Original article

Risk Factors Assessment in Educational Equipment Manufacturers Company Using FMEA

Seyedtaghi Mirmohammadi[1]
Zahra Naseripouya[2*]
Zahra Hosseinalipour[3]

1- Assistant Professor, Occupational Health Department, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
2- B.Sc. Student of Occupational Health, Occupational Health Department, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
3- M.Sc. Student of Occupational Health, Occupational Health Department, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

***Corresponding author:** Zahra Naseripouya, Occupational Health Department, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: 522znp@gmail.com

Received: 10 March 2016
Accepted: 12 June 2016

ABSTRACT

Introduction and purpose: Industrial accidents are highly prevalent. Regarding this, identification of the risk factors of occupational accidents can be helpful in preventing the occurrence of this type of accidents. The aim of this study was to assess the risk factors in the incidence of occupational accidents and prioritize the severity of the identified risks in order to prevent their occurrence.

Methods: The current study utilized failure mode effects analysis (FMEA) method to evaluate the potential risk factors. All the units of Educational Equipment Manufacturers Company, including 12 different workstations with 55 employees, were assessed; furthermore, failure modes and effects as well as the causes of the failure of each component were recorded. Subsequently, Risk Priority Number (RPN) of each workstation was separately calculated and the crisis level of each risk was prioritized.

Results: According to the results of the study, a variety of 51 risk factors were identified among 12 different workstations at the factory. It was demonstrated that 4.25%, 9.54%, and 6.19% of these risk factors were within acceptable, unacceptable, and emergency level, respectively. The highest risk frequency was related to the electric shock caused by working on guillotine, cutter, bending machine, and drilling press. However, the crisis level of these risk factors were found to be average owing to the decrease in the occurrence of these risk factors which was the result of control measures.

Conclusion: This study revealed a direct relationship between RPN and the frequency of occupational accidents. Because of the high risks of the aforementioned machines, plant workers are highly prone to occupational accidents and injuries. Although FMEA method is a functional approach in determining the risks of occupational accidents, it is also recommended to use process hazard analysis in order to have a more precise and comprehensive assessment.

Keywords: FMEA method, Occupational accident, Risk assessment, Workstation

▶ **Citation**: Mirmohammadi S, Naseripouya Z, Hosseinalipour Z. Risk Factors Assessment in Educational Equipment Manufacturers Company Using FMEA. Journal of Health Research in Community. Summer 2016;2(2): 9-19.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

مقاله پژوهشی

ارزیابی عوامل خطر به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس

سید تقی میر محمدی[1]
زهرا ناصری پویا[2]
سیده زهرا حسینعلی پور[3]

۱.استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲.دانشجوی کارشناسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳.دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

* نویسنده مسئول: زهرا ناصری پویا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: 522znp@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۱۲

چکیده

مقدمه و هدف: بیشترین فراوانی حوادث، در صنایع دیده می‌شود. با شناسایی ریسک فاکتورهای ایجادکننده حوادث ناشی از کار، می‌توان از وقوع آن پیشگیری کرد. هدف از انجام مطالعه حاضر، ارزیابی ریسک فاکتورهای بروز حوادث و اولویت‌بندی بحران خطرات شناسایی‌شده برای پیشگیری از وقوع آن برای شاغلین می‌باشد.

روش کار: در این مطالعه از روش تجزیه و تحلیل شکست (FMEA: Failure Mode Effects Analysis) برای ارزیابی خطرات موجود استفاده شده است. کلیه‌ی واحدهای کاری کارخانه تولید تجهیزات آموزشی شامل ۱۲ ایستگاه‌های کاری مختلف همرا با ۵۵ شاغل ارزیابی شده و حالات شکست، اثرات شکست و علل شکست خطاها محاسبه شده‌اند. سپس عدد اولویت‌بندی ریسک (RPN: Risk Priority Number) هر ایستگاه کاری محاسبه و سطوح بحران آن اولویت‌بندی شده‌اند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داده است، از ۵۱ ریسک فاکتور مختلف شناسایی‌شده در بین ۱۲ ایستگاه‌های کاری مختلف در این کارخانه، ۲۵/۴ درصد آن‌ها در محدوده قابل قبول، ۵۴/۹ درصد خطرات غیرقابل قبول و ۱۹/۶ درصد خطرات در سطح اضطراری قرار دارند. بالاترین ریسک، مربوط به کار بر روی دستگاه گیوتین، برشکاری، خم‌کن و سوراخ‌کاری در اثر برق گرفتگی می‌باشد که البته کاهش میزان وقوع آن‌ها در اثر اقدامات کنترلی نشان می‌دهد که با وجود شدت اثر بالا، سطح بحران آن‌ها متوسط می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بین سطوح الویت‌بندی ریسک (RPN) و فراوانی حوادث ناشی از کار رابطه مستقیم برقرار است. به دلیل بالا بودن ریسک‌های ناشی از دستگاه‌های فوق، امکان آسیب‌زایی و حوادث شغلی برای شاغلین کارخانه وجود دارد. با وجود کاربردی بودن تکنیک FMEA در تعیین ریسک فاکتورهای حوادث ناشی از کار، پیشنهاد می‌شود از تکنیک تکمیلی ارزیابی مقدماتی خطر (PHA: Process Hazard Analysis) نیز، برای ارزیابی دقیق‌تر و کامل‌تر این فرآیند استفاده شود.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، ایستگاه کاری، حوادث ناشی از کار، روش FMEA

◄ **استناد:** میرمحمدی، سیدتقی؛ ناصری پویا، زهرا؛ حسینعلی پور، سیده زهرا. ارزیابی عوامل خطر به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۳۹۵؛۲(۲): ۱۹-۹.

مقدمه

یکی از تبعات منفی رشد تکنولوژی در جوامع بشری، بروز حوادث گوناگون از جمله حوادث ناشی از کار و بیماری‌های شغلی می‌باشد که هر ساله تعداد بی‌شماری از انسان‌ها را در واحدهای صنعتی و تولیدی، دچار مشکلات و رنج‌های فراوانی می‌کند [۱،۲].

میزان حوادث ناشی از کار در کشورهای در حال توسعه، بالاتر از کشورهای توسعه‌یافته است [۳]. طبق گزارش ILO، کشورهای در حال توسعه ۶۰ درصد از کل نیروی کاری جهان را در خود جای داده‌اندکه تنها ۵ تا ۱۵ درصد از این جمعیت به سرویس‌های بهداشت شغلی دسترسی دارند [۴].

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]
[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

در سال ۲۰۰۸ میلادی ۲/۳۴ میلیون نفر از حوادث و بیماری‌های ناشی از کار فوت نموده‌اند که ۲/۰۲ میلیون نفر توسط بیماری‌های مختلف و ۳۲۱/۰۰۰ نفر بـه واسـطه حـوادث ناشی از کار درگذشته‌اند. براساس آخرین مطالعات و تحقیقات انجام‌شده توسط سازمان بین‌المللی تأمین اجتماعی (International Social Security Association: ISSA)، سرمایه‌گذاری در زمینه پیشگیری، ایمنی و بهداشت کار در بنگاه‌های اقتصادی نشان می‌دهد که حداقل میزان منافع حاصل از سرمایه‌گذاری در این موارد، برابر ۲/۲ واحد به ازای هر واحد سرمایه‌گذاری در سال اســت. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که میزان این منافع در برخی شرایط به بیشتر از پنج واحد نیز خواهد رسید. اثرات مثبت ارتقای ایمنی و بهداشت کار در بنگاه‌های اقتصادی سبب افزایش انگیزه کاری در میان کارگران، ارتقای جایگاه و چهره موفق شرکت، کاهش مشکلات و ناهنجاری‌های کاری و افزایش کیفیت محصول نهایی خواهد شد [۱].

برای به حداقل رساندن تلفات و اثرات نامطلوب بر روند تولید، بهتر است تا با استفاده از سیستم‌های نوین مدیریتی و مهندسی فرهنگ زیربنایی، توسعه پایدار را در همه نهادها، سازمان‌ها و حتی مراکز آموزشی ایجاد کرد و در این زمینه عملکرد سازمان‌ها را به سوی بهبود مستمر سوق داد [۵]. به‌منظور دستیابی به این هدف، اولین قدم شناسایی مخاطرات و مشکلاتی است که در محیط‌های کار وجود دارند؛ برای مثال برخی عوامل استرس‌زا در محیط کار می‌تواند موجب به خطر افتادن بهداشت و سلامت نیروی کار شده و یا به‌طور قابل ملاحظه‌ای آسایش او را سلب کند. پس از آنکه عامل مخاطره‌آمیز به‌درستی شناسایی شد، گام بعدی ارزشیابی عامل و اثر دیگر عواملی که ممکن است موجب افزایش یا ایجاد مشکل گردند، می‌باشد [۶]. پیش‌نویس استاندارد مدیریت ریسک (ISO ۳۱۰۰۰)، فرآیند مدیریت ریسک را در پنج فعالیت تشریح می‌نماید که عبارتند از: ارتباطات و مشاوره، ایجاد زمینه، ارزیابی ریسک، عملیات بر روی ریسک، نظارت و بازنگری. از این پنج فعالیت، ارزیابی ریسک پیچیده‌ترین مبحث بوده و شامل شناسایی، تجزیه و تحلیل و ارزشیابی ریسک است [۷]. روش ارزیابی ریسک، حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA: Failure Mode Effects Analysis)، اولین‌بار توسط ارتش آمریکا و تحت عنوان استاندارد MIL–STD–۱۶۲۹ برای صنایع هوا و فضا در دهه ۱۹۶۰ ارائه گردید و در صنعت خودرو، انجمن مهندسین خودرو استاندارد (SAEJ–۱۷۳۹) جهت بهبود کیفیت محصولات خودرو سازان تشکیل شد. استاندارد QS–۹۰۰۰ در زمینه مدیریت تضمین کیفیت، اهمیت ویژه‌ای به روش FMEA داد [۸]. فواید FMEA شامل: پیش‌بینی و جلوگیری از مشکلات، کاهش هزینه‌ها، کوتاه شدن زمان توسعه محصول و دستیابی به محصولات و فرآیندهای امن و بسیار قابل اعتماد می‌باشد [۹]. عربیان و همکاران در سال ۲۰۱۰، با اسـتفاده از روش FMEA به تجزیه وتحلیـل خطاهـای سیسـتم تـوربین‌هـای بـادی پرداختند و با کمک ایـن تکنیـک، راهکارهـایی بـرای ارتقـاء طراحی توربین‌های بادی ارائه نمودند [۱۰]. توانمندی FMEA در تجزیه و تحلیل خطرات به حدی است که از این تکنیـک در صنایع با ریسک آسیب‌رسـانی بـالا ماننـد صـنعت هوانـوردی و نیروگاه اتمی به‌منظور پیشگیری از وقوع حوادث استفاده می‌شود [۱۱،۱۲]. کارآمدی روش FMEA موجب شده است که علاوه بر صنایع، در مراکز بهداشتی- درمانی نیز، از آن به‌منظور بهبود وضعیت ایمنی بیماران و ارائه خدمات اضطراری پزشکی استفاده شـود [۱۲،۱۳].

هدف از بررسی مطالعه حاضر، به‌دست آوردن یک شمای کلی از خطرات موجود در یک واحد صنعتی است که کارگران در آن با خطرات گوناگونی مواجه هستند. شناسایی این خطرات و تطابق آن با اقدامات کنترلی موجود، اطلاعات دقیق‌تری از سطح ایمنی در بخش‌های مختلف آن به ما خواهد داد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، نگاهی پیشگیرانه و آینده‌نگر نسبت به خطرات پیش رو در فرآیندهای مختلف، به مدیران و مسئولین ایمنی و بهداشت حرفه‌ای شرکت مذکور خواهد داد. همچنین از طریق این داده‌ها می‌توان خطرات احتمالی را اولویت بندی کرد و نسبت به رفع یا کاهش آن برنامه‌ریزی دقیق، اقتصادی و مدیریتی انجام داد.

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

روش کار

این مطالعه از نوع توصیفی- مقطعی بوده و کلیه واحدهای کاری کارخانه تولید تجهیزات مدارس شامل ۱۲ ایستگاه‌های کاری مختلف همرا با ۵۵ شاغل ارزیابی شدند. شناسایی و ارزیابی خطرات در کارخانه به‌وسیله روش FMEA صورت گرفت [۱۲-۱۰]. برای شروع یک تجزیه و تحلیل خسارت در واحدهای مختلف شرکت مذکور، اولین قدم مشخص کردن نمودار کلی از فرآیندها و زیرمجموعه‌های آن می‌باشد. به‌منظور بررسی خطرات اصلی، تیم ارزیابی ریسک علاوه بر طرح سؤالات مربوط به سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق، لازم است که وضعیت تمیز بودن محل کار، درجه اتوماسیون ماشین‌آلات، طراحی مناسب استقرار ماشین‌آلات، مخازن نگهداری محصول و محوطه بارگیری را از نظر احتمال ایجاد و انتشار حریق و انفجار مد نظر قرار دهند. بررسی سرویس‌های پیشگیرانه و دوره‌ای تعمیرات و نگهداری، انجام تعمیرات اساسی در دوره‌های سالیانه و امکان کنترل سیستم توسط شیرهای اطمینان خودکار از موارد مهم دیگری است که توسط تیم ارزیابی ریسک، کنترل می‌گردند [۱۴].

تعیین شدت خسارت (Severity)

تیم ارزیابی ریسک با توجه به این نکات که اولاً ارزیابی شدت اثر باید براساس آگاهی و خبرگی افراد گروه انجام شود و دوم اینکه هر خطر آثار مختلفی دارد و می‌بایست اثر خطر را درجه‌بندی کرد نه خطر را و سوم برای خطراتی که می‌توانند چندین اثر داشته باشند، هر اثر دارای درجه شدت خودش می‌باشد؛ نمره عددی شدت اثر را برای خطرات شناسایی‌شده تعیین کردند (جدول۱).

تعیین احتمال وقوع شکست (Occurrence)

این سیستم امتیازدهی می‌تواند براساس نظر تیم ارزیابی ریسک تغییر یابد. احتمال وقوع خسارت یک مفهوم آماری بوده و براساس تجربه و دانش فنی تیم ارزیابی ریسک می‌تواند طرح‌ریزی شده و مورد استفاده قرار گیرد. برای تعیین درجه وقوع، در مواردی که داده‌های واقعی در مورد یک خطر، در جدول ۱ وجود نداشت؛ تیم FMEA بالاترین درجه وقوع شکست را در نظر گرفتند. البته در اکثر موارد، افراد تیم دلیل ایجاد خطر را با کمک مصاحبه حضوری با مهندسین، کارگران باتجربه و واحد تعمیرات کارخانه کشف می‌کردند و به این ترتیب سنجش درجه وقوع خطر بهتر صورت پذیرفت [۱۰].

تعیین نرخ احتمال کشف (Detection)

احتمال کشف (D)، نوعی ارزیابی از میزان توانایی سیستم جهت شناسایی یک علت یا مکانیزم وقوع خطر است. در امتیازدهی درجه کشف، اعضای تیم، کنترل‌های موجود ایمنی تجهیزات را بازبینی نمودند و در صورت نبود کنترل‌های جاری، احتمال کشف خطر بالقوه را بسیار کم تلقی می‌کردند و در نتیجه درجه کشف را بسیار بالا و در حد ۹ یا ۱۰ محاسبه نمودند. درجه احتمال کشف خطر براساس جدول ۲ تعیین گردید.

از موارد مهم دیگری که در جدول FMEA در نظر گرفته شده است، می‌توان به طبقه خطر، پتانسیل ایجاد خسارت، اثرات خسارت، پتانسیل مکانیزم ایجاد خسارت، چگونگی کنترل خطر

جدول ۱: RPN خطرات شناسایی شده کارخانه تجهیزات مدارس در ارزیابی FMEA

نام مکان مورد مطالعه	تعداد خطر شناسایی‌شده	مجموع RPN	میانگین RPN
سالن های تجهیزات مدارس	۵۱	۵۴۲۴	۳۵/۱۰۶

جدول ۲: سطوح بحران خطرات شناسایی‌شده کارخانه تجهیزات مدارس در ارزیابی FMEA

تعداد خطرات ضعیف	تعداد خطرات متوسط	تعدادخطرات مهم
۱۳	۲۸	۱۰

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

در طراحی اولیه، توصیه‌های ایمنی، مسئولیت‌پذیری و انجام توصیه‌ها و نتیجه اقدامات صورت گرفته پس از ارائه توصیه‌های ایمنی اشاره نمود.

عدد اولویت ریسک:

توان کشف × احتمال وقوع × شدت خسارت = اولویت ریسک

یا

$$RPN\ (Risk\ Priority\ Number) = S \times O \times D$$

عدد اولویت ریسک از ضرب کردن درجه شدت و درجه وقوع و احتمال کشف در یکدیگر به‌دست آمد و می‌تواند از ۱تا ۱۰۰۰ متغیر باشد. در نهایت با استفاده از RPN به‌دست آمده می‌توان آن را در سه گروه بحران‌های ضعیف (۹۹-۱)، بحران‌های متوسط (۱۴۹-۱۰۰) و بحران‌های مهم (۱۰۰۰-۱۵۰) قرار داد که بحران‌های متوسط و مهم به اقدامات کنترلی فوری نیازمند هستند. این بازه از مقادیر، قراردادی است و بسته به شرایط محیط کار و میزان سطوح ریسک شناسایی‌شده تغییر می‌کند [۱۰].

زمانی که عدد اولویت ریسک مشخص گردید، برای بهبود وضعیت ریسک و کاهش آن، توصیه‌های ایمنی توسط تیم ارزیابی ریسک به اطلاع مدیریت ارشد واحد مورد بررسی می‌رسد و نیز اقدامات پیشنهادی در کاربرگ FMEA درج می‌شود که این اقدامات براساس دانش و تجربه تیم FMEA و همچنین الزامات قانونی موجود لحاظ شدند.

یکی از مهم‌ترین اصولی که در ارزیابی ریسک براساس تئوری ساختاری FMEA، باید در نظر گرفته شود، این است که فرآیندهای مزبور هرگز پایان نمی‌یابند و منابع جدید ریسک باید به‌عنوان طبقات اضافی یا عناوین جدید اضافه شوند. نکته مهم دیگر این است که هیچ روش‌شناسی یا ابزاری به تنهایی نمی‌تواند با تمامی موارد، متناسب باشد. به هر حال اثربخشی اولویت‌بندی ریسک می‌تواند با فرآیند جمع‌آوری نظام‌مند داده‌ها که از طبیعت پویای منابع در حال تحول ریسک و میزان بحرانی بودن آن‌ها حکایت دارد، شرایطی را ایجاد کند که مقابله با بحران‌های احتمالی برای مدیریت ریسک امکان‌پذیر گردد. طبق گزارش منتشرشده در مقالات روایی و پایایی، این تکنیک به ترتیب از طریق روایی متخصصان و ضریب آلفای کرونباخ به‌دست آمد.

از آنجایی که در این مقاله خطرات کلیه ایستگاه‌های کاری شاغلین مورد بررسی قرار گرفته و سپس تاثیرات آن بر افراد مورد ارزیابی قرار گرفته است، هیچگونه آزمایش یا بررسی به‌طور مستقیم روی شاغلین انجام نشده و افراد با رضایت کامل در مطالعه همکاری داشتند.

با توجه به توصیفی بودن مطالعه حاضر، تحلیل‌های توصیفی و فراوانی خطرات مورد ارزیابی به‌عنوان ارزیابی آماری مورد استفاده قرار گرفته است. روش کسب اطلاعات نیز به‌صورت بازدیدهای میدانی، مصاحبه و چک لیست صورت گرفته است.

یافته‌ها

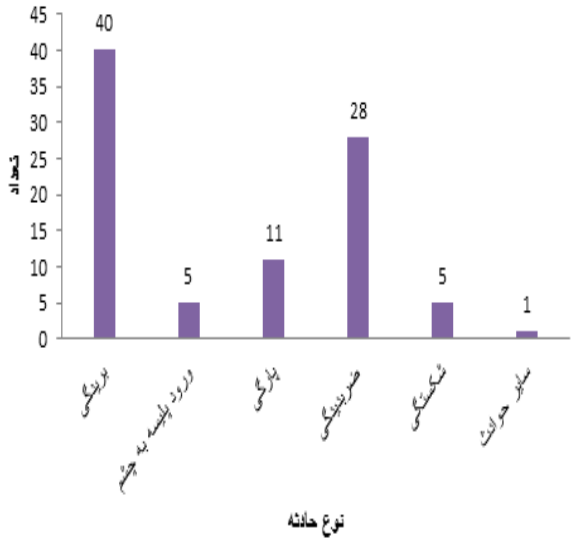
نتایج FMEA معمولاً در برگه‌های کاری FMEA ثبت و ارائه می‌شوند. در این مطالعه تعداد خطرهای شناسایی و بررسی‌شده، ۵۱ مورد بود که در ۱۳ کاربرگ یا جدول اختصاصی FMEA استفاده شده براساس کاربرگ‌های ابزار مورد استفاده بوده است [۱۰،۱۵]. فراوانی خطرات و مجموع RPN مطالعه، در جداول ۱و۲ آمده است. بر پایه اطلاعات جدول ۳، میانگین RPN بخش‌های مختلف کارخانه تولید تجهیزات مدارس در واحدهای مختلف متفاوت می‌باشد.

بر این اساس اگر خطرات ضعیف را معادل ریسک‌های قابل قبول، خطرات متوسط را معادل ریسک‌های غیرقابل قبول و خطرات مهم را معادل ریسک‌های اضطراری در نظر گرفت، آنگاه می‌توان گفت ۲۵/۴ درصد از خطرات یافت‌شده قابل قبول، ۵۴/۹ درصد خطرات غیرقابل قبول و ۱۹/۶ درصد خطرات در سطح اضطراری قرار دارند.

بررسی فراوانی اثر و حالت نقص در سال ۱۳۹۳ با استفاده از

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]



نمودار ۱: فراوانی نوع اثر حالت نقص در سال ۱۳۹۳

نمودار ۲: فراوانی حالت نقص در قسمت‌های مختلف در سال ۱۳۹۳

ابزار FMEA در مکان مورد مطالعه، نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب و پرریسک بودن وظایفی است که شاغلین در طول کار در کارخانه انجام می‌دهند. با توجه به نمودار ۱، بریدگی و ضرب‌دیدگی، بیشترین فراوانی و در نمودار ۲، کار در انبار و نقاشی فلز، بیشترین تأثیر را در بروز حالت نقص نشان می‌دهد (نمودار ۱ و ۲).

با توجه به جداول فراوانی حوادث در سال ۱۳۹۳، می‌توان نسبت بین سطوح ریسک با فراوانی حوادث رخ داده در همان قسمت را مقایسه نمود (جدول ۴). در جدول بالا که بخش‌های مختلف به‌ترتیب فراوانی حوادث در سال ۱۳۹۳ قرار گرفته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت به‌طور کلی بین RPN و فراوانی حوادث اغلب رابطه مستقیم وجود دارد.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، می‌توان به قابلیت و گستره وسیع روش FMEA در ارزیابی‌های غیرصنعتی مانند زیست‌محیطی، پی برد. در این پژوهش، شناسایی ریسک به دو دسته مصنوعی و طبیعی تقسیم‌بندی شد و تغییراتی در رتبه‌بندی نرخ‌های تعریف‌شده مانند نرخ شدت اثر، احتمال وقوع و کشف ایجاد گردید. برای مثال در جداول قراردادی ابزار مورد استفاده شدت پیامد و احتمال وقوع آن، اعداد از ۱ تا ۴ و در جدول احتمال کشف، در سه دسته تقسیم شده‌اند [۱۰،۱۵]. این تغییرات عامدانه، حکایت از قدرت انعطاف‌پذیری کاربرد FMEA در شرایط مختلف دارد. در این روش همچنین با توجه به محدود شدن رتبه‌بندی شاخص‌ها، حدود RPN برای دسته‌بندی بحران‌ها نیز کاهش یافته است. برای مثال سطح بحران برای RPN_{0-24}، سطح ضعیف، برای RPN_{25-31} ، سطح متوسط و در آخر برای RPN_{32-48} نیز سطح بحران بالا تعریف شده است.

جدول ۳: میانگین RPN بخش‌های مختلف کارخانه تولید تجهیزات مدارس

نام بخش	میانگین RPN	نام بخش	میانگین RPN
مونتاژ	۸/۸۰	دایکست	۱۱۲
سوراخ‌کاری	۱۰۴	تزریق پلاستیک	۱۱۷
برشکاری	۱۰۵	سریع‌بر	۴/۱۲۰
انباردار و لیفتراک	۱۰۵	واحد رنگ	۱۲۶
گیوتین	۱۰۵	جوشکاری	۱۴۰
خم‌کن برقی	۱۱۰	درودگری	۱۶۰

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

جدول ۴: مقایسه بین فراوانی حوادث با میانگین RPN هر بخش در سال ۱۳۹۳

ردیف	بخش	تعداد حادثه (۱۳۹۳)	میانگین RPN
۱	نقاشی فلز	۱۸	۱۲۶
۲	انبار	۱۸	۱۰۵
۳	فلزکاری	۱۱	۱۴۰
۴	قالب‌سازی	۱۱	۱۱۰
۵	تزریق پلاستیک	۶	۱۱۷
۶	مونتاژ	۶	۸/۸۰
۷	درودگری	۶	۱۶۰
۸	دایکاست	۶	۱۱۲

بحث و نتیجه‌گیری

از ۵۱ مورد خطر بالقوه‌ای که به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس انجام شد، ۱۰ مورد به‌عنوان خطرات دارای ریسک بالا شناخته شدند. بالاترین شدت اثر (S)، مربوط به کار بر روی دستگاه گیوتین، برشکاری، خم‌کن، سوراخ‌کاری در اثر برق‌گرفتگی می‌باشد که البته کاهش میزان وقوع آن در اثر اقدامات کنترلی و همچنین سابقه فراوانی آن نشان می‌دهد که با وجود شدت اثر بالا سطح بحران آن اضطراری نمی‌باشد؛ بلکه متوسط است. تشابه در ریسک‌های شناسایی‌شده در اغلب بخش‌ها مانند سوراخ‌کاری و برشکاری نشان می‌دهد که از روش‌های کنترلی مشابه، می‌توان برای اصلاح فرآیند استفاده نمود. این امر در کاهش هزینه و وقت، مفید واقع خواهد شد. برای مثال هر دو بخش سوراخ‌کاری و برشکاری دارای ریسک برق‌گرفتگی می‌باشند و از طریق سامانه‌های عیب‌یابی خودکار و با عایق‌کاری مناسب و بررسی کردن دوره‌ای آن‌ها می‌توان از سطح ریسک این دو کم کرد. با توجه به جدول ۳ که از طریق مرتب شدن میانگین‌های RPN بخش‌های ارزیابی‌شده به‌دست آمده، بالاترین و پایین‌ترین سطح بحران و موارد بینابین آن‌ها قابل تشخیص است. با توجه به محاسبه مقدار RPN برای هر یک از ریسک‌های شناسایی‌شده، می‌توان پی برد که در مجموع هر یک از بخش‌ها به‌ترتیب چه سطح ریسکی دارند؛ در نتیجه با این امکان می‌توان خیلی سریع‌تر بخش‌هایی که با بالاترین میزان بحران در حال کار هستند را پیدا کرد و نسبت به روش‌های کنترلی ریسک آن قسمت اقدام نمود. بالاترین میزان RPN مربوط به کار کردن با دستگاه اره چوب در بخش درودگری می‌باشد که امکان بریدن دست در اثر نبود حفاظ، نبود سیستم‌های ایمنی متوقف‌کننده و همچنین بی‌دقتی انسان وجود دارد؛ بنابراین این قسمت از کارخانه در حال حاضر به شدت نیاز به بازنگری در اقدامات کنترلی دارد. مهندسین برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و ضمانت کارکرد اجزا در سیستم‌ها و زیر مجموعه‌های آن‌ها، حداقل زمانی را برای چرخه فعالیت آن‌ها مشخص می‌نمایند و در واقع به محاسبه ریسک خسارت براساس احتمال وقوع خرابی قبل از موعد می‌پردازند. قابلیت اطمینان به عملکرد سیستم‌های مهندسی دقیقاً عکس شرایط وقوع خرابی و خسارت می‌باشد. در نتیجه استفاده از روش FMEA و یا روش تجزیه و تحلیل حالت خسارت بحرانی و اثر آن (FMECA: Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) که روش‌هایی مبتنی بر قابلیت اطمینان می‌باشند، می‌توانند برای ارزیابی ریسک با نگرش بیمه‌ای کاربرد بسیار مهمی جهت نرخ‌گذاری پیدا نمایند. در روش FMEA شیوه‌های مختلفی برای تعیین اولویت‌ها در میان خسارت‌ها وجود دارد. دو رویکرد از رویکردهای رایج‌تر، استفاده از دو شاخص و یا سه شاخص متفاوت هستند. در این مقاله از سه شاخص شدت خسارت، احتمال وقوع خسارت و احتمال کشف خطر که بین اعداد ۱ تا ۱۰ متغیر می‌باشند، استفاده شد. حاصل‌ضرب این سه شاخص با حداکثر سطح ۱۰×۱۰×۱۰=۱۰۰۰ و حداقل ۱×۱×۱=۱ نشان‌دهنده اولویت ریسک RPN می‌باشد. درصنعت بیمه، پذیرش ریسک‌هایی با احتمال وقوع بیش از ۷ بیمه ناپذیر تلقی می‌گردند؛ بنابراین عدد اولویت ریسک در پروژه‌های بیمه‌پذیر معمولاً کمتر از ۷۰۰ خواهد بود. از طرفی، در خسارت‌های

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

بحرانی، عدد اولویت ریسک بیش از ۱۰۰ است و می‌توان این‌طور بیان نمود که عدد اولویت ریسک برای ریسک‌های بیمه‌پذیر معمولاً کمتر از ۷۰۰ می‌باشد. عدد اولویت ریسک در خسارت‌های بحرانی بین ۱۰۰ و ۷۰۰ قرار می‌گیرد. عدد اولویت ریسک کمتر از ۱۰۰ واحد، نشان‌دهنده ایمنی و مناسب بودن ریسک است [۱۵]. در مطالعه‌ای به روش مشابه با هدف ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی و همچنین ارائه راهکارهای مؤثر در کاهش آن‌ها در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات انجام شد. با توجه به قرارگیری دانشگاه در شرایط اکولوژیکی خاص، جنبه‌ها و پیامدهای زیست‌محیطی فراوانی در این واحد دانشگاهی به چشم می‌خورد؛ بنابراین ریسک‌های زیست‌محیطی، فعالیت‌ها و خدمات واحد علوم و تحقیقات به روش FMEA شناسایی و ارزیابی گردید. طبق نتایج به‌دست آمده از ارزیابی فاضلاب بهداشتی و آزمایشگاهی، تخریب منابع طبیعی، تولید پسماند ناشی از طرح جامع، در سطح ریسک بالا قرار گرفتند. براساس مقایسه سطوح ریسک، ۶۳ درصد ریسک‌ها در سطح ریسک بالا، ۱۴ درصد در سطح ریسک متوسط و ۲۳ درصد در سطح ریسک ضعیف قرار گرفتند [۱۶]. در مطالعه‌ای دیگر در بخش اورژانس که جزء مناطق با ریسک بالای خطاها در بیمارستان است، خطاهای شش فرآیند مشکل‌دار در بخش اورژانس مجتمع آموزشی- درمانی رسول اکرم، با استفاده از روش تحلیل حالات و اثرات خطا (FMEA) به‌عنوان یکی از تکنیک‌های مدیریت ریسک و به‌منظور افزایش ایمنی بیماران، شناسایی، ارزیابی، اولویت‌بندی و تحلیل شده است که به روش کمی-کیفی، حالات و اثرات خطا مورد تحلیل قرار گرفت. به کمک روش FMEA، ۵۱ خطای بالقوه در شش فرآیند منتخب اورژانس، شناسایی و ارزیابی گردید. سپس با تعیین قابلیت ۷۵ درصد، در مجموع ۱۶ حالت خطا با RPN≥۲۵۰ به‌عنوان خطاهای با ریسک غیرقابل قبول شناسایی و علل ریشه‌ای آن‌ها براساس مدل ECM طبقه‌بندی شدند [۱۷]. در این پژوهش اغلب ریسک‌های شناسایی شده مبتنی بر نحوه دقت انسان در فرآیندهای کاری درمان می‌باشد. از تکنیک‌های بارش افکار، رأی‌گیری با استفاده از رتبه‌بندی، و مدل طبقه‌بندی آیندهوون یا ECM در مراحل FMEA استفاده شد. با بررسی مطالعه مذکور مشخص می‌شود که از روش FMEA می‌توان برای به حداقل رساندن خطاهای انسانی به‌خصوص در محیط‌های غیرصنعتی استفاده نمود. هر چند که این پژوهش از مراحل هشت‌گانه متدولوژی FMEA الگوبرداری شده است؛ اما با توجه به شرایط اورژانس، در اجرا تفاوت‌هایی با الگوی پیشنهادی داشت. سه تفاوت اصلی عبارتند از: شناسایی خطاها در چارچوب «عدم انجام»، «انجام ناقص»، «انجام اشتباه» و «انجام با تأخیر» فعالیت، طراحی جداول جامع‌تری از شاخص‌های خطا با طراحی جداول شدت اثر و میزان وقوع خطا به‌صورت ماتریسی و نه ستونی و همچنین طراحی جدول شاخص قابلیت کشف خطا براساس احتمال زمان و نحوه کشف خطا و نه درصد احتمال کشف و تعیین خط کف عدد اولویت ریسک قابل قبول، نه تنها براساس تصمیم اعضاء تیم بلکه انتخاب درصدی از قابلیت اطمینان بود.

در پایان نتایج این بررسی نشان می‌دهند، بین سطوح الویت‌بندی ریسک (RPN) و فراوانی حوادث ناشی از کار رابطه مستقیم برقرار است. به‌دلیل بالا بودن ریسک‌های ناشی از دستگاه‌های فوق، امکان آسیب‌زایی و حوادث شغلی برای شاغلین کارخانه وجود دارد. با وجود کاربردی بودن تکنیک FMEA در تعیین ریسک فاکتورهای حوادث ناشی از کار، پیشنهاد می‌شود از تکنیک تکمیلی ارزیابی مقدماتی خطر (PHA) نیز، برای ارزیابی دقیق‌تر و کامل‌تر این فرآیند استفاده شود.

در ادامه راهکارهایی به‌منظور کاهش حوادث و خطرات ناشی از کار در صنعت مورد مطالعه پیشنهاد شده است:

- شناسایی نقاط تماس با خطر و تدوین آن‌ها به‌صورت دفترچه آموزشی و قرار دادن در اختیار پیمانکاران
- اولویت‌بندی خطرات براساس جداول خطر برای مدیریت آسان‌تر حوادث وشبه حوادث و قرار دادن به‌صورت دوره‌ای در اختیار

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

مسئولین و کارفرماها به‌منظور رفع نواقص و اصلاح سیستم‌های کنترلی

- استفاده از مواد کم خطر در ترکیب رنگ‌ها

- شناسایی دقیق و رفع معایب بخش‌هایی با خطر درگیر شدن دست در تجهیزات و افزایش سطح ایمنی آن از جمله نصب حفاظ‌های استاندارد، نصب سامانه‌های کنترل‌گر مانند توقف اضطراری، ترمزهای خودکار و دستی، اینترلاک و...

- نصب سیستم‌های هشداردهنده حریق و اسپرینکلر در تمام بخش‌های قابل حریق

- استفاده از ابزار و تجهیزات ارگونومیک جهت کار کارگران برای جلوگیری از آسیب‌های اسکلتی- عضلانی

قدردانی

در نهایت، از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران که حمایت مالی طرح با کد ۴۲۵/۹۴ را بر عهده داشتند و همچنین از قاسمیان لمراسکی بابت همکاری در این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Esabati M. Estimates of work-related accidents and diseases at the XIX world congress: safety and health at work. Bazar Kar Date Books 2011; 646:6 (Persian).
2. Mohamadfam L. Evaluation of occupational accidents and their related factors in Iranian Aluminum company in 1999. Sci J Kurdistan Univ Med Sci 2001; 5(3):18-23 (Persian).
3. Ergor OA, Demiral Y, Piyal YB. A significant outcome of work life: occupational accidents in a developing country, Turkey. J Occup Health 2003; 45(1):74-80.
4. Takala J. Introductory report: decent work–safe work. 17th World Congress on Safety and Health at Work, Vienna, Austria; 2002. P. 10.
5. Brauer RL. Safety and health for engineers: risk assessment and management. New Jersey: John Wiley and Sons; 2005.
6. Tiregar A, Kouhpaei A, Allahyari T, Alimohammadi I. Occupational health: occupational health programs. Tehran: Andisheh Rafi Publication; 2012 (Persian).
7. ISO 31000: Risk management--principles and guidelines. ISO. Available at: URL: url:http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43170; 2015.
8. Potential failure mode and effects analysis (FMEA). 2nd ed. New York: Chrysler corporation, ford motor Company, general corporation; 1995.
9. Allahyari T. Hazardous analysis and risk assessment in chemical processes. Fanavaran Andisheh Pub 2005; 1:56-61 (Persian).
10. Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. Int J Electri Power Energy Sys 2010; 32(7):817-24 (Persian).
11. Ashley L, Armitage G, Neary M, Hollingsworth G. A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: making the most of the team and its meetings. Joint Commis J Qual Patient Saf 2010; 36(8):351-8.
12. Guimarães AC, Lapa CM. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. Appl Soft Comput 2007; 7(1):17-28.
13. Spath PL. Using failure mode and effects analysis to improve patient safety. AORN J 2003; 78(1):15-37.
14. Alimohammadi H, Zare M, Ameli M, Akhoundi M. Modeling and risk assessment of oil production at refineries in the country with a vision insurance. Binesh 2013; 32:14 (Persian).
15. Nouri J, Abbaspour M, Torabifard M. Assessment and management of environmental risks to an institution by using FMEA. Environ Sci Technol 2010; 12(3):60-70 (Persian).
16. Carlson CS. Understanding and applying the fundamentals of FMEAs. New York: Annual Reliability and Maintainability Symposium; 2014.
17. Attar JN, Tofighi S, Hafezimoghadam P, Maleki MR, Goharinezhad S. Risk assessment of processes of Rasoule Akram emergency department by the failure mode and effects analysis (FMEA) methodology. Hakim 2013; 13(3):165-76 (Persian).

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

پیوست

جدول ۱: درجه بندی شدت وخامت

رتبه	شدت اثر	شرح
۱۰	خطرناک ـ بدون هشدار	وخامت تاسف بار مثل خطر مرگ ، تخریب کامل
۹	خطرناک ـ با هشدار	وخامت تاسف بار اما همراه با هشدار است
۸	خیلی زیاد	وخامت جبران ناپذیر است، عدم توانایی انجام وظیفه اصلی، از دست دادن یک عضو بدن
۷	زیاد	وخامت زیاد همانند آتش گرفتن تجهیزات سوختگی بدن
۶	متوسط	وخامت کم است مانند ضرب دیدگی، مسمومیت خفیف غذایی
۵	کم	وخامت خیلی کم مانند ضرب دیدگی، مسمومیت خفیف غذای
۴	خیلی کم	وخامت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس می‌کنند، نشت جزئی گاز
۳	اثرات جزئی	اثر جزئی بر جا می‌گذارد مثل خراش دست هنگام تراشکاری
۲	خیلی جزئی	اثر خیلی جزئی دارد
۱	هیچ	بدون اثر

جدول ۲: درجه بندی احتمال وقوع

رتبه	احتمال رخداد خطر	نرخ های احتمالی خطر
۱۰ ۹	بسیار زیاد: خطر تقریبا اجتناب ناپذیر است	۱در ۲ یا بیش از آن ۱در ۳
۸ ۷	زیاد: خطرهای تکراری	۱در۸ ۱در ۲۰
۶ ۵ ۴	متوسط: خطرهای مورد	۱در ۸۰ ۱در ۴۰۰ ۱ در ۲۰۰۰
۳ ۲	کم : خطرهای نسبتا نادر	۱ در ۱۵۰۰۰ ۱در ۱۵۰۰۰۰۰
۱	بعید: خطر نا محتمل است	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰

جدول ۳: توانایی کشف شکست

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

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]

جدول ۴ : نمونه فرم تجزیه وتحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA)در واحد رنگ کارخانه فولاد ماشین

نام بخش: واحد رنگ محصول: توسط: زهرا ناصری پویا
تاریخ بازبینی: ۹۴/۱۰/۶ تاریخ انجام ارزیابی: ۹۴/۹/۱۰

جزء بخش	حالت شکست بالقوه	اثر	S	علل شکست بالقوه	O	روش‌های شناسایی	D	اقدامات پیشنهادی	RPN	سطح بحران
اسپری رنگ	تماس با آلاینده‌های هوا (افشانه)	آسیب ریوی	۶	نوبت کاری دراز مدت، استفاده از افزودنی‌های پرخطر به رنگ	۵	بصری	۵	تعیین نوبت کاری گردشی و کوتاه مدت، استفاده از تهویه‌های متبوع و موضعی، جایگزین کردن مواد کم خطر با مواد پرخطر در رنگ‌ها، آموزش به کارگران و استفاده از ماسک های استاندارد با فیلتر مناسب، نصب رنگ آمیزی روباتیک	۱۵۰	۳
اسپری رنگ	تماس رنگ با پوست	عوارض پوستی	۶	نوبت کاری دراز مدت، استفاده از افزودنی‌های پرخطر به رنگ	۴	بصری	۵	تعیین نوبت کاری گردشی و کوتاه‌مدت، استفاده از تهویه‌های متبوع و موضعی، جایگزین کردن مواد کم خطر با مواد پرخطر در رنگ‌ها، آموزش به کارگران و استفاده از البسه مخصوص رنگ‌آمیزی، نصب رنگ‌آمیزی روباتیک	۱۲۰	۲
خشک کن	تماس با حرارت	تنش‌های گرمایی مانند گرمازدگی و ...	۶	شیفت دراز مدت، نبود عایق های حرارتی، عدم جریان هوایی مناسب	۵	بصری	۴	نصب تهویه‌های مناسب با محیط، تعیین مدت زمان مناسب مواجهه برای شیفت کاری، نصب عایق‌های حرارتی	۱۲۰	۲
صندلی‌های اسپری	فشار به ستون فقرات	عوارض اسکلتی و عضلانی	۶	مناسب نبودن نوع صندلی با کار، عدم رعایت نشتستن صحیح توسط کارگر	۴	بصری	۴	استفاده از روبات برای انجام کارهای تکراری، استفاده از صندلی‌های مخصوص و ارگونومیک، آموزش نشستن و انجام کار صحیح به کارگر، ایجاد تنوع حرکتی در خلال کار و...	۹۶	۱
کنترل کیفیت قطعات	گیر کردن دست و لباس به تجهیزات	برش و یا ایجاد جراحت در قسمت‌های مختلف بدن	۶	عدم وجود موانع محافظتی	۴	بصری	۶	نصب سنسورهای متوقف‌کننده دستگاه، نصب حفاظ‌های ایمنی، پوشش مناسب تجهیزات، رعایت فاصله کارگران از قسمت‌های پر خطر	۱۴۴	۲

[Downloaded from jhc.mazums.ac.ir on 2025-07-15]

[DOR: 20.1001.1.24236772.1395.2.2.2.5]