ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از ترکیب روش‌های فازی FMEA، فازی FTA و AHP-DEA

عبدالله اردشیر[۱]، مهران امیری[۲]، مهدی مهاجری[۳]

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۹/۲۴ تاریخ ویرایش: ۹۲/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۴/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: صنعت ساخت‌وساز یکی از خطرناک‌ترین صنایع از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده است. از این رو ارزیابی ریسک‌های ایمنی، یک گام کلیدی و اساسی است که در مدیریت پروژه‌های بزرگ ساختمانی باید انجام شود.

روش بررسی: تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست (FMEA) به عنوان یکی از مفیدترین ابزارهای ارزیابی ریسک برای کاهش پتانسیل شکست در سیستم، فرآیندها، طرح‌ها و خدمات است و در گستره وسیعی از صنایع مورد استفاده قرارگرفته است. هدف از این تحقیق استفاده از ترکیب منطق فازی و روش‌های FMEA، FTA، AHP-DEA برای ارزیابی ریسک ایمنی در صنعت انبوه‌سازی ساختمان است.

یافته‌ها: در مطالعه موردی، دو نوع مختلف از پروژه‌های انبوه‌سازی، جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی بررسی گردید. طبق نتایج بدست آمده، ریسک‌های سقوط از ارتفاع در هر دو پروژه به عنوان مهم‌ترین ریسک شناخته شدند و استراتژی‌های کاهش ریسک و اقدامات لازم جهت پیشگیری و کاهش عوامل خطر ارائه گردید.

نتیجه گیری: رتبه بندی ریسک‌ها و مهم‌ترین آنان در تحقیق حاضر با تحقیقات پیشین و همچنین گزارش سازمان تأمین اجتماعی کشور هم‌سویی قابل قبولی دارد و علل ریشه‌ای وقوع ریسک‌های عمده نیز با مطالعات مشابه هم‌خوانی دارد. از سوی دیگر اعتبار یافته‌های تحقیق توسط گروه ارزیابی ریسک مورد تایید قرار گرفت. لذا این مدل (با در نظر گرفتن وضعیت موجود ایمنی) می‌تواند به متخصصین ایمنی کارگاه‌های ساختمانی جهت شناسایی ریسک‌ها، شناسایی علل ریشه‌ای ریسک‌ها و ارائه ابزارهای دقیق کنترل ریسک‌ها کمک نماید.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک ایمنی، انبوه‌سازی ساختمان، منطق فازی، تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست (FMEA)، آنالیز درخت خطا (FTA)، AHP-DEA

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز یکی از خطرناک‌ترین صنایع از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده است. در این صنعت صدمات منجر به فوت، آسیب‌های جدی شغلی و زمان از دست رفته کار با توجه به طبیعت منحصر به فرد آن رخ می‌دهد [۱]. تغییرات مستمر محیط کار، استفاده از منابع و ابزارهای مختلف، شرایط کاری نامناسب، اشتغال ناپایدار و همچنین محیط‌های نامناسب کاری از جمله خصوصیات صنعت ساختمان است که موجب وقوع حوادث می‌گردد [۲]. از این رو مدیریت ریسک‌های ایمنی، از جمله مهم‌ترین اقداماتی است که در پروژه‌های بزرگ ساختمانی باید انجام شود. هدف مدیریت ریسک شناسایی منشا ریسک‌ها و عدم‌قطعیت‌ها، اثرات آن‌ها و ارایه پاسخ مدیریتی مناسب به این ریسک‌ها است [۳]. مدیریت ریسک موثر شامل چهار فرایند شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک، پاسخ به ریسک و بررسی و نظارت بر ریسک می‌باشد. هدف از این فرایندها به حداقل رساندن اثرات ریسک‌ها روی اهداف پروژه با حذف یا تسهیم ریسک‌ها است [۴].

در طول دهه گذشته، محققان زیادی تکنیک‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل ریسک در صنعت ساخت‌وساز پیشنهاد داده‌اند. در میان این تکنیک‌ها تجزیه و تحلیل اثرات و حالات شکست (Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) به دلیل در نظر گرفتن احتمال شناسایی ریسک (Detection) از

۱- (نویسنده مسئول) رئیس پژوهشکده محیط زیست، دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. ardeshir@aut.ac.ir
۲- دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

دقت و درستی بیشتری نسبت به مدل سنتی ارزیابی ریسک برخوردار می‌باشد و لذا در صنعت ساخت‌وساز نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۵،۶]. از سوی دیگر به منظور برطرف نمودن کاستی‌های موجود در محاسبات مرتبط با روش FMEA [۶-۹]، و همچنین مدل س ازی عدم‌قطعیت مرتبط با واژه‌های زبانی (در اخذ نظرات متخصصین) در این مطالعه از منطق فازی بهره گرفته شد. از طرفی برای ارزیابی ریشه‌ای علل وقوع حوادث و امکان تشخیص آن‌ها و دقت بیشتر در محاسبه احتمال وقوع و کنترل ریسک‌ها (نسبت به پرسش آن به صورت یک سوال کلی از متخصص) خصوصاً در صورت عدم وجود داده‌های آماری دقیق، از روش آنالیز درخت خطا (FTA[1]) استفاده شد. شدت اثر ریسک نیز با شناسایی و محاسبه وزن معیارهای مرتبط با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) انجام شد تا از قضاوت کلی (با پرسش تنها یک سوال کلی) جلوگیری گردد. در سال ۲۰۱۰ عبدالگواد و همکاران با استفاده از ترکیب روش‌های FMEA فازی و AHP فازی مدلی برای مدیریت ریسک در صنعت ساخت‌وساز ارائه نمودند[۶]، لیکن در این تحقیق به دلیل محدودیت‌های موجود در روش AHP (که در بخش AHP-DEA بیان می‌شود) از رویکرد AHP-DEA[3] استفاده شده است.

روش پیشنهادی در این تحقیق نسبت به مدل‌های ترکیبی دیگر نظیر [۶،۷و۱۰] دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشد: ۱- روش FMEA ما را قادر می‌سازد تا وضعیت موجود ایمنی کارگاه (احتمال کنترل ریسک) را نیز در ارزیابی مدنظر قرار داده و نتایج واقع بینانه تری بدست آوریم. ۲- با بهره گیری از محاسبات فازی FMEA ارزیابی ریسک‌ها با دقت بسیار بیشتری انجام می‌شود. ۳- علل ریشه‌ای هر ریسک به شکل دیداری ارایه می‌شوند و منطق پنهان وقوع هر ریسک شناسایی می‌گردد. ۴- استراتژی‌های پاسخ به ریسک در مراحل اولیه و قبل از وقوع ریسک‌ها، طراحی و برای کنترل علل ریشه‌ای بکار گرفته می‌شوند. ۵- با پرسیدن احتمال وقوع و تشخیص هر رویداد پایه (از طریق پرسشنامه) و بهره گیری از محاسبات درخت خطا، احتمال وقوع و تشخیص هر رویداد اصلی با دقت بیشتری (نسبت به روش عمومی) تعیین می‌گردد. ۶- شدت اثر هر ریسک نیز (با در نظر گرفتن معیارهای جانی، مالی، زمانی و زیست محیطی) به صورت دقیق‌تری محاسبه می‌شود. ۷- در مواقع عدم وجود داده‌های دقیق، از واژه‌های زبانی جهت بهره گیری از تجارب متخصصین استفاده می‌شود.

هدف از این مطالعه ارایه روشی جهت ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از ترکیب منطق فازی و روش‌های FMEA، AHP-DEA، FTA است تا به کمک آن بتوان به بررسی ریشه‌ای و واقع بینانه ریسک‌ها و علل وقوع آنان پرداخت و راهکارهای مناسبی جهت کاهش این ریسک‌ها ارایه نمود.

روش بررسی

استفاده از تئوری فازی در ارزیابی ریسک: استفاده از تئوری فازی به دلیل وجود عدم‌قطعیت در مفهوم مدیریت ریسک به طور گسترده در زمینه تحقیقاتی مدیریت ساخت‌وساز به کار گرفته شده است. با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، داده‌ها می‌توانند به شکل مبهم و عبارات زبانی مانند احتمال کم، اثر شدید یا ریسک بالا تعریف شوند. این عبارات را نمی‌توان به شکل معناداری با یک عدد نشان داد اما تئوری مجموعه‌های فازی ابزاری را فراهم می‌کند که می‌توان این عبارت‌ها را با منطق ریاضی تعریف کرد [۱۱].

تئوری‌های فازی: تئوری مجموعه‌های فازی را پروفسور لطفی زاده مطرح کرد. این تئوری در شرایط ابهام و عدم اطمینان کاربرد دارد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و عبارات نادقیق را با زبان ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۱۲]. انواع مختلفی از توابع عضویت فازی وجود دارد که

1. Fault Tree Analysis
2. Analytical Hierarchy Process
3. Data Envelopment Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

می‌توان به توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسین اشاره کرد [۱۳]. به منظور تسهیل در محاسبات فازی، اعداد فازی ذوزنقه‌ای به نمایندگی از متغیر زبانی در این مطالعه ترجیح داده شده است. برای عدد فازی ذوزنقه‌ای A به صورت (a_1, a_2, a_3, a_4)، تابع عضویت $\mu_D(x)$ به شکل ۱ تعریف می‌شود [۱۴].

$$\mu_D(x) = \begin{cases} ۰ & ; x \le a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & ; a_1 < x \le a_2 \\ ۱ & ; a_2 < x \le a_3 \\ \frac{x-a_4}{a_3-a_4}, & ; a_3 < x \le a_4 \\ ۰ & ; x > a_4 \end{cases} \quad (۱)$$

مقاطع آلفا در مجموعه‌های فازی(cutsα-): انتقال اعداد فازی به مقاطع α و انجام عملیات روی بازه‌ها روش بسیار مناسبی است. برای اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت (a_1, a_2, a_3, a_4)، کران بالا و کران پایین در هر سطح cutsα– به ترتیب از معادله (۲) و (۳) بدست می‌آید [۱۵].

(۲) Upper Bound= $a_1 + (a_2 - a_1) * \alpha$

(۳) Lower Bound= $a_4 - (a_4 - a_3) * \alpha$

اگر A و B دو مجموعه فازی نشان داده شده از بازه α باشد و اگر $A=[a_1, d_1]$ و $B=[a_2, d_2]$ آنگاه $\alpha_A * \alpha_B$ به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۱۵].

(٤) $\alpha_{(A*B)} = \alpha_A * \alpha_B = [\min(a_1 * a_2, a_1 * d_2, d_1 * a_2, d_1 * d_2), \max(a_1 * a_2, a_1 * d_2, d_1 * a_2, d_1 * d_2)]$

فازی زدایی: برای تبدیل اعداد فازی ذوزنقه به اعداد کریسپ، فازی زدایی نیاز است. برای فازی زدایی اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت $m = \{a, b, c, d\}$ از رابطه (۵) استفاده می‌شود [۱۶].

$$(٥)\ M = \frac{(a + 2(b+c) + d)}{6}$$

روش FMEA: آنالیز اثرات و حالات شکست (FMEA) یکی از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل ریسک می‌باشد که توسط استانداردهای بین‌المللی مانند (MIL-STD-1629A 1980) پذیرفته شده است. این روش ابتدا در سال ۱۹۶۰ در رشته هوافضا برای آنالیز ایمنی هواپیما استفاده شد [۱۷]. از آنجا که در روش FMEA، احتمال کنترل ریسک نیز مدنظر قرار می‌گیرد و لذا در بحث ایمنی کارگاهی می‌توان وضعیت موجود ایمنی کارگاه را نیز در ارزیابی دخالت داد، به عنوان روش ارزیابی ریسک این مقاله انتخاب شده است. رویکرد فازی FMEA ابزاری فراهم می‌کند که به وسیله آن می‌توان با مفاهیم مبهم و اطلاعات نادقیق، با روش بهتری به نتیجه دست یافت. زمانی که رابطه میان معیارهای موجود دارای عدم‌قطعیت است و یا رابطه میان آن‌ها را نمی‌توان به صراحت بیان کرد، استفاده از تئوری فازی مفید است [۱۸].

روش FTA: روش آنالیز درخت خطا (FTA) ابتدا در سال ۱۹۶۱–۱۹۶۰ در آزمایشگاه‌های تلفن بل به وجود آمد و سپس توسط شرکت بویینگ[4] برای ارزیابی ریسک ایمنی تصحیح شد. از سال ۱۹۶۵ استفاده از روش FTA به صنایع مختلف نظیر هوافضا، هسته‌ای، شیمیایی و غیره گسترش یافت و از آن به طور گسترده جهت تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها استفاده شد. این روش بارها برای آنالیز حوادث، شناسایی ارتباط بین علت حوادث و منطق آن‌ها استفاده شده است. ترسیم و استفاده از درخت خطا به علت آنکه تحلیلگر را مجبور به تفکر صحیح که چگونه سیستم ممکن است دچار مشکل شود می‌کند، بسیار مفید است [۱۹]. از سوی دیگر با بررسی علل ریشه‌ای وقوع حوادث، راهکارهای بهتری برای کاهش ریسک قابل

4. Boeing

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

توصیه هستند. همچنین احتمال رویداد اصلی (ریسک اصلی) با دقت بیشتری نسبت به پرسیدن یک سوال به صورت کلی، محاسبه می‌شود.

الگوریتم فازی درخت خطا (FFTA[5]) برای محاسبه احتمال وقوع فازی از رویدادهای ریسک و شناسایی استراتژی کاهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنالیز درخت خطا برای شناسایی علل پایه‌ای ریسک و ارزیابی احتمال رویداد اصلی (Top Event) استفاده می‌شود. احتمال رویداد اصلی می‌تواند به وسیله احتمال رویداد پایه از طریق درخت بدست بیاید. هر کدام از رویدادهای پایه با یک دروازه منطقی به رویداد اصلی متصل هستند. در این روش دروازه‌های میانه برای احتمال رویداد ("و" و "یا") به کار برده می‌شوند. احتمال رویداد فازی درخت خطا بر اساس مفهوم cutα- برای دروازه "و" از معادله ۶ و برای دروازه "یا" از رابطه ۷ بدست می‌آید [۱۵].

$$(٦)\ \mathrm{FPro}_T\,(\text{top event})^{\alpha} = \{\prod_{i=1}^{s}[(a_i+(b_i-a_i)\alpha)],\ \prod_{i=1}^{s}[(d_i-(d_i-c_i)\alpha)]\}$$

$$(٧)\ \mathrm{FPro}_T\,(\text{top event})^{\alpha} = \{1-\prod_{i=1}^{n}[1-(a_i+(b_i-a_i)\alpha)],\ 1-\prod_{i=1}^{n}[1-(d_i-(d_i-c_i)\alpha)]\}$$

AHP-DEA: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این روش تصمیم گیری چند معیاره است که امکان ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را دارد[۲۰]. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده است. برای N گزینه تصمیم‌گیری، ماتریس مقایسه زوجی با توجه به هر معیار، وقتی که تعداد گزینه‌های تصمیم بسیار زیاد باشد حجم زیادی مقایسه برای کارشناسان ایجاد می‌کند. برای حل این مشکل، ترکیب روش AHP با روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) پیشنهاد می‌شود. روش تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی است که ارزیابی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری با بازه نسبی است این رویکرد توسط چارنز و همکاران پیشنهاد شد [۲۱]. در زیر به طور خلاصه محاسبات روش DEA شرح داده شده است.

برای هر یک از معیارها، مجموعه‌ای از درجه‌های ارزیابی طبق رابطه (۸) معرفی می‌شود.

$$(٨)\ G=\{H_{J1},\ldots\ H_{JK}\} \qquad j=1,\ldots,m$$

در آن مجموعه H_{J1} تا H_{JK} به نمایندگی از پر اهمیت‌ترین تا کم اهمیت‌ترین نمرات ارزیابی برای معیار j می‌باشد و k_j هم تعداد نمرات ارزیابی برای هر معیار می‌باشد. این تعریف اجازه می‌دهد تا برای معیارهای مختلف با استفاده از تعداد متفاوت نمرات، ارزیابی انجام شود. همچنین انعطاف‌پذیری برای درجه بندی زبانی را فراهم می‌کند. پس فرض می‌شود که j معیار توسط Nj کارشناس ارزیابی خواهد شد. نتایج را می‌توان با بردار ارزیابی توزیع رابطه (۹) مشخص کرد [۲۱]:

$$(٩)\ R(C_j(A_i))=\{(H_{j1},NE_{IJ1}),\ldots,(H_{JK_J},NE_{IJK_J})\},\quad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m,$$

که NE_{ijk} تعداد کارشناسان که به گزینه ریسک Aj درجه H_{JK} تحت معیار j دادند، می‌باشد. سپس وزن محلی از هر گزینه با هر معیار توسط رابطه (۱۰) تعیین می‌شود [۲۱].

$$(١٠)\ v_{ij}=\sum_{k=1}^{k=j} s(H_{JK})NE_{ijk},\quad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m$$

در این روش ابتدا ماکزیمم سازی α از هر متغیر تصمیم‌گیری با توجه به نتایج نظر سنجی، بدست آمده و سپس با توجه به رابطه (۱۱)، متغیر تصمیم‌گیری $s(H_{JK})$ از درجه H_{JK}، بدست آورده می‌شود.

[5]. Fuzzy Fault Tree Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

$$\alpha \le v_{ij} = \sum_{k=1}^{k=j} s(H_{JK}) NE_{ijk} \le 1, i=1,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

$$s(H_{J1}) \ge 2s(H_{J2}) \ge \ldots \ge k_j s(H_{Jkj}) \ge 0$$

در رابطه ، $s(H_{J1})$; ....; $s(H_{Jkj})$ متغیرهای تصمیم‌گیری هستند. در نهایت با داشتن متغیر $s(H_{JK})$ برای هر معیار، وزن محلی برای هر یک از گزینه‌ها توسط معادله (۱۰) بدست خواهد آمد [۲۱].

مطالعه موردی

جهت صحت‌سنجی روش پیشنهادی در دامنه انبوه‌سازی پروژه‌های ساختمانی، دو مجموعه از کارگاه‌های ساختمانی انبوه‌سازی در حال اجرا در شهر کرمان انتخاب شد. کارگران این کارگاه‌های ساختمانی عموماً بومی استان بوده و همه آن‌ها حداقل از تحصیلات ابتدایی برخوردار بودند. این دو پروژه از نظر مدیریت و پیمانکار با هم تفاوت زیادی داشتند.

اطلاعات پروژه‌ها: پروژه اول مربوط به مجموعه اداری در شش طبقه با مساحت ۲۴هزار و ۳۰۰ متر مربع در حال اجرا بود. پروژه دوم مربوط به پروژه‌های مسکونی انبوه‌سازی (هزار و دویست واحد) در چهار و پنج طبقه با اسکلت فلزی بود. این پروژه از نظر ایمنی ضعیف‌تر از پروژه اول بود. برخی از نقاط ضعف این پروژه از نظر ایمنی عبارت بودند از: بازشوها در این پروژه به درستی محافظت نشده بودند، همه کارگران از تجهیزات حفاظت شخصی مانند کلاه‌ایمنی استفاده نمی‌کردند و نظارت دقیق و مستمر توسط مهندس ناظر در این پروژه صورت نمی‌گرفت.

شناسایی ریسک: پس از بررسی آمار حوادث در کارگاه‌های ساختمانی، پیشینه تحقیق و مصاحبه با کارشناسان و مدیران ایمنی پروژه‌های انبوه‌سازی، در نهایت ۱۰ ریسک اصلی ایمنی در پروژه‌های انبوه‌سازی شناسایی شدند که شامل ریزش ساختمان مجاور و آوار، سقوط افراد در جوشکاری و نصب اسکلت، سقوط افراد از بازشو های سقف و پرتگاه‌ها، افتادن از داربست، سقوط اشیاء، برق گرفتگی، برخورد (صدمه) با ابزار آلات، برخورد با وسایل نقلیه، انفجار یا آتش‌سوزی و گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء می‌باشند. در این مطالعه، این ۱۰ ریسک مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

پرسشنامه: در این تحقیق به دلیل کمبود آمار و اطلاعات مستند از وضعیت حوادث کارگاه‌های انبوه‌سازی و وضعیت ایمنی در این کارگاه‌ها، به نظر رسید بهترین روش برای کسب چنین اطلاعاتی استفاده از پرسشنامه است. بنابراین پس از تشکیل گروه ارزیابی ریسک (متشکل از ۶ نفر از متخصصین)، پرسشنامه‌ای بر مبنای ریسک‌های ایمنی تهیه گردید.

در این مطالعه از روش روایی محتوا برای اندازه گیری روایی پرسشنامه استفاده شد. از آنجا که روایی محتوا اعتبار بیشتری نسبت به سایر روش‌های ارزیابی روایی دارد از مدل لاوشی [۲۲] برای تعیین روایی محتوا بهره گرفته شد. بدین منظور پرسشنامه در میان اعضای گروه ارزیابی ریسک و تعدادی از اعضای هیئت علمی با سابقه دانشگاه قرار گرفت و از آنان خواسته شده نظر خود را درباره روایی هر یک از سوالات پرسشنامه اعلام نمایند. دامنه نرمال شاخص ارایه شده در مدل لاوشی بین ۱- تا ۱+ می‌باشد که چنانچه نتیجه بزرگ‌تر از صفر باشد، روایی قابل قبول خواهد بود. در این مطالعه روایی هر یک از سوالات پرسشنامه در محدوده قابل قبول بود و همچنین روایی میانگین کل سوالات برابر ۰/۸۲ محاسبه شد. در نهایت پس از اعمال اصلاحات مورد نظر اعضای هیئت علمی و گروه ارزیابی ریسک، پرسشنامه اصلاحی بین عوامل ساخت کارگاه‌های انبوه‌سازی توزیع شد. همچنین برای اندازه گیری پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. دامنه نرمال این ضریب بین ۰ تا ۱ می‌باشد. آلفای نزدیک به یک سازگاری بیشتری از موضوع در نظر گرفته است و مقدار قابل قبول ضریب آلفا بزرگ‌تر از ۰/۷ می‌باشد [۲۳]. در این تحقیق، تعداد ۲۰ پرسشنامه برای مدیران ایمنی و ناظران این پروژه‌ها توزیع و جمع آوری شد که تعداد ۱۸ پرسشنامه مورد قبول واقع شد. از این تعداد، ۸ پرسشنامه مربوط به پروژه اول و ۱۰پرسشنامه مرتبط با

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

پروژه دوم بود. در محاسبات ضریب آلفای کرونباخ برای پرسشنامه مربوط به احتمال وقوع ریسک، مقدار ۰/۸۴ و برای احتمال کنترل ریسک عدد ۰/۹۳ بدست آمد که نشان دهنده پایایی خوب سوالات پرسشنامه بود. لازم به ذکر است در محاسبات برای وزن‌دهی پاسخ‌های افراد، به نسبت سابقه کار هر کارشناس وزن‌دهی به صورت میانگین‌گیری هندسی انجام گرفت که به کارشناسی که سابقه کار بیشتری دارد وزن بیشتری تعلق می‌گیرد.

آنالیز درخت خطا (FTA): با توجه به قابلیت درخت

جدول ۱- سوالات پرسشنامه برای محاسبه احتمال وقوع ریسک ریزش ساختمان مجاور و آوار

فعالیت اصلی	ریسک اصلی	احتمال رخداد مورد نظر(۱) عوامل ایجاد کننده ریسک اصلی (ریسک پایه)	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
حفاری مجاور و آوار	ریسک(۱): ریسک (خطر) ریزش ساختمان	۱-۱- کمبود استانداردها و مقررات ایمنی					
		۱-۲- آگاهی و آموزش ایمنی ضعیف ناظران و مدیران					
		۱-۳- مدیریت و نظارت ضعیف (پیمانکار و ناظر)					
		۱-۴- ریزش ناشی از اشتباه طراحی					
		۱-۵- استاندارد نبودن ساختمان‌های اطراف					
		۱-۶ عدم رعایت صحیح جزئیات اجرایی(خاکبرداری غیر اصولی)					
		۱-۷- وجدان ایمنی ضعیف و بی دقتی کارگران					
		۱-۸- عدم تخصص و آموزش کارگران					
		۱-۹- شرایط جوی نامناسب					

جدول۲- سوالات پرسشنامه برای محاسبه احتمال کنترل ریسک ریزش ساختمان مجاور و آوار

ریسک اصلی	کنترل ریسک ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود (۱)	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ریسک(۱): ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود (ریزش آوار)	۱-۱-:چه مقدر آموزش به کارگران و ترویج ایمنی جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۲- چه مقدار برنامه‌ریزی مناسب فعالیت‌ها جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۳- چه مقدار رعایت مقررات ایمنی و جزییات اجراییجهت کنترل ریزش آوار انجام شده است؟					
	۱-۴- چه مقدار نور محیط کار برای کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار تامین شده است ؟					
	۱-۵-چه مقدار نظارت (توسط پیمانکاران، ناظران و ...) جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام می‌شود؟					
	۱-۶-چه مقدار آگاهی و آموزش ایمنی ناظران و مدیران جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۷-چه مقدار تجهیزات کافی و اقدامات پیشگیری مناسب (حفاظ ابزارها، ماشین آلات، بازشوها و ...) جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۸- چه مقدار استفاده از تجهیزات حفاظت فردی جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۹-چه مقدار علامت گذاری صحیح جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					
	۱-۱۰-چه مقدار چیدمان مناسب (مرتب) کارگاه جهت کنترل ریزش ساختمان مجاور و آوار انجام شده است؟					

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

جدول ۳- تعریف زبانی از احتمال وقوع (P) و احتمال کنترل ریسک (D)

شناسایی/ کنترل(D)	احتمال وقوع(P)	عبارت توصیفی	اعداد فازی
تیم پروژه قادر به کنترل رویداد ریسک، کنترل علل ریشه‌ای و کنترل پیامدها از رویدادهای ریسک نیست.	رویداد مطمئناً اتفاق خواهد افتاد.	خیلی‌زیاد (VH)	(0.40,0.50,1,1)
تیم پروژه با شانس کم شناسایی رویداد ریسک، کنترل علل ریشه‌ای و کنترل پیامدها از رویدادهای ریسک دارد.	رویداد مورد انتظار است اتفاق بیفتد.	زیاد (H)	(0.20,0.20,0.40,0.5)
تیم پروژه با شانس متوسط شناسایی رویداد ریسک، کنترل علل ریشه‌ای و کنترل پیامدهای از رویدادهای ریسک دارد.	رویداد ممکن است اتفاق بیفتد.	متوسط (M)	(0.05,0.10,0.20,0.30)
تیم پروژه با شانس زیاد شناسایی رویداد ریسک، کنترل علل ریشه‌ای و کنترل پیامدهای از رویدادهای ریسک دارد.	رویداد بعید است اتفاق بیفتد.	کم (L)	(0,0.01,0.05,0.10)
تیم پروژه اثر بخشی بالایی در شناسایی رویداد ریسک، کنترل علل ریشه‌ای و کنترل پیامدهای از رویدادهای ریسک دارد.	رویداد خیلی بعید است اتفاق بیفتد.	خیلی‌کم (VL)	(0,0,0.01,0.01)

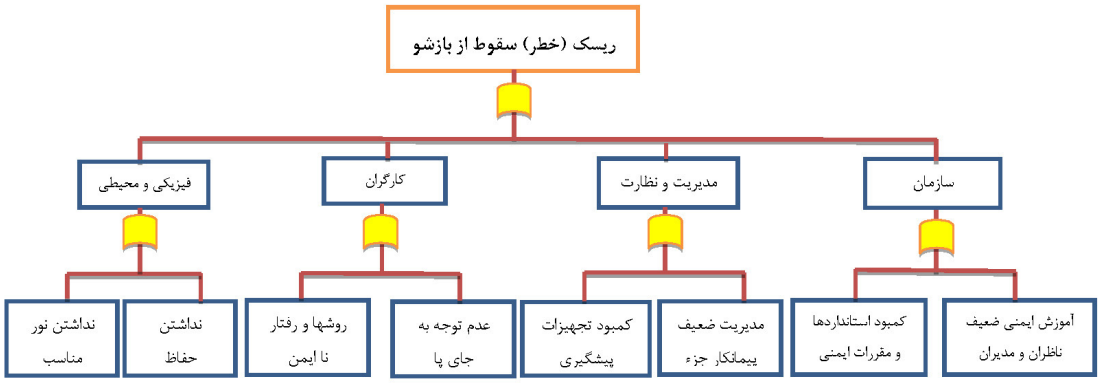
جدول ۴- احتمال رویدادهای اصلی ریسک‌های دو پروژه بر اساس مقاطع آلفا

ریسک‌ها	احتمال رویداد	α=۰	α=۰/۵	α=۱
ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود		[۰/۵۶,۰/۹۵]	[۰/۶۵,۰/۹۴]	[۰/۷۲,۰/۹۳]
سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت		[۰/۷۴,۰/۹۹]	[۰/۸۱,۰/۹۹]	[۰/۸۷,۰/۹۹]
سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات		[۰/۷۵,۰/۹۹]	[۰/۸۲,۰/۹۹]	[۰/۸۸,۰/۹۸]
سقوط از داربست		[۰/۸۴,۰/۹۹]	[۰/۹۰,۰/۹۹]	[۰/۹۴,۰/۹۹]
سقوط اشیاء		[۰/۶۷,۰/۹۸]	[۰/۷۶,۰/۹۷]	[۰/۸۲,۰/۹۶]
برق گرفتگی		[۰/۶۶,۰/۹۸]	[۰/۷۵,۰/۹۷]	[۰/۸۲,۰/۹۵]
برخورد با ابزارآلات		[۰/۶۸,۰/۹۸]	[۰/۷۷,۰ /۹۷]	[۰/۸۴,۰/۹۶]
برخورد با ماشین‌آلات و وسایل نقلیه		[۰/۶۵,۰/۹۷]	[۰/۷۴,۰/۹۶]	[۰/۸۰,۰/۹۵]
انفجار و آتش‌سوزی		[۰/۵۱,۰/۹۴]	[۰/۶۱,۰/۹۲]	[۰/۶۸,۰/۸۸]
گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء		[۰/۶۲,۰/۹۷]	[۰/۷۱,۰/۹۶]	[۰/۷۸,۰/۹۴]

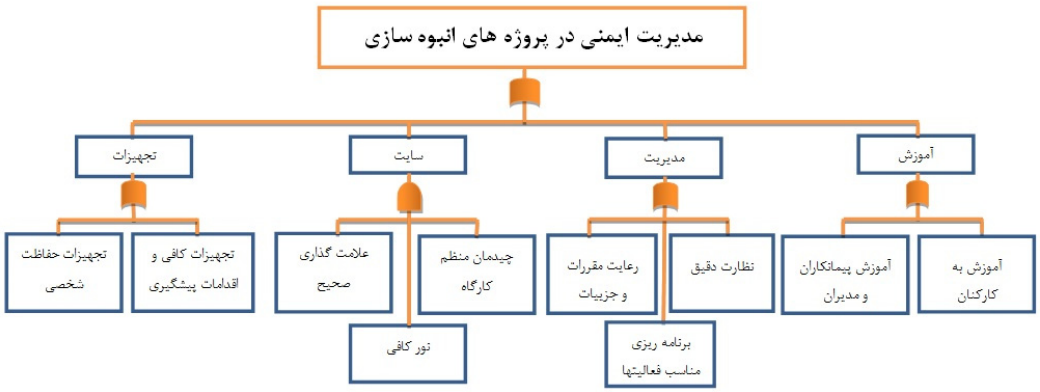
خطا در شناسایی علل وقوع ریسک، درخت خطا برای هر ریسک ترسیم شد. برای ایجاد درخت خطا چندین مصاحبه با کارشناسان ارشد پروژه‌ها و مهندسین ناظر انجام گرفته و رویدادهای پایه و میانی و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از دروازه "و" با نماد ▭ و دروازه "یا" با نماد ▭ انجام شد. از آنالیز درخت خطا در این پروژه جهت محاسبه دو پارامتر احتمال وقوع و احتمال کنترل ریسک‌ها استفاده شد. برای محاسبه احتمال وقوع ریسک از ۱۸ پرسشنامه و محاسبه احتمال کنترل ریسک برای دو پروژه به طور جداگانه از ۸ و ۱۰ پرسشنامه استفاده شد. نمونه‌ای از سوالات پرسشنامه برای محاسبه احتمال وقوع حوادث در جدول ۱ و همچنین برای محاسبه احتمال کنترل ریسک در جدول ۲ ارایه شده‌اند.

محاسبه احتمال وقوع: درخت‌های خطا مربوط به ۱۰ ریسک ایمنی ترسیم شد. برای نمونه درخت خطای ریسک سقوط از بازشوها و پرتگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. با استفاده از افراد خبره در حوزه انبوه‌سازی، مقادیر احتمال وقوع رویدادهای پایه بدست آمد. برای تفسیر اطلاعات جمع آوری شده که در قالب عبارات احتمال وقوع خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد بودند لازم بود تا این عبارات به اعداد فازی تبدیل گردند. این کار با نسبت دادن اعداد فازی ذوزنقه‌ای به واژه‌ای زبانی، انجام گرفت. احتمال وقوع فازی از رویدادهای پایه با استفاده از اصلاحات زبانی در جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آنالیز درخت خطا، احتمال فازی رویداد اصلی بر اساس مقاطع (α-cuts) محاسبه شدند (جدول ۴).

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]



شکل ۱- درخت خطای ریسک سقوط از بازشوها و پرتگاه‌ها



شکل ۲- درخت خطای کنترل ریسک

محاسبه کنترل ریسک: برای بدست آوردن احتمال کنترل ریسک‌ها، عوامل ریشه‌ای ریسک‌ها شناسایی شده و یک درخت خطا برای تمام ریسک‌ها مطابق شکل ۲ ترسیم شد. پس از تشکیل درخت خطا برای هر ریسک، محاسبات فازی درخت خطا مانند قسمت قبل انجام شد. به دلیل اینکه دو پروژه متفاوت ساختمانی در نظر گرفته شده است، احتمال کنترل ریسک برای پروژه اول بر مبنای ۸ پرسشنامه و در پروژه دوم بر مبنای ۱۰ پرسشنامه جداگانه محاسبه می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز درخت خطا برای هر پروژه در جدول ۵ آورده شده است.

محاسبه شدت اثر ریسک: جهت محاسبه وزن شدت اثر ریسک‌ها از روش AHP-DEA استفاده شد. شدت اثر ریسک‌ها بر روی چهار معیار جانی، مالی، زمانی و زیست محیطی در نظر گرفته شده است. با استفاده از دانش خبرگان، مقایسه زوجی معیارها انجام و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) ، معیارهای جانی، مالی، زمانی و زیست محیطی وزن‌دهی شدند که نتایج حاصل از این فرایند اعداد ۰/۷۱۵، ۰/۰۹۲، ۰/۰۴۶، ۰/۱۴۷ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷۰ بدست آمد که با توجه به کوچک‌تر بودن نرخ ناسازگاری از ۰/۱۰ ، اعداد بدست آمده برای معیارها صحیح بوده و پاسخ‌های افراد از سازگاری کافی برخوردار می‌باشد. برای محاسبه وزن هر زیر معیار از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) مطابق فرمول ۱۱ استفاده شد و در نهایت وزن کلی شدت اثر هر ریسک با استفاده از فرمول ۱۰ مطابق جدول ۶ بدست آمد.

محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN): محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN[6]) با استفاده از رابطه۱۲، با توجه به نتایج احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال

[6]. Risk Priority Number

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

جدول ۵- احتمال کنترل ریسک بر اساس مقاطع آلفا برای ۲ پروژه

احتمال کنترل ریسک	پروژه ۱			پروژه ۲		
ریسک‌ها	α=۰	α=۰/۵	α=۱	α=۰	α=۰/۵	α=۱
ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود	[۰/۳۱,۰/۸۵]	[۰/۴۰,۰/۷۹]	[۰/۴۸,۰/۷۱]	[۰/۵۴,۰/۹۶]	[۰/۶۳,۰/۹۴]	[۰/۷۱,۰/۹۱]
سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	[۰/۴۳,۰/۹۱]	[۰/۵۳,۰/۸۷]	[۰/۶۲,۰/۸۱]	[۰/۷۲,۰/۹۹]	[۰/۸۰,۰/۹۸]	[۰/۸۶,۰/۹۷]
سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	[۰/۳۹,۰/۹۰]	[۰/۴۹,۰/۸۵]	[۰/۵۸,۰/۷۹]	[۰/۵۷,۰/۹۵]	[۰/۶۷,۰/۹۳]	[۰/۷۵,۰/۸۹]
سقوط از داربست	[۰/۴۳,۰/۹۲]	[۰/۵۴,۰/۸۸]	[۰/۶۳,۰/۸۲]	[۰/۶۱,۰/۹۷]	[۰/۷۱,۰/۹۵]	[۰/۷۸,۰/۹۳]
سقوط اشیاء	[۰/۳۸,۰/۸۹]	[۰/۴۸,۰/۸۴]	[۰/۵۶,۰/۷۸]	[۰/۶۷,۰/۹۸]	[۰/۷۵,۰/۹۷]	[۰/۸۲,۰/۹۶]
برق گرفتگی	[۰/۳۴,۰/۸۶]	[۰/۴۳,۰/۸۱]	[۰/۵۲,۰/۷۴]	[۰/۶۷,۰/۹۸]	[۰/۷۵,۰/۹۷]	[۰/۸۲,۰/۹۵]
برخورد با ابزارآلات	[۰/۴۰,۰/۹۰]	[۰/۴۹,۰/۸۶]	[۰/۵۸,۰/۸۱]	[۰/۷۶,۰/۹۹]	[۰/۸۳,۰/۹۹]	[۰/۸۹,۰/۹۸]
برخورد با ماشین‌آلات و وسایل نقلیه	[۰/۳۲,۰/۸۶]	[۰/۴۲,۰/۸۱]	[۰/۵۱,۰/۷۳]	[۰/۷۵,۰/۹۹]	[۰/۸۳,۰/۹۸]	[۰/۸۸,۰/۹۸]
انفجار و آتش‌سوزی	[۰/۲۹,۰/۸۴]	[۰/۳۹,۰/۷۸]	[۰/۴۷,۰/۷۰]	[۰/۵۷,۰/۹۶]	[۰/۶۷,۰/۹۴]	[۰/۷۵,۰/۹۱]
گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء	[۰/۳۵,۰/۸۸]	[۰/۴۵,۰/۸۳]	[۰/۵۴,۰/۷۶]	[۰/۷۷,۰/۹۹]	[۰/۸۴,۰/۹۹]	[۰/۹۰,۰/۹۸]

جدول ۶- نمره کلی شدت اثر ریسک‌ها

احتمال کنترل ریسک	نمره جزئی هر معیار				نمره کلی شدت اثر
ریسک‌ها	جانی	مالی	زمانی	زیست محیطی	
	۷۱۵/۰	۰۹۲/۰	۰۴۶/۰	۱۴۷/۰	
ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود	۷۶/۰	۸۲/۰	۱	۰/۷۷	۰/۷۷۸
سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	۱	۷۵/۰	۶۰/۰	۰/۳۲	۰/۸۶۰
سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	۹۶/۰	۷۴/۰	۵۸/۰	۰/۳۲	۰/۸۲۸
سقوط از داربست	۹۷/۰	۷۰/۰	۵۷/۰	۰/۳۲	۰/۸۲۸
سقوط اشیاء	۸۰/۰	۷۱/۰	۵۹/۰	۰/۳۲	۰/۷۱۰
برق گرفتگی	۷۸/۰	۵۶/۰	۵۹/۰	۰/۳۱	۰/۶۸۴
برخورد با ابزارآلات	۷۰/۰	۵۵/۰	۵۸/۰	۰/۳۱	۰/۶۲۶
برخورد با ماشین‌آلات و وسایل نقلیه	۸۱/۰	۷۱/۰	۶۵/۰	۰/۳۲	۰/۷۱۹
انفجار و آتش‌سوزی	۷۰/۰	۱	۹۵/۰	۱	۰/۷۸۱
گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء	۷۶/۰	۶۰/۰	۶۲/۰	۰/۳۲	۰/۶۷۲

کنترل هر ریسک برای هر دو کارگاه انبوه‌سازی محاسبه و رتبه بندی ریسک‌ها انجام شد (جدول ۷). همچنین طبق جدول ۸ اقدامات مورد نیاز برای ریسک‌های با اولویت بالا انجام می‌شود.

شدت اثر ریسک ×احتمال وقوع ریسک =RPN (۱۲)

احتمال کنترل ریسک ×

یافته‌ها

در پروژه اول (اداری) ریسک افتادن از داربست به عنوان مهم‌ترین ریسک (RPN=۰/۵۷۰۲) و انفجار یا آتش‌سوزی (RPN=۰/۳۷۳۴) به عنوان کم خطرترین ریسک بدست آمد. در پروژه دوم مسکونی (پروژه ۲) ریسک سقوط افراد در حین جوشکاری به عنوان مهم‌ترین ریسک (RPN=۰/۷۱۲۴) شناخته شد. در این پروژه به دلیل اینکه موارد ایمنی و نظارت کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ریسک فاکتورهای این پروژه به مراتب بیشتر از پروژه اول هستند. ریسک‌های رده بعدی در این پروژه همانند پروژه اول حوادث سقوط را تشکیل می‌دهد و کم اهمیت‌ترین ریسک همانند پروژه اول انفجار یا آتش‌سوزی (RPN=۰/۵۰۴۸) معرفی گردید.

از نتایج محاسبه RPN و جدول ۸، شکل ۳ برای نتایج پروژه‌ها ترسیم گردید. با توجه به نمودار، آنالیز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

جدول ۷- رتبه بندی ریسک‌ها

ردیف	ریسک‌ها	RPN-1	RPN-2	رتبه بندی پروژه۱	رتبه بندی پروژه۲
۱	ریزش ساختمان مجاور و ترانشه گود	۰/۳۹۲۴	۰/۵۱۳۳	۶	۹
۲	سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	۰/۵۶۵۶	۰/۷۱۲۴	۲	۱
۳	سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	۰/۵۲۴۳	۰/۶۱۷۹	۳	۳
۴	سقوط از داربست	۰/۵۷۰۲	۰/۶۶۷۴	۱	۲
۵	سقوط اشیاء	۰/۴۲۴۵	۰/۵۵	۴	۵
۶	برق گرفتگی	۰/۳۸۳	۰/۵۲۴۹	۸	۷
۷	برخورد با ابزارآلات	۰/۳۸۸۹	۰/۵۱۴۱	۷	۸
۸	برخورد با ماشین‌آلات و وسایل نقلیه	۰/۳۹۴۹	۰/۵۷۲	۵	۴
۹	انفجار و آتش‌سوزی	۰/۳۷۳۴	۰/۵۰۴۸	۱۰	۱۰
۱۰	گیرکردن و قرار گرفتن بین اشیاء	۰/۳۷۹۲	۰/۵۲۹۷	۹	۶

جدول ۸- درجه بندی ریسک‌ها برای ارزیابی ریسک ایمنی پروژه‌های انبوه‌سازی

درجه ریسک	RPN	گروه‌های اقدامات اصلاحی
V	RPN≥0.70	اقدامات اصلاحی کاملاً ضروری است.
IV	0.55≤RPN<0.70	اولویت بالا برای اقدامات اصلاحی
III	0.40≤RPN<0.55	اولویت متوسط برای اقدامات اصلاحی
II	0.20≤RPN<0.40	اولویت پایین برای اقدامات اصلاحی
I	RPN≤0. 20	نیازی به اقدام اصلاحی نیست.

جدول ۹- اقدامات برای پیشگیری و بهبود عوامل خطر

ریسک	اولویت برای اقدامات پروژه۱	اولویت برای اقدامات پروژه۲	اقدامات اصلاحی
سقوط افراد در جوشکاری نصب اسکلت	اولویت زیاد	کاملاً ضروری	آموزش به پرسنل، استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی
سقوط از داربست	اولویت زیاد	اولویت زیاد	استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی
سقوط افراد از بازشوهای سقف طبقات	اولویت متوسط	اولویت زیاد	حفاظ مناسب برای بازشوها و پرتگاه‌ها
سقوط اشیاء	اولویت متوسط	اولویت زیاد	استفاده از تجهیزات پیشگیری
برخورد با ماشین‌آلات و وسایل نقلیه	اولویت پایین	اولویت زیاد	آموزش به پرسنل

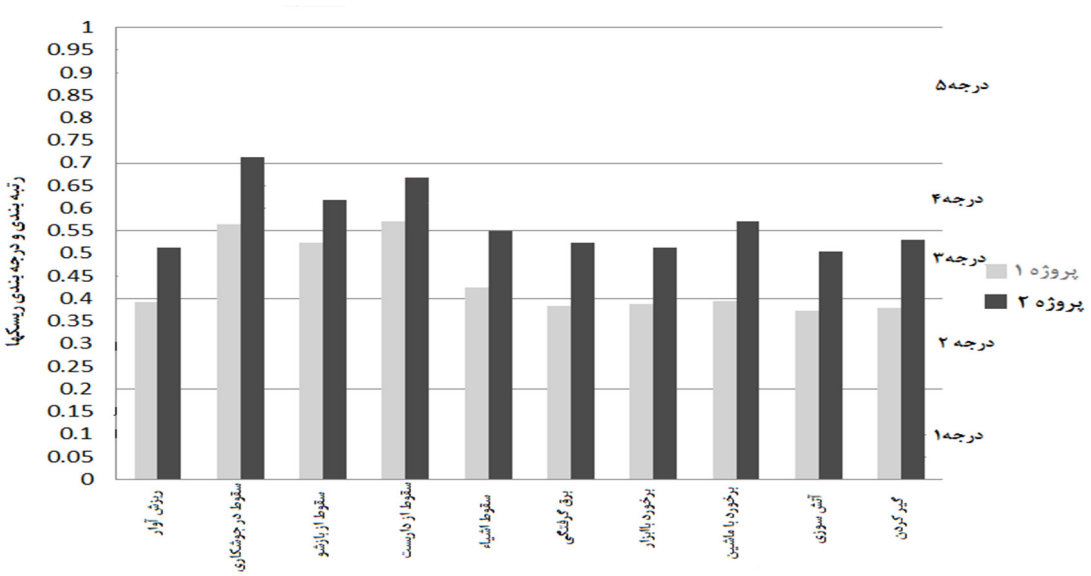
حساسیت برای هر دو پروژه روی عوامل ریشه‌ای ریسک‌های پر خطر انجام شد. بعد از آنالیز حساسیت و اولویت‌بندی ریسک‌ها، نتایج رده‌بندی به کارشناسان و ناظران انبوه‌سازی ارایه شد که کارشناسان، رتبه‌بندی ریسک‌ها را تایید کردند و استراتژی‌های کاهش و راهکارهایی جهت بهبود و پیشگیری برای هر دو پروژه پیشنهاد دادند (جدول ۹).

بحث و نتیجه گیری

هدف انجام مطالعه حاضر ارایه چارچوبی برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی پروژه‌های ساخت‌وساز بوده که ضمن بررسی جامع، دقیق و ریشه‌ای انواع حوادث، وضعیت ایمنی کارگاه در مقطع ارزیابی را نیز در نظر بگیرد. بدین منظور با استفاده از ترکیب چند روش (منطق فازی و روش‌های AHP-DEA،FTA،FMEA) چارچوب موردنظر پیشنهاد گردید. در مرحله بعد روش پیشنهادی روی دو پروژه انبوه‌سازی در استان کرمان اعمال شد و اعتبار یافته‌ها از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت:

۱- در این تحقیق با استفاده از روش پیشنهادی، ریسک‌های ایمنی سقوط از ارتفاع جز مهم‌ترین

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]



شکل ۳- نمودار رتبه ریسک‌های دو پروژه

ریسک‌ها شناخته شدند که با نتایج تحقیقات پیشین (مانند زنگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۲۴]، گورکانلی و مونگن در سال ۲۰۰۹ [۲۵] و هائوتین و همکارانش در سال ۲۰۱۲ [۲۶])، هم‌خوانی دارد. از سوی دیگر در گزارش آماری سوانح شغلی صنعت ساخت‌وساز بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰سازمان تأمین اجتماعی [۲۷] با بررسی پراکندگی حوادث در استان کرمان بر حسب نوع حادثه مشاهده می‌شود که سقوط کردن و لغزیدن، سقوط اشیاء، گیرکردن بین اشیاء و ... به ترتیب دارای بیشترین رخداد هستند. این موضوع با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌خوانی مناسبی دارد. همچنین نتایج رتبه بندی ریسک‌های این تحقیق با نتایج تحقیقات پیشین هم‌سویی خوبی دارد، به عنوان مثال در سال ۲۰۰۲، تول [۲۸]، در سال ۲۰۰۴، زنگ و همکاران [۲۹] و در سال ۲۰۰۹، گورکانلی و مونگن [۲۵] علل اصلی حوادث در صنعت ساخت و ساز را شامل عدم آموزش مناسب، اجرای ایمنی ضعیف، عدم وجود تجهیزات ایمنی، در دسترس نبودن تجهیزات ایمنی و ... معرفی کردند که در تحقیق حاضر نیز این عوامل مهم‌ترین علل وقوع ریسک‌ها شناخته شدند.

۲- به منظور بررسی دقت و صحت روش پژوهش، گروه ارزیابی ریسک برای اعلام نظر در مورد نتایج رتبه‌بندی دعوت شدند که پس از انجام مصاحبه با هر یک از آنان، کلیه کارشناسان (۶ متخصص) نتایج رتبه‌بندی را متفق‌القول تایید کردند و اعلام نمودند که نتایج حاصله با واقعیت‌های مشاهده شده توسط ایشان مطابقت دارد. در این بخش انجام مصاحبه و تایید یافته‌ها از سوی ارزیابان مبنای سنجش دقت و صحت چارچوب مورد مطالعه قرار گرفت، لیکن پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی (به منظور برخورداری از دقت و اعتبار بیشتر) روایی درون و بین‌مشاهده‌ای ارزیابان[۷] (با روش‌هایی نظیر کاپای وزن داده شده) اندازه‌گیری و مبنای قضاوت قرار گیرد.

همان‌طور که عنوان گردید در این مقاله به معرفی یک چارچوب ارزیابی ریسک قابل استفاده در پروژه‌های ساخت‌وساز پرداخته شد. در این روش پیشنهادی از ترکیب منطق فازی و روش‌های FMEA، FTA و AHP-DEA برای ارزیابی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز استفاده شد. در این مطالعه از منطق فازی جهت برطرف نمودن محدودیت‌های موجود در مدل سنتی FMEA (جدول ۷) و از روش AHP-

[7]. Intra-rater and inter-rater reliability

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

DEA جهت کاستن از محدودیت‌های روش AHP (جدول ۶) بهره گرفته شد. همچنین از درخت خطا جهت بررسی ریشه‌ای علل وقوع حوادث و به دلیل در دسترس نبودن داده‌های آماری (جداول ۴ و ۵) استفاده شد. برای بررسی اعتبار چارچوب ارائه شده در حوزه انبوه‌سازی در پروژه‌های ساختمانی، روش پیشنهادی روی دو نوع مختلف از پروژه‌های انبوه‌سازی بررسی اعمال شد و نتایج مورد تایید متخصصین قرار گرفت و در نهایت استراتژی‌های کاهش و راهکارهایی جهت بهبود و پیشگیری ارائه شدند.

به کمک این روش ارزیابی ریسک با توجه به پارامتر کنترل ریسک، وضعیت موجود ایمنی در پروژه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد و همچنین علاوه بر ارزیابی ریسک به علل ریشه‌ای ریسک‌ها پرداخته و در نهایت به طور دقیق می‌توان استراتژی‌های کاهش ریسک را ارائه نمود. همچنین این مدل می‌تواند به مسئولان ایمنی کارگاه‌های ساختمانی برای شناسایی ریسک‌ها، شناسایی علل ریشه‌ای آن‌ها و ارائه ابزارهای کنترل ریسک‌ها کمک شایان توجهی نماید.

تهیه نرم افزار ارزیابی و مدیریت ریسک در کارگاه‌های ساخت‌وساز بر اساس چارچوب پیشنهادی مقاله حاضر به عنوان موضوع تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. McDonald M.A, Lipscomb H.J, Bondy J, Glazner J. Safety is everyone's job:" The key to safety on a large university construction site", Journal of Safety Research, 2009, 40: 53–61.

2. Badri A, Nadeau S, Gbodossou A. Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation, Accident Analysis and Prevention, 2011, 48: 223-234.

3. Rezakhani P. Fuzzy risk analysis model construction projects, International Journal of Civil and Structural Engineering, 2011; 2(2): 507-522.

4. Zayed T, Amer M, Pan J. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP, International Journal of Project Management, 2008, 26(4): 408–419.

5. Zeng S.X, Tam C.M, Tam V.W.Y. Integrating Safety, Environmental and Quality Risks for Project Management Using a FMEA, Economics of engineering decisions, 2010, 21(1): 44-52.

6. Abdelgawad M, Robinson Fayek A. Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP, Journal of Construction Engineering and Management, 2010, 136(9): 1028-1036.

7. Garcia P.A.A, Schirru R, Frutuoso Emelo P.F. A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA, Progress in Nuclear Energy, 2005, 46: 359–373.

8. Xu K, Tang L.C, Xie M. Fuzzy assessment of FMEA for engine system, Reliability Engineering and System Safety, 2002, 75: 17–29.

9. Sharma R.K, Kumar D, Kumar P. Systematic failure mode and effect analysis using fuzzy Linguistic modeling, International Journal of Quality and Reliability Management, 2005, 22: 886–1004.

10. Zeng J, An M, Smith N.J. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. International Journal of Project Management, 2007, 25(6): 589–600.

11. Nieto-Morotea A, Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2011, 29: 220–231.

12. Zadeh L. Fuzzy sets, Information and Control, 1965, 8:38-53.

13 Xu Z, Khoshgoftar T.M, Allen E.B. Application of fuzzy expert system in assessing operational risk of software, Information and Software Technology, 2003, 45: 373-388.

14. KarimiAzari A, Mousavi N, Mousavi F, Hosseini B. Risk assessment model selection in construction industry, Expert Systems with Applications, 2011, 38(8): 9105–9111.

15. Verma A.K, Srividya A, Gaonkar R.S.P. Fuzzy-reliability engineering: concepts and applications, Narosa Publishing House, New Delhi, India, 2007, Chapter 4: 88-127.

16. Kaya T, Kahraman C. An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications, 2011, 38(7): 8553–8562.

17. Bowles J.B, Peláez C.E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis, Reliability

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

Engineering & System Safety: 1995, 50(2): 203–213.

18. Rivera S.S, McLeod J.E.N. Recommendations generated about a discontinuous distillation plant of biofuel, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2009, Vol I , WCE, London, U.K.

19. Vario J.K. Fault tree analysis of phased mission system with repairable and non-repairable components, Reliability Engineering and System Safety, 2002, 74: 169-180.

20. Vidal L.A, Marle F, Bocquet J.C. Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects, Expert Systems with Applications, 2011, 38(5): 5388–5405.

21. Wang Y.M, Liu J, Elhag T. An integrated AHP–DEA methodology for bridge risk assessment, Industrial Engineering, 2008, 54(3): 513–525.

22. Lawshe C.H. A quantitative approach to content validity, Personnel Psychology, 1975, 28(4): 563–575.

23. Ugwu O.O, Haupt T.C. Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability: a South African construction industry perspective, Building and Environment, 2007, 42(2): 665-680.

24. Zeng S.X, Tam V.W.Y, Tam C.M. Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China, Safety Sciences, 2008, 46: 1155-1168.

25. Gurcanli G.E, Mungen U. An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets, International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(2): 371–387.

26. Liu H.T, Tsai Y.L. Fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry, Safety Sciences, 2012, 50: 1067–1078.

27. Statistical report of occupational accidents in the construction industry between 2007-2010, Social Security Organization of the Islamic Republic of Iran, 2012 [Persian].

28. Toole T.M. Construction site safety roles, Journal of Construction Engineering and Management, 2002, 128(3): 203-210.

29. Tam C.M, Zeng S.X, Deng Z.M. Identifying elements of poor construction safety management in China, Safety Science, 2004, 42(7): 569–586.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]

Safety risk assessment in mass housing projects using combination of fuzzy FMEA, fuzzy FTA and AHP-DEA

A. Ardeshir[1], M. Amiri[2], M. Mohajeri[3]

Received: 2012/12/14 Revised: 2013/04/24 Accepted: 2013/07/14

Abstract

Background and aims: The construction industry is known as one of the most dangerous industries in terms of work-related mortality, injury rates and workers compensation payment. Therefore, safety risk assessment is a key step to be performed for management of major construction projects.
MethodS: Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is a risk assessment tool that mitigates potential failures in systems, processes, designs or services and is used in a wide range of industries. The purpose of this research is to employ the combination of fuzzy logic and FMEA, FTA, AHP-DEA methods for safety risk assessment of mass housing construction.
Results: In the case study section, for the purpose of safety risk assessment, two different types of mass housing projects are investigated. According to the results, the risks of falls from height in both projects are identified as the most significant risks. Hence, risk reduction strategies and actions for prevention and mitigation of hazards are presented.
Conclusion: The ranking of the risks and the highest risks found in this research are consistent with the previous research and with the report of the Iranian Social Security Organization (ISSO). In addition, the root causes of the major risks match up with similar studies. Moreover, the validity of the research findings is approved by the risk assessment group. Hence, this model (which is able to consider the current safety condition) can help safety professionals in construction sites to identify risks, explore their root causes and to develop accurate tools to control them.

Keywords: Safety risk assessment, Mass housing construction, Fuzzy logic, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), AHP-DEA.

1. (**Corresponding author**) Head of Environmental Research Center, Associate Professor of Civil and Environmental Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
ardeshir@aut.ac.ir
2. PhD Candidate of Construction Engineering and Management, Civil and Environmental Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran,
3. MSc in Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-02-05]