

## شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA)

سید علی جوزی<sup>۱</sup>، نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد<sup>۲</sup>، نگار افضل‌ی بهبهانی<sup>۳</sup>

پذیرش: ۹۲/۰۴/۰۹

دریافت: ۹۲/۰۱/۱۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یکی از شناخته شده‌ترین تکنیک‌های ایمنی سیستم بوده و به طور گسترده بعنوان یک ابزار به منظور شناسایی، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه، کاربرد روش FMEA در شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ناشی از خطوط انتقال برق در منطقه مسکونی حصیرآباد شهر اهواز است.

**روش بررسی:** ابتدا، فرآیند انتقال برق و تجهیزات مورد استفاده در آن، شناسایی و حالات خرابی و شکست تجهیزات که منجر به وقوع ریسک در منطقه می‌شود، تعیین گردید. به منظور اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس ناشی از خطوط، از دستگاه TESTER EMF 3D، استفاده شد. ریسک‌های شناسایی شده، بر اساس پارامترهای روش FMEA، نمره‌دهی و برای هر یک، RPN محاسبه گردید. در ادامه، به کمک نرم‌افزار SPSS، سطح ریسک محاسبه و موارد شناسایی شده بر اساس آن اولویت‌بندی و تجزیه و تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** 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 جزء سیم (از بین رفتن حریم) و جزء خط انتقال برق (عدم رعایت حریم استاندارد) با RPN ۳۶۰ و کمترین مقدار جز سکیونر با RPN ۶۰ به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به بالا بودن اکثر ریسک‌های به دست آمده، اقدامات کنترلی بر اساس نظرات کارشناسی در بخش‌های ایمنی مربوط به تجهیزات، آموزش اپراتورها، اقدامات نظارتی، در جهت کاهش سطح ریسک‌ها، ارائه گردیده است.

**واژگان کلیدی:** ارزیابی ریسک، خطوط انتقال نیرو، تکنیک FMEA، اهواز

در شبکه‌های برق‌رسانی برای انتقال انرژی تولیدی به مراکز مصرف از خطوط انتقال نیرو استفاده می‌شود. معمولاً این خطوط، با توجه به سطح ولتاژشان به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌گردند. ولتاژ سطح بالا (Kv) ۲۳۰ و ۴۰۰ در خارج از مناطق شهری و روستایی و معمولاً در نزدیکی نیروگاه‌ها و همچنین به منظور انتقال برق از نیروگاه تا مراکز مصرف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نزدیکی شهرها و مراکز مصرف، سطح ولتاژ جریان برق انتقالی توسط ترانسفورماتورهای کاهشدهنده، کاهش یافته (تا سطح ۱۳۲ و ۶۳ kv) و در داخل شهرها به سطح ولتاژ ۲۰، ۳۳ یا ۱۱ (Kv) که سطح ایمن انرژی برق داخل شهرها و مورد استفاده مشترکین است، می‌رسد (۱). مهم‌ترین بخش از هر برنامه ایمنی و بهداشت و به عبارت کامل‌تر هر سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شناسایی خطرات است و در واقع موتور سیستم محسوب می‌شود. ابتدا باید خطرات را شناسایی نمود تا بتوان بر اساس آن، راه مقابله و حذف خطر را پیشنهاد کرد و اهداف و برنامه‌های ایمنی بهداشت خود را تنظیم نمود (۲). ارزیابی ریسک یک روش سازمان یافته و سیستماتیک برای شناسایی خطرات و برآورد ریسک برای رتبه‌بندی تصمیمات، جهت کاهش ریسک به یک سطح قابل قبول بوده (۳)، که دارای متدهای مختلف با طیفی از روش‌های کیفی تا کمی قابل انجام است (۴). ارزیابی ریسک زیست محیطی، یک ابزار مهم در مدیریت محیط زیست به منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعه پایدار به شمار می‌رود که امروزه در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های اکثر کشورهای جهان مورد توجه قرار می‌گیرد (۵). AliMohamadi و همکارش، مقایسه ایمنی کوره‌های موجود در دو کارخانه تولید گچ به وسیله روش Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن را انجام داده‌اند که در طی این تحقیق، با استفاده از روش مذکور به طور دقیق به وضعیت ایمنی کوره‌ها پرداخته شد و نقایص موجود و احتمالی آنها مشخص گردید (۶). Nezhadali و همکاران نیز پژوهشی با عنوان ارزیابی ایمنی مخزن کروی گاز مایع با استفاده از روش‌های FMEA و ETBA را انجام داده‌اند که در طی این تحقیق ۳۰ جزء مورد بررسی قرار گرفت و حالات بالقوه شکست آنها شناسایی شد (۷). Ebrahimzadeh و همکاران خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه و

تحلیل حالات خطر (FMEA) و اثرات ناشی از آن را ارزیابی و مهم‌ترین ریسک‌ها را شناسایی و اولویت‌بندی کردند (۸). در پژوهش حاضر، با استفاده از روش فوق، ریسک‌های ایجاد شده از خطوط انتقال برق فشار قوی در یک منطقه مسکونی، شناسایی و تعیین سطح شدند. با توجه به افزایش جمعیت کشور و نیاز به تامین انرژی افزون‌تر، توسعه نیروگاه‌های برق و خطوط انتقال برق امری کاملاً ضروری است (۹). به همین دلیل مطالعات بسیاری در زمینه مخاطرات ناشی از توسعه خطوط برق و تاثیرات ناشی از آنها صورت گرفته است. بررسی میزان شدت میدان‌های الکترومغناطیسی در اطراف منابع ولتاژ بالا در بخش‌های بیمارستانی همدان، عنوان پژوهشی است که توسط Rostampour و همکاران انجام شده است. در این مطالعه با استفاده از دستگاه کالیبره شده تسلا متر HI-۳۶۰۳ میزان شدت میدان‌های الکترومغناطیسی در اطراف منابع ولتاژ بالای موجود در بخش‌های رادیولوژی بیمارستان‌های شهر همدان مورد بررسی قرار گرفت (۱۰). Nasiri و همکاران نیز، پژوهشی را در زمینه بررسی وضعیت انتشار امواج الکترومغناطیس ناشی از آنتن‌های BTS باند ۹۰۰ MHz در شهر تهران انجام داده‌اند که در طی این تحقیق، با توجه به موقعیت مکانی آنتن‌های BTS در سطح شهر، چگالی توان امواج الکترومغناطیسی در اطراف ۶۳ آنتن بر اساس روش استاندارد IEEE Std 95/11 و دستگاه HI-۴۳۳۳ اندازه‌گیری شد (۱۱). هدف از تحقیق حاضر، شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا و ارزیابی مخاطرات بهداشتی خطوط مذکور بر سلامتی مردم ساکن در منطقه حصیرآباد اهواز با استفاده از روش FMEA در نظر گرفته شده است.

#### مواد و روش‌ها

##### محدوده مورد مطالعه

منطقه حصیر آباد، در شرق شهر اهواز قرار گرفته و از نظر تقسیمات هشت گانه شهرداری اهواز، جزء منطقه ۷ به شمار می‌رود. بر اساس آخرین سرشماری انجام گرفته در سال ۱۳۸۵، این منطقه دارای ۱۴۸،۲۴۰ نفر جمعیت بوده (۱۲) و به دلیل بالا بودن تراکم جمعیت، پیشروی ساخت و ساز شهری به حریم‌های استاندارد خطوط انتقال برق و تداخل محدوده سکونت افراد و کاربری‌ها با خطوط مذکور و همچنین تعدد دکل‌های ولتاژ بالا در منطقه، به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب گردید.

اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس

به این منظور، از دستگاه اندازه‌گیری 3D EMF TESTER مدل EMF - 828 و روش اندازه‌گیری موجود در استاندارد (National Institute of Environmental Health Sciences) NIEHS (استفاده شد (۱۳). اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس در چهار فاصله ۱۵، ۳۱، ۶۱ و ۹۱ m از

خطوط انتقال نیرو ولتاژ بالا (سطح ولتاژ ۲۳۰ Kv) و در سه جهت X، Y، Z، در خیابان بیست متری شهرداری در منطقه حصیرآباد، انجام و مقادیر به دست آمده با حدود مجاز موجود در استاندارد NIEHS، برای سطح ولتاژ ۲۳۰ Kv مقایسه گردید. مقادیر مجاز استاندارد NIEHS در جدول شماره ۱ آورده شده است:



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه حصیرآباد در شهر اهواز

جدول ۱: سطوح استاندارد میدان مغناطیس بر حسب  $\mu T$  برای خطوط انتقال برق (مواجهه عمومی) NIEHS, ۱۹۹۵

نوع خط (سطح ولتاژ)	فاصله از خط			
	۱۵ m	۳۰ m	۶۱ m	۹۱ m
۱۱۵ Kv	۰.۷	۰.۲	۰.۰۴	۰.۰۲
	۱.۴	۰.۴	۰.۰۹	۰.۰۴
۲۳۰ Kv	۲.۰	۰.۷	۰.۱۸	۰.۰۸
	۴.۰	۱.۵	۰.۳۶	۰.۱۶
۵۰۰ Kv	۲.۹	۱.۳	۰.۳۲	۰.۱۴
	۶.۲	۲.۷	۰.۶۷	۰.۳۰

ارزیابی ریسک

مراحل ارزیابی ریسک به شرح زیر انجام پذیرفت:

گام اول: شناسایی و ارزش‌گذاری ریسک‌ها

ابتدا فرآیند انتقال برق و تجهیزات مورد استفاده در آن از طریق مصاحبه با کارشناسان بخش ایمنی - فنی و مهندسی شرکت برق اهواز و مطالعه کتب مربوطه، بررسی شد. پس از

آن حالات نقص و خطای هر یک از تجهیزات که منجر به بروز مشکلات فنی و اشکال در سایر تجهیزات و همچنین بروز صدمات و تلفات انسانی می‌گردد، شناسایی شدند. در نهایت ریسک‌های به دست آمده به جهت ارزش‌گذاری در برگه کار روش FMEA نوشته شدند. در این پروژه، ارزش‌گذاری

در نهایت با استفاده از انحراف معیار، پخش شدگی مقادیر RPN حول مقدار میانگین  $\mu$  محاسبه شد و حد پایین و حد بالای ریسک‌ها به دست آمد. پس از آن با مقایسه مقادیر RPN بدست آمده با سطوح ریسک تعیین شده به روش آماری، ریسک‌های شناسایی شده اولویت‌بندی گردیدند.

#### گام سوم: ارزیابی ریسک ثانویه

در روش FMEA، پس از تعیین سطح ریسک‌ها، به منظور کاهش سطح ریسک و همچنین کاهش خطرات ناشی از ریسک‌ها، پس از ارائه اقدامات اصلاحی، عدد اولویت ریسک مجدداً محاسبه می‌گردد.

#### یافته‌ها

##### نتایج اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس

همانطوری که نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد، مقادیر بدست آمده در دو فاصله ۶۱ m و ۹۱ m از دکل ۲۳۰ Kv بالاتر از حد پایین و بالای استاندارد و در دو فاصله ۳۰ و ۱۵ m مقادیر به دست آمده بالاتر از حدود پایین و نزدیک به حد بالای مقدار استاندارد هستند (واحد مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب  $\mu T$  است).

جدول ۲: نتایج اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیس

نوع خط (سطح و تناژ)	فاصله از خط انتقال			
	۱۵ m	۳۰ m	۶۱ m	۹۱ m
مقادیر مجاز NIEHS				
برای سطح ولتاژ ۲۳۰ Kv	۲.۰۰	۰.۷	۰.۱۸	۰.۰۸
	۴.۰۰	۱.۵	۰.۳۶	۰.۱۶
مقادیر اندازه‌گیری شده	۳.۳	۱.۱	۰.۷۰	۰.۳۳ $\mu T^x$
	$\mu T$	$\mu T$	$\mu T$	

$x$  واحد اندازه‌گیری،  $\mu T$  است.

بر اساس مطالعات انجام شده، چنانچه شدت میدان مغناطیس بالاتر از حد استاندارد و مواجهه به صورت مداوم انجام شود، می‌تواند بر روی بسیاری از بافت‌ها و اندام‌های بدن تاثیر گذاشته و در موارد شدیدتر، سبب از کارافتادگی اندام‌ها گردد. اگر تنها بخشی از بدن در معرض تابش قرار گیرد، این اثرات

ریسک‌ها بر اساس روش طوفان فکری انجام گرفت. مطابق این روش، کارشناسان بخش ایمنی و فنی، کارشناس واحد HSE و مهندسین شرکت برق اهواز در طی جلساتی، با توجه به شرایط محیطی منطقه و همچنین آمار سوانح و حوادث موجود در شرکت برق نسبت به تمامی ریسک‌ها اظهار نظر کرده و در نهایت پس از مشورت با یکدیگر به یک نتیجه واحد رسیده و برای هر ریسک ارزشی را تعیین کردند. ارزش‌گذاری ریسک‌ها بر اساس جداول رتبه‌بندی شدت اثر، احتمال وقوع خطر و درجه کشف خطر موجود در روش FMEA، است. در ادامه، عدد اولویت ریسک از حاصلضرب سه فاکتور درجه شدت، درجه احتمال وقوع و درجه کشف برای تمامی خطاها محاسبه گردید:

$$\text{کشف} \times \text{وقوع} \times \text{شدت} = \text{عدد اولویت ریسک}$$

#### گام دوم: تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها

به طور کلی در روش FMEA هیچ RPN مبنایی وجود ندارد که بتوان داده‌ها را با آن مقایسه و سطوح ریسک‌ها را تعیین کرد. به همین دلیل در این تحقیق، به منظور تعیین سطح ریسک و تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری استفاده شد. به این منظور ابتدا یک شاخص ریسک یا حد اطمینان ریسک، تعیین و سپس بر اساس آن سطوح ریسک‌ها مشخص گردید. بنابراین، ابتدا میانگین RPN ها و سپس انحراف معیار آنها به شرح ذیل محاسبه شد:

فرمول محاسبه میانگین RPNها:

رابطه (۱):

$$\bar{X} = 1/N \sum_{i=1}^N x_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$$

$X$  = میانگین حسابی

$N$  = تعداد داده‌ها

$X_i$  = داده‌ها (RPN)

و سپس انحراف معیار داده‌ها محاسبه گردید:

رابطه (۲):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

$X$  = میانگین داده‌ها

$X_i$  = داده‌ها (RPN)

$N$  = تعداد داده‌ها

۱: ریسک‌های رویداد طبیعی که به دلیل حالت خرابی جزء سیم و دکل و در اثر عواملی نظیر باد و طوفان، سیل و زلزله، ایجاد می‌شوند، ۲: ریسک‌های زیست محیطی که در اثر عواملی همچون آلودگی (گرد و غبار)، برخورد پرندگان، بارندگی، برخورد درخت و صاعقه برای تجهیزاتی نظیر، سیم، دکل، مقره، سرکابل، FLASH و سیم گارد به دست آمد،

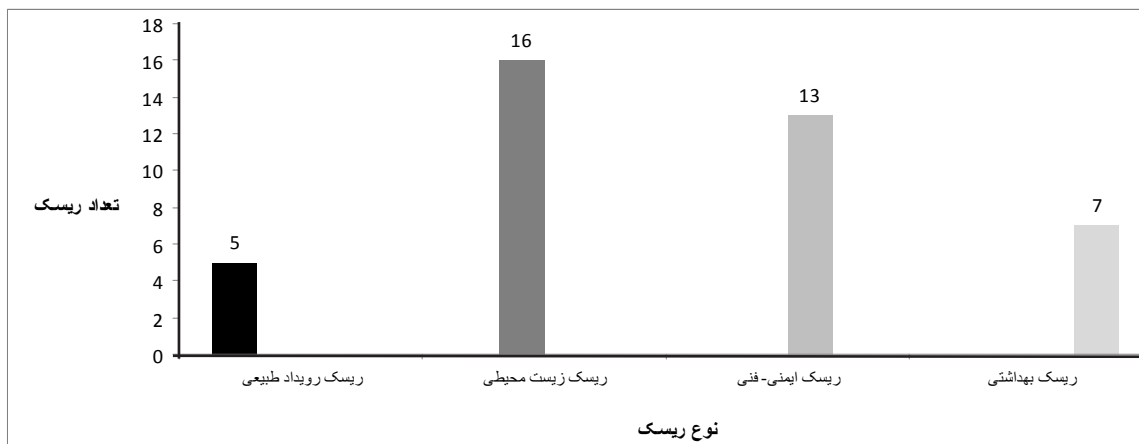
۳: گروه ایمنی - فنی به دلیل عواملی مانند اشتباه در تنظیمات، اشتباه در محاسبات طراحی، فرسودگی و زنگ‌زدگی، کلیدزنی، پدیده کرونا و فلش آور سیم برای تجهیزاتی نظیر سیم، رله، مقره، سرکابل، جمپر و سکسیونر ایجاد می‌گردند و ۴: گروه ریسک‌های بهداشتی برای جزء سیم، دکل و خط انتقال برق و سیم گارد، که در اثر عواملی همچون عدم رعایت حریم مجاز خطوط انتقال به دلیل ساخت و ساز شهری و پیشروی افراد در حریم، پرتاب اشیاء بر روی شبکه انتقال (اغلب توسط کودکان)، سرقت سیم، سرقت نبشی و برخورد خودرو با دکل، ایجاد و سبب بروز صدمات و تلفات انسانی، بوجود آمدن بیماری‌ها در اثر قرار گرفتن در معرض امواج الکترومغناطیس می‌شوند.

مطابق نتایج، ۵ ریسک در گروه رویداد طبیعی، ۱۶ ریسک در بخش ریسک‌های زیست محیطی، ۱۳ ریسک در گروه ایمنی فنی و نهایتاً ۷ ریسک در بخش ریسک‌های بهداشتی قرار گرفتند. تعداد ریسک‌های به دست آمده به تفکیک گروه، برای هر جزء در نمودار شماره ۱ ارائه شده است:

کمتر جدی‌اند. چنانچه مواجهه طی روزها، هفته‌ها، ماه‌ها، یا سال‌ها به وقوع بپیوندد، باز هم خطر آن کمتر می‌شود. دلیل این موضوع این است که بیشتر اندام‌های بدن می‌توانند برخی از آسیب‌ها را ترمیم کنند (۱۴). بنابراین طبق نتایج اندازه‌گیری به دست آمده، در منطقه مورد مطالعه به دلیل اینکه افراد بصورت مداوم در تماس با این امواج بوده و پرتوگیری در طول شبانه روز اتفاق می‌افتد، سلامت افراد در طولانی مدت، مورد تهدید است.

#### نتایج بررسی تجهیزات و شناسایی ریسک‌ها

در طی فرآیند انتقال برق، ۱۳ جزء بررسی گردید و ۴۱ ریسک ناشی از حالات خرابی و نقص این تجهیزات به دست آمد. مبنای تشخیص حالات خرابی بر اساس نظرات کارشناسان واحد HSE و مطابق آمار حوادث و سوانح مربوط به تجهیزات و خطاهای انسانی، بازدید از منطقه مورد مطالعه و همچنین کاربرگ‌های ثبت شده در بخش نگهداری و تجهیزات برق منطقه‌ای اهواز مد نظر قرار گرفت. تجهیزات مورد استفاده در انتقال برق به شرح زیر شناسایی شدند: مقره، سکسیونر، دکل، سیم، FLASH، رله، سرکابل، Span، جمپر، سیم گراند، Clearance، سیم گارد، خط انتقال برق. ریسک‌های شناسایی شده نیز بر اساس علل وقوع در چهار دسته به شرح زیر تقسیم‌بندی گشته‌اند:



نمودار ۱: تعداد ریسک شناسایی شده به تفکیک نوع بر اساس علل وقوع

تعداد ریسک‌های به دست آمده به تفکیک گروه، برای هر جزء نیز در جدول شماره ۳ ارائه شده است:

جدول ۳: تعداد ریسک‌ها ایجاد شده برای هر جزء به تفکیک نوع ریسک

تجهیزات	نوع ریسک	ریسک رویداد طبیعی	ریسک زیست محیطی	ریسک ایمنی - فنی	ریسک بهداشتی
دکل	۳	۲	۰	۱	۰
سیم	۲	۵	۱	۲	۰
مقره	۰	۲	۱	۰	۰
سرکابل	۰	۲	۱	۰	۰
سکسیونر	۰	۱	۲	۰	۰
سیم گارد	۰	۱	۰	۰	۰
سیم گراند	۰	۱	۲	۱	۰
رله	۰	۰	۱	۰	۰
جمپر	۰	۰	۱	۰	۰
خط انتقال برق	۰	۰	۲	۳	۰
Flash	۰	۱	۰	۰	۰
Clearance	۰	۱	۰	۰	۰
Span	۰	۰	۱	۰	۰

بر این اساس، تمامی ریسک‌هایی که عدد اولویت آنها کمتر از حد پایین ریسک ( $RPN < ۸۲$ )، به دست آمد، قابل قبول و دارای شرایط طبیعی (Low Risk) و ریسک‌هایی که عدد اولویت آنها بیشتر از حد بالای ریسک ( $RPN > ۲۵۹/۴$ )، غیر قابل قبول و دارای شرایط اضطراری (High Risk) و در نهایت ریسک‌هایی که عدد اولویت آنها بین حد بالا و حد پایین ریسک ( $۸۲ > RPN > ۲۵۹/۴$ ) قرار گرفت، دارای شرایط غیر طبیعی و در حد متوسط (Middle Risk)، هستند. مطابق تقسیم، ۹ ریسک دارای سطح کم، ۲۳ ریسک دارای سطح متوسط و ۹ ریسک در سطح بالا قرار گرفتند. پس از انجام ارزیابی مرحله یکم، اقدامات اصلاحی با هدف کاهش سطح ریسک‌هایی که دارای شرایط اضطراری و غیر طبیعی هستند، ارائه و پس از آن ارزیابی مرحله دوم، صورت گرفت. بدین ترتیب کلیه ریسک‌هایی که در ارزیابی مرحله یکم، در شرایط اضطراری و غیر طبیعی قرار داشتند با ارائه اقدامات کنترلی بر اساس شرایط محیطی و نظرات فنی و کارشناسی در سطح قابل قبول قرار گرفته و از میزان شدت اثر و احتمال وقوعشان کاسته شد.

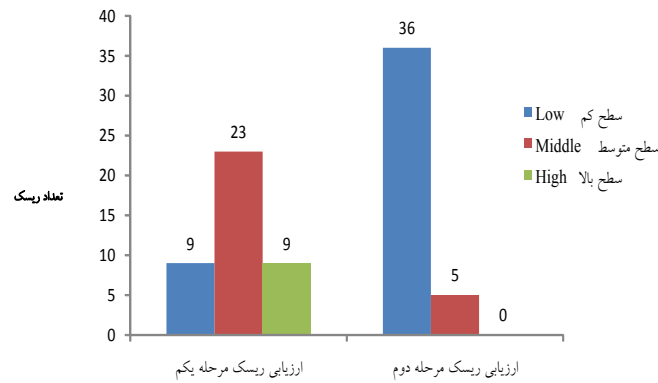
حالات خرابی و شکست تجهیزات منجر به وقوع اثرات در دو بخش صدمات انسانی و تخریب تجهیزات (در برخی موارد هر دو)، می‌شود که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش ضریب هدایت الکتریکی سیم، ولتاژ اضافی در خط انتقال، ترکیدن سرکابل، نقص در تنظیمات رله، آلوده شدن سطح سیم، خیس شدن سطح مقره و قطع شدن سیم گارد منجر به تخریب تجهیزات، عدم رعایت حریم خطوط، افزایش فاصله Flash، افزایش فاصله Span و کاهش فاصله Clearance، سبب بروز صدمات و تلفات انسانی و مواردی همچون سرقت و قطع شدن سیم، سقوط دکل، معیوب شدن سکسیونر، شکستن مقره، قطع شدن سیم گراند و اتصالی و برخورد سیم‌ها منجر به بروز صدمات انسانی و تخریب تجهیزات می‌گردد.

#### نتایج محاسبه سطح ریسک و اولویت‌بندی ریسک‌ها

بر اساس نتایج آماری با استفاده از نرم افزار SPSS، میانگین برای ۴۱ داده (ریسک‌ها)،  $۱۷۰/۷$  و انحراف معیار،  $۸۸/۷۲۳$  به دست آمد. به دنبال آن، مقادیر حد بالا، حد متوسط و حد پایین ریسک به شرح زیر محاسبه گردید:

$$\text{حد بالا} = ۲۹۵/۴ + ۱۷۰/۷ = ۴۶۵/۱$$

$$\text{حد پایین} = ۱۷۰/۷ - ۸۸ = ۸۲$$



نمودار ۲: مقایسه سطوح ریسک‌های به دست آمده در ارزیابی مرحله یکم و مرحله دوم

جدول ۴: نمونه‌ای از اقدامات کنترلی ارائه شده

جزء	حالت نقص	اقدام کنترلی و اصلاحی	نوع اقدام کنترلی			
			روش های فنی	روش های نظارتی	روش های طراحی و مهندسی	روش های حفاظت فردی
سیم	بار شدن، اتصالی و برخورد سیم	اجار کشی، سفت کردن اتصالات سیم ها، بازدید و چک کردن و تعمیر سیم ها، استفاده از مواد اولیه مرغوب و مناسب (در تهیه سیم و تجهیزات)	*	*		
دکل	شل شدن نبشی ها و سقوط دکل	بازدید و چک کردن دکل تعمیر و مقاوم سازی قسمت های فرسوده، جایگزین کردن نبشی ها (در صورتی که نبشی افتاده یا به سرقت رفته باشد)، افزایش استحکام فوندانسیون دکل، جایگیری صحیح دکلها	*	*	*	
مقره	خیس شدن سطح مقره، کاهش فواصل عایقی مقره، جدا شدن مقره و برخورد با انسان، شکستن مقره اتکایی	بررسی و چک کردن سطح مقره، شستشوی سطح مقره با آب مقطر یا فشار بالا، محکم کردن اتصالات مقره، استفاده از مقره های ضد الودگی و مقره های با استقامت مکانیکی زیاد	*	*		
سرکابل	معیوب شدن سرکابل، جدا شدن سر کابل از بدنه تیر، قطعی برق، ترکیدن سر کابل	محکم کردن محل اتصال سرکابل و بدنه تیر، آب بندی مناسب بین کابل و سر کابل، بازدید و چک کردن بخش های آسیب دیده، تعمیر قسمت های آسیب دیده، تعویض سرکابل، کنترل کردن جریان عبوری و استفاده از رله مناسب	*	*		
سیم گراند	کاهش ضریب هدایت الکتریکی سیم، انتقال موج اضافه ولتاژ به تاسیسات و دکل های دیگر، تخریب تجهیزات	بازدید منظم از سیم اجرای برنامه PM پس از وقوع پدیده گرد و غبار، اطمینان از کارکرد رله	*			
کلیننس	نزدیک شدن بیش از حد سیم به زمین، اثرگذاری میدان های مغناطیس بر انسان، برق گرفتگی	بازدید و چک کردن بطور مرتب، کنترل کردن اندازه ی استاندارد CLEARANCE تنظیم فاصله استاندارد آن، کنترل تنظیم کردن فاصله FT.ASH	*	*	*	
رله	معیوب شدن سیستم رله، نقص در تنظیمات، تخریب تجهیزات	آموزش دیدن اپراتور به طور تخصصی در زمینه ی تنظیمات رله، استفاده از افراد با تجربه در زمینه ی تنظیمات رله، چک کردن رله های مورد استفاده	*	*		*
چمبر	شل شدن پیچ و مهره ها، جدا شدن چمبر روی شبکه هوایی	محکم کردن پیچ و مهره ها و تعمیر قسمت های آسیب دیده، بررسی دوره ای کلمپ های اتصالی بین چمبر و هادی	*	*		
سیم	از بین رفتن حریم یا حوزه سیم	رعایت حریم های استاندارد خطوط انتقال توسط کارشناسان طراحی خطوط، جلوگیری از ساخت و ساز شهری در محدوده حریم خطوط انتقال، ارتقاء سطح علمی مردم در زمینه ی خطرات ناشی از نزدیکی محل سکونت به خطوط انتقال برق	*	*	*	*
سکسیونر	فرسودگی سکسیونر و ذوب شدن سیمها، تخریب تجهیزات	بررسی و چک کردن سکسیونر توسط اپراتور تعمیر قسمت های فرسوده، استفاده از انواع پوشش های حفاظتی لازم توسط اپراتور	*	*	*	

مغناطیس ساطع شده از خطوط برق فشار قوی که در نزدیکی یک مدرسه قرار گرفته را اندازه‌گیری و سپس اثرات آن را بر روی دانش آموزان موجود در مدرسه، بررسی کردند، نتایج این مطالعه نشان داد که میزان شدت میدان مغناطیس، بالاتر از حد مجاز بوده و می‌تواند بر روی سلامت دانش آموزان تاثیر منفی بگذارد (۱۶). Malagoli و همکاران نیز، طی پژوهشی در دو منطقه مسکونی واقع در شمال ایتالیا، دریافتند که خطر ابتلا به سرطان خون با سابقه اقامت افراد در منطقه‌ای که دارای شدت میدان بالاتر از حد مجاز بوده، تا حدودی افزایش می‌یابد (۱۷).

#### نتیجه‌گیری

با توجه به بالا بودن شدت میدان مغناطیس در منطقه، امواج مغناطیس ساطع شده از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا، قابلیت اثرگذاری در طولانی مدت بر سلامت افراد ساکن در منطقه را دارند، از این رو رعایت حریم‌های استاندارد خطوط انتقال برق برای منطقه مورد مطالعه و همچنین در صورت امکان، جابجایی منازل مسکونی از منطقه به محلی ایمن‌تر، نقش بسزایی در کاهش اثرات فوق خواهد داشت.

#### تشکر و قدردانی

در پایان از همکاری کارشناسان محترم شرکت بهره‌برداری و برق منطقه‌ای اهواز، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد. این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "ارزیابی ریسک زیست‌محیطی خطوط انتقال برق فشار قوی در مناطق شهری با استفاده از روش تطبیقی FMEA و "Fine William" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۰-۱۳۹۱ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، است.

براساس نتایج به دست آمده، بالاترین مقادیر ریسک در گروه ریسک‌های زیست‌محیطی مربوط به جزء مقرر با RPN، ۳۲۰ و کمترین مقدار ریسک مربوط به جزء سکسیونر با RPN، ۶۰ به دست آمد. در بخش ریسک‌های رویداد طبیعی، تمامی ریسک‌ها دارای سطح متوسط بوده و بالاترین مقدار ریسک مربوط به جزء سیم با RPN، ۱۶۸ به دست آمد. در گروه ریسک‌های ایمنی - فنی، بالاترین مقدار ریسک را جزء خط انتقال برق با RPN، ۲۷۰ و کمترین مقدار ریسک را جزء FLASH و SPAN با RPN، ۸۰ به خود اختصاص می‌دهند. تمامی ریسک‌های بهداشتی شناسایی شده دارای سطح ریسک High و شرایط اضطراری هستند، که بالاترین مقدار در میان آنها مربوط به جزء سیم و خط انتقال برق با RPN، ۳۶۰ است. در فرآیند ارزیابی ریسک، بعد از شناسایی و کمی‌سازی و اولویت‌بندی ریسک‌ها نیاز به برنامه پاسخ به ریسک بوده، که راه‌های مقابله با ریسک‌ها و فرصت‌های مناسب را قبل از آن که به وقوع بپیوندد، بیان می‌کند. برخی از مهمترین اقدامات کنترلی و اصلاحی ارائه شده در این پروژه در جدول زیر نمایه شده است.

مطابق نتایج به دست آمده از این تحقیق، غالب ریسک‌هایی که منجر به بروز صدمات و تلفات انسانی می‌گردند، دارای شرایط اضطراری و یا غیر طبیعی هستند. نتایج حاصل از پژوهشی که با استفاده از روش FMEA و JHA به منظور تحلیل ریسک حوادث برق در منطقه سعادت آباد تهران توسط Ghayeblo و همکاران صورت گرفت (۱۵) و همچنین مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه و تحلیل حالات خطر (FMEA) و اثرات ناشی از آن که توسط Ebrahimzadeh و همکاران انجام گرفت (۸)، نشان می‌دهد بیشترین RPNها مربوط به بخش ایمنی و فنی بوده، در صورتی که نتایج حاصل از تحقیق حاضر که در یک منطقه مسکونی ریسک‌های خطوط برق را ارزیابی کرده، نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر را ریسک‌های بخش بهداشتی به خود اختصاص می‌دهند. در ارتباط با اندازه‌گیری میدان مغناطیس که در مطالعه حاضر نیز به انجام رسیده، پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته که در اکثر آنها مانند این پژوهش، شدت میدان بالاتر از حد مجاز بوده و از این رو برای سلامت افراد خطر آفرین است. Li و همکاران در تایوان، شدت میدان



منابع

1. Amini S. Textbook of Generation, Transmission and Distribution of Electrical Energy. Tehran: Water and Electricity Institute of Applied Science and Technology; 2009 (in Persian).
2. Ebrahimzadeh M, Halvati GH, Mortazavi M, Soltani gerdfarmarzi R. Assess the potential risks of shiraz refinery with failure modes and effects analysis (FMEA). *Journal of Occupational Medicine Specialist*. 2011;3:16- 23 (in Persian).
3. Rezaee K. Failure Modes and Effect Analysis (FMEA). 2nd ed. Tehran: Iran's Cooperating Company with Atena Publication; 2005 (in Persian).
4. Gharachourloo N. Risk Assessment and Management. Tabriz: Jahad Daneshgahi of Eastern Azerbaijan; 2005 (in Persian).
5. Lari baghal M, Jaafarzadeh Haghighifard N, Rafiee M. FMEA used in environmental risk assessment: The case of Imam Khomeini port jetty dredging mining. *Journal of Wetland Research*. 2011;3(9):14-3 (in Persian).
6. Alimohammadi I, Adl J. The comparison of safety level in kilns in two gypsum production factories by failure modes and effects analysis (FMEA). *Iran Occupational Health Journal*. 2008;5(1):77-83 (in Persian).
7. Nezhadali H, Mortazavi B, Khavanin A. LPG storage spheres risk assessment with FMEA and ETBA methods. *Journal of Behbod*. 2008;12(37):180-89 (in Persian).
8. Ebrahimzadeh M, Halvani G, Mortazavi M, Soltani Gerdfarmarzi R. Assess the potential risks of Shiraz refinery with analysis of risk scenarios (FMAE) and the effects of. *Journal of Occupational Medicine Specialist*. 2011;3(2):23-16 (in Persian).
9. Mehrdad H, Hosseinian Zakaria MM. The effect of magnetic fields from power lines on the peripheral motor nerves. *Proceeding of the 19th International Congress of Electricity*; 2004 Nov 2-4; Tehran, Iran (in Persian).
10. Rostampour N, Almasi A, Rostampour M, Arabian KH, Karami A. Assessment of Electromagnetic Fields around High Voltage Power Supply in Hamadan Hospital Wards. *Journal of Health and Environment*. 2012;5(3): 235-44 (in Persian).
11. Nasiri P, Monazam MR, Zare S, Azam K, Yousefi Z, Hematjo R. The Study of the status of electromagnetic waves resulting from BTS (Base Transceiver Station), 900 megahertz frequency in Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2011;4(3):331-40 (in Persian).
12. Ariyan Nezhad S, Hoseinpor E. Statistical Yearbook of Khuzestan. Ahvaz: Publication of Khuzestan Province; 2010 (in Persian).
13. World Health Organization. Extremely Low Frequency Fields. Geneva: World Health Organization; 2007.
14. Pashaei Rad J, Sepehri H, Moallemi B, Mizabeigi J. Physics and Its Applications in Health Sciences. 2nd ed. Tehran: Iran University Press; 1986 (in Persian).
15. Ghayeblo S, Mojriyan M, Geroyan N, Khosravi Sh, Keshavarz Mohamadiyan Gh, Jafariniya S, et al. Assessment and risk analysis in the area of electrical accidents Saadatabad using FMEA & JHA methods. *Proceedings of the 19th international power system conference*; 2004 Nov 2-4; Tehran, Iran (in Persian).
16. Li C-Y, Sung F-C, Chen F-L, Lee P-C, Silva M, Mezei G. Extremely-low-frequency magnetic field exposure of children at schools near high voltage transmission lines. *Science of the Total Environment*. 2007;376(1):151-59.
17. Malagoli C, Fabbi S, Teggi S, Calzari M, Poli M, Ballotti E, et al. Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy. *Environmental Health*. 2010;9(1):16.

## **Hazard identification and risk assessment of high voltage power lines (in residential areas using failure modes and effects analysis (FMEA**

<sup>1</sup>\*Jozi A., <sup>2</sup>Jafarzadeh Haghighi Fard N., <sup>3</sup>Afzali Behbahani N.

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering, Technical & Engineering Faculty, Islamic Azad University, North Tehran Branch.

<sup>2</sup> Environmental Technology Research Center, Ahvaz Jondishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>3</sup> Environmental Science / Assessment and Land Use, Islamic Azad University,  
Science and Research in Khuzestan

Received; 6 April 2013 Accepted; 29 June 2013

### **ABSTRACT**

**Background:** FMEA is one of the best known system safety techniques widely used as an identification tool. The purpose of this study was to apply FMEA method to identify and assess the risks posed by power lines in a residential area is Hasyrabad, Ahwaz.

**Materials and Methods:** First, we identified the power line process and the equipment involved. Later, we determined the failure modes of equipment, which leads to the risk in the area studied. In order to measure the magnetic field lines, we used 3D EMF TESTER. Risks identified were scored based on the FMEA and for each case we calculated RPN. Then, with the help of SPSS software, we calculated level of risk and the cases identified were prioritized and analyzed based on the risk level.

**Results:** The highest RPN values were associated with health risks and all risks involved in this group are at emergency conditions. It was revealed that wires (loss of privacy) and power transmission line (non-compliance with privacy standards) had highest value (RPN 360) and disconnect switch had lowest value (RPN 60).

**Conclusion:** Due to the high risk in most cases, control measures were proposed based on the expertise in the safety-related equipment, training operators, and regulatory measures in order to reduce the level of risk.

**Keywords:** risk assessment, power transmission line, FMEA technique, Ahwaz.

---

\*Corresponding Author:

Tel:+ Fax:-----