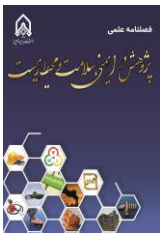
فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست / سال ۱۴۰۴/ دوره ۳/ شماره ۳/ صفحه ۱۱-۲۷

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست



شناسایی و ارزیابی مخاطرات فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی احداث تجهیزات برق‌رسانی در ایستگاه‌پمپاژهای سامانه‌ی خط انتقال آب به روش FMEA

میرحسین فرهنگی[۱]، نادر احمدزاده خسروشاهی[۲]، میرحسام فرهنگی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدروویکی، دانشکده فنی و مهندس دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارس، شهر جلفا، شهرستان مرند، استان آذربایجان شرقی، کشور ایران

۳- دانشکده ی فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارس، شهر جلفا، شهرستان مرند، استان آذربایجان شرقی، کشور ایران.

چکیده

یکی از روش‌های پیشگیری از بروز حوادث گوناگون حین کار در فازهای ساخت، نصب و راه‌اندازی خطوط انتقال برق می‌تواند انجام ارزیابی مخاطرات‌های مخاطرات فعالیت‌های مربوط به آن باشد. هدف از این پژوهش انجام ارزیابی مخاطرات مخاطرات فعالیت‌های پروژه‌ی احداث خطوط انتقال برق ایستگاه‌های‌پمپاژ خط انتقال آب در فاز اجرا میباشد. در این تحقیق جهت انجام ارزیابی مخاطرات از روش تجزیه و تحلیل حاالت شکست و تحلیل اثرات آن استفاده شد و پس از تعیین عدد ضریب اولویت مخاطرات و شناسایی تجهیزات با اولویت خطر بالا، مرحله‌ی بعدی جهت اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه و اقدامات کنترلی به وزن دهی مخاطرات‌های پُرخطر پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد خطر برق گرفتگی، کار در ارتفاع، سقوط افراد و اجسام، برخورد با ماشین‌آلات و تجهیزات و انفجار و آتش‌سوزی با عددریسک درمحدوده‌ی۲۵۱ و ۳۵۰ و برق‌گرفتگی تجهیزات معیوب، جابجایی اجسام سنگین، پارگی سیم بکسل و گرمازدگی با عددریسک درمحدوده‌ی۱۵۱ و ۲۵۰ فاجعه‌بارترین و پُرخطرترین هستند. درنهایت هم خطر خستگی ناشی از کار و ارگونومی نامناسب برای فعالیت تهیه‌ی نقشه‌های ازبیلت و چون‌ساخت هم با عددریسک درمحدوده‌ی۴ تا ۸ کم‌خطرترین‌ها ارزیابی و معرفی می‌گردد. از نتایج این پژوهش می‌توان جهت پیشگیری از حوادث پروژه‌های خطوط انتقال برق در صنعت برقرسانی، صنعت آب‌وفاصلاب و صنایع نفت و گاز استفاده نمود. همچنین تمرکز بر روی مهم‌ترین خطرات مانع از اتلاف زمان و همچنین کاهش هزینه‌های مربوط به پروژه‌ها گردیده و موجب اثربخشی اقدامات کنترلی فعالیت‌ها می‌گردد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

*نویسنده مسئول:
mirhosseinfarahangi135@gmail.com

کلید واژه‌ها:

ارزیابی مخاطرات،

روشFMEA،

مخاطرات سیستم‌های برق رسانی،

ایستگاه پمپاژ،

خطوط انتقال برق.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

۱- مقدمه

صنعت برق، بعنوان زیربنایی در توسعه و پیشرفت کشور در تامین انرژی مورد نیاز صنعت و مصرفی مردم محسوب می شود. طبق گزارش اداره‌ی اطلاعات انرژی آمریکا، سالانه بیش از چهاربیلیون وات ساعت برق در ایالات‌متحده در خدمت رسانی به بیش از ۳۰۰میلیون نفر بوده و از طریق خطوط انتقال و توزیع منتقل می‌گردد. بایستی توجه داشت که ولتاژ اسمی خطوط انتقال که حتی تا ۷۵۰کیلوولت نیز می‌رسد، می‌تواند بهنگام تماس با آن‌ها، باعث مرگ آنی نیز گردد. کارگران درگیر در احداث، تعمیر و نگهداری از خطوط انتقال و توزیع برق همواره در معرض خطر بسیار زیاد برق گرفتگی هستند. طبق آمار بنیاد بین‌المللی ایمنی برق، تماس با خطوط برق هوایی، بطور متوسط عامل چهل‌وسه درصد از تمام حوادث الکتریکی بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۹ بوده است. از دیگر علل عمده‌ی حوادث الکتریکی شغلی می‌توان تماس با سیم‌کشی، ترانسفورماتورها یا دیگر اجزای الکتریکی (در حدود ۲۷درصد) و تماس با جریان‌الکتریکی ماشین‌آلات، ابزارها، تجهیزات برقی خانگی، تجهیزات روشنایی عامل(در حدود ۱۷درصد) از جمله برق گرفتگی‌ها عنوان نمود. بنیاد بین المللی ایمنی برق بیان کرده است که پیمانکاران احداث بالاترین نرخ حوادث الکتریکی را در میان تمام مشاغل به خود اختصاص داده‌اند. در صنعت ساخت و ساز، جریان برق عامل حدود هفده‌درصد از تلفات، کارگران ساخت‌وساز به میزان نه درصد و سقف‌سازان، نقاشان، نجاران و کارگران تعمیرو نگهداری هفت‌درصد از حوادث برق‌گرفتگی را به خود اختصاص داده‌اند. اثرات جراحات الکتریکی خطوط انتقال و توزیع قابل توجه هستند و نتیجه‌ی تماس سهوی با خطوط اغلباً جراحت‌های شدید به ارگان‌های داخلی بدن، اختلالات اسکلتی عضلانی، آسیب عصبی و سوختگی‌های شدید یا مرگ است. چنین صدماتی در طولانی مدت، آسیب‌های جسمی و روحی جبران‌ناپذیری به کارگران و خانواده‌های آنان وارد می‌کند. علاوه بر این، آسیب‌ها و مرگ‌ومیرها آثار قابل توجهی در هزینه‌های اقتصادی از قبیل افزایش حق بیمه ها، هزینه‌های پزشکی، غرامت، کاهش تولید، بهره‌وری، هزینه‌های اداری و سایر هزینه‌ها خواهد داشت. بایستی اذعان نمود براساس گزارشات ارایه شده در سال‌های اخیر در بخش‌های احداث خصوصی، مبلغی در حدود یازده‌ونیم‌میلیارد دلار به صدمات کشنده و غیرکشنده در سال اختصاص یافته است که حیطه‌ی برق‌گرفتگی در معرض خطوط انتقال و توزیع برق بخش عمده‌ای از این میزان را دربر گرفته است. درواقع بطور متوسط هزینه‌ی ناشی از مرگ و میر در هر حادثه‌ی برقی در حدود چهارمیلیون دلار و هزینه‌ی زمان ازدست رفته برای هر حادثه‌ی ناشی از کار چهل‌ودوهزارودویست‌وهفت دلار اعلام گردیده است. با وجود آسیب‌های فراوان و نرخ مرگ‌ومیرهای شدید و اثرات مالی و فردی بسیار زیاد، حوادث الکتریکی ناشی از خطوط انتقال و توزیع دائماً نرخ رشد هشداردهنده-ای را دارد. تمام یا بخش عمده‌ای از انرژی الکتریکی یک شهر یا منطقه‌ای خاص از طریق یک خط انتقال یا توزیع برق و اجزای آن تامین می‌گردد. لذا در صورت بروز خطا در تجهیزات حساس انتقال برق باعث به وجودآمدن خاموشی‌های گسترده‌ای در یک شهر یا منطقه‌ی خاص می‌شود که می‌تواند خسارت‌ها و تبعات جبران‌ناپذیری را در پی داشته باشد. با توجه به اهمیت این موضوع شرکت‌های برق‌منطقه‌ای درتلاش بوده‌اند که با انجام اقداماتی پیشگیرانه و کنترلی این خاموشی‌ها را به حداقل یا صفر برسانند [۱ و ۲].

یکی از روش‌های پیشگیری از بروز حوادث در زمینه‌ی خطوط انتقال برق انجام ارزیابی خطر مرتبط با فازهای ساخت و راه اندازی این پروژه‌ها می‌باشد. با توجه به ماهیت اصلی صنعت برق یعنی الکتریسیته و پتانسل خطری که برای نیروهای انسانی فعال در آن نهفته است، همواره ایمنی و استانداردهای مربوطه مورد توجه و عمل برنامه‌ریزان صنعت بوده است. به منظور آگاهی از وضعیت موجود سیستم‌های ایمنی و اطلاع از پیشرفت و یا افت عملکرد آنها، بایستی پایش مداومی از عملکرد این سیستم‌ها داشته باشیم. از این‌رو مدیریت خطرات فعالیت‌ها، از جمله‌ی مهم‌ترین اقداماتی است که در پروژه‌های صنعتی باید انجام شود. هدف از این فرآیندها به حداقل رساندن اثرات خطرات روی اهداف پروژه با حذف یا کاهش خطرات می‌باشد. در طول دهه‌ی گذشته، محققان زیادی روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل خطرات در صنعت پیشنهاد داده اند. براساس

آمار سازمان پزشک قانونی کشور در حدفاصل سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ در حدود شش هزاروهشتصدوهفتادوشش نفر بعلت برق‌گرفتگی در کشور جان خود را از دست دادند. آمار ارایه شده در ایران نشان از روند صعودی برق‌گرفتگی در دهه‌ی هشتاد دارد [۱ و ۲].

هدف از این تحقیق شناسایی خطرات فعالیت‌های مربوط به فاز عملیات اجرایی مربوط به نصب و تست و راه‌اندازی خطوط انتقال برق از پست‌های فوق توزیع به ایستگاه پمپاژهای سامانه‌های خطوط انتقال آب می‌باشد.

روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست برای اولین بار در سال هزاروچهل‌ونه توسط ارتش آمریکا مورد استفاده قرار گرفته و اولین کاربرد این روش در صنایع هوایی ایالات‌متحده‌ی آمریکا بوده است. این روش اولین بار بعنوان ابزاری برای پیشگیری از اشتباهات و خطاهای غیرقابل جبران مطرح گردید. بایستی اذعان داشت که این روش یک فن مهندسی به منظور مشخص نمودن و حذف خطاها، مشکلات و اشتباهات بالقوه‌ی موجود در سیستم‌ها، فرآیند تولید و ارایه‌ی خدمات قبل از وقوع خطرها می‌باشد. این روش می‌کوشد تا حدممکن خطرات بالقوه‌ی موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی خطرات انجام می‌گیرد و نیز علل و اثرات مرتبط با آن خطرات را شناسایی و اولویت‌بندی نماید. این روش امروزه جزء استانداردهای نظامی ایالات‌متحده‌ی آمریکا بوده و تحت عنوان MIL-STD-1629 شناخته می‌شود [۴].

۲- روش تحقیق

روش‌های گوناگونی برای شناسایی و ارزیابی خطرات وجود دارد که هر یک از این روش‌ها مزایا و معایبی نیز دارند. براساس بررسی‌های انجام گرفته، از روش‌های مختلفی برای ارزیابی خطرات در صنایع استفاده گردیده و امروزه، بکارگیری دو یا چند روش ارزیابی خطر در کنار همدیگر و بصورت مکمل در دنیا مرسوم می‌باشد و بهره‌گیری از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چندشاخصه نیز با استفاده از روش‌های اختصاصی موجود صورت می‌گیرد. درحال حاضر پژوهشگران بسیاری برای افزایش اعتبار مطالعات خود و همچنین دستیابی به نتایج دقیق‌تر، از این روش‌ها استفاده می‌کنند. درمیان تکنیک‌های مختلف، تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست به دلیل درنظر گرفتن احتمال شناسایی خطرات از دقت لازم برخوردار است. در این مقاله به شناسایی و ارزیابی خطرات ناشی از فعالیت‌های مرتبط با خطوط انتقال برق در پروژه خط لوله انتقال آب پرداخته شد و پس از تعیین مخاطرات غیرقابل‌قبول، اولویت‌بندی این مخاطرات با روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گردید. این روش از طریق بهینه‌سازی فرآیندها و محصولات، به کاهش چشم‌گیر خسارات مادی و صدمات انسانی ناشی از حوادث می‌شود. تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست سازوکار ارزیابی خطرات تحلیلی و استقرایی است که می‌کوشد تا درحد ممکن خطرها و شکست‌های بالقوه موجود و همچنین علل و اثرهای مرتبط با آن را، شناسایی و رتبه‌بندی نماید [۴ و ۵].

به منظور شناسایی خطرات ایمنی و بهداشت شغلی مرتبط با فعالیت‌های سیستم انتقال برق و تجهیزات برق‌رسانی این پروژه و اقدامات اصلاحی مرتبط فرم شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک توسط محققان این مقاله با همکاری مدیران واحد مهندسی پروژه‌ی انتقال آب از دشت تهلاب به شهر زاهدان و با توجه به فعالیت‌های مرتبط با هر واحد و با در نظر گرفتن فعالیت‌های عادی و غیرعادی واحدها، تدوین و در فازهای مروبطه تکمیل گردیده است. این فعالیت‌ها به‌صورت کلی شامل کلیه‌ی فعالیت‌های کارکنان، پیمانکاران، بازدیدکنندگان و سایر مراجعان به شرکت می‌باشد. جهت شناسایی خطرات در این پژوهش به خطرات ناشی از فعالیت‌ها، تجهیزات و محیط توجه گردیده و فرم‌های تکمیل شده توسط عوامل اجرایی پروژه، مجدداً توسط محققان مورد بازنگری و بررسی قرار گرفته و پس از تصویب نهایی توسط آنها مورد ارزیابی و پایش با استفاده از روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست قرار گرفته است. شایان ذکر است در این روش اجرایی پیامدهای حاصل از تأثیر عوامل زیان‌آور محیط کار و حوادث در فرم‌های تدوین شده و مشخصی ثبت گردیده است.

۳- مراحل و روش شناسایی و ارزیابی مخاطرات

مراحل ارزیابی خطر انجام شده در این تحقیق بدین ترتیب بوده است که در گام اول شناسایی و ارزش‌گذاری خطرهای ابتدایی خطوط انتقال برق و تجهیزات مورد استفاده در آن از

طریق روش دلفی ۱ صورت گرفت. پس از آن حاالت نقص و خطای هر یک از تجهیزات که منجر به بروز مشکلات فنی و اشکال در سایر تجهیزات و همچنین بروزصدمات می‌گردد، شناسایی شدند. در نهایت خطرات بدست آمده به جهت ارزش‌گذاری در جداولی که پیشتر تهیه شده بود درج گردید. در این تحقیق به منظور ارزش‌گذاری خطرات روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست با استفاده از جداولی مربوطه که در دسترس می‌باشند، انجام گرفت. جهت ارزیابی و تعیین سطح خطرات در این تحقیق بدین ترتیب عمل گردید که ابتدا با توجه به جدول شماره‌ی یک مربوط به مولفه‌های احتمال وقوع خطر ۲ تعیین و امتیاز مربوطه در ستون احتمال وقوع در جدول ارزیابی ثبت گردید[۱و۲].

با توجه به جدول شماره‌ی دو نتیجه و پیامد ناشی از خطر ۳ تعیین و امتیاز مربوطه در ستون پیامد در جدول ارزیابی ثبت گردید. بدین ترتیب حاصل‌ضرب پارامترهای ارزیابی خطرات در ستون امتیاز خطر ثبت گردید. بایستی توجه داشت که سطح خطرات تعیین شده و در ستون‌های مربوطه ثبت میگردد(خطرات بالا با شاخص پیامد معادل هفت و امتیاز خطر بیست‌وسه به بالا با حرف لاتینH نمایش داده شد، خطرات متوسط با شاخص پیامد معادل پنج تا شش و امتیاز خطر بین سیزده تا بیست‌وسه با حرف لاتینM نمایش داده شد، خطرات پایین با شاخص پیامد کمتر از پنج و امتیاز خطر کمتر از دوازده با حرف لاتینL نمایش داده شد). در ادامه، عدد اولویت خطر از حاصل‌ضرب سه مولفه‌ی شدت خطر۴، احتمال وقوع خطر ۵و کشف خطر ۶ برای تمامی خطرهای شناسایی شده محاسبه گردید.

در این تحقیق فعالیت‌های مربوط به ساخت، تجهیز، نصب، راه‌اندازی و نگهداری از سیستم انتقال برق و تجهیزات برقرسانی ایستگاه‌پمپاژهای سامانه‌ی انتقال آب در فاز عملیات اجرایی براساس ساختار شکست آن‌ها تعیین و مخاطرات هر فعالیت نیز به تفکیک شناسایی گردیده است.

به منظور شناسایی مخاطرات هر یک از فعالیت‌ها علاوه بر تجربیات عوامل اجرایی، مشاهدات عینی در محل پروژه، ثبت سوابق پیشین، سوابق نمونه‌های مشابه، بهره‌گیری از تجربیات دیگر پروژه‌ها و اظهارنظر و قضاوت‌های مهندسی ملاک بر تصمیم گیری قرار گرفت. درنهایت با استفاده از انحراف معیار پخش شدگی مقادیر عدد اولویت خطر حول مقدار میانگین محاسبه شد و حد پایین و حد بالای خطرها بدست آمد و پس از آن خطرهایی که در محدوده‌ی بالای سطح خطر مشخص شد و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی خطرها اولویت‌بندی گردید. فعالیت‌هایی که عدد خطر آنها بالا باشد می‌بایستی سریعاً دلیل آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و نسبت به حذف عامل خطر، پذیرش و کنترل و پیشگیری از وقوع خطر یا توقف عملیات اجرایی مربوطه اقدام لازم در نظر گرفته شود. همچنین پرامتر احتمال کشف خطر نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به منظور شناسایی یک علت یا سازوکار وقوع خطر وجود دارد. بعبارتی دیگر احتمال کشف خطر همان توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن می‌باشد و در این تحقیق در جدول شماره‌ی سه ارایه گردیده است. ناگفته نماند بررسی فرآیندهای کنترلی استانداردها الزامات و قوانین کار و نحوه‌ی اعمال آن‌ها برای دست یافتن به این عدد بسیار مفید و الزامی خواهد بود.

جدول شماره‌ی سه مربوط به مولفه‌های کشف خطر در این تحقیق جهت امتیازدهی به خطراتی که تقریباً بطور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود و خطراتی که هیچ کنترلی بر روی آن‌ها وجود نداشته و یا درصورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نبوده-ایم برای فعالیت‌هایی که در این تحقیق مورد ارزیابی و پایش قرار گرفته مورد استفاده قرار داده‌ایم.

1 Delphi Method
2 Likelihood
3 Consequence
4 Severity
5 Occurance
6 Detection

جدول۱. مربوط به مولفه‌های نتیجه و پیامد ناشی از خطر(شدت خطر) - پارامتر S

پیامد	امتیاز
فاجعه‌آمیز، مرگ‌ومیر بیش از یک نفر، توقف عملیات بیش از ۲۴ ساعت یا خسارت به تجهیزات از ۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال به بالا	۷
مرگ یک نفر، توقف بخش‌هایی از عملیات یا خسارت به تجهیزات بین ۲,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ریال تا ۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	۶
نقص عضو یا ایجاد بیماری مزمن یا خسارت به تجهیزات بین ۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال تا ۱۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	۵
آسیب بطور نسبتاً شدید با عوارض طولانی بدون ناتوانی دایم یا خسارت به تجهیزات بین ۵۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال تا ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰ریال	۴
آسیب متوسط با عوارض کوتاه مدت و ازدست‌دادن روزکاری بین سه تا ده‌روز یا خسارت مالی بین ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال تا ۵۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	۳
آسیب جزئی با از دست دادن روز کاری کمتر از سه‌روز یا خسارت مالی کمتر از ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال	۲
آسیب کاملاً ناچیز بدون ترک محل کار یا بدون خسارات مالی به تجهیزات	۱

جدول۲. مربوط به مولفه‌های احتمال وقوع خطر – پارامتر O

احتمال وقوع	امتیاز
احتمال بروز آن در شرایط عادی کار وجود دارد یا میزان مواجهه‌ی افراد بیش از شصت‌درصد شیفت‌کاری باشد	۵
وقوع آن بر اثر بی‌احتیاطی فرد با خرابی تجهیز است و یا میزان مواجهه‌ی افراد بین ۳۰درصد تا ۶۰درصد شیفت‌کاری باشد	۴
احتمال بروز آن در شرایط تصادفی و غیرعادی نظیر انجام تعمیرات وجود دارد و میزان مواجهه‌ی افراد کمتر از ۳۰درصد باشد	۳
در چند سال گذشته سابقه نداشته ولی احتمال آن وجود باشد	۲
احتمال وقوع آن فقط در شرایط اضطراری و خارج از کنترل وجود داشته باشد	۱

جدول۳. مربوط به مولفه‌های کشف خطر(احتمال کشف خطر) – پارامتر D

احتمال کشف خطر	قابلیت کشف	امتیاز
هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست	مطلقاً هیچ	۱۰
احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل های موجود خطر ردیابی و آشکار شود	خیلی ناچیز	۹
احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود	ناچیز	۸
احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود	خیلی کم	۷
احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود	کم	۶
در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	متوسط	۵
احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	نسبتاً زیاد	۴
احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود	زیاد	۳
احتمال خیلی زیاد وجود دارد	خیلی زیاد	۲
تقریباً بطور حتم با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می شود	تقریباً حتمی	۱

۴- روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالت شکست (FMEA)

پس از شناسایی و ارزیابی خطر با استفاده از روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالت شکست و تعیین خطرهای با عدد خطر بالا در مرحله‌ی بعدی جهت اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه و اقدامات کنترلی به وزن‌دهی خطرات پرخطر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد و از این ساختار به منظور نمایش مسله‌ی تصمیم‌گیری استفاده می‌نمایند و سپس اولویت‌ها را براساس قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، در طول روند فرآیند مشخص می‌کند. بطور کلی می‌توان گفت که مدل‌های چند معیاره به روش‌های وزن‌دهی، روش‌های رتبه‌بندی، روش‌های هدف‌گرا و روشهای تابع ارزش دسته‌بندی می‌شوند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های تابع ارزش تعریف شده و دلیلی که باعث می‌شود این روش را برای داده‌های عملیاتی کیفی برای این تحقیق مناسب بدانیم این است که

معیارهای کیفی معمولاً پیچیده و ناسازگار می‌باشند. همچنین این روش در مقایسه با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از نظر مقبولیت کاربر می‌تواند امتیاز بالاتری را داشته باشد و برای گزینش بهترین گزینه‌ی موجود برحسب معیارهای مطرح شده، طراحی شده است. مراحل مدنظر در این فرآیند شامل تعریف مسله‌ی موردنظر و معرفی تمام اهداف کلی حل آن مسله اولین مرحله‌ای است که بایستی مدنظر قرار گیرد. ایجاد ساختار سلسله مراتبی بطوریکه در بالاترین سطح هدف نهایی تصمیم قرار گیرد، در سطح دوم و سوم به ترتیب معیارها و زیر معیارهایی که تاثیر بیشتری با هدف نهایی مسله دارند مورد توجه قرار می‌گیرند و در پایین‌ترین سطح گزینه‌های تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند. در گام سوم انجام مقایسات زوجی در هر سطح بین دو معیار مختلف بطوریکه تمامی معیارها نسبت به تمام عناصر سطح بالایی ارزیابی شوند. در گام چهارم تعیین نسبت سازگاری برای تمامی ماتریس‌های مقایسات زوجی درصورتی که این نسبت کمتر از یک‌دهم باشد نشان دهنده‌ی قابل قبول بودن این مقایسات زوجی شناخته شده و در غیر این صورت بایستی در اعداد ماتریس-ها تجدید نظر گردد. در گام نهایی نیز تعیین امتیاز هر گزینه تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی آنها براساس امتیازات بدست آمده صورت میگیرد. در این پژوهش سه مولفه‌ی شدت خطر، احتمال وقوع و کشف خطر بعنوان معیارهای تحلیل سلسله مراتبی تعیین و مراحل انجام این روش در جدول شماره‌ی شش براساس ساختار شکست پنجاه فعالیت این پروژه در سطح یک و در سه فاز متفاوت(مطالعه و طراحی، تهیه و بارگیری و حمل و باراندازی، نصب و راه-اندازی) عنوان گردیده است[۱و۴].

ساختار شکست فعالیت‌های مربوط به ساخت، تجهیز، نصب، راه‌اندازی و نگهداری از سیستم انتقال برق و تجهیزات برقرسانی ایستگاه پمپاژهای سامانه‌ی انتقال آب در فاز عملیات اجرایی نصب و راه‌اندازی تجهیزات الکتریکال طی جدول شماره‌ی چهار در این پروژه تعیین و ارایه گردیده است.

جدول۴. ساختار شکست فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی پروژه‌ی انتقال برق و برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	شرح ساختار شکست براساس فعالیت‌های عملیات اجرایی خط انتقال برق به ایستگاه پمپاژ
۱	پیاده‌سازی مسیر توسط تیم نقشه‌برداری
۱-۱	استقرار تیم نقشه‌برداری و پیاده کردن مسیر
۱-۲	تعیین محل نصب پایه‌ها براساس نقشه‌های اولیه و پلان و پروفیل مسیر
۱-۳	جانمایی نقشه‌های تایید شده‌ی پروژه
۱-۴	تعیین محل، جانمایی و ایجاد راه‌های دسترسی پروژه
۲	اجرای فونداسیون پایه های مورد استفاده در خط انتقال در نقاط تعیین شده مسیر انتخابی
۲-۱	جانمایی محل پایه‌های خطوط انتقال برق
۲-۲	عملیات حفاری و خاکبرداری محل فونداسیون‌های پایه‌های خطوط انتقال برق
۲-۳	عملیات اجرایی آرماتوربندی فونداسیون پایه‌های خطوط انتقال برق
۲-۴	عملیات اجرایی بتن‌ریزی فونداسیون پایه‌های خطوط انتقال برق
۳	نصب انواع پایه‌های مورد استفاده در خط انتقال در نقاط تعیین شده مسیر انتخابی و نام‌گذاری پایه‌ها
۳-۱	جانمایی پایه‌ها برروی فونداسیون‌های اجرا شده توسط تیم نقشه‌برداری
۳-۲	استقرار جرثقیل به منظور بلندکردن پایه‌ها و ثابت نمودن آنها برروی محل نصب روی فونداسیون‌ها
۳-۳	عملیات اجرایی اتصال پایه‌ها به فونداسیون‌ها براساس مشخصات فنی مربوطه
۳-۴	کنترل نهایی، نام‌گذاری و شماره‌گذاری پایه‌ها نصب شده و تهیه‌ی نقشه‌ی چون‌ساخت و جزییات اجرایی آنها
۴	نصب انواع مقره‌های مورد استفاده در خطوط انتقال برق بر روی پایه‌ها
۴-۱	آماده‌سازی محل و تجهیزات مورد نیاز

جدول۴. ساختار شکست فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی پروژه‌ی انتقال برق و برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	شرح ساختار شکست براساس فعالیت‌های عملیات اجرایی خط انتقال برق به ایستگاه پمپاژ
۲-۴	بررسی نقشه‌ها و مشخصات فنی، انتقال و انبارداری مقره‌ها، آماده‌سازی ابزار و تجهیزات نصب
۳-۴	نصب سازه‌های نگهدارنده مقره درصورت نیاز، نصب کراس آرم یا براکت، تراز و تثبیت سازه نگهدارنده
۴-۴	نصب مقره‌های سوزنی، بشقابی یا پلیمری براساس مشخصات فنی
۵-۴	اتصال مقره به هادی یا کراس آرم و تست اولیه‌ی استحکام اتصال
۶-۴	کنترل کیفیت و مستندسازی، بازرسی فنی نهایی مقره‌ها و تحویل به نظارت
۵	نصب انواع مقره‌های مورد استفاده در خطوط انتقال برق بر روی پایه‌های مربوطه
۱-۵	آماده‌سازی محل نصب، بررسی نقشه‌ها و مشخصات فنی، آماده‌سازی تجهیزات و قطعات و تامین ایمنی و دسترسی
۲-۵	نصب مقره روی پایه‌ها، نصب مقره‌های سوزنی، سوسپانسیونی، کششی و چینی و پلیمری
۳-۵	اتصال هادی به مقره، آماده‌سازی یراق‌آلات هادی، نصب و اتصال مکانیکی هادی به مقره، بررسی عایق اتصالات
۴-۵	بازرسی، تست و تحویل، تست عملکرد عایقی، مستند سازی و گزارش و نقشه‌های چون‌ساخت
۶	انجام عملیات نصب هادی‌ها بر روی پایه‌ها در نقاط مختلف خطوط انتقال برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ
۱-۶	آماده‌سازی قبل از کشش هادی، آماده‌سازی مسیر و تجهیزات خطوط انتقال برق‌رسانی، حمل و ذخیره هادی‌ها
۲-۶	کشیدن هادی‌ها[1]، عبور سیم راهنما[2]، کشش هادی اصلی
۳-۶	مهار، تنظیم و اتصال نهایی هادی، مهار هادی در نقاط کشش، تنظیم اُفتادگی هادی‌ها، اتصال به مقره‌ها و پایه‌ها
۴-۶	تست، بازرسی و تحویل نهایی، بازرسی چشمی و مکانیکی، تست الکتریکی، مستنسازی و تحویل به کارفرما
۷	نصب مهارهای مورد استفاده در نقاط مورد نیاز خطوط انتقال برق ایستگاه‌های پمپاژ
۱-۷	آماده‌سازی و برنامه‌ریزی نصب مهارها، تامین و تحویل مصالح و تجهیزات و نقشه‌ها و دستورالعمل‌های مربوطه
۲-۷	نصب فیزیکی مهارها، آماده‌سازی محل نصب، نصب پایه‌ها و نفاط اتصال پایه‌ها
۳-۷	کنترل کیفیت و آزمون مهارها، کنترل ابعادی و تست استحکام و کشش و تست ایمنی و عایق‌بندی مهارها
۴-۷	تحویل و پاکسازی محل پروژه، بازبینی نهایی و تحویل کار و ارایه‌ی گزارش‌های نهایی
۸	اجرای سیستم ارتینگ و نصب صاعقه‌گیر مورد استفاده در نقاط مختلف خط انتقال برقرسانی ایستگاه‌های پمپاژ
۱-۸	آماده‌سازی و برنامه‌ریزی عملیات اجرایی ارتینگ و صاعقه‌گیر
۲-۸	عملیات اجرایی سیستم ارتینگ
۳-۸	عملیات اجرایی نصب سیستم صاعقه‌گیر
۴-۸	کنترل کیفیت، تحویل و آموزش‌های مربوطه
۹	نصب تجهیزات مربوط به گرفتن انشعاب از خط انتقال [3]جهت برق‌دار کردن ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک ،ایستگاه های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب
۱-۹	برنامه‌ریزی و آماده‌سازی اولیه، بازدید میدانی و تعیین موقعیت انشعاب و اخذ مجوزهای لازم گرفتن انشعاب از خط انتقال برق به‌همراه تهیه‌ی نقشه‌های فنی و مدارک طراحی و تامین تجهیزات و مصالح مربوطه.
۲-۹	عملیات اجرایی انشعاب‌گیری و نصب تجهیزات اصلی، نصب تابلو و تجهیزات اندازه‌گیری و اتصال انشعاب و تجهیزات فشار متوسط، نصب ترانسفورماتور قدرت یا توزیع و کابل‌کشی فشار متوسط تا مصرف‌کننده‌ها(ایستگاهای حفاظت کاتدیک، ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه).
۳-۹	نصب تجهیزات حفاظتی و کنترلی، نصب سیستم اتصال به زمین، نصب تابلوهای کنترل و حفاظت فشار متوسط و ضعیف، نصب تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ و اجرای سیستم حفاظت دربرابر صاعقه.
۴-۹	تست، راه‌اندازی و تحویل، انجام تست‌های فشار و عایقی و عملکردی تجهیزات نصب شده، هماهنگی با شرکت برق برای برق‌دار نمودن انشعابات، تحویل موقت و نهایی تجهیزات و تهیه‌ی گزارشات فنی نهایی.

[1] Stringing
[2] Pilot Wire
[3] MOF = metering and outdoor feeder

جدول۴. ساختار شکست فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی پروژه‌ی انتقال برق و برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	شرح ساختار شکست براساس فعالیت‌های عملیات اجرایی خط انتقال برق به ایستگاه پمپاژ
۱۰	انجام عملیات کابل کشی کابل با ولتاژ ۲۰کیلوولت از نوع N2XSYBY تک رشته به مقطع ۱*۱۸۵میلیمترمربع حدفاصل تابلو و تجهیزات اندازه‌گیری فشارقوی و اتصال انشعاب تا تابلو با ولتاژ ۲۰کیلوولت پست داخلی ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب و ترانس‌های رکتیفایر ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک همراه با کلیه متعلقات.
۱-۱۰	برنامه‌ریزی و آماده‌سازی و بازدید و برداشت مسیر کابل‌کشی از تاسیسات سیستم‌های اندازه‌گیری و اتصال انشعاب برق تا پُست داخلی یا ترانس رکتیفایر، تهیه‌ی نقشه‌های اجرایی، اخذ مجوزهای لازم به منظور برق‌دار نمودن مسیر، تامین کابل و اتصالات و سرکابل و مفصل و بست و سینی‌کابل و مارکر و نوار هشداردهنده جهت تکمیل عملیات اجرایی مربوطه.
۲-۱۰	عملیات اجرایی کابل‌کشی، تجهیزکارگاه و انتقال کابل و دپوی آن‌ها در کارگاه، حفاری ترانشه‌ها و آماده‌سازی کانال-های مربوطه، آماده‌سازی بستر با ماسه‌ی نرم و بتن مگر در نقاط موردنیاز و مفصل‌گذاری میان‌راهی، پهن کردن کابل-ها با رعایت شعاع خمش مجاز و عدم وارد شدن تنش به کابل‌ها، نصب سینی و نزدبان و لوله در مسیرهای هوایی یا ساختمانی در محل ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه.
۳-۱۰	نصب متعلقات و تجهیزات جانبی، نصب سرکابل‌ها با ولتاژ ۲۰کیلوولت (با روکش‌های حرارتی یا با روکش‌های سرد) در انتهای سیستم‌های اندازه‌گیری و اتصال انشعاب و تابلو و ترانس، نصب مفصل‌های میانی، اتصالکابل به تجهیزات با رعایت ارتینگ و حفاظت، نصب مارکرها و برچسب‌گذاری و نوار هشداردهنده و درپوش و شناسنامه‌ی کابل‌ها در طول مسیر خطوط انتقال برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ.
۴-۱۰	تست و راه‌اندازی و تحویل، انجام تست مقاومت عایقی و تست پیوستگی و فاز، چک نهایی اتصالات و وضعیت ارتینگ مطابق با نقشه‌های اجرایی، برقدار کردن کابل‌ها با هماهنگی مرکز بهره‌برداری، تهیه و تحویل مستندات اجرایی و نقشه‌های چون‌ساخت.
۱۱	تست و راه اندازی خط انتقال احداث شده و تجهیزات گرفتن اشعاب برق (سیستم‌های اندازه‌گیری و اتصال انشعاب)
۱-۱۱	آماده‌سازی پیش از تست و راه‌اندازی، بازبینی نهایی مسیر خطوط انتقال و نقاط اتصال، بررسی تکمیل بودن تجهیزات نصب شده، کنترل صحت اتصالارتینگ و صاعقه‌گیرها، هماهنگی با شرکت برق منطقه‌ای جهت دریافت مجوز انجام تست و برقدار کردن خطوط برق‌رسانی.
۲-۱۱	انجام تست‌های الکتریکی و ایمنی، تست مقاومت عایقی کابل‌ها با دستگاه تست مقاومت عایقی[1] یا دستگاه تست با ولتاژ بالا و فرکانس بسیارپایین[2]، تست پیوستگی هادی‌ها و سیم ارت، تست عملکرد کلیدهای قدرت و تایلوها و تجهیزات اندازه‌گیری فشارقوی و تابلوهای فشارضعیف و فشارمتوسط بررسی فازبندی جهت ولتاژ و عدم وجود اتصال کوتاه.
۳-۱۱	تست تجهیزات اتصال انشعاب و سیستم حفاظت، تست عملکرد کلیدهای تابلوها و تجهیزات اندازه‌گیری فشارقوی و سیستم تریپ، تست ترانس جریان[3] و ترانس ولتاژ[4] و مقادیر اندازه‌گیری، تست رله‌های حفاظتی و تنظیمات آنها، تست سیستم ارتینگ تابلوها و تجهیزات اندازه‌گیری فشارقوی مطابق استانداردهای مربوطه.
۴-۱۱	راه‌اندازی و بهره‌برداری آزمایشی و تحویل، برقدار کردن مرحله‌ای خطوط انتقال و تجهیزات مربوطه تحت نظارت شرکت برق منطقه‌ای، انجام تست عملکردی در بار واقعی[5]، ثبت داده‌ها و تهیه گزارش و نقشه‌های چون‌ساخت و آموزش بهره‌برداری و تحویل نهایی به کارفرما و تحویل موقت پروژه.
۱۲	تهیه نقشه های ازبیلت و دستورالعمل تعمیرات ،نگهداری و بهره برداری از خط انتقال و تجهیزات گرفتن انشعاب برق (سیستم‌های اندازه‌گیری و اتصال انشعاب)
۱۳	تجهیز و برچیدن کارگاه عملیات اجرایی
۱-۱۳	تجهیزکارگاه قبل از شروع عملیات اجرایی، اخذ مجوزهای استقرار کارگاه از مالک زمین و ناظر پروژه، حمل و نصب کانکس‌های اداری، انبار و استراحتگاه، تامین و نصب تجهیزات اولیه، برقراری انشعابات موقت برق و تلفن و آب و اینترنت درصورت نیاز.

[1] Megger
[2] VLF = Very Low Frequency test set
[3] CT = Current Transformer
[4] PT/VT = Voltage Transformer
[5] Load Test

جدول۴. ساختار شکست فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی پروژه‌ی انتقال برق و برق‌رسانی به ایستگاه‌های پمپاژ

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	شرح ساختار شکست براساس فعالیت‌های عملیات اجرایی خط انتقال برق به ایستگاه پمپاژ
۲-۱۳	تجهیز فنی و لُجستیکی کارگاه، تامین و تحویل ماشین‌آلات و تجهیزات موردنیاز اجرای خطوط انتقال برقرسانی، آماده‌سازی فضای دپوی موقت مصالح و تجهیزات، تامین سیستم روشنایی و تابلو برق کارگاهی و حفاظت الکتریکی اولیه، استقرار نیروی انسانی و تجهیزات حفاظت فردی و راه‌اندازی دفاتر ثبت فعالیت‌های روزانه.
۳-۱۳	نگهداری ایمنی و کنترل کارگاه در حین اجرا، بازبینی دوره‌ای تجهیزات و ماشین‌آلات و انبار مصالح، کنترل تردد و حفاظت فیزیکی از کارگاه، مدیریت پسماندها و نخاله‌ها و مسایل زیست‌محیطی کارگاهی، ثبت و گزارش‌گیری فعالیت‌های اجرایی روزانه و ارسال به دستگاه نظارت مقیم.
۴-۱۳	برچیدن و آزادسازی کارگاه پس از اتمام عملیات اجرایی

۵-تعیین ماتریس ارزیابی خطرات و تعیین سطح خطر

ماتریس ارزیابی خطرات یک جدول دوبُعدی می‌باشد که در آن یکی از محورها را بعنوان احتمال وقوع و محور دیگر آن را بعنوان شدت پیامد تعریف می‌نماییم. باتوجه به ماتریس ارزیابی مخاطرات هنگامیکه این ماتریس برای خطرهای شناخته شده رسم شود و سطح یا میزان ریسک قابل قبول و غیرقابل قبول برای آن معین گردد، کلیه‌ی خطرهایی که در منطقه‌ی غیرقابل قبول ماتریس قرار دارند، بایستی برایشان اقدامات کنترلی مناسب و متناسبی پیشنهاد گردد تا سیستم مدیریت به تبع آن‌ها تصمیم به اجرا بگیرد. درمورد هر خطر معمولاً بیش از یک راه‌حل برای کنترل یا کاهش خطر مربوطه پیشنهاد می‌گردد تا دست مدیریت برای تصمیم‌گیری باز باشد و بتواند باتوجه به امکانات و توانایی‌های کاری خود درانتخاب یک یا چند راه‌حل پیشنهادی تصمیم بگیرد. مهم این است که قبل از اجرای هر اقدام برای کاهش خطر، بایستی مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد تا معلوم شود میزان کاهش چقدر بوده و آیا در حد انتظار و قابل قبول است یا خیر؟ پس از اجرای این راه‌حل‌ها، شکل ماتریس ارزیابی مخاطرات تغییر کرده و تعداد خطرهای موجود در بخش مخاطرات غیرقابل قبول مرتباً کم می‌شود. شناسایی خطرات، تعیین شدت پیامد مخاطرات، تعیین احتمال وقوع خطرات و درنهایت استفاده از ماتریس ارزیابی مخاطرات و تعیین سطح خطرات مراحلی هستند که به‌منظور تعیین سطح خطرات بایستی مدنظر قرار گیرند[۴].

دراین پژوهش شدت خطر در چهارسطح مختلف فاجعه‌بار، بحرانی، مرزی و جزئی و احتمال خطر نیز در پنج‌سطح مکرر، محتمل، گاه‌به‌گاه، خیلی کم یا بعید و غیرمحتمل اما امکان دارد طبقه‌بندی گردیده و در جدول شماره‌ی پنج نیز درج گردیده است. براساس شدت خطر و احتمال خطر براساس ساختار شکست فعالیت‌های فاز عملیات اجرایی پروژه‌ی انتقال برق و برقرسانی به ایستگاه‌های پمپاژ مندرج در جدول شماره‌ی چهار نسبت به تنظیم و ارایه‌ی ماتریس خطر اقدام گردیده است.

جدول ۵. ماتریس ارزیابی خطرات و تعیین سطح خطرات

$RPN = D \times O \times S$	بحرانی و فاجعه بار Critical	زیاد High	متوسط و مرزی Moderate	کم و جزئی Low
قابل قبول نیازمند پایش دوره‌ای کافی	$251 < A1 < 275$	$151 < B1 < 175$	$51 < C1 < 75$	$1 < D1 < 12$
نیازمند بررسی و اقدام اصلاحی	$276 < A2 < 300$	$176 < B2 < 200$	$76 < C2 < 100$	$13 < D2 < 25$
نیازمند اثدام اصلاحی فوری	$301 < A3 < 325$	$201 < B3 < 225$	$101 < C3 < 125$	$26 < D3 < 37$
اقدام فوری و توقف فعالیت تا رفع خطر	$326 < A4 < 350$	$226 < B4 < 250$	$126 < C4 < 150$	$38 < D4 < 50$
راهنما: در این جدول اعداد درج شده در سمت راست حروف لاتین معرف عدد اولویت خطر می‌باشند.				

۶- محاسبه‌ی عدد اولویت و سطح بندی مخـاطرات با روش FMEA

ارزیابی خطرات این پروژه براساس ساختار شکست فعالیت‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل اثرات و حالت شکست تهیه گردیده و وضعیت عدد ضریب اولویت خطرات حاصله به شرح جدول شماره‌ی شش ارایه گردیده است.

جدول۶. محاسبه‌ی عدد ضریب اولویت خطرات و تعیین ماتریس و سطح خطرات

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	خطرات	شدت خطر S	احتمال وقوع O	کشف خطر D	عدد اولویت خطرات RPN	ماتریس و سطح خطر
۱-پیاده‌سازی مسیر توسط تیم نقشه‌برداری	سقوط و لغزش	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	نیش و گزش حیوانات	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	گرما و تابش خورشید	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	برخورد با وسایل نقلیه	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	خطرات الکتریکی غیرمستقیم(برق‌گرفتگی)	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	بلندکردن یا حمل تجهیزات سنگین	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	شرایط جوی نامناسب	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	سرقت و آسیب به تجهیزات دقیق	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	تردد در مناطق خصوصی و کشاورزی	۶	۵	۷	۲۱۰	**B3**
۲- اجرای فونداسیون پایه های مورد استفاده در خط انتقال در نقاط تعیین شده مسیر انتخابی	سقوط در گود حفاری شده	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	ریزش دیواره گود حفاری شده	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	برخورد با ماشین‌آلات حفاری	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	برخورد با تاسیسات زیرزمینی	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	بلندکردن و جابجایی اجسام سنگین	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	تماس اعضای بدن با بتن	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	برق‌گرفتگی استفاده از تجهیزات معیوب	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	برخورد با تجهیزات بتن‌ریزی	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	شرایط محیطی و آب‌وهوای گرم و خُشک	۶	۵	۸	۲۴۰	**B4**
	لغزش در شیب‌های ناهموار	۶	۴	۸	۱۹۲	**B2**
۳-نصب انواع پایه‌های مورد استفاده در خط انتقال در نقاط تعیین شده مسیر انتخابی و نام‌گذاری پایه‌ها	برخورد با بار در حین بلندکردن پایه‌ها	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	اُفتادن پایه‌ها در حین نصب	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	پارگی سیم بُکسل یا تسمه‌ی جرثقیل	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	برق‌گرفتگی در مجاورت خطوط برق‌دار	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	برخورد با ماشین‌آلات سنگین در معابر	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	سقوط افراد از ارتفاع	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	شرایط محیطی و آب‌وهوای گرم و خُشک	۶	۵	۷	۲۱۰	**B3**
	لغزش پایه‌ها و اُفتادن روی نفرات	۶	۵	۹	۲۷۰	**A1**
	خطرات حمل و جابجایی دستی اسیاب	۶	۵	۹	۲۷۰	**A1**
	اثرات شیمیایی رنگ و چسب	۶	۵	۹	۲۷۰	**A1**
۴- نصب انواع	سقوط از ارتفاع	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**

جدول۶. محاسبه‌ی عدد ضریب اولویت خطرات و تعیین ماتریس و سطح خطرات

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	خطرات	شدت خطر S	احتمال وقوع O	کشف خطر D	عدد اولویت خطرات RPN	ماتریس و سطح خطر
مقره‌های مورد استفاده در خطوط انتقال برق بر روی پایه‌های مربوطه	برق‌گرفتگی	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	سقوط ابزار و مقره از بالا	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	شکستن مقره‌ها حین حمل و نصب	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	شرایط محیطی و آب‌وهوای گرم و خُشک	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	برق‌گرفتگی در مجاورت خطوط برق‌دار	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	لغزش روی بازو یا تیر فلزی پایه‌ها	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	آسیب به اعضای بدن(گرفتگی عضلات)	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	حمل و انبار نامناسب مقره‌ها	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	قطع ارتباط تیم حاضر در ارتفاع باهم	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
۵-انجام عملیات نصب هادی‌ها بر روی پایه‌ها در نقاط مختلف خطوط انتقال برق‌رسانی به ایستگاه-های پمپاژ	برق‌گرفتگی	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	سقوط از ارتفاع	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	پارگی یا رهاشدن سیم تحت کشش	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
	برخورد لباس یا اعضای بدن با سیم‌ها	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	چرخش ناگهانی قرقره یا تجهیزات مکانیکی	۷	۵	۶	۲۱۰	**B3**
	سقوط ابزار یا قطعات از ارتفاع	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	برخورد با خطوط برق با درختان مجاور	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	شرایط محیطی و آب‌وهوای گرم و خُشک	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	برخورد با تجهیزات و ماشین‌آلات	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	آسیب به ارگونومی و اعضای بدن	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
۶-نصب مهارهای مورد استفاده در نقاط مورد نیاز خطوط انتقال برق ایستگاه‌های پمپاژ	سقوط در گود و چاله‌های حفاری شده	۶	۵	۳	۹۰	**C2**
	ریزش دیواره‌ی گود حفاری شده	۶	۴	۸	۱۹۲	**B2**
	برخورد با ماشین‌آلات حفاری و بتن‌ریزی	۶	۴	۷	۱۶۸	**B1**
	برق‌گرفتگی غیرمستقیم	۶	۴	۴	۹۶	**C2**
	پارگی و رهاشدن سیم‌های مهار هنگام کشش	۶	۴	۸	۱۹۲	**B2**
	لغزش در زمین‌های ناهموار یا مرطوب	۶	۴	۳	۷۲	**C1**
	برخورد ابزار و قطعات فلزی با اعضای بدن	۶	۴	۳	۷۲	**C1**
	بتن‌ریزی نامناسب در محل‌های مهار	۶	۴	۳	۷۲	**C1**
	شرایط محیطی و آب‌وهوای گرم و خُشک	۶	۴	۳	۷۲	**C1**
	برخورد با خودروهای عبوری در مجاورت محل اجرای پروژه	۶	۴	۳	۷۲	**C1**
۷-اجرای سیستم ارتینگ و نصب صاعقه‌گیر مورد	برق‌گرفتگی	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	سقوط در چاه ارت یا گود حفاری شده	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	ریزش دیواره چاه ارت	۷	۵	۴	۱۴۰	**C4**

جدول۶. محاسبه‌ی عدد ضریب اولویت خطرات و تعیین ماتریس و سطح خطرات

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	خطرات	شدت خطر S	احتمال وقوع O	کشف خطر D	عدد اولویت خطرات RPN	ماتریس و سطح خطر
استفاده در نقاط مختلف خط انتقال برقرسانی ایستگاه‌های پمپاژ	استنشاق گردوغبار بنتونیت یا ذغال	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
	برخورد با ابزارها و کابل‌های داغ	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	لغزش و زمین خوردن افراد	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	سقوط از ارتفاع	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	جوشکاری در فضای محصور	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	برخورد با ماشین‌آلات درحال کار	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	آتش‌سوزی در مجاورت مواد قابل اشتعال	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
۸-نصب تجهیزات مربوط به گرفتن انشعاب از خط انتقال جهت برق‌دار کردن ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک ایستگاه های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب	برق‌گرفتگی شدید	۶	۴	۱۰	۲۴۰	**B4**
	اتصال کوتاه یا جرقه‌ی الکتریکی	۷	۴	۷	۱۹۶	**B2**
	انفجار تجهیزات برقی	۷	۴	۷	۱۹۶	**B2**
	لغزش و سقوط از ارتفاع	۷	۴	۹	۲۵۲	**A1**
	برخورد با تجهیزات و ماشین‌آلات فعال	۷	۴	۹	۲۵۲	**A1**
	تماس اعضای بدن با مواد شیمیایی سیستم کاتُدیک	۷	۴	۵	۱۴۰	**C4**
	سوختگی حرارتی	۷	۴	۷	۱۹۶	**B2**
	نشت ولتاژ یا جریان نشتی زمین	۷	۴	۶	۱۶۸	**B1**
	اشتباه در پلاریته‌ی سیستم کاتُدیک	۷	۴	۶	۱۶۸	**B1**
	برخورد رعدوبرق حین عملیات اجرایی	۷	۴	۶	۱۶۸	**B1**
۹-انجام عملیات کابل کشی کابل با ولتاژ ۲۰کیلوولت از نوع N2XSYBY تک رشته به مقطع ۱*۱۸۵میلیمترمربع حدفاصل تابلو و تجهیزات اندازه‌گیری فشارقوی و اتصال انشعاب تا تابلو با ولتاژ ۲۰کیلوولت پست داخلی ایستگاه‌های پمپاژ و تصفیه‌خانه‌ی آب و ترانس‌های رکتیفایر ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک همراه با کلیه	برق‌گرفتگی فشارقوی	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	اتصال کوتاه یا انفجار درزمان تست فشار	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	آسیب به اعضای بدن در هنگام حمل کابل‌های سنگین	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	برخورد با ماشین‌آلات و خودروهای مختلف در مسیرهای کابل‌کشی	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	سقوط در کانال یا ترانشه‌های کابل‌کشی	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	برخورد ابزارهای فلزی با کابل‌ها و ترمینال‌ها	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	سوختگی در معرض حرارت کابل‌ها در حین تست بار	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	استنشاق گاز و دود از چسب‌ها و مواد عایق سرکابل‌ها	۷	۵	۶	۲۱۰	**B3**
	سقوط از ارتفاع	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	برق‌گرفتگی اُپراتورها به دلیل استفاده از تجیهزات تست معیوب و کالیبراسیون نشُده	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**

جدول۶. محاسبه‌ی عدد ضریب اولویت خطرات و تعیین ماتریس و سطح خطرات

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	خطرات	شدت خطر S	احتمال وقوع O	کشف خطر D	عدد اولویت خطرات RPN	ماتریس و سطح خطر
متعلقات.						
۱۰- تست و راه اندازی خط انتقال احداث شده و تجهیزات گرفتن اشعاب برق (سیستم‌های اندازه‌گیری و اتصال انشعاب).	برق‌گرفتگی در زمان برقدارسازی	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	آتش‌سوزی ناشی از اتصال کوتاه	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	انفجار قوس الکتریکی(Arc Flash)	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	آسیب به اعضای بدن درصورت خرابی تجهیزات و ابزارآلات الکتریکی	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	سقوط از ارتفاع یا سکوی تابلوها	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	عدم هماهنگی بین اعضای تیم‌ها	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
	نشتی جریان یا خطای زمین (Earth Fault)	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	استنشاق دود ناشی از سوختن کابل یا فیوز	۷	۵	۵	۱۷۵	**B1**
	صدمات شنوایی دراثر انفجار یا جرقه ناگهانی	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	گرمای بیش ازحد در اتصالات و ترمینال‌ها	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
۱۱- تهیه نقشه های ازبیلت و دستورالعمل تعمیرات ،نگهداری و بهره برداری از خط انتقال و تجهیزات گرفتن انشعاب برق (سیستم‌های اندازه-گیری و اتصال انشعاب).	برق‌گرفتگی در زمان بازدید از تجهیزات برقدار	۷	۴	۹	۲۵۲	**A1**
	سقوط از ارتفاع در زمان بازدید از سایت					**B1**
	برخورد با وسایل نقلیه یا ماشین‌آلات در مسیرهای بازدید از سایت	۶	۳	۹	۱۶۲	
	لغزش یا سقوط در کانال یا ترانشه‌های باز کابل‌کشی در زمان بازدید از سایت	۲	۱	۳	۶	**D1**
	گرمازدگی و خستگی ناشی از بازدید طولانی در محیط‌های باز	۲	۱	۴	۸	**D1**
	کار با تجهیزات الکترونیکی در نزدیکی خطوط برق حین بازدید از سایت	۲	۱	۲	۴	**D1**
	ارگونومی نامناسب و خستگی شغلی پرسنل فعال در دفترفنی	۲	۱	۲	۴	**D1**
	اتصال کوتاه در حین تست عملکرد تابلوها در زمان برداشت اطلاعات بهره‌برداری	۲	۱	۲	۴	**D1**
	لغزش در زمین‌های خیس و ناهموار در زمان بازدید از سایت	۲	۱	۲	۴	**D1**
	اشتباه و خطا در نقشه‌ها و اطلاعات نهایی و نبود هماهنگی بین اعضا تیم	۲	۱	۲	۴	**D1**
۱۲-تجهیز و برچیدن کارگاه عملیات اجرایی	برق‌گرفتگی	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	سقوط اجسام از ارتفاع	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**

جدول۶. محاسبه‌ی عدد ضریب اولویت خطرات و تعیین ماتریس و سطح خطرات

سطح ساختار شکست فعالیت‌ها	خطرات	شدت خطر S	احتمال وقوع O	کشف خطر D	عدد اولویت خطرات RPN	ماتریس و سطح خطر
	برخورد ماشین‌آلات و وسایل نقلیه	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	آتش‌سوزی در محل دپوی سوخت یا کابل‌ها	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
	ریزش یا لغزش باز حین بارگیری یا تخلیه	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**
	سقوط از ارتفاع	۷	۵	۱۰	۳۵۰	**A4**
	برش و بریدگی در زمان جداسازی تجهیزات	۷	۵	۸	۲۸۰	**A2**
	انتقال مواد شیمیایی یا سوخت‌ها	۷	۵	۷	۲۴۵	**B4**
	گرمازدگی یا خستگی در کارهای فضای باز	۷	۵	۶	۲۱۰	**B3**
	لغزش و زمین‌خوردگی	۷	۵	۹	۳۱۵	**A3**

۷- یافته‌های پژوهش، بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش ایستگاه‌های پمپاژ آب از سامانه‌ی انتقال آب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند که هرکدام از این ایستگاه پمپاژها دارای خطوط انتقال برق و سیستم برق‌رسانی مجزا و منحصر به فردی هستند که در کل مجموعه بصورت یکپارچه عمل می‌نمایند. عملیات اجرایی خطوط انتقال این پروژه در سطح دو شامل شصت‌وسه فعالیت مختلف در فاز عملیات اجرایی براساس مندرجات جدول شماره‌ی چهار طبق نظرات گروه مهندسان طرح و ساخت پروژه، کارشناسان و عوامل اجرایی، استناد به آمار و تجربیات پیشین و نیز بازدیدهای میدانی مکرر طی دوازده ماه متداول(اردیبهشت‌ماه۱۴۰۲ لغایت فروردین‌ماه۱۴۰۳) تعریف و در قالب فرم‌های مربوطه ثبت و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

پس از ارزیابی مخاطرات پروژه با روش تجزیه و تحلیل حالت شکست و تحلیل اثرات آن‌ها جمعاً دویست‌وپنجاه خطر مربوط به این فعالیت‌ها شناسایی گردید که در بین آن‌ها تعداد شش خطر از خطرات در محدوده‌ی سطح خطر بسیار بالا می‌باشند. براساس ارزیابی صورت گرفته در قالب جدول شماره‌ی شش سطح خطر زیاد و بحرانی مربوط به فعالیت ردیف‌های یک، دو، سه، چهار، پنج، هفت، هشت، نه، ده و دوازده ارزیابی و نمایش داده شده است. همچنین سطح خطر متوسط نیز مربوط به فعالیت ردیف‌های شش و هشت عنوان گردیده است. در نهایت نیز همانطورکه مشخص شده سطح خطر کم مربوط به فعالیت ردیف یازده ارزیابی گردیده است. از این بین خطرات سطح بالا نیز خطرات مرتبط با برق‌گرفتگی، حریق، قطعات دوار، کار در ارتفاع، اجسام سخت و الکتریسیته، سقوط و لغزش و برخورد با تجهیزات و ماشین‌آلات فعال در پروژه بعنوان پُرتکرارترین خطرها که در دامنه‌ی سطح خطر زیاد و بحرانی بودند شناسایی گردیده و مورد واکاوی قرار گرفته است. خطراتی از قبیل برق‌گرفتگی کارکنان در حین نصب تابلوهای برق، سقوط از ارتفاع هنگام نصب پایه‌ها یا تجهیزات هوایی، آتش سوزی ناشی از اتصالات معیوب یا کابل‌کشی غیراستاندارد، تاخیر در تامین تجهیزات برق‌رسانی به دلیل مشکلات زنجیره‌ی تامین خطراتی هستند که بالاترین پیامد را می‌توانند در پیش داشته باشند. می‌توان گفت که اغلب خطرات مربوط به خطاهای انسانی و عدم آگاهی از خطرات تجهیزات برقی بوده و بایستی آموزش‌های لازم درراستای ایمنی کار با برق جزو الزامات جدی پروژه‌های اینچنینی تعریف و اجرایی گردد. فقدان دستورالعمل‌ها، آیین‌نامه‌ها و بخشنامه‌های اجرایی نیز عامل وقوع برخی خطرات هستند و ضروریست در پروژه‌ها نسبت به رفع این مهم نیز اقدامات لازم صورت گیرد. عدم انطباق با استانداردهای تخصصی برق و تاکید و توجه ناکافی بر سیستم‌های حفاظتی نیز مواردی هستند که بایستی در پروژه‌های اینچنین مورد توجه ویژه قرار گیرند.

در راستای نتایج این پژوهش حتماً لیستی از اقدامات پیشگیرانه و کنترلی و به تبع آن لیست تجهیزات حفاظت فردی متناسب با این پروژه‌ها نیز تدوین و جهت هرگونه بهره برداری لازم در اختیار عموم قرار می‌گیرد.

۸-قدردانی

در جمع‌آوری و تجمیع این پژوهش از تمامی دست‌اندرکاران و کارشناسان فعال در پروژه‌های انتقال آب علی‌الخصوص پروژه‌ی شاهد مورد مطالعه به منظور همراهی و همکاری‌های بی‌وقفه نهایت تشکر و قدردانی را داریم. امید است تمامی پروژه‌های اجرایی با کمترین خطرات و بدون بروز هرگونه حادثه‌ای به نتیجه رسانده شوند.

۹- مراجع

[۱] برجسته، ح. (۱۴۰۰)، ارایه‌ی چارچوب مدیریت ریسک یکپارچه با ارزیابی ایمنی احتمالی در نیروگاه‌های هسته‌ای، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و ارزیابی خطرات و محیط‌زیست.

[۲] نیک‌آبادی، م. کشوری، ع. یاسر، م. (۱۴۰۳)، ارزیابی ریسک ایمنی سامانه‌های برقرسانی در پادگان‌های نظامی، فصلنامه‌ی علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط‌زیست، صفحات ۱۵تا۳۴ شماره‌ی یک از دوره‌ی دوم، دانشکده و پژوهشکده‌ی پدافندغیرعامل دانشگاه جامع امام حُسین(ع).

[۳] گلیجی،الف. ابراهیمیان، م. بیگدلی، ع. رحمن قلهکی، ر. فطین، س. فخرحسینی، د. بابانژاد، س. (۱۴۰۲)، ارزیابی ریسک ایمنی تجهیزات پست‌های انتقال برق با استفاده از تکنیک‌های FMEA و AHP (مطالعه‌ی موردی پست‌های برق تلمبه‌خانه های شماره‌ی یک تا پنج پروژه‌ی انتقال نفت خام گوره‌ی جاسک). چهارمین همایش بین‌المللی توسعه‌ی فناوری در نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی.

[۴] مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار.(۱۳۹۶)، شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک برای مسئولین ایمنی کارگاهها. وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، معاونت روابط کار جمهوری اسلامی ایران.

[۵] بادامی، ح. (۱۴۰۲)، ارزیابی ایمنی و انتخاب پیمانکار برتر گامی در جهت کاهش هزینه‌های مادی و غیرمادی حوادث احتمالی. سومین همایش سراسری ایران مرکز آموزش علمی کاربردی شرکت صنعتی کوشا.

Journal of Research in safety, health and environment/ 2025/ Vol.3/ No.1/ 11-27

Journal of Research in safety, health and environment

Investigating the dispersion of air pollution and its effects on public health and environmental safety with simulation in MATLAB

Ali Nakahaei Amroudi[1]

1 Faculty Member, Faculty and Research Institute of Computer, Network and Communications, Imam Hossein University, Tehran, Iran

2 Researcher, Faculty and Research Institute of Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran 3

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 29 October 2021

Received in revised form: 7 December 2021

Accepted: 8 December 2021

Available online: 13 December 2021

*Correspondence: kpnakhaei@ihu.ac.ir

Keywords: Air Pollution

$PM_{2.5}$

Dispersion Modeling

Health Hazard

Environmental Safety

MATLAB Simulation

ABSTRACT

Air pollution remains a critical global challenge that affects public health, environmental safety, and urban sustainability. This study presents a computational framework simulated in MATLAB to model the dispersion of pollutants from industrial emission sources and assess their potential impacts on health and the environment. In this paper, the spatiotemporal distribution of particulate matter ($PM_{2.5}$) under different atmospheric conditions and emission rates is simulated using a two-dimensional adiabatic-dispersion equation. The model includes wind speed, atmospheric stability, and topographic features to predict the concentration of pollutants in a hypothetical urban-industrial area. The simulation results show that at low wind speeds and stable atmospheric conditions, $PM_{2.5}$ levels exceed the WHO limit at 1.5 km downstream of the source. Health risk assessment based on exposure duration and concentration indicates a higher risk of respiratory diseases in nearby residential areas. These findings highlight the importance of integrating simulation tools into urban planning and environmental regulation. The MATLAB-based simulation results provide a scalable and low-cost method for evaluating pollution control strategies and supporting public health interventions.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors