



شناسایی و ارزیابی مخاطرات ایمنی و بهداشتی در پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد با استفاده از تکنیک FMEA

جواد کرمی^۱

چکیده

مقدمه: انرژی‌های نو مانند انرژی بادی و خورشیدی به دلیل تهدیدات کمتر برای محیط‌زیست و سلامتی انسان، امروزه مورد توجه مجامع علمی، تحقیقاتی و صنعتی قرار گرفته‌است. هدف از این پژوهش، شناسایی و ارزیابی مخاطرات ایمنی و بهداشتی پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد بود. **روش بررسی:** در این مطالعه‌ی توصیفی-مقطعی از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) جهت شناسایی و ارزیابی مخاطرات کلیه واحدهای پژوهشکده هواخورشید دانشگاه فردوسی مشهد در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ استفاده گردید. تیم مدیریت HSE، مخاطرات هر واحد را به تفکیک شناسایی و ریسک‌ها را ارزیابی نمودند. کلیه ریسک‌ها پس از شناسایی براساس رویکرد RPN که حاصل ضرب سه مولفه‌ی احتمال وقوع (Occurance)، میزان شدت (Severity) و احتمال کشف (Detectability) است، اولویت بندی شدند و اقدامات کنترلی نیز پیشنهاد گردید.

یافته‌ها: دامنه اعداد اولویت ریسک از $RPN=18$ مربوط به کار تکراری در عملیات بازرسی ابعادی تا $RPN=180$ مربوط به نشت جریان برق بود. در بین ریسک‌ها سه ریسک بالقوه شامل نشت جریان برق با $RPN=180$ ، استنشاق مواد سمی با $RPN=162$ و سقوط از ارتفاع با $RPN=150$ دارای عدد اولویت ریسک بالاتری بودند و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعدی اولویت ریسک قرار گرفتند.

نتیجه گیری: نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از تکنیک FMEA برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌های شغلی در محیط‌های پژوهشی و تولیدی انرژی‌های نو نیز مناسب بوده و منجر به شناسایی، ارزیابی و طبقه‌بندی ریسک‌ها در سطوح مختلف می‌گردد که به تیم HSE کمک خواهد کرد تا با ارائه راهکارهای کنترلی با اولویت ریسک‌های غیر قابل قبول به حذف یا کاهش سطح ریسک‌های مجموعه اقدام کنند.

کلید واژه‌ها: ارزیابی مخاطرات، هواخورشید، FMEA

مقاله پژوهشی



تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۱۸

ارجاع:

کرمی جواد. شناسایی و ارزیابی مخاطرات ایمنی و بهداشتی در پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد با استفاده از تکنیک FMEA. بهداشت کار و ارتقاء سلامت ۱۳۹۹؛ ۴(۱): ۹۳-۸۱.

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت محیط زیست (HSE)، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

* (نویسنده مسئول: j.karami6870@gmail.com)

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش مصرف انرژی در جهان و محدود بودن منابع انرژی فسیلی و همچنین مشکلات زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای که در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی به وجود می‌آید، توجه بیش‌ازپیش به انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی بادی و خورشیدی را امری ضروری نموده است. اگرچه انرژی‌های نو اثرات سوء زیست‌محیطی کمتری دارند ولی در فرآیند تولید و بهره‌برداری توربین‌های بادی و همچنین پنل‌های خورشیدی وجود مخاطرات ایمنی و بهداشتی غیرقابل‌اجتناب است و نباید از آن‌ها غافل شد. معرفی فناوری‌های جدید و کاربرد گسترده آن‌ها در صنایع مختلف در دهه‌های اخیر به رفاه روزافزون نسل بشر منتهی گشته است، و در کنار آن انسان را با معضل جدیدی با عنوان حوادث مواجه ساخته است و به طوری که آمار سازمان بین‌المللی کار نشان‌دهنده آن است که بیش از ۲/۷۸ میلیون نفر در سال در نتیجه حوادث شغلی جان خود را از دست می‌دهند (۱). حوادث ناشی از کار، سالانه ۱/۲۵ هزار میلیارد دلار به اقتصاد جهانی تحمیل می‌کنند و موجب مرگ دو میلیون نفر در سال می‌گردند (۲-۳).

بنابراین می‌توان گفت برقراری یک سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت جهت شناسایی و ارزیابی مخاطرات حائز اهمیت است. مهم‌ترین بخش از هر برنامه ایمنی و بهداشت و به عبارت کامل‌تر هر سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت، شناسایی مخاطرات است و در واقع موتور سیستم محسوب می‌شود. ابتدا باید مخاطرات را شناسایی نمود تا بتوان بر اساس آن راه مقابله و حذف خطر را پیشنهاد کرد و در نهایت اهداف و برنامه‌های ایمنی بهداشت خود را تنظیم نمود. هرچه شناسایی مخاطرات دقیق‌تر باشد سیستم موردنظر عملکرد بهتری دارد (۴).

شناسایی مخاطرات و ارزیابی ایمنی روش‌های مختلفی دارد از جمله: تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی (JSA: Job Safety Analysis)، فرآیند مدیریت خطرات و اثرات آن (HEMP: Hazard & Effect Management Process)، تجزیه و تحلیل

حالات شکست و اثرات آن (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis) در میان این تکنیک‌ها تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) به دلیل در نظر گرفتن احتمال شناسایی ریسک از دقت و درستی بیشتری نسبت به مدل سنتی ارزیابی ریسک برخوردار می‌باشد و لذا در صنعت ساخت‌وساز نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۵-۶). تکنیک آنالیز ریسک FMEA روشی برای شناسایی و آنالیز تمام حالت‌های شکست بالقوه قسمت‌های مختلف سیستم، اثراتی که ممکن است این شکست‌ها روی سیستم داشته باشند، چگونگی جلوگیری از این شکست‌ها و یا کاهش اثرات آن‌ها روی سیستم می‌باشد (۷). این روش توسط استانداردهای بین‌المللی مانند (MIL-STD-1629A 1980) پذیرفته شده است. از FMEA برای نخستین بار در دهه ۱۹۶۰ میلادی در صنایع هوافضای آمریکا برای آنالیز ایمنی هواپیما استفاده شد و در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسعه یافت. در فوریه ۱۹۹۲ میلادی استاندارد SAE-1739-جبه عنوان استاندارد مرجع FMEA در صنایع خودروسازی معرفی شد و به دنبال آن در سال‌های اخیر، توسعه سیستم‌های تضمین کیفیت در صنعت خودرو به خصوص وضع استاندارد QS-9000 در صنعت خودروی آمریکا، موجب رواج بیشتر استفاده از این روش گردید (۸-۹-۱۰). در روش FMEA متداول، رتبه‌بندی حالت‌های بحرانی خرابی، با استفاده از اعداد اولویت ریسک (RPN) تعیین می‌شود که محصول ارزیابی معیارهایی مانند احتمال وقوع (O)، شدت خطر (S) و احتمال تشخیص (D) هر حالت خرابی است. RPN یک شاخص است که اولویت سطوح ریسک وابسته به هر حالت خرابی را بیان می‌کند.

تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی یکی از ضروری‌ترین اقدامات پیشگیرانه سریع برای سیستم می‌باشد، که می‌تواند از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کند (۱۱). در یک مطالعه که در حفر مکانیزه تونل مترو در قم انجام گرفته است ریسک‌های شغلی با روش FMEA ارزیابی شده است که در نهایت منجر به ارائه راهکارهای

دلیل به‌کارگیری روش FMEA برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات پژوهشکده هوا خورشید این بود که اولاً سیستم موردبررسی از اجزاء مکانیکی مانند تابلو برق و دستگاه سنگ‌زنی و جوشکاری تشکیل شده و فرآیندهای شیمیایی کم‌تری در آن دخالت دارد و ثانیاً سرپرستان تمامی واحدها دوره FMEA را گذرانده‌اند و لذا کار شناسایی و ارزیابی راحت‌تر می‌باشد.

روش اجرا FMEA:

۱: تعیین تیم بررسی‌کننده ریسک‌ها

به جهت اجرای این روش در ابتدا تیمی مجرب متشکل از سرپرستان کلیه واحدها اعم از برق، طراحی، کنترل کیفیت، کارگاه فلزی و... تشکیل شد.

۲. شناسایی و ثبت ریسک‌های بالقوه

در گام دوم تیم مذکور با بازدید از هر واحد و همچنین تجربه‌های سرپرست آن واحد که خود نیز از اعضا تیم می‌باشد تمامی مخاطرات ایمنی و بهداشتی را شناسایی و در کاربرگ FMEA تهیه‌شده توسط گروه HSE ثبت می‌نمایند.

۳. تجزیه و تحلیل ریسک‌ها:

اعضاء تیم HSE پس از شناسایی و ثبت تمامی مخاطرات اقدام به تجزیه و تحلیل این مخاطرات می‌نمایند که در واقع بخش مهم فرآیند ارزیابی مخاطرات می‌باشد. ارزیابی ریسک فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و بزرگی یا شدت اثرات زیان‌آور آن است. در این مطالعه هر سه مؤلفه‌ی ارزیابی ریسک یعنی احتمال وقوع، شدت خطر و احتمال کشف توسط یک ماتریس ۱۰ حالتی بیان شده که در مورد احتمال وقوع حالت یک یعنی وقوع خطر بعید به نظر می‌رسد و حالت ۱۰ نشان‌دهنده وقوع حتمی خطر است و در مورد شدت خطر، حالت یک یعنی هیچ‌گونه اثر سوء شناخته‌شده‌ای ندارد و حالت ۱۰ یعنی خطر باعث مرگ می‌گردد. همچنین در مورد مؤلفه‌ی احتمال کشف نیز حالت یک به معنای احتمال کشف خطر به‌طور قطعی و حالت ۱۰ به معنای عدم قابلیت کشف خطر می‌باشد.

۴. محاسبه عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number):

کنترلی و کاهش سطح ریسک‌ها شده است (۱۲). در مطالعه‌ی دیگری که در پالایشگاه شیراز انجام گرفته است، خطرات با روش FMEA ارزیابی شده است که در نهایت منجر به کاهش سطح ریسک‌ها گردیده است و نشان‌دهنده مفید و کارا بودن روش FMEA است (۱۳).

پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد ۲۷ مهرماه ۱۳۸۹ در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد افتتاح گردید. مأموریت پژوهشکده هوا خورشید پژوهش، فناوری، طراحی و تجاری‌سازی در حوزه انرژی‌های نو از جمله مولدهای بادی و نیروگاه‌های خورشیدی است.

از مأموریت‌های پژوهشکده هوا خورشید می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- طراحی و ساخت نمونه توربین‌های بادی و تست آن‌ها طبق استانداردهای جهانی
- طراحی و ساخت نمونه سلول‌های فتوولتایی و تست آن‌ها طبق استانداردهای جهانی
- و همچنین اهداف آن شامل:
- طراحی و بومی‌سازی و ساخت نمونه، تست و راه‌اندازی توربین‌های بادی
- ساخت نمونه سلول‌های فتوولتایی باران‌دما بالا از جمله سلول‌های ارگانیک و سیلیکانی و لایه‌نازک
- ایجاد آزمایشگاه‌های مرجع بخش انرژی‌های بادی و خورشیدی می‌باشد.

در همین راستا مطالعه حاضر به‌منظور شناسایی و ارزیابی مخاطرات ایمنی و بهداشتی در پژوهشکده هوا خورشید با استفاده از روش فوق انجام گرفت تا در نهایت بتوان میزان ریسک‌ها را به حد قابل‌قبول کاهش داد.

روش بررسی

این تحقیق یک مطالعه توصیفی-مقطعی بوده و کلیه واحدهای پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد را که در زمینه توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی فعالیت دارد، در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ ارزیابی نموده است.



تیم باید روی این ریسک‌ها تمرکز نماید. در این مطالعه با توجه به بررسی‌های انجام‌شده توسط تیم FMEA در رابطه با ریسک‌های قابل قبول و غیرقابل قبول، مقادیر RPN در سه سطح (کم با $RPN < 50$ ، متوسط با $50 < RPN < 150$ و زیاد با $RPN > 150$) اولویت‌بندی شد.

۵. اقدامات کنترلی و ارائه پیشنهادات:

پس از محاسبه اعداد اولویت ریسک (RPN)، تیم FMEA باید برای تمامی ریسک‌ها و ابتدا با اولویت ریسک‌هایی که در دامنه غیرقابل قبول قرار دارند اقدامات کنترلی مناسب را ارائه دهند. اولویت اقدامات کنترلی به ترتیب شامل (۱) حذف مخاطره، (۲) جایگزینی، (۳) کنترل‌های مهندسی، (۴) علامت‌ها و هشدارها، (۵) تجهیزات حفاظت فردی می‌باشد.

عدد اولویت ریسک با ضرب فاکتورهای RPN که شامل احتمال وقوع (Occurance)، میزان شدت (Severity) و احتمال کشف (Detectability) می‌باشد به دست می‌آید که هرکدام مقیاسی از ۱ تا ۱۰ دارد و به ترتیب در جداول ۱ تا ۳ نشان داده شده است. عدد اولویت ریسک نواقص می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر باشد. عدد اولویت ریسک از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (۱۴).

$$R=O \times S \times D$$

در آن O احتمال وقوع، S شدت خطر و D قابلیت کشف می‌باشد.

ریسک‌هایی که مقدار RPN بالاتری دارند دارای اولویت بالاتری جهت تجزیه و تحلیل و تخصیص منابع می‌باشند، بنابراین

جدول ۱: احتمال رخداد خطر (O)

رتبه	نرخ‌های احتمالی خطر	احتمال رخداد خطر
۱۰	۱ در ۲ یا بیش از آن	بسیار زیاد - خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر است
۹	۱ در ۳	بسیار زیاد
۸	۱ در ۸	زیاد خطرهای تکراری
۷	۱ در ۲۰	زیاد خطرهای تکراری
۶	۱ در ۸۰	متوسط - خطرهای موردی
۵	۱ در ۴۰۰	
۴	۱ در ۲۰۰۰	
۳	۱ در ۱۵۰۰۰	کم - خطرهای نسبتاً نادر
۲	۱ در ۱۵۰۰۰۰	
۱	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰	بعید - خطر نامحتمل است

جدول ۲: شدت صدمه‌زائی (S)

رتبه	مشخصه	شدت خطر
۱۰	مرگ	خطرناک (بدون-هشدار)
۹	وختامت تأسفبار است اما همراه با هشدار است	خطرناک (با هشدار)
۸	نقص عضو (مانند قطعی دست‌وپا)، کوری چشم، از کارافتادگی، کری دائم	خیلی زیاد
۷	نقص عضو جزئی، قطع شدن بندانگشت دست، سوختگی شدید، فیبروز ریه، برق‌گرفتگی	زیاد
۶	شکستگی، آسیب به چشم، سوختگی متوسط، له‌شدگی، بیماری‌های اسکلتی و عضلانی، کاهش شنوایی، اثرات روانی، بیماری‌های پوستی	متوسط
۵	جراحت و بریدگی، مسمومیت غذایی یا کاری	کم
۴	ضرب‌دیدگی، کوفتگی، خراشیدگی، کبودی در اثر ضربه، قرمزی چشم، تحریک‌های پوستی	خیلی کم
۳	اثر جزئی بر جا می‌گذارد مثل خراش دست به هنگام تراشکاری	جزئی
۲	اثر خیلی جزئی بر جا می‌گذارد	خیلی جزئی
۱	بدون اثر	ناچیز

جدول ۳: قابلیت کشف (D)

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

یافته‌ها

تست پنل‌های خورشیدی و تست اینورتر (آزمایشگاه تست فتوولتایی) و بازرسی تابلو برق (واحد کنترل کیفیت) با $RPN=180$. ۲. استشمام مواد سمی در عملیات مواد کاری رزین و الیاف (واحد طراحی فرآیند) با $RPN=162$. ۳. سقوط از ارتفاع در عملیات کار در ارتفاع (واحد کارگاه فلزی) با $RPN=150$ می‌باشند. همچنین ریسک‌های با کم‌ترین اهمیت شامل: ۱. کار تکراری در عملیات بازرسی ابعادی (واحد کنترل کیفیت) با $RPN=18$. ۲. قلاب کردن دریل و پرتاب پلیسه و دررفتن تیغه برش در عملیات مونتاژ تابلو برق (واحد برق) با $RPN=27$ می‌باشند.

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای روش FMEA در پژوهشکده هوا خورشید با تفکیک واحدهای مختلف، مخاطرات و علل مرتبط با آن‌ها در جداول ۴ تا ۸ ارائه‌شده و اعداد RPN که اولویت‌بندی ریسک‌ها را نشان می‌دهد، و نیز اقدامات کنترلی جاری، پیشگیرانه و درنهایت اقدامات پیشنهادی نیز ذکر شده است. در انتها و در جدول شماره ۹ نیز خلاصه یافته با تعیین تعداد ریسک‌ها در سطح کم، متوسط و زیاد برای هر واحد ارائه‌شده است. بر طبق یافته‌ها مهم‌ترین ریسک‌ها شامل: ۱. جریان نشتی برق در عملیات‌های نصب و راه‌اندازی تابلو برق (واحد برق)،

جدول ۴: شناسایی و ارزیابی مخاطرات واحد برق

اقدامات پیشنهادی	R P N	احتمال تشخیص	کنترل‌های جاری پیشگیرانه	کنترل‌های جاری تشخیصی	احتمال وقوع	علت بالقوه / مکانیزم شکست	شدت خطر	اثر شکست بالقوه	شکست بالقوه	نیازمندی‌ها	کارکرد / عملیات
برگزاری کلاس‌های آموزش پرسنل	۲۷	۱	آموزش پرسنل	وجود ندارد	۹	مته نامناسب-آموزش ناکافی	۳	آسیب دست و صورت	قلاپ کردن دریل- پرتاب پلیسه	ابزار تراش و سوراخکاری	مونتاژ تابلو برق
آموزش پرسنل- بازرسی	۲۷	۱	بررسی ابزار قبل از شروع کار	وجود ندارد	۹	محکم نبودن تیغه برش- آموزش ناکافی	۳	آسیب و بریدگی	دررفتن تیغه برش	ابزار پرس و برش	مونتاژ الکتریکی و سیم‌کشی
بازدید دوره‌ای- عایق‌بندی سیم‌ها	۱۸۰	۶	عایق‌بندی سیم	ناقص است	۳	ضعف عایق سیم-برش و مونتاژ نامناسب	۱۰	برق‌گرفتگی-مرگ	جریان ناشی	دستکش عایق	نصب و راه‌اندازی تابلو برق
آموزش پرسنل- بازدید دوره‌ای- عایق‌بندی سیم‌ها	۱۲۰	۶	عایق‌بندی سیم	ناقص است	۳	ضعف عایق سیم-نبود آموزش کافی-نبود تجهیزات حفاظتی کافی	۷	آتش‌سوزی و حریق	جریان ناشی	دستکش عایق	نصب و راه‌اندازی تابلو برق

جدول ۵: شناسایی و ارزیابی مخاطرات آزمایشگاه تست فتوولتایی

اقدامات پیشنهادی	R P N	احتمال تشخیص	کنترل‌های جاری پیشگیرانه	کنترل‌های جاری تشخیصی	احتمال وقوع	علت بالقوه / مکانیزم شکست	شدت خطر	اثر شکست بالقوه	شکست بالقوه	نیازمندی‌ها	کارکرد / عملیات
بررسی دوره‌ای سیم‌ها و اتصالات	۱۸۰	۶	اطمینان از عایق بودن سیم	وجود ندارد	۳	اتصال کوتاه شدن-بریدگی سیم	۱۰	برق‌گرفتگی-مرگ	جریان ناشی	تجهیزات حفاظت فردی	تست پنل‌های خورشیدی
بازدید دوره‌ای	۹۰	۳	استفاده از PPE-اطمینان از محکم بودن پایه‌ها	ناقص است	۵	سهل‌انگاری مجری-محکم نبودن پایه‌ها	۶	مصدومیت	افتادن از پایه‌ها	دستکش-کفش ایمنی	شست‌وشوی پنل‌ها
بررسی دوره‌ای سیم‌ها و اتصالات	۱۸۰	۶	اطمینان از عایق بودن سیم	وجود ندارد	۳	اتصال کوتاه شدن-بریدگی سیم	۱۰	برق‌گرفتگی-مرگ	جریان ناشی	دستکش عایق	تست اینورتر

جدول ۶: شناسایی و ارزیابی مخاطرات واحد طراحی فرآیند

کارکرد / عملیات	نیازمندی‌ها	شکست بالقوه	اثر شکست بالقوه	شدت خطر	علت بالقوه / مکانیزم شکست	احتمال وقوع	کنترل‌های جاری تشخیصی	کنترل‌های جاری پیشگیرانه	احتمال تشخیص	RPN	اقدامات پیشنهادی
تریم کاری کامپوزیت	سیستم تهویه مناسب-ماسک فیلتردار-دستکش ایمنی-عینک-کلاه یک‌بارمصرف	گردوغبار الیاف	مشکلات تنفسی	۹	نبود ماسک و لوازم ایمنی	۸	قابل‌رؤیت در فضای سوله-تشخیص با سیستم بویایی	تهویه مناسب	۱	۷۲	اختصاص مکان و تهویه مناسب- بازدید و تست دوره‌ای از سیستم تهویه جهت اطمینان از عملکرد آن
تریم کاری کامپوزیت	سیستم تهویه مناسب-ماسک فیلتردار-دستکش ایمنی-عینک-کلاه یک‌بارمصرف	شکستن تیغه ابزار	آسیب دیدن دست، صورت و چشم	۹	نبود ماسک و لوازم ایمنی	۴	قابل‌رؤیت در فضای سوله-تشخیص با سیستم بویایی	استفاده از عینک ایمنی و ماسک و دستکش و فیکسچر مناسب	۳	۱۰۸	استفاده از عینک ایمنی و ماسک و دستکش
مواد کاری رزین و الیاف	سیستم تهویه مناسب-ماسک فیلتردار-دستکش ایمنی-عینک-کلاه یک‌بارمصرف	استشمام مواد سمی	مشکلات تنفسی، پوستی و کبدی	۹	نبود تهویه موضعی، ماسک و لوازم ایمنی	۹	قابل تشخیص با سیستم بویایی	تهویه مناسب- استفاده از لوازم ایمنی	۲	۱۶۲	تهویه مناسب-استفاده از لوازم ایمنی
جابه‌جایی و بلند کردن ابزارهای سنگین و قالب‌ها	ابزار مناسب برای حمل اجسام	آسیب در سیستم عضلاتی و کمر	آسیب در سیستم عضلاتی و کمر	۷	بلند کردن نامناسب اجسام	۶	-	استفاده از نیروی انسانی کمکی	۱	۴۲	استفاده از جک پالت و یا جرثقیل ثقیف
برش الیاف شیشه	قیچی برش الیاف-لیاس مخصوص- ماسک و دستکش لاتکس	پخش گردوغبار الیاف در اثر جابه‌جایی	آسیب پوستی	۸	عدم استفاده از PPE مناسب	۶	قابل‌رؤیت در فضای سوله	تهویه مناسب	۲	۹۶	تهویه مناسب-استفاده از لوازم ایمنی
رنگ کاری	سیستم تهویه مناسب-ماسک فیلتردار-دستکش ایمنی-عینک-کلاه یک‌بار مصرف-ابزار مناسب	پخش گردوغبار رنگ و حلال	مشکلات تنفسی	۸	عدم تهویه مناسب	۸	قابل‌رؤیت در فضای سوله-تشخیص با سیستم بویایی	تهویه مناسب	۲	۱۲۸	تهویه مناسب-استفاده از لوازم ایمنی
تمیزکاری قالب‌ها با حلال‌ها	ماسک فیلتردار-دستکش ایمنی	پخش گردوغبار رنگ و حلال	مشکلات تنفسی، پوستی و کبدی	۸	عدم استفاده از PPE مناسب	۸	قابل‌رؤیت در فضای سوله-تشخیص با سیستم بویایی	استفاده از دستکش و ماسک	۲	۱۲۸	استفاده از عینک ایمنی و ماسک و دستکش
عملیات پخت	بازرسی تجهیزات	نشت شیلنگ گاز	آتش سوزی	۹	عدم بازرسی	۳	-	-	۵	۱۳۵	بازرسی شیلنگ‌ها

جدول ۷: شناسایی و ارزیابی مخاطرات واحد کنترل کیفیت

کارکرد/عملیات	نیازمندی‌ها	شکست بالقوه	اثر شکست بالقوه	شدت خطر	علت بالقوه/ مکانیزم شکست	احتمال وقوع	کنترل‌های جاری تشخیصی	کنترل‌های جاری پیشگیرانه	احتمال تشخیص	RPN	اقدامات پیشنهادی
بازرسی در ارتفاع	تجهیزات صعود ایمنی	سقوط	آسیب دیدگی	۱۰	ابزار نامناسب-آموزش ناکافی	۴	ناقص است	ابزار صعود مناسب-	۳	۱۲۰	برگزاری کلاس‌های کار در ارتفاع-تهیه ابزار مناسب
بازرسی تابلو برق	تجهیزات ایمنی عایق	نشت جریان برق	آسیب و برق-گرفتگی	۱۰	ضعف عایق سیستم	۳	ناقص است	عایق بندی سیستم	۶	۱۸۰	بازدید دوره‌ای عایق بندی تابلو
بازرسی ابعادی	تجهیزات حفاظت فردی-رعایت اصول ارگونومیک	کار تکراری	گرفتگی عضلات	۲	پوسچر نامناسب	۹	وجود ندارد	رعایت اصول ارگونومیک	۱	۱۸	آموزش پرسنل-کار چرخشی و متناوب
بازرسی قطعات	تجهیزات حفاظت فردی	بریدگی و افتادن روی دست	آسیب دست-له-شدگی	۶	نبود آموزش کافی-نبود تجهیزات حفاظتی کافی	۷	ناقص است	استفاده از PPE مناسب	۱	۴۲	تهیه و استفاده از PPE مناسب
بازرسی جوش	تجهیزات حفاظت فردی	پاشش جرقه جوشکاری	سوختگی-برق زدگی چشم	۶	عدم استفاده از PPE مناسب	۹	ناقص است	استفاده از PPE مناسب	۱	۵۴	تهیه و استفاده از PPE مناسب

جدول ۸: شناسایی و ارزیابی مخاطرات واحد کارگاه فلزی

کارکرد/عملیات	نیازمندی‌ها	شکست بالقوه	اثر شکست بالقوه	شدت خطر	علت بالقوه/ مکانیزم شکست	احتمال وقوع	کنترل‌های جاری تشخیصی	کنترل‌های جاری پیشگیرانه	احتمال تشخیص	RPN	اقدامات پیشنهادی
کار در ارتفاع	تجهیزات ایمنی	سقوط	آسیب شدید-مرگ	۱۰	هارنس نامناسب-آموزش ناکافی	۳	ناقص است	هارنس استاندارد-آموزش پرسنل	۵	۱۵۰	تهیه هارنس استاندارد-برگزاری دوره کار در ارتفاع
مونتاژ قطعات	ابزار نامناسب	افتادن قطعه کار	آسیب دیدگی	۳	نبود ابزار مناسب-عدم تمرکز	۶	ناقص است	ایجاد محیط آرام	۲	۳۶	تهیه ابزار مناسب-کار در محیط آرام
جوشکاری	تجهیزات ایمنی جوشکاری	پاشش جرقه جوشکاری	عوارض چشمی-سوختگی	۵	نبود PPE مناسب	۹	ناقص است	استفاده از PPE مناسب	۲	۹۰	تهیه PPE مناسب
پلیسه گیری و سنگ زنی	ماسک تمام صورت-دستکش مناسب	شکستن و پرتاب سنگ-پرتاب پلیسه	آسیب دست، چشم و صورت	۵	سنگ معیوب-نبود PPE مناسب	۹	ناقص است	استفاده از سنگ سالم-PPE مناسب	۲	۹۰	بازدید سنگ قبل از شروع کار-تهیه PPE مناسب

جدول ۹: نتایج حاصل با تعیین و تفکیک تعداد ریسک‌ها برای هر واحد

سطح ریسک‌ها واحدها	کم	متوسط	زیاد
برق	۲	۱	۱
آزمایشگاه تست فتوولتایی	۰	۱	۲
طراحی فرآیند	۱	۶	۱
کنترل کیفیت	۲	۲	۱
کارگاه فلزی	۱	۲	۱
جمع:	۶	۱۲	۶
درصد:	٪۲۵	٪۵۰	٪۲۵

بحث

با وجود آنکه در ابتدا به نظر می‌رسید که مخاطرات زیاد و بزرگی در این بخش‌ها وجود ندارد و کارکنان نیز به این مسئله پافشاری داشتند، نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه بیانگر وجود مخاطرات ناشناخته بسیاری با ریسک بالا بود. مخاطراتی که در صورت تبدیل شدن به حادثه می‌توانند جان کارکنان را گرفته و به وسایل و روند تولید خسارت وارد کنند و صدمات مادی و معنوی جبران‌ناپذیری را برای مجموعه به‌جای بگذارند. مسئله خیلی مهم این است که همیشه مخاطراتی که به چشم نمی‌آیند و یا کوچک انگاشته می‌شوند بسیار خطرناک و تهدیدکننده هستند، چراکه هیچ اقدام کنترلی و پیشگیرانه در خصوص آن‌ها صورت نمی‌گیرد و در نهایت روزی منجر به بروز حادثه می‌شوند. نکته قابل توجه دیگر این بود که اغلب مخاطرات شناخته‌شده در حالی سیستم را تهدید می‌کردند که می‌توان به راحتی و با صرف کم‌ترین هزینه آن‌ها را حذف و یا کنترل کرد، در حالی که حوادث ناشی از آن‌ها می‌توانست مجموعه را متحمل خسارات هنگفتی کند (۱۵).

با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از جداول ۴ تا ۸ مجموع فعالیت‌های صورت گرفته در تمام واحدهای پژوهشکده ۲۴ عنوان فعالیت بوده که واحد طراحی فرآیند بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده است. از میان ۲۴ ریسک شناسایی شده ۲۵٪ در سطح کم، ۵۰٪ در سطح متوسط و ۲۵٪ در سطح بالا

بوده است که نشان‌دهنده درصد بالای ریسک‌های با حد متوسط هست. همچنین برق‌گرفتگی با اختصاص ۴ مورد از ۶ مورد ریسک غیرقابل قبول، بیشترین فراوانی ریسک‌های غیرقابل قبول را به خود اختصاص داده است. نتایج این تحقیق با مطالعه انجام‌شده توسط میرمحمدی و همکاران (۲۰۱۶) با عنوان "ارزیابی عوامل خطر به روش FMEA در کارخانه تجهیزات مدارس" که نشان داده است ۵۴/۹ درصد ریسک‌ها در محدوده میانی و سطح متوسط هستند، همسو می‌باشد (۱۶). همچنین در مطالعه حاضر بالاترین عدد اولویت ریسک مربوط به نشت جریان برق و برق‌گرفتگی است (RPN=۱۸۰) که با مطالعه میرمحمدی و همکاران که بیشترین شدت اثر ریسک‌ها را مربوط به برق‌گرفتگی هنگام کار بر روی دستگاه گیوتین، برشکاری، خم‌کاری و سوراخ‌کاری بیان می‌دارد، همسو می‌باشد (۱۶). شباهت در ریسک‌های شناسایی شده نشان می‌دهد که از روش‌های کنترلی مشابه می‌توان برای اصلاح فرآیند استفاده نمود تا در هزینه و زمان صرفه‌جویی گردد (۱۶). برای مثال از ۶ مورد ریسک غیرقابل قبول شناسایی شده، ۴ مورد مربوط به نشت جریان برق و برق‌گرفتگی می‌باشد که با بازدید دوره‌ای و عایق‌کاری مناسب می‌توان سطح ریسک آن‌ها را کاهش داد.

همچنین نتایج این تحقیق با مطالعه انجام‌شده توسط کرمانشاهی و عیوض زاده (۲۰۱۶) با عنوان "شناسایی مخاطرات



پوستی و تنفسی به همراه دارد و لذا باید جهت پیشگیری از مخاطرات تنفسی از تهویه موضعی مناسب در محل کار استفاده گردد. همچنین به جهت پیشگیری از مخاطرات پوستی باید از دستکش‌های یک‌بار مصرف لاتکس و لباس‌های یک‌بار مصرف استفاده نمود.

یکی دیگر از ریسک‌های غیرقابل قبول شناخته شده سقوط از ارتفاع در عملیات کار در ارتفاع بوده که عمدتاً به دلیل تجهیزات ایمنی صعود (مشخصاً هارنس) غیراستاندارد و همچنین آموزش ناکافی بود که ایجاب می‌نماید افرادی که جهت کار در ارتفاع انتخاب می‌شوند دوره‌های آموزشی کار در ارتفاع را بگذرانند و همچنین هارنس و سایر ابزار ایمنی صعود استاندارد تهیه و استفاده از آن‌ها الزامی گردد.

سایر شکست‌های شناسایی شده در اولویت‌های بعدی قرار دارند که می‌توان به نشت گاز از شلنگ در عملیات پخت با عدد $RPN=135$ و پخش گردوغبار رنگ و حلال در عملیات‌های رنگ‌کاری و تمیزکاری قالب‌ها و حلال‌ها با عدد $RPN=128$ اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به اینکه پژوهشکده هوا خورشید قدمت زیادی ندارد بنابراین می‌توان گفت مخاطرات آن مربوط به فرسودگی و استهلاک ماشین‌آلات و قطعات نبوده یا مربوط به سنتی و غیرمکانیزه بودن فرآیند آن نمی‌باشد و صرفاً با پیاده‌سازی سیستم مدیریت HSE و الزامات آن و همچنین آموزش مسائل ایمنی و بهداشتی به پرسنل تا حدود زیادی مخاطرات کنترل می‌شوند.

تقدیر و تشکر

نویسنده لازم می‌داند مراتب تقدیر و تشکر خود را از کلیه مجموعه پژوهشکده هوا خورشید دانشگاه فردوسی مشهد و تمام عزیزانی که در تهیه این مقاله همکاری نموده‌اند را تقدیم نماید.

مشارکت نویسندگان

طراح پژوهش: ج.ک

و ارزیابی ریسک ایمنی فرآیندهای راه‌اندازی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با برج خنک‌کن هلر به روش FMEA" که نشان می‌دهد از میان ۱۴۳ ریسک شناسایی شده برق‌گرفتگی با ۳۶ مورد، دارای بیشترین فراوانی و همچنین با اختصاص بالاترین اعداد اولویت ریسک ($RPN=182/02$) به خود به‌عنوان مهم‌ترین ریسک شناخته شده است نیز همسو می‌باشد (۱۷).

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که واحد آزمایشگاه تست فتوولتایی با ۳ مورد ریسک شناسایی شده، پرخطرترین واحد می‌باشد در حالی که واحد طراحی فرآیند با ۸ مورد ریسک شناسایی شده، اگرچه تعداد ریسک بیشتری را به خود اختصاص داده است اما واحد کم‌خطرتری می‌باشد. نتایج تحقیق در این زمینه با مطالعه انجام شده توسط یاری (۲۰۱۷) با عنوان "ارزیابی مخاطرات بالقوه به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها در یک شرکت تولید تجهیزات تهویه مطبوع" که نشان می‌دهد واحد تراشکاری با ۱۷/۴٪ از کل ریسک‌ها بیشترین تعداد ریسک را دارا است و واحد پرس با ۱۴/۸ از کل ریسک‌ها پرخطرترین واحد است، همسو می‌باشد (۱۸).

با توجه به اینکه در واحد آزمایشگاه تست فتوولتایی عمده فعالیت‌ها مرتبط با برق فشارقوی است لذا این موضوع تعداد ریسک بالا را در این واحد افزایش می‌دهد. دلایل اصلی این ریسک نیز اتصال کوتاه، ضعف عایق‌بندی سیم و بریدگی سیم می‌باشد که با توجه به پنهان بودن مخاطرات مربوط به برق از جمله نشت جریان برق، لازم است تا بازدید دوره‌ای از عایق‌بندی سیم‌ها در قالب چک‌لیست بازدید دوره‌ای و همچنین بازدید چشمی به‌صورت الزام درآمده و اجرا شود. همچنین استفاده از تجهیزات حفاظت فردی عایق از جمله دستکش و کفش الزام گردد.

از دیگر ریسک‌های غیرقابل قبول شناخته شده استشمام مواد سمی در عملیات مواد کاری رزین و الیاف عمدتاً به دلیل نبودن تهویه موضعی مناسب و تجهیزات حفاظت فردی مناسب می‌باشد. در فرآیند مواد کاری جهت ترکیب لایه‌های الیافی از ترکیب رزین و هاردنر استفاده می‌شود که این ترکیب مخاطرات



تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

جمع‌آوری داده: ج.ک

تحلیل داده: ج.ک

نگارش و اصلاح مقاله: ج.ک

منابع

1. Organization IL. Safety and health at work. 2017. Available at: <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-en/index.htm>. Accessed 2017.
2. Borgheipour H, Mohamadfam I, Narenji MA. Assessing and comparing human errors in technical operations in petroleum wells using extended CREAM technique. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2017;9(3):132-41.
3. Kouhnavard B, Aghanasab M, Safaei R, Fazli Z. Risk Identification and Assessment, Using Job Safety Analysis, in an Affiliated Agency to Iran Khodro Company, 2014. 2015;20(3):40-50. [Persian]
4. Kapp S. why job safety analysis work. National Safety Council, Safety & Health Publication. 1998; :54-58.
5. Zeng SX, Tam CM, Tam VWY. Environmental and Quality Risks for Project Management Using a FMEA, *Economics of engineering decisions. Integrating Safety*. 2010; 21(1): 44-52.
6. Abdelgawad M, Robinson Fayek A. Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2010;136(9):1028-1036.
7. Becker J, Flick G. A Practical approach to failure mode, effects and criticality analysis for computing systems. *IEEE High-Assurance Systems Engineering Workshop*. 1996 Oct21-22; Niagara, Ontario, Canada, Canada;1996: 228-236.
8. Bowles JB, Peláez CE. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering & System Safety*. 1995; 50(2): 203–213.
9. Baig MHA, Prasanthi SG. Failure mode and effect analysis of a mechanical assembly by using Mil-Std 1629a method. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*. 2013; 13(13):17-20.
10. Chrysler LLC, Ford Motor Company and General Motors Corporation. 4nd ed. AIAG. *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*; 2008: 358-361.
11. Keskin, GA, Özkan, C. An alternative evaluation of FMEA: fuzzy ART algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*. 2009; 25(6), 647-661.
12. Najafi K, Kazemi Rad J, Ghanbari M, Hejazi R, Kashefiasl M. Identification and Assessment of Occupational Risks in Mechanized Excavation of metro Tunnel using the failure Mode and Effects



- Analysis Technique (FMEA). Hygiene and Health promotion Journal. 2017;1(2):129-42 [Persian].
13. Ebrahim Zade M, Halvani GH, Mortazavi M, Soltani R. Assessing the potential risks of Shiraz Refinery by FMEA method and its effect. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2011; 2(3), 16-23 [Persian].
14. Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. International Journal Electric Power Energy System. 2010; 32(7):817-24 [Persian].
15. Spath PL. Using failure mode and effects analysis improve patient safety. ARON J2003; 78(1): 26-37.
16. Mirmohammadi ST, Naseripouya Z, Hosseinalipour Z. Risk factor assessment in educational equipment manufacturers company using FMEA. Journal of Health Research in Community. 2016; 2(2): 9-19 [Persian].
17. Kermanshahi M, Eyvazzadeh A. Hazard identification and evaluation the safety risk of processes for setting up combined cycle power plants with the hella cooling tower using FMEA. A Quarterly Publication of Chemistry in Environment. 2016; 7(26): 11-17 [Persian].
18. Yari S. Assessment of Potential Risk by the Failure Mode and Effect Analysis in an Air Conditioning Equipment Manufacturing Company. Journal of safety Promotion and Injury Prevention. 2017; 2(5): 89-96.





Identification and Assessment of Safety and Health Risks in Sun Air Research Institute of Ferdowsi University of Mashhad Using Failure Mode and Effects Analysis Technique

Javad KARAMI¹

Abstract

Original Article



Received: 2020/01/19

Accepted: 2020/04/06

Citation:

KARAMI J.
Identification and
Assessment of Safety
and Health Risks in Sun
Air Research Institute of
Ferdowsi University of
Mashhad Using Failure
Mode and Effects
Analysis Technique.
Occupational Hygiene
and Health Promotion
2020; 4(1): 81-93.

Introduction: Renewable energies, such as wind and solar energy have attracted the attention of scientific, research, and industrial communities due to its fewer threats to the environment and human health. The purpose of this study was to identify and assess the safety and health risks of the Sun Air research institute of Ferdowsi University of Mashhad.

Methods: In this descriptive cross-sectional study, the failure mode and effect analysis (FMEA) technique was used to identify and assess the risks of all Sun Air Research Institute of Ferdowsi University of Mashhad units in the second half of 2019. The HSE management team identified the risks of each unit separately and assessed the risks. All risks were prioritized following identification based on the range of priority numbers (RPN) method resulting from multiplication of the Occupancy, Severity, and Detectability components as well as the control measures.

Results: The RPN ranged from 18 cases related to repetitive work in inspection operations to RPN=180 related to electric current leakage. Among the risks, three potential risks had higher priority, which included electric current leakage (RPN=180), inhalation of toxic substances (RPN=162), and falling from a height (RPN=150). Other risks were ranked next in priority.

Conclusion: The results showed that use of FMEA technique was appropriate to identify and assess occupational risks in research and renewable energy production environments that lead to identification of risks at different levels. This helps the HSE team to eliminate or reduce the level of risks by providing control solutions with the priority of unacceptable risks.

Keywords: Risks Assessment, Sun Air, FMEA

¹ Department of Environmental Management (HSE), Islamic Azad University of Tehran, Science and Research branch, Tehran, Iran
(Corresponding author: j.karami6870@gmail.com)