Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.2, No.1; 2024.pp: 13-30

Research paper

(Received Feb. 20, 2024 Accepted Apr. 1, 2024)

Evaluation of the situation of occupational accidents in the development and operation phases of construction projects of Tehran municipality

Amin Padash[1*], Ehsan Seyedi[2], Homan Nasiri[3]

[1] *Climate Change and Health Research Center, Dezful University of Medical Sciences, Dezful, Iran*
[2] *Master of Civil Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran*
[3] *Master's degree in health and environmental safety, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran*

Abstract

In this research, the analysis of the technical views of experts and the management of construction projects in Tehran Municipality regarding the assessment of the risk of work accidents in the development, construction, and operation stages of construction projects, using the FMEA analytical approach in two fuzzy and non-fuzzy dimensions (CRISP) with twelve The index in the construction stage and six indicators in the operation stage were carefully evaluated and measured. Risks caused by the collapse of nearby buildings on workers, the collapse of buildings in demolition and reconstruction projects, which are mainly related to non-standard demolition operations, as well as the fall of people due to welding operations and falling from scaffolds, lifts, and cranes, as the most dangerous and most frequent occupational accidents in the industry. The buildings of this area were identified. Based on the analytical findings of this model, the average risk of occupational accidents in the construction industry reached 346 in the construction phase and 97 in the operation phase. The fuzzy equivalent values for risk prioritization in the construction and operation stages showed 355 and 129 numbers on average, respectively. Following the implementation of the correction suggestions, the risk values obtained for the construction phase in the non-fuzzy mode were reduced to 247 and in the fuzzy mode to 255. In contrast, the exploitation phase was reduced to 58 in the non-fuzzy mode and 84 in the fuzzy mode.

Keywords: Occupational accidents, construction industry, FMEA, development and operation phase overlap, Tehran Municipality.

* Corresponding Author: Amin Padash
Email: aminpadash@gmail.com
Phone: 021- 66413155

Doi: 10.48306/jumee.2024.444997.1037

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال دوم/شماره اول/بهار ۱۴۰۳/صفحه ۱۳-۳۰

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱/۲۶

ارزیابی وضعیت حوادث شغلی در فازهای توسعه و بهره‌برداری طرح‌های عمرانی شهرداری تهران

امین پاداش[1*]، احسان سیدی[2]، هومن نصیری[3]

[1] مرکز تحقیقات تغییر اقلیم و سلامت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی دزفول، خوزستان، ایران

[2] کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

[3] کارشناس ارشد ایمنی بهداشت و محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

در این تحقیق به تحلیل دیدگاه‌های فنی کارشناسان و مدیریت پروژه‌های عمرانی در شهرداری تهران پیرامون ارزیابی وضعیت ریسک حوادث کاری در مراحل توسعه، ساخت و نیز مرحله بهره‌برداری از پروژه‌های عمرانی، با کاربرد رویکرد تحلیلی FMEA در دو بعد فازی و غیرفازی (کریسپ) پرداخته شد. به منظور دقت بخشیدن به بررسی حوادث شغلی در صنایع ساختمانی، دوازده شاخص در مرحله ساخت و شش شاخص در مرحله بهره‌برداری، مورد ارزیابی دقیق و اندازه‌گیری قرار گرفتند. خطرات ناشی از ریزش ساختمان‌های مجاور بر کارگران، ریزش ساختمان در پروژه‌های تخریبی و بازسازی که عمدتاً مربوط به عملیات تخریب غیراستاندارد می‌باشد و همچنین سقوط اشخاص ناشی از عملیات جوشکاری و افتادن از داربست‌ها، بالابرها و جرثقیل‌ها، به عنوان خطرناک‌ترین و پرحادثه‌ترین حوادث شغلی در صنعت ساختمان این منطقه شناسایی شدند. لذا ضرورت دارد تا اقدامات ویژه‌ای برای مدیریت و کاهش خسارات ناشی از این چهار حادثه کلیدی صورت پذیرد. بر اساس یافته‌های تحلیلی حاصل از این مدل، میانگین ریسک حوادث شغلی در صنعت ساختمان در مرحله ساخت به عدد ۳۴۶ و در مرحله بهره‌برداری به عدد ۹۷ رسید. ارزش‌های معادل فازی برای اولویت‌بندی ریسک در مراحل ساخت و بهره‌برداری به طور میانگین، به ترتیب، اعداد ۳۵۵ و ۱۲۹ را نشان داد. پیرو اجرای پیشنهادات اصلاحی، ارزش‌های ریسک به دست آمده برای مرحله ساخت در حالت غیرفازی به عدد ۲۴۷ و در حالت فازی به ۲۵۵ تقلیل یافت، در حالی که برای مرحله بهره‌برداری در حالت غیرفازی به ۵۸ و در حالت فازی به ۸۴ کاهش یافت.

کلمات کلیدی: حوادث شغلی، صنعت ساختمان، فنون تحلیل خرابی و اثرات آن (FMEA)، همپوشانی فاز توسعه و بهره‌برداری، شهرداری تهران

* نویسنده مسئول: امین پاداش

ایمیل:aminpadash@gmail.com

شماره تماس:۰۲۱-۶۶۴۱۳۱۵۵

Doi: 10.48306/jumee.2024.444997.1037

۱-مقدمه

در سطح جهانی، سالانه شاهد از دست دادن جان هزاران انسان به دلیل وقایع ناگوار ناشی از محیط کار هستیم که در این میان، پروژه‌های ساختمانی و عمرانی به عنوان یکی از خطرناک‌ترین مشاغل، در بیشتر کشورها، در صدر فهرست فعالیت‌های دارای ریسک بالا قرار دارند. این صنعت، نه تنها به دلیل تعداد بالای حوادثی که در آن رخ می‌دهد، بلکه به خاطر شدت و خطرات جدی ناشی از این حوادث که غالباً به ناتوانی دائم یا مرگ منجر می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته است.

به طور خاص، کشورهای در حال توسعه بیشترین تعداد از این وقایع ناگوار را تجربه می‌کنند. برای مثال، در ایران، بیش از ۴۶ درصد از کل حوادث مرتبط با محل کار به صنعت ساختمان اختصاص دارد که متأسفانه، ۷۰ درصد از این حوادث به از دست دادن زندگی کارگران منتهی می‌شود، در حالی که میانگین جهانی این آمار تنها ۱۷ درصد است [۱]. بر اساس داده‌های رسمی، هر حادثه منجر به مرگ در ایران، باعث از دست رفتن ۷۵۰۰ روز کاری می‌شود. طبق بند هـ ماده ۹۶ قانون کار، اداره کل بازرسی کار مسئولیت بررسی، تجزیه و تحلیل و انتشار آمار حوادث ناشی از کار را بر عهده دارد. حوادث کاری، مطابق با تعاریف استاندارد سازمان بین‌المللی کار و با توجه به شکایات افراد آسیب‌دیده یا وراث قانونی آنها و همچنین ارجاعات قضایی، توسط بازرسان کار در سراسر کشور مورد بررسی قرار گرفته و ثبت می‌شوند [۱].

تحقیقات اخیر بیان می‌کنند که بیش از هشتاد درصد از حوادث ناشی از کار، مستقیماً نتیجه خطاها و عملکردهای ناشی از انسان هستند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بیست و سه درصد از موارد فوت ناشی از حوادث در محیط‌های ساختمانی، در فرایندهای گودبرداری و آماده‌سازی زمین رخ داده‌اند [۲]. مقایسه‌ای تحلیلی بر آمار حوادث شغلی در پروژه‌های ساختمانی در ایران با استانداردهای جهانی، حاکی از آن است که نرخ وقوع حوادث در ایران به‌طور قابل توجهی بیش از میانگین جهانی است. این موضوع ضرورت برنامه‌ریزی برای اقدامات پیشگیرانه، سرمایه‌گذاری‌های دولتی متناسب و همچنین ارائه آموزش‌های کاربردی به کارفرمایان را در پروژه‌های مذکور تأکید می‌کند.

در سطح جهانی، هفده درصد از حوادث مرگبار در محل‌های کار ساختمانی به ثبت رسیده است، در حالی که این رقم در ایران به چهل و شش درصد می‌رسد. این آمار، فاصله چشمگیری را بین ایران و سایر کشورها در نرخ وقوع حوادث ناشی از کارهای ساختمانی نشان می‌دهد. باوجود تدوین و ابلاغ مقررات و دستورالعمل‌های متعدد در این زمینه، نبود ضمانت‌های اجرایی مؤثر، کاستی‌های دولت در انجام بازرسی‌ها و اعمال کنترل‌های لازم، به علاوه گرایش کارفرمایان به کسب حداکثر سود با کاهش هزینه‌های ضروری برای بهبود ایمنی، از عوامل اصلی افزایش حوادث مرگبار در بین نیروهای کار در بخش ساختمانی به‌شمار می‌روند.

این وضعیت، تأکیدی بر اهمیت فوریت اتخاذ اقدامات اصلاحی و توسعه‌یافته در سیاست‌های ایمنی شغلی، افزایش نظارت‌های دقیق و هدفمند دولتی و ارتقای سطح آگاهی و مسئولیت‌پذیری کارفرمایان در پروژه‌های عمرانی است.

در سال ۱۳۸۱ آیین‌نامه‌ای شامل نه فصل و سیصد و بیست و نه ماده، مبتنی بر مفاد مواد ۸۵ و ۸۶ قانون کار، تدوین یافت. این مستند که در همان سال مورد تأیید وزارت کار و امور اجتماعی ایران قرار گرفت، با هدف اصلی «پیشگیری از وقوع حوادث ناشی از کار منجر به آسیب‌ها و خسارات جانی و مالی در فرایندهای ساختمانی و ارتقاء سطح ایمنی و حفاظت از نیروی کار در محیط‌های کارگاهی» طراحی شد.

بر اساس گزارش‌های تخصصی، مواجهه با تجهیزات و ماشین‌آلات، ریزش آوار و انجام گودبرداری‌ها، سقوط از ارتفاعات، افتادن اشیاء و رویدادهای انفجاری به عنوان عوامل اصلی خطر در پروژه‌های ساختمانی شناسایی می‌شوند. علاوه بر این، نداشتن و عدم استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی، بی‌دقتی‌های فردی در مواجهه با حوادث، کمبود نظارت از سوی کارفرمایان، نقایص فنی در تجهیزات بالابری، پیاده‌سازی رویه‌های کاری ناایمن، فقدان مهارت‌های لازم برای انجام کار و استفاده از ابزار کار غیر ایمن، از جمله عوامل و خطاهای انسانی مهم در بروز حوادث کاری در پروژه‌های ساختمانی به شمار می‌آیند. بطور کلی، رویدادهای حادث در فرآیند ساخت و ساز می‌تواند پیامدهای ناگواری همچون فوت، از دست دادن اعضا، شکستگی‌ها و آسیب‌های جسمی دیگر را به دنبال داشته باشد.

طی نه ماه اول سال ۱۳۹۵، حدود دوازده میلیون و ششصد و شصت و نه هزار و سیصد و هفده نفر در معرض خطرات ناشی از حوادث کاری قرار داشتند، که از این میان، سیزده هزار و شصت و سه نفر در حوادث مرتبط با کار دچار صدمه شدند. استان تهران بیشترین تعداد افراد را که در معرض خطر حوادث کاری بودند به خود اختصاص داد، در حالی که بالاترین تعداد قربانیان حوادث کاری در نه ماهه نخست سال مورد نظر به استان‌های اصفهان با یک هزار و دویست و شصت و هشت نفر و تهران با یک هزار و صد نفر رسید؛ در مقابل،

استان‌های خراسان شمالی و اردبیل به ترتیب با سی و پنج و پنجاه و چهار نفر، کمترین تعداد مصدومین را داشتند. همچنین، بیشترین تعداد کارگران (بیمه‌شدگان تأمین اجتماعی) که در معرض خطر بودند به ترتیب در استان‌های تهران (شرق تهران) با یک میلیون و صد و هفتاد و چهار هزار و چهارصد و پنجاه و دو نفر، غرب تهران با یک میلیون و صد و چهل و یک هزار و ششصد و سی نفر و اصفهان با نهصد و شصت و شش هزار و شصت و سه نفر شناخته شدند، در حالی که کمترین تعداد کارگران در معرض خطر به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد با نود و یک هزار و چهارصد و چهل و شش نفر و ایلام با نود و هشت هزار و پانصد و هفتاد و پنج نفر اختصاص یافت [۲].

بر اساس داده‌های آماری به دست آمده، در فصل زمستان سال ۱۳۹۵، مجموعاً ۲۶۴۲ واقعه حادثه مرتبط با مشاغل گزارش شده است، که از این تعداد، ۲۴۳۱ مورد (معادل ۹۲ درصد) منجر به جراحات غیرمرگبار و ۲۱۱ مورد (معادل ۸ درصد) منجر به فوت شده‌اند. در مقایسه با فصل پاییز همان سال، شاهد کاهش ۲۶/۹ درصدی در تعداد حوادث شغلی بوده‌ایم. استان‌های خوزستان، یزد، و اردبیل به ترتیب بیشترین افزایش را در تعداد حوادث کاری گزارش داده‌اند، در حالی که استان‌های قزوین، سمنان و چهارمحال و بختیاری کمترین افزایش را تجربه کرده‌اند.

از نظر کاهش تعداد حادثه‌دیدگان ناشی از کار، استان‌های تهران، خراسان رضوی، و اصفهان بیشترین کاهش را در زمستان ۱۳۹۵ نسبت به فصل پاییز همان سال داشته‌اند، در حالی که در استان خراسان شمالی، تعداد حادثه‌دیدگان تغییری نداشته است.

در حوزه ایمنی شغلی، پروژه‌های عمرانی شهرداری‌ها به طور مستمر مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. برخی از این پروژه‌ها، به دلیل الزامات مرحله‌بندی توسعه و بهره‌برداری، مراحل ساخت و توسعه را به طور همزمان با مرحله بهره‌برداری پیش می‌برند. با این حال، سیستم‌های نظارتی ایمنی در این پروژه‌ها دچار چالش‌هایی هستند که اغلب به دلیل نبود ارتباط کارآمد میان واحدهای HSE در بین پیمانکاران ساخت و بهره‌برداری است. در طول سال‌های اخیر، بسیاری از حوادث در صنایع و کارگاه‌های عمرانی به علت نقص در اطلاع‌رسانی و عدم برقراری ارتباط مؤثر میان پیمانکاران ساخت و بهره‌برداری رخ داده است.

مطالعات بسیاری در خصوص ایمنی شغلی در صنعت ساختمان کار شده که برخی از مهمترین آنها در ادامه ذکر شده است. کوهن و داتا (۲۰۲۳) فلسفه پشت سیستم های مدیریت کیفیت، سلامت، ایمنی و محیط زیست را مفهومی کاربردی و پذیرفته شده توسط پیمانکاران اعلام نموده اند و کارکردهای مهمی این فلسفه را تشریح و توسعه داده اند [۳]: (۱) توضیح و شفاف سازی کیفیت، عملکرد سلامت، ایمنی و محیط زیست مورد انتظار، (۲) مشارکت کارکنان در تصمیم گیری و حل مشکل، (۳) هزینه های سنگین ناشی از کیفیت پایین و عدم توجه به شرایط کاری ایمن/سالم، (۴) تعیین اهداف QHES و ارائه بازخورد در مورد عملکرد. (۵) ارائه یک سیستم خود نظارتی. و (۶) تشخیص و تقویت عملکرد خوب و توسعه یک سیستم تعالی.

سیاح پور و عبدالهی زاده (۱۳۸۹) ایمنی و سلامت شغلی در صنعت ساختمان از دیدگاه OSHA[1]را بررسی و با وضعیت موجود مقایسه کردند [۴]. سجادیان (۱۴۰۱) عملکرد شهرداری بر تامین ایمنی در عملیات تخریب و خاکبرداری ساختمان های شهری را مورد بررسی قرار داد [۵]. فتاحی (۱۴۰۱) لزوم پیروی از الزامات سلامت، ایمنی و محیط زیست را در کاهش خطرات ساخت ساختمانها با تاکید بر موازین مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان بررسی نمود [۶]. همتی گل سفیدی و همکاران (۱۴۰۱) الزامات ایمنی در تخریب ساختمان های فرسوده و ارائه راهکارهای بهبود را برای شهر قشم بررسی و رتبه بندی کردند [۷]. فرخی زاده و باقری (۱۴۰۱) ارتقاء عملکرد و فرهنگ ایمنی در کارگران برای جلوگیری خطرات موجود در صنعت ساختمان را بررسی نمودند [۸].

در مقاله‌ای که توسط احترامی در سال ۱۴۰۲ منتشر شد، یک بررسی جامع در زمینه اطمینان از رعایت استانداردهای ایمنی، بهداشت و محافظت از محیط زیست در فرایندهای تخریبی بناها انجام گرفت [۹]. هدف این تحقیق، که با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی و ابزارهایی چون SPSS و ExpertChoice به انجام رسید، شناسایی و رتبه‌بندی عناصر کلیدی مؤثر بر فرایند مذکور با تأکید ویژه‌ای بر نقش نظارتی شهرداری‌ها بود. نتایج این تحقیق نشان داد که اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار عبارتند از: پایبندی به استانداردهای اجرایی و اصول ایمنی حرفه‌ای در حین کار، آموزش نیروهای انسانی درگیر در پروژه‌های تخریب، نظارت مستمر بر اجرای عملیات تخریب، راهبردهای اجرایی پیمانکاران، و برنامه‌ریزی‌های مدون برای حفاظت از ایمنی کارکنان و عابرین با استفاده از ایجاد موانع و حفاظ‌های مناسب.

[1] Occupational Safety and Health Administration

امیریان فر و روانشادنیا در سال ۱۳۹۳ مطالعه‌ای را ارائه دادند که در آن خطرات مربوط به عملیات تخریب ساختمان‌ها از طریق روش تحلیل ایمنی شغلی مورد ارزیابی قرار گرفت و راهبردهایی به منظور کاهش تأثیرات مخرب آن‌ها پیشنهاد شد [۱۰]. این پژوهش با بهره‌گیری از روش JSA[۱] انجام شده و در نتیجه، ۳۹ خطر شناسایی و ارزیابی گردید، که از میان آنها ۱۰ مورد غیرقابل قبول، ۲۶ مورد مناسب، یک مورد قابل قبول با تجدید نظر، و دو مورد جزئی تشخیص داده شدند. برای مقابله با این خطرات، راهکارهای کنترلی متعددی پیشنهاد شد که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان به تأمین تجهیزات حفاظت فردی مناسب، رعایت اصول ایمنی، به‌کارگیری نیروی ماهر و با تجربه، نظارت بر ایمنی و حفاظت کار در طول اجرا، و آموزش کارگران اشاره نمود.

شاه آبادی و همکاران در سال ۱۳۹۷ به تحلیل موضوعات مرتبط با بهداشت، ایمنی، و حفاظت از محیط زیست در زمینه تخریب ساختمان‌ها با کاربرد مدل FAHP[۲] و با تمرکز بر منطقه سعادت آباد تهران پرداختند [۱۱]. این تحقیق ابتدا با شناسایی مشکلات و کمبودهای موجود در قوانین ملی و محلی آغاز شد و با مطالعه حادثه سعادت آباد، نیازمندی‌های فوری برای رفع معضلات شناسایی شد. از طریق بررسی‌های دقیق و جمع‌آوری داده‌ها، فاکتورهای کلیدی موثر بر فرآیند تخریب مشخص گردید و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، این فاکتورها اولویت‌بندی شده و در نهایت، راهبردها و الگوهای عملیاتی برای بهبود شرایط موجود ارائه شدند.

امین‌زاده و همکاران در سال ۱۴۰۱ به ارزیابی خطرات و ریسک‌های ایمنی در صنعت ساختمان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط‌های فازی برای پروژه‌های ساختمانی در شهر شیراز پرداختند [۱۲]. این پژوهش با مروری بر مطالعات قبلی و جمع‌آوری دیدگاه‌های خبرگان، و با بهره‌گیری از تکنیک‌هایی نظیر TOPSIS و SWOT، خطرات مهم و ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساختمانی را شناسایی و ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که خطرات ناشی از سقوط ابزار کار و برخورد آنها با افراد و تجهیزات، بالاترین اولویت را داشته و در مقابل، خطرات مربوط به تصادف افراد و خودروها با مصالح انباشته شده در معابر عمومی، کمترین اولویت را داشتند. به منظور مقابله با این خطرات، راهبردهایی برای کاهش یا حذف ریسک‌ها توصیه شد.

علی محمدی در سال ۱۴۰۲ به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر بهبود ایمنی در طول اجرای ساختمان‌های بلندمرتبه در ایران پرداخت [۱۳]. این تحقیق با توزیع پرسشنامه‌هایی با تمرکز بر چهار معیار اصلی ایمن‌سازی اجرا شد و نتایج با استفاده از روش‌های آماری تجزیه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که هر چهار معیار در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأثیر معناداری بر افزایش ایمنی داشته و ایمن‌سازی کارگران بیشترین تأثیر را در کاهش خطرات و خسارات دارد. همچنین، ایمنی محیط زیست با سایر معیارها همبستگی قوی‌ای را نمایان ساخت. از این رو، تأکید بر ایمن‌سازی کارگران و همزمان، افزایش ایمنی محیط زیست محدوده پروژه‌های بلندمرتبه، امری حیاتی تلقی می‌شود.

در پایان، با توجه به حضور چشمگیر نیروی انسانی در پروژه‌های عمرانی شهرداری تهران، حفظ و بهبود شرایط کاری این نیروهای متخصص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ایجاد رضایت شغلی و کاهش خطرات و ریسک‌های مرتبط با کار، سلامتی، ایمنی و محیط زیست، می‌تواند به طور قابل توجهی به افزایش کارایی و بهره‌وری نیروهای کار و کاهش هزینه‌های توسعه و نگهداری شهرداری تهران کمک نماید.

۲-مواد و روش ها

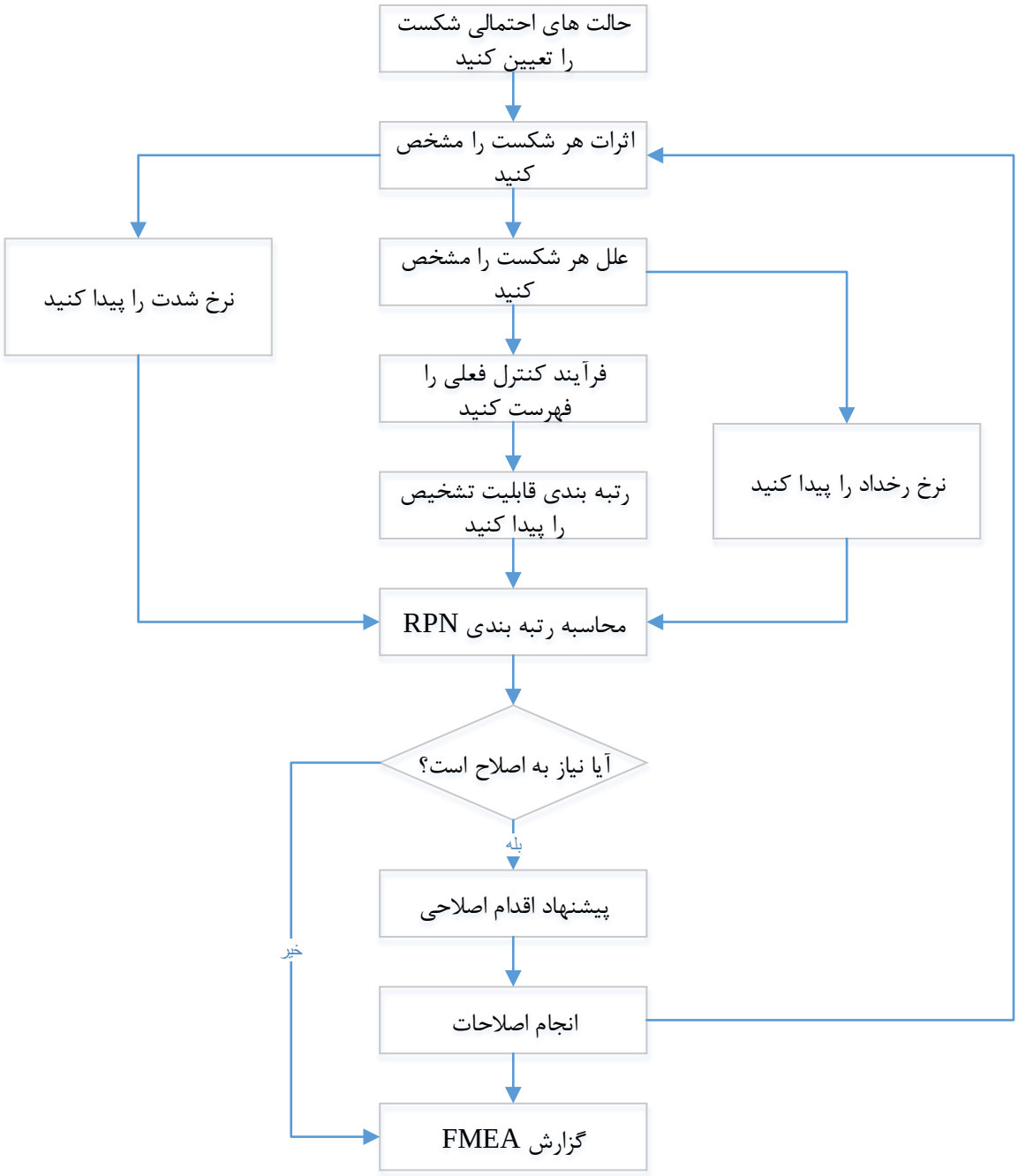
در این مطالعه، استفاده از فنون تحلیل خرابی و اثرات آن (FMEA[۳]) به منظور ارزیابی ریسک‌های مرتبط با ایمنی شغلی در بخش ساخت‌وساز، در مراحل مختلف اجرا و عملیاتی سازی پروژه‌های عمرانی مورد توجه قرار گرفته است. در ابتدای کار، با مطالعه دقیق و جامع، رخدادهای ایمنی در صنعت ساختمان، متمرکز بر فازهای خاص و پروژه‌های در دست اجرا در شهرداری تهران، شناسایی و طبقه‌بندی شدند. پس از آن، این رخدادها با استفاده از روش FMEA برای تحلیل ریسک به طور جداگانه برای هر فاز مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور دستیابی به این اطلاعات، از مطالعات پیشین مرتبط، پرسشنامه‌ها، مصاحبه‌های مستقیم و داده‌های موجود در اداره

[۱] Job Safety Analysis

[۲] Fuzzy Analytic Hierarchy Process

[۳] Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

کار و بهداشت حرفه‌ای استفاده شده است. در مرحله بعدی، حوادثی که از لحاظ خطرات و ریسک‌های مرتبط به هم و تأثیرپذیری از پارامترهای خاص SOD[۱] مرتبط بودند، طبقه‌بندی و اولویت‌بندی گردیدند. بر این اساس، برای کاهش تأثیرات متقابل فازها بر یکدیگر، راهبردها و اقدامات اصلاحی متناسب ارائه و پیشنهاد شدند. نهایتاً، این مقاله به بررسی و معرفی روش‌ها و فنون به کار گرفته شده در این پژوهش می‌پردازد. فرآیند اجرای FMEA به طور خلاصه در شکل زیر تصویرسازی شده است:



شکل ۱- مراحل انجام FMEA [۱۴]

در عرصه مهندسی عمران و ایمنی شغلی، تحلیل دقیق و مبتنی بر شواهد از خطرات احتمالی و تأثیرات آن‌ها بر سلامت و امنیت کارکنان از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، تعیین شدت و احتمال وقوع خطرات، که از آن به عنوان «اثر خطر بالقوه» یاد

[۱] SOD (Severity, Occurrence, Detection)

می‌شود، مستلزم ارزیابی دقیق تأثیرات بالقوه آن‌ها بر فرد یا جامعه است. این ارزیابی تنها با در نظر گرفتن «اثر» خطر انجام می‌پذیرد. کاهش شدت خطر، مستلزم اعمال تدابیر اصلاحی در فرآیندها و روش‌های اجرایی است. برای سنجش شدت خطر، معیارهای کمی در مقیاسی از ۱ تا ۱۰ تعریف شده است، که در جدولی مشخص به نمایش درمی‌آید.

جدول ۱- شدت خطر

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

از سوی دیگر، احتمال وقوع خطر نشان‌دهنده فرکانس بروز یک عامل یا مکانیزم خطرناک است. کاهش احتمال وقوع خطر تنها از طریق رفع یا محدود کردن علل یا مکانیزم‌های خطرناک ممکن است. این احتمال نیز در مقیاسی از ۱ تا ۱۰ ارزیابی می‌شود. مطالعه دقیق سوابق و اسناد مربوطه برای این ارزیابی بسیار سودمند است. علاوه بر این، بررسی دقیق فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین مرتبط با کار و نحوه اجرای آن‌ها برای دستیابی به این مقادیر ضروری است [۱۵].

جدول ۲- احتمال وقوع خطر

رتبه	نرخ های احتمالی خطر	احتمال رخداد خطر
۱۰	هرروز یکبار یا بیشتر	وقوع حادثه یا نقص اجتناب ناپذیر وبسیار محتمل است.
۹	هر ۳ تا ۴ روز یکبار	
۸	هرهفته یکبار	احتمال وقوع حادثه یانقص بسیار بالاست
۷	هر ماه یکبار	
۶	هر ۳ ماه یکبار	
۵	هر ۶ ماه تا یکسال یکبار	احتمال وقوع حادثه یانقص متوسط، کم است.
۴		
۳	هر یک سال تا ۳ سال یکبار در	احتمال وقوع حادثه یانقص نادریا خیلی نادر است.
۲	هر ۳ سال تا ۵ سال یکبار	
۱	خیلی بعید	احتمال وقوع حادثه یانقص بعید- خطر نامحتمل است

احتمال کشف، به عنوان یک ارزیابی از توانایی شناسایی یک عامل یا مکانیزم خطرناک قبل از وقوع آن تعریف می‌شود. این بُعد از ارزیابی خطر، توانایی پیش‌بینی و احتمال شناسایی خطرات را پیش از بروزشان مورد سنجش قرار می‌دهد. برای تعیین این احتمال، بررسی فرآیندهای کنترلی، استانداردها، الزامات و قوانین کاری و چگونگی اجرای آن‌ها حیاتی است [۱۵] مطابق با جدول زیر:

جدول ۳- احتمال کشف خطر

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

عدد اولویت ریسک حاصلضرب سه عدد وخامت (S) رخداد (O) و احتمال کشف (D) است [۱۵, ۱۶].

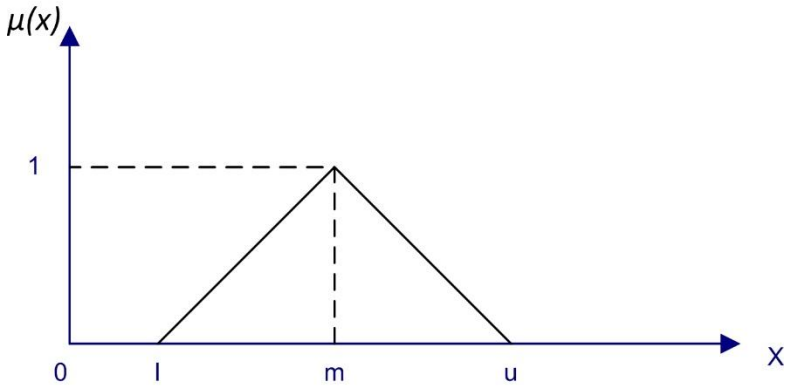
$$\text{Detection} \times \text{Occurrence} \times \text{Severity} = \text{RPN} \qquad (۱)$$

میزان اولویت ریسک، که به عنوان عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ تعریف می‌شود، نشان‌دهنده ضرورت اقدامات گروهی برای کاهش این عدد از طریق اعمال تدابیر اصلاحی است. این تدابیر باید با هدف حذف علل ریشه‌ای خطر، کاهش شدت اثر خطر، افزایش احتمال کشف خطر در فرآیندها و بهبود رضایت شغلی کارکنان از وضعیت ایمنی تدوین و اجرا شوند. سازمان موظف است مسئولیت هر یک از اقدامات اصلاحی را مشخص و ثبت کند. نتایج حاصل از اقدامات انجام شده باید به گروه FMEA گزارش و تأیید شوند. اجرای اثربخش اقدامات و ارزیابی آن‌ها ضروری است. پس از پیاده‌سازی اقدامات اصلاحی، محاسبه مجدد عدد RPN لازم است. در این محاسبات، تعیین نرخ وقوع، شدت و احتمال کشف باید متناسب با نوع فعالیت‌های سازمان انجام گیرد، به ویژه برای خطراتی که نرخ شدت و وقوع آن‌ها بالای ۷ است، لازم است تدابیر اصلاحی در نظر گرفته شوند.

۲-۱-محیط فازی مورداستفاده در مدل FMEA

در این مطالعه از عدد فازی مثلثی (l,m,u) و $\mu_{\tilde{A}}$ به عنوان تابع عضویت عدد فازی استفاده شده (شکل ۲) و در ادامه رابطه آن ارائه شده است.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l}, & l \le x \le m \\ \dfrac{u-x}{u-x}, & l \le x \le u \\ 0, & otherwise \end{cases} \qquad (۲)$$



شکل ۲- عدد فازی مثلثی مورداستفاده

همچنین، عملگرهای اصلی در محاسبات بین دو عدد فازی ارائه شده است [۱۷-۲۰]:

$$A_1 + A_2 = (a_1, b_1, c_1) + (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2) \quad (۳)$$

$$A_1 - A_2 = (a_1, b_1, c_1) - (a_2, b_2, c_2) = (a_1 - a_2, b_1 - b_2, c_1 - c_2) \quad (۴)$$

$$-A_1 = -(a_1, b_1, c_1) = (-a_1, -b_1, -c_1) \quad (۵)$$

$$A_1 \otimes A_2 = (a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) = (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2) \quad (۶)$$

$$\tilde{A}^* = \frac{a + b + c}{3} \quad (۷)$$

$$= \text{Defuzzyfied Number A } \tilde{A}^*$$

برای اعداد کریسپ مورداستفاده در مطالعه که اعداد بین ۱ تا ۹ می‌باشند، محیط فازی معادل هر یک پیشنهاد شده است:

جدول ۴- محیط فازی مورداستفاده [۲۱]

عدد کریسپ	عدد فازی معادل
1	(1,1,2)
2	(1,2,3)
3	(2,3,4)
4	(3,4,5)
5	(4,5,6)
6	(5,6,7)
7	(6,7,8)
8	(7,8,9)
9	(8,9,9)

۳-بحث و نتایج

در این مطالعه، ابتدا به واسطه بررسی‌های انجام‌شده بر پایه مطالعات موجود، بازدیدهای میدانی و مصاحبه‌های صورت‌گرفته با مدیران پروژه‌های عمرانی شهرداری تهران، مجموعه‌ای از شاخص‌های مؤثر بر وقوع حوادث کاری در حوزه ساخت‌وساز شناسایی و پیشنهاد شده‌اند. این شاخص‌ها، که در فازهای ساخت و بهره‌برداری به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند، بنیاد محکمی برای تدوین پرسشنامه‌های ارزیابی تأثیرات ریسک شغلی بر مبنای مدل FMEA ایجاد کردند. این پرسشنامه‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌های دقیق از جامعه آماری هدف توزیع شدند.

داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها در مدل FMEA مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند و نتایج به دست آمده در دو سناریو، کریسپ (معمولی) و فازی، مورد بررسی قرار گرفتند. این تجزیه‌وتحلیل دوگانه به منظور در نظر گرفتن خطاهای ناشی از تصمیم‌گیری انسانی و عدم قطعیت در محاسبات ریسک انجام شد. در محیط فازی، نتایج با استفاده از عملگرهای منطق فازی اصلی محاسبه شدند و سپس با استفاده از فرمول‌های دی‌فازی به حالت کلاسیک بازگردانده شدند. نهایتاً، مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده از هر دو حالت به منظور ارزیابی دقیق‌تر تأثیرات ریسک در محیط‌های کارگاهی عمرانی انجام گرفت.

پس از پیاده‌سازی تدابیر اصلاحی، محاسبات دوباره انجام شدند تا اثربخشی این اقدامات در کاهش ریسک حوادث شغلی در صنعت ساخت‌وساز قبل و پس از اجرای پیشنهادات اصلاحی مورد ارزیابی قرار گیرد. تحلیل‌ها هم در حالت‌های کلاسیک و فازی صورت گرفتند.

این تحقیق، با تکیه بر داده‌های جمع‌آوری شده از حوادث کاری روی‌داده در حوزه ساختمان‌سازی در ایران و تمرکز بر فاز ساخت، حوادث را در ۱۲ دسته‌بندی اصلی طبقه‌بندی کرده است. این دسته‌بندی‌ها بیش از ٪۹۸ حوادث شغلی در این صنعت را پوشش می‌دهند و اطمینان بالایی را فراهم می‌آورند که با اجرای تدابیر اصلاحی موثر بر این ۱۲ نوع حادثه، بهبود قابل توجهی در کاهش حوادث کارگاهی حاصل خواهد شد. این بهبودی نه تنها برای کارگران بلکه برای پیمانکاران و کارفرمایان نیز مزایای قابل ملاحظه‌ای به همراه خواهد داشت.

لازم به ذکر است که شناسایی حوادث شغلی در این پژوهش نشان‌دهنده وجود تشابهات و تفاوت‌هایی با مطالعات مشابه بین‌المللی است، مانند تحقیق انجام‌شده توسط Pinto et al. در سال ۲۰۱۱ [۲۲]. این تفاوت‌ها و تشابهات می‌توانند ناشی از اختلافات در سیستم‌های ساخت‌وساز، سطوح دانش و مهارت کارگران، رویکردهای آموزشی برای اکتساب مهارت‌های کاری و نوع نظارت‌های دولتی و خصوصی بر ایمنی در محیط‌های کارگاهی باشند.

جدول ۵- حوادث شغلی در فاز ساخت طرح‌های عمرانی

ردیف	شرح حادثه
1	ریزش ساختمان مجاور
2	ریزش ساختمان در پروژه‌های تخریب و بازسازی
3	سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت
4	سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات
5	افتادن از داربست، بالابر و جرثقیل
6	سقوط اشیاء
7	برق‌گرفتگی
8	برخورد (صدمه) با ابزارآلات
9	برخورد با وسیله نقلیه
10	انفجار یا آتش‌سوزی
11	گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء
12	تماس با مواد خطرناک و سمی

(منبع: یافته های پژوهش)

با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول ذیل، می‌توان مشاهده کرد که مقدار شماره پیش‌بینی خطر (RPN) در محیط Crisp به دقت محاسبه گردیده است. علاوه بر این، مطابق با اطلاعات آمده در جدول شماره ۶، ضرایب شدت (S)، احتمال وقوع (O) و قابلیت تشخیص (D) به نمایندگان فازی خود تبدیل و در نتیجه، مقدار فازی RPN (FRPN) مورد محاسبه قرار گرفت. در پایان این ستون‌ها، میانگین مقادیر RPN و FRPN نیز به دقت محاسبه و ثبت شده است.

جدول ۶- ارزیابی ریسک FMEA برای حوادث شغلی ساختمان‌سازی در فاز ساخت

	حوادث شغلی در صنعت ساختمان‌سازی	Crisp				Fuzzy											
						S			O			D			FRPN		
		S	O	D	RPN	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	ریزش ساختمان مجاور	10	5	9	450	9	10	10	4	5	6	8	9	10	288	450	600
2	ریزش ساختمان در پروژه‌های تخریب و بازسازی	10	5	9	450	9	10	10	4	5	6	8	9	10	288	450	600
3	سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	10	7	9	630	9	10	10	6	7	8	8	9	10	432	630	800
4	سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	9	6	6	324	8	9	10	5	6	7	5	6	7	200	324	490
5	افتادن از داربست، بالابر و جرثقیل	9	8	8	576	8	9	10	7	8	9	7	8	9	392	576	810
6	سقوط اشیاء	8	7	7	392	7	8	9	6	7	8	6	7	8	252	392	576
7	برق‌گرفتگی	7	6	5	210	6	7	8	5	6	7	4	5	6	120	210	336
8	برخورد (صدمه) با ابزارآلات	7	6	5	210	6	7	8	5	6	7	4	5	6	120	210	336
9	برخورد با وسیله نقلیه	6	5	5	150	5	6	7	4	5	6	4	5	6	80	150	252
10	انفجار یا آتش‌سوزی	8	5	8	320	7	8	9	4	5	6	7	8	9	196	320	486
11	گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء	6	7	6	252	5	6	7	6	7	8	5	6	7	150	252	392
12	تماس با مواد خطرناک و سمی	6	8	4	192	5	6	7	7	8	9	3	4	5	105	192	315
	میانگین کریسپ				346	میانگین فازی									219	346	499

(منبع: یافته های پژوهش)

در تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل نتایج مرحله ابتدایی محاسبات، مقادیر شاخص RPN[1] در دامنه Crisp برای حوادث شغلی را ۳۴۶ نشان می‌دهد، در حالی که در دامنه فازی، شاخص FRPN[2] در محدوده‌ای متغیر از ۲۱۹ تا ۴۹۹ محاسبه شده است. می‌بایست مد نظر داشت که وقوع حوادث شغلی در بخش ساخت و ساز بناها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد؛ به عبارتی دیگر، دستیابی به سطح صفر ریسک، با توجه به خصوصیات فن‌آورانه و ماهیت فعالیت‌های مرتبط، امکان‌پذیر نیست، زیرا همواره احتمال وقوع خطاهای انسانی و مشکلات مربوط به تجهیزات وجود دارد. بنابراین، بهینه‌ترین راهبرد ممکن، اتخاذ تدابیری است که بتواند میزان ریسک را به حداقل ممکن کاهش دهد. لازم به ذکر است که در رویکرد FMEA، هیچ معیار استانداردی برای اندازه‌گیری میزان کاهش ریسک وجود ندارد. بنابراین، این پژوهش بر تحلیل تأثیرگذاری و کارآمدی اقدامات اصلاحی پیشنهادی و نسبت کاهش ریسک متمرکز شده و آن را مورد بررسی قرار می‌دهد.

در فاز بهره‌برداری از پروژه‌های عمرانی، میزان وقوع حوادث به طور قابل توجهی کمتر از فاز ساخت است. این کاهش در حوادث، علاوه بر شدت و ضخامت پایین‌تر آنها، به دلیل طبیعت بنیادین فعالیت‌های ساختمانی است که ریسک‌ها و خطرات بیشتری نسبت به مرحله بهره‌برداری دارند. عملیاتی چون خاک‌برداری، گودبرداری، نصب اسکلت، آرماتوربندی و بتن‌ریزی، که اجزای اصلی بسیاری از پروژه‌های عمرانی در فاز ساخت محسوب می‌شوند، بیشترین خطرات را به خود ایجاد می‌کنند. در مقابل، اکثریت فعالیت‌ها و خدمات

[1] RPN (Risk Priority Number)

[2] FRPN (Fuzzy Risk Priority Number)

ارائه شده توسط یک ساختمان، متناسب با کاربری مشخص آن، ذاتاً با تعداد کمتری حادثه روبرو هستند. کاربری ساختمان در تعیین ماهیت حوادث رخ داده در دوره بهره‌برداری نقش مهمی ایفا می‌کند. برای مثال، در ساختمان‌های با کاربری تجاری، اکثر حوادث شغلی به جز آن دسته که با نوع خاصی از فعالیت صنفی مرتبط هستند، تنها در زمان استفاده و بهره‌برداری از ساختمان اتفاق می‌افتند و شامل مواردی نظیر لغزش‌ها، سقوط از پله‌ها، آتش‌سوزی‌ها، برق‌گرفتگی‌ها، نشت گاز و سایر موارد مشابه می‌شوند. بر اساس پرسشنامه‌های تکمیل شده، تعدادی از ساختمان‌هایی که در حال حاضر در تهران بهره‌برداری می‌شوند، فهرستی از حوادثی که تجربه کرده‌اند یا پیش‌بینی می‌شود که ممکن است با آنها مواجه شوند، ارائه داده‌اند.

هدف از محاسبه شاخص دیسک، تعیین پارامترهای خطر مرتبط با تکرار وقوع و احتمال شناسایی خطر است، تا بتوان با استفاده از حاصلضرب این سه مؤلفه، مقدار ریسک را بر اساس روش FMEA محاسبه نمود. این محاسبات به صورت کلاسیک در فضای Crisp ضمن ارائه در جداول محاسباتی ریسک، انجام شده‌اند. علاوه بر این، به منظور ارزیابی ریسک در محیط فازی، هر یک از این پارامترها بر اساس جدول مربوط به محیط فازی انتخاب شده و در جداول مربوطه قرار گرفته‌اند. سپس، با به‌کارگیری فرمول‌های عملیات فازی، محاسبه ضرب پارامترها در یکدیگر و در نهایت محاسبه شاخص ریسک فازی انجام شده است. در مرحله بعد، با استفاده از فرمول‌های دیفازی‌کردن، شاخص ریسک فازی به یک عدد کلاسیک تبدیل و ارائه شده است.

جدول ۷- ارزیابی ریسک FMEA برای حوادث شغلی در فاز بهره‌برداری از ساختمان

	حوادث شغلی در فاز بهره‌برداری ساختمان	Crisp				Fuzzy											
						S			O			D			FRPN		
		S	O	D	RPN	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	سرخوردگی	3	5	7	105	2	3	10	4	5	6	6	7	8	48	105	480
2	افتادن از پله‌ها	5	4	7	140	4	5	10	3	4	5	6	7	8	72	140	400
3	نشت گاز	10	2	3	60	9	10	10	1	2	3	2	3	4	18	60	120
4	برق‌گرفتگی	10	2	6	120	9	10	10	1	2	3	5	6	7	45	120	210
5	حریق	10	3	4	120	9	10	10	2	3	4	3	4	5	54	120	200
6	برخورد با اجسام برنده و تیز	6	2	3	36	5	6	7	1	2	3	2	3	4	10	36	84
	میانگین				97										41	97	249

(منبع: یافته های پژوهش)

در تحلیل داده‌های ارائه شده در جدول فوق، ملاحظه می‌گردد که میزان عددی حاصل شده در محیط کریسپ نسبت به محیط فازی، در دوره بهره‌برداری به طور معناداری نسبت به دوره ساخت کاهش می‌یابد. این کاهش، با در نظر گرفتن طبیعت وقایع و تعداد حوادث، به علاوه ماهیت فعالیت‌های مرتبط با عمران در مقایسه با فاز بهره‌برداری از یک بنا، به نظر می‌رسد کاملاً منطقی و قابل پیش‌بینی است.

در راستای مقابله با حوادث و ارتقاء سطح ایمنی، پیشنهاد می‌شود اقدامات اصلاحی شامل بازرسی‌ها و کنترل‌های دوره‌ای از سوی نهادهای دولتی و خصوصی اجرا گردد که باید به صورت سیستماتیک و با استفاده از فناوری‌های پیشرفته در مرحله ساخت پروژه‌ها انجام شود. تاکید بر اجرای دقیق قوانین اداری و کاری در این فرایند ضروری است. افزون بر این، تقویت و نصب تابلوها و علائم ایمنی می‌تواند به طور قابل توجهی در افزایش آگاهی و حساسیت کارگران در مراحل مختلف پروژه، از جمله ساخت و بهره‌برداری، اثربخش باشد. مشاهدات نشان می‌دهند که در بسیاری از پروژه‌ها، کمبود علائم ایمنی مناسب به وضوح قابل تشخیص بوده و پیمانکاران باید به این موضوع اهتمام ویژه‌ای ورزند.

یکی دیگر از جوانب حیاتی در ارتقاء ایمنی، توجه به آموزش است. آموزش‌های تخصصی، مدرن و مرتبط، که برای کارفرمایان، پیمانکاران و کارگران در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند به طور چشمگیری خطر حوادث شغلی را کاهش دهد. این آموزش‌ها باید با توجه ویژه و به صورت دوره‌ای ارائه شوند. علاوه بر این، افزایش جریمه‌ها و مجازات‌ها برای تخطی از قوانین می‌تواند به عنوان یک ابزار بازدارنده عمل کند و در نهایت منجر به کاهش حوادث شغلی در صنعت شود. این رویکرد می‌تواند به عنوان یک عامل ترغیبی برای کارفرمایان و پیمانکاران عمل کرده و آنها را به رعایت دقیق‌تر استانداردهای ایمنی سوق دهد.

جدول ۸- اقدامات اصلاحی پیشنهادی برای کاهش ریسک در فاز ساخت (منبع: یافته های پژوهش)

	اقدامات اصلاحی
1	بازرسی و کنترل‌های دولتی و خصوصی
2	نصب و بهبود علائم ایمنی
3	آموزش کارفرما
4	آموزش کارگران
5	افزایش جرائم حوادث شغلی

در مرحله بهره‌برداری، پروژه‌های عمرانی معمولاً با تعداد حوادثی که کمتر از مرحله ساخت است مواجه می‌شوند. عمده این حوادث در فاز بهره‌برداری دارای شدت و ضخامتی کمتری هستند، این تفاوت بیشتر به علت آن است که فعالیت‌های عمرانی بالقوه دارای ریسک و خطرات بیشتری نسبت به فعالیت‌های مربوط به بهره‌برداری از ساختمان‌ها هستند. فعالیت‌هایی نظیر خاک‌برداری، گودبرداری، اجرای اسکلت سازی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی که در اکثر پروژه‌های عمرانی در فاز ساخت اجرا می‌شوند، معمولاً دارای بالاترین سطح خطر هستند. در مقابل، بیشتر فعالیت‌ها و خدمات ارائه شده توسط ساختمان بر اساس کاربرد مورد نظر آن، طبیعتاً با تعداد کمتری از حوادث روبرو هستند. کاربری ساختمان در تعیین نوع حوادثی که در فاز بهره‌برداری رخ می‌دهد، نقش بسزایی ایفا می‌کند. به عنوان مثال، در ساختمان‌های با کاربری تجاری، اکثر حوادث شغلی به جزء حوادثی که مرتبط با آن واحد صنفی خاص هستند، عمدتاً شامل حوادثی مانند لغزش، سقوط از پله‌ها، آتش‌سوزی، برق‌گرفتگی، نشت گاز و سایر حوادث مشابه در طول دوره بهره‌برداری می‌شود.

بر اساس نظرسنجی‌های انجام شده، لیستی از حوادث واقعی و پیش‌بینی‌شده برای ساختمان‌هایی که در حال حاضر در مرحله بهره‌برداری در سطح شهر تهران هستند، ارائه شده است. این اطلاعات حاکی از آن است که اگرچه فاز بهره‌برداری با خطرات کمتری نسبت به فاز ساخت مواجه است، اما همچنان نیازمند توجه و اقدامات احتیاطی جدی برای کاهش حوادث و تضمین ایمنی شغلی است.

جدول ۹- ارزیابی ریسک FMEA برای حوادث شغلی ساختمان‌سازی بعد از اقدامات اصلاحی در فاز ساخت

	حوادث شغلی در صنعت ساختمان‌سازی بعد از اقدامات اصلاحی	Crisp				Fuzzy											
		S	O	D	RPN	S			O			D			FRPN		
						a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	ریزش ساختمان مجاور	10	5	7	350	9	10	10	4	5	6	6	7	8	216	350	480
2	ریزش ساختمان در پروژه‌های تخریب و بازسازی	10	5	7	350	9	10	10	4	5	6	6	7	8	216	350	480
3	سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	10	7	7	490	9	10	10	6	7	8	6	7	8	324	490	640
4	سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	9	6	4	216	8	9	10	5	6	7	3	4	5	120	216	350
5	افتادن از داربست، بالابر و جرثقیل	9	8	6	432	8	9	10	7	8	9	5	6	7	280	432	630
6	سقوط اشیاء	8	7	5	280	7	8	9	6	7	8	4	5	6	168	280	432
7	برق‌گرفتگی	7	6	3	126	6	7	8	5	6	7	2	3	4	60	126	224
8	برخورد (صدمه) با ابزارآلات	7	6	3	126	6	7	8	5	6	7	2	3	4	60	126	224
9	برخورد با وسیله نقلیه	6	5	3	90	5	6	7	4	5	6	2	3	4	40	90	168
10	انفجار یا آتش‌سوزی	8	5	6	240	7	8	9	4	5	6	5	6	7	140	240	378
11	گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء	6	7	4	168	5	6	7	6	7	8	3	4	5	90	168	280
12	تماس با مواد خطرناک و سمی	6	8	2	96	5	6	7	7	8	9	1	2	3	35	96	189
	میانگین				247										146	247	373

(منبع: یافته های پژوهش)

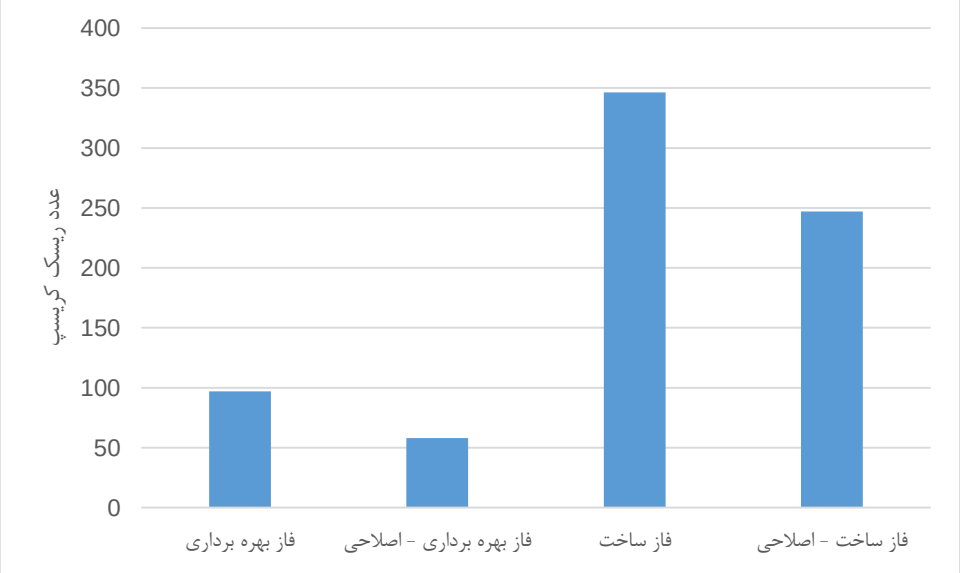
همان‌طور که از نوع حوادث شغلی در فاز بهره‌برداری ساختمان مشخص است آیتم‌های ارائه‌شده، صرفاً مربوط به حوادثی است که در بهره‌برداری مستقیم ساختمان امکان وقوع دارد و ارتباطی به نوع مشاغل یا نوع کاربری ساختمان که به فعالیت‌های تخصصی خاصی مربوط می‌شود ندارد.

جدول ۱۰- ارزیابی ریسک FMEA برای حوادث شغلی در فاز بهره‌برداری از ساختمان بعد از اقدامات اصلاحی

	حوادث شغلی در فاز بهره‌برداری ساختمان بعد از اقدامات اصلاحی	Crisp				Fuzzy											
						S			O			D			FRPN		
		S	O	D	RPN	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	سرخوردگی	3	5	5	75	2	3	10	4	5	6	4	5	6	32	75	360
2	افتادن از پله‌ها	5	4	5	100	4	5	10	3	4	5	4	5	6	48	100	300
3	نشت گاز	10	2	1	20	9	10	10	1	2	3	1	1	2	9	20	60
4	برق‌گرفتگی	10	2	4	80	9	10	10	1	2	3	3	4	5	27	80	150
5	حریق	10	3	2	60	9	10	10	2	3	4	1	2	3	18	60	120
6	برخورد با اجسام برنده و تیز	6	2	1	12	5	6	7	1	2	3	1	1	2	5	12	42
	میانگین				58										23	58	172

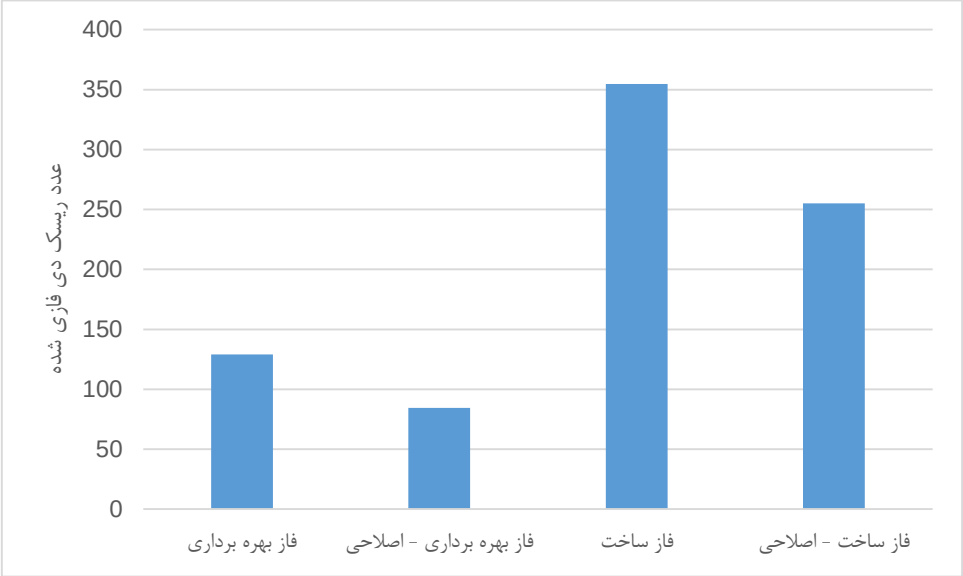
(منبع: یافته های پژوهش)

با توجه به تحلیل و مقایسه داده‌های به دست آمده، وضعیت ریسک در فازهای ساخت و بهره‌برداری پروژه‌های عمرانی قبل و پس از اعمال اقدامات اصلاحی در محیط کلاسیک، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که حتی پس از اجرای اصلاحات، میزان ریسک مرتبط با فاز ساخت نسبت به فاز بهره‌برداری به طور قابل توجهی بالاتر است، به گونه‌ای که ریسک موجود در فاز ساخت تقریباً سه تا چهار برابر فاز بهره‌برداری ارزیابی شده است. این تفاوت قابل ملاحظه در سطح ریسک، بیانگر پیچیدگی‌ها و چالش‌های ایمنی موجود در فاز ساخت است که علیرغم اقدامات بهبودیافته، همچنان به عنوان یک دغدغه اساسی در صنعت عمران باقی می‌ماند.



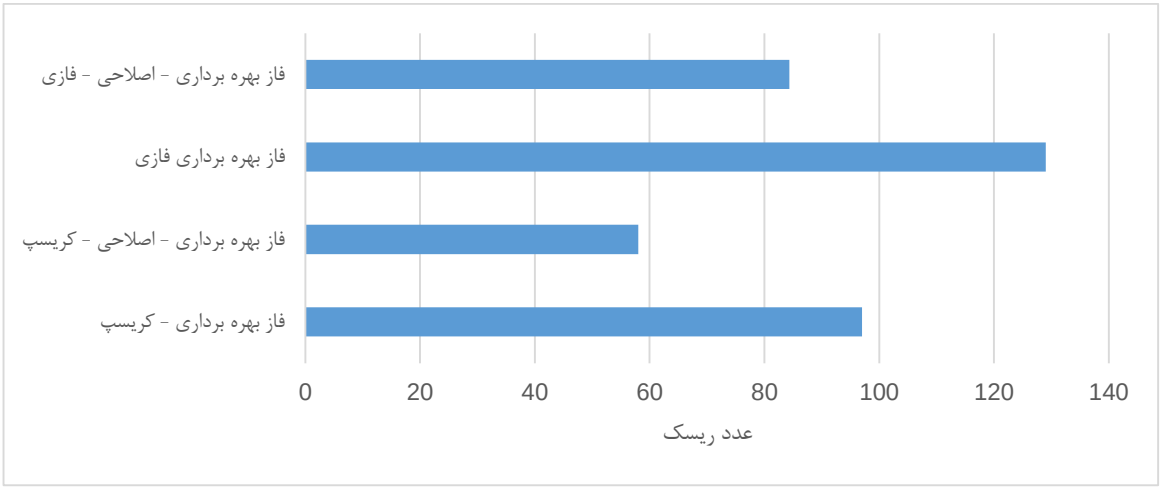
شکل ۳- مقایسه عدد ریسک فازهای ساخت و بهره‌برداری بعد و قبل از اقدامات اصلاحی در محیط کریسپ (منبع: یافته های پژوهش)

در تحلیل محیط فازی، مشاهدات مشابهی به دست آمده است؛ ارزش‌های فازی مربوط به مرحله ساخت، قبل و پس از اعمال اصلاحات، به طور قابل توجهی از آنچه در مرحله بهره‌برداری مشاهده می‌شود، بالاتر است. این وضعیت، با توجه به بنیادی بودن تفاوت‌ها در ماهیت کار و نیز افزایش چشمگیر تراکم فعالیت‌ها در فاز ساخت نسبت به فاز بهره‌برداری، کاملاً منطقی و قابل انتظار است. این تفاوت نشان‌دهنده پیچیدگی‌ها و چالش‌های بیشتر موجود در مرحله ساخت است، که تأکید بر اهمیت اتخاذ رویکردهای مدیریتی و ایمنی متناسب با این شرایط خاص را ضروری می‌سازد.

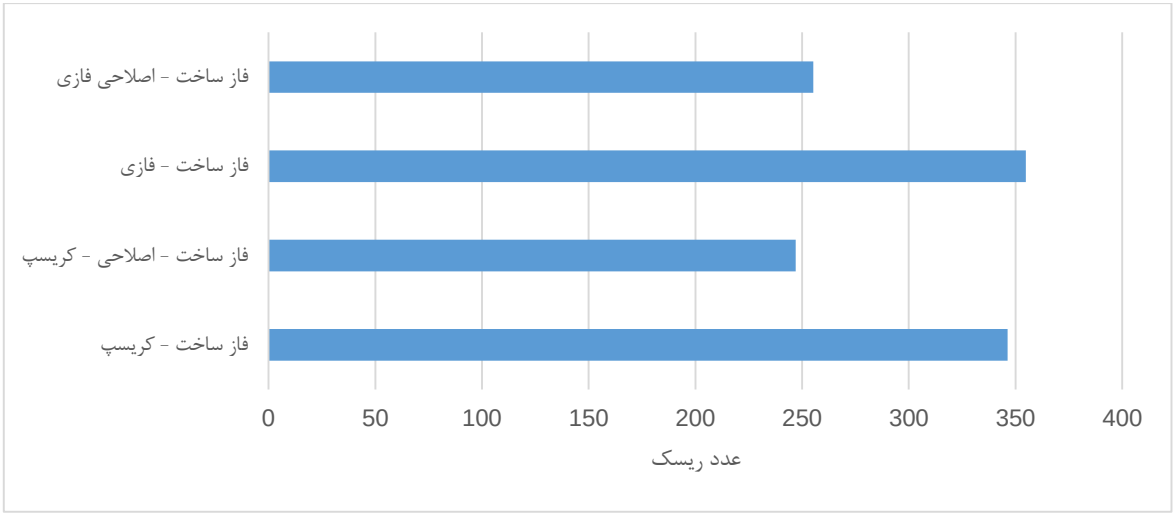


شکل ۴- مقایسه عدد ریسک فازهای ساخت و بهره‌برداری بعد و قبل از اقدامات اصلاحی در محیط فازی (منبع: یافته های پژوهش)

در این بخش، تحلیلی عمیق بر روی داده‌های به دست آمده از فاز بهره‌برداری، قبل و بعد از اجرای توصیه‌های اصلاحی، در محیط‌های کلاسیک و فازی انجام شده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که در محیط فازی، محاسبات ریسک با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و خطاهای احتمالی انسانی، تمایل به ارائه یک سطح بالاتر از ریسک دارند. این امر به ویژه در فاز بهره‌برداری قابل ملاحظه است، که در آن انتقال به حالت فازی، نسبت به محیط کلاسیک، افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. این افزایش قابل توجه احتمالاً ناشی از تعداد کمتر شاخص‌های تأثیرگذار در این فاز، در مقایسه با فاز ساخت است. این مقایسه تأکید می‌کند بر اهمیت اعمال یک رویکرد فازی در تحلیل ریسک‌ها، که به طور موثری عدم قطعیت‌ها و خطاهای انسانی را در نظر می‌گیرد، و ارائه دیدگاهی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر در مورد سطوح ریسک موجود در فاز بهره‌برداری پروژه‌های عمرانی ارائه می دهد.



شکل ۵- مقایسه عدد ریسک فاز بهره‌برداری در محیط‌های کریسپ و فازی (منبع: یافته های پژوهش)



شکل ۶- مقایسه عدد ریسک فاز ساخت در محیط‌های کریسپ و فازی (منبع: یافته های پژوهش)

بر اساس تجزیه و تحلیل دقیق داده‌های بدست آمده از این پژوهش، می‌توان استنباط کرد که حوادثی نظیر ریزش ساختمان‌های مجاور بر کارگران، ریزش‌های مربوط به پروژه‌های تخریب و بازسازی که عمدتاً ناشی از رویه‌های تخریب غیر استاندارد هستند، به همراه حوادث ناشی از عملیات جوشکاری و سقوط تجهیزات نظیر داربست‌ها، بالابرها، و جرثقیل‌ها، به عنوان بیشترین و خطرناک‌ترین حوادث شغلی در بخش ساختمان‌سازی این منطقه مشخص شده‌اند. در نتیجه، اهمیت فوق‌العاده‌ای وجود دارد که توجه و مداخلات ویژه‌ای به این چهار دسته حادثه اصلی معطوف شود تا از این طریق، امکان کنترل و کاهش خسارات ناشی از چنین حوادثی فراهم آید.

این تحلیل نشان‌دهنده ضرورت اتخاذ راهبردهای جامع و عملیاتی در جهت مدیریت ریسک و افزایش ایمنی در محیط‌های کاری مرتبط با صنعت ساختمان است. بدین منظور، پیشنهاد می‌شود که اقدامات پیشگیرانه، از جمله استانداردسازی فرآیندهای تخریب، ارتقاء فنون ایمنی جوشکاری، تقویت ساختار و استحکام داربست‌ها، بالابرها و جرثقیل‌ها، به عنوان بخشی از رویکردهای اصلاحی در دستور کار قرار گیرند. از طریق اجرای دقیق و فراگیر این تدابیر، می‌توان به میزان قابل توجهی در کاهش وقوع حوادث شغلی خطرناک و به تبع آن، کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از این حوادث در صنعت ساختمان سازی این منطقه موفق عمل کرد.

۴-نتیجه گیری

در مطالعه حاضر از طریق تحلیل دقیق و عمیق نظرات تخصصی کارشناسان و مدیران پروژه‌های عمرانی در سطوح مدیریتی شهرداری تهران، به ارزیابی و تحلیل وضعیت ریسک حوادث شغلی در دو فاز کلیدی ساخت و بهره‌برداری از پروژه‌های عمرانی پرداخته شد. در این راستا، با استفاده از یک چارچوب ارزیابی شامل دوازده پارامتر و شاخص برای فاز ساخت و شش شاخص برای فاز بهره‌برداری، یک تحلیل جامع و فراگیر انجام گرفته است. نظر به اینکه فاز ساخت به واسطه گستردگی فعالیت‌ها و خدمات ارائه‌شده، دارای پیچیدگی و تنوع بیشتری نسبت به فاز بهره‌برداری است، تعداد موارد مورد بررسی در این فاز به طور قابل توجهی بیشتر می‌باشد. مدل پیشنهادی در این تحقیق شامل محاسبات دقیق در محیط‌های کلاسیک و فازی است، که در آن با در نظر گرفتن خطاهای انسانی در تصمیم‌گیری‌ها و ارزیابی‌ها، و همچنین با اعمال عدم قطعیت در محاسبات، اقدام به ارزیابی وضعیت ریسک شده است.

میانگین حوادث شغلی در صنعت ساختمان در فاز ساخت به ۳۴۶ مورد رسیده، در حالی که این رقم در فاز بهره‌برداری به ۹۷ مورد کاهش یافته است. علاوه بر این، میانگین ارزش‌های فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها در فازهای ساخت و بهره‌برداری به ترتیب به ۳۵۵ و ۱۲۹ رسیده است. بر مبنای توصیه‌های صادر شده از سوی کارشناسان و متخصصین حوزه، پنج راهبرد اصلاحی شناسایی شده‌اند که شامل: انجام بازرسی‌ها و نظارت‌های منظم دولتی و خصوصی بر پروژه‌های عمرانی، تقویت و نصب تابلوهای ایمنی و ارتقای سطح آگاهی کارکنان در محیط‌های کارگاهی دارای ریسک بالا، برگزاری دوره‌های آموزشی مختص کارفرمایان، پیمانکاران و کارکنان، و افزایش میزان جرائم مرتبط با حوادث شغلی به منظور ایجاد یک مکانیزم بازدارنده و تنبیهی می‌باشند. در پی اجرای این اقدامات اصلاحی، شاهد تغییرات قابل توجهی در مقادیر عددی مربوط به فاز ساخت و بهره‌برداری بوده‌ایم، به طوری که ارزش‌های محاسبه شده در محیط

کلاسیک برای فاز ساخت به ۲۴۷ و در محیط فازی به ۲۵۵ رسیده، و این ارزش‌ها برای فاز بهره‌برداری در محیط کلاسیک به ۵۸ و در محیط فازی به ۸۴ کاهش یافته‌اند.

بر اساس داده‌های به دست آمده از پرسشنامه‌ها و تحلیل‌های انجام شده، مشخص گردیده است که حوادثی نظیر ریزش ساختمان‌های مجاور بر روی کارگران، ریزش بناها در طی فعالیت‌های تخریب و بازسازی ناشی از رویه‌های تخریب غیرمعیاری، و سقوط افراد به دلیل عملیات جوشکاری ناکافی و ریزش سازه‌های حمایتی نظیر داربست‌ها، بالابرها و جرثقیل‌ها، به عنوان خطرآفرین‌ترین و پرتکرارترین حوادث شغلی در صنعت ساخت‌وساز این منطقه معرفی شده‌اند. از این رو، اهمیت ویژه‌ای به متمرکز سازی تلاش‌ها بر روی این چهار نوع حادثه اصلی می‌باشد تا با کنترل و کاهش خسارت‌های ناشی از این وقایع، امکان افزایش به سزایی ایمنی در محیط‌های کارگاهی فراهم آید.

۵-مراجع

1. Ghanbari, M., H. Ashtarian, and H. Yarmohammadi, *An investigation of the frequency of the occupational accident in Kermanshah, Iran (2009-2013).* Annals of Tropical Medicine and Public Health, 2017. **10** (5). DOI:10.4103/ATMPH.ATMPH_114_17

۲. اجتماعی، س.ب.ت. آمار حوادث ناشی از کار ثبت شده توسط وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی (اداره کل بازرسی کار). ۱۳۹۷; Available from https://bazresikar.mcls.gov.ir/ icm_content/media/image/2018/11/233758_orig. pdf

3. Koehn, E.E. and N.K. Datta, *Quality, environmental, and health and safety management systems for construction engineering.* Journal of Construction Engineering and Management, 2003. **129**(5): p. 562-569. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:5(562)

۴. سیاح پور، ح. م. عبدالهی زاده، بررسی ایمنی و سلامت شغلی در صنعت ساختمان از دیدگاه OSHA و مقایسه با وضعیت موجود، دومین همایش ملی ایمنی ساختمان. ۱۳۸۹.

۵. سجادیان، م.، عملکرد شهرداری بر تامین ایمنی در عملیات تخریب و خاکبرداری ساختمان های شهری، هشتمین کنفرانس ملی فناوری های نوین در مهندسی عمران ، معماری و شهر سازی. ۱۴۰۱.

۶. فتاحی، م.، بررسی لزوم استفاده از HSE (سلامت ، ایمنی ، زیست محیط) در کاهش خطرات ساخت ساختمانها (با تاکید بر موازین مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان)، دومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب. ۱۴۰۱.

۷. همتی گل سفیدی، ع.ر.، م. دادرس، ع.ر. راسخی صحنه، بررسی و رتبه بندی الزامات ایمنی در تخریب ساختمان های فرسوده و ارائه راهکارهای بهبود (مطالعه موردی: شهر قشم)، نهمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه علوم جغرافیا، معماری و شهرسازی ایران. ۱۴۰۱.

۸. فرخی زاده، س. م. باقری، ارتقاءعملکرد و فرهنگ ایمنی در کارگران، برای جلوگیری خطرات موجود در صنعت ساختمان، هفتمین کنفرانس جامع مدیریت بحران و HSE. 1401.

۹. احترامی، ا.، ارزیابی تاثیر نظارت و اجبار به رعایت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) از سوی شهرداری ها در عملیات ساختمان سازی، پنجمین کنفرانس بین المللی و ششمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری. ۱۴۰۲.

۱۰. امیریان فر، ا.و. م. روانشادنیا، ارزیابی ریسک های موجود در عملیات تخریب ساختمان ها با استفاده از روش تحلیل ایمنی شغلی (JSA) و ارائه راهکارهای کاهش اثرات آن، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری. ۱۳۹۳.

۱۱. شاه آبادی، م.ح.، م.ر. فتحی، م.ح. ملکی، ارایه چارچوبی با در نظر گرفتن ملاحظات بهداشت، ایمنی و محیط زیست در تخریب ساختمان ها با استفاده از FAHP (مطالعه موردی: سعادت آباد تهران). ۱۳۹۷، مجله انسان و محیط زیست، دوره: ۱۶، شماره: ۳

۱۲. امین زاده، ر. و همکاران، شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک های ایمنی در صنعت ساختمان با روشهای تصمیمگیری چند معیاره (MCDM) در محیط های فازی (مطالعه موردی: پروژه های ساختمانی شهر شیراز). ۱۴۰۱، فصلنامه مدیریت کسب و کارهای دانش بنیان، دوره: ۳، شماره: ۴

۱۳. علیمحمدی، ا.، شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر افزایش ایمنی در حین اجرای ساختمان های بلندمرتبه، دهمین کنفرانس مطالعات و تحقیقات نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرآینده. ۱۴۰۲.

14. Yousefinezhadi, T., et al., *A case study on improving intensive care unit (ICU) services reliability: by using process failure mode and effects analysis (PFMEA).* Global journal of health science, 2016. **8**(9): p. 207. doi: 10.5539/gjhs.v8n9p207
15. Chiozza, M.L. and C. Ponzetti, *FMEA: a model for reducing medical errors.* Clinica Chimica Acta, 2009. **404**(1): p. 75-78. https://doi.org/10.1016/j.cca.2009.03.015
16. McDermott, R., R.J. Mikulak, and M. Beauregard, *The basics of FMEA*. 1996: SteinerBooks.
17. Zeng, J., M. An, and N.J. Smith, *Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment.* International Journal of Project Management, 2007. **25**(6): p. 589-600. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.02.006
18. Chang, D.-Y., *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*. European journal of operational research, 1996. **95**(3): p. 649-655. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2
19. Tamošaitienė, J., E.K. Zavadskas, and Z. Turskis, *Multi-criteria Risk Assessment of a Construction Project.* Procedia Computer Science, 2013. **17**(0): p. 129-133. https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.018
20. Abbasgholizadeh Rahimi, S., et al., *Using Fuzzy Cost-Based FMEA, GRA and Profitability Theory for Minimizing Failures at a Healthcare Diagnosis Service.* Quality and Reliability Engineering International, 2015. **31**(4): p 601-615. https://doi.org/10.1002/qre.1619
21. Fattahi, R. and M. Khalilzadeh, *Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment.* Safety science, 2018. **102**: p. 290-300. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.018
22. Pinto, A., I.L. Nunes, and R.A. Ribeiro, *Occupational risk assessment in construction industry–Overview and reflection.* Safety science, 2011. **49**(5): p. 616-624. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.003