و ایمنی کافی برخوردار باشند. یکی از اجزای اصلی و بحرانی شبکه برق رسانی، پست‌های انتقال می باشند که عملکرد آن ها در زلزله‌های گذشته رضایت بخش نبوده و بسیاری از اجزای کلیدی در آنها، آسیب‌های قابل توجهی را متحمل گردیده‌اند. ترانس‌های اندازه‌گیری جریان و ولتاژ، دژنکتورها و برقگیرها از اجزای مهم در پست‌های انتقال نیرو می‌باشند که آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها مکررا در زلزله‌های گذشته ایران و جهان مشاهده شده است. وجود جرمهای متمرکز در ترازهای ارتفاعی بالا و استفاده از مقره های سرامیکی ترد از علل اصلی آسیب پذیری این تجهیزات در برابر زلزله میباشند. این تجهیزات معمولا توسط کنداکتورهای صلب یا انعطاف پذیر به تجهیزات مجاور متصل بوده و شکست و سقوط آن می‌تواند موجب گسترش آسیب به تجهیز مجاور و یا حتی منتهی به خرابی دومینویی کل پست برق گردد. با توجه به مشاهده آسیب‌پذیری این تجهیزات در زلزله‌های گذشته ایران و جهان و از طرفی اهمیت آنها در پست‌های انتقال، در مطالعات و تحقیقاتی به بررسی رفتار لرزه‌ای این تجهیزات و ارزیابی کارایی دستورالعمل‌ها و استانداردهای مرتبط با آنها پرداخته شده است که با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعات، کاستی‌هایی شناسایی شده است. از طرف دیگر بسیاری از پست‌های احداث شده در زمان‌های گذشته بدون توجه به مسئله زلزله و با عدم لحاظ تمهیدات لازم در این خصوص، ساخته شده‌اند. از اینرو، ضرورت انجام تحقیق در این زمینه که گامی در جهت افزایش تاب‌آوری شبکه برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای می‌باشد، روشن می‌گردد.بر این اساس در این پروژه، ارزیابی دقیق رفتار تجهیزات پستها در برابر زلزله، شناسایی نقاط ضعف آنها و بررسی راهکارهای مناسب مقاوم‌سازی به منظور کاهش آسیب‌پذیری آنها در زلزله‌های شدید و نهایتا، افزایش تاب‌آوری شبکه برق در برابر مخاطرات لرزه‌ای، مورد نظر می‌باشد. یکی از تکنیک‌های موثر و نوینی که برای مقاوم‌سازی تجهیزات موجود صنعت برق و یا ارتقای عملکرد لرزه‌ای تجهیزات جدید در	

سال‌های اخیر مورد توجه محققان و صنعت برق کشورهای پیشرفته بوده است، استفاده از ادوات جاذب انرژی شامل جداگرهای لرزه‌ای و میراگرها، می‌باشد. خصوصا برای پست‌های با ولتاژ بالا که در آن ابعاد و جرم ترانس‌ها بزرگتر بوده و پتانسیل خرابی تجهیز افزایش می‌یابد و استفاده از روش‌های سنتی برای زلزله‌های بزرگ ممکن است نتواند سطح عملکرد مورد انتظار را تامین نماید، و به علاوه معمولا این پست‌ها نیز نقش کلیدی‌تری در شبکه انتقال برق ایفا می‌کنند، این موضوع دارای اهمیت دوچندان می‌باشد. بر این اساس در پروژه حاضر، بهبود رفتار و مقاومسازی لرزه‌ای ترانسهای جریان و ولتاژ بطور خاص با دیدگاه استفاده از جداسازهای لرزه‌ای و میراگرها مورد نظر می‌باشد.

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

نوع پروژه: کاربردی توسعه ای	کارفرما: پژوهشگاه نیرو معاونت مربوطه: پژوهشی
مدیر پروژه: سلمان رضازاده	همکاران پروژه: محمد علی جعفری، امیر محمودی
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۸۵
تاریخ شروع پروژه: ۱۳۹۹/۴/۱	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۱۲/۱
تعداد مراحل پایان یافته: ۲	

خلاصه:

تحولات و پیشرفت های چشمگیری در زمینه بارگذاری و طراحی سازه های خطوط انتقال در دنیا صورت گرفته و همچنان
دارد و از طرفی کشور ما در این زمینه فاصله زیادی با سطح دنیا پیدا کرده است، بطوریکه رویکرد طراحی بر مبنای
اطمینان که سالهاست در کشورهای پیشرفته عملیاتی شده، هنوز در کشور ما به صورت مدون بکار گرفته نمی‌شود. با
الزامات طراحی احتمالاتی در اختیار داشتن داده های آماری بارگذاری و تهیه نقشه های پهنه بندی و ضرایب ترکیب
متناسب با دوره های بازگشت می باشد. بر این اساس، نیاز به تعریف پروژه‌ای با رویکرد آینده پژوهی و با هدف
پیشرفت‌های روز دنیا در حوزه‌های مرتبط با اندازه گیری داده های جوی و ترکیبات ضرایب بار و روند تحولات آنها در
و بررسی امکان بکارگیری و پیاده‌سازی آنها با توجه به امکانات و ظرفیت‌های کشور در حال و آینده، کاملا ضروری می

حالت ترکیب بارها در استاندارد بارگذاری فعلی کشور علاوه بر قدیمی بودن، بر اساس انطباق تجربی با یکی از حالات ارائ
در استاندارد *NESC* و بصورت تعینی ارائه شده و قابل استفاده در طراحی سازه ها با رویکردهای نوین نمی‌باشد.

از این رو تعیین مقادیر واقع‌بینانه و منطبق با شرایط جوی کشور از مقادیر پارامترهای بارگذاری یخ و باد و درج حرارت
دوره های بازگشت مختلف و نحوه ترکیب بارهای فوق در حالت وقوع همزمان از اهمیت زیادی برخوردار بوده و در
قابلیت اطمینان بهینه و اقتصادی در طراحی خطوط، مؤثر می‌باشد. برای تعیین و محاسبه ضرایب ترکیب بار در خطوط ا
ارائه آنها بصورت ساده برای مقاصد طراحی، مطالعات مختلفی توسط محققین انجام شده است. در پروژه حاضر برای ت
پهنه‌بندی مقادیر سرعت باد، ضخامت یخ و درجه حرارت و همچنین ضرایب ترکیب بار مورد نیاز، از روش ارائه ش
استاندارد *IEC60826* استفاده خواهد شد.

ترکیب بارهای وارده بر خطوط انتقال بر اساس *IEC60826* شامل دو حالت است. در یک حالت ترکیب یخ و باد (با حرارت همراه) و در حالت دیگر ترکیب باد و درجه حرارت مورد نظر قرار دارند. هریک از ترکیبات بارهای فوق حالات مختلفی هستند که با مقادیر (یا ضرایب) مربوط به خود مشخص شده‌اند. مقدار این ضرایب در *IEC60826* بطو ارائه شده و لیکن توصیه شده که هر کشور یا منطقه بر اساس داده‌های مربوط به خود، این ضرایب را محاسبه و استفاده پارامترهای طراحی برای محاسبه بارهای حاصل از حالت یخ و باد همزمان، به روش‌های مختلف در استانداردهای خطوط انتقال نیرو ارائه شده‌اند. معمولاً برای کاربردهای مهندسی و عملی در بارگذاری و طراحی خطوط انتقال، حالت یخ و باد با استفاده از روش‌های ساده و تقریبی که با روش‌های دقیقتر کالیبره شده‌اند، ارائه می‌شود. در روش‌های ساد شده در استانداردها، مقادیر سرعت باد و ضخامت یخ برای حالت بارگذاری ترکیب یخ و باد همزمان، یا بصورت مستق بصورت ضرایب اصلاحی در مقادیر حدی هریک از آنها به تنهایی، ارائه می‌شوند.

یکی از چالش های اصلی در این مطالعه، ارائه یک فرایند شبیه سازی که ترکیبی از روش های به روز در مدل سازی مانند کاربرد سری های زمانی در شبیه سازی حداقل دمای روزانه با در نظر گرفتن تغییر فصول و تولید متغیرهای همبسته با در نظر گرفتن ماتریس همبستگی بین پارامترهای درگیر و تولید هر پارامتر بر اساس توزیع احتمال فیت شده است. به همین منظور کنترل های اولیه و صحت سنجی داده های تاریخی و همچنین کنترل های نهایی بر داده های شبیه سازی شده از اهمیت زیادی برخوردار است

عنوان پروژه: اولویت‌بندی نیروگاه‌های برق حرارتی برای بهسازی در برابر زلزله با استفاده از ارزیابی ریسک لرزه‌ای	
نوع پروژه: آزمون-ایده	کارفرما: شرکت مادر تخصصی برق حرارتی معاونت مربوطه: تولید
مدیر پروژه: مائده ذاکرصالحی	همکاران پروژه: محمدعلی جعفری صحنه سرائی، علیرضا رهنورد، علی اصغر ذکاوتی، محمد ذاکرزاده، مرضیه خلیلیان
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۸٪
تاریخ شروع پروژه: مهر ۱۴۰۱	تاریخ پایان پروژه: فروردین ۱۴۰۳
تعداد مراحل پایان یافته: –	

خلاصه:

نیروگاه‌های حرارتی باید در طول عمر عملیاتی خود در سطح مناسبی از سرویس‌دهی، ایمنی و پایداری باشند. با این حال، حوادث طبیعی نظیر زلزله‌های شدید، طوفان‌های قوی و فرسودگی مواد، چالش‌های زیادی را به این سامانه‌ها تحمیل می‌کنند. تعداد قابل توجهی از سازه‌ها و ناسازه‌های موجود در این نیروگاه‌ها به علت خطرات طبیعی و یا انسانی دچار آسیب‌های جدی شده است. مواردی که از زلزله‌های آبان ۱۳۹۶ کرمانشاه و منجیل سال ۱۳۶۹ بوجود آمد نمونه‌ای از این موارد می‌باشد. از میان نیروگاه‌های تحت مالکیت شرکت برق حرارتی (نیروگاه‌های دولتی) تعداد ۲۷ نیروگاه (معادل ۶۳ درصد) در مناطق با خطر زلزله زیاد و خیلی زیاد (به ترتیب ۳۰ و ۳۳ درصد در مناطق خیلی زیاد و زیاد) کشور واقع شده‌اند. از طرف دیگر به لحاظ ظرفیت نامی تولید، در حدود ۱۴۳۸۰ مگاوات (معادل ۶۲ درصد ظرفیت نیروگاه‌های دولتی) مربوط به نیروگاه‌های واقع در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد (به ترتیب ۲۸ و ۳۴ درصد در مناطق خیلی زیاد و زیاد) است. از میان نیروگاه‌های فوق، در حدود ۴۵ درصد (معادل حدود ۴۰ درصد ظرفیت تولید) دارای سن بیش از ۳۰ سال بوده و به احتمال قوی، طراحی لرزه‌ای مناسبی نداشته و پتانسیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالا دارند. بر این اساس، انجام مطالعات ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای و پیاده‌سازی آن در تعداد قابل توجهی از نیروگاه‌های برق حرارتی لازم و ضروری است. در این راستا و با توجه به محدودیت منابع، اولویت‌بندی این نیروگاه‌ها منجر به صرف مؤثرتر و بهینه منابع مالی برای بهسازی لرزه‌ای آنها خواهد شد.

هدف از انجام پروژه حاضر، اولویت‌بندی نیروگاه‌های تحت پوشش شرکت تولید برق حرارتی برای انجام مطالعات تفصیلی ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی در برابر زلزله می‌باشد. بدین منظور از تحلیل کمی ریسک نیروگاه‌ها در برابر زلزله استفاده خواهد شد. تحلیل ریسک لرزه‌ای شامل ارزیابی شدت خطر زلزله در محل نیروگاه‌ها (منحنی خطر)، ارزیابی آسیب‌پذیری کلی نیروگاه‌ها (بر اساس منحنی‌های شکنندگی)، ارزیابی پی‌آمدهای مالی حاصل از آسیب نیروگاه‌ها (بر اساس توابع خسارت مالی) و تلفیق آنها با روش‌های احتمالاتی بوده و خروجی نهایی آن، متوسط سالانه خسارات مالی محتمل برای نیروگاه‌های مورد نظر خواهد بود. در نهایت، ترتیب اولویت بهسازی لرزه‌ای نیروگاه‌های مورد نظر براساس مقادیر متوسط سالانه خسارت مالی تعیین خواهد شد. هم چنین، متدولوژی توسعه داده شده برای سه نیروگاه دارای بیش‌رین ریسک لرزه‌ای براساس بازرسی‌های میدانی مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس نتایج حاصل از پروژه، پیش نویس دستورالعمل برای ارزیابی ریسک لرزه ای نیروگاه ها تدوین خواهد گردید.

عنوان پروژه: صحت سنجی و مانیتورینگ عملکرد شمع های 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 تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۵۰٪
تاریخ شروع پروژه: ۹۹/۰۴/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۲/۰۴/۱۵
تعداد مراحل پایان یافته: مراحل ۱ و ۲	

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 توامان 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 درپروژه پیشین، صحت سنجی شود و فرضیات تدقیق گردد. از نتایج ارزشمند این پروژه اینست که پس از اجرایی نمودن ایده استفاده از شمع های انرژی در ساختمان فن آوری، از دانش، تکنولوژی و اطلاعات به دست آمده از آن میتوان به عنوان داده هایی ارزشمند با نقشی تعیین کننده به کار گیری از آن در سایر پروژه ها استفاده نمود. مخصوصا اینکه بسیاری از تحقیقات عددی صورت گرفته را میتوان از این طریق مورد صحت سنجی قرار داد. در این راستا هدف آنست تا از انجام این پروژه، به موارد زیر دست یافته شود:

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

عنوان پروژه: آزمون ایده میزان تاثیر توامان بهینه سازی سازه ای و استفاده از شمع های انرژی در افزایش بازدهی سیستم های خنک کننده هوایی (ACC) نیروگاههای سیکل بخار و واحدهای بخار سیکل ترکیبی کشور	
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 – سهیل صاحب، علی نصرتی
مجری پروژه: علیرضا رهنورد	درصد پیشرفت پروژه تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۴۰٪
تاریخ شروع پروژه: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵
تعداد مراحل پایان یافته: ۱	

خلاصه: یکی از اجزای اصلی نیروگاه‌های بخار و واحدهای بخار سیکل ترکیبی، سیستم خنک‌کن سیکل نیروگاه است که با توجه به نیاز سیستم و شرایط طراحی، با مکانیزم‌های متفاوت طراحی و اجرا می‌شود. با توجه به محدودیت های پیش‌رو در استفاده از منابع آب، از جمله سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که در این نیروگاهها امروزه بسیار مورد توجه قرارگرفته‌است، سیستم‌های خنک‌کننده‌ی هوایی یا ACC (Air Cooled Condenser) می‌باشد. در این پروژه تلاش میشود که یک امکانسجی اولیه بر روی دو ایده استفاده از عملکرد سرمایشی شمع های انرژی و نیز ایده بهینه سازی سازه سیستم های ACC به منظور افزایش بازدهی سیستم های ACC انجام شود و حدود افزایش بازدهی عملکرد این سیتسمها با توجه به راهکارهای پیشنهاد شده مشخص و قابلیت اجرای این ایده در نیروگاههای سیکل بخار و واحدهای بخار سیکل ترکیبی کشور مشخص گردد. در صورتی که استفاده از این سیستم هیبریدی به همراه بهینه سازی سازه ای، افزایش قابل قبولی راندمان سیستم های ACC را پیش‌بینی نماید، در پروژه آتی، این ایده در مقیاس بزرگتری با انجام تحلیلها و مدلسازی های مبسوط تر و تهیه یک دستورالعمل کاربردی عملیاتی خواهد شد. لذا در این پروژه انجام فعالیتهای زیر مد نظر قرار خواهد گرفت:

- انجام مطالعات اولیه، جمع آوری داده های مرتبط و مطالعه متون فنی در خصوص نحوه عملکرد سیستم های ACC، مشخصات سازه ای آنها و نحوه عملکرد شمع های انرژی
- بررسی های مفهومی و کلی سازه ای جهت حدود تغییرات قابل انجام برای بهینه سازی سازه نگهدارنده سیستم های ACC
- ارائه یک طرح مفهومی برای استفاده از سیستم هیبریدی شمع انرژی – ACC و پیش بینی حدود افزایش بازدهی سیستم پیشنهاد شده در مقایسه با یک سیستم ACC تنها
- برآورد حدود افزایش راندمان واحدهای ACC در صورت اجرای همزمان دو ایده بهسازی سازه ای و هیرید کردن سیستم به شمع انرژی، مطالعه محدودیتها و مزایای ایده، امکانسنجی فنی و اقتصادی ایده مطرح شده با عنایت به موارد سازه ای، ترمودینامیکی، ژئوتکنیکی و مکانیکال
- تهیه لیست و اولویت بندی نیروگاههای سیکل ترکیبی و سیکل بخار کشور که مجهز به سیستم ACC هستند (یا در طرح توسعه مجهز میشوند) و ایده مطرح شده در آنها میتواند افزایش بازدهی را به همراه داشته باشد.
- تهیه شرح خدمات مطالعات تفصیلی (در صورت رسیدن به نتایج مطلوب از ارائه ایده پیشنهاد شده) جهت ارائه دستورالعمل کاربردی استفاده از سیستم هیبریدی پیشنهاد شده در قالب یک پروژه زیرمجموعه طرح یا موافقت نامه ای

عنوان پروژه: تدوین دانش فنی ارزیابی عمرباقیمانده دکلهای انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت و اجرای یک نمونه پایلوت	
نوع پروژه: برونسپاری	کارفرما: شرکت توانیر معاونت مربوطه: پژوهشکده انتقال
مدیر پروژه: آرش یگانه فلاح	همکاران پروژه:
مجری پروژه: محمدعلی جعفری صحنه سرائی	درصد پیشرفت پروژه تا انتهای آذر ۱۴۰۱: ۳۹ ٪
تاریخ شروع پروژه: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴
تعداد مراحل پایان یافته: مرحله یک کمیسیون فنی انجام شده، مراحل دوم و سوم در حال بررسی می باشد	
خلاصه: با رشد روز افزون جمعیت، گسترش شهرها، توسعه صنایع، افزایش سرانه مصرف انرژی الکتریکی و وابستگی بخش های مختلف صنعتی، کشاورزی، اقتصادی و خدماتی به این انرژی، لزوم تامین برق به صورت گسترده، مطمئن و پایدار اجتناب ناپذیر است. شریان‌های حیاتی تأسیساتی هستند که خرابی و آسیب وارده به آنها معمولاً بطور مستقیم موجب وارد آمدن صدمه‌های جانی و مالی به افراد جامعه نمی‌شود، اما به لحاظ تأثیرات فاجعه‌آمیزی که بر جریان اقتصادی و تعاملات اجتماعی و شاخص‌های مدنی جامعه از جمله امنیت، بهداشت و غیره می‌گذارد، از درجه اهمیت بسیار بالائی نسبت به سازه‌های متعارف برخوردارند. خطوط انتقال نیرو بعنوان یکی از شریان‌های حیاتی در نقاطی از ایران دارای عمری بیش از ۳۰ سال هستند و همیشه این سؤال مطرح است که «زمان اتمام بهره‌برداری و یا ترمیم و نوسازی خطوط موجود کی فرا می‌رسد؟» ساده‌ترین راه حل این است که به انتظار بروز خرابی بوده و پس از مشاهدهٔ آن، اقدام به رفع خرابی گردد. در این روش علاوه بر هزینه جایگزینی بخش آسیب‌دیده، باعث تحمیل هزینه‌های جانبی قطع شبکه می‌گردد که در قیاس با هزینه نوسازی خط بسیار قابل توجه خواهد بود. راه حل دوم ارزیابی عمر باقی مانده خطوط با استفاده از آمار و اطلاعاتی است که در بازدیدهای دوره‌ای متوالی از خطوط بدست می‌آید. این راه حل موضوع بحث روز محافل علمی خارج از کشور است که سابقه پروژه‌های مشابه در دست انجام به سال ۱۹۹۸ بر می‌گردد. در این پروژه با استفاده از علم آمار و احتمال و تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها و بر مبنای آمار دقیقی که از مشاهدات و پایش سلامت ادواری سازه‌ها و با توجه به سطح اعتمادپذیری که از مجموعه انتظار می‌رود، عمر باقیمانده دکل های خطوط تخمین زده می‌شود.	

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 ذاکرصالحی، صادق خان‌محمدی
مجری پروژه: علی‌اصغر ذکاوتی	درصد پیشرفت پروژه: ۴۲٪
تاریخ شروع پروژه: ۱۴۰۱/۷/۱۵	تاریخ پایان پروژه: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱

-
- 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.
- در این پروژه، کارایی بتن خود ترمیم‌شونده برای استفاده در مخازن صنعت برق با طی مراحل زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:
- شناسایی و معرفی انواع بتن‌های خود ترمیم‌شونده و گردآوری ادبیات فنی و سوابق موضوعی و بررسی وضعیت مخازن بتنی صنعت برق کشور
- مناسب‌ترین بتن خود ترمیم شونده با توجه به خصوصیات مکانیکی و خودترمیمی آن به منظور بکارگیری در مخازن بتنی بخش تولید و دکل‌های تلسکوپی بتنی بخش انتقال صنعت برق انتخاب می‌شود. برای این منظور خصوصیات مکانیکی و خودترمیمی بتن‌های مختلف خودترمیم شونده با توجه به آزمون‌های انجام شده در ادبیات فنی بررسی می‌گردد، با توجه به کاربرد این نوع از بتن‌ها در موارد مشابه، بتن خودترمیم شونده مناسب انتخاب می‌گردد.
- با توجه به بتن خودترمیم شونده انتخاب شده در مرحله قبل، مدلی از یک مخزن متعارف نیروگاهی و یک نمونه دکل تلسکوپی بتنی انتقال نیرو با استفاده از این بتن ساخته و طراحی می‌گردد و سپس با توجه به خصوصیات مکانیکی این بتن تاثیر آن بر سازه مخزن و همچنین دکل مدل شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- نتیاج حاصل از تحلیل دکل تلسکوپی بتنی مدل سازی شده با نتایج دکل معادلی که در آزمایشگاه اراک آزمون نوعی بر روی آن انجام داده شده مقایسه می‌گردد و تاثیر استفاده از این نوع بتن بر روی پاسخ‌های آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- همچنین جهت صحت سنجی رفتار مکانیکی بتن خودترمیم شونده انتخابی، نمونه‌های مقیاس شده از آن ساخته شده و با فرض قبول خصوصیات ترمیم‌پذیری بیان شده در منابع مرتبط نمونه‌ها تحت آزمون‌های مکانیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- امکانسنجی اقتصادی و اجرائی به منظور استفاده از بتن خود ترمیم شونده‌ی پیشنهادی در سازه‌های مخازن بتنی بخش تولید صنعت برق و در خصوص دکل تلسکوپی بتنی به طور موردی انجام می‌گیرد
- الزامات، معیارها و ضوابط طراحی، ساخت و آزمون بتن خودترمیم شونده برای استفاده در مخازن نیروگاهی بخش تولید و دکل‌های تلسکوپی بتنی بخش انتقال صنعت برق ارائه می‌شود.

پروژه های در دست تعریف و تصویب شده گروه پژوهشی سازه های صنعت برق					
عنوان پروژه	مدیر پروژه	کارفرما	مجری پروژه	مدت زمان	وضعیت
تدوین دانش فنی مقاوم سازی دکل‌ها و فونداسیون های انتقال و فوق توزیع نیرو به منظور افزایش ظرفیت خطوط موجود	علی اصغر ذکاوتی	پژوهشگاه نیرو	علیرضا رهنورد	۱۸ ماه	در حال بررسی
پروژه کلان ساماندهی و ارتقاء حفاظت، قابلیت اطمینان و آرایش شبکه انتقال کشور (بخش سازه)	هادی نوروزی	پژوهشگاه نیرو	علیرضا رهنورد	۲۴ ماه	در حال بررسی
مطالعه و بررسی بکارگیری انواع بتن های ویژه جهت ساخت، ترمیم و مقاوم سازی سازه های شبکه انتقال	سلمان رضازاده	پژوهشگاه نیرو	علیرضا رهنورد	۱۲ ماه	در حال بررسی
شناسایی و اولویت‌بندی نیروگاه‌های برق حرارتی دولتی در معرض خطر فرونشست زمین و ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری سازه‌ها در یک نیروگاه با بالاترین اولویت	امیر اکبری گرکانی	شرکت مادر تخصصی نیروگاههای برق حرارتی	علیرضا رهنورد	۲۴ ماه	در حال بررسی
بهره گیری از تکنولوژی و روشهای پی‌بندی (Underpinning) به منظور افزایش ایمنی فونداسیون دکلهای انتقال نیرو در برابر مخاطرات زمینی	امیر اکبری گرکانی	توانیر	علیرضا رهنورد	۱۸ ماه	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	شرکت مادر تخصصی نیروگاههای برق حرارتی	علیرضا رهنورد	۱۸ ماه	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	برق منطقه ای گیلان	علیرضا رهنورد	۷ ماه	تصویب شده

داوری های انجام شده		
عنوان	داور	ارجاع شده
بررسی و اظهار نظر فنی در خصوص "دستورالعمل جامع بارگذاری خطوط انتقال و فوق توزیع نیروی برق ایران"	علی اصغر ذکاوتی سلمان رضازاده محمد علی جعفری	برق منطقه ای گیلان
دستیابی به دانش فنی و ساخت پوشش نانو ساختار مورد استفاده در تیرهای سیمانی	علی اصغر ذکاوتی	گروه پژوهشی مواد غیرفلزی

همکاری اعضای گروه سازه‌های صنعت برق در پروژه‌های جاری پژوهشگاه نیرو			
اعضای گروه	عنوان پروژه/طرح	واحد مجری/کارفرما	سمت در پروژه
محمدعلی جعفری	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاومسازی سازه های انتقال	طرح/ پژوهشکده انتقال	مدیر طرح
	طرح پایش سلامت، ارزیابی و مقاومسازی سازه های تولید	طرح/ پژوهشکده تولید	مدیر طرح
	ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه های نیروگاه رامین اهواز و ارائه راهکارهای بهسازی آنها	طرح توسعه زیرساختها و فناوریهای نوین بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در بخش تولید / شرکت مادر تخصصی تولید برق حرارتی	مجری پروژه
مائده ذاکرصالحی	ارزیابی وضعیت و عملکرد سازه های نیروگاه رامین اهواز و ارائه راهکارهای بهسازی آن ها	شرکت مادر تخصصی برق حرارتی	مدیر پروژه

فعالیتهای آزمایشگاه سازه‌های انتقال نیرو در تابستان و پاییز ۱۴۰۱

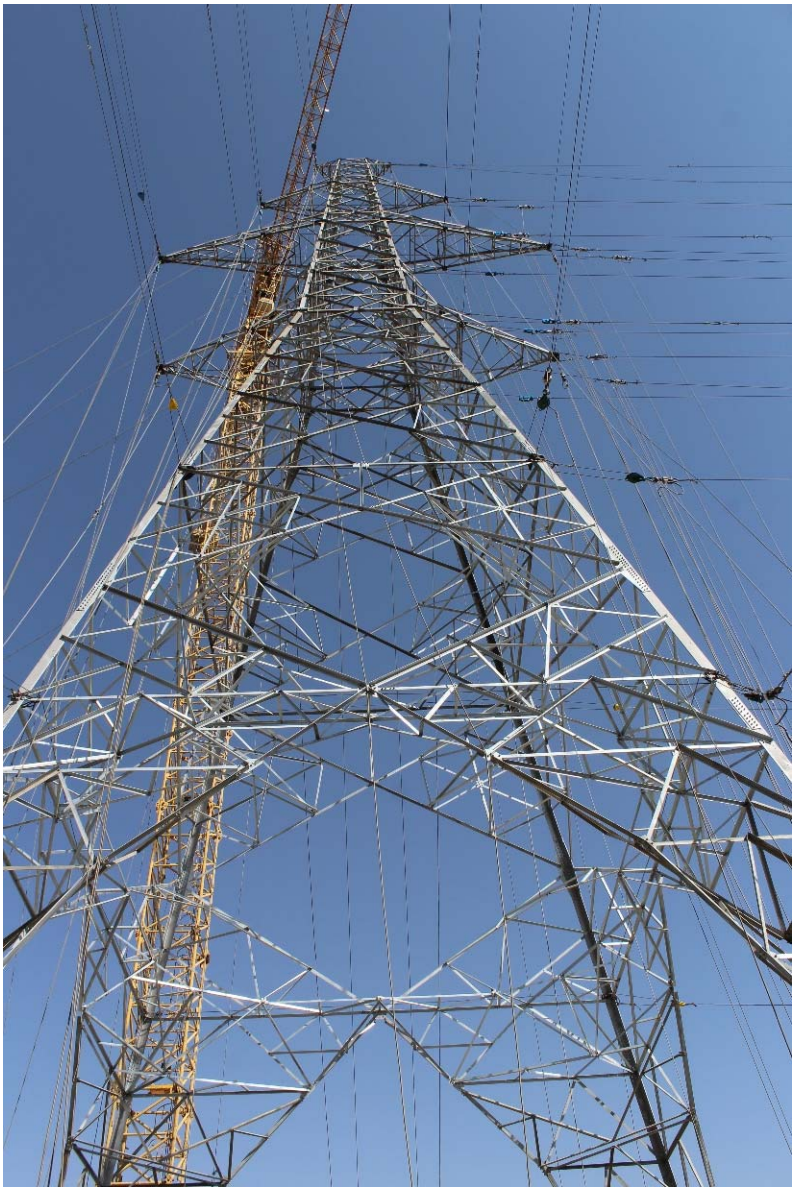
در تابستان و پاییز ۱۴۰۱ سه آزمون نوعی دکل انتقال نیرو انجام پذیرفت که مشخصات این دو دکل مطابق با جدول ۱ می‌باشد، که شکل ۱ الی شکل ۳ تصاویری از دکل برپا شده، نحوه اعمال نیرو ریگینگ دکل را نمایش می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات دکل‌های تست شده و در حال انجام سال ۱۴۰۱

ردیف	نام دکل	وزن طبق قرارداد (تن)	ارتفاع (متر)	تعداد مدار	نوع برج	کارفرمای آزمون	تاریخ انجام تست	تصویر از دکل
۱	*M4T30*	۲۵,۷	۵۵	۴ (۲۳۰ ،۶۳)	مشبک	برق مازندران و گلستان	۱۴۰۱/۰۷/۱۷	شکل ۱ تا ۳
۲	*AA-T*	۱۰,۵	۸	۲*۶۳	تلسکوپی	به در خواست شرکت پارس دکل گستر-جهت قرارگیری در وندور لیست توانیر	۱۴۰۱/۰۸/۱۰	شکل ۴ تا ۵
۳	*BM4S03*	۱۲,۵	۵۲,۸	۴ (۲۳۰ ،۶۳)	مشبک	برق مازندران و گلستان	۱۴۰۱/۰۹/۲۰	شکل ۶ تا ۸

شکل۱. تصویر دکل *M4T30* در حال مونتاژ افقی

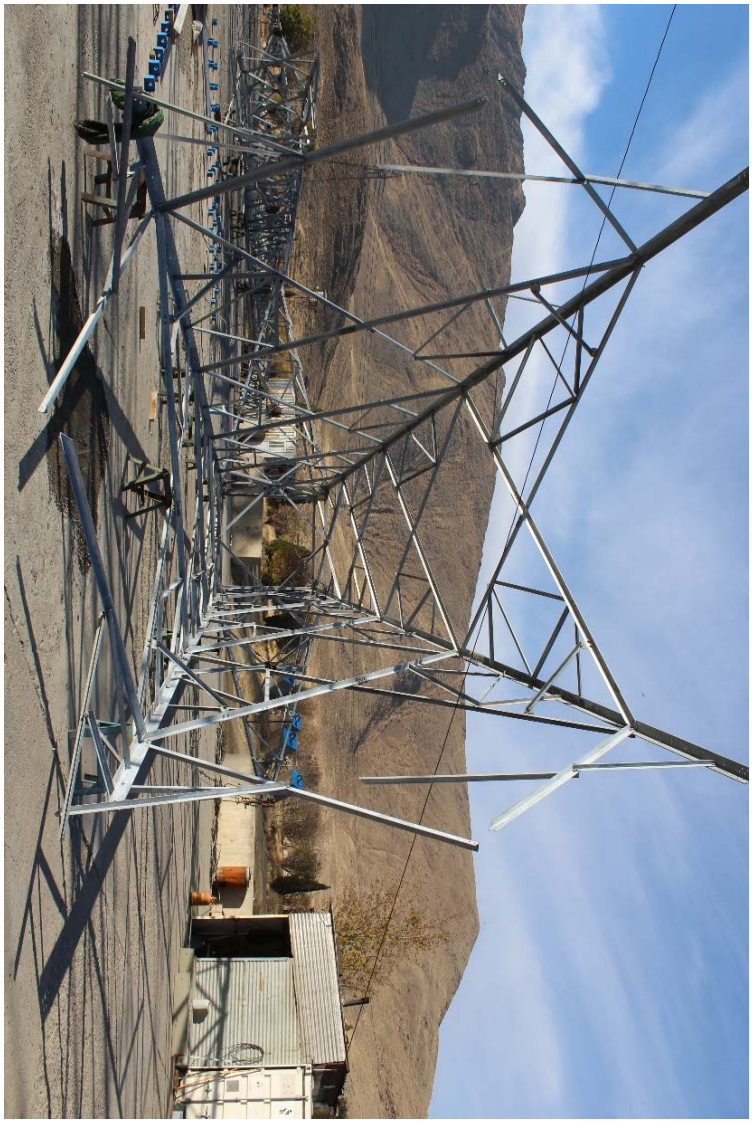
شکل ۲. تصویر دکل *M4T30* در حال مونتاژ قائم



شکل ۳. تصویر ریگینگ دکل *M4T30*

شکل ۴. تصویر دکل *AA-T* در حال مونتاژ قائم

شکل ۵. تصویر ریگینگ دکل *AA-T*



شکل ۶. تصویر دکل *BM4S03* در حال مونتاژ افقی

شکل ۷. تصویر دکل *BM4S03* در حال مونتاژ قائم

شکل ۸. تصویر ریگینگ دکل *BM4S03*

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

جدول ۲. قراردادهای منعقد شده

ردیف	شماره قرارداد	مشتری آزمون	نام دکل	وزن طبق قرارداد (تن)	ارتفاع (متر)	تعداد مدار	نوع برج
۱	STT-01-249	تجهیزات و سازه‌های انتقال سمنان	*TP2-30*	۸,۱	۲۵,۷	۲*۶۳	تلسکوپی
۲	STT-01-250	فراگستر بیستون	*MT4-30*	۱۲,۰	۳۴	۴*۶۳	مشبک
۳	STT-01-252	سازه های فلزی یاسان	*YNN*	۳,۹۲۷	۳۳,۷۴۰	۲*۶۳	مشبک
۴	STT-01-253	پارس دکل گستر	*PNN*	۲,۶	۲۳,۵	۲*۶۳	مشبک

همکاری اساتید دانشگاه‌ها با گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در طرح بهتام (طرح های 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 تاخت‌باد (Galloping) بر دکل‌های انتقال نیرو	خاتمه
۴	دکتر مرتضی مدح خوان	صنعتی اصفهان	بررسی و بهینه سازی برج های خنک کننده نیروگاه های سیکل ترکیبی	خاتمه
۵	دکتر علی نورزاد	شهید بهشتی	ارزیابی ایمنی شمع‌های انرژی تحت بار جانبی	تهیه گزارش مرحله دوم
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 سازه های صنعت برق	عدم تایید
۷	دکتر حمیدرضا توکلی	صنعتی نوشیروانی بابل	ارزیابی خرابی ناشی از انفجار و آتش سوزی در سازه های انتقال فوق توزیع شبکه برق	داوری گزارش سال اول
۸	دکتر سید محسن حائری	صنعتی شریف	پهنه بندی خطرپذیری نیروگاههای تولید برق در استان مازندران بر اثر رخداد زمین لغزش	داوری گزارش سال اول
۹	دکتر مهدی حمیدی	صنعتی نوشیروانی بابل	امکان سنجی ساخت و نصب، و تحلیل و طراحی میراگر ستون مایع-گاز تنظیم شونده در سازه های توربین بادی، دودکش نیروگاه های گازی و برج های خنک کننده نیروگاه های حرارتی	عدم تایید
۱۰	مرضیه جعفری	تفرش	پایش هندسی تغییر شکل سازه توربین بادی براساس تلفیق اندازه‌گیری‌های ژئودتیکی و ابزار دقیق	داوری گزارش سال اول
۱۱	دکتر سید مهدی توکلی	صنعتی شاهرود	توسعه یک مدل عددی برای شناسایی آسیب و پایش سلامت سازههای پوسته ای 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	داوری گزارش سال اول

همکاری اساتید دانشگاه‌ها با گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در طرح بهتام (طرح های مقدماتی)

ردیف		محقق	دانشگاه	عنوان طرح
طرح های 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 کلانتری	پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	توسعه توابع شکنندگی تاسیسات و تجهیزات و ابنیه نیروگاه‌های حرارتی
	۳	دکتر مهناز عبداله 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 قایم و کنترل لرزه‌ای سازه های صنعت برق
طرح های 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 بهسازی 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 موحدیان 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 آن ها آورده شده است.

جلسات گروه پژوهشی سازه‌های صنعت برق در تابستان و پاییز ۱۴۰۱

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۱/۰۴/۱۴	بررسی مسائل آزمایشگاه سازه	مهندس فرضعلی‌زاده، رهنورد، ذکاوتی	دفترپشتیبانی
۱۴۰۱/۰۴/۱۸	گزارش پیشرفت پروژه دکل بتنی	دکتر احمدی، جعفری، مهندس رهنورد، همتی و ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۴/۲۶	بررسی پیشرفت پروژه دکل بتنی	دکتر اسدی، جعفری، ذکاوتی،خ نظری	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۰۲	تبادل نظراجرای پایلوت تخمین عمر دکلهای انتقال نیرو ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	دکتراحمدی، تقی خانی، یگانه، جعفری، رهنورد، ذکاوتی،نمایندگان برق منطقه‌ای	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۰۳	تصویب عنوان پروژه ll	دکتر جهانگیری، جعفری، اکبری، بخشی مهندس آسایش، تشیعی،سربندی فراهانی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۰۳	بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۱۰	تعریف پروژه افزایش ظرفیت خطوط انتقال	دکتر فلاحی، جعفری، صفائی و مهندس رهنورد	دفتر پژوهشکده انتقال
۱۴۰۱/۰۵/۱۰	پروژه مقاوم سازی ترانسها	دکتر جعفری، خلوتی	دفتر دکتر خلوتی
۱۴۰۱/۰۵/۱۵	پروژه دکل موقت آلومینیوم (شرکت دلیکو)	دکتر جعفری، نماینده شرکت دلیکو	دفتر دکترجعفری
۱۴۰۱/۰۵/۱۹	پروژه ll	دکتر اکبری، مهندس آسایش، رهنورد	دفترمهندس آسایش
۱۴۰۱/۰۵/۲۲	جلسه بازنگری بودجه پروژه نیروگاه رامین	مهندس آسایش، سربندی فراهانی، رهنورد، دکتربخشی، ذاکرصالحی،جعفری	دفترمهندس آسایش
۱۴۰۱/۰۵/۲۴	شورای سیاستگزاری آزمایشگاهها بررسی نامه توانیر درخصوص تعرفه آزمون	اعضای شورا، مهندس مرجانمهر، رهنورد،خانم دکتر ریاحی	سالن جلسات ط۳ساختمان فناوری
۱۴۰۱/۰۵/۲۵	جلسه ماهانه پروژه ارزیابی عملکرد تخمین عمر دکلهای انتقال نیرو ۲۳۰ و۴۰۰شر	دکتر تقی خانی، یگانه، جعفری، مهندس رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۲۵	جلسه ماهانه بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۵/۲۶	جلسه تعرفه آزمون پایه‌های روشنایی دکلهای انتقال برق	دکترحسنی، نصیری، فرهادی، رضاخانی، یگانه	دفتر معاون پژوهشی

جلسات و نشست های تخصصی

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۱/۰۵/۲۹	تعریف پروژه ll	دکترجهانگیری، بخشی اکبری، مهندس آسایش، فراهانی، رهنورد، خانمها مهندس رحمانی، منصوری	سالن کنفرانس ط ۲ شهیدعباسپور
۱۴۰۱/۰۶/۰۷	شورای سیاستگزاری آزمایشگاهها	اعضای شورا، مهندس رهنورد	سالن کنفرانس ط ۲ شهیدعباسپور
۱۴۰۱/۰۶/۰۹	وبینار دانش فنی اثر فرونشست برعملکرد فونداسیون تجهیزات و سازه‌های شبکه..	دکتر اکبری	مجازی
۱۴۰۱/۰۶/۱۲	ارائه گزارش مالی مرتبط با آزمایشگاه سازه ومبحث بالاسری	دکترحسنی، نصیری، فرضعلی‌زاده، گودرزی، رهنورد	دفتر معاون پژوهشی
۱۴۰۱/۰۶/۱۶	بررسی ونهایی سازی فریم ورک ارزیابی عمرباقیمانده دکلهای انتقال نیرو۲۳۰ و۴۰۰شر	دکتر تقی خانی وهمراهان، یگانه، جعفری	دفتر دکترجعفری
۱۴۰۱/۰۶/۲۰	جلسه درخصوص مجله انرژی برق	دکتر چیت چیان،...، یگانه	سالن دکتر رنجبر
۱۴۰۱/۰۶/۲۲	نیازسنجی آموزشی گروه سازه	دکتر اکبری، جعفری، رهنورد، صفری، خانمها اصغرزاده و صفریان	سالن کنفرانس ط ۲ شهیدعباسپور
۱۴۰۱/۰۶/۲۷	بررسی برنامه ارائه شده در راستای سبدمحصولات شاخص‌های ارزش آفرین و پروژه‌های مرتبط	معاونان پژوهشی و فناوری، مدیران گروه و معاونان	سالن دکتر رنجبر
۱۴۰۱/۰۶/۲۷	پروژه دکل موقت	دکتر علیرضاپور، جعفری، رهنورد	توانیر
۱۴۰۱/۰۶/۲۸	جلسه ماهانه بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۶/۲۸	شورای سیاستگذاری آزمایشگاهها	اعضای شورا، مهندس رهنورد	سالن کنفرانس ط ۲ شهیدعباسپور
۱۴۰۱/۰۶/۳۰	تجاری سازی تسهیلگران	دکتر جعفری، مهندس ذکاوتی و رضازاده	سالن حافظ
۱۴۰۱/۰۷/۰۲	پرزنت شرکت رسیس درخصوص تست دکل بتنی	نماینده شرکت رسیس، مهندس رهنورد، ذکاوتی، دکتر جعفری، یگانه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۷/۰۴	تعریف پروژه اثرات فرونشست برنیروگاههای برق حرارتی	مهندس تشیعی، رهنورد، دکترجعفری، اکبری	سالن جلسه ط ۱برق حرارتی
۱۴۰۱/۰۷/۰۶	بازدید از پست کن	مهندس رهنورد، دکتر جعفری	پست کن

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۱/۷/۰۹	ماموریت به برق منطقه‌ای مازندران	مهندس رهنورد، دکتر جعفری	برق مازندران
۱۴۰۱/۰۷/۱۷	بازدید از پست وردآورد	دکتر جعفری، یگانه	پست وردآورد
۱۴۰۱/۰۷/۱۸	جلسه ماهانه گروه	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۷/۱۹	بازدید از پست تهران پارس	دکتر جعفری، یگانه	پست تهران پارس
۱۴۰۱/۰۷/۲۰	جلسه با شرکت لرزه نگار پارسیان ابزارهای اندازه‌گیری ترکهای سازه‌های پایه بتنی (پایش سلامت دکلها)	مهندس سیف‌پور، ذکاوتی، دکتر جعفری، یگانه	دفتر دکترجعفری
۱۴۰۱/۰۷/۲۳	بازدید از پست فیروزبهرام	دکتر جعفری، یگانه	پست فیروزبهرام
۱۴۰۱/۰۷/۲۶	ماموریت به آزمایشگاه سازه	دکتر جعفری، یگانه	آزمایشگاه سازه
۱۴۰۱/۰۷/۲۷	جلسه ماهانه بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۷/۲۷	جلسه با شرکت دمیکو	مهندس رهنورد، دکتر جعفری	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۷/۳۰	جلسه درخصوص آزمایشگاه سازه	مهندس رهنورد، ذکاوتی، یگانه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۸/۰۱	جلسه ماهانه پروژه ارزیابی عملکرد تخمین عمر دکلهای انتقال نیرو ۲۳۰ و۴۰۰شر	دکتر تقی خانی، یگانه، جعفری، مهندس رهنورد، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۸/۰۳	جلسه با شرکت نیروتل	مهندس نمیرانیان، رهنورد، ذکاوتی، دکتر جعفری	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۸/۰۴	جلسه طرح پایش سلامت سازه‌ها	دکتر علیپور، جعفری، اکبری	توانیر
۱۴۰۱/۰۸/۰۷	جلسه درخصوص پروژه شمع انرژی وادامه آن، ساعات شارژشده کارشناسان	دکتر حسنی، مهندس رهنورد	دفتر معاون پژوهشی
۱۴۰۱/۰۸/۱۰	جلسه بررسی تعرفه آزمون دکل	دکترحسنی، فرهادی، رضاخانی، گودرزی، مهندس رهنورد	دفتر معاون پژوهشی
۱۴۰۱/۰۸/۱۱	جلسه بررسی ریسک نیروگاه	دکتر جعفری، ذاکرصالحی، ذکاوتی	دفتر دکتر جعفری،
۱۴۰۱/۰۸/۱۶	نشست تخصصی فرونشست تهران	دکتر اکبری، اعضای شورای اسلامی شهر تهران	شورای اسلامی شهر تهران
۱۴۱/۰۸/۱۷	ارائه پروژه تدوین برنامه راهبردی و ساختار پژوهشگاه	مهندس فرضعلی راده، رهنورد، لاری، یاوری، برهمندپور، مجیدرضایی، جلالی،..	دفتر مهندس چیت‌چیان

جلسات و نشست های تخصصی

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۱/۰۸/۱۸	جلسه ماهانه گروه (آبانماه)	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۸/۱۸	پرزنت نرم افزار آلمانی	مهندس رهنورد، دکتر جعفری، فلاحی،...	سالن جلسه ریاست
۱۴۰۱/۰۸/۱۸	جلسه درخصوص دکل بتنی با قدس نیرو	مهندس ذکاوتی، مهندس فتحی	شرکت قدس نیرو
۱۴۰۱/۰۸/۲۲	جلسه کمیته فنی وتخصصی توسعه خطوط انتقال(دکل بتنی تک پایه خطوط ..)	دکتر جعفری ، مهندس ذکاوتی، اعضاء کمیته	توانیر-معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد
۱۴۰۱/۰۸/۲۵	جلسه سیاستگذاری پژوهشکده انتقال	مهندس فرضعلی راده، رهنورد، ریاحی، جمشیدی، صفایی، مجیدرضایی، فلاحی، قدیری، مسلمی، بزی، فرهادی	سالن ط۲عباسپور
/۰۸//۲۹ ۱۴۰۱	بازدید از پست وردآورد	دکتر جعفری، اکبری	پست وردآورد
۱۴۰۱/۰۸/۳۰	جلسه ماهانه بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۹/۰۱	جلسه فرونشست (نامه وزارت نیرو)	مهندس رهنورد، ذکاوتی، دکتراکبری، جعفری	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۹/۰۲	جلسه پروژه ریسک	مهندس رهنورد، ذکاوتی، دکتر جعفری، ذاکرصالحی، مهندس تشیعی	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۹/۰۶	جلسه آزمایشگاه برجهای انتقال	دکترتقوایی، حسنی، فرهادی، رضاخانی، گودرزی، رهنورد	توانیر-دفتر دکتر تقوایی
۱۴۰۱/۰۹/۰۶	جلسه لرزه‌گیر (جداساز) ترانس قدرت با ایران ترانسفو	دکتر ذاکرصالحی، جعفری، یگانه فلاح، نوروزی	مجازی
۱۴۰۱/۰۹/۱۶	ساخت برجهای مشبک فلزی دکلهای انتقال نیرو	مهندس رهنورد ، دکترجعفری، نمایندگان برق گیلان، گام، مشانیر، قدس نیرو، مونتکو	توانیر-معاونت برنامه ریزی واموراقتصادی
۱۴۰۱/۰۹/۲۰	جلسه ماهانه گروه (آذر ماه)	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۹/۲۱	جلسه آزمونهای نوعی انتقال و فوق توزیع	دکترحسنی، فرهادی، رضاخانی، گودرزی، مهدیزاده، شمسی و رهنورد	دفتر معاون پژوهشی
۱۴۰۱/۰۹/۲۳	جلسه تعرفه‌ها	دکترعمیدپور، حسنی، فرهادی، رهنورد	دفتر ریاست
۱۴۰۱/۰۹/۲۶	جلسه سیاستگذاری پژوهشکده توزیع	معاونین، مدیران گروهها،....	سالن جلسات ط۳ ساختمان چمران

تاریخ جلسه	موضوع جلسه	افراد حاضر / ارائه‌دهنده	مکان
۱۴۰۱/۰۹/۲۷	جلسه ماهانه بررسی پیشرفت پروژه اثرات فرونشست طرح	دکتر صادقی، اکبری، جعفری،مهندس حسنی، ذکاوتی	مجازی
۱۴۰۱/۰۹/۲۸	شورای سیاستگذاری آزمایشگاهها	اعضای شورا، مهندس رهنورد	سالن کنفرانس ط ۲ شهیدعباسپور
۱۴۰۱/۰۹/۲۸	جلسه ارزیابی و بررسی نتایج برداشتها پارس ساختار	مهندس رهنورد، ذکاوتی، یگانه فلاح	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۹/۲۹	جلسه سیاستگذاری پژوهشکده انتقال و توزیع	اعضای گروه	دفتر گروه
۱۴۰۱/۰۹/۳۰	جلسه شورای سیاستگذاری پژوهشکده انتقال	معاونین، مدیران گروهها،....	سالن جلسات ط۳ ساختمان چمران
۱۴۰۱/۰۹/۳۰	جلسه مشورتی تهیه پروپوزال طراحی نیروگاهها و مشخصات فنی معماری	مهندس تشیعی، دکتر ذاکرصالحی، جعفری، اکبری	برق حرارتی-دفتر مهندس تشیعی