

## ارزیابی کمی ریسک حریق با نرم افزار FRAME در محیط صنعتی: مطالعه موردی کارخانه لاستیک سازی

رامین محمدی<sup>۱\*</sup> و فؤاد کرمی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ایمنی و آتش نشانی، لاستیک بارز کردستان

۲- مدیر اداره سلامت کار، لاستیک بارز کردستان

Raminmohammadii8910@gmail.com

چکیده: ایمنی صنعتی و مدیریت ریسک حریق از مهم ترین عوامل حفاظت از افراد، تجهیزات و فرایندهای تولیدی هستند. هدف این مطالعه، ارزیابی و اولویت بندی ریسک حریق در یک کارخانه لاستیک سازی با استفاده از نرم افزار FRAME بود. این پژوهش توصیفی-تحلیلی مقطعی کلیه واحدهای تولیدی از جمله انبار مواد اولیه، سالن های اختلاط، آماده سازی، تیرسازی، پخت، بازرسی و انبار محصول را شامل شد. داده های مربوط به ساختمان، فعالیت ها و ساکنین جمع آوری و با نرم افزار FRAME تحلیل شد تا سطوح ریسک بالقوه، پذیرش ریسک و سطح حفاظت برای هر واحد محاسبه شود. نتایج نشان داد بالاترین سطح ریسک در سالن اختلاط تراز ۷ قرار دارد؛ شاخص های ساختمان، تعداد افراد و فعالیت در این بخش بیشترین مقدار را داشتند، که نشان دهنده تمرکز بالای مواد قابل اشتعال و فرایندهای پرخطر است. سالن اختلاط همکف و انبار محصول ریسک متوسط و سایر واحدها شامل رنگ زنی و سالن های اختلاط تراز ۱۵ و ۲۳ ریسک پایین تری داشتند. سطح ریسک کلی برای ساکنین و فعالیت ها بالاتر از حد قابل قبول بود، درحالی که ساختمان و محتویات وضعیت مطلوب داشتند.

یافته ها نشان می دهد که اقدامات اصلاحی باید براساس اولویت ریسک انجام شود؛ نخست واحدهای پرخطر و سپس واحدهای دارای ریسک متوسط و پایین مورد توجه قرار گیرند. این مطالعه اثربخشی روش های کمی ارزیابی ریسک مانند FRAME را در شناسایی عوامل مؤثر، طراحی راه کارهای پیشگیرانه و ارتقای ایمنی محیط های صنعتی نشان می دهد و می تواند به کاهش پیامدهای انسانی و مالی ناشی از حریق کمک کند.

**واژه های کلیدی:** ارزیابی ریسک حریق، FRAME، کارخانه لاستیک سازی، ایمنی صنعتی، مدیریت ریسک، کنترل پیشگیرانه

### مقدمه

پس از انقلاب صنعتی، توجه به ایمنی، بهداشت و محیط زیست در صنایع افزایش یافت و تمرکز ویژه ای بر پیشگیری و کنترل آتش سوزی شکل گرفت [۱]. حریق یکی از بحران های عمده است که تهدیدی جدی برای ایمنی افراد، دارایی ها، تداوم فعالیت ها و محیط زیست ایجاد می کند [۲]. تراکم بالای افراد و محدودیت مسیرهای خروج اضطراری در محیط های صنعتی و مسکونی، تخلیه را دشوار کرده و ریسک تلفات جانی را افزایش می دهد [۳]. داده های بین المللی نشان می دهد که در سال ۲۰۱۰، ایالات متحده ۲۷۸۲ قربانی حریق داشته و نرخ حوادث در جنوب غربی آسیا، شرق مدیترانه و آفریقا به ترتیب ۶/۱۱، ۴/۶ و ۱/۶ مورد به ازای هر میلیون نفر بوده است. در ایران، سالانه ۶۰۰ تا ۹۰۰ مورد حریق به ازای هر میلیون نفر رخ می دهد که بیشتر در محیط های کاری اتفاق می افتد [۴].

پس از جنگ جهانی دوم، استانداردهای ایمنی حریق تدوین شد، اما بسیاری از آن ها واکنشی و پس از فجایع بودند، که ضرورت رویکرد پیشگیرانه را نشان می دهد [۵]. آمارها نشان می دهند که ۷۵ تا ۸۰٪ حوادث حریق قابل پیش بینی و پیشگیری هستند؛ بنابراین، استفاده از ارزیابی ریسک در کاهش احتمال و پیامدهای حریق مؤثر است [۶]. این فرایند، خطرات بالقوه را شناسایی و اولویت بندی می کند و بستر برنامه ریزی اقدامات کنترلی هدفمند را فراهم می آورد، ضمن آن که هزینه نصب، نگهداری و راهبری سیستم های ایمنی را کاهش می دهد [۷ و ۸]. استاندارد ISO 31000 نیز بر شناسایی، تحلیل و مدیریت ریسک به عنوان زیرساخت حیاتی ایمنی تأکید دارد [۹]. یکی از روش های برجسته در این حوزه، FRAME است که توسط Wade و همکاران در ۱۹۹۶ معرفی شد و قابلیت ارزیابی کمی احتمال وقوع حریق و مهار خودکار و دستی آن را دارد [۱۱]. هم چنین، بسیاری از ساختمان ها فاقد راه کارهای مؤثر برای تخلیه ایمن هستند؛ بنابراین، استفاده از FRAME ضروری است [۱۲]. این روش، که نخست توسط M. Gretener ارائه شد، ایمنی ساختمان، محتویات، افراد و فعالیت ها را به صورت کمی و منظم ارزیابی کرده و امکان

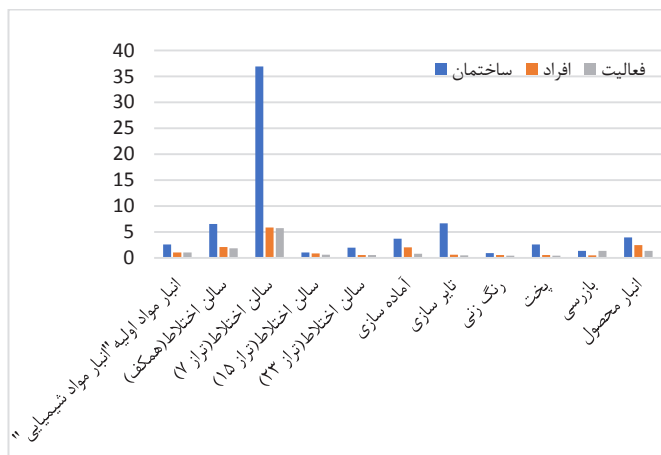
اولویت بندی اقدامات حفاظتی براساس نیاز هر حوزه را فراهم می کند [۱۳ و ۱۴]. کارخانه های لاستیک سازی به دلیل وجود مواد قابل اشتعال و فرایندهای پرخطر، محیط هایی با ریسک بالا محسوب می شوند. مطالعه حاضر با تمرکز بر چنین محیطی و استفاده از نرم افزار FRAME، درصدد شناسایی عوامل مؤثر بر ریسک، اولویت بندی بخش های پرخطر و ارائه راه کارهای هدفمند مداخله ای است.

### بخش تجربی

#### روش کار

این پژوهش به صورت یک مطالعه توصیفی-تحلیلی مقطعی در نیمه نخست سال ۱۴۰۴ در کارخانه لاستیک سازی انجام شد. در مرحله نخست، کلیه بخش ها و واحدهای تولیدی و پشتیبانی شامل انبار مواد اولیه، سالن های اختلاط، آماده سازی، تیرسازی، پخت، بازرسی و انبار محصول مورد بازدید میدانی و بررسی اولیه قرار گرفتند. در این بازدیدها، وضعیت ایمنی حریق از نظر تجهیزات حفاظتی، امکانات موجود و بار حریق ارزیابی شد. به منظور ارزیابی ریسک حریق، گردآوری داده های کافی و معتبر از محیط مطالعه ضرورت داشت. بدین منظور یک چک لیست استاندارد و پرسشنامه نظارتی براساس دستورالعمل اجرایی FRAME طراحی و اجرا شد. داده های جمع آوری شده در سه حوزه اصلی طبقه بندی شدند:

۱. ساختمان: شامل ویژگی هایی مانند نوع کاربری، موقعیت جغرافیایی و همجواری، زیربنا، ارتفاع، بار ثابت حریق، نوع سیستم گرمایشی و منبع انرژی، وضعیت تأسیسات الکتریکی و امکانات خروج اضطراری.
۲. فعالیت ها: شامل ماهیت فعالیت های اصلی و فرعی، دائمی یا موقت، و فرایندهای جاری مرتبط با تولید.
۳. ساکنین: شامل تعداد افراد حاضر در هر واحد، قابلیت تحرک، وجود تیم های آتش نشانی داخلی و سایر عوامل انسانی مرتبط با شرایط اضطراری.



شکل ۱- ریسک حریق ساختمان، کارکنان و فعالیت به تفکیک سالن

#### تحلیل تفکیکی واحدها

نتایج به تفکیک واحدها حاکی از آن است که سالن اختلاط تراز ۷ بالاترین سطح ریسک را در هر سه شاخص ساختمان ( $R=36.93$ )، ساکنین ( $R=5.86$ ) و فعالیت‌ها ( $R=5.76$ ) ثبت کرده است. این بخش به دلیل تراکم بالای مواد قابل اشتعال و فرایندهای پرخطر، مهم‌ترین نقطه بحرانی کارخانه محسوب می‌شود. هم‌چنین سالن اختلاط همکف  $R=6.57$  برای ساختمان و انبار محصول ( $R=3.92$ ) برای ساختمان و  $R=2.45$  برای ساکنین نیز مقادیر نسبتاً بالایی دارند که نشان‌دهنده نیاز فوری به بازنگری در سامانه‌های حفاظتی است. در مقابل، بخش‌هایی نظیر رنگ‌زنی، آماده‌سازی و سالن‌های اختلاط در ترازهای ۱۵ و ۲۳ سطح ریسک پایین‌تری را نشان دادند. هرچند این وضعیت نسبتاً ایمن ارزیابی می‌شود، اما همچنان پایش مستمر و رعایت حداقل استانداردهای ایمنی در این بخش‌ها ضروری است.

به‌طور کلی، نتایج نشان دادند که توزیع ریسک در واحدهای مختلف کارخانه یکنواخت نبوده و برخی نقاط، به‌ویژه سالن اختلاط تراز ۷، نیازمند اقدامات فوری مدیریتی و مهندسی هستند. بنابراین، تمرکز اصلی اقدامات اصلاحی باید بر بخش‌های پرخطر باشد و پس از آن، اقدامات تکمیلی در بخش‌های با ریسک متوسط و پایین اجرا شود تا در نهایت سطح ایمنی کلی کارخانه ارتقا یابد. مطالعه حاضر نشان داد که سطح ریسک در واحدهای مختلف کارخانه لاستیک‌سازی به‌طور قابل توجهی متفاوت است. بالاترین میزان ریسک در سالن اختلاط تراز ۷ مشاهده شد که در هر سه شاخص ساختمان، افراد و فعالیت‌ها بیشترین مقادیر را داشت. این امر به تمرکز بالای مواد قابل اشتعال، تراکم پرسنل و فرایندهای پرخطر در این بخش مرتبط است و ضرورت تقویت سیستم‌های پیشگیری و کنترل حریق، از جمله سامانه‌های اطفای خودکار و دستی و آموزش‌های مستمر کارکنان، را برجسته می‌کند.

این یافته با مطالعات مشابه در محیط‌های صنعتی و بیمارستانی همخوانی دارد. برای نمونه، استفاده از روش FRAME-TOPSIS در یک محیط کتابخانه‌ای دانشگاهی نشان داد که بخش‌هایی با تراکم بالا و فعالیت‌های پرخطر، ریسک قابل توجهی دارند و راه‌کارهایی مانند نصب سیستم اعلام حریق خودکار، بازنگری ایمنی الکتریکی و جداسازی فیزیکی خطرات، به کاهش ریسک کمک می‌کنند [۱۵]. هم‌چنین، ارزیابی ریسک حریق در بیمارستان‌ها با روش FRAME نشان داده که بخش‌های حساس مانند ICU و اورژانس به دلیل تراکم افراد و تجهیزات قابل اشتعال، بیشترین ریسک را دارند [۱۶]، که این امر بر اهمیت رویکرد جامع و چندلایه‌ای در مدیریت ریسک حریق تأکید می‌کند.

سایر بخش‌ها مانند سالن اختلاط "همکف" و انبار محصول دارای ریسک متوسط و واحدهایی مانند رنگ‌زنی و سالن‌های اختلاط تراز ۱۵ و ۲۳ دارای ریسک پایین بودند. با این حال، پایش مداوم، رعایت استانداردهای حفاظتی و آموزش کارکنان برای همه واحدها ضروری است. نتایج نشان می‌دهد که ایمنی سازه‌های به‌تنهایی

روش‌های گردآوری اطلاعات شامل مشاهده مستقیم، مصاحبه با کارکنان، بررسی مستندات و مدارک موجود و نیز اندازه‌گیری برخی پارامترهای کلیدی بود. پس از تکمیل چک‌لیست‌ها، داده‌ها در نرم‌افزار FRAME وارد و تحلیل شدند. این نرم‌افزار سه شاخص اصلی را محاسبه می‌کند:

P ریسک بالقوه؛ که براساس تماس با منابع احتراق، مقدار و ماهیت مواد قابل اشتعال و اهمیت اقتصادی تعیین می‌شود.

A سطح پذیرش ریسک: نشان‌دهنده حد قابل تحمل خطر در شرایط عملیاتی. D سطح حفاظت؛ که ترکیبی از عوامل حفاظتی مانند سیستم اطفای خودکار و دستی، تجهیزات اعلان و تشخیص، حفاظت ساختمانی، جداسازی فیزیکی و اقدامات بازگشتی است.

براساس این شاخص‌ها، سطح ریسک کلی (R) برای هر واحد کارخانه محاسبه شد.

اصل بنیادی در روش FRAME آن است که در یک محیط ایمن، توازن مناسبی بین ریسک بالقوه (P) و سطح حفاظت (D) برقرار باشد. در صورتی که نسبت R یعنی  $P/D$  برابر یا کمتر از ۱ باشد، سطح ریسک قابل قبول تلقی می‌شود. مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده وضعیت مطلوب و مقادیر بالاتر از ۱ بیانگر ناکافی بودن اقدامات حفاظتی و نیاز به مداخلات اصلاحی هستند.

پس از تعیین سطح ریسک هر بخش، راه‌کارهای کاهش ریسک پیشنهاد و ارزیابی شدند. چنانچه اجرای اقدامات اصلاحی موجب کاهش R به  $1 \leq R$  شود، نشان‌دهنده کارایی کافی این اقدامات در ارتقای ایمنی خواهد بود. در مقابل، در صورتی که R همچنان بالاتر از ۱ باقی بماند، به معنای ناکافی بودن مداخلات بوده و نیاز به تقویت یا بازنگری اقدامات حفاظتی وجود دارد.

#### نتیجه‌ها و بحث

در این مطالعه، مجموعاً ۱۱ واحد تولیدی و پشتیبانی کارخانه لاستیک‌سازی مورد بررسی قرار گرفتند. سالن اختلاط به‌عنوان تنها ساختمان چهار طبقه، دارای سازه بتنی-آجری بوده و سایر واحدها عمدتاً سازه‌های فولادی-آجری هستند. سیستم‌های الکتریکی تمامی ساختمان‌ها مطابق با استاندارد ملی برق نصب شده و به‌صورت دوره‌ای بازرسی و نگهداری می‌شوند. تجهیزات ایمنی حریق شامل خاموش‌کننده‌های پودری، گازی، آب و گاز و هم‌چنین سامانه اطفای حریق  $CO_2$  در بیشتر بخش‌ها وجود داشت. افزون‌بر این، سیستم آب آتش‌نشانی مطابق با الزامات استاندارد در ساختمان‌ها پیاده‌سازی شده است.

سطح ریسک در سه حوزه اصلی ساختمان و محتویات، ساکنین و فعالیت‌ها برای هر واحد کارخانه به‌صورت مجزا محاسبه شد (جدول ۱). به‌طور کلی، یافته‌ها نشان داد:

- ریسک کلی ساکنین ( $R=1.33$ ) و فعالیت‌ها ( $R=1.33$ ) در سطح نامطلوب قرار دارد.
- هم‌چنین ریسک کلی ساختمان و محتویات ( $R=6.20$ ) در محدوده نامطلوب و غیر قابل قبول ارزیابی شد.

جدول ۱- ریسک حریق ساختمان، کارکنان و فعالیت به تفکیک سالن

| سالن / واحد                           | ساختمان | افراد | فعالیت |
|---------------------------------------|---------|-------|--------|
| انبار مواد اولیه "انبار مواد شیمیایی" | ۲.۵۹    | ۱.۰۴  | ۱.۰۴   |
| سالن اختلاط (همکف)                    | ۶.۵۷    | ۲.۱۲  | ۱.۸۶   |
| سالن اختلاط (تراز ۷)                  | ۳۶.۹۳   | ۵.۸۶  | ۵.۷۶   |
| سالن اختلاط (تراز ۱۵)                 | ۱.۰۷    | ۰.۸۴  | ۰.۶۴   |
| سالن اختلاط (تراز ۲۳)                 | ۱.۹۹    | ۰.۵۷  | ۰.۵۸   |
| آماده‌سازی                            | ۱.۷۲    | ۱.۰۱  | ۰.۵۲   |
| تابر سازی                             | ۹.۶۴    | ۰.۶۱  | ۰.۴۷   |
| رنگ زنی                               | ۰.۹۵    | ۰.۵۶  | ۰.۴۳   |
| پخت                                   | ۲.۵۸    | ۰.۵۲  | ۰.۴۰   |
| بازرسی                                | ۱.۳۴    | ۰.۴۸  | ۱.۳۷   |
| انبار محصول                           | ۳.۹۲    | ۲.۴۵  | ۱.۳۴   |

#### نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که سطح ریسک حریق در واحدهای مختلف کارخانه لاستیک‌سازی متفاوت است و بالاترین ریسک در سالن اختلاط تراز ۷ متمرکز شده است. تمرکز صرف بر ایمنی سازه‌ای کافی نیست و باید به ماهیت فعالیت‌ها، ویژگی کارکنان و بار حریق مواد توجه ویژه داشت. استفاده از روش FRAME امکان ارزیابی دقیق ریسک و طراحی راه‌کارهای هدفمند پیشگیرانه را فراهم می‌کند. پیاده‌سازی مدیریت ریسک حریق یکپارچه شامل ارتقای سامانه‌های اطفاء، آموزش کارکنان، پایش مداوم و بازنگری تجهیزات حفاظتی می‌تواند ریسک را کاهش دهد، ایمنی افراد و تجهیزات را تضمین کند و الگویی عملی برای صنایع پرخطر مشابه ارائه کند.

کافی نیست و ماهیت فعالیت‌ها، ویژگی افراد و بار حریق مواد نقش کلیدی در کاهش احتمال وقوع حریق و شدت پیامدهای آن دارد. براساس این یافته‌ها، اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی براساس سطح ریسک ضروری است. پیاده‌سازی رویکرد مدیریت ریسک حریق یکپارچه شامل ارتقای سامانه‌های اطفای خودکار و دستی، آموزش مستمر کارکنان، بازنگری دوره‌ای تجهیزات حفاظتی و پایش فعالیت‌ها، به کاهش معنادار ریسک و تضمین ایمنی افراد، تجهیزات و فرایندهای کارخانه منجر خواهد شد. این رویکرد نه تنها باعث کاهش خسارات مالی و انسانی می‌شود، بلکه پایداری و تداوم فعالیت‌های تولیدی در محیط‌های صنعتی پرخطر را افزایش می‌دهد و الگویی عملی برای سایر صنایع مشابه ارائه می‌کند.

#### مراجع

- [۱] رضایی میثم، گیوه چی سعید، نصرآبادی مهناز. ارزیابی ریسک حریق در هتل‌ها و مراکز اقامتی به روش FRAME (مطالعه موردی هتل‌های چهار ستاره منتخب مشهد). بهداشت کار و ارتقاء سلامت. ۱۳۹۶؛ ۱ (۲): ۸۰-۹۳.
- [2] Ouache R, Ruparathna R, Sadiq R, Hewage K. Fire risk assessment model for residential buildings using bow-tie method. The University of British Columbia; 2018.
- [3] Chu G, Sun J. Decision analysis on fire safety design based on evaluating building fire risk to life. Safety science. 2008;46(7):1125-36.
- [۴] طالب عسکری پور، غلام عباس شیرالی، رسول یاراحمدی، الهه کاظمی. ارزیابی ریسک حریق و تعیین کارایی روش‌های حفاظت فعال و غیرفعال در کاهش ریسک حریق در اتاق کنترل یک ساختمان صنعتی. Journal of Health & Safety at Work. 2018 Apr 1;8.
- [5] Golmohammadi R. Fire engineering. 4th ed. Tehran: Fanavar; 2016.
- [6] Charter D. A study of fire risk performance parameters. Fire Science and Technology. 2006;25(2):81-86.
- [7] Hirschler MM, editor. Fire Hazard and Fire risk Assessment. Philadelphia: ASTM Special Technical; 1992, 209-23.
- [8] Gillett JE. Rapid fire risk assessment. fire Saf Eng. 1994;1:18.
- [9] Xin J, Huang C. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. Fire Saf J. 2013;62:72-8.
- [10] Li Sy, Tao G, Zhang Lj. Fire risk assessment of high-rise buildings based on gray-FAHP mathematical model. Procedia Eng. 2018;211:395402.
- [11] Wade C, Whiting P. Fire risk assessment using the building fire safety engineering method. J Fire Protect Eng. 1996;8(4):157-67.
- [12] Sun X-q, Luo M-c. Fire risk assessment for super high-rise buildings. Procedia Eng 2014; 71: 492-501.
- [13] Smet ED. Fire risk assessment method for engineering- risk calculation and fire safety. In: FRAME, editor. 2018, Octobor cited, Online. <http://www.framemethodnet/indexenhtml>.
- [14] Hadjisophocleous GV, Fu Z. Literature review of fire risk assessment methodologic. Int J Eng Perform Based Fire Codes. 2004; 6(1):28-45.
- [15] Habibi, Ehsanollah1; Mousavi, Seyed Mahdi2; Nakhaeipour, Mojtaba2; Ebrahimi, Hossein2; Azadian, Sharareh2. FRAME-TOPSIS Methods as a Technique for Fire Risk Assessment and Prioritizing Preventive Measures: A Case Study in the Isfahan School of Health Library. International Journal of Environmental Health Engineering 13(5):20, June 2024. | DOI: 10.4103/ijehe.ijehe\_49\_23
- [16] Beljikangarlou M, Ghazvinloo A, Dehdashti A, MirLavassani MR. Applying a quantitative fire risk assessment method in hospital settings: Case study. PloS one. 2025 Feb 6;20(2):e0315936.