نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۴، شماره ۷، سال ۱۴۰۱، صفحات ۲۷۵۹ تا ۲۷۷۸
DOI: 10.22060/ceej.2022.19264.7118

# تحلیل عوامل موثر بر توسعه مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی

محمد بنار، رامین انصاری*، مهدی مهدی خانی

گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی )ره(، قزوین، ایران

**خلاصه:** اجرای پروژه‌های ساخت با وجود آیین‌نامه‌های مربوط به ایمنی همواره با مخاطراتی غیرقابل جبران شامل حوادث جانی و مالی برای منابع انسانی و پروژه همراه است، این رویدادها بر موازنه هزینه، زمان و کیفیت پروژه‌ها تأثیر نامطلوب می‌گذارند. بنابراین وجود نظام مدیریت ایمنی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود فرآیند مدیریت پروژه ایفا کند. این پژوهش شامل شناسایی و ارزیابی مهم‌ترین سطوح و معیارهای ایمنی در پروژه‌های ساخت، ارزیابی و توسعه یک مدل بلوغ مدیریت ایمنی در کارگاه‌ها بر مبنای یک مطالعه موردی، تحلیل آماری داده‌های حاصل از پرسش‌نامه و همچنین به کارگیری روش ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی مبتنی بر تلفیق تکنیک‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، رتبه‌بندی اولویت‌ها از طریق تشابه به راه‌حل ایده‌آل و آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری، است. بر اساس نتیجه پژوهش، دوازده معیار مهم ایمنی با توجه به وزن‌دهی انجام شده شناسایی و رتبه‌بندی شدند و سپس از بین سه پروژه مورد بررسی، یکی از آن‌ها به عنوان نزدیک‌ترین پروژه به راه‌حل ایده‌آل انتخاب شد و در پایان مؤثرترین معیارها طبق اولویت‌بندی در چهار رکن اصلی پروژه مشخص شدند. مؤلفه بهره‌گیری از سیستم یکپارچه مستندات و سوابق ایمنی پروژه توسط ذینفعان مختلف با امتیازهای ۱۵/۳۹ و ۱۷/۹۵۷۹، مؤلفه استفاده از متدولوژی‌ها و فرایندهای بهینه بر اساس رویه‌های به روز دنیا با امتیاز ۱۱/۱۴۴۳ و مؤلفه تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان با امتیاز ۶/۶۹۰۶ به ترتیب مهم‌ترین مؤلفه‌ها در رکن رهبری و مدیریت سازمان پروژه و رکن پرسنل کلیدی و کارکنان، رکن شرکا و ذینفعان و رکن سیاست و استراتژی‌ها شناخته شدند.

**تاریخچه داوری:**
دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۵
بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

**کلمات کلیدی:**
مدیریت پروژه‌های ساخت
مدل بلوغ ایمنی
رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره ترکیبی

## ۱- مقدمه

امروزه با توجه به گسترش روزافزون جمعیت جهان، ضرورت بیشتری برای توسعه پروژه‌های زیرساخت ایجاد شد به همین دلیل باید در صنعت ساخت و ساز بیشتر تأمل و توجه کرد. زیرا حوادث موجود در این حرفه باعث ایجاد خسارت زیادی به کارگران و خانواده‌های آنان، کارکنان و همچنین افراد جامعه نیز شده است [۲ و ۱]. بر همین اساس، توجه به نیروی انسانی به عنوان اصلی‌ترین سرمایه سازمان و بهبود فرایندهای کاری در راستای تولید و عملیات بهره‌وری این سرمایه، از مهم‌ترین معیارهای رقابت‌پذیری سازمان‌ها به شمار می‌رود [۳]. همچنین تأثیرات بالای اجتماعی و اقتصادی ناشی از تصادفات و جراحات، باعث شده است تا تلاش‌های زیادی برای رفع وضعیت نامناسب ایمنی و بهداشت شغلی (OSH[1]) در صنعت ساخت و ساز شود [۶-۴]. به همین دلیل یکی از ابتکارات مهم برای مقابله با وضعیت نامناسب ایمنی و بهداشت شغلی، طراحی برای ایمنی و بهداشت شغلی (DFOSH[2]) می‌باشد [۷]. سازمان بین‌المللی کار (ILO[3])، تخمین می‌زند که حدود ۴ درصد از تولیدات ناخالص داخلی جهان (GDP[4]) به دلیل حوادث‌های ناشی از کار از بین می‌رود [۸]. که حوادث موجود در ساخت و ساز یکی از عمده‌ترین حوادث‌های رایج در کار است [۹]. که در پژوهشی که محققان انجام داده‌اند به این نکته اشاره کرده‌اند که ۲۹ درصد از کل کارگران در صنعت ساخت و ساز مشغول به کار هستند. که اما ۴۰ درصد از حوادث محل کار مربوط به صنعت ساخت و ساز می‌باشد [۱۰]. بر همین مبنا صنعت ساخت و ساز به دلیل ویژگی خاصی که دارد یکی از خطرناک‌ترین حرفه کاری می‌باشد [۱۵-۱۱ و ۱]. و از آنجا که صنعت ساخت و ساز از

1 Occupational safety and health

2 Design for occupational safety and health
3 International labour organization
4 Gross domestic product

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: raminansari@eng.ikiu.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

عناصر اصلی پیشرفت و توسعه برای جوامع محسوب می‌شود، پس باید به موفقیت‌های شرکت‌های مربوط به این حرفه توجه بیشتری کرد. که این موفقیت‌ها تنها مختص به مسائل اقتصادی نیست بلکه یکی از عوامل موفقیت یک شرکت ساختمانی توجه به مقوله مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست نیز می‌باشد [۱۶]. همچنین با توجه به آمار و ارقام حوادث صنعت ساخت و ساز می‌توان دریافت که، همان میزان که توجه به مؤلفه‌های مهمی چون هزینه، زمان و کیفیت که سه رأس مهم مثلث مدیریت پروژه محسوب می‌شوند، باعث موفقیت پروژه می‌شوند، توجه به عملکرد ایمنی نیز به همان میزان باعث موفقیت پروژه می‌شود [۱۷]. بر همین اساس باید به این نکته توجه داشت که عدم توجه به اقدامات ایمنی تأثیر قابل توجهی بر روی هزینه صدمات ناشی از ساخت و ساز می‌گذارد و هزینه کلی ساخت حدود ۱۵ درصد افزایش می‌یابد [۱۸]. لذا ارزیابی و مدیریت ریسک‌های ایمنی در این پروژه‌ها با هدف کاهش خطرات جانی، مالی و زمانی همواره از مسائل حائز اهمیت در صنعت ساخت و ساز به شمار می‌رود. جهت پیشرفت و بهبود در این زمینه می‌توان با توسعه یک مدل بلوغ مدیریت ایمنی کارآمد و اتکا به اصول مدیریت نوین و پایه‌ریزی بر اساس یک سیستم مشخص با تعریف و تبیین کلیه ابعاد مربوطه و تفکیک مسئولیت‌ها و یا دیدگاه فرآیندی به ابزارهای لازم جهت دستیابی به اهداف مورد نظر دست یافت. از این رو به سادگی می‌توان دریافت که با پیاده‌سازی و استقرار نظام مدیریت ایمنی در هر سازمانی، بسیاری از خطرات و ریسک‌های عملیات اجرایی آن سازمان شناسایی شده و بالطبع راه‌حل‌های مناسبی جهت کاهش ریسک‌ها تا حد قابل توجه، قابل ارائه خواهد بود [۱۹].

### ۱- ۱- مدل بلوغ ایمنی

مدل بلوغ برای فرآیند رشد و تکامل سازمان‌ها تعریف شده و چارچوبی را در پیمودن این فرآیند ارائه می‌نماید. نیاز سازمان‌ها به شناخت عمیق‌تر مدیریت پروژه برای توسعه سازمان‌ها و حفظ و تداوم فعالیت‌ها ضرورت مدلی را برای ارزیابی وضعیت سازمان و نقاط قوت و ضعف و گام‌های مسیر رشد بیشتر نشان می‌دهد. در صورتی که این سیستم مدیریت به درستی اجرا گردد، فعالیت‌های سازمانی مورد نظر سیستم مدیریت ایمنی، برای تمامی افراد در سطوح مختلف مدیریت، تبدیل به رفتار می‌گردد. زمانی که این رفتار در تمام سطوح اجرایی و مدیریتی پایدار گشت، می‌توان گفت که فرهنگ ایمنی در سازمان و به تبع آن در صنعت به وجود آمده است. اغلب متخصصین ایمنی بر این باورند که برای کاهش حوادث، باید از سخت‌افزارها و یا نرم‌افزارها استفاده کرد. اما وجود فرهنگ ایمنی بیش از سایر استراتژی‌های بهبود عملکرد ایمنی از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا برای پذیرش و اجرای دستورالعمل‌های ایمنی ابتدا باید به طرز تفکر کارکنان پرداخت [۲۰].

## ۲- پیشینه تحقیق

در پژوهشی به ارزیابی ریسک و توسعه الگوی مدیریت ایمنی شغلی برای پروژه‌های ساختمانی با استفاده از تکنیک استدلال فازی پرداخته شد. در این مطالعه یک مدل ارزیابی ریسک ایمنی برای پروژه‌های ساختمانی توسعه یافته است که می‌تواند برای ارزیابی میزان ریسک هر یک از رویدادهای خطرناک شناسایی شده در هنگام ساخت مورد استفاده قرار بگیرد. در این تحقیق، یک پارامتر سوم احتمال پیامد در مدل گنجانده شده است. با استفاده از روش تحلیل ریسک ایمنی پیشنهادی، باعث کاهش میزان ابهامات و ریسک شد [۲۶]. اقدام به آنالیز سطح بلوغ فرهنگ ایمنی در پروژه‌های ساخت با مطالعه موردی در پروژه نوسازی یک استادیوم موضوع دیگری است که به آن پرداخته شده است. داده‌های مورد نیاز در این تحقیق به صورت کیفی و از طریق مشاهده و مصاحبه جمع‌آوری شده و با استفاده از روش کمی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. سطح بلوغ فرهنگ ایمنی در پنج سطح بلوغ تعیین شد که از نظر آسیب‌شناسی، واکنشی، محاسباتی، تحریک آمیز و مولد مورد سنجش قرار گرفت. در نتیجه افزایش درک کارگران به عنوان مهم‌ترین دارایی شرکت در خصوص مسائل ایمنی از یک سو و آگاهی از ایمنی ایجاد شده توسط رهبران پروژه (مدیریت و سرپرستان) از سوی دیگر به عنوان رویکردهای اصلی افزایش نمره سطح بلوغ ایمنی تعیین شده است [۲۷]. اندازه‌گیری و ارزیابی بلوغ ایمنی پیمانکاران ساختمانی با رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره، مطالعه دیگری است که برای ارزیابی بلوغ ایمنی پیمانکاران ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته شد. تدوین چارچوب تصمیم‌گیری شامل دو مرحله بوده است. نخست، بررسی ادبیات یکپارچه برای شناسایی عوامل بلوغ ایمنی تأثیرگذار و شاخص های بالقوه آن‌ها در صنعت ساخت که نتیجه این بررسی شناسایی هفت عامل (شاخص‌های پیشرو در زمینه ایمنی، شاخص‌های تأخیر ایمنی، پرسنل ایمنی و نظارتی، بلوغ سیستم و تاب‌آوری، خدمات پیش سازندگی، فناوری و نوآوری و فرهنگ ایمنی) بوده است. سپس عوامل شناسایی شده و شاخص‌های مؤثر بر آن‌ها با یک روش تصمیم‌گیری از طریق بررسی چند معیاره رسمی که با عنوان انتخاب توسط مزایا نامیده می‌شود، پرداختند [۲۸]. در تحقیقی دیگر به بررسی وجود کارگران ساختمانی از کشورهای مختلف

**جدول ۱. انواع مدل بلوغ ایمنی ارائه شده توسط محققین**

**Table 1. Types of safety maturity models proposed by researchers**

| ردیف | انواع مدل بلوغ ایمنی | توضیحات |
|---|---|---|
| ۱ | مدل بلوغ فرهنگ HSE[1] | مدل نردبان فرهنگ، شامل ۵ مرحله که عبارتند از: ۱-آسیب شناسی ۲-واکنشی ۳-حسابگر ۴-پیش‌گیرانه ۵-خلاقانه [۲۱]. |
| ۲ | سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی OHSAS | این سیستم بر مبنای چرخه دیمینگ (PDCA) طرح‌ریزی شده و مراحل آن عبارتند از: ۱-خط مشی ۲-طرح‌ریزی ۳-استقرار و اجرا ۴-بررسی و اقدام اصلاحی ۵-بازنگری مدیریت [۲۲]. |
| ۳ | سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای ANSI-Z10AIHA | این استاندارد در زمینه یکپارچه‌سازی سیستم‌های ایمنی و بهداشت به شمار می‌آید که مراحل آن عبارتند از ۱-رهبری و مشارکت کارکنان ۲-برنامه‌ریزی ۳-اجرا و عملیات ۴-ارزیابی و اصلاح عملیات ۵-بازنگری مدیریت [۲۳]. |
| ۴ | مدل تعالی فرهنگ ایمنی | این مدل شامل ۶ معیار اصلی و ۲۸ زیرمعیار می‌باشد که شامل ۱-نتایج ۲-فرآیندها ۳-کارکنان ۴-راهبرد ۵-رهبری ۶-منابع [۲۴]. |
| ۵ | مدل تکامل یافته فرهنگ ایمنی | این مدل در راستای فرهنگ ایمنی می‌باشد که به صورت هرم ارائه شده است که اعضای این هرم عبارتند از: ۱-ارزش‌های اساسی ۲-عوامل سازمانی (استراتژی‌های رهبری ایمنی) ۳-جو ایمنی ۴-رفتارهای ایمنی [۲۵]. |
| ۶ | مدل ایمنی بر مبنای مدل HSE-MS | این مدل ترکیبی از ۳ استاندارد ISO9001 و OHSAS18001 و ISO14001 می‌باشد و مراحل آن عبارتند از: ۱-منطقه الگو ۲-چارجوب الگو ۳-پیکره دانش ۴-روش سنجش ۵-تفسیر روند پیشرفت می‌باشد [۲۵]. |

در یک پروژه و ادغام فرهنگ‌های ایمنی متفاوت، پرداخته شد. نبود یک فرهنگ ایمنی جامع در بین کارگران می‌تواند بر فرهنگ ایمنی کلی تأثیر منفی بگذارد. بر اساس مدل همبستگی ایمنی ساختاری ارائه شده در تحقیق، تأثیر جریان رفتاری و فرهنگی کارگران مختلف ساختمانی بر فرهنگ ایمنی کلی پروژه مورد بررسی قرار گرفته شد. در نتیجه فرآیند کاری کارگران ساختمانی، بر ارزش بحرانی فرهنگ ایمنی پروژه تاثیر چندانی ندارد، اما از سوی دیگر دوره زمانی ترویج و ارتقاء همه جانبه جهت تقویت فرهنگ ایمنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲۹]. در تحقیق انجام شده با تمرکز بر موضوعات مربوطه به کارکنان در ایمنی ساخت، سه عامل اصلی رهبری ایمنی، فرهنگ ایمنی و رفتار ایمنی برای بررسی ارائه کردند. آن‌ها از طریق یک رویکرد سیستماتیک در مفهوم و تعامل بین این سه عامل یک رویکرد نوین را به نام LCB[1] پیشنهاد کردند. در نتیجه رهبری ایمنی، فرهنگ ایمنی و رفتار ایمنی ذینفعان پروژه در تمامی سطوح به طور قابل توجهی بهبود یافته است. علاوه بر این رویکرد LCB ثابت کرده است که یک تغییر طولانی مدت در رفتار ناایمن ایجاد می‌کند که باعث تقویت رهبری ایمنی و فرهنگ ایمنی می‌شود [۳۰]. برای ارزیابی عملکرد ایمنی کارگران در صنعت ساخت چهارچوبی پیشنهاد شد که ۱۱ معیار اصلی و ۴۴ زیرمعیار برای اندازه‌گیری شرایط ایمن و بهداشتی بر اساس اهمیت در ایجاد محیط کار ایمن و سالم شناسایی شد و تحت عنوان رویکرد NFC[2] اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شدند. در نتیجه مهم‌ترین عوامل در ایجاد یک محیط کار ایمن به ترتیب: استخدام افراد ماهری که دانش لازم را برای اطمینان از ایمنی، در سازمان‌ها کسب می‌کنند- دسترسی فوری به تجهیزات ایمنی مانند هشدارهای ایمنی و نشانگرهای خطر دارند- در دسترس بودن کارکنان پزشکی می‌باشند [۳۱]. در پژوهش انجام شده ۱۰۰ مقاله را برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر ایمنی در پروژه‌های ساختمانی بررسی کردند و علاوه بر آن ۲۰ مصاحبه با متخصصان در زمینه بهداشت و ایمنی ساخت و ساز انجام دادند. در این تحقیق برای توسعه داده‌ها و توسعه الگوها از روش GTM[3] و تحلیل محتوا استفاده کردند. همچنین ۴ الگو کارگران ساختمان که عبارتند از: سرزنش کارگران،

1 Leadership-Culture-Behavior

2 Net Flow Score

3 Ground theory method

**جدول ۲. مروری بر سایر مقالات بررسی شده و مقایسه با نوآوری انجام شده**

**Table 2. A review of other reviewed articles and comparisons with innovations**

| نام نویسنده و سال انتشار مقاله | روش تحقیق | | | | | | | | | | | هدف تحقیق |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SD[2] | ISA[3] | SA[4] | ST[5] | QSD[6] | RT[7] | SA[8] | FHSLMM[9] | AHP | TOPSIS | DEMATEL | |
| **Han, S., Saba, F., Lee, S., Mohamed, Y., & Peña-Mora, F. [35]** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | بررسی چگونگی ارتباط فشار تولید با عملکرد ایمنی در طول زمان با شناسایی فرایندهای بازخورد آن‌ها |
| **Guo, B. H. W., Yiu, T. W., & González, V. A.[36]** | | | | | ✓ | | | | | | | کشف پیچیدگی مدیریت ایمنی در ساخت و ساز با کاوش در طرح و الگوی اولیه ایمنی ساخت و ساز |
| **Feng, Y.[37]** | | | | | | ✓ | | | | | | مطالعه بررسی حداقل سرمایه‌گذاری ایمنی داوطلبانه از طریق بهینه‌سازی کل هزینه‌های ایمنی قابل کنترل برای پروژه‌های ساختمانی |
| **Rafiq Muhammad Choudhry [38].** | | | | | | | ✓ | | | | | تحقیق بررسی بهره‌وری و ایمنی به طور هم زمان در پروژه‌های عمرانی |
| **David Oswald*, Helen Lingard [39].** | | | | | | | | ✓ | | | | ارائه یک مدل بلوغ رهبری سلامت و ایمنی خط H&S مقدم |
| **مقاله حاضر** | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ارائه و رتبه‌بندی مهم‌ترین معیارهی ایمنی و بررسی میزان تأثیر و تأثر آن‌ها بر چهار رکن اصلی پروژه |

تأخیر ساخت، برنامه‌های تشویقی و وضعیت مالی پیمانکاران جزء با استفاده از پویایی سیستم مورد تحلیل قرار دادند. در نتیجه این الگوها، عوارض جانبی تصمیمات مدیران پروژه و سایر ذینفعان پروژه را بر ایمنی کارگاه‌های ساختمانی نشان دادند، علاوه بر این، این پژوهش به درک، چگونه فشار بر کارگران می‌تواند بر ایمنی کارگاه‌ها تأثیر بگذارد، کمک کرده است [۳۲]. در پژوهشی دیگر، ابزاری برای تصمیم‌گیری ایجاد شد که در ابتدا عواملی که می‌تواند برای پیش‌بینی پذیرش فناوری ایمنی مؤثر باشند را به وسیله مطالعه تحقیقات گذشته شناسایی کردند سپس از طریق تجزیه تحلیل آماری، نقاط قوت پیش‌بینی کننده‌ها شناسایی شد و سپس به ۳ دسته خارجی، سازمانی و فناوری طبقه‌بندی شدند و در نهایت هر عامل پیش‌بینی وزن‌دهی و اولویت‌بندی شد و به دنبال آن تئوری C-STAI[1] به وجود آمد. در نتیجه پیش‌بینی‌های مربوط به فناوری به عنوان مؤثرترین عوامل ظاهر شدند [۳۳]. با بررسی و مرور جامع شاخص‌های پیشرو (گذشته) ایمنی، به تعریف و تمایز شاخص‌های پیشرو ایمنی از سایر روش‌های پیش‌بینی ایمنی و تعریف یک شیوه واضح برای تشخیص بین شاخص‌های فعال و غیرفعال ایمنی پرداخته شد. بر روی این شاخص‌ها یک تحلیل فرا آماری صورت گرفت که ارزش و اهمیت هر کدام از این شاخص‌های فعال و غیرفعال ایمنی مشخص شد. در نتیجه سوابق اجرایی ایمنی، منابع ایمنی، کارکنان ایمنی، مشارکت کارفرما، آموزش ایمنی/ جهت‌گیری، تجهیزات حفاظت شخصی، برنامه مشوق ایمنی، بازرسی‌ها و مشاهدات ایمنی و جلسه ایمنی قبل از کار، عملکرد ایمنی را در طولانی مدت بهبود می‌بخشد [۳۴].

1 Construction Safety Technology Adoption Index

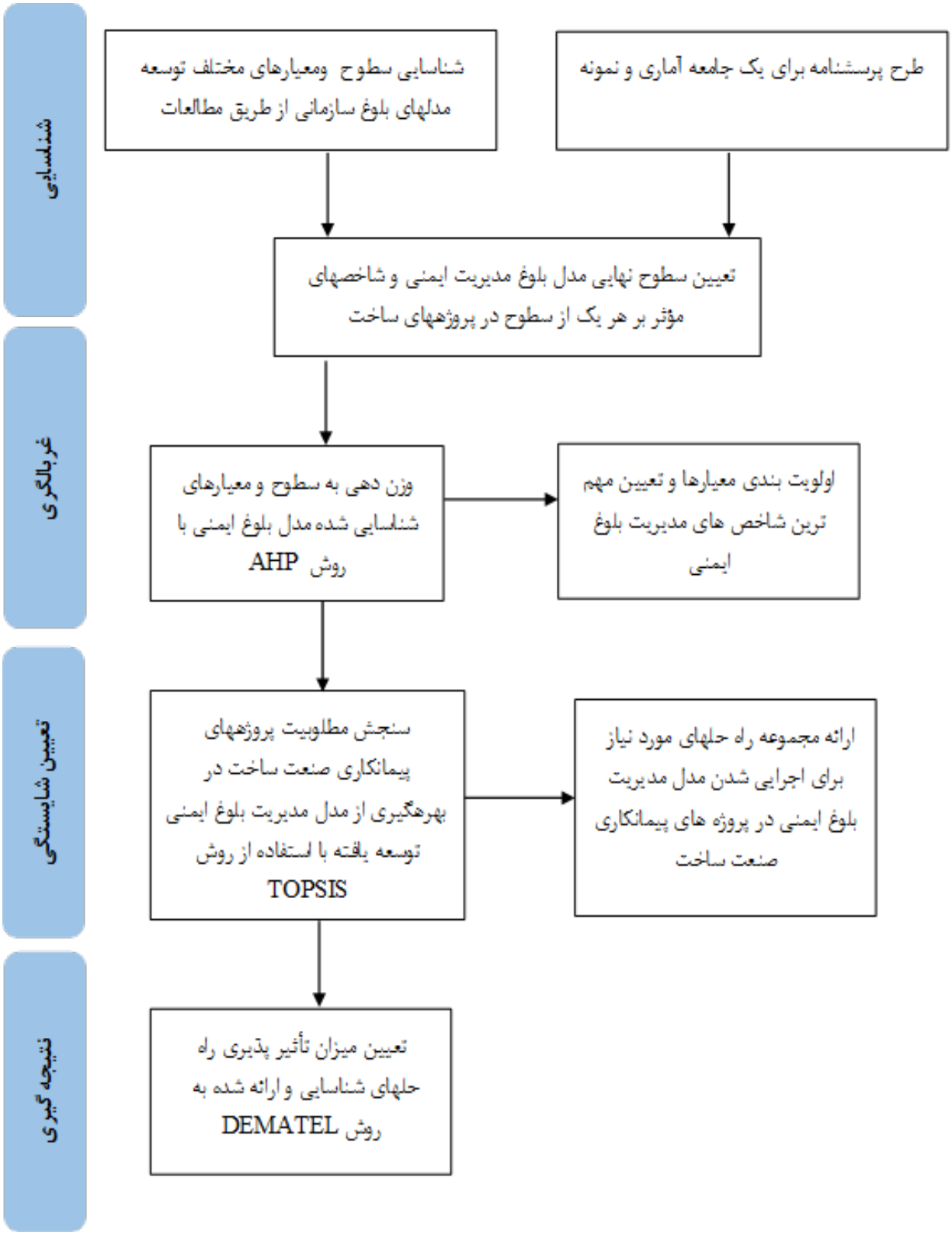
## ۳- روش تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش تلاش بر این است که مهم‌ترین معیارها و پارامترهای موثر بر توسعه مدل بلوغ مدیریت ایمنی مورد بررسی و شناسایی قرار بگیرد و همچنین به ارزیابی این مدل در پروژه‌های صنعت ساختمان بر اساس نظرات خبرگان پرداخته شود. برای دستیابی به هدف مذکور، در ابتدا و مرحله اول، با بهره‌گیری از مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی همچون مطالعه استانداردهای مدیریت پروژه، به بررسی مدل‌های بلوغ پرداخته می‌شود و سطوح گوناگون برای توسعه یک مدل بلوغ همچون سطوح اولیه، استاندارد، یکپارچگی، اندازه‌گیری و پایش و بهینه‌یابی شناسایی خواهد شد. سپس زیرمعیارهای و پارامترهای موثر بر هر یک از این سطوح برای رسیدن به یک مدل بلوغ مدیریت ایمنی در پروژه‌های صنعت ساخت و ساز شناسایی خواهد شد. سپس این مؤلفه‌ها در راستای توسعه یک مدل نظام یافته مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این روند با استفاده از غربالگری داده‌ها، از طریق پرسشنامه مبتنی بر طیف لیکرت که در اختیار جامعه آماری تحقیق قرار خواهد گرفت و پس از تعیین اهمیت این معیارها توسط متخصصین، داده‌ها وارد نرم‌افزار SPSS[1] شده و آزمون آماری فریدمن برای تعیین مهم‌ترین موارد به کار گرفته می‌شود. در مرحله بعد مهم‌ترین معیارهای حاصل شده از نتایج آزمون فریدمن، با استفاده از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) و تکنیک رتبه‌بندی اولویت‌ها از طریق تشابه به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS[3]) وزن‌دهی و اولویت‌بندی پارامترهای شناسایی شده انجام خواهد شد. بدین صورت که ابتدا زیرمعیارهای مربوط به هر یک از سطوح مدل بلوغ مدیریت ایمنی با استفاده از پرسشنامه‌های تهیه شده بر مبنای مقایسات زوجی و برحسب نظرات خبرگان اولویت‌بندی گردیده و معیارهای مؤثرتر استخراج خواهد شد. سپس با استفاده از امتیازهای به دست آمده از مرحله قبل، وزن‌دهی به پارامترها صورت خواهد گرفت و در ادامه با استفاده از روش TOPSIS، به ارزیابی برخی از پروژه‌های پیمانکاری صنعت ساخت از نظر مطلوبیت در زمینه مدل بلوغ توسعه یافته پرداخته خواهد شد. در نهایت با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری به وسیله آزمایش و ارزیابی (DEMATEL[4]) به بررسی تاثیرپذیری راه‌حل‌های شناسایی شده پرداخته می‌شود. بدین منظور تاثیر ۴ رکن اساسی پروژه بر این راه‌حل‌ها و همچنین در هر رکن تاثیرپذیری راه‌حل‌ها از یکدیگر مورد سنجش قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در تمامی مراحل تحقیق، برای ارزیابی‌ها از نظرات خبرگان و کارشناسان صنعت ساخت با مطالعه موردی در پروژه‌های ساختمانی کشور بهره گرفته خواهد شد. فرایند اجرایی پژوهش حاضر به صورت الگوی شکل ۱ قابل ترسیم می‌باشد.

### ۳- ۱- مرحله اول: شناسایی سطوح مختلف بلوغ ایمنی و زیرمعیارهای آن

در این پژوهش ابتدا به وسیله مطالعه و مرور تحقیقات پیشین اقدام به شناسایی سطوح مختلف و زیرمعیارهای مربوط به بلوغ ایمنی شد. سپس با استفاده از تنظیم پرسشنامه، سطوح اصلی و زیرمعیارهای مربوطه تعیین شد. (جدول ۳)

1 Statistical package for social science
2 Analytical Hierarchy process
3 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
4 Decision Making Trial And Evaluation




**شکل ۱. مدل مفهومی از مراحل کلی تحقیق**

**Fig. 1. Conceptual model of the general stages of research**

**جدول ۳. سطوح و زیرمعیارهای تعیین شده مدل بلوغ مدیریت ایمنی**

**Table 3. Levels and sub-criteria determined by the safety management maturity model**

| راهکار اصلی | شاخص | زیرعامل | شاخص |
|---|---|---|---|
| (۱) سطح اول (شایستگی‌ها) در توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت شامل ابزار و شایستگی محدود و ناسازگار | V | انجام کار بدون نگهداری سوابق و الزام تهیه گزارش | V1 |
| | | به کارگیری افراد غیرمتخصص در جایگاه مدیران ایمنی | V2 |
| | | تهیه معدود برنامه‌های ایمنی در سطح اولیه، بدون مشارکت همه افراد | V3 |
| | | استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ایمنی پروژه به صورت تصادفی، موردی و نامنظم در سطح اولیه | V4 |
| (۲) سطح دوم (توسعه استانداردها) در توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت شامل تعیین خط مشی‌ها و اصول استاندارد) | W | تعیین خط مشی مدیریت ایمنی پروژه‌ها و فرآیندهای اجرای آن | W1 |
| | | اعمال کامل استانداردهای ایمنی در راستای توسعه یک مدل بلوغ ایمنی | W2 |
| | | تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان | W3 |
| | | برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل آموزش‌های لازم | W4 |
| | | استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ایمنی پروژه | W5 |
| | | برنامه‌ریزی‌های مستمر و مدام تیمی با مشارکت کلیه ذینفعان پروژه | W6 |
| (۳) سطح سوم (یکپارچه‌سازی) در توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت شامل مستندسازی و یکپارچه شدن فرایندهای ایمنی | X | استقرار نظام ایمنی پروژه و پیاده‌سازی اصولی آن | X1 |
| | | استفاده از استانداردهای به روز شده بر اساس معیارهای دانش مدیریت ایمنی و دسترسی آن‌ها برای تیم پروژه | X2 |
| | | به کارگیری افراد متخصص در سمت‌های مرتبط با ایمنی | X3 |
| | | سفارشی‌سازی رویه‌های مدیریت ایمنی در همه فرایندها (در صورت نیاز) | X4 |
| | | سازگاری و هماهنگی ابزارها، رویه‌ها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا بر اساس استراتژی‌های ایمنی | X5 |
| | | آموزش‌های نظام یافته بر اساس شایستگی‌های لازم سطوح مدیریت با ابزارهای مناسب آموزشی | X6 |
| | | بهره‌گیری از سیستم یکپارچه مستندات و سوابق ایمنی پروژه توسط ذینفعان مختلف در راستای توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران | X7 |
| | | اطلاع‌رسانی، مدیریت و یکپارچه‌سازی به موقع هرگونه تغییرات به وجود آمده در ایمنی پروژه | X8 |
| | | جمع‌آوری آموخته‌های ایمنی پروژه به صورت مستند و استفاده از آن در مراحل مختلف پروژه | X9 |
| (۴) سطح چهارم (اندازه‌گیری و پایش) در توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت شامل سنجش فرایندهای ایمنی با معیارهای هماهنگ و متناسب | Y | پایش، ارزیابی و آنالیز برنامه‌های ایمنی در سطوح مختلف پروژه | Y1 |
| | | بازنگری معیارهای اندازه‌گیری و خودکنترلی فرآیندها با پروتکل‌های اجرایی ایمنی | Y2 |
| | | بازبینی اهداف، استراتژی‌ها و الزامات HSE پروژه و اصلاح آن‌ها در صورت نیاز | Y3 |
| | | ارزیابی قابلیت‌های بلوغ رویه‌ها و فرآیندهای برنامه‌ریزی، کنترل و اجرای مدیریت ایمنی | Y4 |
| | | بازبینی ابزارها و متدهای برنامه‌ریزی، کنترل و اجرای سیستم و تعویض یا اصلاح آن‌ها در صورت لزوم در راستای توسعه یک مدل | Y5 |
| | | اشتراک آموخته‌های پروژه‌های قبلی سازمان | Y6 |
| | | الگوبرداری‌های موشکافانه خارجی بر اساس اهداف و استراتژی‌ها | Y7 |
| | | اجرای منظم بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان از رعایت مقررات ایمنی | Y8 |
| (۵) سطح پنجم (بهینه‌سازی فرآیند) در توسعه یک مدل بلوغ ایمنی پیمانکاران در پروژه‌های ساخت شامل تمرکز بر بهبود مستمر فعالیت‌ها | Z | تدوین مقررات کامل و به‌روزآوری آن جهت ترفیع و اعتلای فرهنگ ایمنی | Z1 |
| | | بهبود برنامه‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست موجود پروژه (بهبود مستمر اهداف استراتژی‌ها و الزامات مرتبط با ایمنی پروژه) | Z2 |
| | | بهره‌گیری از روش‌های تحقیق و توسعه برای دستیابی به فرآیندها، تکنیک‌ها و ابزارهای برتر | Z3 |
| | | استفاده از نوآوری و خلاقیت در برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل مدیریت ایمنی | Z4 |
| | | استفاده از متدولوژی‌ها و فرآیندهای بهینه بر اساس رویه‌های به روز دنیا | Z5 |
| | | بهبود برنامه‌های دوره‌ای و آموزشی بر مبنای آنالیز و ارزیابی و الگوبرداری‌های خارجی | Z6 |
| | | ارتقای کیفیت ایمنی از طریق ابزارها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا به صورت دوره‌ای و مداوم | Z7 |
| | | بهبود رویه‌های موجود در فرآیند مدیریت ایمنی با استفاده از تکنیک‌های بهبود مستمر | Z8 |
| | | پیاده‌سازی ممیزی‌های ایمنی به صورت مستمر برای اطمینان از رعایت مقررات و دستورالعمل‌ها | Z9 |

جدول ۴. سنجش قابلیت اطمینان معیارهای اصلی

Table 4. Assessing the reliability of the main criteria

| سطوح اصلی | زیرعامل | Cronbach's Alpha | CVR |
|---|---|---|---|
| V | ۴ | ۰/۷۳۷ | ۰/۳۶ |
| W | ۶ | ۰/۸۲۳ | ۰/۴۱ |
| X | ۹ | ۰/۷۹۴ | ۰/۲۹ |
| Y | ۸ | ۰/۷۷۲ | ۰/۴۶ |
| Z | ۹ | ۰/۸۰۱ | ۰/۵۲ |

جدول ۵. سنجش قابلیت اطمینان کل زیرمعیارها

Table 5. Assessing the reliability of all sub-criteria

| Reliability Statistics | |
|---|---|
| Cronbach's Alpha | Number of Items |
| ۰/۸۸۴ | ۳۶ |

۳- ۲- مرحله دوم: انجام تحلیل آماری

۳- ۲- ۱- تحلیل قابلیت اطمینان یا صحت‌سنجی داده‌های جمع‌آوری شده (پایایی و روایی پرسشنامه)

از روش ضریب آلفای کرونباخ مطابق با رابطه زیر برای تعیین پایایی بهره گرفته شد. برای سنجش میزان صحت ابزار اصلی مورد استفاده در این پژوهش یعنی پرسشنامه لازم است که روایی پرسشنامه‌ها بر اساس نظرات خبرگان تعیین شود. بدین منظور برای تعیین روایی از ضریب نسبی یعنی شاخص روایی محتوایی (CVR[1]) استفاده خواهد شد. همچنین برای تعیین CVR از رابطه ۱ استفاده شد. به طوری که در این رابطه، تعداد متخصصان با نظر موافق و نیز تعداد کل متخصصان پاسخگو می‌باشند. همچنین از روش ضریب آلفای کرونباخ مطابق با رابطه ۲ برای تعیین پایایی بهره گرفته می‌شود.

$$CVR = \frac{n_E - \left(\frac{N}{2}\right)}{\frac{N}{2}} \quad (۱)$$

$$r_\alpha = \left(\frac{k}{k-1}\right)\left(1 - \frac{\sum \sigma_j^2}{\sigma^2}\right) \quad (۲)$$

به طوری که در رابطه ۱، $n_E$ تعداد متخصصان با نظر موافق و $N$ نیز تعداد کل متخصصان پاسخگو می‌باشند و در رابطه ۲، k تعداد سوالات، $\sigma_j^2$ واریانس هر سوال و $\sigma^2$ واریانس کل سوالات می‌باشد.

نتایج تحلیل قابلیت اطمینان عوامل اصلی با به کارگیری آزمون آلفای کرونباخ در جدول ۴ ارائه شده است.

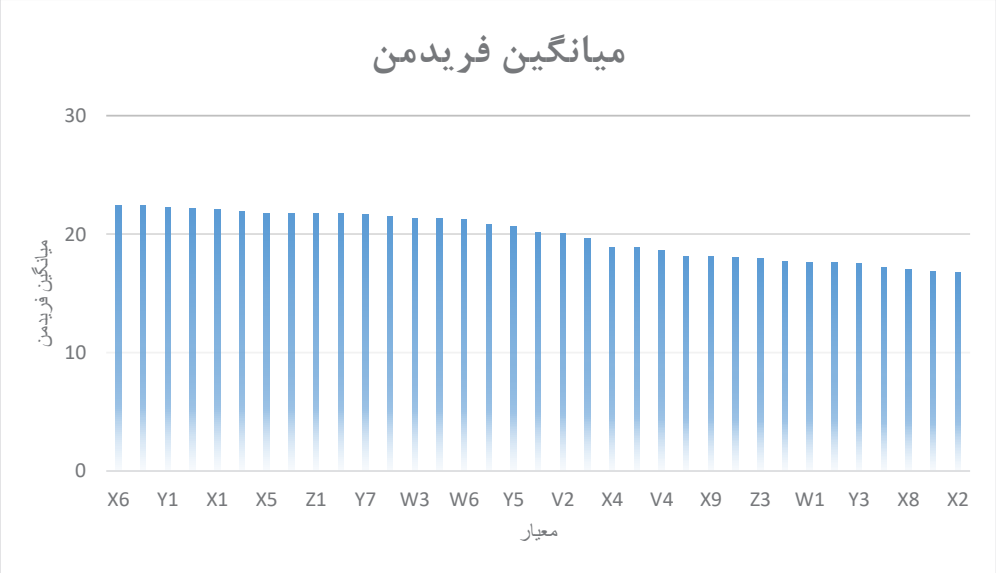
نتایج کل ضریب آلفای کرونباخ برای چالش‌های اصلی، عدد ۰/۷۸۵۴ را ارائه می‌دهد که بیشتر از مقدار ۰/۷ می‌باشد که نشان از پایایی عوامل دارد. همچنین نتایج روایی نیز مقدار مطلوبی در هر ۵ عامل نسبت به استاندارد خود کسب نموده است. در جدول ۵ میزان قابلیت اطمینان برای ۳۶ زیرعامل نیز محاسبه و ارائه شده است که نتایج عدد ۰/۸۸۴ را نشان می‌دهد بنابراین قابل اطمینان می‌باشند.

1 Content Validity Ratio

**جدول ۶. آزمون فریدمن**

**Table 6. Friedman test**

| Test Statistics[a] | |
|---|---|
| N | ۶۶ |
| Chi-Square | ۲۸/۷۶۴ |
| Df | ۳۵ |
| Asymp. Sig. | ۰۰۰ |
| a. Friedman Test | |




**نمودار ۱. میانگین رتبه فریدمن کل معیارها به ترتیب صعودی بودن**

**Chart 1. Average Friedman rank of all criteria in ascending order**

پس از تعیین نوع آزمون رتبه‌بندی آماری به منظور غربالگری معیارها، از آزمون ناپارامتریک تعیین فریدمن استفاده می‌شود (نمودار ۱).

با توجه به نتایج حاصل از آزمون فریدمن (جدول ۶)، رتبه‌بندی معنادار است و در نمودار ۱، رتبه میانگین فریدمن به ترتیب نزولی بودن داده‌ها ترسیم شده است. در این مرحله، ۲۰ معیار مهم نیز غربالگری شدند.

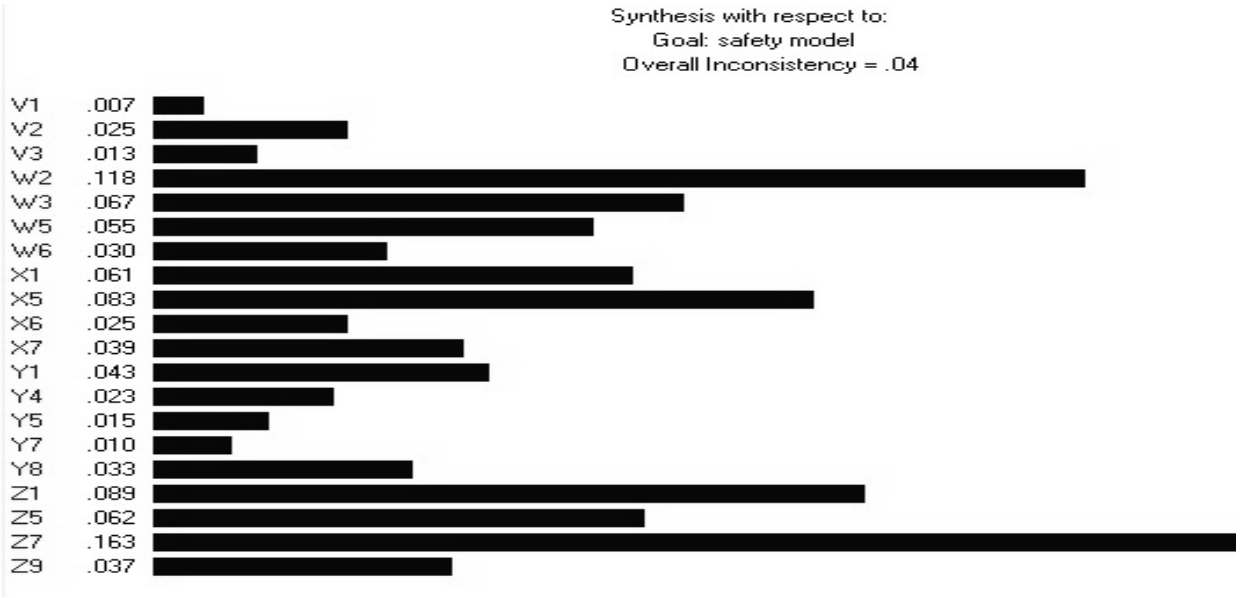
## ۳- ۲- ۲- مرحله سوم: تحلیل داده‌ها به روش سلسله مراتبی (AHP[1])

در این رویکرد، پس از تعیین عاملی با درجه اهمیت و ارجحیت بیشتر در بین عوامل اصلی شناسایی شده در جریان تحقیق، به تعیین اهمیت زیرعوامل برحسب نظرات خبرگان پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که به منظور دقت و سهولت نتایج و یافته‌های به دست آمده از روش AHP، در تحقیق حاضر از نرم‌افزار Expert choice برای آنالیز مقایسات و تحلیل داده‌ها بهره گرفته شده است.

### ۳-۲-۳-۱- تعیین وزن نهایی معیارها

از بین ۲۰ معیار مهم حاصل از مرحله غربالگری آماری جهت ارائه یک الگوی اولویت‌بندی با روش AHP، مهم‌ترین و تاثیرگذارترین معیارهای شناسایی شده که وزن بالای ۰/۰۳ کسب نموده‌اند، طبق نمودار ۲ مشخص شدند.

1 Analytical Hierarchy process




**نمودار ۲. وزن نهایی معیارها نسبت به هدف اصلی (نتیجه Exper choice)**

**Chart 2. The final weight of the criteria relative to the main goal (Exper choice result)**

۳-۲-۳-۲-صحت‌سنجی نتایج به دست آمده و ارائه نتایج تحلیل حساسیت

مقدار نرخ ناسازگاری حاصل از مقایسه کلی معیارها که از روابط ۳ تا ۵ به دست می‌آید، در نمودار ۴ ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که در بین مقایسات زوجی انجام شده در بین کلیه زیرمعیارها در این دسته، سازگاری کافی وجود دارد (مقدار نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱) و بر این اساس می‌توان گفت که نتایج حاصله از اعتبار عددی مقایسه‌ای کافی برخوردار می‌باشد.

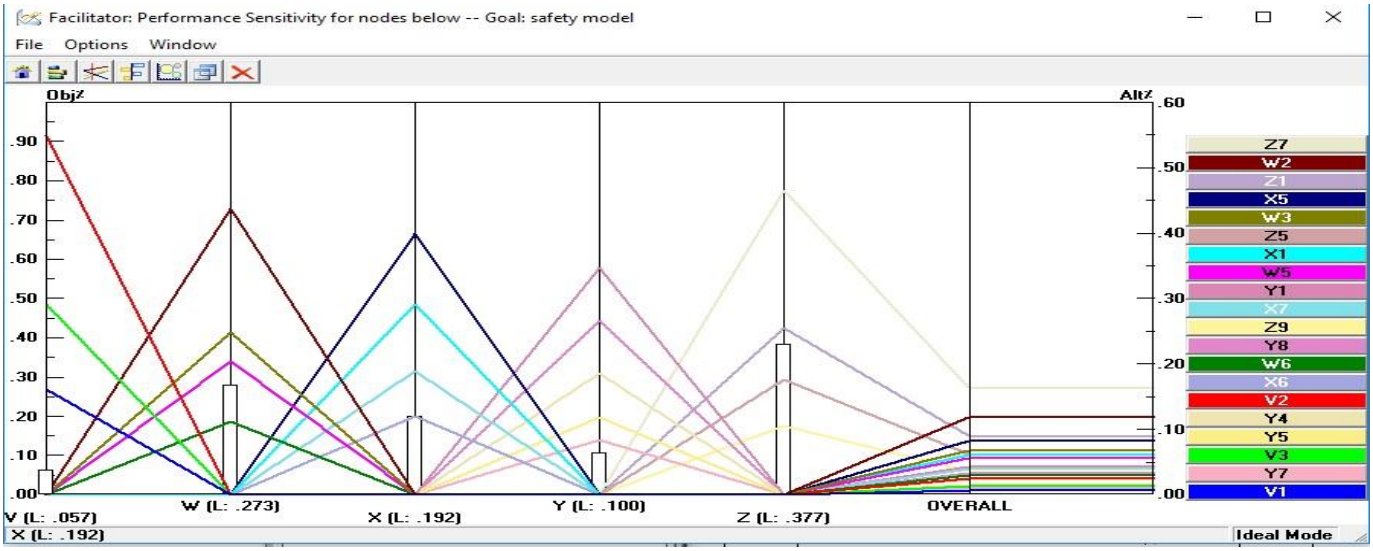
$$I.I = \frac{\lambda_{Max} - n}{n-1} \quad (۳)$$

$$IR = \frac{II}{IRI} \quad (۴)$$

با توجه به نتایج آنالیز حساسیت داده‌ها (نمودار ۳)، معیار Z7 که مربوط به ارتقای کیفیت ایمنی از طریق ابزارها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا به صورت دوره‌ای و مداوم می‌باشد بیشترین حساسیت را در مدل خواهد داشت.

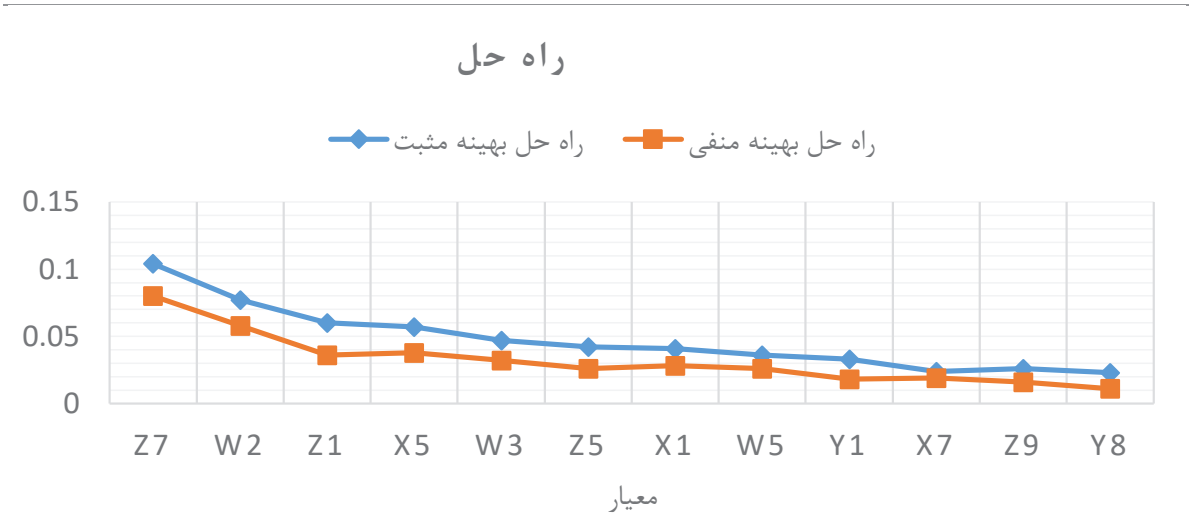
۳-۲-۳-۳-مرحله چهارم: کاربرد روش تکنیک رتبه‌بندی اولویت‌ها از طریق تشابه به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) در تحلیل پروژه‌های پیمانکاری با استفاده از مهم‌ترین معیارهای توسعه مدل ایمنی

در این قسمت با استفاده از ۱۲ معیار مهم حاصل از تحلیل AHP، مطابق با روش تحقیق ۳ پروژه پیمانکاری مختلف منتخب، از نظر توسعه مدل ایمنی ارزیابی شدند. هدف از این کار تعیین معیارهای مهم برای هر پروژه می‌باشد. در انتها مدلی پیشنهاد می‌شود که با استفاده از آن بسته به نوع پروژه پیمانکاری اولویت سطوح و زیرعوامل مدل ایمنی مهم‌تر تعیین شد. در روش تحلیل TOPSIS وزن اولیه ۱۲ معیار که از روش AHP




**نمودار ۳. آنالیز حساسیت عملکرد داده‌ها**

**Chart 3. Sensitivity analysis of data performance**




**نمودار ۴. راه‌حل ایده آل مثبت و ایده آل منفی**

**Chart 4. Positive ideal solution and negative ideal**

**جدول ۷. پروژه‌های ساخت مطالعه موردی**

**Table 7. Case study construction projects**

| عنوان پروژه | توضیحات پروژه |
|---|---|
| **A** | پروژه مجتمع مسکونی ۷۰۰ واحدی در حال ساخت در غرب تهران. این پروژه در مرحله اسکلت می‌باشد. |
| **B** | پروژه مجتمع مسکونی ۲۴۰۰ واحدی در غرب تهران. پروژه با سیستم‌های طراحی و اجرای بروز و مدرن در حال انجام است و در مرحله سفت کاری می‌باشد. |
| **C** | پروژه مجتمع مسکونی ۸۱۰ واحدی در غرب تهران که در مرحله نازک کاری می‌باشد. |

**جدول ۸. ماتریس نرمال وزن‌دهی شده**

**Table 8. Normal weighted matrix**

| ماتریس وزین | Z7 | W2 | Z1 | X5 | W3 | Z5 | X1 | W5 | Y1 | X7 | Z9 | Y8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | ۰/۰۸ | ۰/۰۶۸ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۱ |
| **B** | ۰/۱۰۴ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۱ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۲۴ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۲۳ |
| **C** | ۰/۰۹۶ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۳۶ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۲۱ |

حاصل شده وارد شده و سه خبره که به طور مشترک در پروژه‌های مورد مطالعه همکاری دارند به ارزیابی ۳ پروژه پیمانکاری صنعت ساخت از نظر مطلوبیت در زمینه مدل بلوغ توسعه یافته می‌پردازند. الگوریتم (روابط ۵ تا ۹) روش TOPSIS به صورت زیر می‌باشد:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \qquad (۵)$$

$$V = N_D * W_{n*n} = \begin{vmatrix} V_{11},...,V_{1j},...,V_{1n} \\ V_{m1},...,V_{mj},...,V_{mn} \end{vmatrix} \qquad (۶)$$

$$\begin{aligned} A+ &= \left\{ \left( MaxV_{ij} \middle| j \in J \right), \left( MinV_{ij} \middle| j \in J' \right) \middle| i = 1,2,...,m \right\} = \left\{ V_1^+, V_2^+, ..., V_j^+ \right\} \\ A- &= \left\{ \left( MinV_{ij} \middle| j \in J \right), \left( MinV_{ij} \middle| j \in J' \right) \middle| i = 1,2,...,m \right\} = \left\{ V_1^-, V_2^-, ..., V_j^- \right\} \end{aligned} \qquad (۷)$$

$$\begin{cases} d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2} & for\ i = 1,2,...,m \\ d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2} & for\ i = 1,2,...,m \end{cases} \qquad (۸)$$

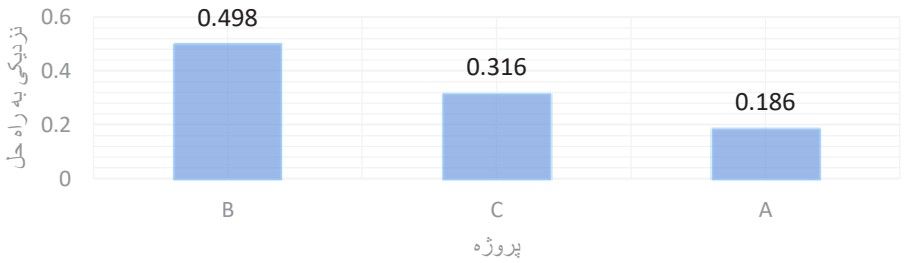
$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \qquad for\ i = 1,2,...,m \qquad (۹)$$

که در این روابط، $X_{ij}$ معیارهای این تحقیق، $N_D$ ($r_{ij}$) ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن بی‌مقیاس است. $W_{ij}$ اعدادی است که از روش AHP محاسبه شده است. V نیز ماتریس تصمیم نرمال موزون شده تحقیق ما می‌باشد. (+A) ایده‌آل مثبت و (−A) یک ایده‌آل منفی، d فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی و در پایان نیز CL میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. مقدار CL بین صفر و یک است. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راهکار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر است و راهکار بهتری محسوب خواهد شد.

**جدول ۹. مقدار فاصله از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی**

**Table 9. The amount of distance from the positive and negative ideal solutions**

| اندازه فاصله | + | - |
|---|---|---|
| **A** | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱۲ |
| **B** | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۵۶ |
| **C** | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۳۳ |




**نمودار ۵. نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی**

**Chart 5. Proximity to the positive and negative ideal solution**

۳-۲-۴-۱-نتایج تحلیل داده‌ها به روش تکنیک رتبه‌بندی اولویت‌ها از طریق تشابه به راه‌حل ایده ال (TOPSIS)

با توجه به الگوریتم و روابطی که در قبل به آن اشاره شد، اندازه فاصله از راه‌حل ایده آل مثبت و منفی در جدول ۹ مشخص شده است.

همانطور که از نتایج بر می آید، پروژه B بیشترین فاصله را از راه‌حل منفی و کمترین فاصله را از راه‌حل مثبت کسب نموده است. همچنین دراین روش، مقدار نزدیکی به راه‌حل‌های ایده آل مثبت و منفی برمبنای رتبه بندی هر یک از گزینه‌ها (پروژه‌ها) مشخص شد (نمودار ۵). مقدار نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیکتر است و راه‌کار بهتری می‌باشد. نتایج نشان می دهد که پروژه B در راستای توسعه یک مدل ایمنی به راه‌حل نزدیکتر می‌باشد.

۳-۲-۴-۲-مرحله پنجم: تعیین میزان تأثیرپذیری راه‌حل‌های شناسایی و ارائه شده به روش آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری (DEMATEL)

با استفاده از این تکنیک در حل مسائل پیچیده همچون مسئله مدل ایمنی پروژه می‌توان مقادیر شامل پارامترهای R، J، R+J و R−J را محاسبه کرد و روابط بین راه‌حل‌های موجود در یک سیستم ایمنی را به‌صورت یک مدل ساختاری قابل درک و برحسب امتیازهای عددی تعیین نمود.[۴۰-۴۱] ساختار اولیه مدل پژوهش در تخصیص راه‌حل‌ها با تکنیک آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری ( DEMATEL ) مشتمل بر چهار رکن در سطح اول، و ۱۲ راه‌حل (معیار) می‌باشد در مرحله اول تحلیل ( DEMATEL )، به منظور اندازه‌گیری رابطه ها مابین راه‌حل‌ها و ایجاد ماتریس ارتباط مستقیم، از خبرگان درخواست شد تا راه‌حل‌های موجود در سیستم را به‌صورت زوجی و براساس میزان تاثیرشان بر یکدیگر مطابق با عبارات کلامی ( عدد ۰ تا ۴

بترتیب برای بی تاثیر و تاثیر کم و تاثیر متوسط و تاثیر زیاد) مقایسه نمایند. لازم به ذکر است که در این زمینه، تاثیر و تاثر راه‌حل‌ها بر یکدیگر از منظر ۴ رکن اصلی پروژه (شامل رهبری و مدیریت سازمان پروژه؛ شرکا و ذینفعان پروژه؛ پرسنل کلیدی و کارکنان پروژه؛ سیاست‌ها و استراتژی‌ها) به‌صورت مجزا مد نظر قرار گرفته است. سپس با میانگین‌گیری حسابی ساده از نظرات خبرگان، ماتریس تصمیم‌گیری ساخته شد که هر یک از گزینه‌های ماتریس، متناظر با نظرات یک خبره به عنوان عناصر آن است. در ادامه با انجام محاسبات مربوطه، اقدام به نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری و همچنین تشکیل ماتریس فازی ارتباط کامل شد. در مرحله بعد با توجه به مقادیر بدست آمده برای درجه‌های R و J، مقادیر R+J و R–J که بترتیب نشان دهنده میزان تعامل و قدرت تاثیرگذاری راه‌حل‌ها هستند به ازای هر ریسک و از منظر هر یک از متولیان پروژه تعیین می‌گردد. دیاگرام علت و معلولی این روابط در ادامه رسم شده است. الگوریتم روش DEMATEL به صورت روابط ریاضی زیر می‌باشد.

$$S = m.A$$
$$m = \min\left[\frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^{n}|a_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{j=1}^{n}|a_{ij}|}\right] \qquad (۱۰)$$

$$T=X+X^2+...+X^q=X(I+X+X^2+...+X^{q-1})(I-X)(I-X)^{-1}=X(1-X^q)(I-X)^{-1} \qquad (۱۱)$$

$$T = X(I-X)^{-1}$$
$$i, j = 1,2,...,n.T = \left[t_{ij}\right]_{n*n} \qquad (۱۲)$$

که در این روابط A ماتریس تأثیر مستقیم، S (X) ماتریس نرمال، $a_{ij}$ درایه‌های ماتریس تاثیر مستقیم و T ماتریس شدت ممکن از روابط مستقیم می‌باشد.

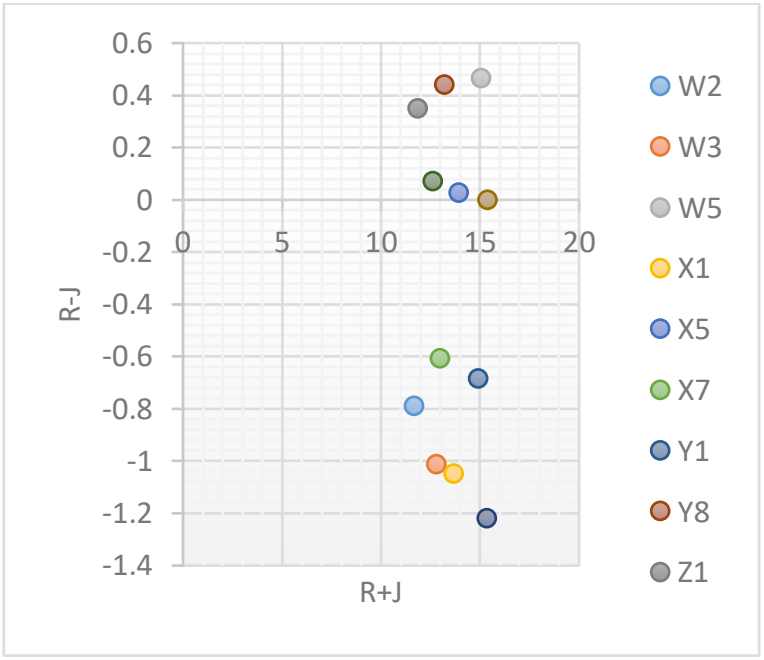
با توجه به نمودارهای ۶ الی ۹ می‌توان گفت:

۱–با در نظرگیری نقش رکن رهبری در یک پروژه، نتیجه میزان تاثیر و تاثر هر یک از راه‌حل‌های ایمنی بدین صورت است که راه‌حل استفاده از متدولوژی‌ها و فرآیندهای بهینه بر اساس رویه‌های به روز دنیا (Z5) با مقدار R+J برابر با ۱۵/۳۹ از بیشترین تاثیر و تاثر و راه‌حل ارتقای کیفیت ایمنی از طریق ابزارها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا به صورت دوره‌ای و مداوم (Z7) با مقدار R-J برابر با ۱/۲۲– نزدیک‌ترین راه‌حل معلول و استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ایمنی پروژه (W5) با مقدار R-J برابر با ۰/۴۶۵ نزدیک‌ترین راه‌حل علی می‌باشد.

۲–با در نظرگیری نقش رکن شرکا و ذینفعان در یک پروژه، نتیجه میزان تاثیر و تاثر هر یک از راه‌حل‌های ایمنی بدین صورت است راه‌حل بهره‌گیری از سیستم یکپارچه مستندات و سوابق ایمنی پروژه توسط ذینفعان مختلف (X7) با مقدار R+J برابر با ۱۱/۱۴۴۳ از بیشترین تاثیر و تاثر و راه‌حل پیاده‌سازی ممیزی‌های ایمنی به صورت مستمر برای اطمینان از رعایت مقررات و دستورالعمل‌ها (Z9) با مقدار R–J برابر با ۲/۱۹– نزدیک‌ترین راه‌حل معلول و استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ایمنی پروژه (W5) با مقدار R-J برابر با ۱/۴۴۲ نزدیک‌ترین راه‌حل علی می‌باشد.

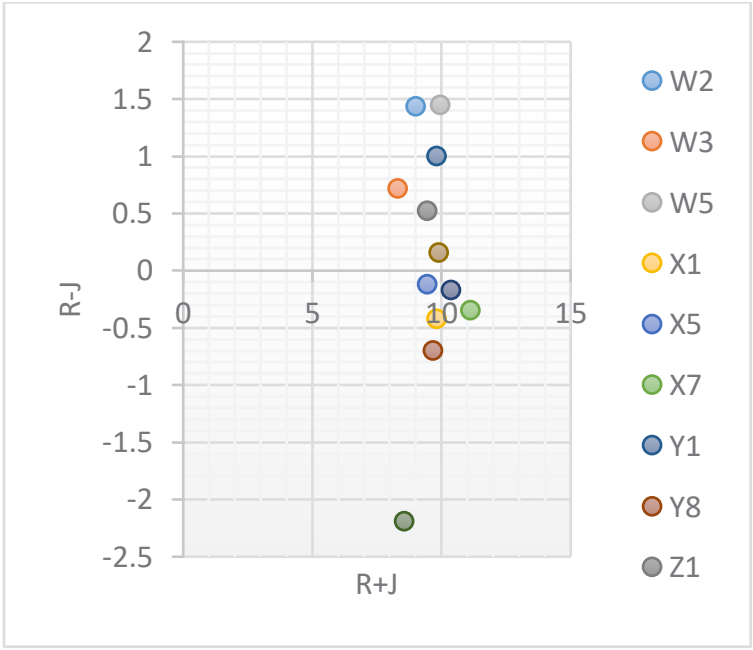
۳–با در نظرگیری نقش رکن پرسنل کلیدی و کارکنان در یک پروژه، نتیجه میزان تاثیر و تاثر هر یک از راه‌حل‌های ایمنی بدین صورت است که راه‌حل استفاده از متدولوژی‌ها و فرآیندهای بهینه بر اساس رویه‌های به روز دنیا (Z5) با مقدار R+J برابر با ۱۷/۹۵۷۹ از بیشترین تاثیر و تاثر و پیاده‌سازی ممیزی‌های ایمنی به صورت مستمر برای اطمینان از رعایت مقررات و دستورالعمل‌ها (Z9) با مقدار R-J برابر با ۳/۶۴– نزدیک‌ترین راه‌حل معلول و تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان (W3) با مقدار R-J برابر با ۱/۸۳۲ نزدیک‌ترین راه‌حل علی می‌باشد.

۴–با در نظرگیری نقش رکن سیاست‌ها و استراتژی در یک پروژه، نتیجه میزان تاثیر و تاثر هر یک از راه‌حل‌های ایمنی بدین صورت است که راه‌حل "تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان (W3) با مقدار R+J برابر با ۶/۶۹۰۶ از بیشترین تاثیر و تاثر و راه‌حل پیاده‌سازی ممیزی‌های ایمنی به صورت مستمر برای اطمینان از رعایت مقررات و دستورالعمل‌ها (Z9) با مقدار R-J برابر با ۱/۲۴– نزدیک‌ترین راه‌حل معلول و تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان (W3) با مقدار R-J برابر با ۰/۹۹۸ نزدیک‌ترین راه‌حل علی می‌باشد.



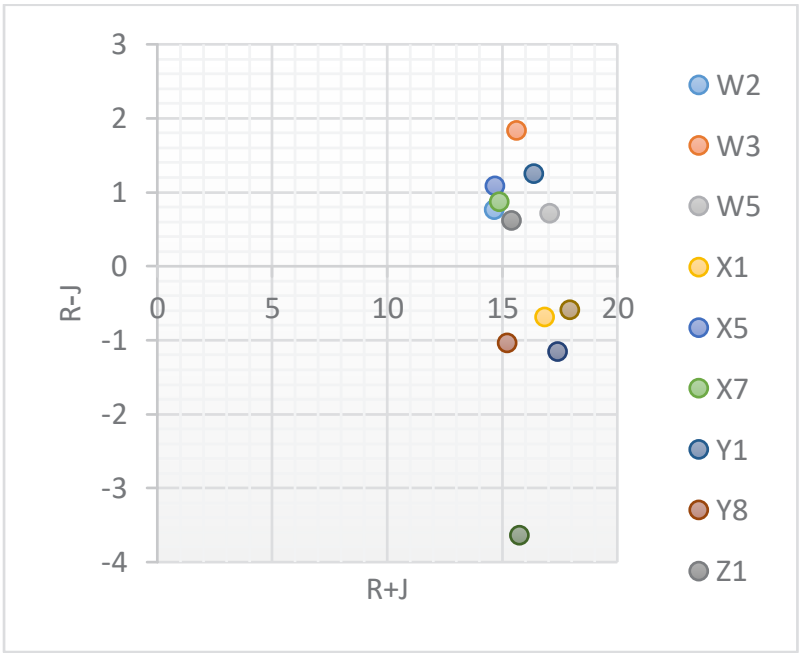

نمودار ۶. دیاگرام علت – معلول تاثیر و تاثر راه‌حل‌های ایمنی پروژه برحسب رکن رهبری و مدیریت سازمان پروژه

**Chart 6. Cause-effect diagram of the impact of project safety solutions in terms of leadership and management of the project organization**



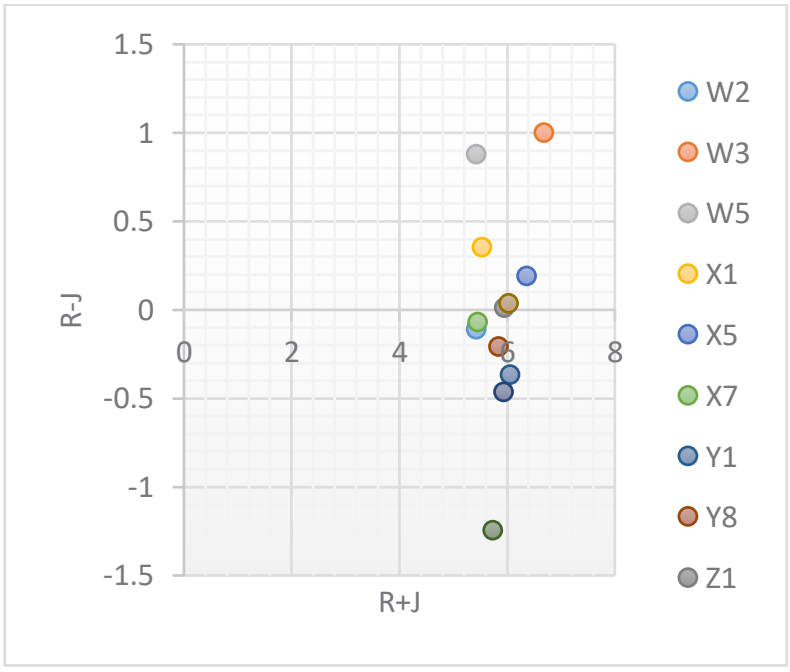

نمودار ۷. دیاگرام علت – معلول تاثیر و تاثر راه‌حل‌های ایمنی پروژه برحسب رکن شرکا و ذینفعان پروژه

**Chart 7. Cause-effect diagram of the impact of project safety solutions in terms of project partners and stakeholders**




نمودار ۸. دیاگرام علت – معلول تاثیر و تاثر راه‌حل‌های ایمنی پروژه برحسب رکن پرسنل کلیدی و کارکنان پروژه

**Chart 8. Cause-effect diagram of the impact of project safety solutions in terms of key personnel and project staff**




نمودار ۹. دیاگرام علت – معلول تاثیر و تاثر راه‌حل‌های ایمنی پروژه برحسب رکن سیاست‌ها و استراتژی

**Chart 9. Cause - Impact diagram of the impact of project safety solutions in terms of policy and strategy**

## ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات پیشین که بیشتر به موضوعاتی چون شناسایی سطوح و معیارهای مؤثر بر بلوغ مدیریت ایمنی و همچنین به ایجاد مدل‌های مختلف ایمنی با روش‌های گوناگون پرداخته شده است، در این تحقیق، پس از جمع‌آوری معیارهای ایمنی از تحقیقات پیشین و سپس شناسایی مهم‌ترین آن‌ها توسط متخصصین، به وزن‌دهی و اولولت‌بندی آن‌ها و همچنین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارهای یاد شده بر چهار رکن مهم سیستم ایمنی پرداخته شده است. مهم‌ترین معیارهای ایمنی، اعمال کامل استانداردهای ایمنی در راستای توسعه یک مدل بلوغ ایمنی (W2)، تعیین اهداف، رویه‌ها، استراتژی‌ها و الزامات ایمنی پروژه و ابلاغ مستندات آن به ذینفعان (W3)، استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مدیریت ایمنی پروژه (W5)، استقرار نظام ایمنی پروژه و پیاده‌سازی اصولی آن (X1)، سازگاری و هماهنگی ابزارها، رویه‌ها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا بر اساس استراتژی‌های ایمنی (X5)، بهره‌گیری از سیستم یکپارچه مستندات و سوابق ایمنی پروژه توسط ذینفعان مختلف (X7)، پایش، ارزیابی و آنالیز برنامه‌های ایمنی در سطوح مختلف پروژه (Y1)، اجرای منظم بازرسی‌های دوره‌ای برای اطمینان از رعایت مقررات ایمنی (Y8)، تدوین مقررات کامل و به‌روزآوری آن جهت ترفیع و اعتلای فرهنگ ایمنی (Z1)، استفاده از متدولوژی‌ها و فرآیندهای بهینه بر اساس رویه‌های به روز دنیا (Z5)، ارتقای کیفیت ایمنی از طریق ابزارها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی، کنترل و اجرا به صورت دوره‌ای و مداوم (Z7) و پیاده‌سازی ممیزی‌های ایمنی به صورت مستمر برای اطمینان از رعایت مقررات و دستورالعمل‌ها (Z9) شناسایی شدند. در پایان به بحث و بررسی تأثیر و تأثر معیارهای ایمنی در چهار رکن پرداخته شد که مؤلفه Z5 مهم‌ترین معیار (از نظر تعامل با سایر معیارها) در سیستم ایمنی و همچنین W5 تأثیرگذارترین و Z7 تأثیرپذیرترین معیار در سیستم ایمنی از منظر نقش رکن رهبری و مدیریت می‌باشند، مؤلفه X7 مهم‌ترین معیار (از نظر تعامل با سایر معیارها) در سیستم ایمنی و همچنین W5 تأثیرگذارترین و Z9 تأثیرپذیرترین معیار در سیستم ایمنی از منظر نقش رکن شرکا و ذینفعان می‌باشند، مؤلفه Z5 مهم‌ترین معیار (از نظر تعامل با سایر معیارها) در سیستم ایمنی و همچنین W3 تأثیرگذارترین و Z9 تأثیرپذیرترین معیار در سیستم ایمنی از منظر نقش رکن پرسنل کلیدی و کارکنان می‌باشند و مؤلفه W3 مهم‌ترین معیار (از نظر تعامل با سایر معیارها) در سیستم ایمنی و همچنین W3 تأثیرگذارترین و Z9 تأثیرپذیرترین معیار در سیستم ایمنی از منظر نقش رکن سیاست و استراتژی‌ها می‌باشند. با توجه به اهداف تعیین شده در این پژوهش به نظر می‌رسد که ارگان‌ها و سازمان‌های ذیربط از قبیل شرکت‌های پیمانکاری مشغول به فعالیت در پروژه‌های ساخت و ساز، شرکت‌های مهندسین مشاور، ذینفعان گوناگون صنعت ساخت و ساز در پروژه‌های عمرانی همچون شرکت‌ها و سازمان‌های فعال در سیستم‌های مدیریت ایمنی در کشور از جمله بهره‌وران می‌باشند.

## منابع


[1] Y. Feng, S. Zhang, P. Wu, Factors influencing workplace accident costs of building projects, Safety science, 72 (2015) 97-104.

[2] E. Ikpe, F. Hammon, D. Oloke, Cost-benefit analysis for accident prevention in construction projects, Journal of Construction Engineering and Management, 138(8) (2012) 991-998.

[3] C. Stephan, Industrial Health, Safety and Environmental Management: An Introduction, Verlag-Haus Monsenstein und Vannerdat, 2007.

[4] HSE, Health and safety in construction in Great Britain, 2015b.

[5] W.S.a.H. Institute, Economic cost of work-related injuries and ill-health in Singapore, 2013.

[6] G.M. Waehrer, X.S. Dong, T. Miller, E. Haile, Y. Men, Costs of occupational injuries in construction in the United States, Accident Analysis & Prevention, 39(6) (2007) 1258-1266.

[7] A. Poghosyan, P. Manu, L. Mahdjoubi, A.G. Gibb, M. Behm, A.-M. Mahamadu, Design for safety implementation factors: a literature review, Journal of Engineering, Design and Technology, (2018).

[8] P. Dorman, Estimating the economic costs of occupational injuries and illnesses in developing countries: essential information for decision-makers, Geneva, Switzerland: International Labour Organization, (2012).

[9] HSE, Historical picture - HISTINJ-Reported injuries in Great Britain by main industry and severity of injury,

working commission W99, Honolulu/Hawaii, 1999, pp. 19-23.

[20] J. Reason, Achieving a safe culture: theory and practice, Work & stress, 12(3) (1998) 293-306.

[21] T. Mofrad, JasemKazemi, R. Tahe, Evaluation of maturity and evolution of safety, health and environmental culture using HSE culture ladder model )in Persian ) (2016).

[22] B.S. Group, Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS 18001), in, 2007.

[23] A. Seabrook Kathy, One process, one world, 2012.

[24] T. Chinda, S. Mohamed, Structural equation model of construction safety culture, Engineering, Construction and Architectural Management, (2008).

[25] M.S. Patankar, E.J. Sabin, The safety culture perspective, in: Human factors in aviation, Elsevier, 2010, pp. 95-122.

[26] T. Aksorn, B.H. Hadikusumo, Critical success factors influencing safety program performance in Thai construction projects, Safety science, 46(4) (2008) 709-727.

[27] A. Enshassi, R.M. Choudhry, P.E. Mayer, Y. Shoman, Safety performance of subcontractors in the Palestinian construction industry, Journal of Construction in Developing Countries, 13(1) (2008).

[28] M. Kartikawati, Z. Djunaidi, Analysis of safety culture maturity level in construction at PT. MK gelora bung karno main stadium renovation project, KnE Life Sciences, (2018) 348–360-348–360.

[29] A.A. Karakhan, S. Rajendran, J. Gambatese, C. Nnaji, Measuring and evaluating safety maturity of construction contractors: Multicriteria decision-making approach, Journal of Construction Engineering and Management, 144(7) (2018) 04018054.

[30] Q. Xie, G. Yang, Y. Huang, Y. Sun, How does the flow of construction workers affect safety culture?, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2019, pp. 062048.

(2015a).

[10] D.K. Chua, Y.M. Goh, Incident causation model for improving feedback of safety knowledge, Journal of construction engineering and management, 130(4) (2004) 542-551.

[11] H. Al-Humaidi, F.H. Tan, Construction safety in Kuwait, Journal of Performance of Constructed Facilities, 24(1) (2010) 70-77.

[12] D. Fang, C. Wu, H. Wu, Impact of the supervisor on worker safety behavior in construction projects, Journal of management in engineering, 31(6) (2015) 04015001.

[13] D. Fang, H. Wu, Development of a Safety Culture Interaction (SCI) model for construction projects, Safety science, 57 (2013) 138-149.

[14] P.H. Mohseni, A.A. Farshad, R. Mirkazemi, R.J. Orak, Assessment of the living and workplace health and safety conditions of site-resident construction workers in Tehran, Iran, International journal of occupational safety and ergonomics, 21(4) (2015) 568-573.

[15] J. Wanberg, C. Harper, M.R. Hallowell, S. Rajendran, Relationship between construction safety and quality performance, Journal of construction engineering and management, 139(10) (2013) 04013003.

[16] N. Venkataraman, Safety performance factor, J. Occup. Saf. Ergon, (2008) 327–331.

[17] A. Hasan, K.N. Jha, Safety incentive and penalty provisions in Indian construction projects and their impact on safety performance, International journal of injury control and safety promotion, 20(1) (2013) 3-12.

[18] M.R. Hallowell, Risk-based framework for safety investment in construction organizations, Journal of Construction Engineering and Management, 137(8) (2011) 592-599.

[19] K.W. Wong, P.C. Chan, K.K. Lo, Factors affecting the safety performance of contractors and construction sites, in: second international conference of CIB working commission W99second international conference of CIB

operations, Accident analysis & prevention, 68 (2014) 106-116.

[36] B.H. Guo, T.W. Yiu, V.A. González, Identifying behaviour patterns of construction safety using system archetypes, Accident Analysis & Prevention, 80 (2015) 125-141.

[37] Y. Feng, Mathematical models for determining the minimum level of voluntary safety investments for building projects, Journal of Construction Engineering and Management, 141(7) (2015) 04015015.

[38] R.M. Choudhry, Achieving safety and productivity in construction projects, Journal of Civil Engineering and Management, 23(2) (2017) 311-318.

[39] D. Oswald, H. Lingard, Development of a frontline H&S leadership maturity model in the construction industry, Safety science, 118 (2019) 674-686.

[31] D. Fang, Y. Huang, H. Guo, H.W. Lim, LCB approach for construction safety, Safety science, 128 (2020) 104761.

[32] A. Singh, S.C. Misra, Safety performance & evaluation framework in Indian construction industry, Safety science, 134 (2021) 105023.

[33] A. Mohammadi, M. Tavakolan, Identifying safety archetypes of construction workers using system dynamics and content analysis, Safety science, 129 (2020) 104831.

[34] C. Nnaji, J. Gambatese, A. Karakhan, R. Osei-Kyei, Development and application of safety technology adoption decision-making tool, Journal of Construction Engineering and Management, 146(4) (2020) 04020028.

[35] S. Han, F. Saba, S. Lee, Y. Mohamed, F. Peña-Mora, Toward an understanding of the impact of production pressure on safety performance in construction

**چگونه به این مقاله ارجاع دهیم**

*M. Banar, R. Ansari , M. Mahdikhani, Analysis of Factors Affecting the Development of Contractor's Safety Maturity Model in Construction Projects Using a Hybrid Multi-Criteria Decision Approach , Amirkabir J. Civil Eng., 54(7) (2022) 2759-2778.*

**DOI:** 10.22060/ceej.2022.19264.7118

این صفحه عمداً خالی است