



NAISL

Volume3, Number 3, 2019

Pages: 05-10

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

Website: shaajournal.msrt.ir

# Risk Assessment of University of Bojnord Chemistry Laboratory Using FMEA Method

Mojtaba Esfandyari<sup>1</sup>, Abdolvahed Arazini<sup>2</sup>, Abolfazl Mohammadi<sup>3\*</sup>

## Abstract

Risk assessment is a well-organized and systematic way of identifying and assessing risks to reduce risk to acceptable levels. Failure mode and effects analysis, FMEA, is one of the most widely used methods in risk assessment and prioritization. Identifying the potential hazards is important to create safe conditions in laboratories. FMEA is a step-by-step approach for identifying all possible failures in laboratory. The main objective of this research is to investigate the risk assessment of University of Bojnord chemistry laboratory using failure mode and effects analysis method. The results showed that out of the 16 hazards identified in the Lab., 81% were in high risk and 19% were in low risk. The hazards of electricity, chemicals, ventilation, chemical waste and fire, respectively, had highest risk priority numbers (RPNs). Due to the high level of risk in the chemistry laboratory, appropriate corrective actions which are prioritized based on risk priority number are necessary.

## Key Words:

University of Bojnord;  
Chemistry laboratory;  
HSE;  
Risk assessment;  
FMEA;  
RPN

(\*) Corrospounding author

1. Central Laboratory, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

E-mail: esfandyari\_mojtaba@yahoo.com

Tel: 05832201152

2. Central Laboratory, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

E-mail: vahed.araz68@gmail.com

Tel: 05832201150

3. Central Laboratory, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

E-mail: mohammadi.a@ub.ac.ir

Tel: 05832201149

# ارزیابی ریسک آزمایشگاه شیمی دانشگاه بجنورد با بکارگیری روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن (FMEA)



نشریه رویکردهای نوین در  
آزمایشگاه‌های علمی ایران  
سال سوم، شماره ۳، ۱۳۹۸  
صفحات ۱۰-۵  
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸  
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸  
وبسایت: shaajournal.msrt.ir

مجتبی اسفندیاری<sup>۱</sup>، عبدالواحد ارازنی<sup>۲</sup>، ابوالفضل محمدی<sup>۳</sup>\*

امروزه علی‌رغم ارتقاء نسبی سطح ایمنی در آزمایشگاه‌های مختلف، کماکان شاهد وقوع موارد متعددی از حوادث خطرآفرین و حتی مرگ‌آور هستیم. ارزیابی ریسک یک روش مدون و سازمان یافته برای شناسایی و ارزیابی خطرات به منظور کاهش ریسک به سطح قابل قبول است. روش FMEA یکی از روش‌های پر کاربرد در ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک می‌باشد. شناسایی ریسک خطرات بالقوه موجود در آزمایشگاه‌ها و تلاش در راستای ایجاد شرایط ایمن برای کارکنان و دانشجویان از جوانب مختلف حائز اهمیت است. در سالیان اخیر، روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک توسعه یافته‌اند. یکی از این روش‌ها، شیوه حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل پیامد (FMEA) می‌باشد. هدف اصلی این تحقیق، بررسی مخاطرات احتمالی و ارزیابی ریسک به روش FMEA در آزمایشگاه شیمی دانشگاه بجنورد است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد، از ۱۶ خطر شناسایی شده در آزمایشگاه شیمی، ۸۱٪ درصد آن‌ها در محدوده "ریسک بالا" و ۱۹٪ در محدوده "ریسک پایین" قرار دارند. بالاترین RPN<sup>۲</sup>، مربوط به خطرات الکتریسیته، مواد شیمیایی، تهویه، پسماند مواد شیمیایی و حریق می‌باشد. با توجه به بالا بودن سطح ریسک در آزمایشگاه شیمی، اقدامات اصلاحی مناسب متناسب با هرخطر پیشنهاد شد که اولویت انجام این اقدام‌ها بر اساس عدد اولویت ریسک (RPN) است.

## چکیده



عبدالواحد ارازنی



مجتبی اسفندیاری



ابوالفضل محمدی

## واژگان کلیدی:

عصاره‌های گیاهی،  
راندمان استخراج،  
استخراج با امواج ماورای صوت،  
استخراج با سیال فوق بحرانی،  
استخراج با اولتراسوند

(\*) مسئول مکاتبات.

۱. کارشناس آزمایشگاه مهندسی شیمی دانشگاه بجنورد، ایران.  
ایمیل: esfandiyari\_mojtaba@yahoo.com  
تلفن: ۰۵۸۳۲۲۰۱۱۵۲

۲. کارشناس ESH آزمایشگاه دانشگاه بجنورد، ایران.  
ایمیل: vahed.araz68@gmail.com  
تلفن: ۰۵۸۳۲۲۰۱۱۵۰

۳. سرپرست آزمایشگاه مرکزی دانشگاه بجنورد، ایران.  
ایمیل: mohammadi.a@ub.ac.ir  
تلفن: ۰۵۸۳۲۲۰۱۱۴۹

<sup>۱</sup> Failure mode and effects analysis

<sup>۲</sup> Risk priority numbers

جهت کاهش ریسک و پایش روش‌های اصلاحی از جمله اموری است که می‌بایست در موقع بروز خطر مورد توجه ارزیابان قرار گیرد. ریسک‌ها معمولاً در حوزه سلامتی کلیه کارکنان شاغل، اهداف ارگان مورد نظر و محیط کار وجود دارند [۵].

یکی از ارکان اساسی در ایمنی کارکنان آزمایشگاه، به‌کارگیری برنامه‌های مدیریت ریسک است و مهم‌ترین چالش در مدیریت ریسک تأثیر قضاوت‌های ارزیاب‌ها در تعیین سطح ریسک است که در مطالعات مختلفی به بحث ارزیابی اشاره شده است. ریسک در پژوهش‌های که توسط امیدواری و همکاران [۶] ارائه شد به بحث کاربرد تصمیم‌گیری در ارزیابی ریسک پرداخته و مسئله سطوح مختلف شدت و احتمال و احتمال کشف را در روش تجزیه و تحلیل خطا و اثرات ناشی از آن به چالش کشیده و چنین عنوان نموده‌اند که در سطوح مختلف پارامترهای ریسک که دارای اهمیت متفاوت می‌باشند میزان ریسک یکسانی را می‌دهد که لازم است با توجه به اهمیت هر پارامتر ریسک الگویی در این خصوص ارائه گردد. برای حل این مسائل استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری می‌تواند مفید باشد. روش عدد اولویت ریسک از قوی‌ترین روش‌هایی است که می‌تواند در حل این چالش کمک نماید [۱].

طی سالیان اخیر، روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک توسعه یافته‌اند. یکی از این روش‌ها، شیوه حالت‌های شکست و تجزیه و تحلیل پیامد (FMEA) می‌باشد. این روش اولین بار، برای تجزیه و تحلیل سیستماتیک حالت‌های شکست و پیامدهای متعاقب آن‌ها در محصولات نظامی، به ویژه در صنعت هوانوردی مورد استفاده قرار گرفت [۷]. مهم‌ترین هدف کاربرد روش، FMEA شناسایی حالت‌های شکست بالقوه در اجزای سیستم، تعیین علل، ارزیابی اثرات آن‌ها بر روی عملکرد سیستم و نهایتاً تعیین راه‌هایی است که بتوان شانس وقوع و پیامدها را کاهش و قابلیت تشخیص حالت‌های شکست را افزایش داد [۸]. روش سنتی (متداول) FMEA از عدد اولویت ریسک  $RPN_s$  برای محاسبه ریسک حالات مختلف شکست سیستم استفاده می‌شود که خود  $RPN_s$  حاصل ضرب سه فاکتور احتمال وقوع (O)، شدت پیامد (S) و قابلیت تشخیص (D) می‌باشد [۹].

بروز حوادث در هر سیستم و جامعه‌ای می‌تواند موجب بروز اختلال در سطوح مختلف شود و حتی به عنوان تهدیدی برای جامعه و محیط زیست تلقی گردد. به این دلیل است که همگان در پی سیستمی ایمن و با احتمال خطر پایین هستند. در این جا است که واژه ریسک به معنی عدم قطعیت و نشانگر احتمال وقوع و شدت آن ظهور می‌یابد. نتیجه ریسک تعیین می‌کند که با وقوع هر خطر چه خسارتی بر سیستم تحمیل می‌شود و چه پیامدهای زیست محیطی را در بر خواهد داشت. بر اساس تعریف، ریسک را به عنوان میزانی از احتمال و شدت وقوع خطر و پیامد آن تعریف می‌گردد [۱]. سازمان استاندارد جهانی ریسک را شامل احتمالی از حادثه و آثار و پیامدهای آن می‌داند. به صورت دیگر میزان خسارت ناشی از حوادث شغلی در کشور براساس آمار سال ۱۳۹۴ حدود ۶۰٪ درآمد نفتی کشورمان می‌باشد. بازدرآمد بالا لزوم توجه هرچه بیشتر به مقدار پیشگیری از حوادث و بیماری‌های کاری را هرچه بیشتر مشخص و آشکار می‌نماید. براساس گزارش سازمان بین المللی کار (ILO) ۹۸٪ حوادث ناشی از کار قابل پیشگیری است. پیشگیری از حوادث شغلی با در نظر گرفتن سلامت شغلی و ایمنی کارکنان مستلزم جاری کردن الزامات و قوانین HSE<sup>۴</sup> ایمنی، بهداشت و محیط زیست در ساختار سازمان‌ها و واحدهای تولیدی می‌باشد [۲]. 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. سیستم HSE در واقع می‌تواند زمینه‌های لازم برای بهبود مستمر ایجاد نموده و فرصتی است تا سازمان‌ها با استانداردهای جهانی سازش پیدا کنند [۳]. به منظور 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 [۴].

امروزه علی‌رغم ارتقاء نسبی سطح ایمنی در آزمایشگاه‌های مختلف، کماکان شاهد وقوع موارد متعددی از حوادث خطر آفرین و حتی مرگ‌آور هستیم. در حال حاضر بسیاری از کشورها در رابطه با مباحث مرتبط با ایمنی آزمایشگاه‌ها قوانینی را وضع نموده‌اند. با توجه به تجارب مشابه و پراکنده در کشور، شناسایی ریسک خطرات در هر یک از آزمایشگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است. بنابراین شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک‌های ناشی از خطر، کاربرد روش‌های کنترلی

<sup>۳</sup>International Labour Organization

<sup>۴</sup>Health, safety and environment



علل محیطی، مواد و تأسیساتی بوده، از روش FMEA استفاده شد. چراکه در این روش می‌توان تمامی خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و اثر آن بر انسان، تجهیزات و محیط زیست، را در کاربرد FMEA آورد.

مقاله حاضر نتیجه ارزیابی ریسک در آزمایشگاه شیمی دانشگاه بجنورد به روش FMEA است. لذا موضوعات ریسک بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست در آزمایشگاه شیمی و روش تجزیه و تحلیل حالت‌ها و اثرات شکست را در بر می‌گیرد. اطلاعات جمع‌آوری شده از آزمایشگاه شیمی دانشگاه بجنورد در سال ۱۳۹۸ صورت گرفته است. مراحل پژوهش به صورت ذیل می‌باشد:

**گام اول:** تعیین کارشناسان علمی (کارشناس HSE آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها، کارشناس آزمایشگاه مهندسی شیمی و سرپرست آزمایشگاه مرکزی)

**گام دوم:** تنظیم پرسشنامه

**گام سوم:** تکمیل پرسشنامه توسط کارشناسان

**گام چهارم:** استفاده از تکنیک FMEA در جهت پردازش ریسک بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست در آزمایشگاه.

**گام پنجم:** تجزیه و تحلیل نتایج حاصله و نتیجه‌گیری

زمانی که عدد اولویت ریسک طبق رابطه ۱ 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 کاربرد FMEA درج می‌شود که این اقدامات براساس دانش و تجربه تیم FMEA و همچنین الزامات قانونی موجود لحاظ شدند. با توجه به توصیفی بودن مطالعه حاضر، تحلیل‌های توصیفی و فراوانی خطرات مورد ارزیابی به عنوان ارزیابی آماری مورد استفاده قرار گرفته است. روش کسب اطلاعات نیز به صورت بازدیدهای میدانی و چک لیست صورت گرفته است.

## نتایج

نتایج FMEA معمولاً در برگه‌های کاری FMEA ثبت و ارائه می‌شوند. در این مطالعه تعداد خطرهای شناسایی و بررسی شده ۱۶ مورد بود که در جدول اختصاصی FMEA تنظیم شده‌اند. نتایج مربوط به عوامل بالقوه موثر ایجاد خطر در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت.

برای انجام اقدام اصلاحی نیاز به تعیین سطح اطمینان است که بر اساس این سطح اطمینان اولویت اقدامات اصلاحی مشخص می‌شود. برای پژوهش حاضر سطح اطمینان ۸۰٪ در نظر گرفته شده است. بنابراین خطراتی که RPN آن‌ها بالاتر از ۲۰۰ باشد به عنوان خطرات در سطح ریسک بالا (High Risk) شناخته

بدیهی است هر چه مقدار RPN بالاتر باشد، میزان ریسک مرتبط با حالت شکست مد نظر نیز بیش‌تر می‌گردد. هدف از محاسبه RPN اولویت‌بندی حالت‌های شکست می‌باشد. علی‌رغم کاربرد وسیع، روش FMEA دارای نقص‌های عمده‌ای می‌باشد که کاربرد این روش را به خصوص زمانی که این روش به منظور آنالیز بحرانیت در محاسبه استفاده شود، محدود می‌کند. FMEA بطور کلی شامل دو فاز است. در فاز نخست شناسایی حالات بالقوه شکست و اثرات آن‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. فاز دوم شامل تجزیه و تحلیل میزان حساسیت به منظور تعیین شدت حالت شکست است که از طریق ارزیابی و رتبه‌بندی NPR سطح بحرانی هر شکست انجام میشود [۱۰]. مراحل کلی انجام FMEA بطور خلاصه عبارتند از:

۱- تعیین شدت (وخامت) اثر (S: severity of effect) و خامت حاصل از خطر، میزان جدی بودن «اثر خطر بالقوه» بر افراد است. برای وخامت خطر شاخص کمی وجود دارد که بر حسب مقیاس ۱ تا ۱۰ بیان می‌گردد.

۲- تعیین احتمال وقوع خطر (O: frequency of occurrence) احتمال وقوع خطر مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. احتمال وقوع خطر بر مبنای رتبه بندی ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود.

۳- تعیین احتمال کشف خطر (D: probability of detection): احتمال کشف خطر در واقع احتمال پی بردن به خطر قبل از وقوع آن است. رتبه بندی احتمال کشف خطر نیز بین ۱ الی ۱۰ است.

محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN: Risk Priority Number) عدد اولویت ریسک حاصل ضرب سه عدد شدت اثر (S) احتمال وقوع خطر (O) و احتمال کشف خطر (D) است

توان کشف × احتمال وقوع × شدت خسارت = اولویت ریسک یا  
رابطه (۱)  $RPN = S \times O \times D$

عدد اولویت ریسک از ضرب کردن درجه شدت و درجه وقوع و احتمال کشف در یکدیگر به‌دست آمده و می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر باشد. [۱۱][۱۲][۱۳].

## روش تحقیق

از آنجایی که عمده خطرات شناسایی شده آزمایشگاه شیمی مربوط به



منظور حفظ سلامت پرسنل آزمایشگاه و دانشجویان (و همچنین محیط زیست دریافت کننده پسماندها) مدیریت صحیح و علمی آنها الزامی است. یک برنامه مدیریت صحیح پسماندهای آزمایشگاهی شامل مراحل تفکیک (جداسازی)، آلودگی زدایی، ذخیره (انباشت)، حمل و نقل و دفع است. قبل از دفع، لازم است با به کارگیری شیوه‌های مختلف، مواد شیمیایی فعال و خطرناک را بی اثر کرد. وضعیت مناسب انبارها و چیدمان مواد شیمیایی (RPN=567):

در اختیار داشتن اطلاعاتی در مورد ماهیت، غلظت و مقدار مواد شیمیایی خطرناک حائز اهمیت است. کلیه کارکنان آزمایشگاه و دانشجویان باید در مورد مواد شیمیایی، خطرات آنها و روش‌های حفاظتی مربوطه آموزش‌های کافی دیده باشند. تهیه MSDS<sup>۵</sup> کلیه مواد شیمیایی موجود و ایجاد ایستگاه MSDS در آزمایشگاه، چیدمان و انبارش ایمن مواد شیمیایی بر اساس توصیه‌های MSDS، آموزش نحوه استفاده از MSDS، خرید و استفاده از PPE<sup>۶</sup> مناسب توصیه شده MSDS در آزمایشگاه و برجسب‌گذاری ظروف مواد شیمیایی از جمله اقدامات پیشنهادی برای کاهش خطرات مربوط به مواد شیمیایی در آزمایشگاه شیمی می‌باشند.

به نظر می‌رسد با پیاده‌سازی یک سیستم مستندسازی برای ثبت نواقص موجود، می‌توان بررسی‌های ایمنی بعدی را به نحو مطلوبی حف کرد. همانطور که همه سازمان‌ها در تلاش هستند تا یک سیستم HSE در جهت حفظ و ارتقاء محیط کار سالم بدون هیچگونه حادثه، آسیب و آلودگی ایجاد کنند.

## نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از روش AEMF آزمایشگاه شیمی مورد ارزیابی قرار گرفت و از میان ۱۶ خطر شناسایی شده در آزمایشگاه، ۸۱ درصد خطرات در سطح خطرات با ریسک بالا هستند که از این میان الکتریسیته، مواد شیمیایی، تهویه، پسماند مواد شیمیایی و حریق به عنوان ریسک‌های پر خطر شناسایی شدند، بنابراین لازم است اقدامات کنترلی به منظور حذف خطرات یا کاهش هر یک از عوامل مؤثر بر اساس RPN طراحی شود. در ارزیابی ریسک آزمایشگاهی باید عوامل مخاطره‌آمیز از نظر بهداشتی، ایمنی و محیط زیست بررسی شوند. در هر

می‌شوند و خطراتی که RPN آنها کمتر از ۲۰۰ باشد به عنوان خطرات در سطح ریسک پایین (Low Risk) شناخته می‌شوند. طبق این سطح اطمینان از ۶۱ خطر مورد بررسی آزمایشگاه، ۸۱٪ درصد خطرات در سطح ریسک بالا هستند و تنها ۱۹ درصد خطرات در سطح خطرات با ریسک پایین هستند. با توجه به نتایج حاصله از بررسی مخاطرات آزمایشگاه شیمی، میتوان استنتاج نمود که به برخی عوامل بالقوه موثر ایجاد خطر توجه کافی نشده است و به همین دلیل بیش‌تر خطرات، عدد ریسک بالایی دارند. که از این میان بطور کلی موارد ذیل اهمیت بیش‌تری دارند:

**الکتریسیته (RPN=۹۰۰):** با توجه به وجود تجهیزات حساس در آزمایشگاه و ارتباط پرسنل آزمایشگاه و دانشجویان با این تجهیزات، خطر الکتریسیته بالاترین عدد اولویت ریسک RPN در بین خطرات موجود در آزمایشگاه چرا که نقص در سیستم الکتریسیته آزمایشگاه موجب برق گرفتگی، حریق، شوک‌های الکتریکی و انفجار می‌شود. مفروش کردن کفپوش عایق در محل تابلو برق، نصب و راه‌اندازی سیستم ارتینگ و نصب و فعال‌سازی رله حفاظ جان در تابلو برق می‌تواند تا حد زیادی خطرات مربوط به الکتریسیته در آزمایشگاه را کاهش دهد.

**تهویه عمومی (RPN=576):** اصولاً تهویه محل کار در هر حالت باید طوری باشد که کارکنان آزمایشگاه همیشه هوای سالم تنفس نمایند و همواره آلاینده‌های شیمیایی به طور مؤثر به خارج از محیط هدایت شوند. آزمایشگاه انبار باید مجهز به تجهیزات تهویه عمومی و در صورت لزوم تهویه موضعی ضد جرقه باشد. به دلیل انجام آزمایش‌های مختلف توسط دانشجویان، نصب سیستم تهویه موضعی در محل انجام آزمایش‌ها (تهویه بازویی) می‌تواند مانع انتشار مواد آلاینده و سمی به داخل آزمایشگاه و کاهش خطر سایر نفرات شود.

**ایجاد حریق (RPN=216):** در هر آزمایشگاه باید لوازم اعلام و اطفاء حریق سیار و ثابت متناسب با نوع کار نصب گردد. در هر محیط آزمایشگاهی باید امکانات و تجهیزات جهت اطفای آتش‌سوزی‌های احتمالی در نظر گرفته شود تا هنگام آتش‌سوزی بتوان از این تجهیزات استفاده کرد. تمام افراد آزمایشگاه باید در زمینه مقابله با آتش‌سوزی آموزش داده شوند. این آموزش باید شامل آگاهی از خطر، روش‌های ویژه برای نگهداری و ذخیره سازی مایعات آتش‌گیر و شرح مختصری درباره سیستم زنگ خطر و برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری باشد. علاوه بر این، باید نحوه بکارگیری کپسول‌های آتشنشانی نیز در آموزش مد نظر قرار گیرد. انتخاب نوع کپسول آتشنشان جهت اطفاء باید براساس نوع آتش‌سوزی صورت گیرد.

**تفکیک پسماندها (RPN=648):** در آزمایشگاه شیمی با توجه به ماهیت کار آن‌ها انواع پسماندهای عادی، شیمیایی، تیز و برنده و ... وجود دارد. به

<sup>۵</sup>Material Safety Data Sheet

<sup>۶</sup>Personal Protective Equipment





- [9]. H.-C. Liu, L. Liu, and N. Liu, "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 2, pp. 828–838, 2013.
- [10]. D. Shahbazi, "Assessing and prioritizing health safety and environment risk in hospitals (Case study: Shahid Beheshti University of Medical Sciences)," *Sci. J. ilam Univ. Med. Sci.*, vol. 24, no. 1, pp. 43–54, 2016.
- [11]. Y.-M. Wang, K.-S. Chin, G. K. K. Poon, and J.-B. Yang, "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 1195–1207, 2009.
- [12]. P. R. Gupta, M. A. Shende, and D. M. Shaikh, "Ordinal logistic regression model of failure mode and effect analysis (FMEA) in direct compressible buccal tablet," *Int. J. Pharma Res. Rev.*, vol. 2, no. 6, pp. 9–17, 2013.
- [13]. T. Neshkov, A. Stefanov, and V. Ivanov, "Application of PFMEA for identification of self-recovering failures in production lines for automatic assembly of capacitors," *J. Mech. Eng. Autom.*, vol. 3, pp. 173–178, 2013.

برنامه پیشگیری برای اجرای اقدامات اصلاحی ضروری است درجه احتمال خطر عوامل، مورد نظر قرار گیرد. همچنین اطلاع شخص از استانداردهای تجهیزات مورد استفاده و بررسی مجدد آن‌ها قبل ریسک در محیط‌های آزمایشگاهی و استفاده از تجربیات متخصصین آزمایشگاهی می‌تواند باعث تغییر و بهبود در آینده شود. نتیجه ارزیابی ریسک تعیین می‌کند که با وقوع هر خطر چه خسارتی بر سیستم تحمیل می‌شود و چه پیامدهای زیست محیطی را در بر خواهد داشت.

## مراجع

- [1]. J. Raftery, *Risk analysis in project management*. Routledge, 2003.
- [2]. P. J. Coleman and J. C. Kerkerling, "Measuring mining safety with injury statistics: Lost workdays as indicators of risk," *J. Safety Res.*, vol. 38, no. 5, pp. 523–533, 2007.
- [3]. R. L. Brauer, *Safety and health for engineers*. John Wiley & Sons, 2016.
- [4]. T. Mirmohammadi, Z. NaseriPouya, and Z. Hossein-alipour, "Risk factors assessment in educational equipment manufacturers company using FMEA," *J. Heal. Res. community*, vol. 2, no. 2, pp. 9–18, 2016.
- [5]. L. T. D. IACS, "A guide to risk assessment in ship operations," Publ. by Int. Assoc. Cl. Soc., 2012.
- [6]. M. Omidvari, N. Mansouri, and J. Nouri, "A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories," *Saf. Sci.*, vol. 73, pp. 34–42, 2015.
- [7]. J. B. Bowles and C. E. Peláez, "Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 50, no. 2, pp. 203–213, 1995.
- [8]. D. H. Stamatis, *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. ASQ Quality press, 2003.

