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 به‌دلیل 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 کلیه‌ی 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 حاصل‌ضرب سه مولفه‌ی احتمال وقوع (Occurance)، میزان شدت (Severity) و احتمال کشف (Detectability) است، اولویت بندی شدند و اقدامات کنترلی نیز پیشنهاد گردید.

یافته ها: دامنه اعداد اولویت ریسک از RPN=۱۸ مربوط به کار تکراری در عملیات بازرسی ابعادی تا RPN=۱۸۰ مربوط به نشت جریان برق بود. در بین ریسک‌ها سه ریسک بالقوه شامل نشت جریان برق با RPN=۱۸۰، استنشاق مواد سمی با RPN=۱۶۲ و سقوط از ارتفاع با RPN=۱۵۰ 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 خواهدکرد تا با ارائه راهکارهای کنترلی با اولویت ریسک‌های غیر قابل قبول به حذف یا کاهش سطح ریسک‌های مجموعه اقدام کنند.

کلید واژه ها: ارزیابی مخاطرات، هواخورشید، FMEA

مقاله پژوهشی

CC BY

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)، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
* (نویسنده مسئول: j.karami6870@gmail.com)

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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 درنتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی به وجود می‌آید، توجه بیش‌ازپیش به انرژی‌های تجدید پذیر ازجمله 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 به‌طوری‌که آمار سازمان بین‌المللی کار نشان‌دهنده آن است که بیش از ۲/۷۸ میلیون نفر در سال درنتیجه 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 درواقع موتور سیستم محسوب می‌شود. ابتدا باید مخاطرات را شناسایی نمود تا بتوان بر اساس آن راه مقابله و حذف خطر را پیشنهاد کرد و درنهایت 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 ازجمله: تجزیه‌وتحلیل ایمنی شغلی (JSA: Job Safety Analysis)، فرآیند مدیریت خطرات و اثرات آن (HEMP: Hazard & Effect Management Process)، تجزیه‌وتحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis). در میان این تکنیک‌ها تجزیه‌وتحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) به‌دلیل 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 مورداستفاده قرارگرفته 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 شده‌است. از FMEA برای نخستین بار در دهه 1960 میلادی در صنایع هوافضای آمریکا برای آنالیز ایمنی هواپیما استفاده شد و در دهه 1970 میلادی توسعه یافت. در فوریه 1992 میلادی استاندارد SAE-J-1739به عنوان استاندارد مرجع FMEA در صنایع خودروسازی معرفی شد و به دنبال آن در سال‌های اخیر، توسعه سیستم‌های تضمین کیفیت در صنعت خودرو به‌خصوص 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.

تجزیه‌وتحلیل 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 انجام‌گرفته است ریسک‌های شغلی با روش FMEA ارزیابی‌شده است که درنهایت منجر به ارائه راهکارهای

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]
[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

کنترلی و کاهش سطح ریسک‌ها شده است (۱۲). در مطالعه‌ی دیگری که در پالایشگاه شیراز انجام‌گرفته است، خطرات با روش FMEA ارزیابی‌شده است که درنهایت 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 ازجمله 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 باراندمان بالا ازجمله 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 درنهایت 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 درزمینه توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی فعالیت دارد، در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ ارزیابی نموده است.

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 تشکیل‌شده 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. تجزیه‌وتحلیل ریسک‌ها:

اعضاء تیم HSE پس از شناسایی و ثبت تمامی مخاطرات اقدام به تجزیه‌وتحلیل این مخاطرات می‌نمایند که درواقع 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 بیان‌شده 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 مولفهٔ 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):

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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 ۱۰دارد و به ترتیب در جداول ۱ تا ۳ نشان داده‌شده 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 تجزیه‌وتحلیل و تخصیص منابع می‌باشند، بنابراین تیم باید روی این ریسک‌ها تمرکز نماید. در این مطالعه با توجه به بررسی‌های انجام‌شده توسط تیم FMEA در رابطه با ریسک‌های قابل‌قبول و غیرقابل‌قبول، مقادیر RPN در سه سطح (کم با RPN<۵۰، متوسط با۱۵۰>RPN> ۵۰ و زیاد با RPN > ۱۵۰) 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 غیرقابل‌قبول 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.

جدول ۱: احتمال رخداد خطر (O)

احتمال رخداد خطر	نرخ‌های احتمالی خطر	رتبه
بسیار زیاد - خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر است	۱ در ۲ یا بیش از آن	۱۰
بسیار زیاد	۱ در ۳	۹
زیاد خطرهای تکراری	۱ در ۸	۸
زیاد خطرهای تکراری	۱ در ۲۰	۷
	۱ در ۸۰	۶
متوسط - خطرهای موردی	۱ در ۴۰۰	۵
	۱ در ۲۰۰۰	۴
کم – خطرهای نسبتاً نادر	۱ در ۱۵۰۰۰	۳
	۱در ۱۵۰۰۰۰۰	۲
بعید - خطر نامحتمل است	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰	۱

جدول ۲: شدت صدمه‌زائی (S)

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

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]
[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

جدول ۳: قابلیت کشف (D)

معیار : احتمال کشف خطر	قابلیت کشف	رتبه
هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست.	مطلقاً هیچ	۱۰
احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های 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 به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.	تقریباً حتمی	۱

یافته‌ها

نتـایج به‌دست‌آمده از اجـرای روش FMEA در پژوهشکده هوا خورشید با تفکیـک واحدهای مختلـف، مخاطـرات و علل مرتبط با آن‌هـا 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 ذکرشده 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)، تست پنل‌های خورشیدی و تست اینورتر (آزمایشگاه تست فتوولتایی) و بازرسی تابلو برق (واحد کنترل کیفیت) با RPN=۱۸۰ ۲. **استشمام مواد سمی** در عملیات مواد کاری رزین و الیاف (واحد طراحی فرآیند) با RPN= ۱۶۲ ۳.**سقوط از ارتفاع** در عملیات کار در ارتفاع (واحد کارگاه فلزی) با RPN=۱۵۰ می‌باشند. همچنین ریسک‌های با کم‌ترین اهمیت شامل: ۱. کار تکراری در عملیات بازرسی ابعادی (واحد کنترل کیفیت) با RPN=۱۸. ۲. قلاب کردن دریل و پرتاب پلیسه و دررفتن تیغه برش در عملیات مونتاژ تابلو برق (واحد برق) با RPN=۲۷ می‌باشند.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

جدول ۴: شناسایی و ارزیابی مخاطرات واحد برق

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
مونتاژ تابلو برق	ابزار تراش و سوراخکاری	قلاب کردن دریل-پرتاب پلیسه	آسیب دست و صورت	۳	مته نامناسب-آموزش ناکافی	۹	وجود ندارد	آموزش پرسنل	۱	۲۷	برگزاری کلاس‌های آموزش پرسنل
مونتاژ الکتریکی و سیم‌کشی	ابزار پرس و برش	دررفتن تیغه برش	آسیب و بریدگی	۳	محکم نبودن تیغه برش-آموزش ناکافی	۹	وجود ندارد	بررسی ابزار قبل از شروع کار	۱	۲۷	آموزش پرسنل-بازرسی
نصب و راه‌اندازی تابلو برق	دستکش عایق	جریان نشتی	برق‌گرفتگی-مرگ	۱۰	ضعف عایق سیم-برش و مونتاژ نامناسب	۳	ناقص است	عایق‌بندی سیم	۶	۱۸۰	بازدید دوره‌ای-عایق‌بندی سیم‌ها
نصب و راه‌اندازی تابلو برق	دستکش عایق	جریان نشتی	آتش‌سوزی و حریق	۷	ضعف عایق سیم-نبود آموزش کافی-نبود تجهیزات حفاظتی کافی	۳	ناقص است	عایق‌بندی سیم	۶	۱۲۶	آموزش پرسنل-بازدید دوره‌ای-عایق‌بندی سیم‌ها

جدول ۵: شناسایی و ارزیابی مخاطرات آزمایشگاه تست فتوولتایی

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
تست پنل‌های خورشیدی	تجهیزات حفاظت فردی	جریان نشتی	برق‌گرفتگی-مرگ	۱۰	اتصال کوتاه شدن-بریدگی سیم	۳	وجود ندارد	اطمینان از عایق بودن سیم	۶	۱۸۰	بررسی دوره‌ای سیم‌ها و اتصالات
شست‌وشوی پنل‌ها	دستکش-کفش ایمنی	افتادن از پایه‌ها	مصدومیت	۶	سهل‌انگاری مجری-محکم نبودن پایه‌ها	۵	ناقص است	استفاده از PPE-اطمینان از محکم بودن پایه‌ها	۳	۹۰	بازدید دوره‌ای
تست اینورتر	دستکش عایق	جریان نشتی	برق‌گرفتگی-مرگ	۱۰	اتصال کوتاه شدن-بریدگی سیم	۳	وجود ندارد	اطمینان از عایق بودن سیم	۶	۱۸۰	بررسی دوره‌ای سیم‌ها و اتصالات

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]
[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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
تریم‌کاری 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
تریم‌کاری 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
موادکاری 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	قابل‌تشخیص 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 ثقفی
برش الیاف شیشه	قیچی برش الیاف-لباس 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
رنگ‌کاری	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	آتش‌سوزی	۹	عدم بازرسی	۳	-	-	۵	۱۳۵	بازرسی شیلنگ‌ها

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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	آسیب‌دیدگی	۱۰	ابزار نامناسب-آموزش ناکافی	۴	ناقص است	ابزار صعود مناسب-آموزش کار در ارتفاع	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	عایق‌بندی سیستم	۶	۱۸۰	بازدید دوره‌ای عایق‌بندی 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-برق‌زدگی 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 ارتفاع	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	آسیب‌دیدگی	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
پلیسه‌گیری و سنگ‌زنی	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

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]
[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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	6	1
کنترل کیفیت	۲	۲	۱
کارگاه فلزی	۱	۲	۱
جمع:	۶	۱۲	۶
درصد:	٪۲۵	٪۵۰	٪۲۵

بحث

باوجودآنکه 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 بالابود. مخاطراتی که در صورت تبدیل‌شدن 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 درنهایت روزی منجر به بروز حادثه می‌شوند. نکته قابل‌توجه دیگر این بود که اغلب مخاطرات شناخته‌شده در حالی سیستم را تهدید می‌کردند که می‌توان به‌راحتی و با صرف کم‌ترین هزینه آن‌ها را حذف و یا کنترل کرد، درحالی‌که 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 شناسایی‌شده ٪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 غیرقابل‌قبول، بیشترین فراوانی ریسک‌های غیرقابل‌قبول را به خود اختصاص داده است. نتایج این تحقیق بامطالعه 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 بامطالعه میرمحمدی و همکاران که بیشترین شدت اثر ریسک‌ها را مربوط به برق‌گرفتگی هنگام کاربر روی دستگاه گیوتین، برشکاری، خم‌کاری و سوراخ‌کاری بیان می‌دارد، همسو می‌باشد (۱۶). تشابه در ریسک‌های شناسایی‌شده 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 غیرقابل‌قبول شناسایی‌شده، 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 بامطالعه انجام‌شده توسط کرمانشاهی و عیوض زاده (۲۰۱۶) با عنوان " شناسایی مخاطرات

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

و ارزیابی ریسک ایمنی فرآیندهای راه‌اندازی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با برج خنک‌کن هلر به روش FMEA" که نشان می‌دهد از میان ۱۴۳ ریسک شناسایی‌شده برق‌گرفتگی با ۳۶ مورد، دارای بیشترین فراوانی و هم‌چنین با اختصاص بالاترین اعداد اولویت ریسک(RPN=۱۸۲/۰۲) به خود به‌عنوان مهم‌ترین ریسک شناخته‌شده است نیز همسو می‌باشد (۱۷).

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که واحد آزمایشگاه تست فتوولتایی با ۳ مورد ریسک شناسایی‌شده، پرخطرترین واحد می‌باشد درحالی‌که واحد طراحی فرآیند با ۸ مورد ریسک شناسایی‌شده، اگرچه تعداد ریسک بیشتری را به خود اختصاص داده است اما واحد کم‌خطرتری می‌باشد. نتایج تحقیق در این زمینه بامطالعه انجام‌شده توسط یاری (۲۰۱۷) با عنوان " ارزیابی مخاطرات بالقوه به روش تجزیه‌وتحلیل 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 ازجمله 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 ازجمله دستکش و کفش الزام گردد.

از دیگر ریسک‌های غیرقابل‌قبول شناخته‌شده 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 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 یک‌بارمصرف لاتکس و لباس‌های یک‌بارمصرف استفاده نمود.

یکی دیگر از ریسک‌های غیرقابل‌قبول شناخته‌شده 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 شناسایی‌شده در اولویت‌های بعدی قرار دارند که می‌توان به نشت گاز از شلنگ در عملیات پخت با عدد RPN=۱۳۵ و پخش گردوغبار رنگ و حلال در عملیات‌های رنگ‌کاری و تمیزکاری قالب‌ها و حلال‌ها با عدد RPN=۱۲۸ اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی 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

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

جمع‌آوری داده :ج.ک
تحلیل داده :ج.ک
نگارش و اصلاح مقاله :ج.ک

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1.Organization IL. Safety and healt at work. 2017. Available at: http://www.ilo.org/global/ topics/ safety- and-healt- 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 Agencyto 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

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

Analysis Technique (FMEA).Hygiene and Health promotion Journal. 2017;1(2):129-42 [Persian].

13. Ebrahim Zade M, Halvani GH, Mortazavi M, Soltani R. Assissing the potential risks of Shiraz Refinery by FMEA method and its effect. Occupational Medicine Quarteri 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 heller 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.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]

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 KARAMI[1]

Abstract

Original Article

CC BY

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)

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2025-04-18]

[DOI: 10.18502/ohhp.v4i1.3140]