

## تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) در تحلیل خطرات نیروگاه

دکتر علیرضا کوهپایی<sup>۱</sup>

محمد خندان<sup>۲</sup>

مهدی جلالی<sup>۳</sup>

دکتر سیدعلی موسوی نجارکالا<sup>۴</sup>

کیومرث سمعی<sup>۵</sup>

امیر بهرامی<sup>۶</sup>

### چکیده

روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یکی از شناخته شده ترین تکنیک های ایمنی سیستم است که به صورت سیستماتیک به شناسایی شکست های سیستم ها، زیرسیستم ها و اجزای آن در فرایندها می پردازد. هدف این مطالعه، ارزیابی ریسک های بالقوه موجود در واحد الکترونیک یکی از نیروگاه های سیکل ترکیبی، با استفاده از تکنیک FMEA می باشد. جهت انجام این مطالعه، ابتدا تیمی از کارشناسان و سرپرستان با تجربه تشکیل شد و خطرات بالقوه واحد الکترونیک شناسایی گردید. در مرحله بعد پارامترهای احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت شناسایی خطر تعیین و نمره اولویت خطر پذیری برای کلیه خطرات شناسایی شده، محاسبه شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تعداد خطرات بالقوه شناسایی شده در این واحد، ۳۷ مورد بوده که از این تعداد، ۶۸٪ موارد در سطح بالا (غیرقابل قبول) و ۳۲٪ در سطح متوسط و پایین می باشند. بالاترین نمره ریسک از بین این خطرات، به برق گرفتگی در هنگام تعویض زغال های ژنراتور و همچنین در اثر برق دار شدن اتفاقی سیم های رهاشده در محوطه واحد الکترونیک با RPN معادل ۳۰۰ تعلق گرفت. با توجه به بالا بودن نمره ریسک برق گرفتگی در این واحد، انجام اقدامات کنترلی فنی مهندسی و مدیریتی به منظور کاهش حوادث ناشی از آن امری ضروری و بایسته بوده و می تواند به منظور دستیابی به نتایج مطلوب و کاهش ریسک به سطوح قابل قبول حائز اهمیت باشد.

**واژگان کلیدی:** ارزیابی ریسک، نیروگاه، تکنیک FMEA، ایمنی، نظام بیمه

koohpaei@muq.ac.ir

Khandan.mo@gmail.com

ajalali@gmail.com

mosavi58@gmail.com

k.samiei@yahoo.com

amir57phd@gmail.com

۱. استادیار، دانشگاه علوم پزشکی قم

۲. کارشناسی ارشد ارگونومی، دانشگاه علوم پزشکی قم

۳. مربی، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

۴. دکتری تخصصی مهندسی بهداشت حرفه ای، سازمان بهداشت و درمان صنعت نفت

۵. دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی، اداره کل درمان مستقیم سازمان تأمین اجتماعی

۶. دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی، کارشناس پژوهشی پژوهشگاه بیمه

## ۱. مقدمه

براساس گزارش سازمان بین‌المللی کار (ILO) سالانه ۲ میلیون حادثه شغلی منجر به فوت و ۲۶۸ میلیون حادثه غیر منجر به فوت رخ می‌دهد که پیامد اقتصادی ناشی از آنها به دلیل غیبت و پرداخت غرامت به کارکنان حادثه‌دیده معادل ۴ درصد تولید ناخالص ملی می‌باشد (۱). در ایران برابر گزارشات رسمی سازمان پزشکی قانونی در سال ۱۳۹۰، ۱۵۰۷ نفر بر اثر حوادث کار در کشور جان خود را از دست دادند. بر این اساس سال ۹۰ در مقایسه با ۱۰ سال گذشته بیشترین آمار مرگ ناشی از حوادث کار را به خود اختصاص می‌دهد. این رقم در مقایسه با سال ۸۹، ۱۶/۸ درصد افزایش یافته است (۲). برای تصمیم‌گیری در مورد اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر خطرات موجود، لازم است ریسک‌های ایمنی فرایند به‌طور اختصاصی مورد ارزیابی قرار گیرد (۳). ارزیابی ریسک باعث تعیین سطوح ریسک فرآیندهای مختلف می‌گردد. همچنین ما را قادر به اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب برای انجام اقدامات مورد نیاز برای محافظت افراد می‌نماید (۴). بدون انجام ارزیابی ریسک، ممکن است زمان و منابع صرف خطرات کم اهمیت‌تر شده و از مخاطرات مهم و قابل توجه غفلت گردد (۳).

در سال‌های اخیر روش‌ها و شاخص‌های متعددی بمنظور شناسایی خطر و تعیین میزان ریسک توأم با عملیات واحدها، فرایندها و کارخانجات طراحی و توسعه یافته که با استفاده از آنها طبقه بندی یا تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ریسک‌ها ممکن گردیده است (۵). از بین روش‌های موجود، روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) روشی است که اخیراً به‌طور گسترده‌ای بمنظور بررسی پتانسیل نقص‌ها در محصولات، فرآیندها، طراحی‌ها و سرویس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۶). این روش اجزاء سیستم را تجزیه و تحلیل کرده و شرایط اجزاء را به شرایط سیستم ارتباط می‌دهد و نقص اجزاء را بمنظور تعیین اثر آن بر روی سیستم پیگیری می‌کند (۷). هدف FMEA تعیین علت‌های ایجاد نقص در سیستمها و ارائه راهکارهایی برای کاهش و یا حذف نقص‌های شناسایی‌شده در جهت افزایش قابلیت اطمینان فرآیند می‌باشد (۸). در این مورد، ابراهیم‌زاده و همکاران، خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز را با روش تجزیه و تحلیل حالات خطر و اثرات آن (FMEA) ارزیابی و مهمترین ریسکها را شناسایی و اولویت بندی کردند (۹). جوزی و همکارانش نیز به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک مخاطرات ناشی از خطوط انتقال برق ولتاژ بالا در مناطق مسکونی از روش تجزیه و تحلیل حالات خطر و اثرات آن (FMEA) استفاده کردند (۱۰).

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از جمله نیروگاه‌هایی هستند که نقش مهمی را در تولید نیرو ایفا می‌نمایند. در حال حاضر استفاده از این نیروگاه‌ها به علت تولید انرژی با حداقل مصرف سوخت مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین توسعه استراتژی‌های به‌منظور بهینه‌سازی این سیستم‌ها مورد نیاز می‌باشد (۱۱، ۱۲). یکی از قسمت‌های مخاطره‌آمیز در نیروگاه‌ها، واحدهای برق و الکترونیک هستند که باتوجه به ریسک بالای خطر برق گرفتگی در این واحد، ارزیابی ریسک و شناسایی موارد مربوطه اهمیت خاص و ویژه‌ای دارد. به این منظور، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی خطرات بالقوه موجود در واحد الکترونیک یک نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تکنیک ارزیابی ریسک (FMEA) انجام گردید.

## ۲. روش بررسی

این مطالعه موردی در یکی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در سال ۹۲ انجام گردید. در مرحله اول و پس از بررسی میدانی در واحدهای گوناگون نیروگاه باتوجه به حساسیت هر واحد، وضعیت ظاهری و میزان حوادث رخ داده ثبت شده در شرکت، واحد الکترونیک این نیروگاه به‌عنوان اولین و مهم‌ترین قسمت شناسایی و به‌منظور ارزیابی و تجزیه و تحلیل

خطرات مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) استفاده شد. این روش اجزاء سیستم را تجزیه و تحلیل کرده و شرایط اجزاء را به شرایط سیستم ارتباط می دهد و نقص اجزاء را به منظور تعیین اثر آن بر روی سیستم پیگیری می کند. در این روش برای ثبت داده های حاصل از تجزیه و تحلیل از کاربرگ خاصی استفاده می شود (۷). هدف FMEA تعیین علت های ایجاد نقص در سیستم ها و ارائه راهکارهایی برای کاهش و یا حذف نقص های شناسایی شده در جهت افزایش قابلیت اطمینان فرایند می باشد (۸). در مرحله اول برای بررسی مناسب و شناسایی حداکثر خطرات اقدام به تشکیل یک گروه کاری متشکل از سرپرست واحد مورد بررسی، مسئول ایمنی و بهداشت نیروگاه، مسئول تعمیر و نگهداری و دو نفر از متخصصین ایمنی و بهداشت در زمینه ارزیابی ریسک گردید. سپس باتوجه به حوادث و شبه حوادث ثبت شده در گذشته، اظهارات کارکنان واحد و آیین نامه ها و دستورالعمل های موجود در زمینه مشاغل مختلف این واحد، خطرات بالقوه موجود شناسایی و در کاربرگ مخصوص روش FMEA ثبت گردید. در مرحله بعد پارامترهای احتمال وقوع (O)، شدت اثر (S) و قابلیت شناسایی خطر (D) با استفاده از جداول ارائه شده برای روش FMEA (جدول ۱) محاسبه و ثبت شد و پس از ورود آنها به نرم افزار Excel ۲۰۰۷، از تعامل این سه پارامتر در فرمول نهایی نمره اولویت خطر پذیری (RPN) برای کلیه خطرات شناسایی شده محاسبه شد (۱۳). پس از تعیین RPN برای ریسک های موجود، قضاوت نهایی برای تمایز میان سطوح ریسک به این صورت انجام پذیرفت که ریسک هایی که دارای  $RPN < 70$  بودند، ریسک های با سطوح ریسک پایین، ریسک هایی که در محدوده  $70 < RPN < 140$  بودند، ریسک های با سطوح ریسک متوسط و ریسک هایی که دارای  $RPN > 140$  بودند، ریسک های با سطوح ریسک بالا و غیر قابل قبول منظور گردیدند (۱۴).

جدول (۱) - تعیین قابلیت کشف و احتمال وقوع خطر و شدت خطر باتوجه به روش FMEA (۱۵)

(S)	شدت خطر	(D)	قابلیت کشف و شناسایی	(O)	احتمال وقوع خطر
۱	هیچ	۱	حتمی	۱	ناچیز
۲	تقریباً هیچ	۲	بسیار محتمل	۲	بسیار پایین
۳	به شدت پایین	۳	محتمل	۳	پایین
۴	بسیار پایین	۴	بیش از میانگین	۴	گهگاه
۵	پایین	۵	متوسط	۵	Now and then
۶	متوسط	۶	پایین	۶	به طور منظم
۷	زیاد	۷	بسیار پایین	۷	بسیار منظم
۸	خیلی زیاد	۸	غیر محتمل	۸	اغلب
۹	به شدت بالا	۹	بسیار غیر محتمل	۹	اغلب اوقات
۱۰	بسیار خطرناک	۱۰	Excluded	۱۰	Extremely often

### ۳. یافته های تحقیق

در این مطالعه تعداد خطرات بالقوه شناسایی شده در این واحد ۳۷ مورد می باشد که در جدول ۲ آورده شده است. از این تعداد، ۶۸٪ موارد در سطح غیر قابل قبول و ۳۲٪ در سطح متوسط و پایین قرار گرفت (شکل ۱). از بین این خطرات،

بالاترین نمره ریسک به برق گرفتگی در هنگام تعویض زغال‌های ژنراتور و برق گرفتگی در اثر برق دار شدن اتفاقی سیم‌های رها شده در محوطه واحد مورد بررسی با RPN معادل ۳۰۰ تعلق گرفت.

همچنین کمترین عدد اولویت ریسک به احتمال بروز عوارض تنفسی در اثر ورود ذرات ریز سلیکاژن به چشم و مجاری تنفسی در حین تعویض سلیکاژن ترانس‌ها در زمان تعمیر و نگهداری ترانس‌ها، با RPN معادل ۳۶ تعلق گرفت.

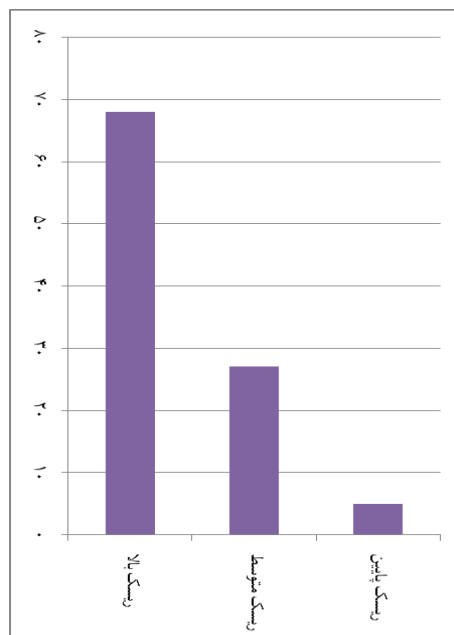
جدول (۲) - خطرات بالقوه شناسایی شده در واحد الکترونیک سیکل ترکیبی به همراه پارامترهای شدت، احتمال وقوع و

قابلیت شناسایی و RPN مربوط به هر کدام از خطرات

ردیف	RPN	قابلیت کشف	احتمال وقوع	شدت	ریسک‌های شناسایی شده، علت و پیامدهای آن در واحد مورد بررسی
ریسک بالا	۱۶۸	۶	۴	۷	احتمال شکستگی انگشتان دست در اثر گیر کردن دست بین پره های فن تجهیزات و تأسیسات در حین تعمیر تجهیزات الکتریکی
ریسک بالا	۳۰۰	۶	۵	۱۰	احتمال مرگ یا سوختگی افراد در اثر برقرار شدن اتفاقی سیم‌ها و کابل‌های تجهیزات که به صورت رها شده در محوطه تجهیزات وجود داشته
ریسک بالا	۲۱۰	۶	۵	۷	احتمال بروز صدمات جسمی در حین تعمیرات در اثر انجام عملیات تعمیراتی بر روی خطوط برقدار
ریسک بالا	۲۰۰	۵	۵	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر القاء انرژی الکتریکی از خطوط برقدار به خطوط بی برق در هنگام تعمیر خطوط انتقال برق
ریسک بالا	۱۹۲	۶	۴	۸	احتمال بروز آسیب جانی و خسارات در اثر انفجار ناشی از تجمع گاز در درون باطریها و انفجار باطریها به علت بسته بودن درب باطری در حین شارژ و دشارژ در زمان تعمیر و نگهداری باطریها
ریسک متوسط	۱۲۸	۴	۸	۴	احتمال بروز بیماریهای تنفسی و چشمی در اثر امکان ورود ذرات به داخل چشم و دستگاه تنفسی در هنگام تمیز کاری تابلوهای برق
ریسک بالا	۱۶۰	۴	۴	۱۰	احتمال مرگ یا بروز صدمات جسمی در اثر برق گرفتگی افراد در حین کار در سوئیچ گیر ، هنگام تعمیر و نگهداری پانل‌ها، باس بارها و بریکرها
ریسک متوسط	۹۶	۶	۴	۴	احتمال گیر کردن انگشتان دست و شکسته شدن آنها در اثر وصل بریکر هنگام دشارژ فنر بریکر
ریسک بالا	۱۶۰	۴	۴	۱۰	احتمال برق گرفتگی در اثر تماس دست با قسمت برقدار بریکر ، هنگام تعمیر و نگهداری بریکرها
ریسک بالا	۱۶۰	۴	۴	۱۰	احتمال برق گرفتگی در اثر برخورد ابزار با قسمت‌های برقدار یا قطع اتصالات مربوطه به بریکرها و پانلها در حین تمیز کاری پانلها و بریکرها
ریسک بالا	۱۶۰	۴	۴	۱۰	احتمال برق گرفتگی در اثر تماس اعضاء بدن با شینهای برقدار در حین تعمیر و نگهداری پانلها و باس بارها و عدم نصب طاقهای حفاظتی
ریسک متوسط	۷۲	۶	۲	۶	احتمال بروز صدمات جسمی یا بروز خسارت به تجهیزات در اثر تماس پرسنل یا حیوانات با قسمت‌های برقدار تابلوهای نصب شده در محوطه عمومی به علت باز بودن درب ، هنگام تعمیر و نگهداری پانلها ، باس بارها و بریکرها

ریسک بالا	۲۰۰	۵	۴	۱۰	احتمال مرگ و برق گرفتگی و بروز صدمات جسمی در اثر اتصال فاز بدنه تجهیزات و تماس پرسنل با تجهیزات برقدار حین تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی
ریسک بالا	۲۰۰	۵	۴	۱۰	احتمال مرگ یا بروز صدمات جسمی در اثر برق گرفتگی پرسنل به علت تماس ابزار با قسمتهای برقدار تجهیزات در حین انجام فعالیتهای تعمیرات و معیوب بودن، حین تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی
ریسک متوسط	۱۲۰	۳	۵	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر برخورد اشیاء و قطعات به علت عدم نصب درپوش سینی کابلها، حین تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی
ریسک پایین	۶۴	۴	۴	۴	احتمال بریدگی دست در اثر شکسته شدن لامپهای سوخته در دست هنگام تعویض آنها، حین تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی
ریسک متوسط	۱۰۸	۳	۴	۹	احتمال خسارت به تجهیزات و سوختگی افراد در اثر نفوذ آب به درون تجهیزات الکتریکی نصب شده در محوطه عمومی و یا جاهائیکه احتمال ریزش آب وجود داشته و نهایتاً باعث اتصال کوتاه و یا برق دار شدن بدنه فلزی تجهیزات و برق گرفتگی پرسنل شود
ریسک بالا	۱۴۴	۴	۴	۹	احتمال برق گرفتگی در اثر از بین رفتن عایق کابلهای الکتریکی و تماس قسمت هادی کابل با کاندوئیتها و نهایتاً تماس پرسنل با کاندوئیت های برقدار
ریسک بالا	۲۴۰	۶	۴	۱۰	احتمال سوختگی و خسارت مالی در اثر بروز انفجار در صورتیکه در مناطق حاوی گازهای قابل انفجار از تجهیزات الکتریک ضد جرقه استفاده نشده باشد
ریسک بالا	۲۱۶	۶	۴	۹	احتمال سوختگی افراد و احتمال خسارت به تجهیزات در اثر اصابت ساعقه به ساختمانها و تأسیسات و مخازن و القای انرژی الکتریکی با ولتاژ بالا به علت قطع بودن اتصال ارت برق گیرها به شبکه، حین تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی
ریسک متوسط	۸۴	۲	۷	۶	احتمال بروز عوارض پوستی در اثر تماس پوست بدن با روغن در هنگام تصفیه فیزیکی روغن ترانس در زمان تعمیر و نگهداری ترانسها
ریسک بالا	۲۴۰	۶	۴	۱۰	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر تماس اعضاء بدن با قسمتهای برق دار ترانس هنگام کار بر روی ترانسها در زمان تعمیر و نگهداری ترانسها
ریسک متوسط	۱۲۸	۴	۴	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر سقوط پرسنل از روی بوشینگ در حین تمیز کاری در زمان تعمیر و نگهداری ترانسها
ریسک بالا	۱۶۰	۴	۵	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر سقوط پرسنل از روی کنسرواتور در حین انجام عملیات تعمیراتی بر روی کنسرواتور در زمان تعمیر و نگهداری ترانسها
ریسک پایین	۳۶	۳	۳	۴	احتمال بروز عوارض تنفسی در اثر ورود ذرات ریز سلیکاژن به چشم و مجاری تنفسی در حین تعویض سلیکاژن ترانسها در زمان تعمیر و نگهداری ترانسها
ریسک متوسط	۱۳۵	۵	۳	۹	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر تماس دست با قسمتهای برقدار کارت ارت فیوز در حین باز کردن این قطعه و بی برق نمودن خطوط یا ترانسها در حین تعمیر و نگهداری خطوط انتقال انرژی الکتریکی
ریسک بالا	۱۸۰	۵	۴	۹	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر تماس با قسمت برقدار مربوط به زغالهای اکسایتر ژنراتور در هنگام تعویض و یا تنظیم این زغالها در حین تعمیر و نگهداری ژنراتور
ریسک متوسط	۱۲۸	۴	۴	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر سقوط پرسنل در هنگام تعویض لامپهای روشنایی دودکش و لامپهای خطر

ریسک متوسط	۹۶	۳	۴	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر تماس با قسمت‌های برقدار لامپ‌های روشنایی سیار به علت استفاده از لامپ‌ها و سرپیچ‌های غیر ایمن در زمان تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی
ریسک بالا	۲۴۰	۴	۶	۱۰	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر ریزش آب بر روی ترمینال‌های برقدار و اتصال فاز به بدنه و برق گرفتگی پرسنل به علت عدم نصب درپوش ترمینال‌های تیرهای چراغ برق در حین تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی الکتریکی
ریسک بالا	۲۴۰	۴	۶	۱۰	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر سقوط پرسنل از روی داربست در حین تعویض لامپ‌های روشنایی سالن‌های مرتفع در حین تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی الکتریکی
ریسک بالا	۱۹۲	۴	۶	۸	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر نقص عضو و ایجاد خسارات در اثر امکان سقوط الکتروموتور بر روی زمین و پای افراد در حین جابجایی الکتروموتور فنهای تعویض توربین هال در حین تعمیر و نگهداری فنهای سقفی سالن توربین
ریسک بالا	۲۴۰	۴	۶	۱۰	احتمال فوت یا نقص عضو افراد در اثر سقوط افراد در حین کار بر روی کرینهای سقفی به علت عدم دقت لازم در هنگام تعمیر و نگهداری کربن
ریسک بالا	۱۴۴	۴	۶	۶	احتمال بروز بیماریهای تنفسی در اثر تصاعد بخارات روغن و ورود آن به دستگاه تنفسی در حین داغ کردن بیرینگ الکتروموتورها در حین تعمیرات الکتروموتورها
ریسک بالا	۳۰۰	۶	۵	۱۰	احتمال مرگ یا نقص عضو افراد در اثر برق گرفتگی در هنگام تعویض زغالهای ژنراتور
ریسک بالا	۱۹۲	۶	۸	۴	احتمال بروز صدمات جسمی در اثر بریده شدن سیم بکسلها ، زنجیرها ، بستهای نگهدارنده سبد بالابر به علت انجام بازدیدهای دوره ای در حین استفاده از بالابر جهت تعویض لامپ‌های سوخته
ریسک بالا	۱۶۸	۶	۴	۷	احتمال بروز صدمات جانی و مالی در اثر عدم رعایت دستورالعمل‌های ایمنی اعلام شده از جانب شرکت سازنده در حین استفاده از بالابر جهت تعویض لامپ‌های سوخته



شکل (۱) - فراوانی ریسک‌های شناسایی شده در واحد الکترونیک نیروگاه سیکل ترکیبی در سه گروه ریسک بالا، متوسط و

پایین

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی و ارزیابی ریسک‌های بالقوه واحد الکترونیک یکی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و با استفاده از تکنیک FMEA انجام پذیرفت. نتایج حاصل از بررسی این واحد نشان از قرارگیری ۶۸٪ از ریسک‌های شناسایی شده در سطح غیر قابل قبول و ۳۲٪ در سطح متوسط و پایین می‌باشد که این امر نشان دهنده نامناسب بودن وضعیت ایمنی در واحد مورد بررسی می‌باشد. این مطالعه نشان داد که با استفاده از روش FMEA می‌توان ریسک‌های موجود را به نحو مطلوبی شناسایی، تجزیه و تحلیل و رتبه‌بندی نمود و با توجه به بررسی‌های انجام پذیرفته می‌توان با ارائه راهکارهای مناسب در جهت کاهش ریسک‌های غیر قابل قبول و رساندن آنها به سطح قابل قبول گام برداشت. این نتایج منطبق با سایر مطالعاتی است که توسط دیگر محققین و توسط روش FMEA انجام پذیرفته است. از جمله، در تحقیقی که توسط Bonnabry و همکاران با هدف طراحی روش آنالیز خطر برای ارزشیابی اثر کامپیوتری کردن اطلاعات مربوط به بیماران برای اثر بخشی بالاتر در ایمنی بیماران انجام پذیرفت، از روش FMEA به منظور آنالیز خطرات استفاده گردید و نتیجه‌گیری شد که استفاده همزمان از روش FMEA و ورود اطلاعات مختلف مربوط به بیماران به صورت کامپیوتری می‌تواند باعث افزایش قابلیت سیستم در مراکز مراقبت‌های درمانی گردیده و باعث افزایش ایمنی بیماران گردد (۱۶). همچنین در مطالعه مداخله‌ای که توسط حسینی و همکاران انجام گردید، مشخص شد که روش FMEA این امکان را فراهم می‌کند که علل مختلف دارای پتانسیل ایجاد حادثه در فازهای مختلف عملیاتی شناسایی شود و براساس آن می‌توان اقدامات کنترلی مناسب را برای کاهش خطرات از سطوح غیر قابل قبول به سطوح قابل قبول طراحی و اجرا نمود (۱۷).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بالاترین نمره ریسک مربوط به برق‌گرفتگی در هنگام تعویض زغال‌های ژنراتور و برق‌گرفتگی در اثر آسیب اتفاقی به سیم‌های رها شده در محوطه واحد مورد بررسی می‌باشد. همچنین کمترین عدد اولویت ریسک به احتمال بروز عوارض تنفسی در اثر ورود ذرات ریز سلیکاژن به چشم و مجاری تنفسی در حین تعویض سلیکاژن ترانس‌ها در زمان تعمیر و نگهداری ترانس‌ها مربوط می‌باشد. این نتایج نشان از رتبه بندی مناسب خطرات موجود در واحد مورد بررسی می‌باشد. این نتایج با یافته‌های مطالعه شفيعی زاده بافقی و همکاران همخوانی دارد. در آن مطالعه که در پروژه احداث کارخانه فولاد بافق انجام شد، مشخص گردید که استفاده از روش FMEA می‌تواند مشاغل مختلف را از نظر میزان خطرشان اولویت‌بندی نماید و با اینکار می‌توان مشاغلی با ریسک بالاتر را در اولویت اقدامات کنترلی قرار داد (۱۸). به‌طور کلی همانگونه که مشخص است بیشترین خطرات شناسایی شده مربوط به برق‌گرفتگی در وظایف مختلف واحد الکترونیک نیروگاه و همچنین سقوط از ارتفاع در هنگام تعویض و یا تعمیر تجهیزات می‌باشد. در نتیجه انجام اقداماتی به منظور جلوگیری از برق‌گرفتگی و سقوط از ارتفاع در مشاغل و وظایف مورد بررسی می‌تواند باعث کاهش در ریسک‌های موجود گردد. برای این منظور می‌توان راهکارهای زیر جهت کنترل خطرات مربوط به برق‌گرفتگی در واحد مورد بررسی استفاده نمود:

- ۱- حفاظ گذاری، محصورسازی و جانمایی مناسب تجهیزات الکتریکی (استقرار در خارج از دسترس) به منظور کاهش تماس پرسنل با تجهیزات و وسایل برقی؛
- ۲- استفاده از اتصالات مناسب در مدارهای برق‌دار و بازرسی روزانه آنها؛
- ۳- استفاده از زیر پای عایق در هنگام کار با تجهیزات برقی؛
- ۴- عایق‌سازی (ایزولاسیون) بخش‌های برق‌دار تجهیزات الکتریکی از اجزایی که افراد می‌توانند با آنها تماس داشته باشند؛

- ۵- استفاده از فیوز و سوئیچ‌های مناسب جهت قطع برق در صورت ایجاد اضافه بار در مدار الکتریکی تجهیزات؛
  - ۶- همبند کردن (Bonding) یا زمین کردن (Grounding) کلیه تجهیزات به منظور هم پتانسیل کردن کلیه اجسام هادی؛
  - ۷- استفاده از تجهیزات قطع کننده جریان در صورت نشتی برق در تجهیزات موجود؛
  - ۸- آموزش اصول کار در ارتفاع برای پرسنل تعمیرات و نگهداری به منظور پیشگیری از سقوط در هنگام کار در ارتفاع؛
  - ۹- استفاده از کمربند ایمنی توسط پرسنل تعمیر و نگهداری در هنگام کار در ارتفاع (۷).
- در نهایت و باتوجه به نتایج این روش ارزیابی می توان بیان داشت چنانچه ارزیابی ریسک فرآیندها با استفاده از روشهای ارزیابی به انجام رسیده و سپس حق بیمه صنایع براساس میزان ریسک اندازه گیری شده موجود در فرآیند تنظیم گردد، می توان انتظار داشت که کارفرمایان دقت بیشتری در رعایت مسایل ایمنی و بهداشتی داشته و از سوی دیگر صنعت بیمه هم با بهره وری بیشتر فعالیت نماید.

## ۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از کلیه کارکنان نیروگاه سیکل ترکیبی مورد مطالعه و همچنین کلیه عزیزانی که در زمینه اجرایی این پروژه تلاش های فراوانی نمودند تقدیر و تشکر نمایند.



## منابع

1. Cheng C-W, Leu S-S, Cheng Y-M, Wu T-C, Lin C-C. Applying data mining techniques to explore factors contributing to occupational injuries in Taiwan's construction industry. *Accident Analysis & Prevention*. 2011;48:214-22.
2. Iranian Legal Medicine Organization. occupational accident. IRAN; [cited 1391]; Available from: <http://www.lmo.ir/>
3. Jahangiri M, parsarad M. Health risk assessment of harmful chemicals: case study in a petrochemical industry iran occupational risk. 2011;7(4):18-24. (in persian)
4. OS&HD. A Semi-Quantitative Method to Assess Occupational Exposure to Harmful Chemicals. singapor: ministry of manpower; 2005.
5. Kamalinia M, Amjad sarderodi H, editors. Risk assessment of lathe machines and grindstone in the manufacturing industrial component Occupational Safety and Health Congress; 2011; Ghazvin-Iran. (in persian)
6. Wang Y-M, Chin K-S, Poon GKK, Yang J-B. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*. 2009;36(2):1195-207.
7. Brauer RL. Safety and health for engineers. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2006.
8. Pentti H, Atte H. Failure mode and effects analysis of software-based automation systems. STUK-Y TO-TR-19 0 ,August. 2002;2:1-36.
9. Ebrahimzadeh M, Halvani GH, Mortazavi M, Soltani R. Assessment of potential hazards by Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) method in Shiraz Oil Refinery. *Occupational Medicine*. 2011;3(2):16-23. (in persian)
10. Jozi S, Jafarzadeh Haghghi Fard N, Afzali Behbahani N. Hazard identification and risk assessment of high voltage power lines in residential areas using failure modes and effects analysis (FMEA). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(1): 55-64. (in persian)
11. Ameri M, Ahmadi P, Khanmohammadi S. Exergy analysis of a 420 MW combined cycle power plant. *International Journal of Energy Research*. 2008;32(2):175-83. (in persian)
12. Cihan A, Hacıhafızoglu O, Kahveci K. Energy-exergy analysis and modernization suggestions for a combined cycle power plant. *International Journal of Energy Research*. 2006;30(2):115-26.
13. The International Marine Contractors Association. Guidance on Failure Modes & Effects Analyses (FMEAs). USA: IMCA; 2002.
14. Kangavari M, Salimi S, Nourian R, Askarian A. An application of failure mode and effect analysis (FMEA) to assess risks in petrochemical industry in Iran. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*. 2015;2(2):257-63.
15. Van Leeuwen JF, Nauta MJ, De Kaste D, Odekerken-Rombouts Y, Oldenhof MT, Vredendregt MJ, et al. Risk analysis by FMEA as an element of analytical validation. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2009;50(5):1085-7.
16. Bonnabry P ,Despont-Gros C, Grauser D, Casez P, Despond M, Pugin D, et al. A risk analysis method to evaluate the impact of a computerized provider order entry system on patient safety. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2008;15(4):453-60.
17. Hosseyni Almedvari M, Moghadasi M, Shaffii Zadeh Bafghi M, editors. Risk assessment by FMEA method and comparison of RPN before and after the corrective actions in the reclamation directly project Steel Bafgh. occupational safety and health congress-8th ;2011 ;Ghazvin-Iran. (in persian)
18. Shaffii Zadeh Bafghi M, Moghadasi M, Hosseyni Almedvari M, editors. Assessment of Occupational Epidemiology in the steel plant project Bafgh and relationship with Types of jobs. occupational safety and health congress-8 Th; 2011 ;Ghazvin-Iran. (in persian)