مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره شانزدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۷۸۷ تا ۸۰۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

شناسایی و ارزیابی خطر در یک صنعت باتری‌سازی به روش FMEA و برآورد نسبت هزینه رخداد حوادث به پیشگیری

حسین معصوم بیگی[۱،۲]، داوود مطلبی پیکانی[۲]، قادر غنی زاده[۳،۲*]، حامد اکبری‌جور[۴]، مریم اسمعیلی[۵]

۱- مرکز تحقیقات بهداشت، پژوهشکده سبک‌زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا... (عج)، تهران، ایران
۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا... (عج)، تهران، ایران
۳- مرکز تحقیقات مدیریت سلامت، پژوهشکده سبک‌زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا... (عج)، تهران، ایران
۴- مرکز تحقیقات بهداشت، پژوهشکده سبک‌زندگی، گروه HSE، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا... (عج)، تهران، ایران
۵- گروه پرستاری داخلی جراحی، دانشکده پرستاری و مامایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

واژگان کلیدی: ارزیابی خطر، پیشگیری از حادثه، حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل پیامد، صنایع باتری‌سازی، عدد اولویت خطر

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
qanizadej@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: تامین سلامت و ایمنی کارکنان هر صنعت، از مهم‌ترین موضوعات قابل توجه برای پیشگیری از بروز حوادث است. این مطالعه با هدف شناسایی و ارزیابی خطر در یک صنعت باتری‌سازی به‌روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) و برآورد نسبت هزینه رخداد حوادث به پیشگیری انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی-تحلیلی ابتدا فعالیت‌های تولیدی صنعت شناسایی شدند. سپس خطرات بالقوه به‌روش شناسایی خطر (HAZID)تعیین شدند. ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات به‌کمک روش FMEA انجام شد. خطراتی که RPN بالاتر از ۱۴۵ داشتند، به‌عنوان خطر مهم تعیین و نسبت هزینه رخداد به پیشگیری حوادث محاسبه شد.

یافته‌ها: در ۶۲ واحد فعال این صنعت ۷۱۶ خطر شناسایی و اولویت بندی شدند. ۱۶ مورد (۲/۲۳ درصد) آن دارای RPN بالای ۱۴۵ و بالاترین اولویت بودند. واحد خمیرمالی با خطرات سقوط و آتش‌سوزی و واحد مونتاژ با خطر نشت بخارات و گردوغبار سرب با RPN ۲۴۵ از جمله خطرناک‌ترین واحدها و خطرات شناسایی شده بودند. بیشترین هزینه رخداد مربوط به واحد پرس تاب کاور به مبلغ ۸/۵ میلیارد ریال و بخش وان‌های شارژ فرماسیون به مبلغ ۳۹۹/۶ میلیارد ریال بود. در تمام بخش‌ها به‌جز یک بخش، نسبت هزینه رخداد به پیشگیری حوادث از ۱/۲ تا ۲۵ متغیر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد لازم است مسئولین صنعت، اصلاح خطرات مهم را طبق اولویت بندی تعیین‌شده مورد توجه قرار دهند تا حوادث احتمالی ناشی از این خطرها به حداقل ممکن برسد. این اولویت بندی می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت بهینه خطر و کاهش هزینه‌های مربوطه داشته باشد.

Please cite this article as: Masoumbeigi H, Motalebi Peykani D, Ghanizadeh Gh, Akbari Jour H, Esmaeili M. Risk identification and assessment in a battery-manufacturing industry using FMEA method, and estimating the ratio of the cost of accidents to prevention. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):787-804.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

مقدمه

رشد علمی در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های صنعتی و برخورداری از امکانات و رفاه نسبی را به ارمغان آورده، ولی باعث پیدایش مشکلات جدید و پیچیده از جمله مخاطرات و حوادث شغلی شده است (۱). با توسعه فعالیت‌های صنعتی، گسترش فناوری و افزایش کاربرد ماشین‌آلات، روند بروز حوادث در محیط‌های صنعتی صعودی بوده است. کلیه عملیات و فعالیت‌های تولیدی و صنعتی نیازمند رعایت استانداردها و الزاماتی است که ضعف و نقصان در آن، می‌تواند منجر به بروز حوادث و پیامدهای ناخواسته‌ای برای کارکنان و خدشه به اعتبار و آبروی سازمان و سایر دارایی‌های صنعت، مشتریان داخلی و خارجی، فرآیندها و محصولات تولیدی، انواع خدمات ارائه شده و محیط‌زیست شود (۲).

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند سالانه هزاران نفر در اثر حوادث ناشی از کار جان خود را از دست داده یا دچار آسیب‌های جدی می‌شوند که برخی غیرقابل جبران هستند. براساس گزارش سازمان بین‌المللی کار (International Labor Organization (ILO)) سالانه حدود ۳۱۷ میلیون مورد حادثه ناشی از کار رخ می‌دهد. همچنین وقوع حوادث شغلی و یا بیماری‌های مرتبط با کار، حدود ۶۳۰۰ نفر از افراد فعال و بهره‌ور را در معرض بیماری‌های مرتبط با کار قرار می‌دهد و از این طریق حدود ۴ درصد از درآمد ناخالص ملی کشورهای جهان از بین می‌رود (۳). بر اساس گزارش سازمان بین المللی کار، ۹۸ درصد حوادث ناشی از کار قابل پیشگیری است (۴). امروزه نرخ رخداد این حوادث در کشورهای درحال‌توسعه به‌دلیل عدم پیشگیری‌های لازم، بالاتر از کشورهای توسعه‌یافته است. طبق گزارش ILO، کشورهای درحال‌توسعه، ۶۰ درصد از کل نیروی کاری جهان را در خود جای داده‌اند در حالی که تنها ۵ تا ۱۵ درصد از این جمعیت به خدمات بهداشت شغلی، دسترسی دارند (۵). مطالعات نشان می‌دهد هزینه‌های ناشی از حوادث و بیماری‌های ناشی از کار در برخی کشورهای درحال‌توسعه، حدود ۴ تا ۳۱ درصد از کل سود کارخانه است (۶). در واقع رخداد حوادث، علاوه بر هزینه‌های مستقیم (آسیب‌ها، جراحات و خسارات جدی که غالبا توسط شرکت‌های بیمه‌ای پرداخت می‌شود)، هزینه‌های غیرمستقیم (زمان از دست رفته، تأخیر در تولید، کاهش اعتبار شرکت و کاهش اعتماد مشتری، کاهش قیمت سهام، زمان و هزینه صرف شده جهت تحقیق و بررسی، هزینه‌های قانونی، افزایش حق بیمه و...) را نیز بر سازمان تحمیل می‌کند (۷). مطالعات و تحقیقات انجام شده توسط سازمان بین المللی تأمین اجتماعی (The International Organization for Standardization (ISSA)) نشان می‌دهد میزان منافع حاصل از سرمایه‌گذاری در زمینه پیشگیری، ایمنی و بهداشت‌کار در بنگاه‌های اقتصادی حداقل ۲/۲ برابر به ازای هر واحد سرمایه‌گذاری در سال است. از طرفی ارتقای ایمنی و بهداشت‌کار در بنگاه‌های اقتصادی سبب افزایش انگیزه کاری در میان کارگران، ارتقای جایگاه، اعتبار و چهره موفق شرکت، کاهش مشکلات و ناهنجاری‌های کاری و افزایش کیفیت محصول نهایی خواهد شد (۶).

Handoko و همکاران تأکید کردند، سلامت و ایمنی کارکنان همیشه از جمله عوامل اصلی بقاء و موفقیت پایدار هر صنعت است. بنابراین، هر شرکت باید یک بخش فعال مدیریت ایمنی و بهداشت داشته باشند. تجهیزات و سیستم‌های یک صنعت، ممکن است علی‌رغم داشتن یک طراحی خوب، با نگهداری نامناسب، ناایمن و غیرقابل‌اعتماد شوند. باید با ارزیابی خطر در هر صنعت، شرایط حداکثر ایمنی با کمترین هزینه ممکن فراهم شود. این امر نیازمند برنامه‌ریزی، نظارت، ارزیابی و نگهداری پیشگیرانه و شناسایی زود هنگام و به‌موقع خطرات و تهدیدات احتمالی توسط افراد خبره، با انتخاب و به‌کارگیری روش مناسب ارزیابی خطر است (۸).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

صنعت باتری‌سازی هم از جمله صنایعی است که در حال به‌روز شدن و استفاده از فناوری‌ها و روش‌های جدیدتر برای بهبود کیفیت کار و محصولات خود است و همراه با این توسعه، ارزیابی خطر جهت شناسایی هدف‌مند تهدیدات، به‌منظور کاهش و کنترل مخاطرات شغلی و پیامدهای مرتبط با آن از راهبردهای موفق مدیریتی و ضروری است (۸، ۹). در صورت عدم اطلاع از مخاطرات محیط کار، نه‌تنها سرمایه انسانی، به‌عنوان عظیم‌ترین سرمایه سازمان، از مواجهه با عوامل خطر و پیامدهای آن در امان نخواهد بود، ممکن است بروز برخی از حوادث، علاوه بر خسارات جانی، باعث اتلاف سرمایه‌های مادی، مواد اولیه، دور ریز محصول و توقف تولید گردد (۹). Salam و همکاران طی مطالعه ای گزارش کردند روش (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)) با کمک مؤثر به شناسایی، اولویت‌بندی نقاط ضعف، علت‌یابی خطرات و مستندسازی آن‌ها، با رویکردی آسان و پیشگیرانه در مدیریت خطرات و با توصیه روش‌های قابل‌اجرا، عامل مؤثری در افزایش بهره‌وری و بهبود مستمر کیفیت محصولات و خدمات است. در نتیجه از متداول‌ترین روش ارزیابی و شناسایی نقاط شکست و اولویت‌بندی خطرات و تهدیدات در صنایع، استفاده از روش FMEA است (۱۰).

Citation و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند روش FMEA به‌دلیل ساده بودن، قابلیت خوبی در ارزیابی خطر به‌ویژه در صنایع تولیدی مثل خودروسازی و پتروشیمی دارد. به‌کمک آن می‌توان نقاط شکست فرآیندهای تولیدی را شناسایی و با اقدامات مؤثر از بروز حوادث و اتلاف منابع صنعت ممانعت نمود و میزان زیان احتمالی مورد انتظار را محاسبه کرد. FMEA یک روش تحلیل کیفی کارآمد و مؤثر در مهندسی سیستم ایمنی یک صنعت است. حالت‌های شکست، اثرات شکست، حوادث احتمالی، و پیامد حوادث، زیان و سود مورد انتظار با استفاده از این ابزار قدرتمند قابل شناسایی، ارزیابی و محاسبه است (۱۱، ۱۲).

Ashtiani و همکاران هم در مطالعه تحلیلی ایمنی باتری‌ها و کاهش خطرات، گزارش کردند FMEA ابزاری قدرتمند برای تشخیص و کمک به کاهش خطرات موجود و روشی کارآمد برای شناسایی، پیشگیری و کنترل خطرات بالقوه و آنالیز اثرات خرابی‌ها روی رفتار یک مجموعه است و در نهایت سبب ارتقای قابلیت اطمینان و ایمنی در یک مجموعه می‌شود. تا به حال از این روش در صنایع زیادی از قبیل هوافضا، خودرو، هسته‌ای، الکترونیک، شیمیایی، مکانیکی، غذایی و آشامیدنی، آموزش، ساخت و ساز، فناوری پزشکی و سایر صنایع به‌صورت مکرر استفاده شده است (۱۲، ۱۳).

در مطالعه بیش از ۵۰ مقاله درباره اجرای روش FMEA در صنایع مختلف طی ۲۰ سال گذشته، علی رغم به‌کارگیری روش‌های مختلف در ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات بالقوه و تحلیل نقاط شکست، در ۹۵ درصد موارد، صنایع تولیدکننده محصول و بیشترین مورد صنایع خودروسازی و تولیدی، از روش FMEA استفاده کرده‌اند (۱۳).

در مطالعه Handoko و همکاران درباره خطرات رایج در خط تولید یک کارخانه تولید بلبرینگ با محاسبه (Risk Priority Number (RPN)) در روش FMEA گزارش کردند، منطقه مونتاژ با RPN ۱۴۸۱ با داشتن خطرات مهم، دارای بالاترین اولویت جهت رسیدگی است و اقدامات لازم برای کنترل و کاهش خطرات آن توصیه شد (۸).

امروزه به‌طور کلی در سطح جهان رویکردهای صنعت خودروسازی به‌سمت تولید خودروهای با سوخت پاک و برقی است که در آن‌ها باتری‌های لیتیوم قابل شارژ استفاده می‌شوند؛ زیرا سبک‌تر، بادوام‌تر، قدرتمندتر و بالقوه ارزان‌تر و با خطرات کمتر نسبت به باتری‌های سربی-اسیدی هستند اما نگرانی‌هایی در رابطه با ایمنی آن‌ها وجود دارد (۱۲). به همین علت حذف خودروهای با سوخت بنزینی و گازوئیلی تا

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

سال ۲۰۳۰ در برنامه بسیاری از کشورها و خودروسازان بزرگ جهان قرار دارد (۱۴).

Christense و همکاران در مطالعه ارزیابی خطر باتری‌های لیتیومی خودروهای الکتریکی، با تأکید بر لزوم توجه به نحوه مدیریت و دفع نهایی یا بازیافت ایمن باتری‌های مذکور، ممانعت از ورود آن‌ها به پسماند شهری و دفن در زمین و پیشگیری از آلودگی محیط‌زیست، گزارش کردند توسعه فرآیندهای آموزشی و قانونی برای مدیریت بهینه خطرات و حمل‌ونقل ایمن و کارآمد در سطوح مختلف فرآیند تولید تا مصرف‌کننده، ضروری است (۱۴). Siamian و همکاران هم در مطالعه ارزیابی خطر در صنعت خودروسازی به‌روش FMEA خطرات در سه حوزه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست را شناسایی و بالاترین خطر را مربوط به آتش‌سوزی و کمترین خطر مربوط به گرد و غبار پشم شیشه و پرتاب اجسام گزارش کردند (۹).

Godini و همکاران طی مطالعه خود در سال ۲۰۱۷ به‌روش FMEA و با تأکید بر اینکه روش مذکور با رویکرد پیشگیرانه روشی مؤثر در شناسایی خطاهای منجر به پیامدهای نامطلوب است به‌استناد نتایج حاصل، روش مذکور را در کمک به افزایش دقت کارکنان و توجه بیشتر آن‌ها به نقاط خطر و تلاش جهت کاهش آن، حفظ و ارتقای سطح سلامت و ایمنی کارکنان، روشی کارآمد و مؤثر معرفی نمودند که نقش قابل توجهی در صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌ها ایفاء می‌نماید (۱۵). در نتیجه توفیق یک صنعت در رسیدن به اهداف، مستلزم شناسایی و ارزیابی خطرها و تهدیدات احتمالی موجود قبل از وقوع حادثه است تا به‌موقع و قبل از بروز و خسارات فراوان و بعضاً غیر قابل جبران، پیشگیری شود. این مطالعه با هدف شناسایی و ارزیابی خطر در یک صنعت باتری‌سازی به‌روش FMEA و برآورد نسبت هزینه رخداد حوادث به پیشگیری برای اولین بار انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-مقطعی است که در یک صنعت باتری‌سازی در استان تهران و در سال ۱۴۰۰ انجام شد. جامعه مورد مطالعه کل واحدهای فعال در فرایند تولید صنعت بودند. ابتدا مجوزهای لازم جهت جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از صنعت دریافت و تمام واحدهای فعال صنعت که ۶۲ واحد بودند شناسایی شد. سپس شناسایی و تعیین انواع خطرات و تهدیدات بالقوه هر واحد که دارای بخش‌های فرعی دیگری هم بودند، با روش شناسایی خطرات (Hazard Identification (HAZID)) (یک بخش ضروری ارزیابی خطر و فن کیفی شناسایی سریع انواع خطرات و تهدیدات است) و به‌کمک یک بازبینه (check list)، خطرات و عواملی که امکان ایجاد آسیب را دارند شناسایی شد. تکمیل بازبینه و جمع‌آوری داده‌ها و شناسایی خطرات از طریق بررسی مستندات لازم، بررسی حوادث قبلی، بازدیدهای میدانی و مشاهده شامل بازدید میدانی به‌همراه مسئولین قسمت‌های مختلف صنعت و تکمیل لیست تهدیدات موجود، بارش افکار و مصاحبه با افراد متخصص، با تجربه و مسئول فرایند و کارشناسان خبره با تجربه و مطلع از وضعیت موجود به انتخاب پژوهشگر و با شناسایی فرآیندها و فعالیت‌های جاری در هر بخش صنعت، انجام شد. برای تعیین خطرات بالقوه، تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد و انسانی تهدیدکننده ایمنی و اثرات هر خطر مورد توجه قرار گرفتند. اثرات هر خطر، می‌تواند آتش‌سوزی، انفجار، سقوط اقلام، سقوط افراد، درگیری با قسمت‌های متحرک ماشین‌آلات، تماس با اجسام تیز، برق‌گرفتگی، پاشش و... باشند. در ادامه به‌کمک روش FMEA ارزیابی خطر و اولویت‌بندی تهدیدات انجام شد.

احتمال وقوع هر خطر با اختصاص نمره یک (وقوع آن غیرممکن است و اتفاق نخواهد افتاد) تا ده (بالاترین احتمال خطر و احتمال بروز حتمی) تعیین شد (جدول ۱).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۱- مقیاس‌های احتمال وقوع

تراز	میزان احتمال وقوع	توصیف
۱	اتفاقی	به‌طور عملی وقوع غیرممکن است / هرگز اتفاق نخواهد افتاد.
۲	به‌ندرت	احتمال وقوع آن در طول عمر یک سیستم خیلی کم است.
۳	به‌طور غیر معمول	در شرایط تصادفی و غیرعادی روی می‌دهد.
۵	گه‌گاه	احتمال بروز در شرایط عادی وجود دارد.
۷	غالباً	کاملاً ممکن است / شانس وقوع ۵۰/۵۰ است.
۱۰	به‌طور مداوم	احتمال بروز حتمی است.

شدت پیامد بر نیروی انسانی با اختصاص نمره بین ۱ (ناچیز) تا ۱۰ (خطر مرگ و تخریب و حادثه فاجعه‌آمیز منجر به مرگ بیش از یک نفر و توقف تولید بیشتر از h ۲۴) تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقیاس‌های شدت (Severity)

تراز	شدت اثر	توصیف اثر
۱	ناچیز	آسیب ناچیز بر افراد دارد.
۲	خفیف یا کم	نیاز به کمک‌های اولیه و درمان سرپایی، بریدگی‌های کوچک و سطحی، ضرب دیدگی و پیچ‌خوردگی، درد و التهاب، سوختگی درجه‌یک، تحریک چشم، آسیب جزئی
۳	متوسط	نیاز به درمان پزشکی و اعزام به مراکز درمانی، سوختگی درجه دو، شکستگی، عفونت پوستی، کاهش شنوایی، نقص عضو بدون از کار افتادگی، مسمومیت شدید، از دست دادن حداکثر سه روز کاری، استرس
۵	زیاد	آسیب شدید، قطع اندام، سوختگی درجه سه، بیماری منجر به کاهش عمر طبیعی، آسیب‌های متعدد
۷	بحرانی	مرگ بار، توقف بخش‌هایی از تولید، سرطان شغلی، بیماری کشنده
۱۰	فاجعه‌آمیز	مرگ بیش از یک نفر، توقف تولید بیش از h ۲٤

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

احتمال کشف خطر نوعی ارزیابی از میزان توانایی در شناسایی یک علت یا مکانیسم وقوع خطر است. به‌عبارت دیگر احتمال کشف خطر قبل از رخداد است. رتبه بندی احتمال کشف خطر با نمره یک (حتماً با کنترل‌های موجود خطر قابل کشف است) تا ده (هیچ کنترلی وجود ندارد و خطر قابل کشف نیست) تعیین شد (جدول ۳). بررسی سوابق و مدارک گذشته و کنترل نحوه اعمال استانداردها، الزامات و قوانین کار برای دست یافتن به عدد احتمال وقوع و احتمال کشف انجام شد.

جدول ۳- مقیاس‌های احتمال وقوع

تراز	توصیف احتمال کشف خطر
۱۰	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست.
۷	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۵	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.
۳	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۲	احتمال خیلی زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود.
۱	به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود.

_ *تعیین سطح خطر و محاسبه RPN*

در ادامه مقادیر عدد اولویت خطر (RPN) محاسبه و سطح هر خطر بر اساس آن تعیین شد و اولویت‌بندی خطرات به شرح زیر انجام و اقدامات مدیریتی اصلاحی لازم بر اساس اولویت و سطح بحرانی برای خطرات مهم تعیین شد.

RPN عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ و حاصل‌ضرب سه عدد احتمال وقوع خطر (O)، شدت اثر (S)، و احتمال کشف (D) است که به‌صورت معادله ۱ محاسبه شد:

(۱) عدد اولویت خطر = احتمال وقوع خطر × شدت (تأثیر) × احتمال کشف
$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad RPN = S \cdot O \cdot D$

برای تعیین سطح خطرات نیازمند اقدامات اصلاحی، از عدد خطر معیار استفاده شد. خطر معیار، شاخص و مرزی برای جداسازی میزان خطر قابل‌قبول و غیر قابل‌قبول است و سطح مرجعی است که سطح سایر خطرات بر اساس آن تعیین و تصمیم‌گیری نهایی بر اساس آن گرفته می‌شود. هر خطری که عدد RPN آن بالاتر از خطر معیار باشد خطر مهم و غیر قابل‌قبول و کمتر از آن قابل‌قبول معرفی شد (۸-۱۱).

بر اساس شرایط حاکم در صنعت مورد مطالعه و بر اساس نظر اساتید ایمنی حوزه صنعت، مخاطراتی که عدد اولویت خطر RPN آن‌ها بالاتر از ۱۴۵ بود، به‌عنوان خطر قابل‌توجه، مهم و در سطح غیر قابل‌قبول ارزیابی شد که نیازمند اقدامات پیشگیرانه و فوری است و مخاطرات با RPN ۱۰۰ تا ۱۴۴ در سطح خطر متوسط و مخاطرات با RPN صفر تا ۹۹ در حد خطر کم و قابل‌قبول در نظر گرفته شدند. هزینه‌های پیشگیری و هزینه‌های لازم برای مدیریت رخداد خطرهای مهم (هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم) بر اساس نوع پیامدهای قابل وقوع و به نرخ سال ۱۴۰۰ برآورد و نسبت این دو سنجه، به‌صورت هزینه رخداد به پیشگیری تعیین شد. پس از مشخص شدن خطرات مهم با کمک روش FMEA در هر یک از بخش‌های صنعت (۸-۱۱)، بر اساس خطرات و

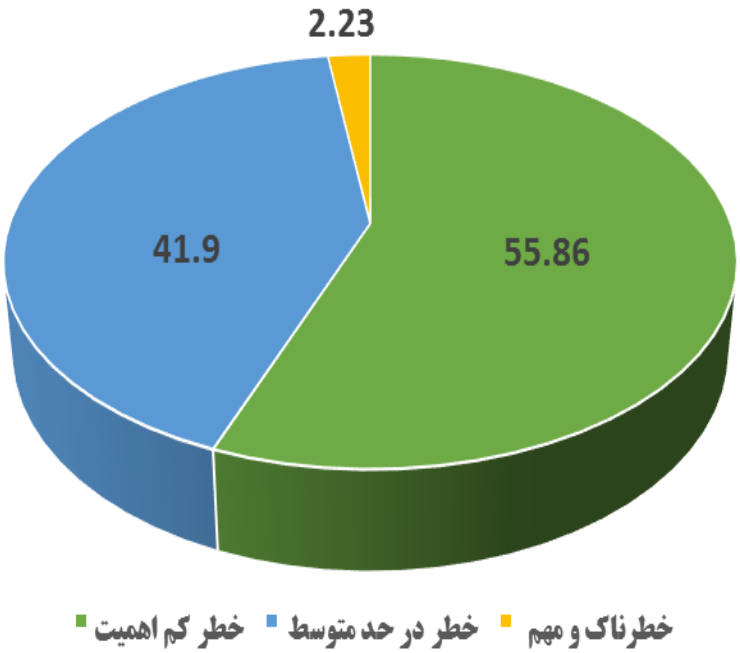
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

نقاط ضعف هر یک از بخش‌ها، پیشنهادات لازم جهت کنترل، اصلاح یا کاهش و تقلیل احتمال مخاطرات و تهدیدات ارائه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کمک روش‌های آمار توصیفی با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام و نتایج گزارش شد.

یافته‌ها

بر اساس ارزیابی‌های انجام شده و به‌کمک نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌روش FMEA، ۷۱۶ خطر در ۶۲ واحد فعال ارزیابی شده کارخانه باتری‌سازی مورد مطالعه، شناسایی شد. ۱۶ خطر معادل ۲/۲۳ درصد از خطرات، مهم و خطرناک و با اولویت رسیدگی فوری و دارای RPN بالای ۱۴۵ (خطای معیار) بودند. ۳۰۰ خطر معادل ۴۱/۹ درصد با RPN بین ۱۰۰ تا ۱۴۴ در حد خطر متوسط و ۴۰۰ خطر معادل ۵۵/۸۶ درصد هم با RPN زیر ۱۰۰ در محدوده با خطر کم یا با اولویت پایین بودند (نمودار ۱).



نمودار ۱- اولویت بندی مخاطرات شناسایی‌شده در صنعت باتری سازی مورد مطالعه

انواع و محل بروز خطرات مهم، RPN آنها و نسبت هزینه رخداد حوادث به پیشگیری محاسبه شده، در جدول ۴ گزارش شده‌است. طبق این نتایج، خطرات سقوط افراد و آتش‌سوزی در واحد خمیرمالی و خطر نشت بخارات و گرد و غبار سرب در هوا در واحد مونتاژ با بیشترین RPN ۲۴۵ مهمترین خطر شناسایی شده و ۳ خطر مهم شامل اشتعال و انفجار، برخورد با سیستم متحرک و پاشش اسید هم دارای کمتـــریـــن RPN ۱۴۷ بودند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۴- انواع و محل بروز خطرات مهم، RPN، هزینه پیشگیری، هزینه رخداد و نسبت هزینه رخداد به پیشگیری در صنایع باتری سازی مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰

نام واحد	خطر ثبت‌شده	RPN	هزینه پیشگیری (تومان)	هزینه و خسارت رخداد حوادث احتمالی (تومان)	نسبت هزینه رخداد به پیشگیری
رول پهن سرب استارتر	فرو رفتن جسم تیز در اندام‌ها، لهشدگی، بریدگی و جراحت، آمپوتاسیون اندام‌ها	۱۷۵	۰	٤/٦۰۰/۰۰۰	...
	سوختگی درجه ۲ و ۳ ناشی از پاشش مواد مذاب	۱۷۵	۳۵/۰۰۰/۰۰۰	۸۸۰/٦۱۷/۰۰۰	۲۵
	آلودگی صوتی	۱۷۵	٤۳۰/۰۰۰/۰۰۰	(هزینه دیه کامل هر نفر ۳۳۰/۰۰۰/۰۰۰) ده اپراتور ۳/۳۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۷/٦
خمیرمالی	گرد و غبار سرب	۱۷۵	۲۵/۰۰۰/۰۰۰	۹۸/۰۰۰/۰۰۰	۳/۹
	سقوط افراد	۲٤۵	۳٤۰/۰۰۰/۰۰۰	۱/۹۸۰/۰۰۰/۰۰۰	۵/۸
	آتش‌سوزی	۲٤۵	٤۹۰/۰۰۰/۰۰۰	۳/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	٦/۱۳
	بخارات سرب	۱۷۵	۱۱/۰۰۰/۰۰۰	۱۳/۰۰۰/۰۰۰	۱/۱۵
فرماسیون	سقوط افراد	۱۷۵	۵۰۰/۰۰۰	٦/۱۷٦/۰۰۰ **۱۱۸/۸۰۰/۰۰۰**	۱۲/۳
	سوختگی شیمیایی	۱۷۵	٦۸/۰۰۰/۰۰۰	حدود ۳٦ درصد دیه کامل (بیشتر حوادث سوختگی شیمیایی در ناحیه شکم و پشت بوده ۳٦ درصد)	۱/۷٤
	اشتعال و انفجار	۱٤۷	۹۸/۰۰۰/۰۰۰	۳۹۹/٦۰۰/۰۰۰	٤/۰۸
	پاشش اسید	۱٤۷	٤۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۹/۷۰۰/۰۰۰ حدود ۹ درصد از دیه برای چهار نفر **۱۲۲/۰۸۰/۰۰۰**	۳/۰۵
	برخورد با جسم متحرک	۱٤۷	۸۵۰/۰۰۰/۰۰۰	٤۰ اپراتور در دو شیفت (۰/۰۲ دیه کامل حدود ٦/۷۸۸/۰۰۰) ۲۷۵/۸٤۰/۰۰۰	- ۳/۰۸
	گازها و بخارات اسیدی	۱۷۵	۳۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۹۰/۰۰۰/۰۰۰	٦/۳۹
	تصادف	۱۷۵	۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۰ اپراتور در دو شیفت (۰/۰۲ دیه کامل حدود ٦/۷۸۸/۰۰۰) ۷۰/۰٤۰/۰۰۰	۷/۰٤
مونتاژ	بخارات و گرد و غبار سرب	۲٤۵	۲۵/۰۰۰/۰۰۰	۲۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۸/٤۰
	بخارات و گرد و غبار سرب	۱۷۵	۸۷/۰۰۰/۰۰۰	۲۱۰/۰۰۰/۰۰۰	۲/٤۱

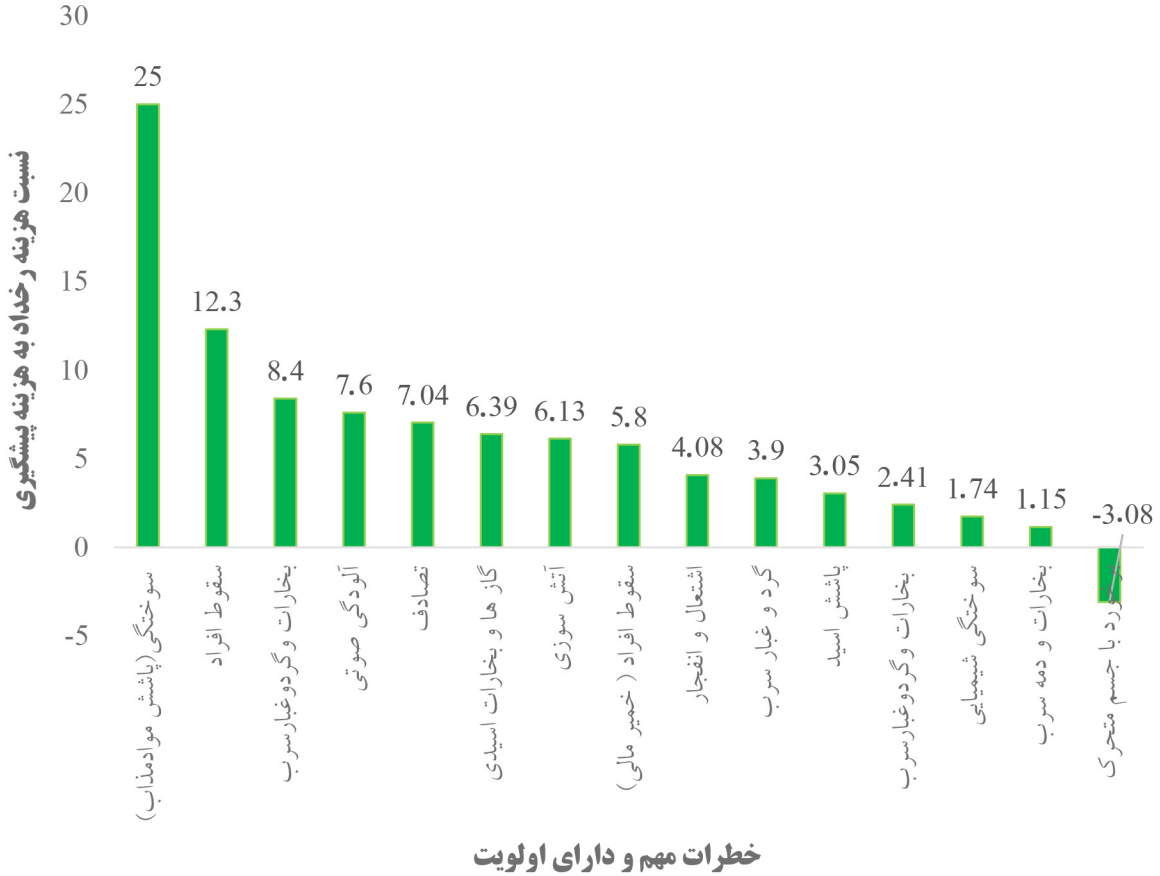
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

جدول ۵- ارزیابی خطر در ۱۵ واحد منتخب از ۶۲ واحد ارزیابی شده در صنعت باتری سازی مورد مطالعه

نام واحد	تعداد خطرات شناسایی‌شده	نوع خطرات با بالاترین RPN	RPN	نوع خطرات با کمترین RPN	RPN
مونتاژ فرآیند COS	۱۱	نشت بخارات و گرد و غبار سرب در هوا	۲۴۵	تماس با اجسام تیز، ارگونومی نامناسب و آلودگی صوتی	۴۵
مونتاژ فرآیند تست باتری	۲	برق‌گرفتگی	۶۳	سقوط اشیا	۲۷
مونتاژ فرآیند جوش	۶	نشت اشعه و ارگونومی نامناسب	۱۰۵	پاشش مواد مذاب	۴۵
فرماسیون واحد شارژ	۱۵	نشت گازها و بخارات اسید و تصادف	۱۷۵	جابه‌جایی اقلام سنگین	۴۵
فرماسیون واحد تعمیرات	۱۶	برق‌گرفتگی پرتاب شدن پلیسه و سنگ	۷۵	استرس گرمایی و سقوط اقلام و تماس با اجسام تیز و لغزندگی کف کارگاه	۲۷
فرماسیون واحد اتاق اسید	۶	سقوط افراد و پاشیدن اسید	۱۷۵	انفجار و سرریز اسید و نشت ترکیبات شیمیایی	۱۰۵
خمیرمالی واحد ساچمه زنی	۹	نشت بخارات سرب	۱۷۵	سر و صدا و سقوط افراد	۷۵
خمیرمالی (واحد آسیاب)	۱۴	آتش‌سوزی	۲۴۵	سقوط اقلام	۲۷
خمیرمالی (فرآیند میکسر)	۱۲	گرد و غبار مواد به‌خصوص سرب درگیری با قسمت‌های متحرک دستگاه و برق‌گرفتگی	۱۲۵	وجود ترکیبات شیمیایی و التهاب آور و سقوط اقلام و سقوط از ارتفاع	۷۵
خمیرمالی واحد تعمیرات	۲۰	سقوط افراد	۲۴۵	لغزندگی کف کارگاه تماس با اجسام تیز	۲۷
خمیرمالی (CES) دستگاه پانچ	۲۶	گرد و غبار سرب	۱۷۵	تماس با اجسام تیز	۲۷
خمیرمالی (انتهای باند)	۶	گرد و غبار سرب منجر به بیماری‌های ناشی از کار	۱۷۵	تماس با اجسام تیز	۲۷
تولید رول ۱MF	۳۰	تماس با اجسام تیز و درگیری با قسمت‌های متحرک دستگاه و پاشش مواد مذاب	۱۷۵	تماس با سطح داغ	۱۸
تولید رول سرب۲MF	۳۰	تماس با اجسام تیز و درگیری با قسمت‌های متحرک دستگاه و سرریز مواد و برق‌گرفتگی	۱۲۵	تماس با سطح داغ	۱۸
شعبه رول سرب	۴۰	درگیری با قسمت‌های متحرک دستگاه، پاشش مواد مذاب، سقوط اقلام، نشت آب داغ و برق‌گرفتگی	۱۲۵	تماس با سطح داغ	۱۸

نتایج نشان می‌دهد ۲۴۳ خطر از ۷۱۶ خطر شناسایی شده مربوط به ۱۵ واحدی است که در جدول ۵ گزارش شده و نیمی (۸ خطر) از ۱۶ خطر مهم این مطالعه در این واحدها شناسایی شدند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]



نمودار ۲- مقایسه نسبت هزینه رخداد به پیشگیری برای هر خطر مهم دارای اولویت

مقایسه نسبت هزینه رخداد به پیشگیری برای هر خطر مهم دارای اولویت در نمودار ۲ مشاهده می‌شود که خطر انواع سوختگی درجه ۲ و ۳ ناشی از پاشش مواد مذاب در واحد رول پهن سرب استارتر با RPN ۱۷۵ با بالاترین نسبت هزینه رخداد به پیشگیری برابر با (۲۵)، از جمله مهمترین خطرات نیازمند اقدامات فوری و پیشگیرانه است و خطر مهم ناشی از بخارات و دمه سرب با کمترین نسبت هزینه رخداد به پیشگیری معرفی شده‌است (جدول ۱ و نمودار ۲).

بحث

سلامت و ایمنی کارکنان هر صنعت، از مهمترین و اصلی‌ترین موضوعات قابل توجه برای پیشگیری از بروز حوادث جهت ممانعت از اتلاف سرمایه‌های مالی و انسانی است. امروزه حوادث شغلی یکی از مهمترین معضلات دنیای صنعتی ناشی از محیط کاری ناایمن و مخاطره‌آمیز است و هیچ صنعتی کاملاً بدون خطر وجود ندارد و باید با مدیریت صحیح آن را به حداقل قابل قبول کاهش داد. به‌دلیل عدم وجود سیستم مناسب ثبت و گزارش‌دهی، آمار دقیقی از حوادث شغلی در سراسر جهان و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه وجود ندارد. گرچه وجود خطر یکی از بخش‌های جدایی‌ناپذیر هر صنعت است، ولی با شناسایی به‌موقع و انجام اقدامات ضروری می‌توان خطرات شناسایی شده را برطرف و یا کاهش داد. همواره آگاهی از

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

خطرات و هزینه‌های مدیریت حوادث ناشی از کار، نقش مؤثری در افزایش انگیزه مدیران جهت ارتقای ایمنی در صنایع دارد. مطالعه حاضر در یکی از صنایع باتری‌سازی تهران با هدف شناسایی خطرات، جهت حذف شکست‌های احتمالی و یا کاهش اثرات آن‌ها انجام شد.

خطرات احتمالی صنعت باتری‌سازی قابل توجه و تا حدی جدی هستند و در تمامی‌کشورهای جهان، قوانین و مقررات متعددی وضع شده تا سطح حفاظتی مطمئنی در جهت حفظ و ارتقای سلامت کارکنان در برابر خطرات و تهدیدات محیط کار، تأمین شود. آلاینده‌های سمی و زیان‌آور، عوامل فیزیکی، آسیب‌های مکانیکی، بیماری‌های ناشی از کار و فرآیندهای مرتبط با آن از جمله عوامل زمینه‌ساز بروز حوادث خطرناک در صنایع به‌ویژه صنعت باتری سازی هستند. عدم اجرای آیین‌نامه‌ها و استانداردها می‌تواند موجب بروز خطرات بسیار جدی شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد خطرات ناشناخته مهم و قابل توجهی در این صنعت وجود دارد (جدول ۴). خطراتی که در صورت تبدیل شدن به حادثه، می‌توانند منجر به صدمات مادی و معنوی جبران‌ناپذیر مانند فوت شده و روند تولید را دچار مشکل جدی نمایند. عملکرد و کیفیت خدمات یک صنعت باتری‌سازی می‌تواند تا حد زیادی تحت‌تأثیر وقوع خطرات بالقوه و احتمالی در آن صنعت باشد. مهمترین خطرات در واحدهای مونتاژ و خمیر مالی صنعت شناسایی شدند. بعضاً خطرات بالقوه ای وجود داشت که کوچک شمرده می شدند و اقدامات کنترلی و پیشگیرانه لازم برای آنها انجام نمی شد. در حالی که بسیار خطرناک و تهدیدکننده بودند و در صورت بروز حادثه، هزینه و خسارات زیادی به جای می گذاشتند. اغلب خطرات شناسایی‌شده در حالی یک تهدید بودند که به‌راحتی و با هزینه کم، قابل پیشگیری و کنترل بودند (جدول ۴). توجه به نتایج حاصل از ارزیابی خطر در این مطالعه می‌تواند نقش مؤثری در اصلاح طراحی فرآیندهای خطرناک صنعت و ارتقای ایمنی آن با هزینه‌هایی به‌مراتب پایین‌تر ایفاء نماید.

بررسی سوابق مطالعات خطر در صنایع باتری‌سازی ایران و جهان نشان می‌دهد مطالعات گزارش شده در دسترس مرتبط با موضوع محدود است. غالب مطالعات خطر گزارش شده، مرتبط با ارزیابی خطر در هنگام استفاده از باتری‌های لیتیوم در خودروهای برقی یا ترکیبی برقی و سوخت بنزین است که در آنها بیشتر به بررسی و تجزیه و تحلیل حوادث مرتبط با باتری لیتیوم، ارزیابی جامع خطرات مرتبط با این نوع باتری‌ها در طول چرخه عمر کامل آنها از جمله بازیافت و پایان عمر باتری‌ها در تصادفات و نحوه مدیریت خطر و توصیه روش‌های مناسب نگهداری و دفع آن باتری‌ها پرداخته شده است (۱۴). در حالی که در تحقیقات حاضر به ارزیابی خطر در صنایع باتری‌سازی مخصوص خودروهای با سوخت بنزینی و یا گازوئیلی پرداخته شده است به همین علت امکان مقایسه بیشتر نتایج تحقیق با سایر مطالعات مشابه فراهم نشد.

بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد معمولاً خطرات شناسایی شده وابسته به نوع فعالیت، نحوه عملکرد نیروی انسانی و تجربه کاری آنها، مواد اولیه مورد استفاده، میزان ایمنی حاکم بر محیط کار، روش و نوع ابزار مورد استفاده، جهت ارزیابی خطر و هدف مطالعه است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر ۱۶ خطر دارای عدد RPN بالاتر از معیار ۱۴۵ شناسایی شد که همه مرتبط با ایمنی کارکنان بود.

طبق نتایج این تحقیق بیشترین آسیب‌ها شامل فرو رفتن جسم تیز در اندام‌ها، له‌شدگی، بریدگی و قطع عضو اندام‌ها، پاشش مواد مذاب و آتش‌سوزی و در نتیجه سوختگی‌های درجه دو و سه، آسیب‌های ناشی از سقوط افراد و سقوط اشیا روی اندام‌ها، نشت اشعه و آسیب‌های چشمی و شنوایی، نشت بخارات سرب و اسید و بیماری‌های تنفسی، آلرژی‌های تنفسی، حساسیت‌های پوستی و آسیب‌های ارگونومیک، برق‌گرفتگی، انفجار و سروصدا بودند (جدول ۵). اگر هزینه پیشگیری لازم اختصاص نیافته و اقدامات لازم انجام نشود، هزینه رخداد یک مورد حادثه طبق محاسبات انجام شده (جدول ۴) ممکن است اجباراً تا ۲۵ برابر افزوده شود.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد بالاترین میزان خطر مربوط به

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

خطرات بروز آتش‌سوزی، سقوط افراد و در معرض قرارگیری با گرد و غبار سرب با عدد اولویت خطر ۲۴۵ بودند که در واحدهای مونتاژ و خمیر مالی شناسایی شدند و نسبت هزینه رخداد به پیشگیری نسبتاً بالایی هم دارند. به همین دلیل باید در برنامه‌های کنترلی و اصلاحی این صنعت در اولویت یک رسیدگی قرار گیرند. اگر هزینه پیشگیری لازم اختصاص نیافته و اقدامات لازم انجام نشود، هزینه بالایی بابت مدیریت رخداد حوادث طبق محاسبات انجام‌شده (جدول ۴) به صنعت تحمیل خواهد شد .Handoko و همکاران هم در مطالعه ارزیابی خطر شغلی با استفاده از روش FMEA در یک صنعت بلبرینگ (۸)، با نتایجی مشابه گزارش کردند منطقه مونتاژ دارای بالاترین RPN است. این نتایج نشان می‌دهد واحد مونتاژ در صنایع به‌ویژه با حوادثی که در آن رخ داده است و واحد خمیر مالی در صنعت باتری‌سازی، می‌بایست جهت اعمال کنترل‌های لازم، بیش از سایر واحدها مورد توجه مسئولان HSE صنایع باشند. در این رابطه بر آموزش کافی کارکنان از قبیل نحوه و ضرورت استفاده از لوازم ایمنی و رعایت نکات ارگونومیک و الزام کارکنان به استفاده از لوازم ایمنی حین کار، تأکید شده است. علاوه بر آن لازم است ضمن نگهداری و تعمیرات به‌موقع ساختمان و تجهیزات این واحدها، شرایط حادثه‌خیز اصلاح و از طریق بازرسی منظم و مستمر از رعایت نکات ایمنی توسط کارکنان، اطمینان حاصل شود تا از این طریق احتمال بروز هر گونه حادثه و شکست به حداقل ممکن کاهش یابد.

Mohammadinejad و همکاران هم در مطالعه شناسایی و ارزیابی خطر به‌روش FMEA در یک صنعت نساجی (۱۶) در مجموع ۵۸ خطر را در ۶ واحد بخش ریسندگی گزارش کردند که ۳۸ درصد آن از نوع خطرات مهم و در سطح بالا و در واحد بسته‌بندی و حوادث ناشی از سروصدای بلند و سقوط بودند که اقداماتی مانند برنامه‌های آموزشی، مهندسی و کنترل‌های مدیریتی را توصیه کردند. Asadi و همکاران هم طی مطالعه ارزیابی خطر به‌روش FMEA در یکی از شرکت‌های پالایش نفت، تعداد ۴۲۵۰ خطر را شناسایی و خطر سقوط از ارتفاع با فراوانی نسبی (۱۲ درصد) و سپس خطر لیز خوردن با فراوانی نسبی (۱۰ درصد) منجر به ایجاد حوادث را جزء خطرات دارای اولویت گزارش کردند (۱۷). در مطالعه Handoko و همکاران نیز گزارش‌شده که بیشترین حوادث، ناشی از سقوط از ارتفاع و آسیب له شدن بوده است. اندام‌های فوقانی و تحتانی شایع‌ترین اعضای آسیب دیده بدن بودند. در نتیجه به استفاده از محافظ مناسب، آموزش کارکنان درباره ضرورت استفاده از لوازم و تجهیزات ایمنی، توصیه شده است (۸). طبق نتایج تحقیق حاضر (جدول ۴ و ۵) و تحقیقات مذکور و موارد مشابه، طی ارزیابی خطر، در تمام مطالعات خطرات مهم دارای اولویت رسیدگی فوری شناسایی شده‌اند که نشان دهنده اهمیت و جایگاه ارزشمند فرآیند ارزیابی خطر در صنایع و موارد مشابه است. علاوه بر آن وقوع حادثه سقوط افراد از ارتفاع هم از جمله حوادث مهم و شایع در صنایع مختلف به‌ویژه صنایع مذکور و صنعت باتری‌سازی این تحقیق است و در بیشتر موارد به‌عنوان یک حادثه مهم و با اولویت گزارش شده است. لذا انجام اقدامات اصلاحی، مراقبتی و نظارتی، مدیریتی و آموزشی کافی برای کارکنان، جهت پیشگیری از این خطر نیز ضروری است و باید در اولویت قرار گیرد. برای کلیه خطرات مهم و سایر خطرات شناسایی شده دارای RPN کمتر از ۱۴۵ هم در همه واحدهای مورد مطالعه، اقدامات پیشگیرانه و کنترلی مناسب و لازم توصیه شد.

Rezvani و همکاران در مطالعه شناسایی تجزیه و تحلیل خطرات شغلی در یکی از شرکت‌های تولید شیر، با بررسی ۲۸ شغل، تعداد ۳۸۰ خطر را شناسایی و گزارش کردند. در بین خطرات احتمالی موجود، سروصدای ناشی از تجهیزات خط تولید، از جمله دستگاه بسته بندی چهاروجهی و دستگاه اسید شوی، با فراوانی نسبی (۶۴ درصد) و پس از آن استنشاق بخارات سود و اسید (۳۲ درصد) و سوختگی ناشی از اسید و سود (۳۲ درصد) بیشترین فراوانی نسبی را به خود اختصاص داده اند (۱۸).

یکی دیگر از خطرات بسیار مهم و دارای بالاترین RPN که

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

در صنعت باتری سازی مورد مطالعه به آن اشاره شد و نسبت هزینه رخداد به پیگیری بالایی هم داشت، خطر آتش‌سوزی و آن هم در واحد خمیر مالی این صنعت است. بررسی سایر مطالعات انجام شده در صنایع مختلف هم نشان دهنده وجود احتمال بروز خطر و حادثه مهم آتش‌سوزی در آن صنایع است. در مطالعه Vazdani و همکاران که طی آن ارزیابی خطر در سه گروه زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی انجام‌شده بود، بالاترین میزان خطر در بخش زیست‌محیطی مربوط به آتش‌سوزی و در بخش ایمنی و بهداشتی مربوط به استنشاق بخارات حین تعمیرات به‌دلیل عدم رعایت موارد ایمنی و عدم استفاده از وسایل حفاظت فردی گزارش شده است (۱۹).

با توجه به نتایج تحقیق حاضر و سایر تحقیقات انجام‌شده در صنایع، ضعف آموزش یکی از علل اصلی زمینه‌ساز بروز خطر و حوادث مختلف در صنایع هستند و نسبت به‌ضرورت افزایش میزان و سطح آموزش کارکنان تأکید شده است. Ghasempouri و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند، کارکنان کم تجربه و جوان به‌ویژه وقتی از سطح آموزش کافی برخوردار نیستند بیش از دیگران در معرض حوادث شغلی بوده‌اند و سبب افزایش تعداد حوادث شده‌اند (۲۰). Godini و همکاران هم طی مطالعه خود به‌روش FMEA گزارش کردند ضعف آموزش و پایین بودن سطح آگاهی، کمبود کارکنان، بی‌دقتی و اهمال کاری کارکنان، عوامل مهمی در بروز خطرات هستند (۱۵).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر هزینه‌های مربوط به درمان و رفع آسیب‌های رخ داده، در بخش‌های مختلف این صنعت متفاوت و در سال ۱۴۰۰ بین ۴/۶۰۰/۰۰۰ تا ۳/۳۰۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان برآورد شده است. در صورتیکه هزینه‌های مربوط به پیشگیری از این آسیب‌ها بسیار کمتر و بین صفر تا ۸۵۰/۰۰۰/۰۰۰ تومان و نسبت هزینه‌های درمان به پیشگیری بین ۲۵-۰ برآورد شد که در صنعت عدد قابل توجهی به‌حساب می‌آید. در نتیجه در صورت مداخله و صرف هزینه لازم و کمتر در مرحله پیشگیری می‌توان از بروز حوادث بزرگ‌تر با هزینه‌های بسیار بیشتر و الزامی، پیشگیری کرد. راهبرد اولویت اقدامات پیشگیرانه یک اصل اثبات شده است که در مطالعات زیادی از قبیل مطالعات Jalali و همکاران، Mehrdad و همکاران و Zhang و همکاران (۲۱-۲۳) تا به حال نسبت به آن تأکید شده است.

وقتی در یک صنعت یا سازمان، یک فرهنگ ایمنی مثبت ایجاد شود. همه اعضای مجموعه از مدیریت گرفته تا کارکنان، نسبت به رعایت و ارتقای ایمنی تعهد دارند، نگرش‌ها و باورها در خصوص ایمنی مثبت است و رفتارها نیز ایمن هستند. شرایط اقتصادی یک صنعت عاملی کاملاً تأثیرگذار است. سازمانی که در آن بهره‌وری پایین باشد و سود سالانه آن در حد مطلوبی نباشد، معمولاً پول زیادی ندارد که برای ایمنی هزینه کند. این به نوبه خود باعث کاهش سطح ایمنی سازمان و بروز حوادث بیشتر می‌شود. این حوادث خود، باعث خسارت‌های مستقیم و کاهش کیفیت و کمیت تولید می‌شوند. این یعنی بهره وری و سود کمتر و در نتیجه کاهش بودجه ایمنی که تأثیر به سزایی بر روند نزولی ایمنی صنعت و در نتیجه کیفیت محصولات آن دارد (۲۴).

همواره استفاده از ابزارهای مناسب نظیر FMEA می‌تواند در این زمینه کمک کننده باشد تا بودجه محدود موجود، با اولویت لازم و در مناسب‌ترین مورد، استفاده شود. Zhang و همکاران با ارزیابی خطر در زنجیره تأمین باتری لیتیوم قابل‌شارژ به‌روش FMEA یک مفهوم کلیدی برای استفاده از حالت شکست و تجزیه و تحلیل کمی پیشنهاد دادند تا به پیشرفت طراحی، توسعه، تولید و استقرار (Rechargeable Lithium Battery (RLB)) کمک کنند. این رویکرد می‌تواند یک روش قابل‌اجرا برای ارزیابی فناوری مبتنی بر اصل فیزیکی، شناسایی خرابی، شناسایی شکست، کمی سازی و تأیید مسائل مربوط به قابلیت اطمینان و ایمنی در زنجیره تأمین RLB باشد و چنانچه محیط کار، مورد بررسی و ارزیابی دقیق و صحیح قرار گیرد و نتایج حاصله تجزیه و تحلیل درستی داشته‌باشند، به‌راحتی می‌توان خطرات را ارزیابی و مورد شناسایی قرار داد (۲۱).

مطابق نتایج تحقیق حاضر در موارد بروز خطرات مهم (جدول

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

۴) نسبت هزینه رخداد به پیشگیری، نشان دهنده بالا بودن هزینه مدیریت و کنترل حوادث است و به همین علت مقرون به صرفه‌ترین کار انجام به‌موقع اقدامات پیشگیرانه است. Salam و همکاران در مطالعه خود توصیه نمودند توجه به رفع اشکالات و حالت‌های شکست شناسایی‌شده در مرحله اولیه طراحی، با هزینه‌های بسیار کمتر ممکن و نسبت به مراحل بعدی مقرون‌به‌صرفه‌تر است (۱۰)؛ البته نسبت هزینه رخداد به پیشگیری محاسبه نشده است.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد در بسیاری از موارد، اقدامات مؤثر و چندانی در زمینه پیشگیری انجام نمی‌شود و این امر موجب افزایش هزینه‌ها شده است؛ از سوی دیگر در برخی از موارد باعث بروز صدمات جبران‌ناپذیر نیز می‌گردد. در نتیجه روش‌های قبلی ارزیابی خطر، کافی نبوده و الزاماً باید مورد بازنگری جدی قرار گیرد. همواره کیفیت خدمات و رضایت مشتری در صنایع بسیار مهم است و انتظار می رود روش‌های ارزیابی خطر مثل روش FMEA به‌اندازه کافی مفید و ارزنده بوده و منجر به نتایجی ارزشمند شود تا رضایت مشتریان به بالاترین سطح برسد و تحقق این امر مستلزم افزایش ثبات در کیفیت خدمات و کاهش تغییرات پرهزینه طراحی است.

با توجه به نتایج حاصل و شرایط موجود در صنعت، از مهم‌ترین اقدامات لازم تدوین و اجرای برنامه‌های آموزش مداوم جهت ارتقای سطح آموزش و فرهنگ ایمنی بین کارکنان و ارزیابی دقیق و صحیح و دائمی محیط کار به‌منظور شناسایی خطرات و تعیین پیامدهای ناشی از آن و اولویت بندی خطرات جهت کنترل و اصلاحات لازم در زمان مناسب، جهت پیشگیری از بروز حوادث احتمالی است.

از جمله کاستی‌های این تحقیق محدودیت مطالعات مشابه داخلی و خارجی در صنایع باتری سازی است و افزایش این گونه مطالعات و تداوم آن در صنایع باتری سازی و صنایع مختلف توصیه می‌شود. همچنین دریافت نظرات خبرگان در مرحله شناسایی خطر و اجرای روش FMEA وابسته به تجربیات افراد، ممکن است در صورت کم دقتی، از دقت و صحت لازم برخوردار نباشد که این مسئله ناشی از محدودیت‌های ذاتی ارزیابی خطر با این روش است. در هر صورت هنوز نقش این روش در ایجاد ارزش افزوده در صنعت به‌ویژه بخش تولیدی و خدماتی، نیازمند مطالعه بیشتری است.

موفقیت این صنعت در حصول به اهداف برنامه‌ریزی شده، در اولویت اول وابسته به اجرای توصیه‌های پیشگیری از حوادث احتمالی ناشی از خطرات شناسایی شده و ارزیابی مجدد خطرات بعد از اجرای توصیه‌های اصلاحی است. در اولویت دوم وابسته به وجود یک مدیریت راهبردی و کارآمد با شناسایی به‌موقع و مستمر تهدیدات بالقوه موجود همراه با نگهداری و تعمیرات مناسب، قبل از بروز حادثه و تأثیر منفی آن بر کارکنان و خود صنعت است. زیرا اگر نتوانند خطرات را به‌روش مناسب و به‌کمک خود کارکنان در محیط کاری آن‌ها از طریق مشاهده، بازدید و مصاحبه، به‌موقع شناسایی کنند، فرصت تعیین پیامدها و پیشگیری را نیز از دست می‌دهند و این فرصت‌های از دست رفته می‌تواند منجر به زیان‌های قابل توجهی شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان دهنده وجود تعداد زیاد خطرات و تهدیدات بالقوه با میزان خطر بالا است. خطراتی که در صورت تبدیل شدن به حادثه، می‌توانند جان کارکنان را گرفته و به وسایل و روند تولید، خسارت جدی وارد کرده و صدمات مادی و معنوی جبران‌ناپذیری را برای مجموعه به‌جای گذارند. بروز حوادث احتمالی بالقوه ناشی از خطرات شناسایی‌شده می‌تواند بعضاً به‌علت شرایط کاری خطرناک و ناایمن و یا فعالیت‌های ناایمن کارکنان در محیطی ناامن باشد که با عدم انجام اقدامات مؤثر و پیشگیرانه، موجب افزایش قابل‌توجه هزینه‌ها شود. در نتیجه روش‌های قبلی ارزیابی خطر در این صنعت کافی نبوده و الزاماً باید مورد بازنگری جدی قرار گیرد. اگر هر گونه حادثه‌ای رخ دهد می‌تواند ضمن وارد کردن خسارت و ضرر و زیان بسیار زیاد و بعضاً غیر قابل جبران به کارکنان و محیط کار، تأثیر مخربی بر بهره‌وری کارکنان داشته باشد. از مهمترین اقدامات

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

مؤثر پیشگیرانه، ارتقای سطح آموزش و فرهنگ ایمنی بین کارکنان است تا ضمن اصلاح نگرش، مسائل بهداشتی و ایمنی را آگاهانه رعایت نمایند. لذا با توجه به این‌که هر نوع مخاطره احتمالی می‌تواند منجر به بروز حادثه گردد، لازم است بر اساس جدول اولویت بندی خطر تعیین‌شده، مدیریت صنعت، هر چه سریع‌تر اقدامات پیشگیرانه لازم را برای خنثی‌سازی خطرات اولویت‌بندی شده اجرا نماید و با ارتقای سامانه ایمنی و بهداشت صنعت، نظارت، بازرسی و ارزیابی میدانی مداومی را به‌کمک ابزارهای دقیق‌تر و به‌روز، انجام دهد تا از بروز هرگونه حوادث احتمالی پیشگیری شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل رضایت آگاهانه، عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند و کد اخلاق طرح IR.BMSU.REC.1399.470 است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) برای همکاری و تصویب طرح تحقیقاتی با کد ۴۰۰۰۰۰۰۶۱ و عنوان "شناسایی و ارزیابی ریسک در یک کارخانه باتری‌سازی به روش حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل پیامد (FMEA) و برآورد نسبت هزینه رخداد به پیشگیری مخاطرات" و از مسئولین محترم صنعت باتری‌سازی مورد مطالعه، تشکر و قدردانی می‌شود. این مقاله برگرفته از پایان نامه دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط از دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) می‌باشد. از کلیه افرادی که در مرحله جمع آوری اطلاعات لازم همکاری و مساعدت داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Jozi S, Jafarzadeh Haghighi 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).
2. Malakouti J, Gharibi Aribi V, Arsang Jang S, Gholami A, Koohpaei A.R. An epidemiological study of accidents in a construction industry: a case-control study. Qom University of Medical Sciences Journal. 2013;6(4):88-95 (in Persian).
3. Ghaljahi M, Namrudi S. Identification and assessment of hazard risks in a flour mill by the JSA and FMEA methodology. Journal of Health Research in Community. 2017;3(3):82-9 (in Persian).
4. ILO. Prevention of Major Industrial Accidents. Geneva: International Labour Organization; 1991.
5. Mirmohammadi T, Naseripouya Z, Hosseinalipour Z. Risk factors assessment in educational equipment manufacturers company using FMEA. Journal of Health Research in Community. 2016;2(2):9-18 (in Persian).
6. ILO. Estimates of fatal and non-fatal accidents and diseases. XIX World Congress Safety and Health at Work; 2011 Sep 11-15; Istanbul, Turkey. Geneva: International Labour Organization; 2011. p. 9-11.
7. Ardeshir A, Maknoon R, Rekab Islami Zadeh M, Jahantab Z. Health Risk Management which are

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

effective on Human Health in High-rise Building construction projects with Fuzzy Approach. Journal of Health and Safety at Work. 2013;3(1):69-80.

8. Handoko Y, Rahman A, Qonitan F, Bayu S. Occupational risk assessment using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method in the production room of bearing industry. The 1st International Conference on Contemporary Risk Studies; 31 March-1 April 2022; Jakarta, Indonesia.
9. Siamian N, Ehsani Amrehee R. Health, Safety and Environmental risk assessment in automobile manufacturing industry based on FTA and FMEA methods. Journal of Environmental Research and Technology. 2021;8(8):139-53 (in Persian).
10. Salam MA, Billal MM, Rahman M, Islam MA. An evaluation of failure modes and effect analysis for a battery manufacturing industry. International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering; 2015 Dec 11-13; Rajshahi, Bangladesh. p. 1-6.
11. Min S, Jang H. Case Study of expected loss failure mode and effect analysis model based on maintenance data. Applied Sciences. 2021;11(16):7349.
12. Ashtiani C. Analysis of battery safety and hazards' risk mitigation. ECS Transactions. 2008;11(19):1-11.
13. Akhyar Z. A systematic literature review of failure mode and effect analysis (FMEA) implementation in industries. Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management. 2020;2:59-68.
14. Christensen PA, Anderson PA, Harper GD, Lambert SM, Mrozik W, Rajaeifar MA, et al. Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021;148:111240.
15. Godini H, Roshan K, Imanian Z, Naji T, Mirza Hedayat B. Risk detection and assessment of hospital waste management and approaches for risks reduction in children's medical center hospital using failure mode and effects analysis. Iranian Journal of Health and Environment. 2017;10(3):363-74 (in Persian).
16. Mohamadinejad A, Kakaei P, Nikdel T, Khalil Tahmasobi M, Tamoradi Mongenan N, Janizadeh R. Risk identification and risk assessment using failure mode and effect analysis in a textile industry. Caspian Journal of Health Research. 2019;4(3):60-5.
17. Ahmadpour A. Investigating the principles of risk management in the industry. The First Occupational Health and Safety Conference of Oil Refining Companies in Iran; 2014; Tehran. p. 1-27 (in Persian).
18. Rezvani Z. Identification and analysis of job risks in one of the milk productions companies. The First National Conference of Safety Engineering and HSE Management; 2014; Sharif University of Technology, Tehran. p. 1-10 (in Persian).
19. Vazdani S, Sabzghabaei GR, Dashti S, Cheraghi M, Alizadeh R, Hemmati A. Application of FMEA model for environmental, safety and health risks assessment of gas condensates storage tanks of parsian gas refining company in 2016. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences. 2018;17(4):345-58.(in Persian)
20. Ghasempouri SK, Pourhossein M, Alizade A, Mirmohammadi SM. The frequency and pattern of injuries in occupational accident victims

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

referred to Sari Legal Medicine Center during year 2012. Iranian Journal of Forensic Medicine. 2014;20(3):127-32.(in Persian)

21. Zhang Y, Nguyen RT, Liaw B. Status and gap in rechargeable lithium battery supply chain: importance of quantitative failure analysis. Proceedings of the IEEE. 2021;109(6):1029-38.
22. Jalali M, Mousavi Najjar Kala SA, Mohammadpour H, Koohpaei A, Mashkoori A. Potential risks assessment of electronics unit of combined cycle power plant by Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Iranian Safety Science and Technology Journal. 2015;2(3):78-88 (in Persian).
23. Mehrdad R, Seifmanesh S, Chavoshi F, Aminian O, Izadi N. Epidemiology of occupational accidents in Iran based on social security organization database. Iranian Red Crescent Medical Journal. 2014;16(1):e10359.
24. Rahmaninejada M, Zeighami S. Prevention of accidents. The First National Health, Safety and Environment Conference (HSE); 2011; Tehran. p. 1-8 (in Persian).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

Risk identification and assessment in a battery-manufacturing industry using FMEA method, and estimating the ratio of the cost of accidents to prevention

Hossein Masoumbeigi[1,2], Davood Motalebi Peykani[2], Ghader Ghanizadeh[2,3,*], Hamed Akbari Jour[4], Maryam Esmaeili[5]

1- Health Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Health Management Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4- Health Research Center, Life Style Institute, HSE Department, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran
5- Department of Internal Surgery Nursing, Faculty of Nursing and Midwifery, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 28 October 2023
Revised: 16 January 2024
Accepted: 21 January 2024
Published: 05 March 2024

Keywords: Risk assessment, Accident prevention, Failure mode effect analysis, Battery-manufacturing industries, Risk priority number

***Corresponding Author:**
qanizadej@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective: The health and safety of the employees of any industry is one of the most important issues to prevent the occurrence of accidents. This study aimed to identify and assess related risks in a battery-manufacturing industry using FMEA method and estimate the ratio of the cost of accidents to prevention.

Materials and Methods: In this descriptive and analytical study, the production activities of the industry were first identified. Then the work process, employee duties, and Potential risks were determined by the HAZID method. Evaluation and prioritization of risks were done using FMEA method. Risks whose RPN was higher than 145 were determined as important risks and the ratio of incident cost to accident prevention was calculated.

Results: In 62 active units of this industry, 716 risks were identified and prioritized, 16 of which (2.23%) had RPN above 145 with the highest priority. The financial pulp unit with falling and fire hazards and the assembly unit with the risk of fumes and lead dust leakage with RPN 245 were among the most dangerous units and hazards identified in the industry. In all units except one unit, the ratio of the cost of accidents to prevention varied from 1.2 to 25.

Conclusion: The results showed that it is necessary to consider the correction of the important risks by the industry officials, according to the set priorities so that potential accidents caused by these risks are minimized. This prioritization can play an effective role in optimal risk management and reduce related costs.

Please cite this article as: Masoumbeigi H, Motalebi Peykani D, Ghanizadeh Gh, Akbari Jour H, Esmaeili M. Risk identification and assessment in a battery-manufacturing industry using FMEA method, and estimating the ratio of the cost of accidents to prevention. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):787-804.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-06-21]