ارایه مدلی جهت ارزیابی ریسک ایمنی در صنعت ساختمان با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری

سیدمرتضی ابوترابی[۱] - حسین مهرنو[۲] - منوچهر امیدواری[۳]

mehrno20@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۰۳ *تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۲*

چکیده

مقدمه: گزارش آماری سازمان تامین اجتماعی حاکی از آن است که در بین صنایع مختلف، صنعت ساختمان دارای بیشترین حوادث ناشی از کار می‌باشد، به طوری که علاوه بر فراوانی از شدت بالایی نیز برخوردار است. از طرفی در این صنعت نیروی انسانی زیادی شاغل می‌باشند که صیانت از آنها توجه ویژه‌ای را می‌طلبد. لذا ارزیابی ریسک ایمنی در صنعت فوق گام موثری در این راستا می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری، روشی برای رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی در شرایط عدم قطعیت و کم بودن تعداد نمونه‌ها ارایه گردیده است.

روش کار: در این تحقیق ابتدا عوامل موثر در بروز مخاطرات صنعت ساختمان شناسایی، سپس معیارهایی مناسب جهت رتبه‌بندی ریسک‌های موجود تعیین و مسأله در قالب یک تصمیم‌گیری چند معیاره تعریف شده است. برای وزن دهی معیارها و ارزیابی گزینه‌ها از نظر هر یک از معیارها از اعداد خاکستری استفاده شده است. آنگاه مسأله با به کارگیری رابطه درجه امکان خاکستری حل شده است.

یافته ها: نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری در وضعیت کم بودن تعداد نمونه‌ها، نسبت به سایر روش‌های MCDM (تصمیم‌گیری چند معیاره) ابزاری مفید و موثر در رتبه‌بندی مخاطرات می‌باشد.

نتیجه گیری: روش پیشنهادی به دلیل محاسبات ساده و عدم نیاز به تعریف تابع عضویت روشی است که در شرایط غیر قطعی و کم بودن تعداد نمونه‌ها نسبت به روش فازی و آمار و احتمال ارجحیت دارد.

کلمات کلیدی: *ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری چند معیاره، درجه امکان خاکستری، اعداد خاکستری بازه‌ای، صنعت ساختمان*

۱- کارشناس مهندسی برق، الکترونیک، گروه مهندسی برق، الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

۲- مربی گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

مقدمه

نیروی انسانی به عنوان مهم‌ترین عامل در تولید و خدمات همواره توسط عوامل متعددی تهدید می شود که یکی از مهم‌ترین آنها حوادث ناشی از کار می‌باشد (Arji, 1392). در واقع حوادث ناشی از کار علاوه بر ایجاد بار مالی و اجتماعی بر فرد حادثه دیده باعث تحمیل هزینه‌های متعدد به جامعه میگردد. از طرفی صنعت ساختمان به عنوان یکی از بخش‌های صنعت دارای بالاترین میزان حوادث بوده و در عین حال شدیدترین حوادث را به خود اختصاص داده است، به طوری که درصد قابل توجهی از این حوادث منجر به فوت می‌شوند. طبق گزارش آماری سازمان تامین اجتماعی در سال ۱۳۹۱ بیشترین آمار حوادث ناشی از کار بیمه شدگانی که در حوزه فعالیت اقتصادی دچار حادثه شغلی شده‌اند به امور مربوط به کارهای ساختمانی با رقمی معادل ۵۴۷۹ (۲۶/۶۹%) مورد حادثه تعلق دارد. از این رو ارزیابی ریسک ایمنی و رتبه‌بندی مخاطرات شغلی در این صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این تحقیق شناسایی و رتبه بندی عوامل موثر در بروز حوادث شغلی در صنعت ساختمان می‌باشد. از این رو ابتدا عوامل موثر در بروز مخاطرات صنعت ساختمان شناسایی، سپس معیارهایی مناسب جهت رتبه‌بندی ریسک‌های موجود تعیین و مساله به کمک تئوری سیستم‌های خاکستری حل شده است.

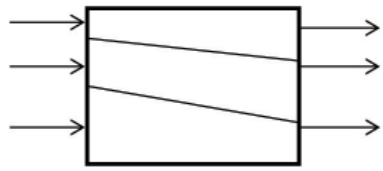
ادبیات پژوهش

تئوری سیستم های خاکستری توسط پروفسور جولانگ دنگ یک دانشمند مشهور چینی در سال ۱۹۸۲ بنا گذاشته شد.(Nabwey *et al.,* 2013) هدف سیستم خاکستری و کاربردهایش پر کردن شکاف موجود بین علوم اجتماعی و طبیعی است. (Deng, 1989) این تئوری به عنوان یک ابزار ریاضی برای نمونه های کوچک و اطلاعات ضعیف به کار برده می‌شود. یک سیستم که اطلاعات آن تا اندازه ای شناخته شده است سیستم خاکستری نامیده می شود. (Jun, 1993) تئوری خاکستری در قسمت‌های گوناگون از قبیل پیش بینی، کنترل سیستم، تصمیم گیری، گرافیک کامپیوتر به کار گرفته می‌شود. (Li, *et al.,* 2007) دنگ به تعریف و پژوهش روش تئوری سیستم های خاکستری در مقاله "مساله کنترل سیستم خاکستری"پرداخت. (Lin, 2010) تئوری سیستم های خاکستری به سیستم های غیر قطعی با اطلاعات تا حدی شناخته شده از طریق تولید، جستجو و استخراج اطلاعات مفید از آنچه در دسترس است می پردازد. در دنیای طبیعی سیستم های غیر قطعی با نمونه های کوچک و اطلاعات ضعیف وجود دارد. این حقیقت، طیف گسترده ای از کاربرد تئوری سیستم های خاکستری را نشان می دهد. در حال حاضر تعداد زیادی از محققان چین، آمریکا، انگلستان، رومانی، آفریقای جنوبی، آلمان، ژاپن، استرالیا، کانادا، لهستان، اسپانیا، کوبا، کره، روسیه، ترکیه هلند مشغول پژوهش و استفاده از تئوری سیستم های خاکستری هستند. (Liu *et al.,* 2012) یکی از مباحثی که در موضوع ریسک بسیار کاربرد دارد، بحث تصمیم‌گیری است که تئوری خاکستری کاربرد زیادی در این موضوع دارد، به‌طوری‌که Liu و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای با عنوان یک رویکرد مبتنی بر خاکستری برای مسایل ریسک انتخاب تأمین کنندگان با استفاده از تئوری خاکستری و درجه امکان خاکستری روشی را برای رتبه بندی و تعیین ریسک انتخاب تأمین کنندگان در شکست سیستم تولید تحت شرایط عدم قطعیت

ارایه داده است. نتایج تحقیق وی نشان داده است که الگوی مبتنی بر درجه امکان خاکستری قابل اعتماد و معقول است و می تواند در انتخاب دقیق تر در مسائل مختلف از قبیل زمینه های مدیریت و اقتصاد کمک نماید. Kuo (Liu *et al.,* 2012 و همکاران در تحقیقی با عنوان استفاده از تحلیل رابطه خاکستری برای حل مسائل تصمیم گیری چند معیاره به تشریح این مدل پرداختند. در این تحقیق دو نمونه مطالعه موردی با روش تحلیل رابطه خاکستری حل شده است و جواب حاصل با جواب‌هایی که از حل همین مسایل با روش تحلیل پوششی داده ها، TOPSIS و روش مجموع وزین ساده به دست آمده مقایسه گردیده است. رتبه بندی گزینه ها به روش تحلیل رابطه خاکستری، به نتایج حاصل از TOPSIS و میانگین موزون ساده نزدیکی بیشتری دارد (Kuo *et al.,* 2008). استفاده از تئوری خاکستری در ارزیابی عملکرد از مسایلی است که امروزه بسیاری از پژوهش گران به آن پرداخته‌اند (Rahimina *et al.,* 2011). در خصوص کاربرد مدل های تصمیم گیری چند معیاره در مباحث ایمنی مطالعات زیادی صورت گرفته و به کاربرد آنها در مدیریت ریسک و ارزیابی بحران در سال‌های اخیر اشاره گردیده است. (Nouri, *et al.,* 2010; Nouri *et al.,* 2011) در این مطالعات به تاثیر قضاوت های شخصی در ارزیابی مسائل ایمنی اشاره شده و پیشنهاد شده است از مدل‌های تصمیم گیری چند معیاره به عنوان راهی برای به حداقل رساندن این اثرات استفاده گردد. در مطالعه ای که در سال ۲۰۰۷ توسط Liu انجام شده است، با استفاده از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی خاکستری به ارزیابی ایمنی معادن زغال سنگ، پرداخته شده است. در این مطالعه یک سیستم شاخص ارزیابی ایمنی بر اساس عوامل مرتبط در معدن زغال سنگ و مدل ارزیابی جامع که ترکیبی از مزایای استفاده از AHP و روش خوشه خاکستری است پیشنهاد گردیده است. نتایج حاصل از این مطالعه به گروه های مدیریتی و فنی مطلع از وضعیت معادن در تصمیم گیری صحیح بر اساس مسایل مربوط به ایمنی کمک می‌کند (Liu *et al.,* 2007). در پژوهشی دیگر Ma با استفاده از روش دلفی فازی و روش دلفی خاکستری به سه مجموعه از شاخص های عملکرد ایمنی برای احداث جاده های ایمن پرداخته است و نتایج حاصل از مطالعه بیانگر آن است که روش ارایه شده در مقاله امکان پذیر و عملیاتی است و می تواند به عنوان مرجعی برای احداث و اداره ایمن جاده ها مورد استفاده قرار گیرد (Ma *et al.,* 2011). به منظور بهبود عملکرد سیستم های اعلام حریق سنتی کشتی، به بررسی دستگاه دو سنسور با استفاده از یک الگوریتم فازی خاکستری و ارزیابی جنبه های نظری دستگاه پرداخته شده است. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که ترکیب الگوریتم خاکستری و خاکستری فازی به تشخیص زمان واقعی آتش کنار کشتی زودتر از روش های فعلی کمک می کند (Kuo, 2003).

مروری بر تئوری سیستم های خاکستری

در طی نزدیک به ۳۰ سال از توسعه تئوری سیستم های خاکستری از آن با ساختار نظری بسیار خود شامل آنالیز سیستم ها، ارزیابی، مدل سازی، پیش بینی، تصمیم گیری، کنترل و روش‌های بهینه‌سازی به‌عنوان یک رشته نو ظهور ساخته است. مطالب اصلی آن شامل اعداد خاکستری و سیستم جبری، ماتریس های خاکستری، معادلات خاکستری و غیره می‌باشند که پایه و اساس تئوری سیستم های خاکستری است. (Liu *et al.,* 2012)



شکل۱: مفهوم یک سیستم خاکستری (Chen *et al.,* 2010)

تعریف سیستم خاکستری

سیستم خاکستری به عنوان یک سیستم حاوی اطلاعات نامشخص که توسط عدد خاکستری و متغیرهای خاکستری ارایه شده تعریف می شود. مفهوم سیستم خاکستری در شکل ۱ نشان داده شده است. (Chen *et al.,* 2010).

تعریف عدد خاکستری

عدد خاکستری عددی است که مقدار دقیق آن مشخص نیست اما محدوده ای که در آن قرار دارد معلوم است. (Zavadskas *et al.,* 2009). یک عدد خاکستری یک مقدار نامشخص از یک مجموعه اعداد یا یک بازه می باشد. (Nabwey, 2013) اعداد خاکستری توسط نماد ⊗ نمایش داده می شوند.

مجموعه خاکستری

فرض کنید X مجموعه مرجع باشد، آن‌گاه مجموعه خاکستری G از X توسط دو نماد $\underline{\mu}_G(x) = \overline{\mu}_G(x)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\begin{cases}\overline{\mu}_G(x) : x \to [0,1] \\ \underline{\mu}_G(x): x \to [0,1]\end{cases}$$

$\underline{\mu}_G(x)$ و $\overline{\mu}_G(x)$ ، $\underline{\mu}_G(x) \le \overline{\mu}_G(x)$ و $x \in X$ و $X = R$ حد بالا و پایین از تابع عضویت G می باشند.

هنگامیکه $\underline{\mu}_G(x) = \overline{\mu}_G(x)$ مجموعه خاکستری G به مجموعه فازی تبدیل می شود. این شمول تئوری خاکستری به حالت فازی و می تواند انعطاف آن را در رابطه با وضعیت فازی نشان دهد (Li *et al.,* 2007).

عدد خاکستری بازه‌ای

اگر عدد خاکستری G دارای حد بالا و پایین باشد آن را عدد خاکستری بازه‌ای می نامند و به صورت زیر نشان داده می‌شود (Li *et al.,* 2007).

$$\otimes G = [\underline{G}, \overline{G}]$$

روابط بین اعداد خاکستری

قوانین عملیات پایه بین دو عدد خاکستری $\otimes G_1 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}]$ و $\otimes G_2 = [\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ به صورت زیر بیان می‌شوند (Li *et al.,* 2007).

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G_1} + \underline{G_2}, \overline{G_1} + \overline{G_2}]$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G_1} - \overline{G_2}, \overline{G_1} - \underline{G_2}]$$

$$\otimes G_1 \times \otimes G_2 = [Min(\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2}),$$
$$Max\ (\underline{G_1}\underline{G_2}, \underline{G_1}\overline{G_2}, \overline{G_1}\underline{G_2}, \overline{G_1}\overline{G_2})]$$

$$\otimes G_1 \div \otimes G_2 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}] \times [\frac{1}{\underline{G_2}}, \frac{1}{\overline{G_2}}]$$

طول عدد خاکستری

طول عدد خاکستری ⊗G به صورت زیر تعریف می شود: (Li *et al.,* 2007)

$$\mathrm{L}(\otimes \mathrm{G}) = [\overline{\mathrm{G}} - \underline{\mathrm{G}}]$$

مقایسه اعداد خاکستری

درجه امکان خاکستری برای مقایسه و رتبه بندی

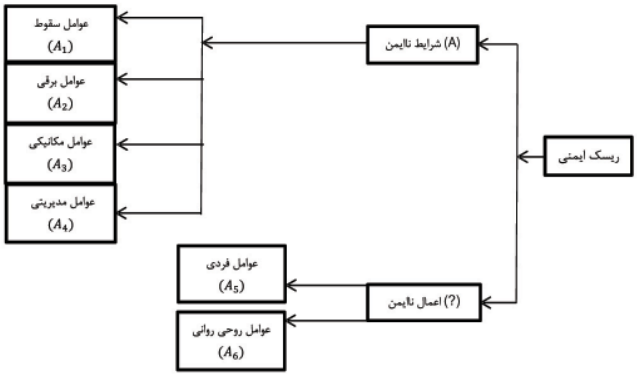
اعداد خاکستری ارایه می شود. برای دو عدد خاکستری $\otimes G_1 = [\underline{G_1}, \overline{G_1}], \otimes G_2 = [\underline{G_2}, \overline{G_2}]$ درجه امکان $\otimes G_1 \leq \otimes$ را می توان به صورت زیر بیان نمود. (Li *et al.*, 2007).

$$P\{\otimes G_1 \leq \otimes G_2\} = \frac{Max(0, L^* - Max(0, \overline{G_1} - \underline{G_2}))}{L(\otimes G_1) + L(\otimes G_2)}$$

که در آن $L^* = L(\otimes G_1) + L(\otimes G_2)$ است.

روش کار

در این تحقیق ابتدا عوامل موثر در بروز حوادث شغلی در صنعت ساختمان که گزینه های ما را تشکیل می‌دهند با استفاده از روش کتابخانه‌ای و نظر خبرگان شناسایی گردیدند و در دو دسته شرایط و اعمال ناامن قرار داده و اندیس گذاری شدند. عوامل ایجاد کننده شرایط ناامن شامل"عوامل سقوط"، "عوامل برقی"، "عوامل مکانیکی"، "عوامل مدیریتی" و اعمال ناامن شامل"عوامل فردی" و "عوامل روحی روانی" می باشد، سپس با تعیین معیارهایی مناسب جهت رتبه‌بندی ریسک‌های موجود، ماتریس



شکل ۲: دسته بندی ریسکهای ایمنی موثر در بروز حوادث شغلی در صنعت ساختمان

جدول ۱: عبارات کلامی و اعداد خاکستری متناظر برای وزن معیارها

عبارات کلامی	VH	H	M	L	VL
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
⊗W	[0.9,1]	[0.6,0.9]	[0.4,0.6]	[0.1,0.4]	[0,0.1]

جدول۲: وزن معیارها

						$\otimes W_j$
C_1	VH	H	H	VH	H	[0.72,0.94]
C_2	H	VH	H	H	H	[0.66,0.92]
	VL	L	VL	L	M	[0.12,0.32]
	H	L	M	H	L	[0.36,0.64]
	VH	VH	H	H	VH	[0.78,0.96]

جدول۳: عبارات کلامی و اعداد خاکستری متناظر جهت ارزیابی گزینه‌ها از نظر هر یک از معیارها

عبارات کلامی	VH	H	M	L	VL
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
⊗G	[9,10]	[6, 9]	[4, 6]	[1, 4]	[0, 1]

جدول ۴: ماتریس تصمیم گیری وزنی نرمالیزه خاکستری

A_1	[0.58,0.92]	[0.5,0.9]	[0.009,0.11]	[0.17,0.64]	[0.57,0.92]
A_2	[0.14,0.4]	[0.53,0.92]	[0.006,0.088]	[0.017,0.24]	[0.67,0.96]
	[0.2,0.5]	[0.36,0.75]	[0.009,0.11]	[0.034,0.33]	[0.38,0.7]
	[0.61,0.94]	[0.53,0.92]	[0.009,0.11]	[0.12,0.58]	[0.57,0.92]
	[0.45,0.83]	[0.5,0.9]	[0.006,0.09]	[0.12,0.58]	[0.52,0.9]
	[0.2,0.5]	[0.43,0.83]	[0.09,0.32]	[0.036,0.33]	[0.41,0.75]

جدول ۵: مقادیر درجه امکان خاکستری و رتبه بندی گزینه ها

رتبه	گزینه	مقادیر درجه امکان خاکستری
۱	A_4 (عوامل مدیریتی)	0.622
۲	A_1 (عوامل سقوط)	0.623
۳	A_5 (عوامل فردی)	0.69
۴	A_6 (عوامل روحی روانی)	0.76
۵	A_2 (عوامل برقی)	0.78
۶	A_3 (عوامل مکانیکی)	0.88

تصمیم‌گیری تشکیل داده شد. معیارها (شاخص‌ها) شامل "تکرارپذیری"، "هزینه"، "عدم راحتی کنترل"، "زمان هدر رفته" و "شدت آسیب به کارکنان" بود که به ترتیبC_۱ تا C_۵ نامگذاری شدند. با توجه به کیفی بودن معیارها، از طریق طراحی پرسشنامه و با به کار گیری اعداد خاکستری (به دلیل ارتباط نزدیک اعداد خاکستری با بیان انسانی)، نظرهای خبرگان اخذ و وزن معیارها محاسبه گردید. در جدول ۱ عبارات کلامی و اعداد خاکستری بازه‌ای متناظر برای وزن معیارها و در جدول ۲ وزن معیارها از نظر ۵ نفر از خبرگان درج شده است. در مرحله بعد جهت ارزیابی گزینه ها از نظر هر یک از شاخص ها ضمن طراحی پرسشنامه، از اعداد خاکستری به شرح جدول ۳ استفاده شد.

برای ارزیابی از رابطه زیر استفاده شد:

$$\otimes G_{ij} = \frac{1}{K}[\otimes G_{ij}^1 + \otimes G_{ij}^2 + \cdots + \otimes G_{ij}^k]$$

که در آن $\otimes G_{ij}^k (i = 1,2,\ldots,m; g = 1,2,\ldots,n)$ مقدار امتیازدهی k امین فرد خبره برای i امین گزینه نسبت به jامین شاخص است که می توان آن را با عدد خاکستری $\otimes G_{ij}^k = \left[\underline{G}_{ij}^k, \overline{G}_{ij}^k\right]$ نشان داد. مرحله بعد ایجاد ماتریس تصمیم گیری خاکستری است که به صورت ذیل تشکیل می گردد:

$$D = \begin{bmatrix} \otimes G_{11} & \cdots & \otimes G_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes G_{m1} & \cdots & \otimes G_{mn} \end{bmatrix}$$

پس از آن ماتریس تصمیم خاکستری نرمال را به صورت زیر تشکیل می دهیم:

$$D^* = \begin{bmatrix} \otimes G_{11}^* & \cdots & \otimes G_{1n}^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes G_{m1}^* & \cdots & \otimes G_{mn}^* \end{bmatrix}$$

که در آن

$G_j^{Max} = Max.1 \le i \le m\{\overline{G}_{ij}\}$ و $\otimes G_{ij}^* = [\frac{\underline{G}_{ij}}{G_j^{Max}}, \frac{\overline{G}_{ij}}{G_j^{Max}}]$

است. روش نرمالیزه کردن ذکر شده باعث می شود عدد خاکستری بین بازه [۰,۱] قرار گیرد.

در مرحله بعد ماتریس تصمیم گیری وزنی نرمال شده خاکستری را به صورت ذیل تشکیل می دهیم:

$$D^* = \begin{bmatrix} \otimes V_{11} & \cdots & \otimes V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes V_{m1} & \cdots & \otimes V_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن داریم: $\otimes V_{ij} = \otimes G_{ij}^* \times \otimes W_j$

نتایج حاصل در جدول ۴ قید شده است.
مرحله بعد انتخاب گزینه ایده‌آل است که با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A^{Max} = \{\otimes G_1^{Max}, G_2^{Max}, \dots, G_n^{Max}\}$$

$$A^{Max} = \{[Max.1 \le i \le m\, \underline{V}_{i1}, Max.1 \le i \le m \overline{V}_{i1}], [Max.1 \le i \le m\, \underline{V}_{i2}, Max.1 \le i \le m \overline{V}_{i2}], \dots, [Max.1 \le i \le m\, \underline{V}_{in}, Max.1 \le i \le m \overline{V}_{in}]\}$$

بنابر این گزینه ایده‌آل به صورت زیر به دست می آید:

$$A^{Max} = \{[0.61,0.94], [0.53,0.92], [0.09,0.32], [0.17,0.64], [0.67,0.96]\}$$

در مرحله نهایی با استفاده از رابطه ذیل، درجه امکان خاکستری برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه گردید که نتایج در جدول ۵ آمده است. بیشترین مقدار درجه امکان خاکستری مربوط به عوامل مدیریتی با میزان ۰,۶۲۲ و کمترین مقدار مربوط به عوامل مکانیکی با میزان ۰,۸۸ می باشد.

$$P\{A_i \le A^{Max}\} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} P\{\otimes V_{ij} \le G_j^{Max}\}$$

بحث

از ۲۰۵۳۲ حادثه ناشی از کار که در سال ۱۳۹۱ در کل کشور به وقوع پیوسته، ۹۸ درصد مردان دچار حادثه شده اند و در مقابل سهم زنان ۲ درصد بوده است. بیشترین آمار نوع حادثه، مربوط به لغزیدن با رقمی معادل ۴۲۴۶ فقره حادثه بوده است. ۹۵ درصد از حوادث در داخل کارگاه رخ داده است، این در حالی است که یک درصد حوادث در زمان رفت و آمد به محل کار به وقوع پیوسته است. (Arji, 1392) از ۲۰۵۳۲ حادثه، بیشترین آمار حوادث ناشی از کار بیمه شدگانی که در حوزه فعالیت اقتصادی دچار حادثه شغلی شده‌اند. به امور مربوط به کارهای ساختمانی رقمی معادل ۵۴۷۹ (۲۶/۶۹%) مورد حادثه تعلق دارد. مقادیر به دست آمده از رابطه درجه امکان خاکستری حاصل از این تحقیق نشان می دهد از بین شش عامل موثر در بروز حوادث شغلی در صنعت ساختمان، "عوامل مدیریتی" با درجه امکان خاکستری ۰/۶۲۲ دارای رتبه بالاتری بوده که نشان دهنده نزدیکی آن به گزینه ایده آل می‌باشد، به عبارت دیگر از بین شش گزینه (عوامل موثر در بروز حوادث شغلی در صنعت ساختمان)، عوامل مدیریتی دارای اهمیت بیشتری بوده و باید به منظور پیشگیری از وقوع حوادث شغلی در این صنعت اقدامات کنترلی لازم روی آن صورت پذیرد. اقدامات کنترلی در خصوص عوامل مدیریتی شامل نظارت موثر بر کار کارکنان، آموزش به کارکنان، به کارگیری کارکنان دارای دانش و مهارت کافی، نظارت موثر از سوی مهندسین ناظر ساختمان، تأمین وسایل حفاظت فردی برای کارکنان، نظارت موثر از سوی نهادهای مسوول (شهرداری، سازمان نظام مهندسی ساختمان، وزارت کار) بر کارگاه های ساختمانی و ... می باشد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش تصمیم‌گیری چند معیاره با رویکرد خاکستری در وضعیت کم بودن تعداد نمونه‌ها، نسبت به سایر روش‌های MCDM (تصمیم‌گیری چند معیاره) ابزاری مفید و موثر در رتبه‌بندی مخاطرات می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که رتبه‌بندی ریسک‌های ایمنی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره خاکستری و به کارگیری اعداد خاکستری بازه‌ای به دلیل محاسبات ساده و ارتباط نزدیک آن با بیان انسانی و عدم نیاز به تعریف تابع عضویت، روشی است که در شرایط عدم قطعیت و کم بودن تعداد نمونه‌ها نسبت به روش فازی و آمار و احتمال ارجحیت دارد

منابع

Arji M., (1392), Statistical Report work related accidents in the year 1391, Office of Statistics and Economic and Social Computing, Social Security organization (in Persian).

Liu S., Lin Y., (2006), Grey Information Theory and Practical Applications, Springer.

Liu S., Lin Y., (2010), Grey Systems Theory and Applications, Springer.

Liu, Y., Mao, S.J., Li, M., Yao, J.M. (2007), Study of a Comprehensive Assessment Method for Coal Mine Safety Based on a Hierarchical Grey Analysis, Journal of China University of Mining and Technology, Vol.17 No.1, pp.6-10.

Ma, Z., Shao, C., Ma, S., Ye, Z., (2011), Constructing road safety performance indicators using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method, Expert Systems with Applications, Vol.38 No.3, pp.1509-1514.

Nabwey H.A.,Paomy M.S., (2013), An Integrated Methodology of Rough Set Theory and Grey System for Extracting Decision Rules, International Journal of Hybrid Information Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 58.

Nouri J., Mansouri N., Abbaspour M., Karbasi AR., Omidvari M., (2011), Designing a developed model for assessing the disaster induced vulnerability value in educational centers. Safety Sci Vol.49No.5, pp.679-685.

Nouri J., Omidvari M., Tehrani SM., (2010), Risk Assessment and Crisis Management in Gas Stations. Int J Environ Res, Vol.4 No.1, pp.143-152.

Rahimnia,F., Moghadasian,M., Mashreghi,E., (2011), Application of grey Theory approach to evaluation of organizational vision, Emerald, 1(1), 33-46.

Zavadskas K.E., Kaklauskas A., Turski Z., (2009), Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers, INFORMATICA, Vol. 20, No. 2, pp. 307.

Zhang, J.J., Wu, D.S. Olson, D.L., (2005), The method of grey related analysis to multiple attribute decision making programs with interval numbers, Mathematical and Computer Modeling 42(9-10), 991-999.

Chen Y.H., Tseng M.L., Lin R.J., (2010), Evaluating the customer perceptions on in-flight service quality, African Journal of Business Management, Vol. 5(7), pp. 2858.

Deng J., (1989), Introduction to Grey System Theory, The Journal of Grey System 1, England and China Petroleum Industry Press, P.R. China, pp. 1.

Jun X., (1993), A Grey System Approach Applied to Predication of Extreme Hydrological events: Floods and Droughts (Proceedings of the Yokohama Symposium), IAHS Publ. no. 213.

Kuo, H.C., Chang, H.K., (2003), A real-time shipboard fire-detection system based on grey-fuzzy algorithms, Fire Safety Journal, Vol.38 No.4, pp.341-363.

Kuo, Y., Yang, T., Hung, G., (2008), The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision making problems, Computers and Industrial Engineering, Vol.55, pp.80-93.

Li G.D., Yamaguchi D., Nagai M., (2007), A Grey-Based Approach to Suppliers Selection Problem, Elsevier, V. 46, pp. 573-581.

Lin L., (2010), An application Of Grey System Theory Into Real Estate Investment Decision-Making, Department of Real Estate and Construction Management Division of Building and Real Estate Economics, Master of Science Thesis no. 30, pp. 8.

Liu G., Xu H., Wei Y., Wang J., (2013), Analysis of the Relationship between Safety Execution and Safety Performance, the 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp.749-757.

Liu S., Forrest J., (2010), Advances in Grey Systems Research, Springer.

Liu S., Forrest J., Yang Y., (2012), A brief introduction to grey system theory Grey Systems: Theory and Application, Vol. 2, No. 2, pp. 90.

Proposing a model for safety risk assessment in the construction industry using gray multi-criterion decision-making

S. M. Abootorabi[1]; H. Mehrno[2]; M. Omidvari[3]

[1] Bsc. Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University of Qazvin

[2] Instructor of Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical and Industrial Engineering, Islamic Azad University of Qazvin

[3] Assistant Professor of Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical and Industrial Engineering, Islamic Azad University of Qazvin

Abstract

Introduction: Statistical Report of the Social Security Organization indicate that among the various industries, the construction industry has the highest number of work-related accidents; so that in addition to frequency, it has high intensity, as well. On the other hand, a large number of human resources are working in this whish shows they necessity for paying special attention to these workers. Therefore, risk assessment of the safety in the construction industry is an effective step in this regard. In this study, a method for ranking safety risks in conditions of low number of samples and uncertainty is presented, using gray multi-criterion decision-making.

Material and Method: In this study, we first identified the factors affecting the occurrence of hazards in the construction industry. Then, appropriate for ranking the risks were determined and the problem was defined as a multi-criterion decision-making. In order to weight the criteria and to evaluate alternatives based on each criterion, gray numbers were used. In the last stage, the problem was solved using the gray possibility degree.

Result: The results show that the method of gray multi-criterion decision-making is an effective method for ranking risks in situations of low samples compared with other methods of MCDM.

Conclusion: The proposed method is preferred to fuzzy methods and statistics in uncertain and low sample size, due to simple calculations and no need to define the membership function.

Key words: *Multiple Attribute Decision making, Grey Possibility Degree, Grey Numbers, Grey Systems Theory, Grey Set*

* Corresponding Author Email: *mehrno20@yahoo.com*