

## ارزیابی خطرهای HSE در ساخت و سازهای بلند مرتبه شهری با رویکرد فازی

عبداله اردشیر<sup>۱</sup> - رضا مکنون<sup>۲\*</sup> - محمد رکاب اسلامی زاده<sup>۳</sup> - زینب جهانتاب<sup>۴</sup>

ardeshir53@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۹

### چکیده

**مقدمه:** پروژه های بلند مرتبه سازی به دلیل افزایش جمعیت، توسعه شهرها و همچنین مهاجرت افراد به شهرهای بزرگ روز به روز رو به افزایش هستند و به دلیل این که این پروژه های عمرانی در درون شهرها واقع اند و در تماس مستقیم با مردم شهر می باشند، از لحاظ خطرهای HSE از اهمیت ویژه ای نسبت به سایر پروژه های عمرانی برخوردارند. از طرفی در اکثر حوادث و رویدادها، سازمان ها نسبت به هزینه واقعی آن بینش کافی ندارند. بنابراین شناسایی و ارزیابی و مدیریت خطرهای HSE بسیار ضروری و مهم است.

**روش کار:** در این مقاله خطرهای HSE در ساخت پروژه های بلند مرتبه که بر سلامت افراد و محیط زیست اثر منفی دارند، شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی شدند. خطرها از طریق چک لیست و مصاحبه با افراد با سابقه در زمینه بلند مرتبه سازی شناسایی و ارزیابی شده و برای کمی سازی با توجه به ماهیت مبهم خطرها و وجود عدم قطعیت از ترکیب اعداد فازی و روش تحلیلی سلسله مراتبی AHP استفاده گردید. در نهایت پس از ارزیابی، خطرها برای پاسخ رتبه بندی می شدند.

**یافته ها:** با استفاده از روش AHP وزن ۰/۳۴۶ برای بهداشت، ۰/۳ برای ایمنی و ۰/۳۵۴ برای محیط زیست به دست آمد. از این اعداد می توان به این نتیجه رسید که در سلامت افراد در مجموعه کارگاه و بیرون از آن، خطرهای محیط زیستی و بهداشتی از خطرهای ایمنی مهم تر هستند.

**نتیجه گیری:** نتایجی که از این تحقیق به دست آمد نشان داد که خطرهای HSE بسیار بحرانی هستند و باید در پروژه های عمرانی قبل از شروع پروژه برای کنترل آن ها اقداماتی انجام شود. همچنین نتایج دیگر نشان داد که بسیاری از خطرهای HSE به دلیل نبودن فرهنگ درست HSE در سازمان و در پروژه می باشد که می توان با فرهنگ سازی درست بسیاری از خطرهای HSE را کاهش داد.

### کلمات کلیدی: بنزین بدون سرب، تولوئن، زایلین، آزمایشات بیوشیمیایی خون، پمپ بنزین

۱- دانشیار، دانشکده عمران و محیط زیست، رییس پژوهشکده محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استادیار، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- کارشناس ارشد HSE دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۴- کارشناس ارشد معماری، دانشکده معماری دانشگاه هنر اسلامی تبریز

### مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت و شهرنشینی و به تبع آن کمبود زمین باعث شده است که بسیاری از شهرهای دنیا با توجه به محدودیت های بسیار به جای افزایش در افق، به افزایش در ارتفاع و ایجاد سازه های بلند مرتبه روی بیاورند. در بسیاری از شهرهای ایران از جمله تهران به دلیل تجمع افراد در سطحی محدود، بلند مرتبه سازی در سال های اخیر بسیار رواج پیدا کرده است. صنعت بلند مرتبه سازی در کشور ما به دلیل نو بودن با مشکلات زیادی روبه رو می باشد. این ساختمان ها همانند سایر پروژه های عمرانی دارای پیچیدگی و پویایی خاص خود می باشند. در ساخت پروژه های بلند مرتبه عوامل تاثیر گذار زیادی وجود دارد از قبیل: شرایط طبیعی، اقلیم، توپوگرافی، لرزه ای و ... که هر یک از این عوامل دارای خطرهایی می باشند که بر روی هدف (زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی، بهداشت، محیط زیست) پروژه تاثیرگذار می باشد. بنابراین شناسایی و ارزیابی خطرها و رتبه بندی برای پاسخ به آنها در دوران ساخت امری بسیار ضروری و مهم در اتمام پروژه در زمان مشخص و با بودجه و کیفیت مشخص می باشد.

هر ساله میلیون ها حادثه ناشی از کار در دنیا اتفاق می افتد که برخی از این حوادث موجب مرگ و برخی دیگر موجب از کار افتادگی جزئی یا کلی می شوند. برخی دیگر از حوادثی که در خلال پروژه ها اتفاق می افتد، حوادث محیط زیستی می باشد که موجب آسیب به محیط زیست و به طبع آن و در دراز مدت، آسیب به افراد و انسان ها در آینده و نسل های بعد می باشند. به عنوان مثال کارگری را در نظر بگیرید که با آزیست سر و کاردارد و از وسایل حفاظت فردی استفاده نمی کند. برای این کارگر

خطر ابتلا به سرطان در آینده ای نزدیک بسیار محتمل است و در صورت ابتلا به بیماری سرطان نه تنها خودش بلکه آینده خانواده و فرزندانش نیز چون به او وابسته است، تحت تاثیر قرار می گیرد و هزینه بسیار سنگینی به آنها وارد می شود. چه بسا به خاطر موضوع ساده ای مثل استفاده از ماسک هنگام کار، خانواده ای از هم پاشیده شود و مسیر زندگی شان تغییر کند. (Rekab eslami, et al., 2012). در سایه توجه به مسایل ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در کارگاه های ساختمانی علاوه بر پیشگیری از حوادث و بیماری های شغلی، به دستاوردهای مهم دیگری هم چون افزایش بهره وری، تأمین آسایش خاطر، کاهش خطر، بالا بردن کیفیت و کاهش اثرات مخرب زیست محیطی می توان نایل آمد.

آمارها نشان می دهد هزینه متوسطی که جوامع انسانی به طور مستقیم یا غیرمستقیم در قبال حوادث می پردازند در حدود ۳-۲٪ از متوسط تولید ناخالص ملی کشورهای عالم است. این نرخ چیزی در حدود رشد اقتصادی یک ساله برخی کشورهاست. هزینه هر روز غیبت از کار نیز به اندازه ۳-۲ روز کاری فرد است. براساس یک برآورد در کشور ما به طور متوسط در هر ساعت دست کم ۳ نفر به علت حوادث گوناگون جان می سپارند و هزینه عدم رعایت مقررات و اصول ایمنی معادل درآمد صادرات نفت است. بر اساس برآورد سازمان بهداشت جهانی (WHO) و (ILO) هر ساله بیش از ۱/۲ میلیون نفر در اثر حوادث ناشی از کار و بیماری های مربوط به آن جان خود را از دست می دهند و بیش از ۱۶۰ میلیون کارگر دچار حوادث شغلی می شوند (amini, 2009) بنابراین گزارش سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران، به وقوع

می‌پیوندند. (Gharib *et al.*, 2011)

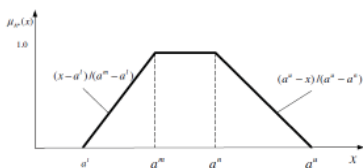
کارگران در برابر ایمنی خودشان، (۱۱) آموزش ناکافی و خستگی از کار (۱۲) انتخاب تجهیزات نامناسب، (۱۳) آگاهی کم مدیر ارشد و مدیر پروژه از ایمنی (۱۴) نبود وسایل بازدارنده و حفاظت کننده (۱۵) کارهای ساخت و ساز دور از مکان زندگی کارگران و (۱۶) استرس طولانی مدت کارگران به دلیل شرایط کار (Pinto *et al.*, 2008) در سال ۲۰۱۱ آنزیریس و همکارانش خطرهای حوادث شغلی در هلند را ارزیابی کردند. مدل آن‌ها خطرهایی را مورد بررسی قرار داد که کارگران با فعالیت های گوناگون و خطرات مختلف، با آن سر و کار دارند. خطرها برای سه نوع از عواقب ارزیابی شدند: صدمات قابل بازگشت، صدمات ماندگار و فوت. در این تحقیق آن‌ها ۶۳ خطر، گوناگون را شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی کردند. (Aneziris *et al.*, 2011) شن و همکارانش در سال ۲۰۰۰ اثرات آلودگی محیط زیست را به دلیل ساخت و ساز به چند دسته تقسیم کردند: دسته اول آلودگی‌هایی که از منابع محیط زیستی مانند سوخت‌های فسیلی و معدنی را استخراج می‌شوند. دسته دوم آلودگی‌هایی که باعث افزایش مصرف منابع عمومی مانند زمین، هوا، آب و انرژی می‌شوند. دسته سوم آلودگی‌هایی که بر محیط زندگی ما تاثیر می‌گذارند مانند آلودگی‌های صوتی، بو، ذرات معلق، لرزش، شیمیایی و مواد زاید جامد (Shen *et al.*, 2000) هندریکسون و هورواث در سال ۲۰۰۰، ۵ مورد از بزرگترین آلاینده‌های هوای ناشی از ساخت و ساز شامل دی کسید سولفور ( $SO_2$ )، دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ )، مواد فرار هیدروکربنی (VOCs)، سم‌هایی که در هوا آزاد می‌شوند و مواد زائد خطرناک تولید شده را شناسایی کردند. آن‌ها انتشار این آلاینده‌ها را برای ۴ دسته از بزرگترین فعالیت های عمرانی در آمریکا مانند

در سال های اخیر مطالعات زیادی بر روی بهداشت، ایمنی و محیط زیست در کارهای عمرانی انجام شده است لیو و پرن در سال ۲۰۰۸ از روش داده کاوی برای به دست آوردن مشخصات مهم حوادث شغلی در صنعت ساخت، بر اساس مطالعه بر روی حوادث شغلی در صنعت ساخت و ساز در تایوان بین سال های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ استفاده کردند و یک دیدگاه برای پایه گذاری و ایجاد استراتژی موثر بازرسی و ایمنی و جلوگیری از حوادث در حین کار، فراهم کردند. (Liao *et al.*, 2008) چی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ آنالیزی بر روی ۲۵۵ مورد از حوادث شغلی مهم و اصلی در صنعت ساخت و ساز انجام دادند. (Chi *et al.*, 2009) پینتو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بیان کردند که ارزیابی خطرهای شغلی در سایت های محیط کاری اولین و اصلی ترین مرحله برای دستیابی به سطح ایمنی کافی، به خصوص برای حمایت از تصمیم گیری در برنامه های ایمنی می باشد. آن‌ها از روش های متداول در ارزیابی خطرهای شغلی در صنعت ساخت و ساز استفاده کردند و درباره محدودیت ها و مزیت های استفاده از مجموعه های فازی برای مقابله با موقعیت های تعریف شده بد، بحث کردند. این افراد در تحقیق خود بر اساس کارهای قبلی تعدادی از دلایل عملکرد مناسب ایمنی را شناسایی نمودند که عبارتند از: (۱) سازمان ضعیف در زمینه ایمنی و کار، (۲) اندازه سازمان، (۳) نبود هماهنگی بین اعضا (۴) فشار اقتصادی و زمانی، (۵) کمبود استاندارد سازی داده ها، (۶) ارتباطات ضعیف در داخل و خارج، (۷) درگیری ضعیف افراد در موضوعات ایمنی، (۸) تغییر پیوسته در سایت کاری و تاثیر بر روی ایمنی و بهداشت، (۹) تخصص کارگران، (۱۰) مسوولیت

می کنند فراهم می نماید. (Ballesteros *et al.*, 2010) این مقاله خطرهای بهداشتی، ایمنی و محیط زیستی در ساخت پروژه های بلند مرتبه را که بر سلامت افراد و محیط زیست اثر منفی دارند را ارزیابی و رتبه بندی می کند. خطرها از طریق چک لیست، مصاحبه با افراد با سابقه در زمینه بلند مرتبه سازی، استانداردها و کارهای قبلی انجام شده در این زمینه شناسایی و ارزیابی شده و برای کمی سازی با توجه به ماهیت مبهم خطرها و وجود عدم قطعیت، از ترکیب اعداد فازی و روش تحلیلی سلسله مراتبی AHP استفاده شده است. در نهایت پس از ارزیابی، خطرها برای پاسخ رتبه بندی می شوند.

#### مجموعه های فازی

یک عدد فازی ذوزنقه ای  $A$  به صورت  $(a, b, c, d)$  نشان داده شده و تابع عضویت آن به صورت زیر نمایش داده می شود: (Kaufmann *et al.*, 1991)



$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \mu_A^L(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \mu_A^R(x) = \frac{c-x}{c-d} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x > d \end{cases}$$

محاسبه جمع، ضرب، تفریق و تقسیم برای دو عدد فازی  $A = (a, b, c, d)$  و  $B = (a_2, b_2, c_2, d_2)$  به صورت زیر است:

$$A \oplus B = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2)$$

$$A \ominus B = (a_1 - b_4, a_2 - b_3, a_3 - b_2, a_4 - b_1).$$

که در این جا منظور از  $\oplus$  و  $\ominus$  جمع فازی و تفریق فازی می باشد. در ضرب اعداد فازی به دلیل

بزرگراه ها، پل و ساختمان های بلند، ساختمان های تجاری و مسکونی و خطوط راه آهن تخمین زدند. یافته های آن ها نشان داد که آلودگی محیط زیستی و تولید مواد زاید خطرناک ناشی از ساخت و ساز در آمریکا نسبت به چیزی که GDP پیشنهاد داده است پایین تر می باشد. (Hendrickson, *et al.*, 2000) الشریف در سال ۲۰۱۰ ساختمان هایی را که در آن ها موارد تخلف در آلودگی آب سطحی مشاهده شده و جریمه ها در سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ در Min-nesota را مورد بحث قرار داد. بیست و یک درصد از این تخلفات توسط آژانس های عمومی انجام می شد. چهل و شش درصد از کل موارد، ناشی از فقدان مجوز ساختمانی آب سطحی بود. افزایش تعداد این تخلفات با توسعه و انفجار ساخت و ساز در اوایل سال ۲۰۰۰ و تغییر در اجرای کارگاه های ساختمانی از بیش از ۵ ایگر به بیش از یک ایگر هم زمان شد. به کارگیری قوانین جدید توسعه یافته، افزایش مسوولیت آژانس های اجرایی ایالتی را در پی داشت. از این رو، پیشنهاد گردید که موسسات باید روش های نوینی را جهت اجرای قوانین شامل موسسات دولتی محلی به کار گیرند (Alsharif, 2010) سال ۲۰۱۰ بالستروس و همکارانش یک روش اندازه گیری مناسب برای صدای تولید شده توسط فعالیت های ساختمانی ارائه کردند. این روش در مطالعه صدای منتشر شده در حین ساخت و ساز یک آپارتمان ۲۶ طبقه مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی های انتشار صدا برای هر مرحله تحلیل شده و نتایج به دست آمد. سپس مقایسه ای میان آن ها به منظور تعیین انتشار صدای فرآیند ساخت و ساز انجام شد. آگاهی از این مشخصات فرصت اندازه گیری برای کنترل صدا و تحلیل اثرات صوتی که چنین فعالیت هایی را در نواحی نزدیک تولید

گروه متخصصین با رویکردها، تخصص‌ها و سوابق مختلف می‌باشند، به‌طور مثال مدیر پروژه، رییس کارگاه و... پرسش‌نامه‌ها با استفاده از قضاوت این افراد تکمیل می‌شوند و به هر متخصص با در نظر گرفتن سلیقه و سابقه‌ای که در زمینه کاری خود دارد، یک ضریب به نام ضریب مشارکت داده می‌شود که این ضریب با تغییر شرایط پروژه و افراد تغییر می‌کند. (Zeng et al., 2007)

$$C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_k + \dots + C_m = 1$$

که  $C_k$  ضریب مشارکت متخصص  $k$ ام و  $m$  تعداد متخصصان تیم مدیریت خطر.

#### شناسایی خطر

هدف از این مرحله شناسایی بیشتر خطرهای می‌باشد، زیرا تا خطری شناخته نشود سایر مراحل مدیریت خطر بر روی آن صورت نمی‌گیرد. روش‌های مختلفی برای شناسایی خطرهای وجود دارد. (Rafiee zadeh et al., 2009)

در این مقاله خطرها از طریق مصاحبه و هم‌فکری با افراد متخصص در زمینه بلندمرتبه‌سازی و HSE و نیز چک‌لیست‌های مبحث دوازدهم مقررات ملی ساختمان، شناسایی و سپس دسته‌بندی شدند. (Lahooti et al., 2011) و (Adibi, 2011) در شناسایی خطرهای باید تمام عوامل بالقوه که پروژه را تهدید می‌کنند مورد بررسی قرار بگیرند. این مرحله بسیار مهم است، زیرا فرایند تحلیل و ارزیابی خطر و پاسخ به خطر در مورد خطرهای شناسایی شده انجام می‌شود (Nieto-Morote et al., 2011)

#### تعریف توابع عامل خطر

عامل خطر (RF) توسط دو پارامتر اندازه‌گیری می‌شود. احتمال وقوع خطر (RP) و شدت اثر خطر

پیچیدگی از  $\alpha$ -cut استفاده می‌کنیم.  $\alpha$ -cut مجموعه فازی  $A$  با تابع عضویت  $\mu_A(x)$ ، یک مجموعه غیر فازی از تمام اعدادی است که درجه عضویت آن‌ها بزرگتر یا مساوی  $\alpha$  باشند یعنی (Klir et al., 1995):

$$A^\alpha = \{x \mid \alpha \leq \mu_A(x), 1 \leq \alpha \leq 0\}$$

و به صورت  $[A_l^\alpha, A_u^\alpha]$  نمایش داده می‌شود که  $A_l^\alpha$  مرز پایین و  $A_u^\alpha$  مرز بالای  $A^\alpha$  است.

$$A^\alpha = [A_l^\alpha, A_u^\alpha]$$

و برای عدد فازی  $A = (a_1, b_1, c_1, d_1)$  خواهیم داشت:

$$A_l^\alpha = (b_1 - a_1) \times \alpha + a_1$$

$$A_u^\alpha = -(d_1 - c_1) \times \alpha + d_1$$

برای دو عدد بازه‌ای  $P = [a, b]$  و  $Q = [c, d]$

عملیات ضرب و تقسیم به صورت زیر می‌باشد:

$$p \times q = [\min(ac, ad, bc, bd), \max(ac, ad, bc, bd)]$$

$$p \div q = [a, b] \times \left[\frac{1}{d}, \frac{1}{c}\right] = \left[\min\left(\frac{a}{d}, \frac{a}{c}, \frac{b}{d}, \frac{b}{c}\right), \max\left(\frac{a}{d}, \frac{a}{c}, \frac{b}{d}, \frac{b}{c}\right)\right]$$

همان‌طور که در قبل گفتیم، ضرب و تقسیم اعداد فازی با استفاده از  $\alpha$ -cut انجام می‌شود، به عبارتی برای دو عدد فازی  $A$  و  $B$  با مقطع  $\alpha$ ،  $A^\alpha = [A_l^\alpha, A_u^\alpha]$  و  $B^\alpha = [B_l^\alpha, B_u^\alpha]$  داریم:

$$A \otimes B = (A \times B)^\alpha = [A_l^\alpha, A_u^\alpha] \otimes [B_l^\alpha, B_u^\alpha]$$

$$A \phi B = (A \div B)^\alpha = [A_l^\alpha, A_u^\alpha] \phi [B_l^\alpha, B_u^\alpha]$$

که  $\otimes$  و  $\phi$  به ترتیب نماد ضرب و تقسیم اعداد فازی می‌باشد. طبق اصل توسعه برای عدد فازی  $A$  داریم: (Klir et al., 1995)

#### روش کار

##### تشکیل تیم پروژه

برای بررسی خطرهای ابتدا یک گروه برای ارزیابی آن‌ها تشکیل می‌شود. افراد عضو این

اشتراک هر متخصص و m تعداد متخصصین در گروه ارزیابی خطر می‌باشد.

#### اندازه‌گیری پارامترهای RI

وزن هر عامل از طریق مقایسه دو به دو عوامل خطر توسط قضاوت متخصصین و با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی به دست می‌آید. مقادیر عددی فازی برای متغیرهای زبانی با استفاده از جدول شماره ۲ به دست می‌آیند. (Nieto-Morote et al., 2011) برای هر یک از اعضای گروه ماتریس مقایسه زوجی خطرهای مطابق رابطه‌ای زیر برای گروه g و سطح l به صورت زیر به دست می‌آید:

$$M = [A_{ij}] = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & A_{1,n} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & A_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \dots & A_{n,n} \end{bmatrix} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$W_{ij} = W_{ij1} \otimes c_1 \oplus W_{ij2} \otimes c_2 \oplus \dots \oplus W_{ijm} \otimes c_m$$

i و j خطر در گروه g و سطح l در ساختار شکست خطر و m تعداد اعضای گروه ارزیابی خطر می‌باشد.

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$W_i$  وزن هر عامل در گروه خودش می‌باشد. پس از آن که وزن هر عامل در گروه خودش به دست آمد، باید وزن هر عامل را در کل به دست آوریم.

RI). پارامتر شدت اثر خطر شامل پتانسیل اثر هر عامل بر روی هدف پروژه از قبیل: زمان، هزینه و کیفیت و سلامت افراد و محیط زیست می‌باشد.

$$RF = RI + RP - (RI \times RP)$$

#### تعریف پارامترهای زبانی

پارامترهای زبانی که برای ارزیابی پارامترهای خطر، RI و RP استفاده می‌شوند، عبارتند از: (Nieto-Morote et al., 2011)

\*- برای (RI) پنج واژه زبانی استفاده شده است: خیلی کم (VL) کم (L)، مساوی (S)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH)

\*- برای (RP) پنج واژه زبانی استفاده شده است: خیلی کم (VL) کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH)

#### اندازه‌گیری پارامترهای RP

RP در پایین ساختار شکست در هر سطح به وسیله تمام افراد در گروه ارزیابی خطر از طریق پارامترهای زبانی اندازه‌گیری می‌شود. پس از آن متغیرهای زبانی باید به اعداد فازی تبدیل شوند. (Nieto-Morote et al., 2011)

$$RP_i = RP_{i1} \otimes c_1 \oplus RP_{i2} \otimes c_2 \oplus \dots \oplus RP_{im} \otimes c_m$$

$RP_i$  متوسط اعداد فازی داده شده برای شدت احتمال وقوع خطر i ام محسوب می‌شود. C ضریب

جدول ۱. تعریف عدد فازی RP

RP	تعریف	علامت اختصاری	عدد فازی
خیلی زیاد	به دفعات زیاد اتفاق می‌افتد	VH	(0.5,0.67,1,1)
زیاد	بارها اتفاق می‌افتد	H	(0.215,0.33,0.5,0.67)
متوسط	معمولاً اتفاق می‌افتد	M	(0.05,0.1,0.215,0.33)
کم	گاهی اتفاق می‌افتد	L	(0,0.01,0.05,0.1)
خیلی کم	به ندرت اتفاق می‌افتد	VL	(0,0,0,0.01)

جدول ۲. تعریف عدد فازی برای مقایسه زوجی شدت اثر (RI)

توصیف	علامت اختصاری	عدد فازی
ارجحیت عامل A نسبت به عامل B خیلی زیاد است	VH	(0.7,1,1,1)
ارجحیت عامل A نسبت به عامل B زیاد است	H	(0.5,0.75,0.75,0.1)
ارجحیت عامل A برابر عامل B است	S	(0.3,0.5,0.5,0.7)
ارجحیت عامل A نسبت به عامل B کم است	L	(0,0.25,0.25,0.5)
ارجحیت عامل A نسبت به عامل B خیلی کم است	VL	(0,0,0,0.3)

جدول ۳. شاخص تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
CR	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

### استنتاج فازی

در این مرحله RI و RP به دست آمده از مراحل قبل را به عدد فازی که خطر کلی پروژه را بیان می‌کند، تبدیل می‌کنیم:

$$ORF_i = RI_i \oplus RP_i - (RI_i \otimes RP_i)$$

### فازی زدایی

فازی زدایی از اعداد فازی یک فرایند بسیار مهم برای ارزیابی خطر در محیط فازی می‌باشد. برای فازی زدایی چندین روش وجود دارد که در این مقاله از روش متوسط ماکزیمم‌ها (MOM) استفاده می‌کنیم.

$$(RF_T)_i = \frac{M_1 + M_2}{2}$$

### یافته‌ها

#### تشکیل تیم پروژه

برای بررسی خطرها ابتدا یک گروه برای ارزیابی خطرها تشکیل داده شد. افراد عضو این گروه ۳۵ نفر از متخصصین با رویکردها، تخصص‌ها و سوابق مختلف در زمینه بلند مرتبه سازی در شهر تهران می‌باشند. برای دادن ضریب به افراد گروه ارزیابی خطر، سابقه کاری در زمینه بلند مرتبه سازی، میزان تحصیلات و رشته تحصیلی ملاک قرار داده شد.

برای این کار اگر فرض کنیم که عامل  $i$  ام،  $t$  سطح بالاتر از خودش در ساختار شکست خطر داشته باشد و  $W_{section}^i$  وزن هر عامل در  $i$  امین سطح ساختار شکست باشد که عامل  $F_i$  زیر شاخه آن است، آن‌گاه وزن  $F_i$  در کل به صورت زیر به دست می‌آید: (Del Cano *et al.*, 2002)

$$W' = W_i \times \prod_{i=1}^t W_{section}^i$$

$W'$  مقدار وزن هر عامل در کل می‌باشد. یا به عبارتی شدت اثر کلی هر خطر عبارت است از:

$$RI = W_i \times \prod_{i=1}^t W_{section}^i$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$\lambda_{max}$  میانگین عناصر برداری سازگاری می‌باشد و  $n$  عبارتست از تعداد گزینه‌های موجود در مساله

CR: نرخ سازگاری می‌باشد و RI در این جا شاخص

تصادفی می‌باشد که از جدول زیر به دست می‌آید:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

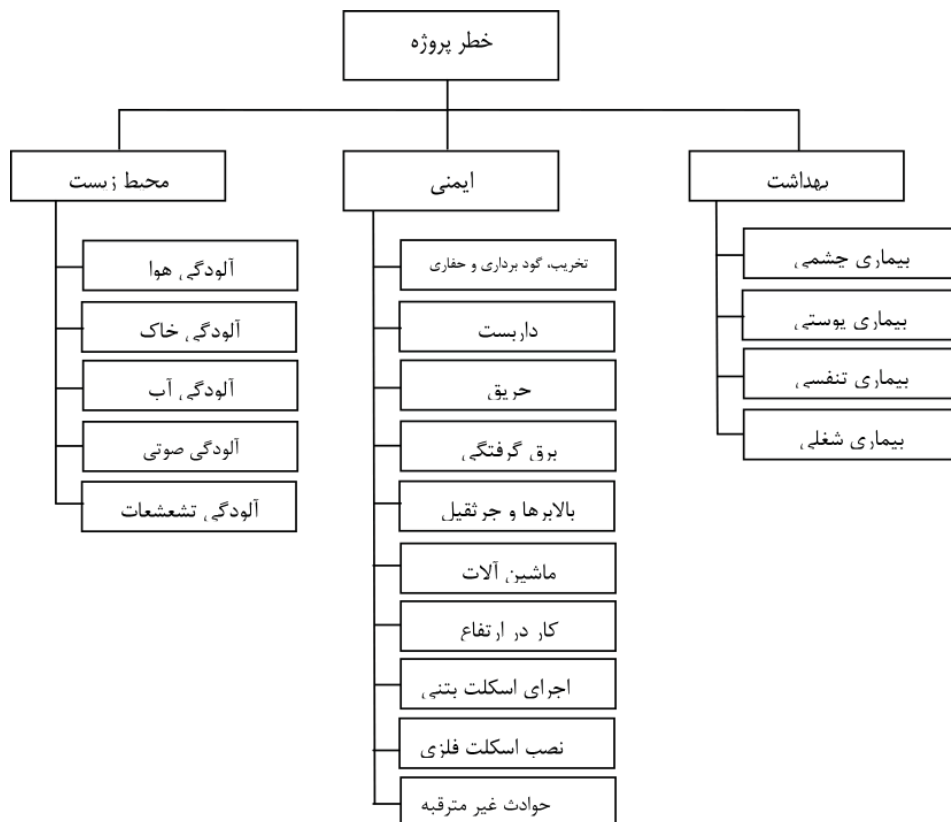
نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر سازگاری در

مقیاسات را بیان می‌کند. (Godsipour, 2011)

## شناسایی خطر

برای شناسایی بهتر خطرهای HSE در کارگاه‌های بلند مرتبه‌سازی، خطرها به سه گروه اصلی بهداشت، ایمنی و محیط زیست تقسیم شدند. در گروه بهداشت، برای شناسایی بهتر خطرها، با توجه به اعضای اصلی آسیب پذیر در بدن، خطرهای بهداشتی در کارگاه‌های بلند مرتبه سازی به ۴ گروه خطر آسیب به چشم، پوست، سیستم تنفس و بیماری‌های شغلی تقسیم شد. در واقع گروه بیماری‌های شغلی شامل تمام صدماتی می‌شود که به اعضای بدن به جز چشم و پوست و سیستم تنفسی وارد می‌شود و سلامت افراد را تهدید می‌کند، مانند بیماری‌های گوارشی ناشی از آلودگی‌های آب، بیماری‌های ناشی از گرما و سرمای زیاد، بیماری‌های روانی و ...

خطرهای گروه ایمنی با توجه به عوامل زیان‌آور محیط کار در کارگاه‌ها دسته‌بندی شده‌اند. این عوامل می‌توانند به دو دسته نوع عملیات و خطرات اصلی تقسیم شوند. در گروه عملیات، تمام خطرهایی که در آن عملیات سلامت افراد درگیر در پروژه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، مد نظر می‌باشد. یک‌سری از خطرها نیز وجود دارد که مربوط به هیچ‌کدام از گروه‌های اصلی عملیاتی نمی‌باشند و ممکن است در تمام دوران ساخت ایجاد شوند مانند حریق که ممکن است در اثر استعمال دخانیات در هر مرحله از کار، به وقوع بپیوندد و فاجعه به وجود بیاید. این خطرها نیز به صورت گروه جداگانه در شناسایی خطرها قرار داده شده است. خطرهای گروه محیط زیست با توجه به عواملی دسته بندی شدند که محیط زیست را به



شکل ۱. ساختار شکست ریسک‌های HSE



ارزیابی خطر

ابتدا از طریق روش AHP فازی گروه‌های خطر اولویت بندی شده و پس از آن خطرهای موجود در هر گروه به ترتیب الویت ارزیابی می‌شوند. برای این کار ابتدا ماتریس مقایسه زوجی بین گروه‌های اصلی بهداشت، ایمنی و محیط زیست را تشکیل داده و وزن هر عامل را مطابق قسمت ۳-۶ به دست می‌آوریم. پس از محاسبات وزن عامل بهداشت ۰/۳۴۶، عامل ایمنی ۰/۳ و عامل محیط زیست ۰/۳۵۴ با نرخ سازگاری ۰/۰۱ به دست آمد.

طور مستقیم و سلامت افراد را به طور غیر مستقیم تهدید می‌کند.

برای شناسایی خطرهای هر گروه، از چک‌لیست‌های موجود و کارهای قبلی انجام شده و مصاحبه با متخصصین در زمینه بلند مرتبه سازی استفاده شد و پس از شناسایی نهایی خطرها، پرسش‌نامه ای طراحی و از متخصصین خواسته شد که به تمامی خطرهای پروژه در هر سه گروه پاسخ دهند و شدت اثر و احتمال وقوع هر خطر را بیان کنند.

جدول ۴. محاسبه  $\alpha$ -cut و عامل خطر برای خطر داربست

$\alpha$	شدت اثر (I)		احتمال وقوع (P)		P+I		PxI		RF=P+I-(PxI)	
0	0.252556	0.160463	0.444349	0.146622	0.696905	0.307085	0.112223	0.023527	0.67337	0.1948615
0.1	0.248408	0.165068	0.435474	0.153849	0.683882	0.318916	0.108175	0.025395	0.65848	0.2107411
0.2	0.24426	0.169672	0.4266	0.161076	0.67086	0.330748	0.104201	0.02733	0.64352	0.2265470
0.3	0.240112	0.174277	0.417725	0.168303	0.657837	0.34258	0.100301	0.029331	0.62850	0.2422794
0.4	0.235964	0.178882	0.40885	0.175531	0.644815	0.354412	0.096474	0.031399	0.61341	0.2579381
0.5	0.231817	0.183486	0.399975	0.182758	0.631792	0.366244	0.092721	0.033534	0.59825	0.2735232
0.6	0.227669	0.188091	0.391101	0.189985	0.618769	0.378076	0.089041	0.035734	0.58303	0.2890346
0.7	0.223521	0.192695	0.382226	0.197213	0.605747	0.389908	0.085435	0.038002	0.56774	0.3044725
0.8	0.219373	0.1973	0.373351	0.20444	0.592724	0.40174	0.081903	0.040336	0.55238	0.3198367
0.9	0.215225	0.201905	0.364477	0.211667	0.579702	0.413572	0.078445	0.042737	0.53696	0.3351273
1	0.211077	0.206509	0.355602	0.218894	0.566679	0.425404	0.075059	0.045204	0.52147	0.3503443

جدول ۶. عامل خطر برای خطرهای محیط زیستی

رتبه	گروه خطر	وزن
1	آلودگی صوتی	0.597868
2	آلودگی هوا	0.486063
3	آلودگی آب	0.430185
4	آلودگی خاک	0.359823
5	آلودگی تشعشعات	0.246828

جدول ۵. عامل خطر برای خطرهای بهداشتی

رتبه	گروه خطر	وزن
۱	بیماری‌های شغلی	0.48064
۲	صدمه به پوست	0.41461
۳	چشم	0.40883
۴	تنفس	0.33425

جدول ۷. عامل خطر برای خطرهای ایمنی

رتبه	گروه خطر	وزن
۱	کار در ارتفاع	0.592324
۲	حوادث غیر مترقبه	0.544069
۳	نصب اسکلت فلزی	0.516879
۴	تخریب گودبرداری و حفاری	0.47992
۵	برق گرفتگی	0.479633
۶	بالابرها و جرتقیل	0.447169
۷	داربست	0.43591
۸	حریق	0.418824
۹	ماشین‌آلات	0.385248
۱۰	اسکلت بتنی	0.344975

پروژه‌ها دارد. هم‌چنین می‌توان دریافت که در حفظ سلامت افراد در مجموعه کارگاه و بیرون از آن، خطرهای محیط زیستی و بهداشتی مانند خطرهای ایمنی اهمیت بسیاری دارند و باید در طول پروژه مورد ارزیابی و کنترل قرار گیرند.

در گروه ایمنی، خطر کار در ارتفاع به عنوان بحرانی‌ترین گروه و در گروه بهداشت، بیماری‌های شغلی در کارگاه‌های بلند مرتبه سازی به عنوان بحرانی‌ترین خطر شناخته شده است که این نتایج با نتایج تحقیقات پیشین (مانند Aneziris, Topali, 2011 و Hao-Tien, 2011 و همکارانش در سال ۲۰۱۲) و نیز آمار حوادث و بیماری‌های شغلی سازمان تامین اجتماعی هم خوانی دارد (Social Security Organization). در گروه محیط زیست، آلودگی صوتی و آلودگی هوا از جمله بحرانی‌ترین گروه‌های آلودگی محیط زیستی شناسایی شد.

در نگاه اول، بسیاری از مهندسين در زمینه بلند مرتبه سازی، خطرهای ایمنی را مهم‌تر از خطرهای بهداشتی و محیط زیستی می‌دانند که با توجه به نتایج به‌دست آمده، این موضوع کاملاً نقض می‌شود. البته این موضوع به دلیل آن است که معیار آن‌ها فقط خطرهایی می‌باشد که در اهداف پروژه تاثیر مستقیم دارند. غافل از این‌که بسیاری از خطرهای بهداشتی و محیط زیستی به صورت غیر مستقیم در زمان و هزینه پروژه تاثیر بسیاری داشتند. خطرهای بهداشتی و محیط زیستی، خطرهایی هستند که در دراز مدت می‌توانند اثرات ناگواری را بر روی سلامت افراد مشغول در پروژه بگذارند.

### نتیجه گیری

مدل استفاده شده در این مقاله، مدلی ساده و دقیق برای رتبه‌بندی و محاسبه مقادیر خطرهای

پس از آن در زیر گروه‌های اصلی، تمامی خطرهای موجود در هر گروه را با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی وزن دهی کرده و مقدار شدت اثر را برای تمامی خطرهای مطابق قسمت ۳-۶ به‌دست می‌آوریم. سپس، بعد از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌های توزیع شده بین متخصصین، پاسخ‌های زبانی داده شده به احتمال وقوع هر خطر به اعداد فازی تبدیل می‌شوند. برای این کار با توجه به جدول شماره ۱ به پاسخ‌های داده شده عدد فازی مربوطه را اختصاص می‌دهیم و در انتها میانگین تمام پاسخ‌ها را با توجه به ضریب مشارکت هر متخصص با استفاده از فرمول‌های ۱۵ و ۱۷ به‌دست می‌آوریم و پس از محاسبه شدت اثر (RI) و احتمال وقوع (RP) هر خطر، عامل خطر را با استفاده از فرمول (۱۴) محاسبه می‌کنیم. در نهایت آن‌ها را رتبه‌بندی می‌نماییم. برای محاسبات فازی مربوط به ضرب، همان‌طور که در قسمت ۲ گفته شد از  $\alpha$ -cut استفاده می‌کنیم.

در نهایت مقادیر فازی به‌دست آمده برای خطر داربست را فازی زدایی می‌کنیم و مقدار کلی عامل خطر را به‌دست می‌آوریم.

$$ORF = \frac{0.5215 + 0.351}{2} = 0.4363$$

### بحث

خطرها در سه گروه اصلی بهداشت، ایمنی و محیط زیست ارزیابی گردیدند. این سه دسته از طریق روش AHP و با استفاده از نظر ۳۵ کارشناس در زمینه بلند مرتبه سازی وزن دهی و رتبه‌بندی شدند. وزن‌های این سه گروه به ترتیب ۰/۳۴۶، برای بهداشت، ۰/۳ و برای ایمنی و ۰/۳۵۴ برای محیط زیست به‌دست آمد. این اعداد نشان از اهمیت خطرهای بهداشتی و محیط زیستی در

Land Use Policy 27.2010. pp612-616

Amini B. Review and analysis of events in the construction industry and the general in iran in 2008. 2th construction safety conference. khaneh omran. iran. tehran. 2009. (Persian)

Aneziris ON, Topali E, Papazoglou. Occupational risk of Building Construction. Reliability Engineering and System Safety. 2011.

Ballesteros J, Fernandez M D, Quintana S, Ballesteros J A, Gonzalez I. Noise emission evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment. Building and Environment 45. 2010. pp711-717

Chi CF, Yang CC, Chen ZL. In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. International Journal of Industrial Ergonomics 39. 2009. pp635-644.

Del Cano A, De la Cruz M. Integrated methodology for project risk management. Journal of Construction Engineering and Management, 128 (6). 2002. pp 473-485.

Gharib M, Maknoon R, Sebt M. Design of HSE Model for construction in Iran. (Thesis). Amirkabir University of Technology. iran. 2011. (Persian)

Godsipour H. Analytic hierarchy process. 9th ed. Amirkabir University of Technology Publication. Tehran. 2011. (Persian)

Hendrickson C, Horvath A. Resource use and environmental emission of US construction sectors. Journal of Construction Engineering and Manegement. 2000. pp38-43

مختلف می‌باشد که سادگی آن باعث می‌شود از آن بتوان در تمام مراحل پروژه استفاده کرد. هم‌چنین فرمول استفاده شده برای ارزیابی خطرها و به‌دست آوردن عامل خطر (فرمول شماره ۱۴) دارای مزیتی نسبت به فرمول‌های متداول عامل خطر می‌باشد. این فرمول خطرهایی را که شدت اثر زیاد اما احتمال وقوع کم دارند، به درستی و به صورت دقیق مورد ارزیابی قرار می‌دهد و عامل خطر را برای آن‌ها به‌دست می‌آورد.

برای کاهش بسیاری از این خطرها باید فرهنگ HSE در کارگاه‌ها و شرکت‌های مربوطه و هم‌چنین در بین تمامی افراد درگیر در پروژه افزایش یابد. برای این منظور توجه به آموزش HSE به نیروی کار، ناظران، مدیران و تمامی افرادی که با پروژه در ارتباط هستند لازم و ضروری است. هم‌چنین درس گرفتن از حوادث و رویدادها گذشته، درک و فهمیدن این‌که چه اتفاقی افتاده است و چرا اتفاق افتاده است، به سازمان‌ها اجازه می‌دهد مواردی را که برای جلوگیری از حوادث آینده لازم است، شناسایی و اجرا کنند.

با توجه به نتایج به دست آمده، در ارزیابی خطرهای کلی پروژه، باید خطرهای بهداشتی و محیط زیستی نیز در نظر گرفته شوند. یعنی ارزیابی خطرهای پروژه به صورت ارزیابی خطرهایی باشد که بر معیارهای زمان، کیفیت، هزینه و HSE تاثیر گذار باشند.

### منابع

Adibi M. HSE and Technical Cheklist in construction Projects. fanavaran Publication. 2011. (Persian)

Alsharif K. Construction and stormwater pollution: Policy, violations, and penalties.

- Rafiee zadeh A, Ardeshir A. Qualitative risk assessment in Construction project with Fuzzy Approach, (Thesis). Amirkabir University of Thechnology. 2009. (Persian)
- Rekab islami M, Ardeshir A, Maknoon R. Risk Assessment in high rise building construction projects with fuzzy Approach, (Thesis). Amirkabir University of Thechnology. 2013. (Persian)
- Shen L, Bao Q. Implementation innovative functions in construction Project Management towards the mission of sustainable environment. Proceeding of the millennium conference on condtruction project management. Hong Kong Institution of Engineers. 2000. pp 77-84
- Statistical report of occupational accidents in the construction industry between 2007-2010, Social Security Organization of the Islamic Republic of Iran, 2012 (Persian).
- Zeng J, An M, Smith NJ. Appliction of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. International Journal of Project Management, 2007, pp589-600
- Kaufmann A, Gupta MM. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Aplication. Van Nostrand Reinhold, New York. 1991
- Klir GJ, Yuan B. Fuzzy sets and Fuzzy logic: theory and application. 1995
- Lahooti M, Nemati S. .afety Cheklist in construction site. Fadak Isatis publication. 2011. (Persian)
- Liao CW, Perng YH. Data mining for occupational injuries in the Taiwan construction industry. Safety Science 46. 2008. pp 1091-1102.
- Liu, H.T., Tsai, Y.L., Fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry, Safety Sciences, 2012, 50: 1067-1078.
- Nieto-Morote A, Ruz-vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment. International Journal of Project Management, 2011, 29, pp220-231
- Pinto A, Nunes IL, Ribeiro. Occupational risk assessment in Construction industry – Overview and reflection. Safety Science 49. 2011. pp616-624

## HSE risks assessment in urban high-rise construction using Fuzzy Approach

A. Ardeshir<sup>1\*</sup>, R. Maknoon<sup>2</sup>, M. Rekab Islami Zadeh<sup>3</sup>, Z. Jahantab<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Associate professor, department of civil and environment engineering , Head of Enviro. Research Center, Amirkabir university of technology

<sup>1</sup>Assistant Professor, department of civil and environment engineering , Amirkabir university of technology

<sup>1</sup>Department of civil and environment engineering , Amirkabir university of technology

<sup>1</sup>Department of Architecture, Islamic Art University of Tabriz

### Abstract

**Introduction:** High-rise building projects are increasing due to the population growth, urban development, and migration of people to the major cities. High-rise buildings have special importance in terms of HSE risks rather than other projects since these projects are located in the cities and in the direct contact with people. However, in most incidents and events, organizations do not have enough insight into the true cost. Therefore, identification and assessment of management of HSE risks is essential.

**Material and Method:** In this research, HSE risks in high-rise buildings that have harmful effect on human health and environment were identified, assessed and ranked. The Risks were identified and assessed through checklist and interview with experts. Considering the uncertainty and the ambiguous nature of the risks, the combination of fuzzy numbers and Analytical Hierarchy Process (AHP) method were employed for quantitative analysis. Finally, the estimated risks were ranked for control.

**Result:** Using AHP Method, the weight of health, safety, and environment were obtained 0.346, 0.3, and 0.354, respectively, which shows the higher importance of environmental and health risks in construction projects comparing to safety risks.

**Conclusion:** Findings in this research indicated that HSE risks are very critical and they should be controlled before start of the project. Moreover, many of HSE risk are due to lack of appropriate HSE culture in the organization and projects that can be reduced by culture-building practices.

**Keywords:** Health, Safety, Environment, Fuzzy, HSE

\* Corresponding Author Email: [ardeshir53@yahoo.com](mailto:ardeshir53@yahoo.com)