رتبه بندی عوامل اصلی خطر سقوط از ارتفاع در پروژه‌های بلند مرتبه سازی

مهدی مهاجری[۱]، مهران امیری[۲]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۰۶ تاریخ ویرایش: ۹۳/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۵/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: سقوط از سطوح کار در ارتفاع غالبا به عنوان یکی از علل اصلی حوادث شغلی منجر به فوت در صنعت ساخت و ساز است. پیشگیری از این نوع حوادث نه تنها برای کارگران و کارفرمایان، بلکه برای متخصصان بخش سلامت، ایمنی و بهداشت و بیمه شرکت‌ها نیز موضوعی جذاب تلقی می‌شود. از این رو هدف این مطالعه، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل این خطر بمنظور فراهم آوردن زمینه پیشگیری از وقوع آن در پروژه‌های بزرگ ساختمانی می‌باشد.

روش بررسی: در ابتدا عوامل اصلی خطر سقوط از ارتفاع شناسایی شده و برای هر عامل درخت خطای مجزایی ترسیم گردید. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy Analytical Hierarchy Process) و آنالیز درخت خطای فازی (Fuzzy Fault Tree Analysis) عوامل وزن دهی و در نهایت رتبه‌بندی شدند.

یافته‌ها: در صنعت بلند مرتبه سازی، عوامل شخصی بالاترین ضریب اهمیت را به خود اختصاص داد و با توجه به نتایج تحلیل سلسله مراتبی، عوامل بی‌احتیاطی و سطح هوشیاری پایین، رفتارهای نا ایمن و نظارت ضعیف بر ایمنی به عنوان مهم‌ترین عوامل اصلی خطر سقوط از ارتفاع شناخته شدند.

نتیجه گیری: با مقایسه نتایج با تحقیقات پیشین و صحت‌سنجی مدل به وسیله پرسش از گروه ارزیابی، مشخص شد که روش پیشنهادی قابل اعتماد و کاراست. نظر به اینکه مهم‌ترین ریسک در کارگاه‌های ساختمانی سقوط از ارتفاع می‌باشد، لذا مدیران ایمنی پروژه‌های بلند مرتبه می‌توانند ضمن استفاده از این روش، از عوامل مهم شناسایی شده بمنظور ارزیابی ایمنی و کاستن از خطر سقوط در این دسته از پروژه‌ها استفاده نمایند.

کلیدواژه‌ها: سقوط از ارتفاع، ایمنی ساخت‌وساز، پروژه‌های بلندمرتبه.

مقدمه

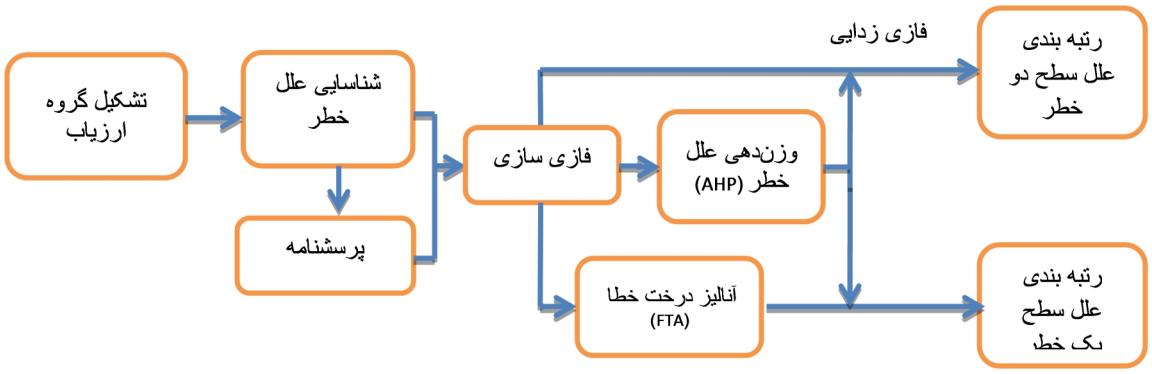
صنعت ساخت و ساز یکی از صنایعی است که در آن صدمات و حوادث منجر به فوت زیادی رخ می‌دهد [۱]. به طور کلی، کارگاه‌های ساختمانی به دلیل وقوع زیاد حوادث هنوز به عنوان یکی از خطرناک‌ترین محیط‌های کاری محسوب می‌شوند [۲]. به رغم تلاش برای کاهش حوادث منجر به فوت در کارگاه‌های ساختمانی، چنین حوادثی همچنان رخ می‌دهند. به ویژه، سقوط از سطوح کار در ارتفاع (به عنوان مثال نردبان، داربست و سقف‌ها) که اغلب به عنوان یکی از علل اصلی حوادث مرگبار در پروژه‌های ساختمانی مطرح است [۳و ۴]. پیشگیری از سقوط از ارتفاع نه تنها برای کارگران و کارفرمایان، بلکه برای متخصصان بخش سلامت، ایمنی و بهداشت و بیمه شرکت‌ها نیز مورد علاقه است [۵]. با وجود تلاش‌های کارگران، اتحادیه‌ها، کارفرمایان، متخصصان ایمنی، محققان و سازمان‌های دولتی، حوادث سقوط در صنعت ساخت به عنوان عامل عمده مرگ و میر شناخته می‌شود [۳و۶].

عملکرد ایمنی در ساخت و ساز با بسیاری از عوامل مانند فرهنگ سازمانی، شیوه‌های نظارت، گردش کار، فشار کار، رقابت کارکنان، جلسات ایمنی و بودجه ایمنی در ارتباط است [۶]. مطالعات بسیار اندکی روی عوامل ریشه ای سقوط از ارتفاع به خصوص در صنعت ساخت و ساز انجام شده است [۷]. از جمله مهم‌ترین علل سقوط در صنعت ساخت و ساز را می‌توان شیوه‌های کار ناایمن، تغییر مداوم محیط کار، آموزش ناکافی و استفاده نکردن از روش‌های متعارف حفاظت از سقوط نام برد. همچنین از دست دادن تعادل یکی از علل اصلی سقوط از ارتفاع است [۷].

طبق نتایج تحقیقات گذشته ریسک سقوط از ارتفاع

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۲- (نویسنده مسئول) دکترای مهندسی و مدیریت ساخت، استادیار دانشگاه پیام نور مرکز مشهد، مشهد، ایران. m-amiri@aut.ac.ir

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]



شکل ۱- مدل رتبه بندی علل خطر

جزو مهم‌ترین ریسک‌ها شناخته شده است [۵و۸-۱۲]. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۶ بنتلی (Bentley) و همکاران به بررسی عوامل ریسک سقوط از نردبان، داربست و... پرداختند[۱۲] و در سال ۲۰۰۸ زنگ (Zeng) و همکاران به برخی از حوادث از جمله سقوط از ارتفاع و ضربه ناشی از سقوط مواد به عنوان رایج‌ترین علت حوادث منجر به صدمات در چین اشاره کردند[۸]. همچنین طبق مطالعات انجام شده در دفتر آمار کار در سال ۲۰۱۰، سقوط، یک سوم از تمام تلفات کارگران ساخت و ساز را تشکیل می‌داد [۹].

در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP[1]) برای درجه‌بندی عوامل خطر استفاده شده است. روش AHP، روشی موثر برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[2]) است که در زمینه‌های مختلف از جمله مدیریت ساخت‌وساز به طور گسترده استفاده شده است [۱۳،۱۴]. همچنین این روش برای مدیریت ریسک نیز به کار گرفته شده است [۱۵و۱۶]. در سال ۲۰۱۱ ژنگ و همکاران از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) جهت ارزیابی ایمنی کار در محیط‌های گرم و مرطوب استفاده کردند [۱۷].

ایران کشوری در حال توسعه است که با توجه به افزایش جمعیت و شهر نشینی و به تبع آن کمبود زمین نیازمند ایجاد سازه‌های بلند مرتبه می‌باشد. این در حالی است که صنعت بلندمرتبه سازی به دلیل نو بودن با مشکلات ایمنی متعددی نظیر سقوط از ارتفاع روبرو است. بنابراین در این مطالعه عوامل اصلی خطر سقوط از ارتفاع شناسایی شده و با استفاده از روش FAHP رتبه بندی می‌گردند.

روش بررسی

در این مطالعه پروژه‌های بلندمرتبه سازی به دلیل اینکه خطر سقوط از ارتفاع در آنها محسوس‌تر است به عنوان مطالعه موردی در ایران انتخاب شد. از روش تحلیل سلسله مراتبی جهت رتبه‌بندی عوامل خطر سقوط از ارتفاع استفاده شد. در این مطالعه علل اصلی سقوط از ارتفاع به وسیله مطالعه پیشینه تحقیق، مصاحبه با کارشناسان و مشاهدات کارگاهی شناسایی شدند. در این مدل، ابتدا وزن علل سطح یک خطر (عوامل سازمانی، مدیریت، شخصی، تجهیزات و محیطی) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (ماتریس مقایسه زوجی) مشخص می‌شود. سپس از حاصل ضرب فازی وزن نسبی هر عامل سطح یک (روش AHP) در هر عامل سطح دو (نتایج کیفی پرسشنامه و فازی سازی نتایج)، رتبه بندی علل سطح دو خطر (عوامل پایه‌ای خطر) بدست خواهد آمد. همچنین آنالیز درخت خطا (FFTA) روی هر عامل سطح یک خطر انجام می‌شود و از حاصل‌ضرب فازی وزن نسبی هر عامل سطح یک (روش AHP) در وزن

[1]. Analytic Hierarchy Process
[2]. Multiple Criteria Decision Making

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

هر عامل درخت خطا، رتبه بندی علل سطح یک خطر محاسبه خواهد شد (شکل ۱).

در مدل پیشنهادی، ابتدا گروه ارزیاب از بین متخصصین ایمنی پروژه‌ها انتخاب شدند. سپس با توجه به نظرات گروه ارزیاب، پرسشنامه‌ای در سه بخش تهیه گردید. بخش اول شامل مشخصات پاسخ دهندگان، بخش دوم تأثیر عوامل پایه‌ای بر روی ریسک سقوط از ارتفاع و بخش سوم مقایسه زوجی علل سطح یک ریسک بود. پرسشنامه به صورت عبارت‌های زبانی(خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) تهیه شد. تعداد ده پروژه بلند مرتبه (با تعداد طبقات بیش از ۷ طبقه) به عنوان جامعه آماری در شهر کرمان انتخاب شدند. کاربری این ساختمان‌ها تجاری – اداری بود. کارگران این کارگاه‌ها عموماً بومی استان بوده و همه آن‌ها حداقل از تحصیلات ابتدایی برخوردار بودند. پرسشنامه بین مدیران و ناظران ایمنی این پروژه‌ها توزیع شد. نتایج به دست آمده از تحلیل پاسخ دهندگان به پرسشنامه نشانگر آن است که ۳۳ درصد لیسانس، ۵۹ درصد فوق لیسانس و ۸ درصد دارای مدرک دکترا بودند. در رابطه با سابقه کار در حوزه مرتبط با تحقیق، ۲۵ درصد پاسخ دهندگان دارای سابقه کمتر از ۵ سال، ۱۸ درصد بین ۵ تا ۱۰ سال، ۴۱ درصد بین ۱۰–۱۵ سال و ۱۶ درصد دارای سابقه بیشتر از ۱۵ سال بوده‌اند.

از روش روایی محتوا برای اندازه‌گیری روایی پرسشنامه و همچنین از ضریب آلفای کرونباخ برای اندازه‌گیری پایایی پرسشنامه استفاده شد. در محاسبات ضریب آلفای کرونباخ برای پرسشنامه‌ها، مقدار ۰/۸۷ بدست آمد که با توجه به بزرگ‌تر بودن از ۰/۷، نشان دهنده پایایی خوب سؤالات پرسشنامه بود.

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP): روش تحلیل سلسله مراتبی که توسط ساعتی در سال ۱۹۷۷ ایجاد شد، یک روش برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره با قرار دادن اولویت‌های آن‌هاست [۱۸]. هدف از روش AHP تصمیم سازی علمی و همچنین راهی برای ترکیب تحلیل کیفی و کمی فرایند است [۱۹]. یکی از مزیت‌های اصلی روش AHP ساختار ساده آن است. همچنین این روش مانند ریاضیات پیچیده نیست و به آسانی قابل درک است و به طور موثر می‌تواند برای هر دو دسته داده‌های کمی و کیفی بکار رود [۲۰].

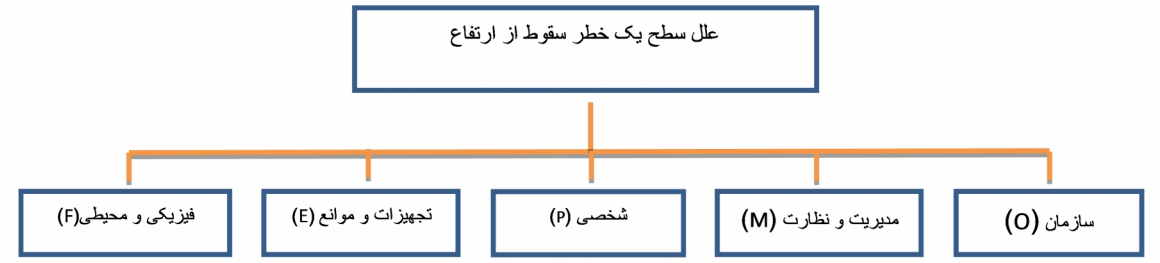
در روش AHP سنتی مقایسه زوجی میان معیارها به اعداد کریسپ محدود شده بود. به دلیل اینکه نسبت دادن مقدار معین به مقایسه معیارها دشوار است، این روش مورد انتقاد قرار گرفت. بنابراین به منظور مدل‌سازی این نوع عدم قطعیت، منطق فازی برای این روش معرفی شد. در مقایسه با روش‌هایی ارزیابی ایمنی موجود، روش AHP فازی یک روش سیستماتیک و کارامدتر از دیگر روش‌هاست [۲۱]. این روش به طور گسترده در مطالعات گذشته استفاده شده و تبدیل به یکی از بهترین روش‌ها در میان روش‌های مختلف ارزیابی گردیده است [۲۲–۲۵]. به عنوان مثال هانگ (Haung) در سال ۲۰۰۸ از روش AHP فازی و ماتریس قضاوت کریسپ برای ارزیابی قضاوت‌های ذهنی کارشناسان توسط درک و احساس استفاده کرد [۲۶].

مراحل مدل فازی AHP شامل مراحل زیر است:

۱– ایجاد ساختار سلسله مراتبی: پس از بررسی‌ها، ساختار سلسله مراتبی برای علل سطح یک خطر سقوط از ارتفاع تشکیل شد که در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲– تاسیس ماتریس تصمیم‌گیری: وزن هر عامل از خطر با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی تعیین می‌شوند. در روش سنتی AHP از ۹ مقیاس جهت نشان دادن جفت مقایسه استفاده می‌شد که در این تحقیق از اعداد فازی ذوزنقه به نمایندگی از مقیاس ذهنی برای مقایسه جفت مقایسه‌ها استفاده شد [۲۷]. مقیاس‌های فازی ذوزنقه‌ای برای اندازه‌گیری وزن نسبی در جدول ۱و۲ آورده شده‌اند [۲۸]. کارشناسان بر اساس مقیاس‌های زبانی، مقایسه زوجی معیارها را انجام دادند و سپس نتایج با استفاده از مقیاس‌های فازی به اعداد فازی تبدیل شدند. تعیین وزن شاخص و نرخ ناسازگاری بر اساس نتایج مقایسه زوجی و تبدیل آنها به اعداد

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی برای علل سطح یک خطر سقوط از ارتفاع

فازی ذوزنقه‌ای، محاسبه وزن محلی معیارها به شرح زیر می‌باشد [۱۷]:

- ماتریس X بر اساس مقایسه زوجی ایجاد می‌شود.

(۱)

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix}$$

که در آن

(۲) $X_{ij}=(l_{ij},m_{ij},n_{ij},s_{ij})$

(۳) $X_{ji}=(x_{ij})^{-1}=(s^{-1}_{ij},n^{-1}_{ij},m^{-1}_{ij},l^{-1}_{ij})$

- بررسی سازگاری: یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است. سازگاری ماتریس مقایسه را می‌توان توسط رابطه (۶) بدست آورد [۱۷].

محاسبه بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس توسط رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

(۴) $Xw=\lambda_{\max}w$

که w بردار اصلی از ماتریس است

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

(۶) $$CR=\frac{CI}{RI}$$

که در آن CI شاخص سازگاری است و RI شاخص تصادفی است که در جدول ۳ نشان داده شده است. اگر شاخص CR کمتر از ۰/۱۰ باشد ماتریس مقایسه زوجی قابل قبول در نظر گرفته می‌شود.

- محاسبه وزن: وزن ماتریس X به شرح زیر می‌توان بدست آورد.

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

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

به همین ترتیب γ و δ بدست آورده همچنین

(۹) $$\alpha=\sum_{j=1}^{n}\alpha_j$$

به همین ترتیب برای β، γ و δ را بدست آورده و در نهایت وزن توسط رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$w_j=(\alpha_j\delta^{-1},\beta_j\gamma^{-1},\gamma_j\beta^{-1},\delta_j\alpha^{-1})$$

(۱۰) $j\in\{1,2,...,n\}$

روش آنالیز فازی درخت خطا (FFTA[3]): در این مطالعه جهت رتبه‌بندی علل سطح یک ریسک از آنالیز درخت خطا استفاده شد. از سال ۱۹۶۵ استفاده از روش FTA به صنایع مختلف نظیر هوافضا، هسته‌ای،

[3]. Fuzzy Fault Tree Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

جدول۱- عبارت‌های زبانی و اعداد فازی ذوزنقه ای برای ارزیابی

عبارت‌های زبانی	اعداد فازی ذوزنقه ای
خیلی کم	(۰,۱,۲,۳)
کم	(۱,۲,۳,۴)
متوسط	(۳,۴,۵,۶)
زیاد	(۵,۶,۷,۸)
خیلی زیاد	(۷,۸,۹,۱۰)

جدول ۲- مقیاس زوجی روش AHP

مقیاس اعداد کریسپ	اعداد فازی ذوزنقه ای	متغیرهای زبانی
۱	(۱,۱,۱,۱)	مساوی
۳	(۲,۲/۵,۳/۵,۴)	کمی مهم‌تر
۵	(۴,۳,۵/۵,۶)	مهم‌تر
۷	(۶,۶/۵ ,۷/۵,۸)	خیلی مهم‌تر
۹	(۸,۸/۵ ,۹,۹)	کاملاً مهم

جدول ۳- شاخص سازگاری تصادفی

Size (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

شیمیایی و غیره گسترش یافت و از آن به طور گسترده جهت تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها استفاده شد. این روش بارها برای آنالیز حوادث، شناسایی ارتباط بین علت حوادث و منطق آن‌ها استفاده شد [۲۹]. در این مطالعه درخت خطا برای هر یک از علل سطح یک (پنج درخت خطا برای عوامل سازمانی، مدیریت، شخصی، تجهیزات و محیطی) خطر سقوط از ارتفاع ترسیم شد و سپس با استفاده از روش درخت خطای فازی علل سطح یک ریسک رتبه‌بندی می‌شوند. علل سطح دو هر یک از علل اصلی ریسک توسط کارشناسان و مطالعه پیشینه تحقیق شناسایی شد که در جدول ۴ آورده شده است. به عنوان نمونه نیز درخت خطای عوامل شخصی در شکل ۳ ترسیم شده است.

آنالیز درخت خطا برای شناسایی علل ریشه‌ای خطر و ارزیابی احتمال رویداد اصلی (Top Event) استفاده می‌شود [۳۰]. همچنین در این مقاله از مفهوم α-cut برای بدست آوردن احتمال رویداد اصلی استفاده می‌شود.

احتمال رویداد اصلی (TE) می‌تواند به وسیله احتمال رویداد پایه از طریق درخت بدست بیاید. هر کدام از رویدادهای پایه با یک دروازه منطقی به رویداد اصلی متصل هستند. در این روش دروازه‌های میانه برای احتمال رویداد (دروازه "و" با نماد و دروازه "یا" با نماد) محاسبه می‌شود. علل سطح دو ریسک در این مقاله توسط دروازه "یا" به رویداد اصلی متصل شدند که احتمال رویداد فازی درخت خطا بر اساس مفهوم - αcut برای دروازه " یا" از رابطه ۱۱ بدست می‌آید [۳۱].

(۱۱)

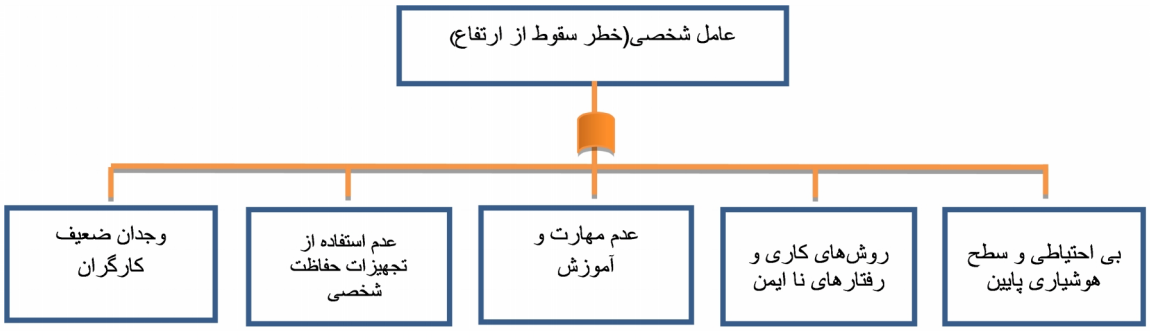
$$FPro_T(\text{top event})^{\alpha} = \{ 1-\prod_{i=1}^{n}[1-(a_i+(b_i-a_i)\alpha)],\ 1-\prod_{i=1}^{n}[1-(d_i-(d_i-c_i)\alpha)] \}$$

که P_t^{α} (Top Event) نشان دهنده احتمال میزان نقص در خروجی دروازه است و P_1 ،P_2 ،P_i... نشان

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

جدول ۴- علل سطح دو ریسک سقوط از ارتفاع

	نماد	عامل سطح دو		نماد	عامل سطح دو
سازمان	O1	عدم وجود سیستم مدیریت ایمنی	تجهیزات	E1	عدم وجود موانع مناسب
	O2	کمبود استانداردها و مقررات ایمنی		E2	عدم وجود تجهیزات
	O3	عدم وجود فرهنگ و جو ایمنی		E3	نقص و شکست تجهیزات و موانع
	O4	عدم هماهنگی و ارتباط بین عوامل ساخت		E4	عدم نصب صحیح دستگاه‌ها و وسایل
مدیریت	M1	مدیریت و نظارت ضعیف بر ایمنی	فیزیکی	F1	کمبود نور لازم
	M2	عدم تأمین تجهیزات و موانع		F2	عدم علامت گذاری صحیح
	M3	عدم تهیه برنامه ایمنی		F3	چیدمان نامنظم کارگاه
	M4	عدم برگزاری جلسات منظم ایمنی		F4	فضا و شرایط نا مناسب
	M5	عدم آموزش(توجیه) کارگران (فعال و جدید)		F5	شرایط جوی نامناسب
شخصی	P1	بی احتیاطی و سطح هوشیاری پایین			
	P2	روش‌های کاری و رفتارهای نا ایمن			
	P3	عدم مهارت و آموزش			
	P4	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی			
	P5	وجدان ضعیف کارگران			



شکل ۳- درخت خطای عامل شخصی (خطر سقوط از ارتفاع)

دهنده میزان احتمال نقص‌های ورودی هستند.

فازی زدایی: برای تبدیل اعداد فازی ذوزنقه ای به اعداد کریسپ، فازی زدایی نیاز است. برای فازی زدایی اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت m= {a, b, c, d} از رابطه(۱۲) استفاده می‌شود [۳۲].

(۱۲)

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

اعتبار سنجی مدل: به منظور بررسی قابلیت کاربرد، جامعیت و صحت روش و نتایج تحقیق، یک پرسشنامه جداگانه در پایان پژوهش طراحی شد. پرسشنامه طراحی شده شامل سه پرسش اصلی به شرح زیر است:

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

این پرسشنامه بین کلیه کارشناسان پروژه‌ها (۱۰ متخصص) توزیع و تکمیل شد که در بخش یافته‌ها نتایج تجزیه و تحلیل پرسشنامه آورده شده است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

یافته‌ها

نتایج محاسبات روش AHP به شرح زیر است:

۱- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه: نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی ۰/۰۸ بدست آمد که با توجه به کوچک‌تر بودن نرخ ناسازگاری از ۰/۱۰ پاسخ‌های کارشناسان از سازگاری کافی برخوردار است.

۲- محاسبه وزن نسبی هر شاخص با استفاده از روش AHP در جدول ۵ نشان داده شده است که ابتدا به صورت وزن فازی بوده که با استفاده از رابطه ۱۲ فازی زدایی صورت گرفت.

در جدول ۶ رتبه‌بندی علل سطح دو خطر سقوط از ارتفاع بر اساس حاصلضرب وزن نسبی هر عامل (از روش AHP) در بازه هر عامل (نتایج پرسشنامه) بدست آمد.

جدول ۵- وزن نسبی علل سطح یک خطر با استفاده از روش فازیAHP

ردیف	عوامل	وزن فازی	غیر فازی سازی
۱	سازمان	(۰/۰۴۸,۰/۰۶۰,۰/۰۷۸,۰/۰۹۲)	۰/۰۶۹
۲	مدیریت و نظارت	(۰/۱۵۵,۰/۲۱۵,۰/۴۱۸,۰/۶۱۰)	۰/۳۳۸
۳	عوامل شخصی	(۰/۲۰۱,۰/۲۸۸,۰/۴۷۸,۰/۶۳۸)	۰/۳۹۵
۴	تجهیزات و موانع	(۰/۰۹۸,۰/۱۲۴,۰/۲۲۲,۰/۳۳۵)	۰/۱۸۷
۵	عوامل فیزیکی و محیطی	(۰/۰۳۵,۰/۰۵,۰/۰۶۷,۰/۰۸۵)	۰/۰۵۹

جدول ۶- رتبه بندی علل سطح دو ریسک سقوط از ارتفاع

ردیف	عوامل	وزن نسبی	بازه هر عامل	وزن نهایی	غیر فازی سازی	رتبه بندی
سازمان	O1	[۰/۰۴۸,۰/۰۹۲]	[۶/۴۸,۷/۴۸]	[۰/۳۱,۰/۶۸]	۰/۵۰۷	۱۵
	O2		[۵/۱۷,۶/۱۷]	[۰/۲۴,۰/۵۶]	۰/۴۱۵	۱۷
	O3		[۶/۰۷,۷/۰۷]	[۰/۲۹,۰/۶۵]	۰/۴۷۸	۱۶
	O4		[۴/۵۷,۵/۵۷]	[۰/۲۱,۰/۵۱]	۰/۳۷۳	۱۸
مدیریت	M1	[۰/۱۵۵,۰/۶۱۰]	[۷/۳۵,۸/۳۵]	[۱/۱۳,۵/۰۹]	۳/۱۹۶	۳
	M2		[۶/۶۳,۷/۶۳]	[۱/۰۳,۴/۶۵]	۲/۹۱	۷
	M3		[۵/۲۰,۶/۲۰]	[۰/۸۱,۳/۷۸]	۲/۳۷	۸
	M4		[۳/۶۳,۴/۶۳]	[۰/۵۶,۲/۸۳]	۱/۷۷	۱۰
	M5		[۶/۶۸,۷/۶۸]	[۱/۰۴,۴/۶۸]	۲/۹۳	۶
شخصی	P1	[۰/۲۰۱,۰/۶۳۸]	[۷/۵۸,۸/۵۸]	[۱/۵۲,۵/۴۷]	۳/۵۷	۱
	P2		[۶/۹۵,۷/۹۵]	[۱/۳۹,۵/۰۷]	۳/۳۰	۲
	P3		[۶/۶۶,۷/۶۶]	[۱/۳۴,۴/۸۹]	۳/۱۸	۵
	P4		[۶/۶۸,۷/۶۸]	[۱/۳۴,۴/۹]	۳/۱۹	۴
	P5		[۳/۷۵,۴/۷۵]	[۰/۷۵,۳/۰۴]	۱/۹۶	۹
تجهیزات	E1	[۰/۰۹۸,۰/۳۳۵]	[۷/۱۸,۸/۱۸]	[۰/۷۰,۲/۷۴]	۱/۷۶	۱۱
	E2		[۶/۶۴,۷/۶۴]	[۰/۶۵,۲/۵۶]	۱/۶۴	۱۲
	E3		[۵/۷۸,۶/۷۸]	[۰/۵۶,۲/۲۷]	۱/۴۵	۱۳
	E4		[۴/۷۹,۵/۷۹]	[۰/۴۷,۱/۹۴]	۱/۲۴	۱۴
فیزیکی	F1	[۰/۰۳۵,۰/۰۸۵]	[۲/۷۵,۳/۷۵]	[۰/۰۹,۰/۳۲]	۰/۲۱	۲۳
	F2		[۴/۰۷,۵/۰۷]	[۰/۱۴,۰/۴۳]	۰/۲۹	۲۱
	F3		[۴/۷۳,۵/۷۳]	[۰/۱۶,۰/۴۸]	۰/۳۳	۲۰
	F4		[۴/۷۹,۵/۷۹]	[۰/۱۶,۰/۴۹]	۰/۳۳۸	۱۹
	F5		[۲/۸۳,۳/۸۳]	[۰/۰۹۹,۰/۳۳]	۰/۲۲	۲۲

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

جدول ۷- نتایج روش درخت خطای فازی(رتبه بندی علل سطح یک خطر)

ردیف	عوامل	AHPوزن نسبی	FFTAوزن	نتایج
۱	سازمان	[۰/۰۴۸,۰/۰۹۲]	[۹/۶۳,۹/۸۷]	۰/۶۸۳
۲	مدیریت و نظارت	[۰/۱۵۵,۰/۶۱۰]	[۹/۹۰,۹/۹۸]	۳/۸۰
۳	عوامل شخصی	[۰/۲۰۱,۰/۶۳۸]	[۹/۴۹,۹/۹۱]	۴/۰۷
۴	تجهیزات و موانع	[۰/۰۹۸,۰/۳۳۵]	[۹/۷۹,۹/۹۴]	۲/۱۴
۵	عوامل فیزیکی و محیطی	[۰/۰۳۵,۰/۰۸۵]	[۹/۱۵,۹/۶۶]	۰/۵۶

جدول ۸- نتایج پرسشنامه

معیار	جواب مثبت	جواب منفی	جواب خنثی
قابلیت کاربرد	٪۸۰	٪۲۰	-
جامعیت	٪۶۰	٪۲۰	٪۲۰
صحت	٪۷۰	٪۳۰	-

در این مطالعه با استفاده از روش آنالیز درخت خطای فازی (FFTA) وزن نسبی هر یک از عوامل ۵ گانه سطح یک خطر (سازمان، مدیریت، شخصی، تجهیزات و محیطی) بدست آمد که در نهایت از حاصلضرب فازی وزن نسبی هر عامل (AHP) در وزن هر عامل از روش درخت خطا (FFTA) رتبه بندی علل سطح یک خطر انجام شد. در جدول ۷ وزن هر عامل که فازی زدایی شده آمده است که در این بین مهم‌ترین آن عامل شخصی در ریسک سقوط از ارتفاع شناخته شد.

در نهایت پرسشنامه اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج پرسشنامه در جدول ۸ آورده شده است.

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

بحث و نتیجه گیری

هدف از انجام مطالعه حاضر ارایه چارچوبی برای رتبه‌بندی علل اصلی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز بوده که به بررسی جامع، دقیق و ریشه‌ای انواع حوادث می‌پردازد. بدین منظور با استفاده از درخت خطا، منطق فازی و روش AHP چارچوب مورد نظر پیشنهاد گردید و رتبه‌بندی علل اصلی خطر سقوط از ارتفاع در پروژه‌های بلند مرتبه سازی بررسی شد. اعتبار یافته‌های تحقیق حاضر از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرارگرفته است:

۱- در این تحقیق با استفاده از روش‌های FAHP و FFTA، رتبه بندی علل ریسک سقوط از ارتفاع بررسی شد که عامل شخصی مهم‌ترین علت خطر سقوط از ارتفاع شناخته شد که با نتایج تحقیقات پیشین (مانند کاسکوتس (Kaskutas) و همکاران در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲[۳۳و۳۴]، سوست (Swuste) و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۳۵] و لیپسکومب (Lipscomb) و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۳۶]. دانگ (Dong) و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۳۷]و چوی (Choi) در سال ۲۰۰۸ [۳۸]) همخوانی دارد.

۲- هانگ (Huang) و همکارانش در سال ۲۰۱۲ [۳۹]، آموزش ایمنی به کارگران را جزو مهمترین عوامل کاهش خطر سقوط از ارتفاع عنوان نمودند. در مطالعه حاضر نیز بحث آموزش رتبه بالایی را کسب کرد (رتبه ۵ در بین ۲۳ عامل) که نشان دهنده اهمیت فراوان آموزش است. لذا آموزش ایمنی به کارگران و طراحی و ارائه برنامه آموزش ایمنی در کارگاه های ساختمانی امری ضروری می‌باشد.

۳- در این تحقیق بعد از عوامل شخصی و مدیریتی، عامل تجهیزات و موانع که شامل اقدامات حفاظتی و پیشگیرانه (نظیر قرار دادن موانع و گاردریل در بازشوهای سقف و پرتگاه‌ها) است جزو مهم‌ترین عوامل

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

شناخته شد که در مطالعات بسیاری نظیر [۳۴و۴۰] نیز پس از عامل شخصی، اقدامات حفاظتی و پیشگیرانه بعنوان مهمترین عامل در پیشگیری از سقوط از ارتفاع تعیین گردیده است.

۴- در این مطالعه عامل فیزیکی و محیطی کم اهمیت‌ترین عامل در بروز خطر سقوط از ارتفاع شناخته شد. این یافته با نتیجه تحقیق چی (Chi) و همکارانش در سال ۲۰۰۵ [۴۰] که نشان داد عوامل فیزیکی و محیطی، کم اهمیت‌ترین عامل در حوادث سقوط محسوب می‌شوند، همخوانی دارد.

۵- با مقایسه نتایج این پژوهش با تحقیقات پیشین[۳۳و۳۴] مشخص شد که با در نظر گرفتن معیارهای آموزش ایمنی کارگران، انتخاب کارگران با تجربه، روش‌های ایمن در کار و مدیریت و نظارت مستمر، می‌توان خطر سقوط از ارتفاع در پروژه‌های ساختمانی را کاهش داد.

۶- همچنین از سوی دیگر، بر اساس نتایج اعتبار سنجی مدل پیشنهادی، قابلیت کاربرد، جامعیت موضوع و صحت روش پژوهش این مقاله مورد تایید کارشناسان پروژه‌ها قرار گرفت.

نتایج به دست آمده از تحلیل علل خطر سقوط از ارتفاع نشان داد که، رویکرد چندوجهی برای کاهش خطر سقوط از ارتفاع نیاز است. علاوه بر اجرا و کنترل برنامه ایمنی در کارگاه و مسائل مربوط به پیشگیری و تجهیزات حفاظتی، بحث آموزش ایمنی نیز به منظور دستیابی به اهداف کاهش خطر توصیه می‌شود. همچنین به کمک این روش می‌توان به علل ریشه‌ای انواع حوادث پرداخته و در نهایت به صورت دقیق استراتژی‌های کاهش ریسک را ارائه نمود. این مدل می‌تواند به مسئولان ایمنی کارگاه‌های ساختمانی برای شناسایی ریسک‌ها، شناسایی علل ریشه‌ای آن‌ها و ارائه ابزارهای کنترل ریسک‌ها کمک شایان توجهی نماید.

پیشنهادات: در مطالعات آینده عوامل محیطی مانند گرما و رطوبت و عواملی همچون بومی بودن، تجربه کاری و خستگی کارگران باید مورد توجه و بررسی قرار گیرد. همچنین این مطالعه بررسی یک نمونه محدود بود که باید در سراسر سطوح سازمانی و با توجه به اثرات هر یک از عوامل بررسی شود.

منابع

1. Rozenfeld O, Sacks R, Rosenfeld Y, Baum H. Construction Job Safety Analysis. Safety Science; 2010, 48: 491–498.
2. Eriksson P.E, & Westerberg M. Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework. International Journal of Project Management; 2011, 29(2): 197-208.
3. Lee U.K, Kim J.H, Cho H, Kang K.I. Development of a mobile safety monitoring system for construction sites, Automation in Construction; 2009, 18: 258–264.
4. Amiri M, Ardeshir A, Fazel-Zarandi M.H. Risk-based Analysis of Construction Accidents in Iran During 2007-2011, Iranian Journal of Public Health; 2014, 43(4): 507-522.
5. Martin J. E, Rivas T, Matías J. M, Taboada J, Argüelles A. A Bayesian network analysis of workplace accidents caused by falls from a height. Safety Science; 2009, 47(2): 206-214.
6. Lipscomb H.J, Schoenfisch A. L, Cameron W, Kucera K.L, Adams D, Silverstein B.A. How well are we controlling falls from height in construction? Experiences of union carpenters in Washington State, 1989–2008. American Journal of Industrial Medicine; 2014, 57(1): 69-77.
7. Dong X.S, Fujimoto A, Ringen K, Men Y. Fatal falls among Hispanic construction workers. Accident Analysis & Prevention; 2009, 41(5): 1047-1052.
8. Zeng S.X, Tam V.W.Y, Tam C.M. Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China, Safety Sciences; 2008,46: 1155-1168.
9. Bureau of Labor Statistics. Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses Requiring Days Away from Work, Economic News Release. 2010; Available at: http://www.bls.gov/news.release/osh2.htm. November 13, 2011.
10. Gurcanli G.E, Mungen U. An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets, International Journal of Industrial Ergonomics; 2009, 39(2): 371–387.
11. Liu H.T, Tsai Y.L. Fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. Information Sciences; 2008, 178(6): 1717-1733.

24. Dağdeviren M, Yavuz S, Kılınç N. Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. Expert Systems with Applications; 2009, 36(4): 8143-8151.

25. Pan N.F. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. Automation in Construction; 2008, 17(8): 958-965.

26. Huang C.C, Chu P.Y, Chiang Y.H. A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. Omega; 2008, 36(6): 1038-1052.

27. Wong J. K, Li H. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. Building and Environment; 2008, 43(1): 108-125.

28. Ebrahimnejad S., Mousavi S. M., Seyrafianpour H. Risk identification and assessment for build–operate–transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model. Expert Systems with Applications; 2010, 37(1): 575-586.

29. Wang D, Zhang P, Chen L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. Journal of Loss Prevention in the Process Industries; 2013, 26(6): 1390-1398.

30. Lavasani M.M, Wang J, Yang Z, Finlay J. Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines. Int. J. Mar. Sci. Eng; 2011, 1(1): 29-42.

31. Verma A.K, Srividya A, Gaonkar R.S.P. Fuzzy-reliability engineering: concepts and applications, Narosa Publishing House, New Delhi, India; 2007, Chapter 4: 88-127.

32. Kaya T, Kahraman C. An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications; 2011, 38(7): 8553–8562.

33. Kaskutas V, Dale A.M, Lipscomb H, Gaal J, Fuchs M, Evanoff B. fall prevention among apprentice carpenters. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health; 2010, 36(3): 258–265.

34. Kaskutas V, Dale A.M, Lipscomb H, Evanoff B. fall prevention and safety communication training for foremen: Report of a pilot project designed to improve residential construction safety. Journal of Safety Research; 2013, 44: 111-118.

35. Swuste P, Frijters A, Guldenmund F. Is it possible to influence safety in the building sector? A literature review extending from 1980 until the present. Safety Science; 2012, 50(5): 1333-1343.

36. Lipscomb H, Dale A, Kaskutas V, Sherman-construction industry, Safety Sciences; 2012, 50: 1067–1078.

12. Bentley T.A, Hide S, Tappin D, Moore D, Legg S, Ashby L, Parker R. Investigating risk factors for slips, trips and falls in New Zealand residential construction using incident-centered and incident-independent methods. Ergonomics; 2006, 49: 62–77.

13. Nang-Fei Pan. Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, Automation in Construction; 2008,17: 958–965.

14. Rezaei P, Rezaie K, Nazari-Shirkouhi S, Tajabadi M.R.J. Application of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Analysis for Evaluating and Selecting the Best Location for Construction of Underground Dam. Acta Polytechnica Hungarica; 2013, 10(7): 187-205.

15. Schoenherr T, Rao Tummala V.M, Harrison T.P. Assessing supply chain risks with the analytic hierarchy process: providing decision support for the offshoring decision by a US manufacturing company. Journal of Purchasing and Supply Management; 2008, 14(2): 100-111.

16. Zayed T, Amer M, Pan J. Assessing risk and uncertainty inherent in Chinese highway projects using AHP. International Journal of Project Management; 2008, 26(4): 408-419.

17. 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.

18. Karahalios H, Yang Z.L, Williams V, Wang J. A proposed System of Hierarchical Scorecards to assess the implementation of maritime regulations. Safety Science; 2011, 49 (3): 450–462.

19. Wang Y.M, Luo Y, Hua Z. On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. European Journal of Operational Research; 2008, 186(2): 735-747.

20. Chan F.T, Kumar N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. Omega; 2007, 35(4): 417-431.

21. Metin C. Enhancement of occupational health and safety requirements in chemical tanker operations: the case of cargo explosion. Safety Science; 2010, 48 (2): 195-2003.

22. Chan F.T, Kumar N, Tiwari M. K, Lau H.C. W, Choy K.L. Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. International Journal of Production Research; 2008, 46(14): 3825-3857.

23. Dağdeviren M, Yüksel İ. Developing a fuzzy

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

Voellinger R, Evanoff B. Challenges in residential fall prevention: insight from apprentice carpenters. American Journal of Industrial Medicine; 2008, 51: 60–68.

37. Dong X.S, Choi S.D, Borchardt J.G, Wang X, Largay J.A. Fatal falls from roofs among US construction workers. Journal of Safety Research; 2012, 44: 17–24.

38. Choi S.D. Postural balance and adaptations in transitioning sloped surfaces. International Journal of Construction Education and Research; 2008, 4(3): 189–199.

39. Hung Y.H, Winchester W.W, Smith-Jackson T.L, Kleiner B.M, Babski-Reeves K.L, Mills T.H. Identifying fall-protection training needs for residential roofing subcontractors. Applied Ergonomics; 2013, 44: 372-380.

40. Chi C.F, Chang T.C, Ting H.I. Accident patterns and prevention measures for fatal occupational falls in the construction industry. Applied Ergonomics; 2005, 36(4): 391-400.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]

Ranking of main causes of falling from height hazard in high-rise construction projects

M.Mohajeri[1], M.Amiri[2]

Received: 2013/11/27 Revised: 2014/05/22 Accepted: 2014/08/08

Abstract

Background and aims: Falling from work surfaces at height is often known as one of the main causes of fatal occupational accidents in the construction industry. Preventing from this type of accidents is a favorable subject not only for workers and employers, but also for HSE and insurance professionals of companies. Hence, the aim of this study is to identify and rank the causes of this hazard in order to prevent from its occurrence in large construction projects.

Methods: In the beginning, main causes of falling from height hazard were identified and a fault tree was drawn for each of them. Then, these causes were weighted using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Fault Tree Analysis and finally were ranked.

Results: In the high-rise construction industry, the highest importance coefficient was devoted to personal factors. According to the results of the hierarchical analysis, recklessness, low level of consciousness, unsafe practices and poor safety supervision were known as the most important causes of falling from height hazard.

Conclusion: Comparing the results with the past research and validating the model by asking from the assessment group, demonstrated that the proposed method is reliable and useful. Since falling from height is the most important risk in construction sites, safety managers of high-rise projects can employ this method and also use the factors identified in this study for safety assessment and mitigating falling from height hazard in this group of projects.

Keywords: Falling from height, Construction safety, High-rise projects.

1. MSc Graduate, Civil and environmental engineering department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

2. PhD in construction engineering and management, Assistant professor, Payam-e-Noor University, Mashhad, Iran. m-amiri@aut.ac.ir

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-04-17]