



ارائه مدلی برای ارزیابی خطرات حرفه‌ای در صنعت ساختمانی با استفاده از رویکرد

ترکیبی FMEA و GRA فازی پویا

مورد مطالعه: شرکت ساختمانی فراطرح آریانا

جلیل حیدری دهوئی¹، حمیدرضا فیروزفر²، امیرسالار ونکی³، ساجده دانش مقدم⁴

¹ استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران؛ heidaryd@ut.ac.ir

² دانشجوی کارشناسی ارشد رشته MBA، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران؛ hmdfiroozfar@ut.ac.ir

³ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته MBA، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران؛ amir.salar.vanaki@gmail.com

⁴ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران؛ s_daneshmoghadam@yahoo.com

چکیده

صنعت ساخت‌وساز یکی از صنایع بنیادی در جهان بوده که عواملی همچون تنش‌های کارگری، استفاده از تجهیزات الکتریکی و ماشین‌های مکانیکی متعدد، آن را مستعد بروز حوادث ناگوار و خطرات حرفه‌ای بسیاری نموده‌است. شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها و خطرات بالقوه موجب می‌شود تا علاوه بر آمادگی برای مقابله با آنها، اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از وقوعشان نیز در زمان کافی برنامه‌ریزی و اجرایی شود. روش FMEA یکی از ابزارهای مفیدی است که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین بمنظور رفع برخی نارسایی‌های این ابزار، می‌توان روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه را با آن ترکیب نمود. بر این اساس، در این پژوهش از رویکرد ترکیبی FMEA و GRA فازی پویا بمنظور ارزیابی و رتبه‌بندی خطرات حرفه‌ای صنعت ساخت‌وساز استفاده شده‌است. مدل ارائه‌شده در این تحقیق از جمله مدل‌های بدیع در ارزیابی ریسک می‌باشد که بدلیل استفاده از منطق فازی پویا، به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند ارزیابی ریسک را پوشش می‌دهد. در این تحقیق مجموعاً 18 خطر حرفه‌ای در صنعت ساخت‌وساز شناسایی شده‌است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد انجام رفتارهای پرخطر از جانب کارگران مهم‌ترین خطر حرفه‌ای در این صنعت بوده و بروز گرد و غبار، انفجار و آتش‌سوزی، و برق‌گرفتگی نیز به ترتیب در درجات بعدی اهمیت قرار دارند.

واژگان کلیدی

خطرات حرفه‌ای، صنعت ساختمانی، تصمیم‌گیری چندشاخصه، روش FMEA، روش GRA

1- مقدمه

عوامل حادثه‌آفرین و خطرات حرفه‌ای از جمله عوامل اجتناب‌ناپذیر در تمامی سازمان‌ها و صنایع بوده و به یک صنعت خاص محدود نمی‌شوند (Liu & Tsai, 2012). از آنجا که بروز چنین خطراتی، عواقب جانی و مالی متعددی برای سازمان‌ها در پی خواهد داشت، مدیریت صحیح آنها به منظور کاهش خسارات جانبی ضروری بوده (Wood &

(Ellis, 2003) و مطالعات فراوانی نیز برای شناسایی و مقابله با آنها در صنایع مختلف انجام شده است. صنعت ساخت‌وساز به عنوان یکی از صنایع مهم و بنیادی، ماهیتاً صنعتی خطرآفرین بوده و امنیت حرفه‌ای و مقابله با حوادث مختلف در این صنعت بسیار حائز اهمیت است (Gürçanlı & Müngen, 2009). همین مسأله موجب شده تا شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک‌ها و خطرات حرفه‌ای در این صنعت مورد توجه بسیاری قرار گیرد. یکی از ابزارهای مفیدی که به منظور ارزیابی ریسک در تحقیقات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته روش FMEA می‌باشد (Chang & Cheng, 2010). علی‌رغم استفاده فراوان از این روش، در تحقیقات بسیاری به این موضوع اشاره شده که استفاده از روش FMEA به تنهایی روش کارآمدی برای ارزیابی محسوب نمی‌شود و انتقادات فراوانی به این چارچوب وارد است (Ravi Sankar & Prabhu, 2001). به منظور غلبه بر انتقادات مطرح شده بر رویکرد سنتی FMEA و افزایش اثربخشی و کارآمدی آن، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه توصیه می‌گردد (Liu, Liu, & Mao, 2012). به همین منظور در این پژوهش از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه GRA به صورت تلفیقی در کنار روش FMEA بمنظور ارزیابی و رتبه‌بندی خطرات حرفه‌ای صنعت ساخت‌وساز استفاده شده است تا خطرات مذکور با دقت بیشتری ارزیابی شوند. شرکت ساختمانی فراطرح آریانا به عنوان یک شرکت فعال در این صنعت به عنوان مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شده است. لازم بذکر است از آنجا که مفهوم ریسک ماهیتاً با عدم قطعیت ذاتی همراه بوده و اطلاعات موجود برای ارزیابی آنها عموماً ناکافی و غیردقیق می‌باشند (Chi & Wu, 1997)؛ لذا مطالعات در این زمینه با عدم قطعیت‌های فراوانی همراه است که بمنظور غلبه بر آن و افزایش دقت ارزیابی، در این تحقیق از روش GRA در محیط فازی پویا استفاده شده است.

در ادامه این تحقیق و در بخش پیشینه تحقیق، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی خطرات حرفه‌ای صنعت ساختمانی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در بخش روش تحقیق، گام‌های طی شده و ابزارهای مورد استفاده در این مطالعه تشریح شده‌اند. بخش سوم به تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص یافته و چارچوب طراحی شده برای مورد مطالعه در این تحقیق پیاده‌سازی شده است. نهایتاً نتایج حاصل از پژوهش در بخش نتیجه‌گیری مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است.

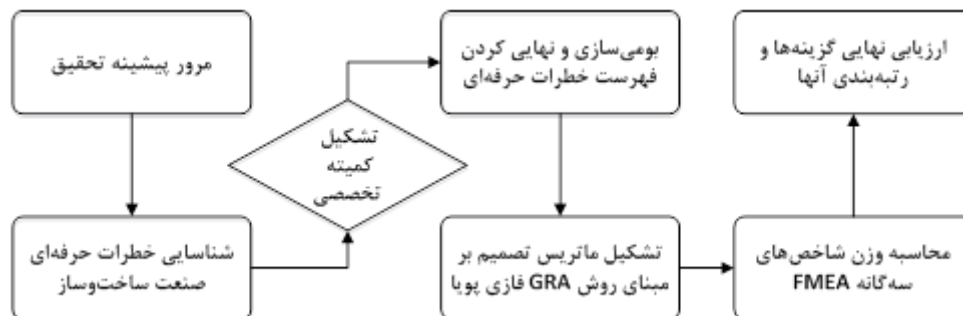
2- پیشینه تحقیق

ارزیابی خطرات حرفه‌ای صنعت ساختمان به منظور مقابله حداکثری با عوارض جانی و مالی آن یکی از حوزه‌های مورد توجه محققین بوده است که موجب شده تا تحقیقات کیفی و کمی متعددی در این زمینه انجام شود. العنبری و همکارانش (2015) با هدف ارزیابی ریسک‌های ایمنی و سلامت، به بررسی ریسک‌های موجود در صنعت ساختمانی کشور عمان پرداختند. آنها در این تحقیق مجموعاً 19 فاکتور ریسک را در قالب دو دسته ریسک‌های امنیتی و ریسک‌های سلامتی، شناسایی و مورد ارزیابی قرار دادند (Al-Anbari, Khalina, Alnuaimi, Normariah, & Yahya, 2015). ابل (2014) با هدف ارزیابی خطرات حرفه‌ای صنعت ساختمانی، عواملی چون سقوط از ارتفاع، تماس با الکتریسیته، برخورد با وسایل متحرک، آسیب دیدگی توسط اشیاء سقوط کرده و غیره را به عنوان اصلی‌ترین عوامل خطرآفرین در صنعت ساختمانی مطرح نمود (Pinto, 2014). لیو و همکارانش (2012) با هدف کاهش خطرات ایمنی در صنعت ساختمانی، با استفاده از ابزارهایی چون ANP فازی، QFD و FMEA به ارزیابی خطرات حرفه‌ای در صنعت ساختمانی کشور تایوان پرداختند. در این تحقیق، 16 نوع خطر حرفه‌ای شامل سقوط از ارتفاع،

سقوط اشیاء، تخریب سازه‌ها، انفجار، آتش‌سوزی و غیره مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Liu & Tsai, 2012). ایم و همکارانش (2009) در زمینه شناسایی ریسک‌های ساختمانی و مقایسه خطرات این صنعت با خطرات شغلی در کشور کره، اقدام به مطالعه نموده و در این تحقیق خطراتی همچون سقوط از ارتفاع، آتش‌سوزی، انفجار، تخریب و ریزش ساختمان و غیره را مد نظر قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد مواردی همچون سقوط از ارتفاع و شوک‌های الکتریکی بیشترین خطر را نسبت به سایر خطرات حرفه‌ای دارند (Im, et al., 2009). مونگن و گورکانلی (2005) با بررسی شواهد و مستندات موجود در سال‌های 1969 تا 1999، به بررسی علل حوادث منجر به مرگ در صنعت ساخت‌وساز کشور ترکیه پرداختند. بر اساس یافته‌های این تحقیق، سقوط، برق گرفتگی، تصادف وسایل سنگین، تصادفات در محل کار، مهم‌ترین دلایل بروز حوادث منجر به مرگ در صنعت ساخت‌وساز این کشور بوده‌اند (Müngen & Gürcanli, 2005).

3- روش‌شناسی تحقیق

در گام ابتدایی این تحقیق، با مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مشابه، خطرات حرفه‌ای مختلف در این صنعت مورد شناسایی قرار گرفته و سپس با تشکیل کمیته متشکل از مدیران اجرایی شرکت مورد مطالعه و کسب نظرات آنان، خطرات مذکور بر اساس شرایط کاری و محیطی شرکت، بومی‌سازی شده و نهایتاً بر اساس معیارهای موجود در چارچوب روش FMEA بر مبنای منطق روش GRA فازی پویا، ارزیابی و رتبه‌بندی شده‌اند. گام‌های طی شده در این تحقیق در شکل 1 نشان داده شده‌اند.



شکل 1- مراحل انجام تحقیق

3-1- تشریح روش FMEA

این روش یکی از تکنیک‌های مرسوم در شناسایی و ارزیابی خرابی‌ها، خطاها، و ریسک‌های بالقوه و یا شناخته‌شده می‌باشد (Stamatis, 2003). در روش FMEA سنتی پس از شناسایی خرابی‌های بالقوه (ریسک) توسط خبرگان، لیستی جامع از آنها تهیه شده و از خبرگان خواسته می‌شود تا شدت وقوع (S)، احتمال شناسایی (D) و احتمال وقوع (O) هر ریسک را از یک تا 10 امتیازدهی کنند. بدین ترتیب هر خرابی در سیستم با سه عدد مشخص می‌شود که حاصلضرب آنها با عدد اولویت ریسک نشان داده شده و مشخص کننده میزان ریسک یک خرابی است. نحوه محاسبه عدد اولویت ریسک در رابطه (1) نشان داده شده است.

رابطه (1)

$$RPN = O \times S \times D$$

وزن یکسان شاخص‌های ارزیابی ریسک، عدم وجود منطق ریاضی برای توجیه چگونگی محاسبه عدد اولویت ریسک و غیرقابل ضرب بودن اعداد بیانگر مقیاس ترتیبی در یکدیگر از جمله انتقادات جدی و حائز اهمیتی است که به شکل سنتی و معمول روش FMEA وارد می‌باشد. به منظور غلبه بر انتقادات مطرح شده بر رویکرد سنتی FMEA و افزایش اثربخشی و کارآمدی آن، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه توصیه می‌گردد (Liu, Liu, & Mao, 2012).

3-2- روش توسعه یافته GRA فازی پویا

روش GRA یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد که برای نخستین بار توسط جولانگ توسعه یافت (Julong, 1989). در مدل توسعه یافته فازی پویای GRA که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، مقادیر معیارها به عنوان متغیرهای زبانی در نظر گرفته می‌شوند. این متغیرهای زبانی را می‌توان به شکل اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای مطابق جدول 1 نمایش داد.

جدول 1- متغیرهای زبانی مورد استفاده برای رتبه‌بندی خطرات حرفه‌ای (Liu, et al., 2015)

متغیر زبانی	مخفف	عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای
خیلی ضعیف	VP	$[(0, 0/5); 0/5; (1, 1/5)]$
ضعیف	P	$[(0/5, 0/5); 1; (2/5, 3/5)]$
نسبتاً ضعیف	MP	$[(0, 1/5); 3; (4/5, 5/5)]$
متوسط	M	$[(2/5, 3/5); 5; (6/5, 7/5)]$
نسبتاً خوب	MG	$[(4/5, 5/5); 7; (8, 9/5)]$
خوب	G	$[(5/5, 7/5); 9; (9/5, 10)]$
خیلی خوب	VG	$[(8/5, 9/5); 10; (10, 10)]$

در این روش مجموعه متناهی از گزینه‌ها (A)، مجموعه متناهی از معیارها (C)، و بردار وزن معیارها (w)، به‌عنوان ورودی و مفروضات مسأله در نظر گرفته می‌شود. بردار وزن مذکور به شکل $W = w_1, w_2, \dots, w_n$ تعریف شده و شرایط نشان داده شده در رابطه (2) در آن برقرار است.

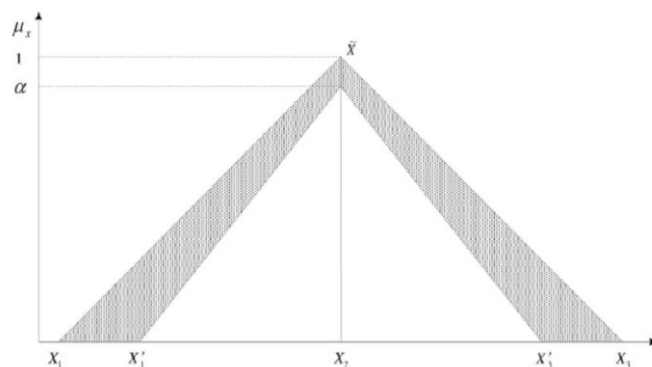
$$w_j \geq 0$$

رابطه (2)

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1; j = 1, 2, \dots, n$$

همچنین عملکرد گزینه A_i در معیار C_j ، با \tilde{x}_{ij} نمایش داده می‌شود که یک ماتریس تصمیم فازی به‌صورت $\tilde{X} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n}$ را تشکیل می‌دهند. همانطور که در شکل 2 نشان داده شده، \tilde{x}_{ij} نشان دهنده عدد فازی مثلثی با

$$\tilde{x} = \begin{cases} (x_1, x_2, x_3) \\ (x'_1, x_2, x'_3) \end{cases} \text{مقادیر بازه‌ای می‌باشد.}$$



شکل 2- عدد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای

پیش از تشریح گام‌های روش توسعه یافته GRA فازی پویا لازم است تا مفهوم عملگر پویا مختصراً معرفی شود. چگونگی محاسبه این عملگر که با عنوان عملگر میانگین وزن دار فازی مثلثی پویا شناخته می‌شود در رابطه (3) نشان داده شده است.

$$\text{رابطه (3)} \quad DTFWA_{v(t)}(\tilde{x}^{(t_1)}, \tilde{x}^{(t_2)}, \dots, \tilde{x}^{(t_p)}) = \sum_{k=1}^p v(t_k) \tilde{x}^{(t_k)} = \left[\sum_{k=1}^p v(t_k) x_1^{(t_k)}, \sum_{k=1}^p v(t_k) x_2^{(t_k)}, \sum_{k=1}^p v(t_k) x_3^{(t_k)} \right]$$

بر اساس مفاهیم بیان شده، $\tilde{x}_{ij}^{(t_k)} = [\tilde{x}_{ij_1}^{(t_k)}, \tilde{x}_{ij_2}^{(t_k)}, \tilde{x}_{ij_3}^{(t_k)}]$ نشان‌دهنده اعداد فازی مثلثی در p بازه زمانی به شکل t_k است که در آن $k = 1, 2, \dots, p$ می‌باشد. در این تعریف $v(t) = (v(t_1), v(t_2), \dots, v(t_k))$ بیانگر بردارهای زمانی وزن روی بازه زمانی t_k بوده و با لحاظ نمودن دو شرط $v(t_k) > 0$ و $\sum_{k=1}^p v(t_k) = 1$ عملگر مذکور به شکل رابطه (3) قابل محاسبه خواهد بود. حال گام‌های روش GRA پویا بر اساس اعداد فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای به شکل زیر توصیف می‌شود.

• گام اول: ترکیب ماتریس‌های تصمیم فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای در قالب یک ماتریس تصمیم

ماتریس فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای $\tilde{X}(t_k) = (\tilde{x}_{ij}^{(t_k)})_{m \times n}$ برای $k = 1, 2, \dots, p$ برای هر بازه زمانی، بر اساس عملگر میانگین وزن دار فازی مثلثی پویا که در فوق تشریح شد، ترکیب شده و حاصل آن در قالب ماتریس تصمیم فازی مثلثی با مقادیر بازه‌ای $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n}$ مطابق رابطه (4) نمایش داده می‌شود.

$$\text{رابطه (4)} \quad \tilde{x}_{ij}(t_k) = \left[(a_{ij}(t_k), a'_{ij}(t_k)), b_{ij}(t_k), (c'_{ij}(t_k), c_{ij}(t_k)) \right]$$

$$\tilde{x}_{ij} = [(a_{ij}, a'_{ij}), b_{ij}, (c'_{ij}, c_{ij})] \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$$

• گام دوم: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال \tilde{R}

بر اساس تعریف $\tilde{x}_{ij} = [(a_{ij}, a'_{ij}), b_{ij}, (c'_{ij}, c_{ij})]$ ، رتبه عملکردی نرمال شده را می‌توان به از طریق روابط (5) و (6) محاسبه کرد.

$$\text{رابطه (5)} \quad \tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{a'_{ij}}{c_j^+} \right); \frac{b_{ij}}{c_j^+}; \left(\frac{c'_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \right], \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \text{ for } j \in I$$

$$\text{رابطه (6)} \quad \tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{c_{ij}^-} \right); \frac{a_j^-}{b_{ij}}; \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{c_{ij}^-} \right) \right], \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \text{ for } j \in J$$

در این روابط، I مجموعه معیارهای مثبت و J مجموعه معیارهای منفی بوده و دو مقدار a_j^- و c_j^+ به صورت روابط (7) و (8) تعریف می‌شوند.

رابطه (7)
$$c_j^+ = \max_i \{c_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$$

رابطه (8)
$$a_j^- = \min_i \{a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$$

بر این اساس، بردار $\tilde{r}_{ij} = [(g, g'_{ij}); h_{ij}; (l_{ij}, l'_{ij})]$ و همچنین ماتریس تصمیم نرمال که با $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}$ نشان داده می‌شود قابل محاسبه است.

• گام سوم: تعیین سری‌های مرجع

سری‌های مرجع به شکل رابطه (9) تعریف می‌شوند.

رابطه (9)
$$R_0 = (r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0n}) = [(1,1); 1; (1,1)], [(1,1); 1; (1,1)], \dots, [(1,1); 1; (1,1)]$$

• گام چهارم: محاسبه فاصله هر یک از مقادیر مورد مقایسه از مقدار مرجع

فاصله میان مقدار مرجع و مقدار مقایسه از طریق رابطه (10) محاسبه می‌شود.

رابطه (10)
$$\delta_{ij}^{(1)} = \sqrt{\frac{1}{3} [(g'_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l'_{ij} - 1)^2]}$$

$$\delta_{ij}^{(2)} = \sqrt{\frac{1}{3} [(g_{ij} - 1)^2 + (h_{ij} - 1)^2 + (l_{ij} - 1)^2]}$$

این رابطه برای تعیین فاصله میان مقدار مرجع و مقدار مورد مقایسه در بازه $[\delta_{ij}^{(1)}, \delta_{ij}^{(2)}]$ به کار گرفته می‌شود. مقادیر بیشینه $\delta_{max}^{(1)}$ و $\delta_{max}^{(2)}$ و نیز مقادیر کمینه $\delta_{min}^{(1)}$ و $\delta_{min}^{(2)}$ در این بازه از طریق روابط (11) و (12) قابل محاسبه می‌باشند.

رابطه (11)
$$\delta_{min}^{(1)} = \min_{i,j} \delta_{ij}^{(1)}; \delta_{max}^{(1)} = \max_{i,j} \delta_{ij}^{(1)}; i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

رابطه (12)
$$\delta_{min}^{(2)} = \min_{i,j} \delta_{ij}^{(2)}; \delta_{max}^{(2)} = \max_{i,j} \delta_{ij}^{(2)}; i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

• گام پنجم: محاسبه ضرایب روابط خاکستری

ضرایب روابط خاکستری از طریق رابطه (13) محاسبه می‌شوند.

رابطه (13)
$$\xi_{ij}^{(1)} = \frac{\delta_{min}^{(1)} + \zeta \delta_{max}^{(1)}}{\delta_{ij}^{(1)} + \zeta \delta_{max}^{(1)}} \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\xi_{ij}^{(2)} = \frac{\delta_{min}^{(2)} + \zeta \delta_{max}^{(2)}}{\delta_{ij}^{(2)} + \zeta \delta_{max}^{(2)}}$$

لازم بذکر است مقدار ζ در این رابطه برابر با 0/5 در نظر گرفته می‌شود.

• گام ششم: برآورد درجه روابط خاکستری

درجه روابط خاکستری در این روش از رابطه (14) بدست می‌آید.

رابطه (14)
$$\gamma_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^{(1)}$$

$$\gamma_i^{(2)} = \sum_{j=1}^n w_j \xi_{ij}^{(2)} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

بر مبنای مفاهیم پایه‌ای روش GRA در نهایت گزینه‌ای انتخاب می‌شود که دارای بالاترین درجه روابط خاکستری نسبت به راه حل مرجع باشد. همچنین وزن اطلاعات با استفاده از رابطه (15) محاسبه می‌شود.

رابطه (15)
$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^m (\xi_{ij}^{(1)} + \xi_{ij}^{(2)})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\xi_{ij}^{(1)} + \xi_{ij}^{(2)})}$$

بر این اساس بردار وزن معیارها که با w نمایش داده می‌شود به صورت $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ تعریف می‌شود. سپس $\gamma_i^{(1)}$ و $\gamma_i^{(2)}$ با استفاده از رابطه (14) حاصل می‌گردند.

• گام هفتم: رتبه بندی گزینه‌ها

برتری گزینه A_s بر گزینه A_t با نماد $A_s \geq A_t$ نمایش داده می‌شود که میزان مشابهت $A_s \geq A_t$ بر اساس رابطه $\bar{\gamma}_s \geq \bar{\gamma}_t$ تعریف و اندازه‌گیری می‌شود که در آن $\bar{\gamma}_s$ و $\bar{\gamma}_t$ به ترتیب درجه روابط خاکستری متناظر با اعداد بازه‌ای گزینه‌های A_s و A_t در A هستند. با توجه به تعریف مفهوم مشابهت اعداد بازه‌ای، مشابهت $A_s \geq A_t$ برای A_s و A_t در A به شکل رابطه (16) تعیین می‌شود.

$$p(A_s \geq A_t) = p(\bar{\gamma}_s \geq \bar{\gamma}_t) = \max \left\{ 1 - \max \left\{ \frac{\gamma_t^{(2)} - \gamma_s^{(1)}}{L(\bar{\gamma}_s) + L(\bar{\gamma}_t)}, 0 \right\}, 0 \right\} \quad \text{رابطه (16)}$$

where $\bar{\gamma}_s = [\gamma_s^{(1)}, \gamma_s^{(2)}], \bar{\gamma}_t = [\gamma_t^{(1)}, \gamma_t^{(2)}], L(\bar{\gamma}_s) = \gamma_s^{(2)} - \gamma_s^{(1)}, L(\bar{\gamma}_t) = \gamma_t^{(2)} - \gamma_t^{(1)}$
 بر اساس این ماتریس، می‌توان ماتریس مشابهت را مطابق با رابطه (17) محاسبه نمود.

$$P = (p_{st})_{m \times m} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (17)}$$

که در این رابطه $p_{st} = p(A_s \geq A_t) (s, t = 1, 2, \dots, m)$ می‌باشد. از آنجا که ماتریس P ماتریس قضاوت تکمیلی فازی است؛ درجه بهینه عضویت گزینه A_i مطابق رابطه (18) حاصل می‌گردد.

$$V_i = \frac{1}{m(m-1)} \left(\sum_{r=1}^m p_{ir} + \frac{m}{2} - 1 \right) \quad \text{رابطه (18)}$$

بنابراین بردار ترتیب $V = (V_1, V_2, \dots, V_m)$ برای گزینه‌ها حاصل شده و اساس رتبه‌بندی گزینه‌ها خواهد بود. به این ترتیب، هرچه مقدار V_i بیشتر باشد گزینه A_i اولویت بالاتری دارد.

4- مورد مطالعه

شرکت مهندسی مشاور فراطرح آریانا، بیش از یک دهه است که در صنعت ساخت‌وساز فعالیت نموده و طراح و ناظر اجرایی بیش از چهار میلیون مترمربع ساختمان در قالب پروژه‌های متعدد بوده است. تجربه بالای این شرکت در مشاوره و نظارت بر ساخت پروژه‌های ساختمانی، تعدد پروژه‌ها و پراکندگی آن در سراسر کشور موجب شده تا مدیران این شرکت، دید وسیعی نسبت به خطرات حرفه‌ای در صنعت ساختمانی داشته و بتوانند ارزیابی دقیقی از این خطرات داشته باشند. به منظور انجام این تحقیق، مجموعه خطرات حرفه‌ای صنعت ساخت‌وساز که در تحقیقات قبلی شناسایی شده‌اند، استخراج، و با نظر مدیران و خبرگان شرکت بومی‌سازی شده‌اند. این عوامل در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2- لیست خطرات حرفه‌ای شناسایی شده در صنعت ساختمان

منابع							عنوان ریسک	کد ریسک
(Pinto, 2014)	(Im, et al., 2009)	(Ale, et al., 2008)	(Müngen & Gürcanli, 2005)	(Al-Anbari, Khalina, Alnuaimi, Normariah, & Yahya, 2015)	(Gürcanli & Müngen, 2009)	(Liu & Tsai, 2012)		

*	*	*	*	*	*	*	سقوط از ارتفاع	F1
*		*	*	*	*	*	سقوط اشیا	F2
*	*	*	*	*	*	*	آسیب دیدگی ناشی از برخورد با اشیا و حوادث	F3
*	*		*	*	*	*	انفجار و آتش سوزی	F4
*	*		*		*	*	برق گرفتگی	F5
*	*		*		*	*	فرو ریختگی	F6
	*	*		*			محبوس شدن کارگران	F7
				*		*	مواد سمی و خطرناک	F8
				*			سر خوردن	F9
				*		*	دمای خیلی زیاد یا خیلی کم	F10
				*			سر و صدا	F11
				*			تشعشعات مضر	F12
				*			گرد و غبار	F13
				*			خستگی	F14
						*	شکستگی ها و ضایعات استخوانی	F15
						*	خرابی دستگاه ها	F16
						*	رفتارهای خطر آفرین	F17
				*			فشار هوای بالا یا پایین	F18

5- تجزیه و تحلیل داده‌ها

مطابق با مراحل مختلف تحقیق، که پیش‌تر در بیان گردید، خطرات شناسایی شده که بر اساس نظر خبرگان و اعضای کمیته تخصصی نهایی شده بودند، در این مرحله بر اساس مقیاس موجود در جدول 1 مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج این ارزیابی که حاصل اجماع اعضای کمیته تخصصی می‌باشد در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- جدول تصمیم بر اساس نظر خبرگان

قابلیت پیش‌بینی ریسک	شدت آثار وقوع ریسک	میزان رایج بودن وقوع ریسک	معیارها
			گزینه‌ها
منفی	مثبت	مثبت	
G	G	P	F1
MG	MG	G	F2
MG	M	MG	F3
M	VG	P	F4
G	VG	MP	F5
M	G	VP	F6
M	MP	VP	F7
VG	G	P	F8
MG	MP	MG	F9
G	MP	MG	F10
G	M	M	F11
G	G	VP	F12
MG	M	VG	F13
MG	G	G	F14

قابلیت پیش‌بینی ریسک	شدت آثار وقوع ریسک	میزان رایج بودن وقوع ریسک	معیارها
			گزینه‌ها
منفی	مثبت	مثبت	F15
MG	G	MG	F16
G	M	M	F17
G	G	VG	F18
M	VP	VP	

پس از جایگزینی مقادیر متغیرهای زبانی با اعداد فازی مثلثی و مقادیر بازه‌ای بر اساس جدول 1، ماتریس تصمیم حاصل، بر اساس روابط (5) و (6) نرمال‌سازی شده و ماتریس تصمیم نرمال تشکیل می‌گردد. بر اساس گام‌های روش توسعه یافته GRA فازی پویا، لازم است تا سری‌های مرجع از طریق رابطه (9) محاسبه شده و فاصله از مقادیر مرجع نیز با استفاده از رابطه (10) تعیین گردد. در ادامه از رابطه (13) بمنظور محاسبه ضرایب روابط خاکستری استفاده می‌شود. فاصله مقادیر مورد مقایسه از مقدار مرجع و نیز ضرایب روابط خاکستری در قالب جدول 4 قابل مشاهده می‌باشد.

جدول 4- محاسبه فاصله مقادیر مورد مقایسه از مقدار مرجع

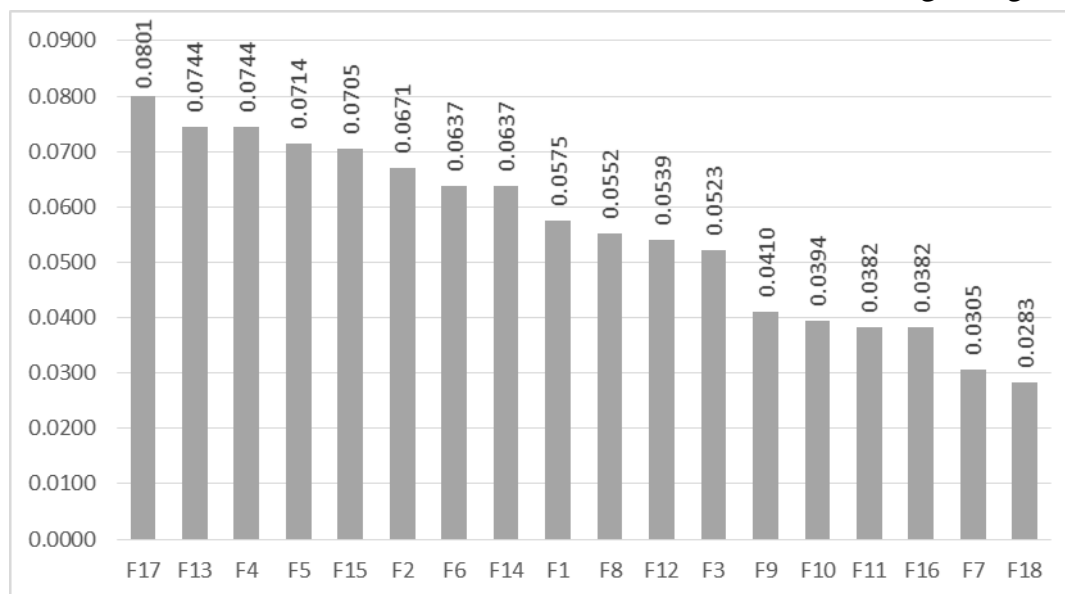
$\xi = [\xi_{ij}^{(1)}, \xi_{ij}^{(2)}]$			$\delta = [\delta_{ij}^{(1)}, \delta_{ij}^{(2)}]$			کد ریسک
[0/431, 0/473]	[0/794, 0/756]	[0/375, 0/417]	[0/674, 0/714]	[0/155, 0/268]	[0/844, 0/871]	F1
[0/460, 0/501]	[0/631, 0/657]	[0/794, 0/756]	[0/601, 0/646]	[0/314, 0/380]	[0/155, 0/268]	F2
[0/460, 0/501]	[0/511, 0/544]	[0/631, 0/657]	[0/601, 0/646]	[0/495, 0/558]	[0/314, 0/380]	F3
[0/532, 0/571]	[1/000, 1/000]	[0/375, 0/417]	[0/458, 0/509]	[0/029, 0/087]	[0/844, 0/871]	F4
[0/431, 0/473]	[1/000, 1/000]	[0/426, 0/458]	[0/674, 0/714]	[0/029, 0/087]	[0/687, 0/752]	F5
[0/532, 0/571]	[0/794, 0/756]	[0/354, 0/394]	[0/458, 0/509]	[0/155, 0/268]	[0/918, 0/951]	F6
[0/532, 0/571]	[0/426, 0/458]	[0/354, 0/394]	[0/458, 0/509]	[0/687, 0/752]	[0/918, 0/951]	F7
[0/408, 0/460]	[0/794, 0/756]	[0/375, 0/417]	[0/736, 0/746]	[0/155, 0/268]	[0/844, 0/871]	F8
[0/460, 0/501]	[0/426, 0/458]	[0/631, 0/657]	[0/601, 0/646]	[0/687, 0/752]	[0/314, 0/380]	F9
[0/431, 0/473]	[0/426, 0/458]	[0/631, 0/657]	[0/674, 0/714]	[0/687, 0/752]	[0/314, 0/380]	F10
[0/431, 0/473]	[0/511, 0/544]	[0/511, 0/544]	[0/674, 0/714]	[0/495, 0/558]	[0/495, 0/558]	F11
[0/431, 0/473]	[0/794, 0/756]	[0/354, 0/394]	[0/674, 0/714]	[0/155, 0/268]	[0/918, 0/951]	F12
[0/460, 0/501]	[0/511, 0/544]	[1/000, 1/000]	[0/601, 0/646]	[0/495, 0/558]	[0/029, 0/087]	F13
[0/460, 0/501]	[0/794, 0/756]	[0/794, 0/756]	[0/601, 0/646]	[0/155, 0/268]	[0/155, 0/268]	F14
[0/460, 0/501]	[0/794, 0/756]	[0/631, 0/657]	[0/601, 0/646]	[0/155, 0/268]	[0/314, 0/380]	F15
[0/431, 0/473]	[0/511, 0/544]	[0/511, 0/544]	[0/674, 0/714]	[0/495, 0/558]	[0/495, 0/558]	F16
[0/431, 0/473]	[0/794, 0/756]	[1/000, 1/000]	[0/674, 0/714]	[0/155, 0/268]	[0/029, 0/087]	F17
[0/532, 0/571]	[0/354, 0/394]	[0/354, 0/394]	[0/458, 0/509]	[0/918, 0/951]	[0/918, 0/951]	F18

در این مرحله با بهره‌گیری از رابطه (15) وزن معیارها محاسبه می‌شوند. وزن بدست آمده در جدول 5 نشان داده شده است.

جدول 5- وزن معیارها

معیارها	میزان رایج بودن وقوع ریسک	شدت آثار وقوع ریسک	قابلیت پیش‌بینی ریسک
وزن	0/33390029	0/38478101	0/2813187

حال با استفاده از رابطه (16)، ماتریس مشابهت نشان داده شده در رابطه (17) استخراج شده و در نهایت با بهره‌گیری از رابطه (18)، امتیاز هر گزینه مشخص می‌شود. امتیاز حاصل شده و نیز ترتیب نهایی گزینه‌ها بر اساس اهمیت در شکل 3 نشان داده شده است.



شکل 3- امتیاز هر ریسک به ترتیب اولویت

بر این اساس مشاهده می‌شود که خطر رفتارهای خطرآفرین به عنوان مهم‌ترین ریسک در صنعت ساخت‌وساز، مطرح است. همچنین بروز گرد و غبار نیز به عنوان یکی از خطرات مهمی که سلامتی کارکنان را تهدید می‌کند، در جایگاه دوم قرار گرفته است. بر همین اساس، محبوس شدن کارگران و فشار هوای بالا یا پایین نیز به عنوان کم اهمیت‌ترین خطرات حرفه‌ای این صنعت ارزیابی شده‌اند.

6- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بروز خطرات حرفه‌ای در هر صنعتی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد که هر ساله موجب بروز خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود و همین مسأله ضرورت ارزیابی و تحلیل این خطرات در صنایع مختلف را بیشتر نمایان می‌سازد. اهمیت بالای صنعت ساخت‌وساز، ویژگی‌های ذاتی خطرآفرین و نیز آمار بالای بروز حوادث و سوانح در آن، موجب شده تا مسأله ارزیابی خطرات حرفه‌ای در این صنعت اهمیت بیشتری پیدا کند. از آنجا که اغلب تحقیقات انجام شده در این زمینه به صورت کیفی بوده و یا خطرات شناسایی شده با استفاده از اعداد قطعی ارزیابی شده‌اند؛ لذا فاقد دقت لازم می‌باشند. از این رو در این تحقیق از روش تلفیقی FMEA و GRA در محیط فازی پویا استفاده شده تا ارزیابی دقیق‌تری در این خصوص انجام شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد از میان معیارهای سه‌گانه ارزیابی ریسک در روش FMEA، شدت آثار ریسک بیشترین وزن را داشته و به همین ترتیب میزان رواج ریسک، و قابلیت پیش‌بینی آن در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند. بر این اساس، انجام رفتارهای پر خطر از جانب کارگران مهم‌ترین خطر حرفه‌ای در این صنعت از دید خبرگان برآورد شده است. این مورد یکی از رایج‌ترین خطراتی است که در محیط‌های کاری این صنعت رخ می‌دهد و نیز به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن رفتار افراد، احتمال پیش‌بینی بروز این نوع

رفتارها نیز کم است. همین مسأله باعث می‌شود تا این نوع رفتارها به‌عنوان مهم‌ترین خطر حرفه‌ای در این صنعت تلقی شود. لیو و تیسای (2012) نیز مجموعه رفتارهای پر خطر کارکنان را به‌عنوان مهم‌ترین دلیل ایجاد انواع آسیب‌های شغلی در صنعت ساخت‌وساز شناسایی کرده‌اند (Liu & Tsai, 2012). بنابراین لازم است برای جلوگیری از بروز چنین خطراتی، آموزش‌های بیشتری به کارگران داده شده تا ضمن افزایش آگاهی آنان از عواقب رفتارهای پرخطر، احتمال بروز این حوادث کاهش یابد. بروز گرد و غبار، دومین خطر شغلی در شرکت مورد مطالعه قلمداد شده است. اگرچه بر اساس نظر خبرگان، بروز گرد و غبار از حیث شدت آثار برجای گذاشته چندان حائز اهمیت نیست؛ اما شیوع آن در سال‌های اخیر، میزان رایج بودن آن را تا حد زیادی افزایش داده که همین امر موجب قرارگیری آن در جایگاه دوم شده است. وابستگی کامل این ریسک، به شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی، از جمله دلایلی است که اهمیت این ریسک را با سایر تحقیقات، متفاوت می‌سازد. به همین ترتیب خطر انفجار و آتش‌سوزی با اختلافی بسیار جزئی در رده بعدی قرار گرفته است. اهمیت بالای این خطرات در پژوهش‌هایی چون (Liu & Tsai, 2012; Im, et al., 2009) تأیید شده است.

مدل ارائه شده در این تحقیق از جمله مدل‌های بدیع در ارزیابی ریسک تلقی شده و به‌دلیل استفاده از منطق فازی پویا به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در فرآیند ارزیابی ریسک را پوشش می‌دهد. همچنین استفاده از رویکرد تلفیقی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تکنیک FMEA موجب شده تا بسیاری از انتقادات وارد شده به مدل سنتی FMEA رفع گردد. تخصیص وزن منحصر به فرد به هر یک از شاخص‌های چارچوب FMEA، وجود پشتوانه منطقی ریاضی برای فرآیند رتبه‌بندی گزینه‌ها، لحاظ نمودن تمایز وضعیت گزینه‌ها در معیارهای مختلف بر اساس منطق ریاضی و موارد دیگری از این دست، از جمله مزایایی است که در رویکرد مورد استفاده در این تحقیق اعمال شده و انتقادات وارد بر FMEA را برطرف می‌سازد.

7- مراجع

- Al-Anbari, S., Khalina, A., Alnuaimi, A., Normariah, A., & Yahya, A. (2015). Risk assessment of safety and health (RASH) for building construction. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 149-158.
- Ale, B. J., Bellamy, L. J., Baksteen, H., Damen, M., Goossens, L. H., Hale, A. R., & Whiston, J. Y. (2008). Accidents in the construction industry in the Netherlands: an analysis of accident reports using Storybuilder. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(10), 1523-1533.
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2010). A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA. *International Journal of Systems Science*, 41(12), 1457-1471.
- Chi, C. F., & Wu, M. L. (1997). Effects of age and occupation on occupational fatality rates. *Safety Science*, 27(1), 1-17.
- Güranlı, G., & Müngen, U. (2009). An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 371-387.
- Im, H.-J., Kwon, Y.-J., Kim, S.-G., Kim, Y.-K., Ju, Y.-S., & Lee, H.-P. (2009). The characteristics of fatal occupational injuries in Korea's construction industry, 1997-2004. *Safety Science*, 47, 1159-1162.
- Julong, D. (1989). Introduction to grey system theory. *The Journal of grey system*, 1(1), 1-24.

- Liu, H., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12926-12934.
- Liu, H.-T., & Tsai, Y.-I. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. *Safety Science*, 50, 1067-1078.
- Liu, J., Guo, L., Jiang, J., Hao, L., Liu, R., & Wang, P. (2015). Evaluation and selection of emergency treatment technology based on dynamic fuzzy GRA method for chemical contingency spills. *Journal of hazardous materials*, 299, 306-315.
- Müngen, U., & Gürcanli, G. E. (2005). Fatal traffic accidents in the Turkish construction industry. *Safety science*, 43(5), 299-322.
- Pinto, A. (2014). QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Science*, 63, 57-76.
- Ravi Sankar, N., & Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 324-336.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. ASQ Quality Press.
- Wood, G. D., & Ellis, R. C. (2003). Risk management practices of leading UK cost consults. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 10(4), 254-262.