ارزیابی ایمنی در پروژه‌های ساختمانی بر اساس روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و فازی خاکستری

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

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۰۹ تاریخ ویرایش: ۹۲/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: صنعت ساختمانی یکی از خطرناک‌ترین صنایع، با توجه به طبیعت منحصر به فرد آن است. با توسعه سریع ساخت‌وساز در کشور ما، مشکلات ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی به مشکلی جدی تبدیل شده است. بنابراین توجه به ایمنی و شناسایی شاخص‌های موثر بر آن و ارزیابی ایمنی در پروژه‌ها به منظور بهبود عملکرد ایمنی پروژه‌های ساختمانی ضروری شناخته شده است.

روش بررسی: با توجه به اینکه عوامل موثر بر ایمنی کارگاه‌ها دارای ویژگی‌های فازی و عدم قطعیت است، بنابراین از تحلیل رابطه خاکستری فازی، برای مدل ارزیابی استفاده شده است. تئوری خاکستری که از مجموعه روش‌هایی تصمیم‌گیری چندشاخصه است، برای حل مسائلی که داده‌های گسسته، اطلاعات ناقص و مبهم دارند به کار می‌رود. همچنین وزن هر شاخص توسط فرایند تحلیل سلسله مراتبی مشخص می‌شود. در سه پروژه متفاوت ساختمانی به صورت مطالعه موردی، شاخص‌های موثر ایمنی ساخت‌وساز شناسایی شده و وضعیت ایمنی در این کارگاه‌ها بررسی گردید.

یافته‌ها: با توجه به نتایج، شاخص تجهیزات کافی و اقدامات پیشگیری بیشترین وزن (۰/۳۰۷) و کمترین وزن را علامت‌گذاری صحیح (۰/۰۱۸) بدست آوردند. سپس با استفاده از روش فازی خاکستری (درجه رابطه خاکستری) وضعیت موجود ایمنی در سه کارگاه ارزیابی و رتبه بندی شد که پروژه ۱ از لحاظ ایمنی در سطح مطلوب‌تری قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج با تحقیقات پیشین، ملاحظات تجربی و پرسش از گروه ارزیابی ریسک نشان داد که این راه حل قابل اعتماد و کارآمد است. لذا توصیه می‌شود مدیران ایمنی ضمن استفاده از این روش، از عوامل مهم شناسایی شده در این مطالعه برای کمک به ارزیابی عملکرد ایمنی و کاهش حوادث در پروژه‌های ساختمانی استفاده کنند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ایمنی، پروژه‌های ساختمانی، فازی خاکستری، تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

مقدمه

با نگرشی به گذشته، ساخت و ساز یکی از خطرناک‌ترین صنایع و مشاغل جهان است که شامل بسیاری از صدمات منجر به مرگ و جراحت می‌باشد [۱]. از آنجا که فشردگی و پیچیدگی زیادی در زمینه کاری این صنعت وجود دارد، به عنوان یکی از خطرناک‌ترین و مخاطره‌آمیزترین صنایع از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده است [۲]. اکثر شرکت‌های ساختمانی به جای آنکه یک رویکرد پیشگیرانه نسبت به ریسک‌ها داشته باشند، رویکردی واکنشی نسبت به مدیریت ریسک‌های ساخت‌وساز دارند، به این صورت که تا زمان وقوع حوادث منتظر می‌مانند [۳]. البته در دهه گذشته، سطح علاقه به آگاهی ایمنی در میان شرکت‌های ساخت‌وساز به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است. در برخی کشورها، عملکرد ایمنی پیمانکار را در صلاحیت پیمانکار در نظر می‌گیرند [۴].

جهت ارزیابی ایمنی در پروژه‌های ساختمانی، اولین گام شناسایی عوامل موثر بر عملکرد ایمنی است. شناسایی متغیرها به طور قابل توجهی ایمنی ساخت‌وساز را تحت تأثیر قرار داده و چارچوبی برای مدیران پروژه برای بهره گیری در مدیریت ایمنی ساخت‌وساز پیشنهاد می‌دهد. عوامل بسیاری که به ایمنی کارگاه کمک می‌کنند، شناسایی شده‌اند که در زیر به طور خلاصه

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

مورد بررسی قرار می‌گیرد [۵].

• **عامل مدیریت:** فاکتور مدیریت که شامل رهبری، سیاست، چشم انداز، جهت دهی، بیانیه ای از اهداف، تعهد، نظارت، تجزیه و تحلیل، ایمنی و برنامه ریزی پیشگیری می‌باشد [۶].

• **عامل فرآیند:** عوامل فرآیند اشاره به روند انجام کارها توسط پرسنل ساخت‌وساز دارد که ممکن است در نهایت برای رفاه و ایمنی زیان‌بار باشد [۷].

• **عامل شخصی:** عوامل شخصی اشاره به مسائل مربوط به جنبه های انسانی از فعالیت‌های ساخت‌وساز است. رفتار و نگرش ایمنی نشان دهنده فرهنگ ایمنی است. ارائه آموزش ایمنی به کارکنان یکی دیگر از جنبه های مهم برای در نظر گرفتن عوامل شخصی است [۷].

• **عامل تشویقی:** عوامل تشویقی شامل پاداش، ارتقاء، انگیزه، امتیاز شایستگی و رفاه شرایط کار می‌باشد[۶]. استدلال شده است که انگیزه تأثیر مثبتی بر عملکرد ایمنی می‌گذارد [۷].

• **عامل ارتباطات:** عامل ارتباطات شامل جهانی شدن، رابط‌ها و ارتباط شخصی داخلی است. ارتباطات موثر و انتقال اطلاعات بین مدیریت و کارکنان، باعث عملکرد بهتر استانداردهای ایمنی و افزایش دستیابی به سیاست ایمنی خواهد شد [۷].

کارهای زیادی در مقوله ایمنی در تحقیقات گذشته انجام شده است. به طور مثال در سال ۱۹۹۹ توسط سواچا و همکاران عوامل موثر ایمنی کارگاه‌هایی ساختمانی مورد بحث قرار گرفت. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که متغیرهای مربوط به سیاست سازمان عمده‌ترین گروه عوامل موثر بر عملکرد ایمنی در صنعت ساخت‌وساز انگلیس هستند [۸]. در سال ۲۰۰۲ تول علل اصلی حوادث در صنعت ساخت‌وساز را لیست کرد که شامل عدم آموزش مناسب، اجرای ایمنی ضعیف، عدم وجود تجهیزات ایمنی، روش‌ها و رفتارهای ناایمن، شرایط ناایمن سایت، نگرش ایمنی ضعیف، در دسترس نبودن تجهیزات ایمنی و اجرا نکردن رفتارهای تجویز شده می‌باشد [۹]. در سال ۲۰۰۴، زنگ و همکاران ضمن بررسی وضعیت مدیریت ایمنی در صنعت ساخت‌وساز چین، کشف فعالیت‌های مستعد خطر در کارگاه‌های ساختمانی، و شناسایی عوامل موثر در ایمنی کارگاه‌های ساختمانی را مورد بررسی قرار دادند [۴]. در سال ۲۰۱۱ پینتو و همکارانش، علل موثر بر عملکرد ایمنی در صنعت ساخت‌وساز در تحقیقات از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ را مورد بررسی قرار دادند و در نهایت ۱۶ عامل اصلی و موثر شناسایی شدند. این عوامل شامل سازمان ایمنی و کار ضعیف، اندازه شرکت، عدم هماهنگی، فشار اقتصادی و زمان، کمبود استاندارد سازی اطلاعات، ارتباطات ضعیف داخلی و خارجی، مشارکت ضعیف کارگران در امور ایمنی، تغییرات پیوسته محل کار، عدم تخصص کارگران، آموزش ناکافی و خستگی کارکنان، انتخاب نامناسب تجهیزات، استفاده و یا بازرسی بد، آگاهی ایمنی ضعیف مدیریت ارشد و مدیران پروژه، کمبود تجهیزات پیشگیری یا حفاظتی بودند [۱۰].

ارزیابی ایمنی یکی از مهم‌ترین اقدامات در جهت کاهش حوادث و بهبود عملکرد ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی است. روش‌هایی ارزیابی ایمنی به دو نوع ارزیابی کمی و کیفی تقسیم شده است. که در آن روش‌هایی ارزیابی کیفی مانند روش ارزیابی کارشناس، روش چک لیست، روش تجزیه و تحلیل فرضیه‌ای خطا و ... استفاده قرار می‌گیرد. از میان روش‌هایی مختلف ارزیابی کمی، استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها(DEA[1])[۱۱]، روابط خاکستری [۱۲-۱۴] یا ارزیابی فازی تاپسیس [۱۵و۱۶] در تحقیقات گذشته مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال در سال ۲۰۱۱ شن و همکارانش از روش تحلیل پوششی داده‌ها(DEA)، جهت ارزیابی عملکرد ایمنی جاده‌ها استفاده کردند [۱۱]. در سال ۲۰۱۱ لی و همکاران از روش تاپسیس جهت ارزیابی ایمنی معادن زغال سنگ استفاده کردند [۱۵]. در سال ۲۰۱۱چنگ دونگ و همکارش از روش همبستگی خاکستری برای ارزیابی ایمنی سیستم‌های حمل و نقل زیرزمینی استفاده

[1]. Data Envelopment Analysis

کردنـد[۱۴]. و در سـال ۲۰۱۲ یانـگ و همکـارانش از روش تحلیل رابطـه خاکسـتری جهـت ارزیـابی ایمنـی آتش‌سوزی ساختمان‌های زیرزمینی اسـتفاده کـرد [۱۳] همچنین در سال ۲۰۱۲ رویجان و زانگ گوانگ ارزیابی ایمنی پـروژه‌هـای بزرگـراه را بـر اسـاس روش فرآینـد سلسله مراتبی و خاکستری انجام دادند [۱۷].

روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP[۲]) نیـز یـک روش موثر برای حل مسائل تصمیم گیری چندمعیاره است که در زمینه های مختلف از جملـه مـدیریت سـاخت‌وسـاز استفاده شده است [۱۸]. در سال ۲۰۱۱ ژنگ و همکاران از روش فازی تحلیـل سلسـله مراتبـی(FAHP) جهـت ارزیابی ایمنی کار در محیط‌های گرم و مرطوب استفاده کردند [۱۹].

در سال‌های اخیر محققان از روش تحلیـل رابطـه‌ای خاکستری در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند. دنگ [۲۰] پیشـنهاد تجزیـه و تحلیـل رابطـه خاکسـتری بـرای حـل مسـائل تصـمیم گیـری چنـدمعیاره را ارائـه داد. ایـن روش بـه خصـوص بـرای مسائل با ویژگی‌های منحصر به فرد، که گـاهی اوقـات استخراج اطلاعات کافی در مـورد ویژگـی فراینـدهـای خاص غیر ممکن است استفاده می‌شود [۲۱]. از ایـن رو روابط خاکستری برای حل مسائلی که اطلاعات نـاقص دارند مفید است. نظریه رابطه خاکستری شبیه به نظریه مجموعه فازی که یک ابزار ریاضی موثر برای مقابله بـا اطلاعات مبهم و ناقص است [۲۲]. بسیاری از مطالعات از این روش جهـت ارزیـابی در مسـائل تصـمیم‌گیـری چنـدمعیاره اسـتفاده کردنـد. در سـال ۲۰۰۶ دانـگ و همکارانش در تحقیقـی تحـت عنـوان تصـمیم گیـری خاکستری برای انتخاب تلاش کردند تـا بـا اسـتفاده از مفهوم درجه امکان خاکسـتری و بـا کـاربرد متغیرهـای زبانی، رویکرد جدیدی برای حل مسائل تصـمیم گیـری چندمعیاره معرفی نمایند [۲۳].

با توسعه صنعت ساخت و ساز در کشور ما، مشـکلات ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی در حال تبدیل شدن بـه بحثی جدی و برجسته است. لذا بـه منظـور اطمینـان از ایمنی کارگاه‌ها و جلوگیری و کنترل موثر حوادث بایـد مدیریت و ارزیابی ایمنی به عنوان یک وظیفه اصـلی در کارگاه انجام شود. هدف اصـلی از ایـن مقالـه شـناخت شاخص‌های موثر ایمنی و ارزیابی ایمنی در کارگاه‌هـای ساختمانی می‌باشد که با بهره گیـری از دو روش فـازی خاکستری و تحلیل سلسـله مراتبـی انجـام شـد. روش فازی خاکستری از مجموعه روش‌هایی تصـمیم گیـری چند شاخصه است که برای ارزیابی در سازمان‌ها استفاده شده است. این روش برای حل مسائل مبهم و مسـائلی که اطلاعات ضعیف و ناقص دارند بکار می‌رود [۲۴]. در این مطالعه ایمنـی ۳ پـروژه متفـاوت سـاختمانی مـورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق را می‌توان بـه عنـوان یک مرجع جهت ارزیابی ایمنی پروژه‌های سـاختمانی و به منظور بهبود عملکرد ایمنی در صنعت ساخت و سـاز مورد استفاده قرار داد.

روش بررسی

در اکثر موارد، تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب است کـه تصمیم‌گیری بر اساس چندین معیار یا شاخص باشد. در روش‌هایی تصمیم‌گیری چندمعیاره به جـای اسـتفاده از یک معیار سـنجش بهینـه‌گـی از چنـد معیـار سـنجش استفاده می‌شود. مدل‌های چندشاخصه(MADM[۳]) یکی از مدل‌های تصمیم گیری چندمعیاره(MCDM[۴]) است. در ایـن تحقیـق، از تحلیـل رابطـه خاکسـتری کـه از مجموعه روش‌هایی تصمیم‌گیری چنـدشاخصـه اسـت، برای ارزیابی ایمنی پروژه‌های ساختمانی اسـتفاده شـده است. تئوری خاکستری بـرای حـل مسـائل مـبهم کـه اطلاعات ناقصی دارند، به کار مـی‌رود. ایـن تئـوری بـا استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییر پذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را تولیـد می‌کند[۲۵]. از این رو به دلیـل ابهـام و عـدم قطعیـت موجود در واژه‌های زبانی (کـه در پرسـش از خبرگـان و متخصصین مورد استفاده قرار مـی‌گیـرد)، از ایـن روش

[2]. Analytic Hierarchy Process

[3]. Multiple Attribute Decision Making
[4]. Multiple Criteria Decision Making

استفاده شده است.

تحلیل رابطه خاکستری جزئی از تئوری خاکستری است که برای حل مسائلی که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تئوری رابطه خاکستری الگوریتمی است که روابط غیر قطعی اعضای یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل نموده و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم گیری چندمعیاره را داراست. این روش همانند تئوری فازی، روشی برای مطالعه حالت‌های ناشناخته و شرایط عدم اطمینان است که می‌تواند مشکل روش‌های آنالیز ریاضی را حل کند. در این مدل، ابتدا وزن شاخص‌های تصمیم گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص می‌شود. سپس با تحلیل فازی رابطه خاکستری، ضریب رابطه خاکستری بدست آمده و در نهایت درجه رابطه خاکستری (رتبه رابطه خاکستری) برای ارزیابی ایمنی و رده بندی پروژه‌ها محاسبه خواهد شد (شکل ۱).

برای بررسی اعتبار چارچوب ارائه شده، ۳ پروژه مختلف ساختمانی جهت ارزیابی ایمنی در نظر گرفته شدند. پروژه اول مربوط به مجموعه اداری در شش طبقه با زیربنای کل ۲۴هزار و ۳۰۰ متر مربع در حال اجرا است. پروژه دوم مربوط به پروژه های مسکونی انبوه‌سازی در چهار و پنج طبقه اسکلت فلزی که شامل هزار و دویست واحد مسکونی است. پروژه سوم مربوط به مجموعه آموزشی ۱۸ کلاسه است.

در مدل پیشنهادی، ابتدا گروه ارزیاب از بین ناظران و مسئولان ایمنی پروژه‌ها انتخاب شد. در مرحله بعد شاخص‌های موثر ایمنی با توجه به پیشینه تحقیق، مصاحبه و مشاهدات کارگاهی شناسایی شدند. سپس با توجه به نظرات گروه ارزیاب، پرسشنامه ای شامل ۳ بخش تهیه گردید. بخش اول شامل مشخصات پاسخ دهندگان، بخش دوم مقایسه زوجی شاخص‌های ایمنی و بخش سوم شامل سؤالات مربوط به وضعیت موجود ایمنی در پروژه‌ها است که به صورت عبارت‌های زبانی(خیلی کم، کم، ...) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

از روش روایی محتوا برای اندازه گیری روایی پرسشنامه استفاده شد. به دلیل اینکه که روایی محتوا اعتبار بیشتری نسبت به سایر روش‌های ارزیابی روایی دارد از مدل لاوشی [۲۶] برای تعیین روایی محتوا بهره گرفته شد. بدین منظور پرسشنامه در میان اعضای گروه ارزیاب و تعدادی از اعضای هیئت علمی با سابقه دانشگاه قرار گرفت و از آنان خواسته شده نظر خود را درباره روایی هر یک از سؤالات پرسشنامه اعلام نمایند. دامنه نرمال شاخص ارایه شده در مدل لاوشی بین ۱- تا ۱+ می‌باشد که در صورتی که نتیجه بزرگ‌تر از صفر باشد، روایی قابل قبول خواهد بود. در این مطالعه روایی هر یک از سؤالات پرسشنامه در محدوده قابل قبول بود و همچنین روایی میانگین کل سؤالات برابر ۰/۷۹ محاسبه شد. در نهایت پس از اعمال اصلاحات مورد نظر اعضای هیئت علمی و گروه ارزیاب، پرسشنامه اصلاحی بین ۲۳ کارشناس از بین مدیران و مسئولین اجرایی و همچنین متخصصین ایمنی و بهداشت کارگاه‌ها جهت ارزیابی ایمنی و پاسخ دهی به سؤالات پرسشنامه توزیع شد. از سویی برای اندازه گیری پایایی پرسشنامه از روش آلفای کرونباخ استفاده شد. مقدار قابل قبول ضریب آلفا بزرگ‌تر از ۰/۷ می‌باشد [۲۷] که در این تحقیق عدد ۰/۸۲ بدست آمد که نشان دهنده پایایی خوب پرسشنامه است.

نتایج به دست آمده از تحلیل پاسخ دهندگان به پرسشنامه نشانگر آن است که ۳۵ درصد لیسانس، ۵۶ درصد فوق لیسانس و ۹درصد دارای مدرک دکترا بودند. در رابطه با سابقه کار در حوزه مرتبط با تحقیق، ۲۱درصد پاسخ دهندگان دارای سابقه کمتر از ۵ سال، ۴۰ درصد بین ۵ تا ۱۰ سال، ۲۶ درصد بین ۱۰-۱۵ سال و ۱۳ درصد دارای سابقه بیشتر از ۱۵ سال بوده‌اند.

بعد از جمع آوری نتایج پرسشنامه مربوط به مقایسه زوجی معیارها، در قسمت بعد شاخص‌های موثر ایمنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) وزن دهی می‌شوند.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP): فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) برای اولین بار توسط

"توماس ال ساعتی" در سال ۱۹۸۰ مطرح شد [۲۸]. این روش تصمیم گیری، چندمعیاره است که امکان ارزیابی و اولویت بندی گزینه‌ها را دارد [۲۹]. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد.

تئوری‌های فازی: تئوری مجموعه‌های فازی را پروفسور لطفی زاده مطرح کرد. این تئوری در شرایط ابهام و عدم اطمینان کاربرد دارد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و عبارات نادقیق را با زبان ریاضی بیان کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد [۳۰]. انواع مختلف توابع عضویت فازی وجود دارد که می‌توان به توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه ای، زنگوله ای، گوسین اشاره نمود [۳۱]. به منظور تسهیل در محاسبات فازی و بر اساس نظر کارشناسان، اعداد فازی ذوزنقه ای به نمایندگی از متغیرهای زبانی در این مطالعه ترجیح داده شده است. برای اعداد فازی ذوزنقه A به صورت (a_1, a_2, a_3, a_4)، تابع عضویت $\mu_D(x)$ به صورت رابطه(۱) تعریف می‌شود [۳۲].

(۱):

$$\mu_D(x) = \begin{cases} 0 & ; \ x \le a_1 \\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1} & ; \ a_1 < x \le a_2 \\ 1 & ; \ a_2 < x \le a_3 \\ \dfrac{x-a_4}{a_3-a_4} & ; \ a_3 < x \le a_4 \\ 0 & ; \ x > a_4 \end{cases}$$

همچنین به منظور سهولت در محاسبات عددی، انتقال اعداد فازی به مقاطع α و انجام عملیات روی بازه‌ها روش بسیار مناسبی است. برای اعداد فازی ذوزنقه به صورت (a_1, a_2, a_3, a_4)، کران بالا و کران پایین به ترتیب از رابطه (۲) و (۳) در هر سطح α–cuts بدست می‌آید [۳۳].

$$\text{Upper Bound} = a_1 + (a_2 - a_1) * \alpha \quad :(۲)$$

$$\text{Lower Bound} = a_4 - (a_4 - a_3) * \alpha \quad :(۳)$$

اگر A و B دو مجموعه فازی نشان داده شده از بازه α باشد و اگر $A=[a_1, d_1]$ و $B=[a_2, d_2]$، آنگاه $\alpha_A * \alpha_B$ به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۳۳].

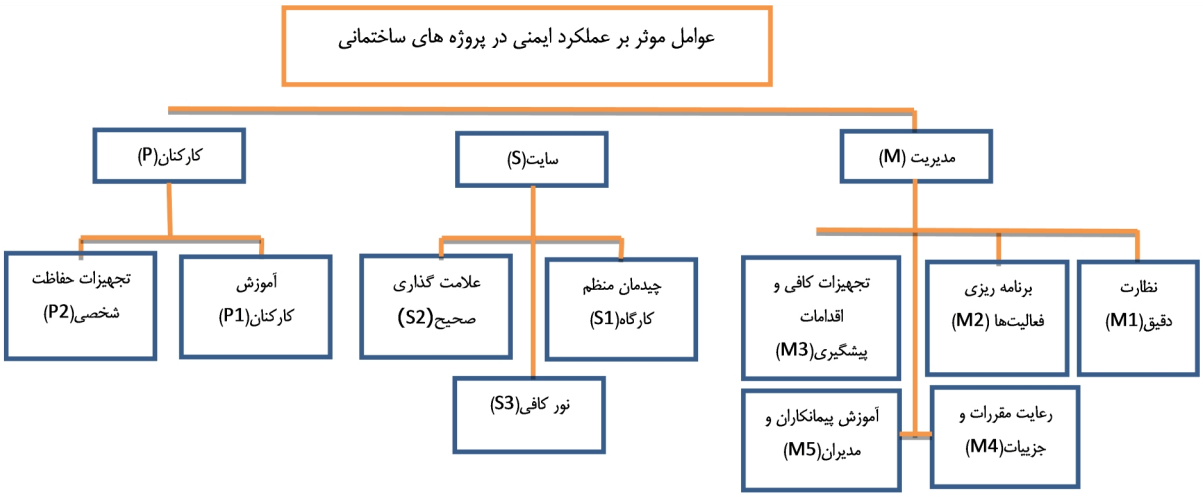
(۴):

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

در این تحقیق از عبارات زبانی برای ارزیابی ایمنی در پروژه‌های ساختمانی استفاده شد. کارشناسان بر اساس مجموعه ای از کلاس‌های ارزیابی به عنوان مثال (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد) به بیان نظرات خود برای ارزیابی وضعیت موجود بر عملکرد ایمنی در پروژه های انبوه‌سازی پرداختند. به این ترتیب به منظور تعمیم عبارت‌های زبانی به اعداد فازی، تقریبی برای هر پنج نمره ارزیابی توسط اعداد فازی ذوزنقه مطابق جدول ۱ بر اساس نظر کارشناسان ایجاد شد.

جدول ۱– نرخ فازی برای عبارات زبانی

عبارات زبانی	اعداد فازی
خیلی کم	(۰,۰,۰/۱,۰/۲)
کم	(۰/۱,۰/۲ ,۰/۳,۰/۴)
متوسط	(۰/۳,۰/۴ ,۰/۵,۰/۶)
زیاد	(۰/۵,۰/۶ ,۰/۷,۰/۸)
خیلی زیاد	(۰/۷,۰/۸ ,۱/۰,۱/۰)



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی برای عوامل موثر در ایمنی پروژه های ساختمانی

(۵):

$$\gamma(X_0(l),X_n(l))=\frac{\min_n \min_l |X_0(l)-X_n(l)|+\delta \max_n \max_l |X_0(l)-X_n(l)|}{|X_0(l)-X_n(l)|+\delta \max_n \max_l |X_0(l)-X_n(l)|}$$

$$=\frac{\Delta_{\min}+\delta\Delta_{\max}}{\Delta_{0n}(l)+\delta\Delta_{\max}} \qquad n=1,\ldots, N;\ l=1,\ldots, L$$

تحلیل رابطه خاکستری: تحلیل رابطه خاکستری، نخستین بار توسط دنگ مطرح شده است [۲۵]. تئوری سیستم‌های خاکستری الگوریتمی است که روابط غیر قطعی اعضای یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل نموده، قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم گیری چندمعیاره را داراست.

این تئوری برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارد به کار می‌رود. این تئوری با استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییر پذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را تولید می‌کند. تحلیل رابطه‌ای خاکستری جزئی از تئوری خاکستری است که برای حل مسائلی که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش همانند تئوری فازی، روشی برای مطالعه حالت‌هایی مبهم و شرایط عدم اطمینان است که می‌تواند مشکل روش‌هایی آنالیز ریاضی را بر طرف کند. [۳۴].

ضریب رابطه خاکستری برای هر شاخص ایمنی توسط رابطه(۵) بدست می‌آید [۳۵]. رابطه ۵ در باکس بالا آمده است. که $X_0(l)$ مینیمم یا ماکزیمم مقدار از سری مرجع (استاندارد) و $X_n(l)$ مقدار سری مقایسه‌ای است و مقدار δ بین ۰ تا۱ است که می‌توان ۰/۵در نظر گرفت. سری مرجع (سری استاندارد) می‌تواند متشکل از مقادیر مطلوب یا بدترین حالت مقدار از شاخص معرفی کرد. همچنین مقدار مرجع را می‌توان بر اساس هدف ارزیابی انتخاب کرد. در پژوهش حاضر

سری استاندارد بر اساس نمره بزرگ‌تر استفاده می‌شود. بنابراین سری استاندارد را می‌تواند بالاترین سطح از عوامل ایمنی دانست.

یافته‌ها

در این مطالعه وزن هر شاخص موثر ایمنی بر اساس فرآیند سلسله مراتبی محاسبه شد. مراحل تجزیه و تحلیل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به شرح زیر است:

۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی: پس از تشکیل گروه ارزیاب، تعداد ۱۰ شاخص موثر ایمنی شناخته شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. تدوین و دسته بندی این شاخص‌ها به نحوی انجام شد که قابلیت استفاده در کلیه انواع پروژه های ساختمانی را دارا باشد. لیکن در صورتی که این ساختار در پروژه خاصی قابل استفاده نباشد، می‌توان ساختار مخصوص آن را تهیه و از آن در قالب این مدل بهره برداری نمود. ضمناً با توجه به اینکه هر سه پروژه مورد مطالعه در یک منطقه اجرا می‌شوند، فرض شده که سطح تحصیلات و آگاهی کارگران در آن‌ها یکسان باشد و لذا این شاخص در ارزیابی لحاظ نگردید.

۲- ایجاد ماتریس مقایسه زوجی: کارشناسان برای مقایسه اهمیت بین هر دو شاخص، از مقیاس از ۱ تا ۹ استفاده می‌کند.

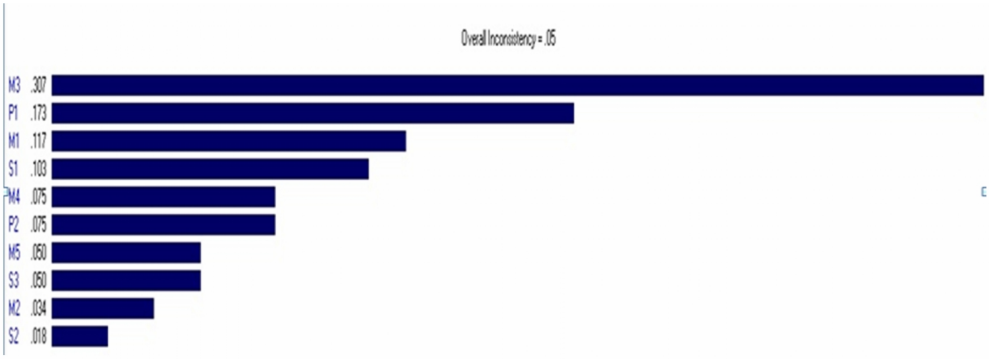
۳- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه: نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی ۰/۰۵ بدست آورده شد که با توجه به کوچک‌تر بودن نرخ ناسازگاری از ۰/۱۰ ، که پاسخ‌های افراد از سازگاری کافی برخوردار است.

۴- محاسبه وزن نسبی هر شاخص با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی که در این مطالعه از نرم افزار Expert Choice استفاده شد (شکل ۳).

در قسمت بعد، داده‌های کیفی(خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) جمع آوری شده از پرسشنامه برای هر پروژه را به اعداد فازی ذوزنقه (جدول ۱) تبدیل کرده و سپس با استفاده از تئوریα-cuts (رابطه های ۲ و ۳) به بازه های بر اساس $\alpha = 0$ تا $\alpha = 1$ تبدیل می‌گردد. برای نمونه نتایج داده‌های بازه‌ای بر اساس اظهار نظر کارشناسان پس از تبدیل به بازه اعداد برای $\alpha = 1$ (با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد)، در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تحلیل رابطه خاکستری، بازه اعداد مرجع (استاندارد) در مطالعه موردی با توجه به نظر کارشناسان تعریف می‌شود که بازه اعداد مرجع بالاترین مقدار یعنی بازه [۱،۱] را در نظر گرفته شد. سپس اختلاف سری مرجع با سری مقایسه را بدست آورده شد. برای این کار بازه [۱،۱] را از داده‌های بازه‌ای جدول ۲ کم کرده تا اختلاف سری بدست آید. به طور مثال برای $\alpha = 1$ مقدار اختلاف در جدول ۳ ارائه شده است.

در مرحله بعد جهت محاسبه ضریب رابطه خاکستری، ماکزیمم و مینیمم اختلاف سری مرجع با سری مقایسه‌ای با توجه به جدول ۳ بدست آورده که ماکزیمم اختلاف[۰/۰،۶۰/۷۰] و مینیمم فاصله [۰/۰،۲۲/۳۵] می‌باشد. در جدول ۴ نتایج ضریب رابطه خاکستری با



شکل ۳- خروجی نرم افزار Expert Choice

جدول ۲- داده های بازه ای

ردیف	عوامل	وزن	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳
		$\alpha = 1$			
۱	نظارت دقیق(M1)	۰/۱۱۷	[۰/۵۱,۰/۶۲]	[۰/۳۸,۰/۴۹]	[۰/۵۲,۰/۶۴]
۲	برنامه ریزی فعالیت‌ها(M2)	۰/۰۳۴	[۰/۵۳,۰/۶۵]	[۰/۴۷,۰/۵۷]	[۰/۴۳,۰/۵۳]
۳	تجهیزات کافی و اقدامات پیشگیری(M3)	۰/۳۰۷	[۰/۵۷,۰/۶۸]	[۰/۴۰,۰/۵۰]	[۰/۵۵,۰/۶۸]
۴	رعایت مقررات و جزییات(M4)	۰/۰۷۵	[۰/۶۵,۰/۷۸]	[۰/۵۴,۰/۶۶]	[۰/۵۶,۰/۶۶]
۵	آموزش پیمانکاران و مدیران(M5)	۰/۰۵۰	[۰/۴۹,۰/۵۹]	[۰/۴۶,۰/۵۶]	[۰/۴۰,۰/۵۰]
۶	چیدمان منظم کارگاه(S1)	۰/۱۰۳	[۰/۴۴,۰/۵۴]	[۰/۴۷,۰/۵۷]	[۰/۳۷,۰/۴۷]
۷	علامت گذاری صحیح(S2)	۰/۰۱۸	[۰/۵۶,۰/۶۸]	[۰/۵۳,۰/۶۴]	[۰/۶۰,۰/۷۲]
۸	نور کافی(S3)	۰/۰۵۰	[۰/۶۰,۰/۷۴]	[۰/۵۶,۰/۶۸]	[۰/۵۳,۰/۶۳]
۹	آموزش کارکنان(P1)	۰/۱۷۳	[۰/۴۳,۰/۵۴]	[۰/۳۰,۰/۴۰]	[۰/۳۵,۰/۴۵]
۱۰	تجهیزات حفاظت شخصی(P2)	۰/۰۷۵	[۰/۵۹,۰/۷۲]	[۰/۳۹,۰/۵۰]	[۰/۵۲,۰/۶۲]

توجه به رابطه (۵) بدست آورده شد. همچنین در جدول وزن شاخص‌های موثر ایمنی که با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی انجام شد نشان داده شده است.

در مرحله بعد درجه‌ای از رابطه خاکستری (رتبه رابطه خاکستری) بر اساس ضریب رابطه خاکستری و وزن گروه از فاکتور ریسک w (که توسط روش AHP حاصل شده) بدست می‌آید [۳۶].(رابطه ۶)

:(۶)

$$\Gamma(X_m, X_n) = \sum_{i=1}^{l} w_l \gamma\{X_m(l), X_n(l)\}$$

در رابطه (۶)، w وزن شاخص ایمنی است که از روش تحلیل سلسله مراتبی بدست آمده در جدول ۴ آورده شده است. γ ضریب رابطه خاکستری است که در جدول ۴ بر اساس بازه اعداد بدست آورده شد. بنابراین طبق رابطه (۶)، اگر یک سری مقایسه‌ای برای یک گزینه، بالاترین رتبه رابطه خاکستری را با سری مرجع هدف داشته باشد، بدین معناست که این سری مقایسه‌ای دارای بیشترین شباهت با سری مرجع هدف است و بنابراین این گزینه بهترین انتخاب است.

با توجه به نتایج ضریب رابطه خاکستری و وزن هر شاخص، با استفاده از رابطه (۶) درجه رابطه خاکستری برای هر پروژه بدست آورده شد. سپس برای تبدیل اعداد فازی ذوزنقه به اعداد کریسپ، غیر فازی سازی (تبدیل اعداد فازی به یک عدد حقیقی) نیاز است. چندین روش برای فرآیند غیر فازی نمودن پیشنهاد شده است. در این مطالعه با توجه به الزامات مورد نیاز برای وضعیت واقعی، سادگی، کارایی و نظر گروه ارزیابی برای غیر فازی سازی اعداد فازی به صورت m= { a , b , c, d } از رابطه (۷) استفاده می‌شود [۳۷] (جدول ۵).

:(۷)

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

مطابق با اصل تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری، درجه بیشتر از رابطه خاکستری یعنی سطح بالاتر از ایمنی کارگاه‌های ساختمانی است. بنابراین سطح ایمنی پروژه‌های ساختمانی به صورت پروژه ۱ (۰/۸۳۴)> پروژه ۳ (۰/۷۸۵)> پروژه ۲ (۰/۷۱۶) ارزیابی شده است که نشان دهنده آن است که پروژه اداری ۱ از لحاظ ایمنی در سطح مطلوب‌تری قرار دارد و پروژه انبوه سازی ۲ از لحاظ ایمنی پایین‌ترین مقدار در بین ۳ پروژه را دارد (شکل ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، موارد زیر جهت بررسی صحت روش پژوهش حاضر مطرح می‌گردد:

جدول۳- نتایج اختلاف سری مرجع با سری مقایسه ای

			اختلاف سری مرجع با سری مقایسه ای		
ردیف	عوامل	وزن	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳
۱	نظارت دقیق(M1)	۰/۱۱۷	[۰/۳۸,۰/۴۸]	[۰/۵۰,۰/۶۲]	[۰/۳۶,۰/۴۷]
۲	برنامه ریزی فعالیت‌ها(M2)	۰/۰۳۴	[۰/۳۵,۰/۴۷]	[۰/۴۲,۰/۵۲]	[۰/۴۷,۰/۵۷]
۳	تجهیزات کافی و اقدامات پیشگیری(M3)	۰/۳۰۷	[۰/۳۱,۰/۴۳]	[۰/۴۹,۰/۵۹]	[۰/۳۱,۰/۴۴]
۴	رعایت مقررات و جزییات(M4)	۰/۰۷۵	[۰/۲۲,۰/۳۵]	[۰/۳۴,۰/۴۵]	[۰/۳۳,۰/۴۳]
۵	آموزش پیمانکاران و مدیران(M5)	۰/۰۵۰	[۰/۴۰,۰/۵۰]	[۰/۴۴,۰/۵۴]	[۰/۵۰,۰/۶۰]
۶	چیدمان منظم کارگاه(S1)	۰/۱۰۳	[۰/۴۶,۰/۵۶]	[۰/۴۶,۰/۵۳]	[۰/۵۳,۰/۶۳]
۷	علامت گذاری صحیح(S2)	۰/۰۱۸	[۰/۳۲,۰/۴۳]	[۰/۳۶,۰/۴۷]	[۰/۲۸,۰/۳۹]
۸	نور کافی(S3)	۰/۰۵۰	[۰/۲۶,۰/۳۹]	[۰/۳۲,۰/۴۳]	[۰/۳۶,۰/۴۶]
۹	آموزش کارکنان(P1)	۰/۱۷۳	[۰/۴۶,۰/۵۷]	[۰/۶۰,۰/۷۰]	[۰/۵۵,۰/۶۵]
۱۰	تجهیزات حفاظت شخصی(P2)	۰/۰۷۵	[۰/۲۸,۰/۴۰]	[۰/۵۰,۰/۶۰]	[۰/۳۸,۰/۴۴]

جدول ۴- نتایج ضریب رابطه خاکستری

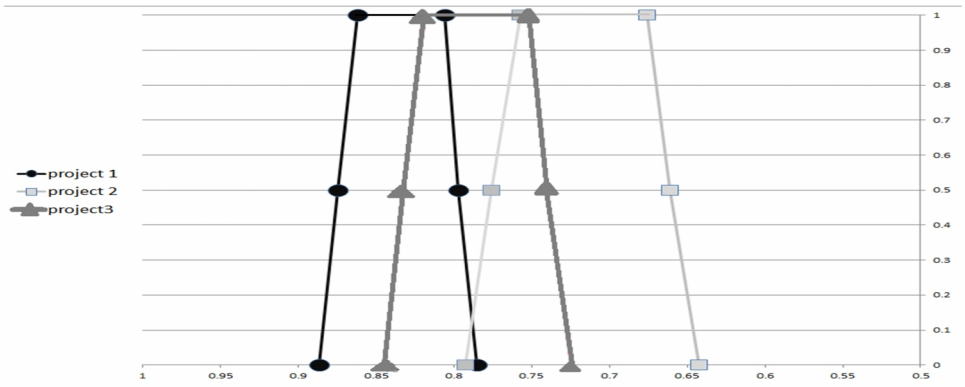
			γ		
ردیف	عوامل	وزن	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳
۱	نظارت دقیق(M1)	۰/۱۱۷	[۰/۷۶,۰/۸۴]	[۰/۶۴,۰/۷۲]	[۰/۷۹,۰/۸۵]
۲	برنامه ریزی فعالیت‌ها(M2)	۰/۰۳۴	[۰/۷۹,۰/۸۵]	[۰/۷۱,۰/۸۰]	[۰/۶۸,۰/۷۶]
۳	تجهیزات کافی و اقدامات پیشگیری(M3)	۰/۳۰۷	[۰/۸۵,۰/۹۰]	[۰/۶۵,۰/۷۴]	[۰/۸۵,۰/۸۸]
۴	رعایت مقررات و جزییات(M4)	۰/۰۷۵	[۰/۹۹,۱/۰]	[۰/۸۱,۰/۸۶]	[۰/۸۲,۰/۸۹]
۵	آموزش پیمانکاران و مدیران(M5)	۰/۰۵۰	[۰/۷۳,۰/۸۱]	[۰/۷۰,۰/۷۹]	[۰/۶۵,۰/۷۴]
۶	چیدمان منظم کارگاه(S1)	۰/۱۰۳	[۰/۶۸,۰/۷۷]	[۰/۷۱,۰/۸۰]	[۰/۶۳,۰/۷۲]
۷	علامت گذاری صحیح(S2)	۰/۰۱۸	[۰/۸۳,۰/۸۹]	[۰/۷۸,۰/۸۵]	[۰/۹۰,۰/۹۴]
۸	نور کافی(S3)	۰/۰۵۰	[۰/۹۳,۰/۹۴]	[۰/۸۴,۰/۸۹]	[۰/۷۸,۰/۸۶]
۹	آموزش کارکنان(P1)	۰/۱۷۳	[۰/۶۸,۰/۷۶]	[۰/۵۸,۰/۶۷]	[۰/۶۱,۰/۷۰]
۱۰	تجهیزات حفاظت شخصی(P2)	۰/۰۷۵	[۰/۸۹,۰/۹۲]	[۰/۶۵,۰/۷۴]	[۰/۷۶,۰/۸۴]

جدول ۵- نتایج درجه رابطه فازی خاکستری برای ۳ پروژه

پروژه	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳
τ	[۰/۸۱,۰/۸۶]	[۰/۶۷,۰/۷۶]	[۰/۷۵,۰/۸۱]
غیر فازی	۰/۸۳۴۶	۰/۷۱۶۶	۰/۷۸۵۶

۱- با توجه به نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی، تجهیزات مناسب، آموزش کارگران و نظارت دقیق جزء مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد ایمنی شناخته شدند که با نتایج تحقیقات پیشین هم‌خوانی دارد. به طور مثال در سال ۲۰۰۲ تول [۹]، در سال ۲۰۰۴ زنگ و همکاران [۴] و در سال ۲۰۰۴ فانگ [۳۶] عوامل موثر بر ایمنی ساخت‌وساز را آگاهی و ایمنی ضعیف مدیران، عدم آموزش، عدم وجود تجهیزات ایمنی و نظارت ضعیف معرفی و رتبه بندی نمودند.

با توجه به شاخص‌های موثر ایمنی برای پروژه انبوه سازی (پروژه ۲) در جنبه‌های ارائه و استفاده از تجهیزات پیشگیری، آموزش به کارکنان و نظارت



شکل ۴- مقایسه نتایج تحلیل رابطه خاکستری در ۳ پروژه

مستمر توسط دستگاه نظارت جهت بهبود عملکرد ایمنی پیشنهاد می‌شود.

۲- بر اساس نتایج ضریب رابطه خاکستری برای شاخص‌های ایمنی، کمترین ضریب در هر سه پروژه به آموزش کارگران تعلق گرفت شد. در این راستا لازم به ذکر است که کارشناسان هر سه پروژه قبول داشتند که در بحث آموزش ایمنی عملکرد بسیار ضعیفی در کارگاه‌ها وجود دارد. لذا ضروری است به بحث آموزش ایمنی به کارگران در کارگاه‌های ساختمانی توجه ویژه‌ای شود. پس از شاخص آموزش، کمترین ضریب رابطه خاکستری در پروژه اول چیدمان منظم کارگاه، پروژه دوم نظارت دقیق و پروژه سوم چیدمان منظم کارگاه شناخته شد.

۳- در حالی پروژه اول بهترین شاخص ایمنی (سطح ایمنی مطلوب) در بین ۳ پروژه را بدست آورد که این پروژه دارای تیم نظارتی مستمر و وجود متخصص ایمنی بوده که در دو پروژه دیگر این موارد مشاهده نمی‌شود.

۴- به منظور بررسی قابلیت کاربرد، جامعیت و صحت روش پژوهش، یک پرسشنامه ساختار یافته طراحی شد و گروه ارزیابی ریسک برای اعلام نظر در مورد سؤالات پرسشنامه دعوت شدند. پرسشنامه شامل سه پرسش اصلی به شرح زیر است.

- قابلیت کاربرد: آیا روش پیشنهادی برای تمام پروژه‌های ساختمانی قابل اجراست؟
- جامعیت: آیا روش پیشنهادی تمام جوانب ایمنی کارگاه‌های ساختمانی را پوشش می‌دهد؟
- صحت: آیا نتایج رتبه بندی را تایید می‌کنید؟

این پرسشنامه بین کلیه کارشناسان پروژه‌ها (۹ متخصص) توزیع و تکمیل شد که جدول ۶ نتایج تجزیه و تحلیل پرسشنامه را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کارشناسان قابلیت کاربرد، جامعیت موضوع و صحت روش پژوهش این مقاله را تایید می‌نمایند.

پروژه های ساختمانی در ایران از لحاظ ایمنی در سطح پایین قرار دارند و کارکنان و کارگران در این پروژه‌ها در معرض بسیاری از خطرات و ریسک‌های ایمنی هستند. بنابراین شناسایی شاخص‌های موثر ایمنی و ارزیابی ایمنی در پروژه‌ها به منظور بهبود عملکرد ایمنی پروژه های ساختمانی ضروری شناخته شده است. روش پیشنهادی این مطالعه با استفاده از روش‌هایی تحلیل سلسله مراتبی و فازی خاکستری برای ارزیابی ایمنی پروژه‌های ساختمانی ارائه شد. این تئوری در زمینه های بسیاری به کار گرفته شده و در زمینه حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تحت عنوان تحلیل رابطه خاکستری بکار گرفته شده است.

جدول ۶- نتایج پرسشنامه

معیار	جواب مثبت	جواب منفی	جواب خنثی
قابلیت کاربرد	٪۵۶	٪۲۲	٪۲۲
جامعیت	٪۵۶	٪۳۳	٪۱۱
صحت	٪۷۸	٪۲۲	۰

در مطالعه موردی ۳ پروژه مختلف ساختمانی جهت ارزیابی ایمنی در نظر گرفته شد که ابتدا شاخص‌های موثر ایمنی شناسایی شدند و سپس پروژه‌ها از لحاظ ایمنی رتبه بندی شدند. نتایج تجربی از مطالعات موردی نشان داد که این راه حل قابل اعتماد، کارآمد است و همچنین می‌توان به تمایز بهتر در میان گزینه‌ها به عنوان مثال ارائه رتبه بندی گزینه‌های پیشنهادی را داد. از مزایای روش تحلیل فازی رابطه خاکستری این است که می‌توان آن را به عنوان روشی ساده و بسیار کاربردی بر شمرد که نیازی به اطلاعات دقیق ندارد و در ارزیابی و مسائل تصمیم‌گیری مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود مدیران ایمنی، پیمانکاران و مشاوران ضمن استفاده از این روش، از عوامل مهم شناسایی شده در این مطالعه برای کمک به ارزیابی عملکرد ایمنی و کاهش حوادث در پروژه های ساختمانی استفاده کنند.

منابع

1.Ji J, Zhong W, Li K, Shen X, Zhang Y, Huo R. A simplified calculation method on maximum smoke temperature under the ceiling in subway station fires. Tunnelling and Underground Space Technology. 2011;26(3):490-6.

2.Beard AN. Fire safety in tunnels. Fire Safety Journal. 2009;44(2):276-8.

3.Fridolf K, Nilsson D, Frantzich H. Fire evacuation in underground transportation systems: A review of accidents and empirical research. Fire Technology. 2011.

4.Moodie K. The King's Cross fire: damage assessment and overview of the technical investigation. Fire Safety Journal. 1992;18(1):13-33.

5.Kyriakidis M, Hirsch R, Majumdar A. Metro railway safety: An analysis of accident precursors. Safety Science. 2012;50(7):1535-48.

6.Jing H, editor. Fire Risk Evaluation of Subway2009: IEEE.

7.Wang LC. Hazards Identification Model for Rail Rapid Transit Accidents. Journal of Marine Science and Technology. 2004;12(2):78-85.

8.Zarboutis N, Marmaras N. Searching efficient plans for emergency rescue through simulation: the case of a metro fire. Cognition, Technology & Work. 2004;6(2):117-26.

9.Jialei T, Tong W, Ya C, Guang B, editors. Safety Evacuation Measures in Urban Subway Fire2009: IEEE.

10.Radu LD. Qualitative, Semi-Quantitative And, Quantitative Methods For Risk Assessment: Case Of The Financial Audit. Analele Stiintifice ale Universitatii. 2009;56:643-57.

11.Marhavilas PK, Koulouriotis D. A risk-estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents' data: Application in an aluminum extrusion industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008;21(6):596-603.

12.Watts J, Hall J. Introduction to Fire Risk Analysis, Section 5, Chapter 1. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 2008:1-8.

13.Berlin NG. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering: National Fire Protection Association; 1988.

14.Hadjisophocleous GV. Literature Review Of Fire Risk Assessment Methodologies. International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. 2004;6(1):28-45.

15.Rausand M, Høyland A. System reliability theory: models, statistical methods, and applications: John Wiley & Sons; 2004.

16.Vesely W. Fault tree handbook with aerospace application version 1.1: Washington DC, NASA Office of Safety and Mission Assurance; 2002.

17.Abdelmoumene A. Reliability enhancement of power transformer protection system. Journal of basic and applied scientific research. 2012;2(10):10534-9.

18.Chen F, Guo S-C, Chuay H-Y, Chien S-W. Smoke control of fires in subway stations. Theoretical and computational fluid dynamics. 2003;16(5):349-68.

Safety assessment in construction projects based on analytic hierarchy process and grey fuzzy methods

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

Received: 2013/02/27 Revised: 2013/07/13 Accepted: 2013/10/19

Abstract

Background and aims: The construction industry is known as one of the most dangerous industries according to its unique nature. With the rapid development of construction in our country, the safety problems at construction sites have become a serious problem. Therefore, paying attention to safety, identifying its effective indicators and projects' safety evaluation is known as an essential issue for improving safety performance of construction projects.

Methods: Regarding the factors influencing site safety which have fuzzy and uncertain nature, grey fuzzy analysis has been used in evaluating model. Grey theory which is one of the multi-criteria decision-making methods is used to solve problems with discrete, vague and incomplete data. Also Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to determine weight of each index. In three different construction projects which are analyzed as case studies, the indicators affecting construction safety are identified and the site safety setting is studied.

Results: According to the results, enough equipment and preventive actions index obtained the highest weight (0.307) and the least weight was for proper signage (0.018). Then, using grey fuzzy method, the current safety setting in three sites is evaluated and ranked. The safety setting of project 1 was more appropriate.

Conclusion: Comparing the results with the past research, experimental observations and feedback from risk assessment group demonstrate that this method is reliable and useful; therefore, it is recommended that safety managers use this method and also use factors identified in this study for safety performance assessment and reducing construction projects accidents.

Keywords: Safety Evaluation, Construction Projects, Grey Fuzzy Theory, Analytic Hierarchy Process (AHP).

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