روش ترکیبی برای ارزیابی مخاطرات شغلی در پروژه های راه‌سازی

مهران امیری[۱،*]- عبداله اردشیر[۲]- علی عباسی[۳]

mehran.amiri@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲ *تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۲*

چکیده

مقدمه: ایمنی در محل کار یک موضوع مهم بوده و عدم استفاده از روش‌های مؤثر و کارآمد مدیریت ایمنی بر مبنای مطالعات علمی، همواره هزینه های بالایی را به صنعت ساخت‌وساز تحمیل می کند. با ارزیابی ریشه‌ای حوادث و تعیین عوامل اولیه تأثیرگذار در وقوع حوادث، می توان با صرف حداقل زمان و هزینه از رخداد حوادث جلوگیری نمود.

روش کار: در ابتدا حوادث عمده در پروژه های راه‌سازی با انجام مصاحبه و مطالعه ادبیات موضوع، شناسایی شد. سپس، درخت خطای مربوط به هر یک از این ریسک‌های اصلی ترسیم گردید. در مرحله بعد، پرسش نامه‌ای به‌منظور محاسبه احتمال وقوع و شدت اثر هر نوع حادثه تهیه و توزیع شد. با توجه به وجود عدم قطعیت در واژه‌های زبانی، از منطق فازی در محاسبات بهره گرفته شد. جهت محاسبه احتمال وقوع، از تحلیل درخت خطای فازی استفاده شد و به‌منظور تعیین شدت اثر هر نوع حادثه، درجه اهمیت هر معیار با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی تعیین گردید. درنهایت ریسک فاکتور برای هر نوع حادثه محاسبه و ریسک‌ها رتبه‌بندی شدند.

یافته ها: در بین یازده نوع حادثه موردبررسی، حوادث مربوط به سنگ شکن و کارخانه آسفالت، حوادث ترافیکی، گرمازدگی و عدم رعایت بهداشت و تصادف افراد با ماشین‌آلات به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌ها شناسایی شدند.

نتیجه گیری: با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق می توان با اعمال روش‌های مؤثر مدیریت ایمنی، نسبت به کاهش احتمال وقوع عوامل ریشه‌ای حوادث و درنتیجه تعدیل ریسک آن‌ها اقدام نمود.

کلمات کلیدی: *ایمنی ساخت‌وساز، پروژه‌های راه‌سازی، مدیریت مخاطرات شغلی، تحلیل درخت خطای فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی*

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، رییس پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز جزو خطرناک‌ترین صنایع از دیدگاه تلفات مربوط به اجرا، میزان آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران محسوب می‌شود (۱-۳). در این صنعت، صدمات منجر به فوت، جراحات شدید و زمان ازدست‌رفته فراوان در کار با توجه به طبیعت منحصربه‌فرد آن روی می‌دهد. این شرایط به دلیل تغییرات مستمر، استفاده از منابع و ابزارهای مختلف، شرایط کاری نامناسب، اشتغال ناپایدار و هم چنین در معرض محیط‌های نامناسب بودن، موجب وقوع حوادث می‌گردد (۴). دراین‌بین، همواره هدف اصلی پیمان کاران از اجرای پروژه های راه‌سازی، انجام پروژه با کم ترین زمان و هزینه ضمن تأمین استانداردهای کیفی موردنظر کارفرمایان و تأمین نظر مشاوران و دست یابی به حداکثر سود می باشد، لیکن تمرکز بر این هدف غالباً موجب غفلت از ایمنی می گردد (۵).

جاده های در حال ساخت، آبستن بسیاری از خطرات هستند. حال‌آن که نبود یا کاهش سطح ایمنی، همواره هزینه های گزافی را ازلحاظ زمانی و ریالی بر این پروژه‌ها تحمیل می کند. در طول سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۲، ۸۴۴ نفر و طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰، ۹۶۲ نفر از کارگران هنگام کار در کارگاه‌های احداث جاده در آمریکا کشته شده اند. بیش از نیمی از این مرگ‌ومیرها به کارگرانی اختصاص داشته که در اثر تصادف با وسایل نقلیه و یا تجهیزات متحرک جان خویش را از دست داده‌اند (۶و۷). لذا ایجاد سیستم‌هایی جهت آموزش و آشنایی پیمان کاران با سازوکار و تأثیر مدیریت ایمنی بر هزینه، زمان و کیفیت اجرای پروژه ها می تواند در کاهش ریسک وقوع حوادث تأثیر به سزایی داشته باشد.

ازآن جاکه بر اساس بررسی‌های صورت گرفته توسط مؤلفین این مقاله، تاکنون تحقیقات جامعی در زمینه ارزیابی ایمنی در پروژه های راه‌سازی صورت نگرفته و مطالعات محدود انجام‌شده یا در قالب کارهای آماری و یا منحصر به برخی بخش‌های کارگاه‌های راه‌سازی بوده است، هدف این تحقیق، ارزیابی مخاطرات شغلی در کلیه بخش‌های کارگاه‌های راه‌سازی و در موقعیت های گوناگون تعیین شد.

در این تحقیق خطرات عمده کارگاه‌های راه‌سازی از طریق مصاحبه با افراد خبره (دارای سابقه کار زیاد و مستمر در کارگاه‌های راه‌سازی) و انجام مطالعه میدانی از طریق پرسش نامه شناسایی و رتبه‌بندی می‌شوند. در این میان، از روش درختان خطا با تلفیق روش فازی جهت تعیین احتمال وقوع خطر و روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی فازی جهت تعیین شدت وقوع خطرات استفاده می گردد. مزایای روش مورداستفاده در این تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر ارایه نمود:

- بررسی ریشه‌ای و دقیق‌تر خطرات شغلی کارگاه‌های راه‌سازی با استفاده از آنالیز درخت خطا.
- تعیین دقیق‌تر پارامتر شدت وقوع حوادث (که قضاوت مستقیم خبره در خصوص آن با دشواری همراه است) با استفاده از تعیین اوزان معیارهای تشکیل‌دهنده آن از طریق روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی.
- بهره‌گیری از منطق فازی به‌منظور مدل‌سازی عدم قطعیت مستتر در واژه‌های زبانی (و افزایش دقت محاسبات) که از خبرگان و کارشناسان پرسیده می‌شوند.

درنهایت بهره‌گیری از چنین روش هایی موجب بالاتر رفتن دقت فرآیند آنالیز ریسک شده و زمینه را

برای شناسایی خطرات بحرانی در هر کارگاه و تعیین استراتژی‌های پاسخ به ریسک فراهم می‌سازد. این امر می‌تواند با تخصیص منابع موردنیاز به علل ریشه ای دارای بالاترین سهم در وقوع رویداد ریسک صورت پذیرد.

مدل‌های ریاضی

ارزیابی ریسک به کمک منطق فازی

ازآن جاکه در ارزیابی ریسک با واژه های زبانی سروکار داریم (واژه هایی از قبیل خیلی کم، کم، متوسط و ...) به خصوص زمانی که برای ارزیابی، داده ها را با استفاده از پرسش نامه و کمک گرفتن از افراد خبره جمع آوری می کنیم، بنابراین منطق فازی یکی از ابزارهای بسیار مفید در ارزیابی ریسک می باشد و گواه این مدعا تحقیقات متعددی است که در حوزه مدیریت ریسک از منطق فازی استفاده کرده اند. در زیر نمونه هایی از این تحقیقات، با شرح مختصری درباره هریک آورده شده است.

محققان از تئوری مجموعه‌های فازی برای ارزیابی ریسک استفاده نموده اند (۸و ۹). آنان در چهار زمینه زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی، با محاسبه احتمال وقوع و شدت اثر هر ریسک، مقدار فاکتور ریسک (RF[1]) را تعیین کرده اند (۱۰). ژانگ و زو در سال ۲۰۰۷ از دانش افراد خبره جهت ارزیابی خطرات مرتبط با پروژه های سرمایه گذاری مشترک ساخت وساز (JV[2]) استفاده کرده اند. آن‌ها از یک ساختار سلسله مراتبی ریسک و سپس توسعه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت ساخت مدلی جهت ارزیابی دقیق محیط و ریسک‌های مرتبط با پروژه های JV استفاده کردند (۱۱). لیو و سای در سال ۲۰۱۲ به بررسی ریسک وقوع حوادث شغلی در صنعت ساختمان پرداختند. آنان با به کار گیری منطق فازی در روش‌هایی چون تجزیه‌وتحلیل حالات شکست (FMEA[3]) ارزیابی ریسک را انجام دادند (۱۲). از دیگر کارهای انجام‌شده می توان به کار محسنی و همکاران در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد. آنان با به‌کارگیری منطق فازی در روش‌های FMEA و تحلیل سلسله مراتبی (AHP[4]) و با استفاده از معیارهای زمان، هزینه و کیفیت برای تعیین شدت اثر ریسک‌ها، به ارزیابی ریسک‌های ساخت بزرگراه‌ها پرداختند (۱۳). چاهر و سومرو نیز در سال ۲۰۱۶، با بهره‌گیری از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت مستتر در واژه‌های زبانی، احتمال وقوع و شدت اثر (بر اساس سه معیار هزینه، زمان و کیفیت) ریسک‌ها را تعیین و با محاسبه حاصل‌ضرب این دو پارامتر، ریسک فاکتور را محاسبه و رتبه‌بندی نمودند (۱۴).

فاکتور ریسک با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\text{Risk Factor}= (P+C)-P\times C \qquad (1)$$

در فرمول بالا P احتمال وقوع حادثه و C شدت اثر حادثه می‌باشد (۱۵).

در مواجهه با واژه‌های زبانی واضح است که این عبارات را نمی‌توان با یک عدد نشان داد، لیکن تئوری مجموعه‌های فازی بستری را فراهم می‌کند که می‌توان این عبارات را با منطق ریاضی تعریف نمود (۱۶).

تئوری مجموعه‌های فازی

این تئوری توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شد. تئوری مجموعه‌های فازی در شرایط ابهام و عدم قطعیت دارای کاربرد است. این نظریه

1- Risk Factor
2- Joint Venture
3- Failure Mode and Effect Analysis
4- Analytic Hierarchy Process

می‌تواند بسیاری از عبارات و مفاهیم نادقیق را با زبان ریاضی بیان نموده و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت فراهم آورد (۱۷). توابع عضویت دارای انواع مختلفی ازجمله توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسین می‌باشد (۱۸). به‌منظور ایجاد سهولت در محاسبات، اعداد فازی ذوزنقه به نمایندگی از متغیر زبانی در این مطالعه ترجیح داده شده است. برای عدد فازی ذوزنقه‌ای A به‌صورت (a_1,a_2,a_3,a_4) تابع عضویت $\mu_D(x)$ به شکل رابطه ۲ تعریف می‌شود (۱۹).

$$\mu_D(x)=\begin{cases}0 & ;x\le a_1\\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1} & ;a_1<x\le a_2\\ 1 & ;a_2<x\le a_3\\ \dfrac{x-a_4}{a_3-a_4} & ;a_3<x\le a_4\\ 0 & ;x>a_4\end{cases} \qquad (۲)$$

مقاطع آلفا در مجموعه‌های فازی (α-cuts)

انتقال اعداد فازی به مقاطع α و انجام عملیات روی بازه‌ها روش بسیار مناسبی محسوب می‌شود. برای اعداد فازی ذوزنقه به‌صورت (a_1,a_2,a_3,a_4)، کران بالا و کران پایین به ترتیب از معادله ۳ و ۴ در هر سطح α–cuts به دست می‌آید (۲۰).

$$UpperBound=a_1+(a_2-a_1)\alpha \qquad (۳)$$

$$LowerBound=a_4-(a_4-a_3)\alpha \qquad (۴)$$

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 $\alpha_A * \alpha_B$ به‌صورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود (۲۰).

$$\alpha_{(A*B)}=\alpha_A*\alpha_B=[min(a_1a_2,\ a_1d_2,\ d_1a_2,\ d_1d_2),\ max\ (a_1a_2,\ a_1d_2,\ d_1a_2,\ d_1d_2)] \qquad (۵)$$

فازی زدایی

برای به دست آوردن جوابی که بتوان بر مبنای آن عمل کرد، اعداد فازی به‌دست‌آمده باید به یک عدد قطعی[5] تبدیل شود. در غیرفازی سازی، یک نگاشت از مجموعه فازی به مجموعه قطعی صورت می‌گیرد. روش‌های مختلف غیرفازی سازی وجود دارد که به‌عنوان‌مثال می‌توان به روش مرکز سطح[6]، میانه مقدار حداکثر[7]، بزرگ‌ترین مقدار حداکثر[8] و کوچک‌ترین مقدار حداکثر[9] اشاره نمود.

آنالیز فازی درخت خطا (FFTA[10])

روش آنالیز درخت خطا (FTA) ابتدا در سال ۱۹۶۰ در آزمایش گاه‌های تلفن بل به وجود آمد. این روش سپس توسط شرکت بویینگ[11] برای ارزیابی ریسک ایمنی اصلاح گردید. از سال ۱۹۶۵ استفاده از روش FTA به صنایع مختلفی نظیر هوافضا، هسته‌ای، شیمیایی و غیره گسترش یافت و از آن به‌طور وسیع برای تجزیه‌وتحلیل قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها استفاده شد. این روش برای آنالیز حوادث، شناسایی ارتباط بین علت حوادث و منطق آن‌ها استفاده می‌شود. رسم و استفاده از درخت خطا به علت آن که آنالیزگر را مجبور به تفکر صحیح در خصوص چگونگی ایجاد مشکل در سیستم می کند، بسیار سودمند است (۲۱).

الگوریتم فازی درخت خطا (FFTA) برای محاسبه احتمال وقوع فازی از رویدادهای پایه ریسک و شناسایی استراتژی کاهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنالیز درخت خطا برای شناسایی

5- Crisp Number
6- Center of Area (COA)
7- Middle of Maximum (MOM)
8- Largest of Maximum (LOM)
9- Smallest of Maximum (SOM)
10- Fuzzy Fault Tree Analysis
11- Boeing

علل پایه‌ای ریسک و ارزیابی احتمال رویداد اصلی[12] استفاده می‌شود. احتمال رویداد اصلی می‌تواند به‌وسیله احتمال رویداد پایه و از طریق درخت، به دست بیاید. هرکدام از رویدادهای پایه با یک دروازه منطقی به رویداد اصلی متصل هستند. در این روش دروازه‌های میانی برای احتمال رویداد («و» با نماد ∩ و «یا» با نماد ∪) به کار برده می‌شود. احتمال رویداد فازی درخت خطا بر اساس مفهوم α-cuts برای دروازه «و» از معادله ۶ و برای دروازه «یا» از رابطه ۷ به دست می‌آید (۲۲).

$$\mathrm{FPro}_T(\text{top event})^{\alpha} = \{\prod_{i=1}^{n}[(a_i + (b_i - a_i)\alpha)], \prod_{i=1}^{n}[(d_i - (d_i - c_i)\alpha)]\} \quad (۶)$$

$$\mathrm{FPro}_T(\text{top event})^{\alpha} = \{1 - \prod_{i=1}^{n}[1 - (a_i + (b_i - a_i)\alpha)], 1 - \prod_{i=1}^{n}[1 - (d_i - (d_i - c_i)\alpha)]\} \quad (۷)$$

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابزاری قوی برای رتبه بندی معیارها است که در زمینه‌های مختلف ازجمله مدیریت ساخت‌وساز به‌صورت گسترده‌ای استفاده شده است و هر فردی به‌تناسب نیاز خود از این روش استفاده می کند (۲۳و۲۴). در این تحقیق جهت تعیین وزن هرکدام از معیارها از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است.

یکی از مزیت‌های اصلی روش AHP، ساختار ساده آن است. هم چنین این روش مانند ریاضیات، پیچیده نبوده و درک آن آسان بوده و به‌صورت مؤثر می‌تواند برای هر دو دسته داده‌های کمی و کیفی مورد استفاده قرار گیرد (۲۵).

در روش AHP سنتی، مقایسه زوجی میان معیارها، به اعداد کریسپ محدود شده بود. ازآن جاکه نسبت دادن مقادیر معین هنگام مقایسه معیارها دشوار است، این روش مورد انتقاد قرار گرفت. بنابراین به‌منظور مدل‌سازی این نوع عدم قطعیت، منطق فازی با این روش تلفیق گردید. در مقایسه با روش‌های ارزیابی ایمنی موجود، روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) روشی سیستماتیک و کارآمدتر از سایر روش‌هاست (۲۶). روش FAHP یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر پایه تئوری مجموعه‌های فازی استوار می باشد. این روش، به‌صورت گسترده‌ای در مطالعات پیشین استفاده شده و به یکی از بهترین روش‌ها در میان روش‌های مختلف ارزیابی تبدیل گردیده است (۲۷-۳۰). چانگ در سال ۱۹۹۶ رویکرد جدیدی برای روش FAHP با استفاده از اعداد فازی مثلثی برای مقایسه زوجی، معرفی کرد (۳۱). هانگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ از روش FAHP و ماتریس قضاوت کریسپ برای ارزیابی قضاوت‌های ذهنی کارشناسان توسط درک و احساس، استفاده کردند (۳۲). در سال ۲۰۱۲ ژنگ و همکاران ایمنی کار در محیط‌های گرم و مرطوب را با این روش ارزیابی نمودند(۳۳). هم چنین امیری و مهاجری در سال ۲۰۱۷ به کمک روش FAHP به رتبه‌بندی مشاغل در کارگاه‌های بلندمرتبه سازی از نقطه نظر فرهنگ ایمنی پرداختند (۳۴).

مراحل روش FAHP به شرح زیر است:

۱- ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری: وزن هر عامل با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی تعیین می‌شود. در روش AHP سنتی از ۹ مقیاس جهت نشان دادن اهمیت معیارهای موردمقایسه، استفاده

12- Top Event

می‌شد (جدول ۱). کارشناسان، بر اساس مقیاس‌های زبانی، مقایسه زوجی معیارها را انجام داده و سپس نتایج به اعداد فازی تبدیل خواهند شد. توابع عضویت مثلثی فازی نیز برای اندازه‌گیری وزن نسبی در بخش دیگری از جدول (۱) ارایه شده‌اند (۳۵).

۲- تعیین وزن شاخص و میزان ناسازگاری: بر اساس نتایج مقایسه زوجی و تبدیل آن‌ها به اعداد فازی مثلثی، نحوه محاسبه وزن محلی معیارها به شرح زیر می‌باشد (۳۳):

- ماتریس X بر اساس مقایسه زوجی ایجاد می‌شود.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ . & . & & . \\ . & . & \dots & . \\ . & . & & . \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

که در آن

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (۹)$$

- بررسی سازگاری

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است. بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس توسط رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$Xw = \lambda_{\max} w \quad (۱۰)$$

که w بردار اصلی از ماتریس است.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (۱۱)$$

سازگاری ماتریس مقایسه را می‌توان توسط رابطه (۱۲) به دست آورد (۳۳).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۱۲)$$

که در آن CI شاخص سازگاری و RI شاخص تصادفی است که مقادیر آن از جدول (۲) به دست می‌آید. اگر شاخص CR کم تر از ۰/۱۰ باشد، ماتریس مقایسه زوجی قابل‌قبول فرض می‌شود.

- محاسبه وزن

وزن ماتریس X را به شرح زیر می‌توان به دست آورد.

$$\alpha_j = \left[\prod_{i=1}^{n} l_{ij}\right]^{1/n} \quad (۱۳)$$

$$\beta_j = \left[\prod_{i=1}^{n} m_{ij}\right]^{1/n} \quad (۱۴)$$

به همین ترتیب γ به دست می‌آید و هم چنین

$$\alpha = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \quad (۱۵)$$

به همین ترتیب β و γ را به دست آورده و درنهایت وزن توسط رابطه (۱۶) به دست می‌آید.

$$w_i = (\alpha_j \gamma^{-1}, \beta_j \beta^{-1}, \gamma_j \alpha^{-1}) \quad i \in \{1,2,...,n\} \quad (۱۶)$$

که w_i وزن فازی معیار iام است.

مرحله ۴: برای غیر فازی سازی $w_i = (lw_i, mw_i, uw_i)$ که lw_i کران پایین، mw_i کران متوسط و uw_i کران بالا از وزن فازی معیار i ام است، از رابطه (۱۷) استفاده می شود (۳۱).

$$w_i = [(uw_i - lw_i) + (mw_i - lw_i)]/3 + lw_i \quad (۱۷)$$

روش کار

در این تحقیق ارزیابی و رتبه بندی حوادث عمده در کارگاه‌های راه‌سازی در قالب ۷ مرحله زیر انجام شد. شکل (۱) فلوچارت مراحل انجام تحقیق را ارایه می‌دهد.

در مرحله اول، گروه ارزیاب ریسک از میان خبرگان صنعت راه‌سازی کشور تشکیل شد.

در مرحله دوم، پس از مصاحبه و برگزاری جلسات طوفان ذهنی توسط گروه ارزیاب، حوادث و بیماری‌های تیپ، شناسایی شده و در قالب یک دسته‌بندی کلی ارایه شدند.

در مرحله سوم، با رسم ساختار درخت خطا برای هر نوع حادثه اصلی، رویدادهای پایه منجر به وقوع هر نوع حادثه تعیین گردید. برای این منظور، ابتدا به کمک مطالعه ادبیات موضوع، حوادث پایه تا حد امکان شناسایی شده و سپس مطابق نظرات خبرگان، اصلاح و گسترش یافت.

در مرحله چهارم، جهت ارزیابی کمی ریسک وقوع حوادث، پرسش نامه هایی بر مبنای درخت های خطای ترسیم شده، تهیه و توسط گروهی از متخصصین و صاحب نظران تکمیل گردید.

در مرحله پنجم، پس از تلفیق نظرات خبرگان و با استفاده از آنالیز درخت خطای فازی، احتمال وقوع حوادث اصلی محاسبه شد.

در مرحله ششم نیز با کمک تحلیل سلسله مراتبی فازی، شدت اثر هر ریسک با تجمیع شدت اثر وقوع هر حادثه بر سه معیار زمان، هزینه و کیفیت مطابق رابطه (۱۸) به دست آمد.

$$C = (W_c \times C_c) + (W_t \times C_t) + (W_q \times C_q) \quad (۱۸)$$

که در آن، W_c وزن معیار هزینه و C_c شدت اثر هزینه بر ریسک موردنظر، W_t وزن معیار زمان و C_t شدت اثر زمان بر ریسک موردنظر، W_q وزن معیار کیفیت و C_q شدت اثر کیفیت بر ریسک موردنظر می‌باشد.

در مرحله آخر، با تلفیق نتایج به‌دست‌آمده (احتمال وقوع و شدت اثر) برای هر حادثه اصلی بر اساس رابطه (۱)، ریسک فاکتور وقوع حوادث اصلی به دست آمده و پس از غیرفازی سازی نتایج، رتبه بندی شدند.

یافته ها

شناسایی ریسک

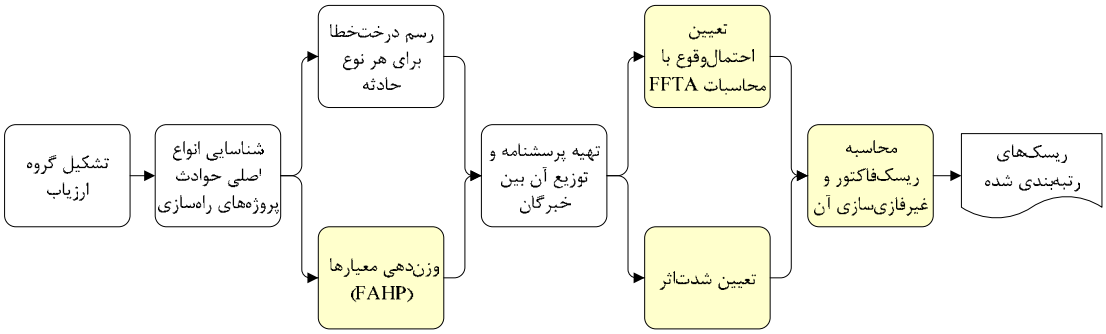
پس از بررسی آمار حوادث در کارگاه‌های راه‌سازی، پیشینه تحقیق و مصاحبه با کارشناسان و مدیران ایمنی پروژه‌های راه‌سازی، درنهایت ۱۱ ریسک اصلی ایمنی و بهداشتی در پروژه‌های

جدول (۱)- عبارت‌های زبانی، اعداد کریسپ و اعداد فازی مثلثی متناظر با آن برای انجام مقایسات زوجی

عبارت‌های زبانی	اعداد کریسپ	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	۱	(۰،۱،۱)
کم	۳	(۱،۳،۵)
متوسط	۵	(۳،۵،۷)
زیاد	۷	(۵،۷،۹)
خیلی زیاد	۹	(۹،۹،۱۰)

جدول(۲)- شاخص سازگاری تصادفی

اندازه (n)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵



شکل(۱)- فلوچارت مراحل انجام تحقیق

راه‌سازی شناسایی شدند که شامل حوادث ترافیکی، تصادف با ماشین‌آلات، سقوط ماشین‌آلات، سقوط سنگ، ریزش ترانشه‌ها، حوادث مربوط به انفجارات، حوادث ناشی از ماشین‌آلات فرسوده، حوادث مربوط به سنگ‌شکن و کارخانه آسفالت، سوختگی با انواع روغن، قیر یا آسفالت، گرمازدگی و عدم رعایت بهداشت و بیماری‌ها و ناراحتی‌های تنفسی می‌باشند. فرایند ارزیابی خطرات روی این ۱۱ ریسک انجام می‌شود.

پرسش نامه

در این تحقیق به دلیل کمبود آمار و اطلاعات مستند از وضعیت حوادث کارگاه‌های راه‌سازی و وضعیت ایمنی و بهداشت در این کارگاه‌ها، به نظر می‌رسد بهترین روش برای کسب چنین اطلاعاتی استفاده از پرسش نامه باشد. بنابراین پس از تشکیل گروه ارزیابی ریسک، پرسش نامه‌ای بر مبنای خطرات اصلی شناسایی شده، تهیه شده و بین عوامل ساخت کارگاه‌های راه‌سازی توزیع شد.

در این مطالعه، از روش روایی محتوا برای اندازه‌گیری روایی پرسش نامه استفاده گردید. به دلیل آن که روایی محتوا اعتبار بیش تری نسبت به بقیه روش‌های ارزیابی روایی دارد، از مدل لاوشی (۱۹۷۵) برای تعیین روایی محتوا استفاده شد. سپس پرسش نامه در بین اعضای گروه ارزیابی ریسک قرار گرفته و از گروه خواسته شده نظر خود را درباره هر مورد لحاظ نمایند. هم چنین برای اندازه‌گیری پایایی پرسش نامه از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. دامنه نرمال این ضریب بین ۰ تا ۱ می‌باشد. آلفای نزدیک به یک سازگاری بیش تری از موضوع را در نظر گرفته و مقدار قابل‌قبول ضریب آلفا بزرگ‌تر از ۰/۷ می‌باشد (۳۶). در این تحقیق، تعداد ۲۰ پرسش نامه توزیع و جمع‌آوری شد. این پرسش نامه‌ها جهت تکمیل به افراد خبره در زمینه پروژه‌های راه‌سازی ارایه گردید که هر یک بین ۱۰ تا ۳۵ سال سابقه اجرایی داشتندو تعداد ۱۷ پرسش نامه مورد قبول واقع شد. از محاسبات ضریب آلفای کرونباخ، مقدار ۰/۷۴ به دست آمد که نشان دهنده پایایی خوب سؤالات پرسش نامه است. لازم به ذکر است در محاسبات برای وزن دهی پاسخ‌های افراد، به نسبت سابقه کار هر کارشناس وزن دهی به‌صورت میانگین‌گیری هندسی انجام گرفت که به کارشناس دارای سابقه کار بیش تر، وزن بیش تری تعلق می‌گیرد.

آنالیز درخت خطا (FTA)

با توجه به قابلیت درخت خطا در شناسایی علل

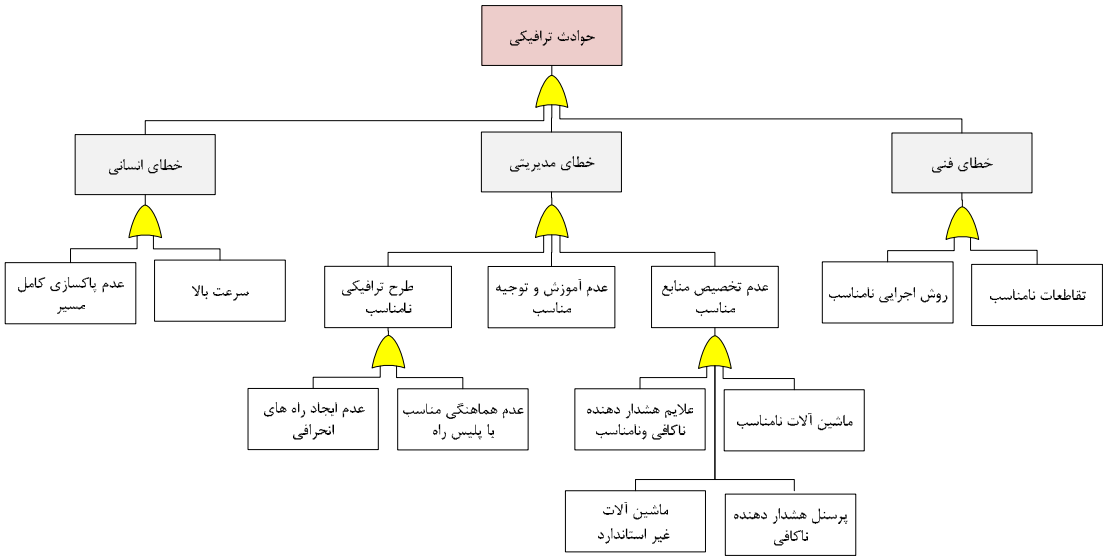
خطرات، درخت خطا برای هر خطر ترسیم شد. برای ایجاد درخت خطا چندین مصاحبه با کارشناسان ارشد پروژه‌ها و مهندسین ناظر انجام گرفته و رویدادهای پایه و میانی و ارتباط بین آن‌ها با استفاده از دروازه «و» و « یا» انجام شد. آنالیز درخت خطا در این تحقیق جهت محاسبه پارامتر احتمال وقوع استفاده می‌شود.

محاسبه احتمال وقوع

درخت‌های خطا مربوط به ۱۱ خطر اصلی ترسیم شد. برای نمونه درخت خطای ریسک حوادث ترافیکی در شکل (۲) نشان داده شده است.

با استفاده از افراد خبره در بحث راه‌سازی، مقادیر احتمال وقوع رویدادهای پایه به دست آمده و برای تفسیر اطلاعات جمع‌آوری‌شده که در قالب عبارات احتمال وقوع خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بودند لازم است تا این عبارات به اعداد فازی تبدیل گردند. این کار با نسبت دادن اعداد فازی ذوزنقه‌ای به واژه‌های زبانی، انجام گرفت. احتمال وقوع فازی از رویدادهای پایه با استفاده از اصلاحات زبانی در جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آنالیز درخت خطا، احتمال فازی رویداد اصلی بر اساس مقاطع (α-cuts) محاسبه شدند.

برای انجام محاسبات، برنامه کامپیوتری با



شکل (۲) - حوادث ترافیکی

جدول (۲)- تعریف زبانی از احتمال وقوع (P)

احتمال وقوع (P)	عبارت توصیفی	اعداد فازی
رویداد مطمئناً اتفاق خواهد افتاد.	خیلی زیاد (VH)	(۰/۰،۴/۱،۱،۵)
رویداد مورد انتظار است که اتفاق بیفتد.	زیاد (H)	(۰/۰،۲/۰،۳/۰،۴/۵)
رویداد ممکن است اتفاق بیفتد.	متوسط (M)	(۰/۰،۰۵/۰،۱/۰،۲/۳)
رویداد بعید است اتفاق بیفتد.	کم (L)	(۰/۰،۰/۰،۰۱/۰،۰۵/۱)
رویداد خیلی بعید است اتفاق بیفتد.	خیلی کم (VL)	(۰/۰،۰/۰،۰/۰،۰۱/۰۱)

استفاده از نرم‌افزار متلب تهیه شد. خروجی حاصل از اجرای این برنامه ،نمودارها و داده های متفاوتی می باشد که ارزیابی ریسک‌های ایمنی بر اساس آن‌ها انجام گرفته است. برای نمونه احتمال وقوع خروجی برنامه برای خطر حوادث ترافیکی در شکل (۳) دیده می‌شود.

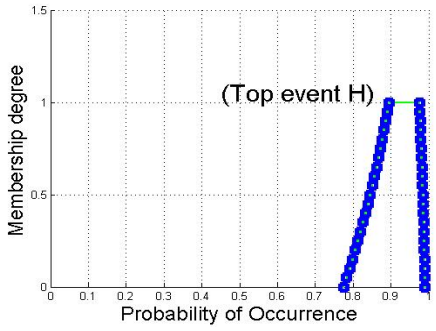
محاسبه شدت اثر ریسک

جهت محاسبه وزن شدت اثر ریسک‌ها از روش FAHP استفاده شد. شدت اثر ریسک‌ها بر روی سه معیار هزینه، زمان و کیفیت در نظر گرفته شده است. با استفاده از دانش خبرگان مقایسه زوجی معیارها انجام و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، معیارهای هزینه، زمان و کیفیت وزن دهی شدند که نتایج حاصل از این فرآیند اعداد ۰/۴۶۹، ۰/۲۷۱، ۰/۲۶ و با میزان ناسازگاری ۰/۰۰۱ به دست آمد که با توجه به کوچک‌تر بودن میزان ناسازگاری از ۰/۱۰، اعداد به دست آمده برای معیارها صحیح بوده و پاسخ‌های افراد از سازگاری کافی برخوردار می‌باشد. شکل‌های ۴ تا ۶ اعداد فازی متناظر هر یک از اوزان به دست آمده برای سه معیار موردنظر را نشان می‌دهند.

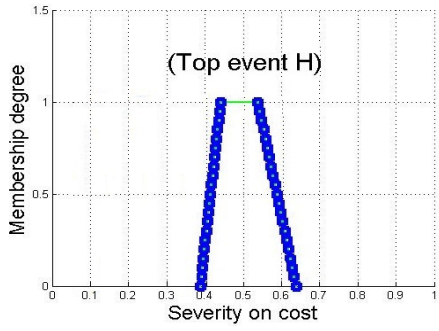
پس از به دست آوردن شدت اثر هر حادثه بر معیارها، شدت اثر کلی هر حادثه بر پروژه طبق رابطه (۱۸) محاسبه شد که به‌عنوان نمونه عدد فازی نمایش داده شده در شکل (۷) بیان گر شدت اثر کلی ریسک حوادث ترافیکی می‌باشد.

محاسبه و رتبه‌بندی فاکتور ریسک

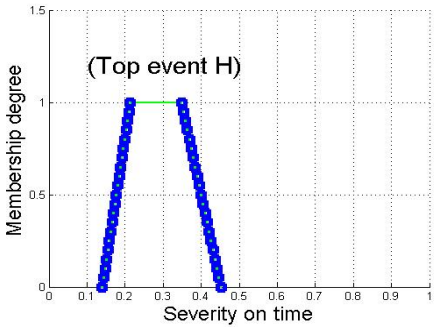
محاسبه فاکتور ریسک با استفاده از رابطه (۱)، با توجه به نتایج احتمال وقوع و شدت اثر هر ریسک انجام شد.



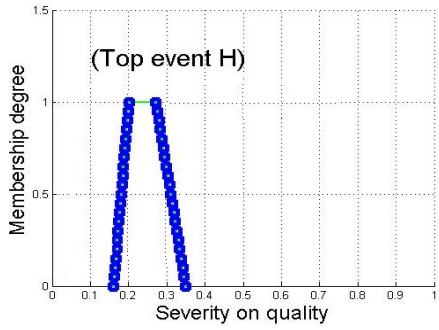
شکل (۳)- احتمال وقوع حوادث ترافیکی



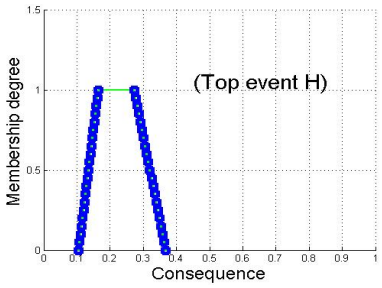
شکل (۴)- شدت اثر حوادث ترافیکی بر معیار هزینه



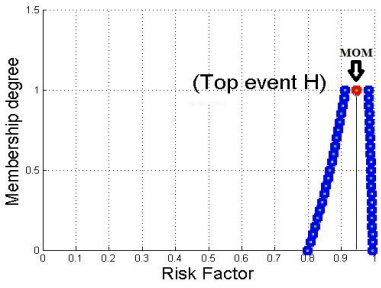
شکل (۵)- شدت اثر حوادث ترافیکی بر معیار زمان



شکل (۶)- شدت اثر حوادث ترافیکی بر معیار کیفیت



شکل (۷)- شدت اثر کلی ریسک حوادث ترافیکی



شکل (۸)-اعداد فازی و قطعی فاکتور ریسک حوادث ترافیکی

جدول (۴)- ریسک‌های رتبه ندی شده مرتبط با ایمنی و بهداشت شغلی در پروژه های راه‌سازی

عنوان حادثه صلی	ریسک فاکتور	رتبه	عنوان حادثه اصلی	ریسک فاکتور	رتبه
حوادث مربوط به سنگ شکن و کارخانه آسفالت	۰/۹۸۳۰	۱	ریزش ترانشه ها	۰/۸۱۲۹	۷
حوادث ترافیکی	۰/۹۴۷۰	۲	سقوط سنگ	۰/۷۷۸۳	۸
گرمازدگی و عدم رعایت بهداشت	۰/۹۱۳۶	۳	حوادث ناشی از ماشین‌آلات فرسوده	۰/۷۷۰۰	۹
تصادف افراد با ماشین آلات	۰/۸۴۸۲	۴	سوختگی با انواع روغن، قیر یا آسفالت	۰/۷۶۷۴	۱۰
سقوط ماشین‌آلات	۰/۸۴۸۲	۵	بیماری‌ها و ناراحتی های تنفسی	۰/۶۷۸۴	۱۱
حوادث مربوط به انفجارات	۰/۸۳۵۷	۶			

همان‌طور که مشاهده گردید، احتمال وقوع و شدت اثر هر حادثه به‌صورت اعداد فازی به دست آمد. لذا با استفاده از فرمول های مربوط به اعداد فازی، فاکتور ریسک مربوط به هرکدام از ۱۱ حادثه عمده محاسبه شده است. به‌عنوان نمونه عدد فازی خروجی مربوط به فاکتور ریسک حوادث ترافیکی در شکل (۸) نشان داده شده است.

برای به دست آوردن عدد قطعی متناظر با فاکتور ریسک هر خطر و به‌منظور رتبه‌بندی ریسک‌ها لازم است تا پس از به دست آمدن اعداد فازی آن‌ها را غیر فازی کنیم. بدین منظور در این تحقیق از روش غیر فازی سازی میانه مقدار حداکثر (MOM) استفاده شد. در شکل (۸) هم چنین مقدار میانه حداکثر برای ریسک حوادث ترافیکی نمایش داده شده است.

پس از محاسبه فاکتور ریسک مربوط به هرکدام از ۱۱ حادثه اصلی، رتبه بندی نهایی آن‌ها در جدول (۴) ارایه شده است.

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، موارد زیر جهت بررسی صحت روش پژوهش حاضر، مطرح می‌شوند:

- با انجام مقایسه های زوجی به‌وسیله فرآیند سلسله مراتبی، در پروژه های راه‌سازی اعداد ۰/۴۶۹، ۰/۲۷۱ و ۰/۲۶۲، به ترتیب به‌عنوان اوزان معیارهای هزینه، زمان و کیفیت به دست آمد. این ضرایب بیان گر اهمیت بیش تر عامل هزینه از دیدگاه کارشناسان نسبت به سایر معیارها می باشد و از طرفی عوامل زمان و کیفیت تقریباً

در یک رده قرار می گیرند. این یافته با تحقیق انجام‌شده توسط اردشیر و همکاران در سال ۲۰۱۴ که در آن ضریب به دست آمده برای معیار هزینه از سایر ضرایب معیارها بزرگ‌تر بود، هم خوانی دارد (۳۷). این موضوع هم چنین در تحقیق احمدی و همکاران نیز به نحو مشابه حاصل شده است (۱۳).

- در این مطالعه ریسک حوادث ترافیکی به‌عنوان دومین ریسک مهم مربوط به ایمنی شغلی در پروژه‌های راه‌سازی شناخته شد. در همین زمینه، مونگن و گورکانلی در سال ۲۰۰۵ نیز حوادث ترافیکی را به‌عنوان دومین عامل در ساخت بزرگراه‌ها شناسایی نمودند (۳۸).

- هم چنین برایدن و اندرو نیز در تحقیق دیگری، از حوادث ترافیکی به‌عنوان یک ریسک جدی در ساخت بزرگراه‌ها نام بردند. آنان هم چنین حوادث برخورد با ماشین‌آلات و تجهیزات بزرگ را در دسته ریسک‌های مهم این صنعت شناسایی نمودند که این یافته نیز با نتایج مطالعه حاضر هم سویی قابل قبولی دارد (۳۹).

در این تحقیق، پس از بررسی و مطالعه پیشینه ادبی در زمینه ایمنی پروژه های ساخت و چندین مرحله برگزاری جلسات طوفان ذهنی و انجام یک سری مصاحبه با افراد خبره در زمینه پروژه های راه‌سازی و استفاده از تجربیات آنان، حوادث عمده در پروژه های راه‌سازی شناسایی و دسته‌بندی گردید. در مرحله بعد با انجام مطالعات میدانی و کتاب خانه‌ای، درختان خطای مربوط به حوادث رسم گردیده و طی چند مرحله بازنویسی، یک ساختار تأییدشده بر مبنای نظرات افراد خبره در جایگاه های کارفرما، مشاور و پیمان کار و اساتید دانش گاه به دست آمد. با تکمیل پرسش نامه ها و به دست آمدن داده‌های موردنیاز، جهت کمی سازی با استفاده از آنالیز فازی درخت خطا و تحلیل سلسله مراتبی فازی، مهم‌ترین حوادث پروژه‌های راه‌سازی شناسایی شدند.

با استفاده از نتایج حاصل از تحقیق حاضر، دست‌اندرکاران طراحی و اجرای پروژه‌های راه‌سازی می توانند با اعمال روش‌های مدیریت ایمنی و تمرکز بر کاهش احتمال وقوع حوادث پایه، ریسک وقوع حوادث عمده را تعدیل نمایند.

کاربرد چارچوب ارایه شده در این مقاله جهت ارزیابی ریسک در سایر حوزه‌های ساخت‌وساز می‌تواند پیشنهاد مناسبی جهت تحقیقات آینده تلقی گردد.

REFERENCES

1. Amiri M, Ardeshir A, Zarandi MH. Fuzzy Probabilistic Expert System for Occupational Hazard As-sessment in Construction. Safety Science, 2017;93:16-28.
2. Biggs SE, Banks TD, Davey JD, Freeman JE. Safety leaders' perceptions of safety culture in a large Australasian construction organisation. Safety science. 2013;52:3-12.
3. MALEKIANIFARD M, NEKOOEI ESFAHANI A, VEYSANLU F. Quantitative model of safety working behaviors management staff on construction projects based on the theory of planned be-havior : The case of study twin towers telecommunication of company of Tehran. ijoh. 10(2).
4. Rosa LV, Haddad AN, de Carvalho PVR. Assessing risk in sustainable construction using the Func-tional Resonance Analysis Method (FRAM). Cognition, Technology & Work. 2015;17(4),559-573.
5. Thomas Ng S, Pong Cheng K, Martin Skitmore R. A framework for evaluating the safety perfor-mance of construction contractors. Building and Environment. 2005;40 (10):1347–1355.
6. Pegula SM. Fatal occupational injuries at road construction sites. Monthly Lab. Rev. 2004;127:43.
7. Pegula SM. Analysis of fatal occupational injuries at road construction sites, 2003-2010. An. Month-ly Lab. Rev. 2013;136:1.
8. Ardeshir A, Maknoon R, Rekab Islami Zadeh M, Jahantab Z. Health Risk Management which are effective on Human Health in High-rise Building construction projects with Fuzzy Approach. JHSW. 2013; 3 (1) :69-80.
9. Golmohammadi R, Eshaghi M, Reyahi Khoram M. Fuzzy Logic Method for Assessment of Noise Exposure Risk in an Industrial Workplace. ijoh. 3(2):49-5.
10. Carr V, Tah JHM. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system. Advances in Engineering Software. 2001;32 (10):847–857.
11. Zeng J, An M, Smith NJ. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. International J of Project Management. 2007;25(6):589–600.
12. Liu HT, Tsai YL. A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. Safety science. 2012;50(4):1067-78.
13. Ahmadi M, Behzadian K, Ardeshir A, Kapelan Z. Comprehensive risk management using fuzzy FMEA and MCDA techniques in highway construction projects. J of Civil Engineering and Man-agement. 2015 (in press).
14. Chaher Z, Soomro AR. Fuzzy risk analysis for construction projects. World Applied Sciences Journal. 2016;34(8):1010-1020.
15. Ardeshir A, Malekitabar H. Managing risk in construction projects. Tehran: Publication of JIHAD AMIRKABIR University; 2014. [Persian]
16. Nieto-Morote A, Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment International J of Project Management. 2011;29(2):220–231
17. Zadeh L. Fuzzy sets. Information and Control. 1965;8:38-53.
18. Xu Z, Khoshgoftar TM, Allen EB. Application of fuzzy expert system in assessing operational risk of software. Information and Software Technology. 2003;45:373-388.
19. Sansakorn P, An M. Development of risk assessment and occupational safety management model for building construction projects. Development. 2015;1:28627.
20. Trillas E, Eciolaza L. Fuzzy Arithmetic. Springer International Publishing; 2015.
21. Hyun KC, Min S, Choi H, Park J, Lee IM. Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology. 2015;49:121-9.

22. Ardeshir A, Mohajeri M, Amiri M. Evaluation of safety risks in construction using Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FFMEA). Scientia Iranica. 2016 (in press).
23. Pan NF. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. Automation in Construction. 2008;17(8):958-965.
24. Moutinho L. The use of the analytic hierarchy process (AHP) in goal setting and goal assessment: The case of professional services companies. J of Professional Services Marketing. 1993;8(2):97-114.
25. Kahraman C, Cebeci U, Ulukan Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. Logistics infor-mation management. 2003;16(6):382-394.
26. Celik M. Enhancement of occupational health and safety requirements in chemical tanker operations: The case of cargo explosion. Safety science. 2010;48(2):195-203.
27. Weck M, Klocke F, Schell H, Rüenauver E. Evaluating alternative production cycles using the ex-tended fuzzy AHP method. European J of Operational Research. 1997;100(2):351-366.
28. Dağdeviren M, Yüksel İ. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. Information Sciences. 2008;178(6):1717-1733.
29. Tam CM, Tong TK, Chiu GC, Fung IW. Non-structural fuzzy decision support system for evaluation of construction safety management system. International J of Project Management. 2002;20(4):303-313.
30. Teo EA, Ling FY. Developing a model to measure the effectiveness of safety management systems of construction sites. Building and Environment. 2006;41(11):1584-1592.
31. Chang DY. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European J of operational research. 1996;95(3):649-655.
32. Huang CC, Chu PY, Chiang YH. A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. Omega. 2008;36(6):1038-1052.
33. Zheng G, Zhu N, Tian Z, Chen Y, Sun B. Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. Safety Science. 2012;50(2):228-239.
34. Amiri M, Mohajeri M. Ranking occupations in high-rise construction workshops from the view point of safety culture using FTOPSIS-FAHP model. JHSW. 2017; 7 (2) :131-142.
35. Taylan O, Bafail AO, Abdulaal RM, Kabli MR. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. Applied Soft Computing. 2014;17:105-116.
36. Ugwu OO, Haupt TC. Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sus-tainability - a South African construction industry perspective. Building and Environment. 2007;42:665-680.
37. Ardeshir A, Amiri M, Ghasemi Y, Errington M. Risk assessment of construction projects for water conveyance tunnels using fuzzy fault tree analysis. International J of Civil Engineering. 2014;12(4 A):396-412.
38. Müngen U, Gürcanli GE. Fatal traffic accidents in the Turkish construction industry. Safety science. 2005;43(5):299-322.
39. Bryden J, Andrew L. Serious and fatal injuries to workers on highway construction projects. Transportation Research Record: J of the Transportation Research Board. 1999;1657:42-47.

Journal of Health and Safety at Work Vol. 8; No. 4; Winter 2019

Hybrid approach for occupational hazard assessment in road construction projects

Mehran Amiri[1,*], Abdollah Ardeshir[2], Ali Abbasi[3]

[1] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran
[2] Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Head of Environmental Research Centre, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
[3] M.Sc., Construction Engineering and Management, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: Safety at workplaces is an important issue, and lack of effective and efficient safety management methods based on scientific studies could cost the construction industry. An effective accident investigation and root causes analysis could prevent the occurrence of incidents at minimum cost and time.

Material and Method: First, major accidents in road construction projects were identified by interview and literature reviewing techniques. Then, fault tree was drawn for each main risks. In the next step, in order to calculate occurrence probability and severity of each accident type, a questionnaire was designed and distributed among the participants. Fuzzy logic was employed in calculations, due to the existence of uncertainty in linguistic variables. Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) was used for calculating the occurrence probability, and importance of each criterion was determined using Fuzzy Analytical Hierarchical Process (FAHP) to calculate the severity of each accident. Finally, risk factors for each accident type was calculated and the risks were ranked accordingly.

Result: Accidents related to crusher and asphalt plant, traffic accidents, heat exhaustion and lack of hygiene and hit by machinery were identified as the most important risks among the eleven investigated accident types.

Conclusion: The findings in this research and also implementing effective safety management techniques, could be helpful on reduction of the probability of accidents root causes and to mitigate related risks.

Key words: *Construction Safety, Road Construction Projects, Occupational Hazard Management, Fuzzy Fault Tree Analysis, Fuzzy Analytical Hierarchy Process*

* Corresponding Author Email: *mehran.amiri@pnu.ac.ir*