Civil and Project Journal, 2025, 7(4), 29-54
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.522040.1364

Civil and Project Journal
http://www.cpjournals.com/

Research Article

Evaluation and Prioritization of Safety Risks in Iranian Construction Projects: Application of Analytic Hierarchy Process

Mehdi Arefnazari[1*], Ali Asghar Amir Kardoust[2], Alireza Lork[3]

1*-Ph.D. Candidate in Civil Engineering and Construction Management, Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen International Branch, Islamic Azad University

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: 06 April 2025; Revised: 14 May 2025; Accepted: 17 May 2025; Published 22 June 2025

Abstract

Construction projects in Iran face numerous safety risks due to technical complexities and varying environmental conditions. This study aimed to identify and prioritize safety risks by integrating the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Eleven key risks were extracted from the literature and expert opinions, and evaluated through a pairwise comparison questionnaire by 30 civil engineering and project management experts. The results revealed that "motorized equipment and cranes" (weight 0.48), "earthwork operations" (0.27), and "lack of skilled personnel" (0.13) are the most critical risks. An inconsistency rate of 0.07 validates the reliability of the findings. Recommendations include regular equipment inspections, workforce training, and digital monitoring. By addressing the research gap in safety analysis in Iran, this study provides practical solutions for project managers and contributes to the sustainable development of the construction industry.

Keywords: *Risk Management, Construction Safety, Analytic Hierarchy Process (AHP), Construction Projects, Risk Assessment*

Cite this article as: Arefnazari, M. , Lork, A. and Amirkardoust, A. (2025). Evaluation and Prioritization of Safety Risks in Iranian Construction Projects: Application of Analytic Hierarchy Process. *Civil and Project, 7*(4), -.https://doi.org/10.22034/cpj.2025.522040.1364

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2025 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Corresponding author E-mail address: arefnazari@gmail.com*

نشریه عمران و پروژه، ۱۴۰۴، ۷(۴)، ۲۹-۵۴
https://doi.org/10.22034/cpj.2025.522040.1364

نشریه عمران و پروژه
http://www.cpjournals.com/

ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساختمانی ایران: کاربرد تحلیل سلسله‌مراتبی

مهدی عارف نظری[1*]، علی اصغر امیر کاردوست[2]، علیرضا لرک[3]

*۱- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی
۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن ، دانشگاه آزاد اسلامی
۳- گروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۷ فروردین۱۴۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۲۴ اردیبهشت۱۴۰۴؛ تاریخ پذیرش:۲۷ اردیبهشت ۱۴۰۴؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ تیر ۱۴۰۴

چکیده

پروژه‌های ساختمانی ایران به دلیل پیچیدگی‌های فنی و شرایط محیطی متغیر، با ریسک‌های ایمنی متعددی مواجه‌اند. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی، از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و تکنیک(TOPSIS) استفاده کرد. ۱۱ ریسک کلیدی از ادبیات و نظرات کارشناسان استخراج و از طریق پرسشنامه مقایسه زوجی توسط ۳۰ کارشناس عمران و مدیریت پروژه ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که "تجهیزات موتوری و بالابر" (وزن ۰,۴۸)، "عملیات خاکی" (۰,۲۷)، و "کمبود نیروی متخصص" (۰,۱۳) مهم‌ترین ریسک‌ها هستند. نرخ ناسازگاری ۰,۰۷ اعتبار یافته‌ها را تأیید می‌کند. پیشنهادات شامل بازرسی منظم تجهیزات، آموزش نیروی انسانی، و نظارت دیجیتال است. این مطالعه، با پر کردن شکاف پژوهشی در تحلیل ایمنی ایران، راهکارهای عملی برای مدیران پروژه ارائه می‌دهد و به توسعه پایدار صنعت ساخت‌وساز کمک می‌کند.

کلمات کلیدی

مدیریت ریسک، ایمنی در ساخت‌وساز، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، پروژه‌های ساختمانی، ارزیابی ریسک

* پست الکترونیک نویسنده مسئول : arefnazari@gmail.com

۱- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز به دلیل نقش حیاتی در توسعه زیرساخت‌ها و اقتصاد کشورها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، اما به همان اندازه با چالش‌های ایمنی متعددی مواجه است. گزارش سازمان بین‌المللی کار (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که سالانه بیش از ۶۰،۰۰۰ حادثه مرگبار در پروژه‌های ساختمانی در سراسر جهان رخ می‌دهد که اغلب به دلیل ضعف در مدیریت ریسک و ایمنی است. در ایران، این چالش‌ها به دلیل عواملی مانند فرسودگی تجهیزات، کمبود نیروی متخصص، و شرایط اقتصادی ناپایدار تشدید می‌شوند (Ahmadi et al., 2022; Rezaei et al., 2022). ریسک در پروژه‌ها به‌عنوان هر عاملی تعریف می‌شود که اهداف پروژه، از جمله ایمنی، زمان‌بندی، و هزینه‌ها را تهدید کند (Kerzner, 2022). ایمنی، به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی، نه‌تنها از جان افراد حفاظت می‌کند، بلکه از خسارات مالی و تأخیرات پروژه نیز جلوگیری می‌کند. با این حال، رویکردهای سنتی در مدیریت ایمنی در ایران غالب بوده و استفاده از روش‌های تحلیلی پیشرفته مانند تصمیم‌گیری چندمعیاره کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که طراحی ایمن سازه‌ها نقش مهمی در کاهش ریسک‌های ایمنی دارد. به‌عنوان مثال، مهدوی و همکاران (۲۰۲۳) با مدل‌سازی عملکرد پلاستیک مهاربندهای فولادی نشان دادند که طراحی دقیق می‌تواند خطرات ناشی از شکست سازه را کاهش دهد (Mahdavi et al., 2023a). همچنین، طراحی لرزه‌ای مناسب در سازه‌های نامنظم می‌تواند ایمنی پروژه‌ها را بهبود بخشد .(Mahdavi et al., 2023b). علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های نظارتی مبتنی بر اینترنت اشیا می‌تواند به شناسایی زودهنگام ریسک‌ها کمک کند (Ghaffari & Ebrahimi, 2025). این پژوهش با هدف پر کردن شکاف‌های موجود در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی ایران، بر اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی با استفاده از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[1] (AHP) و تکنیک ترتیب ترجیح با شباهت به راه‌حل ایده‌آل[2] (TOPSIS) تمرکز دارد. این رویکرد، با افزایش دقت تحلیل و ارائه راهکارهای عملی متناسب با شرایط بومی، می‌تواند به بهبود عملکرد ایمنی پروژه‌ها کمک کند. داده‌های واقعی جمع‌آوری‌شده از ۳۰ کارشناس و تمرکز بر چالش‌های خاص ایران، ارزش افزوده‌ای برای مدیران پروژه و سیاست‌گذاران ایجاد می‌کند و به تدوین استانداردهای ایمنی بومی کمک خواهد کرد.

۲- پیشینه تحقیق

مدیریت ریسک و ایمنی در پروژه‌های ساختمانی از دهه ۲۰۱۰ با رویکردهای تحلیلی و فناوری‌محور پیشرفت چشمگیری داشته است. حسینی و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که ضعف در مدیریت ایمنی، عامل اصلی بیش از ۴۰ درصد حوادث ساختمانی در سطح جهانی است و بر ضرورت استفاده از رویکردهای سیستمی تأکید کردند. در ایران، احمدی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که عدم رعایت استانداردها، نظارت ناکافی، و استفاده از تجهیزات فرسوده از چالش‌های کلیدی هستند. رضایی و همکاران (۲۰۲۲) نیز بر اهمیت مدیریت ریسک در بهبود عملکرد کلی پروژه‌ها تأکید کردند و نشان دادند که شناسایی زودهنگام ریسک‌ها می‌تواند تا ۲۵ درصد از تأخیرات پروژه را کاهش دهد.

ایمنی سازه‌ها نقش مهمی در کاهش ریسک‌های پروژه دارد. مهدوی و همکاران (۲۰۲۳) با مدل‌سازی عملکرد پلاستیک ۱۰ نوع مهاربند فولادی تحت تحلیل پوش‌اور نشان دادند که طراحی ایمن می‌تواند ریسک‌های ایمنی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد (Mahdavi et al., 2023a).در مطالعه‌ای دیگر، مهدوی و همکاران (۲۰۲۳) عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامنظم با مهاربندهای متمرکز مدرن را بررسی کردند و بر اهمیت طراحی دقیق در کاهش ریسک‌های لرزه‌ای تأکید داشتند (Mahdavi et al., 2023b). مهدوی (۲۰۲۳) نیز با مقایسه عملکرد مهاربندهای مورب، A-chevron، گیت، زانویی، لوزی و X با روش اجزای محدود، راهکارهایی برای بهبود ایمنی سازه‌ها ارائه کرد (Mahdavi, 2023). همچنین، مهدوی و همکاران (۲۰۲۴) با ترکیب تحلیل

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)
[2] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

سلسله‌مراتبی و مهندسی ارزش، بهینه‌سازی چرخه عمر ساختمان‌های مسکونی را بررسی کردند و نشان دادند که استفاده از روش‌های تحلیلی می‌تواند هزینه‌های بلندمدت را تا ۱۵ درصد کاهش دهد(Mahdavi et al., 2024).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] مانند AHP و TOPSIS در مدیریت ریسک پروژه‌های ساختمانی کاربرد گسترده‌ای دارند. السامی و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از AHP، ریسک‌های زیست‌محیطی پروژه‌های ساختمانی را اولویت‌بندی کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را تا ۲۰ درصد افزایش دهد. کیم و نگوین (۲۰۲۳) نیز بر مزیت ترکیب روش‌های چندمعیاره مانند AHP و TOPSIS تأکید کردند و نشان دادند که این ترکیب، خطای تحلیل را کاهش می‌دهد. در ایران، محمدی و همکاران (۲۰۲۱) از AHP برای اولویت‌بندی ریسک‌های مالی استفاده کردند، اما ایمنی کمتر مورد توجه قرار گرفت. صفاری و موسوی (۲۰۲۴) با استفاده از مدل ترکیبی AHP-TOPSIS، ریسک‌های پروژه‌های بلندمرتبه در تهران را ارزیابی کردند و نشان دادند که تجهیزات ناایمن و کمبود نیروی متخصص از مهم‌ترین ریسک‌ها هستند.

مطالعات اخیر بر نقش فناوری و عوامل انسانی در بهبود ایمنی تمرکز دارند. لی و کیم (۲۰۲۲) نشان دادند که آموزش ناکافی، عامل ۳۰ درصد حوادث ساختمانی است و پیشنهاد کردند که از شبیه‌سازی‌های آموزشی استفاده شود. حسینی و همکاران (۲۰۲۴) بر استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند (BIM)[2] در مدیریت ایمنی تأکید کردند. غفاری و ابراهیمی (۲۰۲۵) نشان دادند که سیستم‌های نظارتی مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌توانند نرخ حوادث را تا ۱۸ درصد کاهش دهند. زارعی و حسینی (۲۰۲۴) نیز با بررسی عوامل انسانی در پروژه‌های خاورمیانه، گزارش کردند که خطاهای انسانی عامل ۳۵ درصد حوادث هستند و بر اهمیت آموزش و نظارت تأکید کردند. توکلان و محمدی (۲۰۲۳) یک چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های بزرگ ساختمانی ارائه کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند اثربخشی مدیریت ایمنی را بهبود بخشد.

این پژوهش با تمرکز بر ایمنی پروژه‌های ساختمانی ایران، ترکیب AHP و TOPSIS، و استفاده از داده‌های واقعی، خلأهای موجود در مطالعات پیشین را پر می‌کند. برخلاف مطالعات قبلی که عمدتاً بر جنبه‌های مالی یا زمانی متمرکز بودند، این مطالعه ایمنی را به‌صورت مستقل بررسی می‌کند و با ارائه راهکارهای بومی، به مدیران پروژه در کاهش حوادث کمک می‌کند.

۳- روش تحقیق

۳-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، یکی از روش‌های پیشرفته و پرکاربرد در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره به شمار می‌رود. این تکنیک، که توسط توماس ساعتی در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت، به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد تا مسائل پیچیده را با ساختاری منظم و سلسله‌مراتبی تحلیل کنند. در گام نخست این روش، معیارها یا سنجه‌ها (Criteria) که پایه و اساس فرآیند تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند، شناسایی می‌شوند. این معیارها به‌عنوان شاخص‌هایی تعریف می‌شوند که گزینه‌ها یا کاندیداها (Alternatives/Candidates) بر اساس آن‌ها مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند. واژه‌های "گزینه" و "کاندیدا" در این چارچوب مترادف بوده و به عناصری اشاره دارند که در نهایت باید از میان آن‌ها انتخابی صورت گیرد.

دلیل نام‌گذاری این روش به "سلسله‌مراتبی" در ساختار هرمی آن نهفته است که از اهداف کلان و استراتژی‌های سطح بالا در رأس آغاز می‌شود و به‌تدریج با گسترش این اهداف، معیارهای مشخص و قابل اندازه‌گیری در سطوح پایین‌تر شناسایی

[1] Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Methods

[2] Building Information Modelling

می‌گردند. این رویکرد سلسله‌مراتبی به تحلیلگران اجازه می‌دهد تا با نگاهی جامع و منظم، از کلیات به جزئیات حرکت کنند . AHPبه‌طور خاص به دلیل توانایی در رتبه‌بندی و تعیین وزن نسبی عوامل مختلف، در حوزه‌های گوناگون از جمله مدیریت پروژه، مهندسی، و علوم اجتماعی کاربرد گسترده‌ای یافته است. این روش از طریق تکنیک مقایسه‌های زوجی (Pairwise Comparisons)عمل می‌کند، به این معنا که هر معیار یا گزینه به‌صورت دوبه‌دو با سایرین مقایسه شده و اولویت‌بندی می‌شود. این مقایسه‌ها معمولاً با استفاده از مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی انجام می‌گیرد که شدت اهمیت یک عنصر نسبت به دیگری را مشخص می‌کند.

با این حال، یکی از چالش‌های این روش زمانی پدیدار می‌شود که تعداد گزینه‌ها یا معیارها افزایش یابد. در چنین شرایطی، تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی به دلیل حجم بالای محاسبات و پیچیدگی قضاوت‌ها دشوار می‌شود. هدف اصلی تکنیکAHP ، انتخاب بهینه‌ترین گزینه از میان مجموعه‌ای از alternatives بر اساس معیارهای چندگانه است، اما این روش فراتر از انتخاب صرف، ابزاری قدرتمند برای وزن‌دهی به معیارها نیز محسوب می‌شود. به‌منظور کاهش پیچیدگی ناشی از تعداد زیاد عناصر در هر سطح، معمولاً معیارهای اصلی به زیرمعیارها (Sub-criteria) تقسیم‌بندی می‌شوند. این تقسیم‌بندی نه‌تنها فرآیند مقایسه را ساده‌تر می‌کند، بلکه دقت تحلیل را نیز افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال، در سناریوی انتخاب یک مدیر برای سازمان، معیارهای اصلی ممکن است شامل تحصیلات، تجربه کاری، و ویژگی‌های شخصیتی باشد، در حالی که زیرمعیارهایی مانند مدرک تحصیلی خاص، تعداد سال‌های تجربه، یا مهارت‌های ارتباطی می‌توانند این معیارها را تفکیک کنند. در مقابل، گزینه‌ها به کاندیداهای موجود اشاره دارند که باید بر اساس این معیارها ارزیابی شوند.

AHP از مدل‌های ساختاری متنوعی پشتیبانی می‌کند که بسته به هدف تصمیم‌گیری طراحی می‌شوند. این مدل‌ها شامل موارد زیر هستند: ۱) ساختار ساده هدف-معیار، که صرفاً به وزن‌دهی معیارها می‌پردازد؛ ۲) مدل هدف-معیار-زیرمعیار، که سطح بیشتری از جزئیات را در بر می‌گیرد؛ ۳) مدل هدف-معیار-گزینه، که انتخاب گزینه‌ها را هدف قرار می‌دهد؛ و ۴) مدل جامع هدف-معیار-زیرمعیار-گزینه، که ترکیبی از وزن‌دهی و انتخاب را پوشش می‌دهد. مدل کلاسیکAHP ، که شامل سه سطح هدف، معیار، و گزینه است، به‌عنوان پایه‌ای‌ترین شکل این روش شناخته می‌شود. با این حال، در برخی موارد، تحلیل ممکن است تنها بر وزن‌دهی معیارها یا زیرمعیارها متمرکز باشد، بدون اینکه به انتخاب گزینه خاصی منجر شود.

از منظر علمی، یکی از نقاط قوت AHP توانایی آن در مدیریت قضاوت‌های کیفی و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی است. این روش با محاسبه بردارهای ویژه (Eigenvectors) و بررسی نرخ ناسازگاری (Consistency Ratio) از دقت و انسجام نتایج اطمینان حاصل می‌کند. نرخ ناسازگاری، که باید کمتر از ۰,۱ باشد، معیاری برای سنجش سازگاری قضاوت‌های انسانی در مقایسه‌های زوجی است و از خطاهای احتمالی در فرآیند تصمیم‌گیری جلوگیری می‌کند. در عمل، AHPنه‌تنها در انتخاب بهینه کاربرد دارد، بلکه در تحلیل‌های پیچیده مانند تخصیص منابع، ارزیابی ریسک، و حتی طراحی سیستم‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، در پروژه‌های ساختمانی، این روش می‌تواند برای اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس معیارهایی مانند شدت تأثیر، احتمال وقوع، و هزینه‌های مرتبط به کار رود، که این امر تصمیم‌گیری را علمی‌تر و شفاف‌تر می‌سازد. در مجموع، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل انعطاف‌پذیری، دقت، و توانایی در ساختاردهی به مسائل چندوجهی، یکی از ابزارهای برجسته در علم تصمیم‌گیری محسوب می‌شود. با این حال، موفقیت آن به کیفیت طراحی سلسله‌مراتب، انتخاب معیارهای مناسب، و دقت در انجام مقایسه‌ها وابسته است. این روش، با تلفیق دیدگاه‌های کیفی و کمی، راهکاری جامع برای مواجهه با چالش‌های تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده ارائه می‌دهد و به همین دلیل در تحقیقات علمی و کاربردهای عملی جایگاه ویژه‌ای دارد.

۳-۲- ریسک

ریسک به مفهوم احتمال وقوع یک رویداد ناخوشایند در جریان اجرای فعالیت‌ها تعریف می‌شود که می‌تواند به شکل خطر، خسارت مالی، آسیب جسمانی یا سایر پیامدهای منفی ظاهر شود و دارای درجه خاصی از احتمال وقوع است که تأثیر مستقیمی بر فرآیندها و نتایج پروژه دارد. این پدیده به دلیل عدم قطعیت ذاتی در پروژه‌ها، یکی از عناصر کلیدی در مدیریت پروژه محسوب می‌شود و می‌تواند اهداف پروژه را از منظر زمان‌بندی، هزینه، کیفیت و ایمنی تحت‌الشعاع قرار دهد. در این راستا،

ارتباط تنگاتنگی میان موفقیت در مدیریت ریسک و اثربخشی ارزیابی ریسک وجود دارد، زیرا مدیریت موفق ریسک به شدت به داده‌ها و نتایجی وابسته است که از فرآیند ارزیابی ریسک به دست می‌آیند. به عبارت دیگر، ارزیابی ریسک به‌عنوان پایه و اساس برنامه‌ریزی مدیریت ریسک عمل می‌کند و اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری‌های استراتژیک را فراهم می‌سازد. ارزیابی ریسک، که یکی از تکنیک‌های محوری در علم مدیریت پروژه است، فرآیندی نظام‌مند برای شناسایی منابع بالقوه ریسک، تشخیص ریسک‌های محتمل، و تحلیل کمی و کیفی اثرات احتمالی این ریسک‌ها بر اهداف پروژه به شمار می‌رود. این فرآیند شامل مراحل متعددی از جمله جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل احتمال وقوع، و برآورد شدت تأثیرات است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا با دیدگاهی جامع و مبتنی بر شواهد، راهکارهای مناسبی برای کاهش یا کنترل ریسک‌ها تدوین کنند.در این پژوهش، به‌منظور اجرایی کردن فرآیند ارزیابی ریسک، از پرسشنامه‌ای بهره گرفته شده است که بر اساس شاخص‌های مشخص و تعریف‌شده طراحی گردیده و این شاخص‌ها در جدول شماره (۱) ارائه شده‌اند. این شاخص‌ها، که از مطالعات پیشین و نظرات کارشناسان استخراج شده‌اند، به‌عنوان معیارهایی برای سنجش ریسک‌های مرتبط با پروژه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نقش مهمی در ساختاردهی به تحلیل‌های این مطالعه ایفا می‌کنند.

جدول۱: شاخص و فاکتورهای کلیدی انتخاب ریسک

ردیف	منشا ریسک	نوع ریسک
۱	فنی و تکنولوژیکی	کافی نبودن مطالعات و اطلاعات محلی از شرایط زمین و محل کار
		عدم تناسب طراحی واطلاعات طرح در برآورد صحیح هزینه ، زمان و منابع
		دسترسی اندک به مواد و مصالح ساختمانی
		استاندارد نبودن مواد ومصالح مورد نیاز
۲	موقعیت کار	کمبود منابع(زمین) ، مواد، مصالح وکارگر
		کمبود نیروهای متخصص فنی در سیستم های حساس فنی وکارگاهی
		تعهد به انجام کارهایی که مجری یا کارفرما یا دستگاه نظارت سابقه انجام موارد مشابه را ندارد
		کار در مناطق مرزی ، محروم یا جنگی به جهت احتمال وجود مواد منفجره و وقوع خطرات بعدی ناشی از آن
۳	ساخت	بازدهی و بهره وری اندک
		ناپایداری آب وهوا
		خطرات ناشی از تخریب ، رانش و ...
		خطرات جانی پرسنل در کارگاههایی که مشمول کارهای سخت می باشد
		کافی نبودن دانش و تخصص پیمانکار
		کار با کارفرمایان فاقد تخصص، ضعیف از نظر مالی و مدیریتی
		عدم پیش بینی نشدن وقفه زمانی در دسترسی به منابع
		طولانی شدن زمان اجرا و اتمام پروژه ها به دلایل منطقی و غیر منطقی
		عدم بیمه کامل اجرای پروژهای ساختمانی از سوی شرکتهای بیمه ای
		مسائل صنعتی
۴	اقتصادی و مالی	عدم همکاری موسسات مالی در پرداخت تسهیلات
		انجام کارهای مقطوع و بدون تعدیل در مناطق با تورم بالا و غیر قابل پیش بینی
		نوسانات قیمت مصالح و مسکن ناشی از شرایط اقتصادی کشور،منطقه و جهان
		تورم / نداشتن مقیاس برای هزینه ها و آنالیز قیمت تمام شده اجرای پروژه ها
		تغییر در تعرفه های اداری
		عدم تنظیم و ارائه بموقع صورت جلسات و صورت وضعیت ها
		زمانبندی های نادرست پرداخت
		محدودیت های مالی کارفرما

۵	اداری و سازمانی	مدیریت نا مناسب و نا کارآمد
		بروکراسی اداری
		تغییرات ساختاری ، مدیریتی و احتمال تغییر در برنامه ها و هدف گذاری ها
		عدم همکاری ادارات و سازمانهای اثر گذار در اجرای پروژه های ساختمانی
		ضعف قوانین و برداشت سلیقه ای از آن در سازمان های فوق
		ناهماهنگی ادارات و سازمانهای اثر گذار در اجرای پروژه های ساختمانی
۶	اجتماعی و فرهنگی	نامناسب بودن فرهنگ کاری و فنی عوامل اجرایی و استاد کاران
		عدم توجه به مسائل فرهنگی و هنجارهای اجتماعی در طراحی ساختمان‌ها
		افزایش جمعیت ، مهاجرت و ساخت و ساز غیر استاندارد در مناطق حاشیه‌ای
		ضعف فرهنگی در استفاده از ساختمان

۳-۳- پرسشنامه

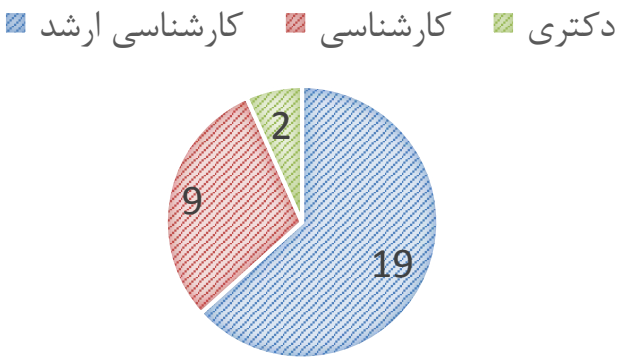
برای طراحی و تدوین پرسشنامه در این پژوهش، ابتدا فرآیند شناسایی ریسک‌های مرتبط با مدیریت پروژه با دقت و به‌صورت نظام‌مند انجام گرفت. این فرآیند با بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای، شامل مقالات علمی، کتب تخصصی و پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر، و همچنین مطالعات میدانی، که از طریق بررسی‌های عملی و تجربیات واقعی در پروژه‌ها صورت پذیرفت، تکمیل شد. هدف از این رویکرد، گردآوری مجموعه‌ای جامع و قابل اعتماد از ریسک‌هایی بود که می‌توانند بر جنبه‌های مختلف مدیریت پروژه، از جمله زمان‌بندی، هزینه‌ها، کیفیت و ایمنی، تأثیر بگذارند. پس از این مرحله، ریسک‌های شناسایی‌شده با دسته‌بندی مناسب و به‌صورت ساختاریافته در جدول شماره (۲) ارائه شده‌اند تا امکان تحلیل و ارزیابی دقیق‌تر آن‌ها فراهم گردد. این جدول به‌عنوان مبنایی برای مراحل بعدی پژوهش، از جمله اولویت‌بندی و بررسی تأثیرات این ریسک‌ها، مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول۲ : ریسک های مورد مطالعه

ردیف	ریسک
۱	تابلو، یا علائم هشداردهنده
۲	برگ اطلاعات ایمنی مواد
۳	بهداشت کار
۴	حصار حفاظتی موقت
۵	داربست
۶	دستگاه و وسایل موتوری و بالابر
۷	سازه موقت
۸	سرپوش حفاظتی
۹	عملیات خاکی
۱۰	در دسترس نبودن نیروی متخصص
۱۱	انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا
۱۲	پاخورهای حفاظتی

در نهایت، پرسشنامه‌ای طراحی و تنظیم شد و توسط کارشناسان فعال و متخصص در این حوزه تکمیل گردید. این پرسشنامه در بخش زیر ارائه شده است. تعداد افراد انتخاب‌شده برای تکمیل پرسشنامه ۳۰ نفر بودند که از این تعداد، ۱۹ نفر دارای مدرک کارشناسی ارشد، ۹ نفر دارای مدرک کارشناسی و ۲ نفر دارای مدرک دکتری در رشته عمران و گرایش‌های مرتبط

با مدیریت پروژه و عمران بودند. در شکل (۱)، نمودار دایره‌ای نشان‌دهنده توزیع مدارک تحصیلی این افراد نمایش داده شده است.



شکل۱: تعداد نفرات و مدرک نفرات پرکننده پرسشنامه

۴- نتایج و یافته های تحقیق

در این بخش به بیان نتایج حاصل از پرسشنامه و تجزیه و تحلیل آنها پرداخته می‌شود. در ابتدا در جدول (۳) وزن امتیازات داده شده به هر یک از ریسک‌های بیان شده در پرسشنامه توسط شرکت‌ها ارائه شده است. در این جدول اعداد مربوط به هر یک از ریسک‌ها براساس نظرات یکی از کارشناسان نوشته شده است. امتیازات داده‌شده به هر یک از ریسک‌ها بر اساس پاسخ‌های پرسشنامه‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که ریسک‌های «تجهیزات موتوری و بالابر» و «عملیات خاکی» بالاترین امتیازات را دریافت کرده‌اند. جزئیات کامل امتیازات در پیوست ۱ (خروجی‌های پرسشنامه) ارائه شده است. به دلیل اینکه جدول از لحاظ ابعاد و تعداد زیاد می‌باشد به چند بخش تقسیم و ارائه شده است. جمع کل امتیازات هر ستون پرسشنامه برای یکی از پاسخ‌ها محاسبه شد، که نشان‌دهنده وزن نسبی ریسک‌ها بود. ریسک «تجهیزات موتوری و بالابر» با بالاترین جمع کل برجسته شد. داده‌های کامل در پیوست ۱ (خروجی‌های پرسشنامه) موجود است.

میانگین وزنی نرمال‌شده و میانگین هندسی برای هر یک از ریسک‌ها بر اساس پاسخ‌های یکی از پرسشنامه‌ها محاسبه شد. این محاسبات نشان داد که ریسک‌های «تجهیزات موتوری و بالابر» (۰,۴۸)، «عملیات خاکی» (۰,۲۷)، و «کمبود نیروی متخصص» (۰,۱۳) بالاترین اولویت‌ها را دارند. جزئیات کامل در پیوست ۱ (خروجی‌های پرسشنامه) ارائه شده است. در این جدول برای محاسبه میانگین وزنی نرمال ابتدا کلیه اعداد ماتریس بدست آمده برای پرسشنامه را که به صورت نرمال شده محاسبه گردیده و سپس برای هر ستون میانگین هندسی محاسبه می شود. میانگین هندسی براساس رابطه زیر محاسبه شده است. در این جدول تمامی نتایج وزنی نرمال شده برای هر ۳۰ پرسشنامه ارائه شده است. در این جدول ستون اول سمت چپ به ترتیب شماره این ۳۰ عدد پرسشنامه می‌باشد. در این روش براساس ارزش گذاری زمانی که ماتریس حاصل از پرسشنامه تکمیل شود چون مقایسه ای است و امتیاز یکی نسبت به دیگر ارزش ۱ به ۶ داشته باشد در ماتریس باید ۱/۶ نوشته شود که کمتر از یک می باشد برای بقیه موارد هم این مورد صادق است یعنی با این توضیح یک سمت قطر اصلی ماتریس کمتر از یک خواهد بود. در این روش بعد از بدست آوردن ماتریس امتیاز کلیه اعداد به ماکزیمم هر ستون تقسیم می شود و در نهایت با این کار هم اعداد کوچکتر از یک خواهد شد.

$$(\prod_{i=1}^{n} a_i)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a_1.a_2.....a_n} \qquad (۱)$$

میانگین وزنی نرمال‌شده و میانگین هندسی برای هر یک از ریسک‌ها بر اساس پاسخ‌های یکی از پرسشنامه‌ها محاسبه شد. این محاسبات نشان داد که ریسک‌های کلیدی مانند «تجهیزات موتوری و بالابر» (میانگین وزنی نرمال‌شده ۰,۴۸)، «عملیات خاکی» (۰,۲۷)، و «کمبود نیروی متخصص» (۰,۱۳) بالاترین اولویت‌ها را دارند. جزئیات کامل محاسبات، شامل مقادیر نرمال‌شده و میانگین هندسی هر ستون، در پیوست ۱ (جزئیات محاسبات میانگین وزنی نرمال‌شده و میانگین هندسی) ارائه شده است. این داده‌ها پایه‌ای برای تحلیل‌های بعدی در این پژوهش هستند.

فرآیند تصمیم‌گیری سلسه مراتبی گروهی ممکن است در یک تصمیم‌گیری به جای تصمیم‌گیرنده، چندین تصمیم-گیرنده باشند که نظرهای همگی آنها باید در ماتریس مقایسه لحاظ شود، در این مورد برای تصمیم‌گیری گروهی می‌توان از میانگین هندسی برای عناصر ماتریس استفاده کرد؛ یعنی (k تعداد تصمیم‌گیرنده‌هاست).

$$a_{ij} = (\prod_{i=1}^{k} a_{ij})^{\frac{1}{k}; i=1,2,3,\ldots,k} \quad (۲)$$

محاسبه نرخ ناسازگاری به شرح زیر می‌باشد:

در گام اول ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها را در بردار وزن‌های نسبی به دست آمده از آن ضرب می‌کنیم.

در گام دوم، جواب حاصل را بر بردار وزن‌های نسبی شاخص‌ها تقسیم می‌کنیم تا بردار سازگاری به دست آید.

در گام سوم، میانگین حسابی عناصر این بردار را به دست می‌آوریم که λ نامیده می‌شود.

در گام چهارم، شاخص ناسازگاری به گونه زیر محاسبه می‌شود:

$$\prod = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (۳)$$

در گام پنجم شاخص IRI براساس n (تعداد شاخص‌ها)، از جدول شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی زیر استخراج شده و نرخ ناسازگاری از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$IR = \frac{\Pi}{IRI} \quad (٤)$$

جدول ۳: جدول شاخص ناسازگاری

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

با محاسبه نرخ ناسازگاری برای هر یک از ریسک‌ها مشاهده می‌شود که این نرخ کمتر از ۰/۱ می‌باشد، از اینرو نتایج قابل اعتماد می‌باشد. در جدول (۴) نتایج ضرب مقادیر نرمال‌سازی و میانگین موزونی مربوط به ۳۰ پرسشنامه ارائه شده است.

جدول (۴): خلاصه ضرب مقادیر نرمال‌سازی و میانگین موزونی

پرسشنامه	1	2	3	4	5	6	7	8
داربست	0.03	0.11	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03
برگ اطلاعات ایمنی مواد	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	0.19	0.06	0.02	0.06	0.08	0.07	0.05	0.09
حصار حفاظتی موقت	0.08	0.06	0.07	0.05	0.07	0.06	0.09	0.08
تابلو، یا علائم هشداردهنده	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
بهداشت کار	0.06	0.05	0.06	0.06	0.04	0.03	0.04	0.06
سازه موقت	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.09	0.08	0.08
سرپوش حفاظتی	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07	0.05	0.05
پاخورهای حفاظتی	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06
در دسترس نبودن نیروی متخصص	0.08	0.08	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.07	0.08	0.10
عملیات خاکی	0.19	0.24	0.19	0.22	0.19	0.20	0.19	0.19

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
0.11	0.21	0.22	0.24	0.25	0.23	0.25	0.24	0.28	0.20	0.25	0.07
0.08	0.08	0.11	0.10	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.06	0.04	0.05
0.08	0.09	0.09	0.08	0.05	0.08	0.10	0.06	0.06	0.08	0.08	0.07
0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05
0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06
0.09	0.08	0.05	0.09	0.11	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
0.11	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.08	0.09	0.09	0.11	0.10	0.11
0.18	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16	0.22	0.15	0.17	0.17	0.18

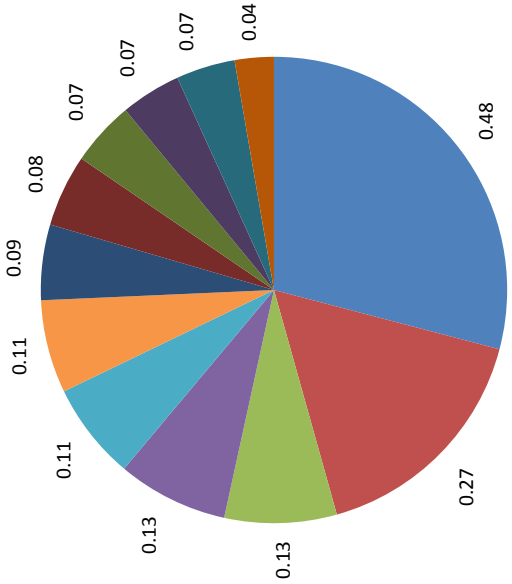
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05
0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.02
0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.06	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03
0.08	0.06	0.08	0.06	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06
0.06	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04
0.09	0.10	0.09	0.11	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09
0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09
0.17	0.18	0.16	0.17	0.24	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15

در جدول (۵) نیز نتایج نهایی مربوط به اولویت بندی مربوط به هر یک از ریسک‌ها ارائه شده است.

جدول ۵: اولویت‌بندی مربوط به ریسک‌ها

ریسک	میانگین وزنی
داربست	0.07
برگ اطلاعات ایمنی مواد	0.07
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	0.48
حصار حفاظتی موقت	0.11
تابلو، یا علائم هشداردهنده	0.04
بهداشت کار	0.07
سازه موقت	0.11
سرپوش حفاظتی	0.08
پاخورهای حفاظتی	0.09
در دسترس نبودن نیروی متخصص	0.13
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	0.13
عملیات خاکی	0.27

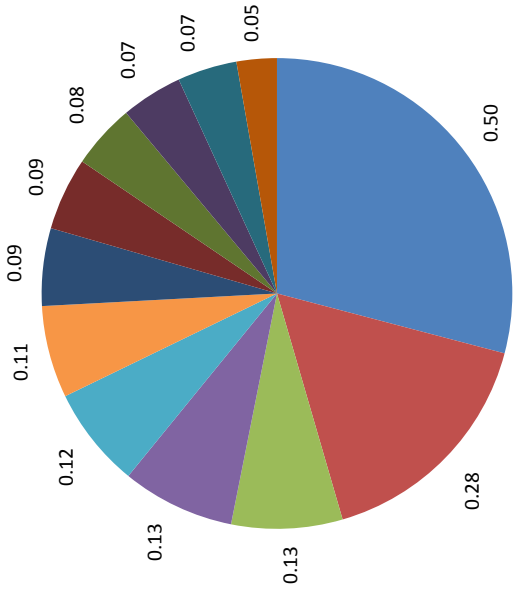
در نمودار شکل (۲) نمودار مقایسه از میانگین وزنی ریسک‌های مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲: مقایسه میانگین وزنی ریسک‌های مورد مطالعه

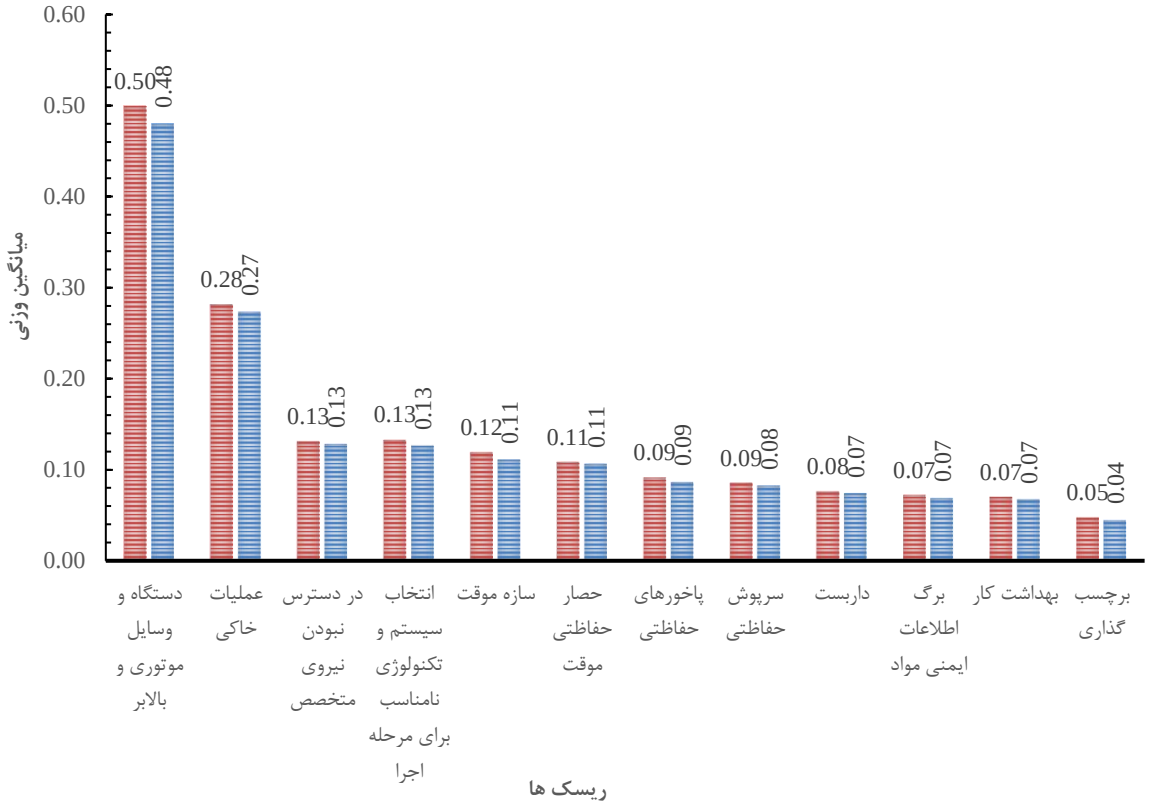
بر اساس شکل شماره (۲)، می‌توان مشاهده کرد که یکی از ریسک‌ها و تهدیدات اصلی که نگرانی قابل‌توجهی برای مهندسان و کارفرمایان ایجاد کرده، فقدان تجهیزات برقی استاندارد و ایمن است. بسیاری از وسایل بالابر موجود، به دلیل قدمت و فرسودگی، شرایط مطلوبی ندارند. ایمنی در عملیات خاک‌برداری و فعالیت‌های مرتبط با خاک، به‌عنوان دومین اولویت مهم شناسایی شده و میزان تأثیر آن قابل‌توجه است. از سوی دیگر، استفاده از آلیماک‌ها یا آسانسورهای حمل بار که فاقد حفاظ‌های ایمنی مناسب یا کیفیت مطلوب هستند، به همراه خطر سقوط این تجهیزات به دلیل فرسودگی و نبود نظارت کافی، از جمله مسائل حیاتی به شمار می‌روند. کارفرمایان موظف‌اند با جدیت بیشتری به انجام بازرسی‌های دوره‌ای و منظم از وسایل موتوری و بالابرها بپردازند تا از بروز حوادث احتمالی جلوگیری شود. عملیات خاک‌برداری نیز به دلیل ماهیت پیچیده و خطرات ذاتی خود، یکی از جنبه‌های پرریسک در فرآیند ساخت‌وساز محسوب می‌شود که نیازمند توجه ویژه است. میزان اهمیت این موارد در مقایسه با سایر ریسک‌ها در محدوده متوسطی قرار دارد. در مقابل، موضوعاتی مانند برگه‌های اطلاعات ایمنی، رعایت اصول بهداشت حرفه‌ای، و برچسب‌گذاری تجهیزات، از نظر کارشناسان و مسئولین در مقایسه با سایر عوامل، در اولویت‌های پایین‌تر قرار گرفته‌اند و کمترین توجه را به خود جلب کرده‌اند.

برای تحلیل جامع‌تر داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه و اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده در پروژه‌های ساختمانی، علاوه بر روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP)، از تکنیک (TOPSIS) نیز استفاده شده است. این روش، که به‌عنوان یکی از رویکردهای معتبر تصمیم‌گیری چندمعیاره شناخته می‌شود، با محاسبه فاصله هر ریسک از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، امکان رتبه‌بندی دقیق‌تر و علمی‌تر ریسک‌ها را فراهم می‌کند. در این پژوهش، پس از طراحی و تکمیل پرسشنامه توسط کارشناسان، داده‌ها ابتدا با استفاده از AHP تحلیل و وزن‌دهی شدند، سپس با به‌کارگیری روشTOPSIS ، امتیازات نسبی هر ریسک محاسبه و اولویت‌بندی نهایی انجام گرفت. این ترکیب دو روش، دقت تحلیل را افزایش داده و نتایج قابل‌اعتمادتری برای تصمیم‌گیری ارائه کرده است. در شکل (۳)، مقادیر ریسک‌ها که بر اساس امتیازات محاسبه‌شده با روش TOPSIS رتبه‌بندی شده‌اند، به‌صورت نموداری نمایش داده شده است. این نمودار به‌عنوان بخشی از یافته‌های اصلی مقاله، درک بهتری از اهمیت نسبی هر ریسک در مقایسه با سایرین فراهم می‌کند و به مدیران پروژه در اتخاذ راهکارهای مؤثر یاری می‌رساند.



شکل ۳: امتیازدهی براساس روش آماری TOPSISI

همان طور که از روی شکل (۳) مشاهده می شود، اختلاف بین دو روش ناچیز بوده است و هر دو روش آماری نزدیک به هم بوده اند. در شکل ۴-۳ نمودار مقایسه ای بین دو روش ارائه شده است.



شکل ۴: مقایسه روش آماری TOPSISI و روش AHP

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج

تحلیل AHP نشان داد که "تجهیزات موتوری و بالابر" (وزن ۰,۴۸)، "عملیات خاکی" (۰,۲۷)، و "کمبود نیروی متخصص" (۰,۱۳) مهم‌ترین ریسک‌های ایمنی هستند (جدول ۵). نرخ ناسازگاری ۰,۰۷، محاسبه‌شده با استفاده از بردارهای ویژه (Saaty, 1980)، اعتبار قضاوت‌های ۳۰ کارشناس را تأیید می‌کند. تحلیل TOPSIS نیز رتبه‌بندی مشابهی ارائه داد (شکل ۳)، که نشان‌دهنده هم‌گرایی دو روش است.

۴-۲- تحلیل حساسیت و مقایسه AHP و TOPSIS

تحلیل حساسیت و مقایسه AHP و TOPSIS برای بررسی پایداری وزن‌های AHP، تحلیل حساسیت انجام شد. وزن‌های ریسک‌ها (جدول ۵) به‌صورت ٪۱۰+ و ٪۱۰- تغییر یافتند و تأثیر آن بر رتبه‌بندی نهایی بررسی شد. نتایج (جدول ۷) نشان داد که رتبه‌بندی ریسک‌های "تجهیزات موتوری و بالابر" و "عملیات خاکی" در برابر تغییرات پایدار است، که نشان‌دهنده اعتبار مدل است. نرخ ناسازگاری ۰,۰۷ با استفاده از بردارهای ویژه و فرمول (Saaty, 1980) محاسبه شد، که کمتر از حد مجاز ۰,۱ است و سازگاری قضاوت‌ها را تأیید می‌کند. همچنین، رتبه‌بندی ریسک‌ها در AHP و TOPSIS مقایسه شد. نتایج نشان داد که هر دو روش رتبه‌بندی مشابهی ارائه می‌دهند، با اختلاف ناچیز در ریسک‌های با اولویت پایین‌تر، که دقت تحلیل را تأیید می‌کند (Kim & Nguyen, 2023).

جدول ۶: تحلیل حساسیت و مقایسه AHP و TOPSIS

ریسک	وزن AHP	وزن در ٪۱۰+	وزن در ٪۱۰-	رتبه AHP	رتبه TOPSIS	تغییر رتبه
تجهیزات موتوری	۰,۴۸	۰,۵۲۸	۰,۴۳۲	۱	۱	بدون تغییر
عملیات خاکی	۰,۲۷	۰,۲۹۷	۰,۲۴۳	۲	۲	بدون تغییر
کمبود نیروی متخصص	۰,۱۳	۰,۱۴۳	۰,۱۱۷	۳	۳	بدون تغییر
سایر ریسک ها	<۰,۱۰	–	–	۴-۱۱	۴-۱۱	جزئی

۴-۳- بحث

بحث یافته‌ها با مطالعات جهانی هم‌راستا هستند (Hosseini et al., 2023). تجهیزات فرسوده را عامل اصلی حوادث دانستند، که با وزن بالای "تجهیزات موتوری" در این مطالعه مطابقت دارد (Li & Kim, 2022) .آموزش ناکافی را عامل ۳۰٪ حوادث گزارش کردند، که اهمیت "کمبود نیروی متخصص" را تأیید می‌کند. در ایران، شرایط اقتصادی و نظارت ناکافی این ریسک‌ها را تشدید می‌کنند (Ahmadi et al., 2022). ترکیب AHP و TOPSIS دقت تحلیل را افزایش داد و رویکردی بومی ارائه کرد.

۴-۴- مطالعه موردی

برای اعتبارسنجی یافته‌های پژوهش، یک پروژه ساختمانی مسکونی ۱۰ طبقه در منطقه ۵ تهران، اجراشده در سال ۱۴۰۲، بررسی شد. این پروژه به دلیل مقیاس متوسط، استفاده گسترده از تجهیزات موتوری و بالابر، و شرایط کاری مشابه پروژه‌های ساختمانی ایران انتخاب شد. پروژه با ۵۰ کارگر و مدت اجرای ۱۸ ماه انجام شد. در طول اجرا، چهار حادثه ایمنی گزارش شد: سه مورد نقص فنی در بالابرها (خرابی کابل، سقوط مصالح، و توقف اضطراری) و یک مورد ریزش دیواره گود در مرحله خاک‌برداری. این حوادث منجر به ۵ روز توقف پروژه و خسارت مالی ۷۰۰ میلیون تومانی شدند.

جدول (۷) مقایسه‌ای بین رتبه‌بندی ریسک‌های مدل (AHP/TOPSIS) و حوادث واقعی ارائه می‌دهد. ریسک "تجهیزات موتوری و بالابر" با وزن ۰,۴۸ و رتبه ۱ در مدل، با سه حادثه واقعی هم‌خوانی دارد. ریسک "عملیات خاکی" با وزن ۰,۲۷ و رتبه ۲، با یک حادثه (ریزش گود) مطابقت دارد. برای بررسی آماری این همخوانی، آزمون کای‌دو انجام شد. نتایج نشان داد که توزیع حوادث واقعی با رتبه‌بندی مدل هم‌راستا است ($p\text{-value} = 0.042 < 0.05$)، که اعتبار یافته‌ها را تأیید می‌کند. این مشاهدات با گزارش‌های ایمنی ایران (Ahmadi et al., 2022) و استانداردهای بین‌المللی (OSHA, 2023) هم‌خوانی دارد و ضرورت اجرای بازرسی‌های منظم تجهیزات، آموزش اپراتورها، و نظارت دقیق در عملیات خاکی را برجسته می‌کند.

جدول ۷: مقایسه رتبه‌بندی ریسک‌ها و حوادث واقعی

ریسک	وزن AHP	رتبه TOPSIS	تعداد حوادث	توضیحات
تجهیزات موتوری	۳	۱	۳	خرابی کابل، سقوط مصالح
عملیات خاکی	۱	۲	۱	ریزش دیواره گود
کمبود نیروی متخصص	-	۳	۰	تأثیر غیرمستقیم در حوادث
سایر ریسک ها	<۰,۱۰	۴-۱۱	-	بدون حادثه گزارش‌شده

۵- کاربرد های عملی

کاربردهای عملی برای مدیران پروژه این مطالعه راهکارهای عملی برای کاهش ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساختمانی ارائه می‌دهد. پیشنهادات زیر بر اساس ریسک‌های اولویت‌بالا (جدول ۸) و حوادث واقعی (جدول ۱۰) تدوین شده‌اند:

- **تجهیزات موتوری و بالابر (وزن ۰,۴۸):** اجرای بازرسی‌های ماهانه با استفاده از چک‌لیست‌های OSHA (2023)، نصب سنسورهای ایمنی روی بالابرها، و جایگزینی تجهیزات فرسوده با مدل‌های استاندارد.
- **عملیات خاکی (وزن ۰,۲۷):** تدوین برنامه‌ریزی دقیق گودبرداری با نرم‌افزارهایی مانند Plaxis، آموزش کارگران برای شناسایی علائم ریزش، و استفاده از سیستم‌های پایدارسازی دیواره.
- **کمبود نیروی متخصص (وزن ۰,۱۳):** برگزاری دوره‌های آموزشی عملی با همکاری سازمان فنی‌وحرفه‌ای، استخدام اپراتورهای آموزش‌دیده، و ایجاد برنامه‌های انگیزشی برای حفظ نیروی متخصص.

در جدول (۸) پیشنهادات عملی برای مدیریت ریسک‌های ایمنی ارائه شده است.

جدول ۸: پیشنهادات عملی برای مدیریت ریسک‌های ایمنی

ریسک	پیشنهاد عملی	ابزار/منبع پیشنهادی
تجهیزات موتوری	بازرسی ماهانه، نصب سنسور	چک‌لیست OSHA
عملیات خاکی	برنامه‌ریزی با شبیه‌سازی	نرم‌افزار Plaxis
کمبود نیروی متخصص	دوره‌های آموزشی عملی	سازمان فنی‌وحرفه‌ای

۶- محدودیت‌ها و تحقیقات آینده

این پژوهش محدودیت‌هایی دارد: ۱) حجم نمونه ۳۰ نفر ممکن است کل جامعه آماری را نمایندگی نکند؛ ۲) تمرکز بر پروژه‌های ساختمانی عمومی، کاربرد نتایج را برای پروژه‌های تخصصی محدود می‌کند؛ ۳) ریسک‌های نوظهور مانند تغییرات

اقلیمی بررسی نشدند. تحقیقات آینده می‌توانند با افزایش حجم نمونه، بررسی پروژه‌های تخصصی مانند سدسازی، یا استفاده از روش‌های مکمل مانند DEMATEL نتایج جامع‌تری ارائه دهند. بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال مانند BIM نیز پیشنهاد می‌شود.

۷- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های مؤثر بر ایمنی در پروژه‌های ساختمانی ایران انجام شد و از ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک ترتیب ترجیح با شباهت به راه‌حل ایده‌آل بهره گرفت. نتایج نشان داد که تجهیزات موتوری و بالابر (وزن ۰,۴۸)، عملیات خاکی (وزن ۰,۲۷)، و کمبود نیروی متخصص (وزن ۰,۱۳) به ترتیب مهم‌ترین ریسک‌های ایمنی در فرآیند اجرای پروژه‌ها هستند. نرخ ناسازگاری ۰,۰۷ در تحلیل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، اعتبار بالای قضاوت‌های ۳۰ کارشناس عمران و مدیریت پروژه را تأیید می‌کند. این یافته‌ها از چند جهت اهمیت دارند: نخست، نقش کلیدی تجهیزات در ایمنی، نیاز به بازرسی منظم و استانداردسازی ماشین‌آلات را نشان می‌دهد؛ زیرا فرسودگی تجهیزات، که در ایران رایج است، خطر حوادث را افزایش می‌دهد. دوم، پیچیدگی عملیات خاکی، لزوم برنامه‌ریزی دقیق و نظارت مستمر را برجسته می‌کند. سوم، کمبود نیروی متخصص، به‌عنوان چالشی ساختاری، ضرورت سرمایه‌گذاری در آموزش حرفه‌ای را آشکار می‌سازد.

از منظر کاربردی، این مطالعه پیشنهادهایی عملی ارائه می‌دهد. بازرسی دوره‌ای تجهیزات موتوری و بالابرها، همراه با تدوین دستورالعمل‌های اجباری، می‌تواند از نقص‌های فنی پیشگیری کند. آموزش مداوم کارگران و تکنسین‌ها، به‌ویژه در زمینه کار با تجهیزات و عملیات خاکی، باید از طریق دوره‌های عملی و شبیه‌سازی‌شده تقویت شود. همچنین، تقویت نظارت با افزایش تعداد ناظران و استفاده از ابزارهای دیجیتال، مانند سیستم‌های مانیتورینگ، ریسک‌های ناشی از نظارت ناکافی را کاهش می‌دهد. اجرای این پیشنهادات می‌تواند حوادث را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد و ایمنی پروژه‌ها را بهبود بخشد.

نوآوری این پژوهش در تمرکز بر ایمنی، که در مطالعات پیشین ایران کمتر بررسی شده، و ترکیب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک ترتیب ترجیح با شباهت به راه‌حل ایده‌آل نهفته است. برخلاف پژوهش‌های قبلی که بر جنبه‌های مالی یا زمانی متمرکز بودند، این مطالعه با استفاده از داده‌های واقعی از کارشناسان ایرانی، رویکردی بومی و جامع ارائه می‌دهد. این رویکرد نه‌تنها خلأهای پژوهشی را پر می‌کند، بلکه الگویی برای تحلیل ریسک‌های پیچیده در شرایط محلی فراهم می‌سازد.

با وجود این، پژوهش حاضر محدودیت‌هایی دارد. حجم نمونه (۳۰ کارشناس) اگرچه برای تحلیل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی کافی است، ممکن است کل جامعه آماری صنعت ساخت‌وساز ایران را نمایندگی نکند. همچنین، تمرکز بر پروژه‌های ساختمانی عمومی، کاربرد نتایج را برای پروژه‌های تخصصی، مانند سدسازی یا پل‌سازی، محدود می‌کند. علاوه بر این، ریسک‌های نوظهور، مانند تغییرات اقلیمی، بررسی نشدند. این محدودیت‌ها زمینه‌ساز پیشنهادهایی برای مطالعات آینده هستند. برای مثال، افزایش حجم نمونه، بررسی پروژه‌های عمرانی، یا استفاده از روش‌های مکمل مانند دیمتل[3] می‌تواند نتایج جامع‌تری ارائه دهد. همچنین، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال، مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان۴، می‌تواند تحلیل ریسک‌ها را دقیق‌تر کند.

در نهایت، این مطالعه مبنایی برای سیاست‌گذاری در صنعت ساخت‌وساز ایران فراهم می‌کند. تدوین استانداردهای بومی ایمنی با تمرکز بر ریسک‌های شناسایی‌شده، از جمله اقدامات کلیدی است. سازمان‌هایی مانند نظام مهندسی و وزارت کار می‌توانند با بازطراحی برنامه‌های آموزشی و نظارتی، بر تجهیزات، عملیات خاکی، و نیروی متخصص تمرکز کنند. این اقدامات نه‌تنها ایمنی را بهبود می‌بخشند، بلکه اعتماد عمومی را افزایش داده و از خسارات مالی و جانی پیشگیری می‌کنند. این پژوهش با ارائه دیدگاهی علمی و عملی، گامی در جهت توسعه پایدار صنعت ساخت‌وساز ایران برمی‌دارد.

منابع

Ahmadi, M., Shariati, M., & Rafiei, M. (2022). Safety Challenges in Iranian Construction Projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 28(3), 45-59.

Al-Sami, H., Al-Najjar, M., & Ahmed, S. (2023). Environmental Risk Assessment in Construction Using AHP. *Sustainability*, 15(4), 1234-1248.

Ghaffari, A., & Ebrahimi, M. (2025). Enhancing Safety Performance in Construction Sites Through IoT-Based Monitoring Systems: Evidence from Iranian Projects. *Automation in Construction*, 162, 104-118.

Hosseini, M. R., Martek, I., & Chileshe, N. (2023). Safety Management in Construction: A Global Perspective. *Construction Management and Economics*, 41(5), 321-337.

Hosseini, M. R., Chileshe, N., & Zuo, J. (2024). Digital Transformation in Construction Safety Management. *Automation in Construction*, 159, 104-120.

International Labour Organization. (2023). *Global Trends in Occupational Safety and Health*. ILO Press.

Kerzner, H. (2022). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (13th ed.). Wiley.

Kim, H., & Nguyen, T. (2023). Multi-Criteria Decision-Making in Construction Risk Management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(8), 345-362.

Li, J., & Kim, S. (2022). Impact of Safety Training on Construction Site Accidents: Evidence from South Korea. *Safety Science*, 145, 105-119.

Mahdavi, M., Hosseini, S., & Babaafjaei, A. (2023a). Modelling and Comparison of Plastic Performance in Ten Types of New Steel Braces under Pushover Analysis. *Computational Engineering and Physical Modeling*, 6(2), 73-89.

Mahdavi, M., Babaafjaei, A., & Hosseini, S. R. (2023b). Evaluation and Comparison of Seismic Performance in Irregular Steel Structures with Modern Concentrically Braces. *Computational Engineering and Physical Modeling*, 6(4), 57-76.

Mahdavi, M. (2023). Comparing the Performance of Diagonal, A-Chevron, Gate, Knee, Rhombus and X Braces with the Finite Element Method. *Advanced Structural Mechanics*, 1(3), 209-227.

Mahdavi, M., Hosseini, S., Babaafjaei, A., Chaghakaboodi, S., & Ghasemi, F. (2024). Optimizing the Life Cycle of Residential Buildings by Combining Hierarchical Analysis and Value Engineering Methods with the Classic and Widely Used AHP Analysis Model. *Karafan Journal*, 21(3), 347-366.

Mohammadi, A., Tavakolan, M., & Khosravi, Y. (2021). Financial Risk Prioritization in Construction Projects Using AHP. *International Journal of Project Management*, 39(6), 654-667.

Rezaei, F., Hosseini, S. M., & Tavakoli, A. (2022). Risk Management in Improving Project Performance in Iran. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(4), 123-135.

Saffari, H., & Mousavi, S. M. (2024). Risk Assessment of Construction Projects Using a Hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS Model: A Case Study on High-Rise Buildings in Tehran. *Journal of Structural Engineering and Construction*, 12(3), 45-60.

Tavakolan, M., & Mohammadi, A. (2023). A Multi-Criteria Decision-Making Framework for Safety Risk Prioritization in Mega Construction Projects. *International Journal of Project Management*, 41(6), 678-692.

Zareei, S., & Hosseini, M. (2024). Evaluating the Impact of Human Factors on Construction Safety: A Systematic Review of Middle Eastern Projects. *Safety Science*, 171, 106-122.

پیوست ها

پیوست ۱: خروجی‌های پرسشنامه

امتیازات داده شده به هر یک از ریسک‌ها براساس پرسشنامه تهیه شده

پرسشنامه	1	2	3	4	5
داربست	0.025	0.106	0.043	0.039	0.036
برگ اطلاعات ایمنی مواد	0.027	0.020	0.027	0.028	0.031
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	0.191	0.060	0.021	0.065	0.080
حصار حفاظتی موقت	0.077	0.060	0.071	0.051	0.070
برچسب گذاری	0.027	0.021	0.021	0.023	0.024
بهداشت کار	0.062	0.049	0.056	0.065	0.042
سازه موقت	0.076	0.077	0.078	0.065	0.080
سرپوش حفاظتی	0.063	0.040	0.047	0.063	0.051
پاخورهای حفاظتی	0.059	0.057	0.066	0.051	0.064
در دسترس نبودن نیروی متخصص	0.085	0.075	0.098	0.088	0.095
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	0.114	0.101	0.111	0.107	0.108
عملیات خاکی	0.194	0.235	0.195	0.216	0.188

17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
0.033	0.032	0.040	0.039	0.042	0.044	0.042	0.055	0.040	0.030	0.048	0.049
0.039	0.041	0.038	0.037	0.036	0.038	0.037	0.036	0.041	0.039	0.032	0.036
0.277	0.242	0.253	0.229	0.255	0.238	0.223	0.213	0.108	0.090	0.050	0.065
0.071	0.076	0.084	0.080	0.068	0.096	0.110	0.076	0.079	0.078	0.085	0.063
0.020	0.019	0.015	0.020	0.021	0.019	0.019	0.018	0.023	0.029	0.027	0.025
0.032	0.035	0.021	0.040	0.019	0.030	0.023	0.032	0.026	0.058	0.035	0.026
0.061	0.056	0.099	0.081	0.052	0.079	0.091	0.087	0.079	0.082	0.079	0.091
0.056	0.047	0.066	0.060	0.060	0.055	0.062	0.057	0.056	0.053	0.053	0.065
0.074	0.062	0.074	0.062	0.062	0.048	0.074	0.064	0.061	0.058	0.050	0.070
0.091	0.081	0.067	0.091	0.108	0.088	0.054	0.083	0.091	0.090	0.087	0.090
0.093	0.092	0.082	0.098	0.111	0.108	0.093	0.096	0.108	0.101	0.082	0.069
0.152	0.217	0.160	0.165	0.166	0.158	0.171	0.183	0.176	0.188	0.195	0.203

18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0.030	0.038	0.032	0.033	0.034	0.040	0.045	0.044	0.049	0.058	0.070	0.059
0.050	0.036	0.042	0.041	0.038	0.042	0.040	0.043	0.055	0.061	0.050	0.061
0.204	0.254	0.075	0.080	0.078	0.073	0.069	0.071	0.072	0.085	0.089	0.088
0.079	0.075	0.075	0.080	0.078	0.073	0.069	0.071	0.072	0.085	0.089	0.088
0.020	0.019	0.018	0.020	0.020	0.019	0.017	0.017	0.017	0.018	0.020	0.017
0.061	0.042	0.054	0.060	0.037	0.046	0.036	0.035	0.026	0.045	0.032	0.046
0.077	0.076	0.073	0.078	0.061	0.077	0.055	0.046	0.050	0.067	0.064	0.065
0.056	0.053	0.055	0.056	0.054	0.066	0.047	0.050	0.057	0.064	0.063	0.064
0.060	0.050	0.057	0.060	0.058	0.060	0.052	0.051	0.041	0.034	0.054	0.034
0.092	0.091	0.086	0.091	0.099	0.092	0.108	0.083	0.091	0.085	0.078	0.085
0.106	0.098	0.105	0.105	0.107	0.102	0.097	0.094	0.096	0.103	0.090	0.092
0.166	0.167	0.183	0.165	0.181	0.161	0.172	0.244	0.175	0.160	0.159	0.145

30	0.058	0.049	0.017	0.082	0.017	0.034	0.061	0.061	0.042	0.091	0.088	0.151

جمع کل براساس پرسشنامه تهیه شده برای یکی از پرسشنامه ها

نوع ریسک	جمع
داربست	5.95
برگ اطلاعات ایمنی مواد	6.48
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	42
حصار حفاظتی موقت	20.83
تابلو، یا علائم هشداردهنده	6.73
بهداشت کار	15.87
سازه موقت	17.25
سرپوش حفاظتی	16.43
پاخورهای حفاظتی	16.68
در دسترس نبودن نیروی متخصص	23.08
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	31.95
عملیات خاکی	48.5

جزئیات محاسبات میانگین وزنی نرمال‌شده و میانگین هندسی

ریسک‌ها	میانگین هندسی	اوزان نرمال شده
داربست	0.071	0.025
برگ اطلاعات ایمنی مواد	0.071	0.027
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	0.068	0.191
حصار حفاظتی موقت	0.051	0.077
تابلو، یا علائم هشداردهنده	0.069	0.027
بهداشت کار	0.053	0.062
سازه موقت	0.056	0.076
سرپوش حفاظتی	0.049	0.063
پاخورهای حفاظتی	0.046	0.059
در دسترس نبودن نیروی متخصص	0.053	0.085
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	0.041	0.114
عملیات خاکی	0.054	0.194

درصد وزنی نرمال شده تمام پرسشنامه‌ها

پرسشنامه	1	2	3	4	5	6	7	8
داربست	0.029	0.103	0.031	0.034	0.032	0.038	0.036	0.024
برگ اطلاعات ایمنی مواد	0.015	0.093	0.013	0.014	0.016	0.008	0.007	0.004
دستگاه و وسایل موتوری و بالابر	0.034	0.158	0.039	0.041	0.044	0.084	0.053	0.040
حصار حفاظتی موقت	0.021	0.051	0.019	0.047	0.028	0.105	0.022	0.015
تابلو، یا علائم هشداردهنده	0.029	0.098	0.103	0.079	0.083	0.105	0.085	0.081
بهداشت کار	0.047	0.169	0.182	0.118	0.094	0.083	0.085	0.079
سازه موقت	0.028	0.061	0.029	0.027	0.029	0.041	0.017	0.014
سرپوش حفاظتی	0.013	0.098	0.018	0.021	0.018	0.022	0.112	0.009
پاخورهای حفاظتی	0.011	0.069	0.009	0.012	0.009	0.026	0.023	0.013
در دسترس نبودن نیروی متخصص	0.018	0.171	0.021	0.016	0.019	0.025	0.037	0.025
انتخاب سیستم و تکنولوژی نامناسب برای مرحله اجرا	0.022	0.122	0.024	0.021	0.022	0.027	0.066	0.022
عملیات خاکی	0.034	0.083	0.034	0.040	0.034	0.029	0.034	0.034

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.036	0.042	0.034	0.032	0.031	0.027	0.028	0.027	0.025	0.024	0.026	0.027
0.008	0.010	0.009	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.007
0.084	0.060	0.067	0.071	0.051	0.058	0.063	0.062	0.048	0.042	0.052	0.056
0.020	0.028	0.020	0.024	0.017	0.014	0.014	0.013	0.013	0.015	0.012	0.018
0.074	0.109	0.085	0.089	0.093	0.114	0.107	0.071	0.114	0.073	0.114	0.068
0.082	0.098	0.118	0.077	0.091	0.106	0.083	0.098	0.072	0.079	0.112	0.102
0.038	0.058	0.027	0.022	0.082	0.027	0.080	0.020	0.015	0.013	0.014	0.012
0.024	0.132	0.024	0.013	0.015	0.011	0.018	0.018	0.010	0.010	0.021	0.010
0.026	0.021	0.013	0.121	0.025	0.014	0.020	0.014	0.015	0.014	0.015	0.014
0.041	0.032	0.046	0.023	0.027	0.025	0.017	0.018	0.024	0.025	0.024	0.022
0.021	0.024	0.035	0.024	0.020	0.022	0.018	0.022	0.021	0.022	0.022	0.021
0.026	0.042	0.030	0.023	0.049	0.050	0.033	0.022	0.037	0.037	0.038	0.026

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0.028	0.026	0.033	0.030	0.030	0.030	0.037	0.040	0.040	0.036
0.007	0.005	0.006	0.006	0.006	0.008	0.009	0.007	0.009	0.008
0.052	0.057	0.055	0.066	0.058	0.047	0.055	0.057	0.059	0.064
0.019	0.018	0.018	0.017	0.016	0.014	0.019	0.023	0.022	0.019
0.093	0.095	0.089	0.082	0.087	0.083	0.089	0.111	0.085	0.085
0.079	0.090	0.117	0.081	0.081	0.068	0.097	0.159	0.104	0.087
0.013	0.012	0.026	0.177	0.157	0.180	0.216	0.216	0.216	0.199
0.010	0.010	0.042	0.008	0.011	0.012	0.013	0.013	0.013	0.013
0.014	0.014	0.014	0.014	0.013	0.067	0.063	0.077	0.063	0.103
0.025	0.029	0.025	0.013	0.021	0.029	0.034	0.067	0.034	0.039
0.022	0.027	0.022	0.021	0.022	0.026	0.022	0.029	0.029	0.029
0.037	0.022	0.037	0.030	0.026	0.019	0.037	0.037	0.037	0.019