نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست
**Amirkabir Jounrnal of Science & Research Civil and Enviromental Engineering (ASJR-CEE)**

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
( پلی تکنیک تهران )

دوره ۴۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، صفحه ۲۱۷ تا ۲۲۶
Vol. 48, No. 3, Fall 2016, pp. 217-226

# تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی پروژه‌های ساختمانی با استفاده از روش یکپارچه AHP-DEA

مهدی مهاجری[1*]، عبدالله اردشیر[2]

۱- کارشناس ارشد، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشیار، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

**(دریافت: ۱۳۹۱/۳/۱۰، پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۶)**

## چکیده

صنعت ساخت‌وساز یکی از خطرناک‌ترین صنایع از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده است. حوادث این صنعت ناشی از ناکارآمدی روش‌های متعارف ارزیابی خطر و همچنین اجرای فعالیت‌های بدون درنظر گرفتن استانداردهای ایمنی است که تأثیر عمده‌ای را بر سلامت و ایمنی کارکنان می‌گذارد. بنابراین، شناسایی و ارزیابی خطرات و ریسک‌ها یک گام ضروری در این صنعت بوده و تجزیه و تحلیل ایمنی یک اقدام مؤثر و فعال برای شناسایی، ارزیابی و کنترل خطرها در روش‌های صنعتی است. این مقاله از روش سیستماتیک و یکپارچه روش تحلیل سلسله مراتبی-روش تحلیل پوششی داده‌ها (AHP-DEA) برای ارزیابی خطرهای ایمنی استفاده می‌کند. در مطالعه موردی کارگاه‌های ساختمانی متعارف ایران، بیست فعالیت دارای پتانسیل خطر، ده حادثه ناشی از این فعالیت‌ها و دوازده عامل بروز حادثه شناسایی شدند و با استفاده از قضاوت متخصصان ایمنی و ناظران پروژه، از طریق پرسشنامه مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، فعالیت‌های گودبرداری و کار در ارتفاع به عنوان پر خطرترین فعالیت‌ها از نظر ایمنی شناخته شد و راهکارهایی نیز برای بهبود و پیشگیری از حوادث ناشی از این فعالیت‌ها ارائه گردید.

**کلمات‌کلیدی:**

**تجزیه و تحلیل، خطر، ایمنی، ساخت‌وساز، روش تحلیل پوششی داده‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی**

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:
Please site this article using:
Mohajeri, M., and Ardeshir, A., 2016. "Analysis of Construction Safety Risks Using AHP-DEA Integrated Method". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(3), pp. 217–226.
DOI: 10.22060/ceej.2016.608
URL: http://ceej.aut.ac.ir/article_608.html
نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات: E-mail: mehdi_mohajeri@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

صنعت ساخت‌وساز، صنعتی اساسی از ساخت‌وساز ملی است که نقش مهمی را در پیشرفت اقتصادی کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته دارد [۱]. از آن‌جایی که فشردگی و پیچیدگی زیادی در زمینه کاری در این صنعت وجود دارد، بنابراین مخاطره‌آمیزترین صنعت از نظر تلفات مربوط به کار، نرخ آسیب‌دیدگی و پرداخت غرامت به کارگران شناخته شده است [۲]. صدمات در این صنعت منجر به فوت، آسیب‌های جدی شغلی و زمان از دست رفته کار با توجه به طبیعت منحصر به فرد آن رخ می‌دهد [۳]. کارگاه‌های ساختمانی توسط بسیاری از عوامل منحصر به فرد مانند تغییرات مستمر محیط کار، چرخش مکرر تیم کار، شرایط کاری نامناسب، قرار گرفتن در معرض آب و هوای مختلف، تعداد بالای نیروی غیرماهر و کارگران موقت، مشخص و توصیف می‌شوند که این خصوصیات باعث بروز حوادث زیادی در این صنعت می‌گردد [۴،۵]. از این رو، تجزیه و تحلیل ریسک‌های ایمنی و شغلی در کارگاه‌های بزرگ ساختمانی، گامی اصلی و کلیدی برای دستیابی به سطح ایمنی مناسب و پایه و اساس مدیریت ایمنی در ساخت‌وساز است که بخشی از سیستم مدیریت ایمنی را تشکیل می‌دهد [۶].

## ۲- پیشینه تحقیق

روش‌های متداول برای ارزیابی خطرات شغلی را می‌توان به سه دسته عمده تجزیه و تحلیل کیفی، نیمه‌کمی و کمی تقسیم‌بندی نمود. از آن‌جایی که به دست آوردن اطلاعات جامعی برای تجزیه و تحلیل کامل ارتباط بین علت و معلول حوادث در پروژه‌های ساخت‌وساز مشکل است، بنابراین استفاده از رویکردی کمی به طور مستقیم برای ارزیابی خطرهای پروژه دشوار است. به همین دلیل، بسیاری از محققان از یک رویکرد کیفی و نیمه‌کمی برای ارزیابی خطر در پروژه‌های ساختمانی استفاده می‌کنند [۱].

در طول دهه گذشته، روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل خطر در صنعت ساخت‌وساز توسط محققان زیادی پیشنهاد شده‌اند. در میان این روش‌ها، روش تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) روشی مؤثر برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره[2] (MCDM) است که در زمینه‌های مختلفی از جمله مدیریت ساخت‌وساز به طور گسترده استفاده شده است [۷،۸]. همچنین این روش برای مدیریت خطر نیز به کار گرفته شده است [۹،۱۰]. ژنگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی[3] (FAHP) برای ارزیابی ایمنی کار در محیط‌های گرم و مرطوب استفاده کردند [۱۱].

هدف از روش AHP، تصمیم‌گیری علمی و همچنین راهی برای ترکیب تحلیل کیفی و کمی فرایند است [۱۲]. یکی از مزیت‌های اصلی روش AHP، ساختار ساده آن است. همچنین این روش مانند ریاضیات پیچیده نیست و به آسانی قابل درک بوده و به طور مؤثر می‌تواند برای هر دو دسته داده‌های کمی و کیفی به کار رود [۱۳] و بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا شده است. ماتریس مقایسه زوجی در این روش، وقتی که تعداد گزینه‌های تصمیم بسیار زیاد باشد، حجم زیادی از مقایسه را برای کارشناسان ایجاد می‌کند. برای حل این مشکل، ترکیب روش AHP با روش تحلیل پوششی داده‌ها[4] (DEA) پیشنهاد گردید. تلاش‌های متعددی برای ترکیب دو روش در پروژه‌های واقعی وجود داشته است. به عنوان مثال، بوون در سال ۱۹۹۰ پیشنهاد ادغام دو روش AHP و DEA را برای مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره داد [۱۴]. اما در این تحقیق، به دلیل محدودیت‌های موجود در روش AHP، از روش یکپارچه AHP-DEA برای ارزیابی ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی استفاده شده است.

### ۲- ۱- تجزیه و تحلیل خطر

شناسایی و ارزیابی خطرهای ایمنی و شغلی گامی ضروری برای دستیابی به سطح ایمنی مناسب در پروژه بوده و تجزیه و تحلیل ایمنی شغلی[5] (JSA)، یک روش عملی برای شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌ها در روش‌های صنعتی است [۱۴].

فرایند تجزیه و تحلیل ایمنی شامل سه مرحله اصلی زیر است:

– شناسایی: عوامل منجر به بروز حوادث و همه وقایعی که ممکن است در طول کار رخ دهند، شناسایی می‌گردد. نظرسنجی در میان کارشناسان ساخت‌وساز، مناسب‌ترین منبع برای کسب اطلاعات عملی در مورد حوادث است [۴].

– ارزیابی: از طریق توزیع پرسشنامه بین کارشناسان، احتمال وقوع و شدت پیامد برای سناریو مربوط به هر حادثه مشخص می‌گردد. همچنین برآورد خطر برای هر خطر و رتبه‌بندی خطرها برای همه وقایع شناسایی‌شده تعیین می‌شود [۴].

– اقدام: در این فاز، خطر با درنظر گرفتن اقدامات کافی برای کاهش یا از بین بردن آن، کنترل می‌شود [۱۴]. برای کنترل و پیشگیری مؤثر از حوادث، درک علل حوادث ضروری است [۱۵].

### ۲- ۲- بررسی علل حوادث و صدمات ناشی از آن در ساخت‌وساز

با نگرشی به گذشته، می‌توان دریافت که ساخت‌وساز یکی از خطرناک‌ترین صنایع در جهان بوده و شامل صدمات منجر به مرگ و جراحت فراوانی است [۴]. وقوع حوادث ساختمانی، همه‌ساله باعث خسارت‌های مالی، جانی، زیست‌محیطی و اعتباری فراوان به فعالیت‌های عمرانی مختلف می‌شود. رولینسون و والکر در سال ۱۹۹۵، به این نتیجه رسیدند که اطلاعات دقیق در مورد علل حوادث، برای پیشگیری از حوادث ضروری است [۱۶].

بسیاری از محققان نظرات مختلفی را در مورد علل خطرات شغلی

[1] Analytic Hierarchy Process
[2] Multiple Criteria Decision Making
[3] Fuzzy Analytic Hierarchy Process
[4] Data Envelopment Analysis
[5] Job Safety Analysis

پیشنهاد کرده‌اند [۱۷]. علل اصلی حوادث در کارگاه‌های ساختمانی را می‌توان طبق تحقیقات انجام‌شده به پنج مقوله وسیع از جمله مدیریت نامناسب، شیوه‌های کار ناایمن، شرایط کار نامطلوب، عوامل شخصی و عوامل کار تقسیم‌بندی نمود [۱۵].

در کارگاه‌های ساختمانی، سقوط از سطوح کار در ارتفاع (به‌عنوان مثال نردبان، داربست و سقف‌ها) اغلب به عنوان یکی از علل اصلی حوادث مرگبار است [۱۸،۱۹]. از جمله مهم‌ترین علل سقوط در صنعت ساخت‌وساز می‌توان به شیوه‌های کار ناایمن، تغییر مداوم محیط کار، آموزش ناکافی و استفاده نکردن از روش‌های متعارف حفاظت از سقوط اشاره کرد [۲۰].

## ۳- روش تحقیق

در اکثر موارد، تصمیم‌گیری‌ها وقتی مطلوب است که تصمیم‌گیری بر اساس چندین معیار یا شاخص باشد. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چند معیار سنجش استفاده می‌شود. از دیدگاه این روش، فرایند سلسله مراتبی (AHP) روشی مناسبی به خصوص برای مدلسازی معیارهای کیفی بوده و کاربرد گسترده‌ای را برای انتخاب، ارزیابی، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در پروژه دارد [۱]. با این حال، با توجه به این واقعیت که ده‌ها نوع از حوادث در کارگاه‌های ساختمانی مشاهده و شناسایی شده است و روش AHP فقط می‌تواند تعداد محدودی از گزینه‌های ریسک را مقایسه کند، پس مقایسه زوجی در این شرایط غیرممکن است. برای غلبه بر این مشکل، از ترکیب روش AHP با روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA وانگ و همکاران، ۲۰۰۸) [۱۴] و پیشنهاد روش یکپارچه AHP-DEA در این مقاله استفاده شده است.

در جدول (۱)، جزییات رویکرد پیشنهادی این تحقیق برای تجزیه و تحلیل خطرهای ایمنی ساخت‌وساز نشان داده شده است.

## ۳- ۱- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یک روش توسعه‌یافته (توسط ساتی در سال۱۹۸۰) برای حمایت از تصمیم‌گیری چندشاخصه است [۱۴،۲۱]. در فرایند سلسله مراتبی، پس از رسم ساختار سلسله مراتبی ریسک‌های ایمنی صنعت ساخت‌وساز، ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها (احتمال وقوع، پیامد جانی و پیامد مالی) نسبت به یکدیگر تشکیل می‌شود. روش کار، به این صورت است که به هر مقایسه دویی، با توجه به قضاوت‌های شخصی تصمیم‌گیرندگان و کارشناسان یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود که مفهوم هر عدد، در جدول (۲) آورده شده است.

همان‌طور که پیشتر بیان شد، در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. سپس با استفاده از این ماتریس وزن نسبی عناصر محاسبه می‌گردد. به طور کلی، یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود که در آن، $a_{ij}$ ترجیح عنصر $i$ ام نسبت به عنصر $j$ام است. حال با مشخص‌بودن $a_{ij}$ ها می‌توان وزن عناصر، یعنی $w_i$ ها را به دست آورد [۲۱].

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

حجم محاسبات به روش دستی برای به دست آوردن وزن نسبی عناصر از ماتریس رابطه (۱)، زیاد است. در نتیجه وزن نسبی عناصر $(w_i)$ با استفاده از نرم‌افزار «انتخاب ماهرانه[1]» و با روش بردار ویژه محاسبه می‌شود.

جدول (۱): جزییات روش پیشنهادی

| مرحله | شرح | روش |
|---|---|---|
| ۱ | شناسایی فعالیت‌های پرخطر | مشاهدات |
| ۲ | شناسایی عوامل بروز حادثه (عوامل خطر) و وقایع نامطلوب | پیشینه حوادث، تحقیق، مصاحبه |
| ۳ | مقایسه زوجی معیارها (احتمال وقوع و شدت حادثه) | قضاوت کارشناسان ایمنی |
| ۴ | وزن‌دهی معیارها | روش AHP |
| ۵ | تخمین احتمال وقوع و شدت حادثه | قضاوت مهندسان ناظر |
| ۶ | تخمین احتمال وقوع با توجه به عوامل خطر | رابطه (۶) |
| ۷ | وزن محلی هر زیرمعیار | روش DEA |
| ۸ | رتبه‌بندی و اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده | روش AHP-DEA |
| ۹ | تحلیل خطر | آنالیز حساسیت |
| ۱۰ | نظارت بر عمل و کنترل | طرح پیشگیری |

جدول (۲): مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی [۲]

| ترجیحات (قضاوت شفاهی) | مقدار عددی |
|---|---|
| کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر | ۹ |
| ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی | ۷ |
| ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی | ۵ |
| کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر | ۳ |
| ربیت یکسان | ۱ |
| ترجیحات بین فواصل فوق | ۲، ۴، ۶ و ۸ |

[1] Expert Choice

### ۳- ۲- ترکیب دو روش AHP و DEA

وقتی که تعداد گزینه‌های تصمیم بسیار زیاد باشد، ماتریس مقایسه زوجی با توجه به هر معیار برای $N$ گزینه تصمیم‌گیری حجم زیادی از مقایسه را برای کارشناسان ایجاد می‌کند. ثابت شده است که در $N$ های بزرگ‌تر از ۱۵، تعداد زیادی از مقایسه سبب ایجاد بار سنگینی برای کارشناسان می‌شود و از سویی دیگر، مقایسه بیش از حد در قضاوت موجب تناقض و تضاد می‌گردد. برای حل این مشکل، ترکیب روش AHP با روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) پیشنهاد می‌شود. روش تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی بوده که ارزیابی گروهی از واحدهای تصمیم‌گیری با بازه نسبی است. این رویکرد، توسط چانز، کوپر و رادز پیشنهاد شد [۲۲]. تلاش‌های متعددی برای ترکیب دو روش در برنامه‌های واقعی وجود داشته است. به عنوان مثال، بوون در سال ۱۹۹۰ دو روش AHP و DEA را از لحاظ ساختار و نتایج برای حل مسئله انتخاب مکان مناسب مورد بحث قرار دادند. آن‌ها ادعا کردند که ترکیب دو روش مزیت‌های استفاده از داده‌های عینی و ذهنی و همچنین کاهش تعداد مقایسه‌های زوجی را به همراه خواهد داشت [۱۴]. در ادامه به طور خلاصه محاسبات روش DEA شرح داده شده است. برای هر یک از معیارها، مجموعه‌ای از درجه‌های ارزیابی طبق رابطه (۲) معرفی می‌شود:

$$G=\{H_{J1},\ldots,H_{JK}\} \qquad j=1,\ldots,m \tag{۲}$$

که در آن مجموعه، $H_{J1}$ تا $H_{JK}$ به نمایندگی از پر اهمیت‌ترین تا کم اهمیت‌ترین نمرات ارزیابی برای معیار $j$ بوده و $JK$ نیز اعداد نمرات ارزیابی برای هر معیار است. این تعریف اجازه می‌دهد تا ارزیابی برای معیارهای مختلف با استفاده از تعداد متفاوت نمرات انجام شود و همچنین انعطاف‌پذیری برای درجه‌بندی زبانی را فراهم کند. سپس از کارشناسان درخواست می‌شود تا ارزیابی گزینه‌های خطر بر اساس نمرات مربوط به ارزیابی خود را با توجه به معیار مورد نظر بر پایه اهمیت نسبی طبقه‌بندی نمایند.

فرض می‌شود که $j$ معیار توسط $N_j$ کارشناس ارزیابی خواهد شد. در این صورت، نتایج را می‌توان با بردار ارزیابی توزیع رابطه (۳) مشخص نمود:

$$R\left(C_j(A_i)\right)=\left\{\left(H_{J_1},NE_{IJ_1}\right),\ldots,\left(H_{JK_J},NE_{IJK_J}\right)\right\};\quad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m \tag{۳}$$

که در آن، $NE_{IJK}$ بیانگر تعداد کارشناسانی که درجه $H_{JK}$ را به گزینه ریسک $A_j$ تحت معیار $j$ دادند بوده که در جدول (۳)، شکل کلی طرح پیشنهادی آورده شده است. سپس وزن محلی از هر گزینه با هر معیار توسط رابطه (۴) تعیین می‌شود [۱۴].

$$v_{ij}=\sum_{k=1}^{k=j}s(H_{JK})NE_{ijk} \qquad i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m \tag{۴}$$

در این روش، ابتدا حداکثرسازی $\alpha$ از هر متغیر تصمیم‌گیری از جدول (۳) با توجه به نتایج نظرسنجی را یافته و سپس با توجه به رابطه (۵)، متغیر تصمیم‌گیری $s(H_{JK})$ از درجه $H_{JK}$ به دست آورده می‌شود.

$$\alpha\le v_{ij}=\sum_{k=1}^{k=j}s(H_{JK})NE_{ijk}\le 1 \qquad i=1,\ldots..,n \qquad s(H_{J1})\ge 2s(H_{J2})\ge\ldots\ge k_j s(H_{Jk1})\ge 0 \tag{۵}$$

در رابطه (۵)، $s(H_{J1});\ldots;s(H_{JKJ})$ متغیرهای تصمیم‌گیری هستند. در نهایت با داشتن متغیر $s(H_{JK})$ برای هر معیار، وزن محلی برای هر یک از گزینه‌ها توسط رابطه (۴) به دست خواهد آمد [۱۴].

### ۳- ۳- تخمین احتمال وقوع با توجه به عوامل منجر به حادثه

در این پروژه، احتمال وقوع حادثه از دو طریق محاسبه می‌شود که

جدول (۳): توزیع ماتریس تصمیم‌گیری برای گزینه‌های تصمیم‌گیری (مدل توسعه‌یافته DEA توسط وانگ و همکاران ۲۰۰۷) [۱۴]

| Alternative | Decision Creiteria | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $C_1$ | | | | $C_j$ | | | | $C_m$ | | |
| | $H_{11}$ | … | $H_{1k1}$ | … | Hj1 | … | $H_{jkj}$ | … | $H_{m1}$ | … | $H_{mkm}$ |
| $A_1$ | $NE_{111}$ | … | $NE_{11k1}$ | … | $NE_{1j1}$ | … | $NE_{1jkj}$ | … | $NE_{1m1}$ | … | $NE_{1mkm}$ |
| ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ |
| Ai | $NE_{i11}$ | … | $NE_{i1k1}$ | … | $NE_{ij1}$ | … | $NE_{ijkj}$ | … | $NE_{im1}$ | … | $NE_{imkm}$ |
| ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ | … | ⋮ |
| An | $NE_{n11}$ | … | $NE_{n1k1}$ | … | $NE_{nj1}$ | … | $NE_{njkj}$ | … | $NE_{nm1}$ | … | $NE_{nmkm}$ |

برای تحلیل خطر هر دو عدد مد نظر قرار خواهند گرفت. همان‌طور که در جزییات روش پیشنهادی مطرح شد، ابتدا احتمال وقوع حادثه از طریق قضاوت کارشناسان به دست خواهد آمد. همچنین با توجه به عوامل دخیل در بروز حادثه احتمال وقوع محاسبه می‌شود.

در این مرحله، تعریفی از غلظت عامل خطر ارائه می‌شود که برای تخمین احتمال وقوع به کار گرفته شد. غلظت از رابطه (۶) محاسبه می‌شود [۵]:

$$C_{ij} = \frac{X_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} X_i Y_{ij}} \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، $X_i$ تعداد عوامل خطر از فاکتورهای حادثه[1] (Fi) و $Y_i$ وزن هر عامل خطر که باعث رویداد نامطلوب می‌گردد (و توسط کارشناسان تخمین زده می‌شود) است [۵]. سپس غلظت را می‌توان با یک مقیاس به احتمال و به وزن محلی مطابق با دیگر معیارهای تصمیم‌گیری تبدیل نمود.

### ۳- ٤- محاسبه وزن کلی خطر

در نهایت، وزن کلی ریسک برای هر یک از فعالیت‌ها از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$V_{(A_i)} = \sum_{j=1}^{m} w_j v_{ij} = \sum_{j=1}^{m} w_j \left(\sum_{k=1}^{kj} s^*(H_{jk}) NE_{ijk}\right) \qquad (۷)$$
$$i = 1,\ldots,n$$

در این رابطه، $W_j$ وزن معیارها تعیین‌شده توسط روش AHP بوده و $s^*(H_{jk})$ نمره بهینه از کلاس ارزیابی تعیین‌شده توسط رابطه (۵) و $V_{(Ai)}$ وزن نهایی خطرها است. با داشتن وزن نهایی، می‌توان خطرها را رتبه‌بندی و اولویت‌بندی نمود [۱۴].

### ٤- کاربرد روش پیشنهادی در مطالعه موردی

آمارهای سازمان کار و امور اجتماعی ایران، سهم حوادث مرگبار در کارگاه‌های ساختمانی را ۴۶ درصد از کل حوادث صنایع ذکر کرده است. درحالی‌که آمار جهانی در این بخش ۱۷ درصد است [۲۳]. در نتیجه این امر، ضرورت انجام تحلیل و ارزیابی خطرهای ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی ایران را نشان می‌دهد. در این بخش برای اعتبارسنجی چارچوب ارائه‌شده، ارزیابی خطرهای ایمنی کارگاه‌های متعارف ساختمانی ایران بررسی می‌گردد.

### ٤- ۱- جمع‌آوری اطلاعات

با استفاده از تجربیات کارشناسان، مشاهدات کارگاهی و موارد مطرح‌شده در پیشینه تحقیق، عوامل ریسک، فعالیت‌های پرخطر در کارگاه‌ها و نوع سناریو حادثه ناشی از هر فعالیت، شناسایی شدند (فاز ۱).

در این مطالعه، ۱۲ علل مؤثر منجر به حادثه، به ۴ دسته کلی تقسیم شدند (جدول (۴)). همچنین ۲۰ فعالیت مستعد خطر و ۱۰ رویداد نامطلوب ناشی از فعالیت‌ها شناسایی گردید. در ادامه لیست فعالیت‌ها و حوادث ناشی از آن‌ها آورده خواهد شد.

جدول (۴): عوامل خطر در ساخت‌وساز

| مدیریت نامناسب | اعمال ناایمن |
|---|---|
| ۱-مدیریت نامناسب/ناکافی | ۱-استفاده نامناسب از ابزار و تجهیزات |
| ۲-نظارت ناکافی | ۲-تجهیزات محافظ شخصی ناکافی |
| ۳-نبود آموزش ایمنی | ۳-عملیات نامناسب/سرعت کار |
| ۴-مشخصات فنی ناکافی | ۴-نبود ترمیم یا نگهداری |
| ۵-اقدامات پیشگیرانه ناکافی | ۵-نبود بازرسی قبل از استفاده تجهیزات |
| ۶-برنامه‌ریزی ضعیف | ۶-استفاده از روش ذاتی خطرناک |
| شرایط کار نامطلوب | عوامل شخصی |
| ۱-خطرات فیزیکی و مکانیکی | ۱-در معرض موقعیت ناامن |
| ۲-تهویه نامناسب | ۲-آموزش ناکافی کارکنان |
| ۳-علامت‌گذاری نامناسب | ۳-نبود هوشیاری کارگران |
| ۴-روشنایی نامناسب | ۴-نبود هماهنگی بین اعضاء |

### ٤- ۲- پرسشنامه ساختار یافته به کارشناسان ایمنی و ناظران پروژه‌های ساختمانی

در مجموع، از ۲۲ متخصص و کارشناس شامل ۱۰ متخصص ایمنی و ۱۲مهندس ناظر مشغول به کار در پروژه‌های متعارف ساختمانی (سابقه کار بیش از ۵ سال) برای پاسخگویی به پرسشنامه استفاده شد.

چهار معیار اصلی شامل احتمال وقوع حادثه (با توجه به عوامل خطر)، احتمال وقوع حادثه، پیامد مالی و پیامد جانی (با توجه به قضاوت ناظران کارگاه‌ها) برای ارزیابی خطر ایمنی استفاده شدند. در ارزیابی خطر، ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها، با استفاده از روش AHP تشکیل داده شد. به هر یک از مقایسه‌های دویی، یک عدد از ۱ تا ۹ به قضاوت‌های شخصی متخصصان ایمنی، نسبت داده شده که منظور از هر عدد در جدول (۲) مشخص شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار AHP وزن نهایی هر معیار محاسبه می‌شود (شکل (۱)).

در بخش دیگری از پرسشنامه مربوط به متخصصان ایمنی، چهار عامل مؤثر در بروز حوادث با توجه به درجه اهمیت، نمره‌دهی و اولویت‌بندی شد (جدول (۵)).

[1] Factor Incident

شکل (۱): مقایسه زوجی معیارها با استفاده از نرم‌افزار

جدول (۵): رتبه‌بندی فاکتورهای خطر

| ردیف | فاکتور خطر | نمره (۱– ۹) |
|---|---|---|
| $F_1$ | کنترل مدیریت ناکافی | ۹ |
| $F_2$ | اعمال نا ایمن | ۶ |
| $F_3$ | شرایط کار نامطلوب | ۷ |
| $F_4$ | عوامل شخصی | ۵ |

### ٤– ۳– آزمون قابلیت اطمینان

به منظور اطمینان از نتایج به دست آمده، اقدام به تعیین میزان پایایی پرسشنامه شد. برای بررسی میزان پایایی پرسشنامه از نرم‌افزار SPSS برای به دست آوردن ضریب «آلفای کرونباخ» استفاده گردید. با توجه به نتایج نظرسنجی در جدول (۶) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS برای معیارهای احتمال وقوع، پیامد جانی و مالی و ضریب آلفا به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۷ به دست آمد که سطح قابلیت اطمینان، وقتی ضریب آلفا بزرگتر یا مساوی ۰/۷ باشد، قابل قبول است [۱۵]. بنابراین، نتایج به دست آمده از پرسشنامه دارای میزان پایایی مناسبی هستند.

### ٤– ٤– سطح خطر

سه معیار احتمال وقوع، پیامد مالی و جانی به صورت کیفی به چهار زیرمعیار (خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم) تقسیم شدند. همچنین تخمین احتمال وقوع، پیامد مالی و جانی برای هر یک از فعالیت‌های ذکر شده در جدول (۶)، با استفاده از قضاوت مهندسان پروژه‌ها صورت گرفت. سپس وزن کمی هر زیرمعیار با توجه به رابطه (۵) در روش DEA به دست آمد:

– احتمال وقوع: شایع (۰/۱۰)، ممکن (۰/۰۵)، گاهی (۰/۰۳۳) و نادر (۰/۰۲۵)

پیامد جانی: مرگ (۰/۱۴۶)، ناتوانی دائمی (۰/۰۷۳۱)، آسیب شدید (۰/۰۴۸۶۷) و آسیب جزئی (۰/۰۳۶۵)

– پیامد مالی: خیلی زیاد (۰/۱۰۵)، زیاد (۰/۰۵۲۶)، متوسط (۰/۰۳۵) و کم (۰/۰۲۶۲)

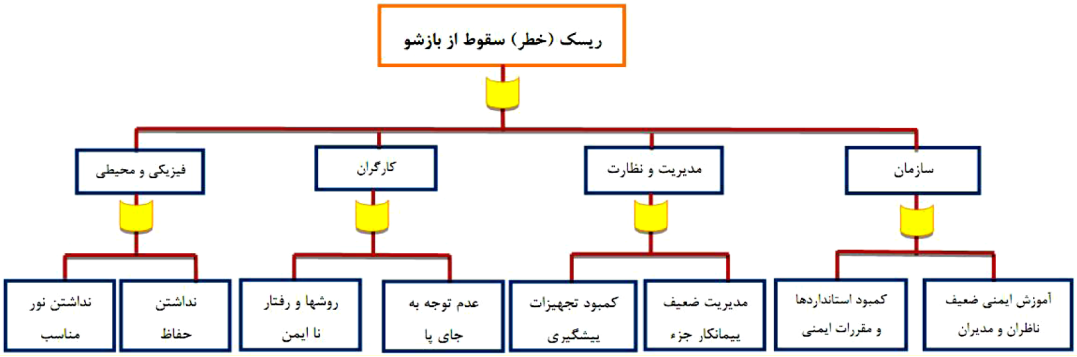
در نهایت، رتبه‌بندی و اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از رابطه (۷) انجام شد. نحوه محاسبه سطح خطر و اولویت‌بندی خطرها در جدول (۷) آورده شده است.

### ٤– ٥– تحلیل خطر

با توجه به اولویت‌بندی خطرها که در جدول (۷) نشان داده شده است، رویدادهای گودبرداری و سقوط از ارتفاع جزء مهم‌ترین خطرهای ایمنی در این مطالعه شناخته شدند. با نظر به قابلیت درخت خطا در شناسایی علل وقوع خطر، درخت خطا برای هر کدام از خطرها ترسیم شد. در این‌جا برای نمونه، درخت خطا برای خطر سقوط از ارتفاع در شکل (۲) آورده شده است. برای ایجاد درخت خطا، چندین مصاحبه با کارشناسان پروژه‌ها و مهندسین ناظر انجام شد. بعد از رسم درخت خطا با استفاده از پرسشنامه، نظر کارشناسان در مورد هر یک از عوامل ریشه‌ای خطرها و مقدار اثر آن بر روی رویداد اصلی به دست آورده شد. سپس تحلیل حساسیت روی عوامل ریشه‌ای خطرها انجام گرفت. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، نبود حفاظ مناسب برای بازشوها، رعایت‌نکردن اصول

جدول (۸): اقدامات برای پیشگیری عوامل خطر

| رویداد خطر | اقدامات پیشگیری و کاهش |
|---|---|
| ریزش ساختمان مجاور | تیم نظارت و اجرایی مجرب |
| | طراحی و اجرای مناسب سازه نگهبان |
| | رعایت مقررات ایمنی |
| | آموزش ایمنی به کارگران |
| افتادن از ارتفاع | نصب حفاظ در بازشوها و پرتگاه‌ها |
| | ارائه و استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی |




شکل (۲): درخت خطای خطر سقوط از ارتفاع

جدول (۶): اطلاعات ارزیابی خطر برای ۲۰ فعالیت پر خطر در ساخت‌وساز (نتایج پرسشنامه)

| رویداد نامطلوب (نوع سناریو حادثه) | فعالیت | احتمال وقوع حادثه | | | | پیامد جانی | | | | پیامد مالی | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شایع | ممکن | گاهی | نادر | مرگ | ناتوانی دائمی | آسیب شدید | آسیب جزئی | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم |
| ریزش ساختمان مجاور | گودبرداری | ۷ | ۳ | ۲ | – | ۲ | ۲ | ۸ | – | ۷ | ۵ | – | – |
| ریزش ساختمان مجاور | نصب واجرای اسکلت فلزی | ۴ | ۵ | ۳ | – | ۲ | ۳ | ۲ | ۵ | – | ۱ | ۵ | ۶ |
| | انجام عملیات بتن‌ریزی اسکلت | ۵ | ۴ | ۲ | ۱ | – | – | ۴ | ۸ | ۱ | ۳ | ۶ | ۲ |
| | کار با جرثقیل | – | ۵ | ۲ | ۵ | – | ۱ | + | ۵ | ۲ | ۵ | ۴ | ۱ |
| | کار با ابزارآلات و مصالح | ۷ | ۳ | ۲ | – | ۱ | ۳ | ۵ | ۳ | – | – | ۴ | ۸ |
| | کار با قالب، داربست و غیره | ۶ | ۳ | ۳ | – | – | ۱ | ۵ | ۶ | – | – | ۶ | ۶ |
| ریزش ساختمان مجاور | اجرای سقف | – | ۴ | ۶ | ۲ | ۱ | ۲ | ۴ | ۵ | – | – | ۵ | ۷ |
| | جوشکاری اسکلت | ۷ | ۳ | ۲ | – | ۳ | ۲ | ۷ | – | – | – | ۷ | ۵ |
| | کار روی داربست | ۲ | ۷ | ۲ | ۱ | – | ۲ | ۷ | ۳ | – | – | ۴ | ۸ |
| | کار با بالابر (افتادن از ارتفاع) | ۱ | ۲ | ۶ | ۳ | – | ۱ | ۵ | ۶ | – | – | ۵ | ۷ |
| | کار در ارتفاع (نداشتن حفاظ) | ۳ | ۶ | ۳ | – | ۴ | ۲ | ۴ | ۲ | – | – | ۴ | ۸ |
| برق گرفتگی | کار با وسایل برقی | ۲ | ۷ | ۲ | ۱ | ۱ | – | ۲ | ۹ | – | – | ۳ | ۹ |
| آتش‌سوزی و انفجار | کار با مواد خطرناک | ۱ | ۳ | ۷ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۳ | ۷ | ۳ | ۲ | – |
| آسیب ناشی از ابزار و ماشین‌آلات | کار با ماشین‌آلات | ۶ | ۵ | ۱ | – | ۱ | – | ۵ | ۶ | – | ۱ | ۵ | ۶ |
| | کار با ابزارآلات | ۸ | ۴ | – | – | – | ۱ | ۵ | ۶ | – | – | ۴ | ۸ |
| قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک | گرد و خاک ناشی از فعالیت تخریب و کار با آزبست و غیره | ۷ | ۴ | ۱ | – | – | – | ۳ | ۹ | – | – | ۱ | ۱۱ |
| گیرکردن | گیرکردن بین دو جسم | – | ۳ | ۷ | ۲ | – | ۲ | ۶ | ۴ | – | – | ۵ | ۷ |
| برخورد | برخورد افراد با موانع | ۴ | ۵ | ۳ | – | – | – | ۳ | ۹ | – | – | ۱ | ۱۱ |
| | برخورد با ماشین حمل و نقل | ۱ | ۳ | ۶ | ۲ | ۱ | ۲ | ۷ | ۲ | – | – | ۴ | ۸ |
| لغزش | لغزش روی سطح | ۲ | ۹ | ۱ | – | – | ۱ | ۶ | ۵ | – | – | ۲ | ۱۰ |

ایمنی و نبود آموزش به کارگران جزء مهم‌ترین عوامل بروز خطر شناخته شدند. کارشناسان، استراتژی‌های کاهش این خطرات را بیان نموده و راهکارهایی را پیشنهاد دادند که در جدول (۸) ارائه شده است.

### ٤- ٦- بحث

هدف از انجام مطالعه حاضر، ارایه چارچوبی برای رتبه‌بندی خطرهای ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز بوده که به بررسی جامع و دقیق انواع حوادث می‌پردازد. به این منظور، با استفاده از روش‌های AHP و DEA چارچوب مورد نظر پیشنهاد گردید و رتبه‌بندی خطرهای ایمنی در پروژه‌های ساختمانی متعارف انجام شد. اعتبار یافته‌های تحقیق حاضر از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرارگرفته است:

– در این مطالعه خطر ریزش ساختمان مجاور در گودبرداری به عنوان مهم‌ترین خطر در پروژه‌های ساختمانی متعارف شناخته شد که با آمارهای مختلفی همچون سازمان آتش‌نشانی کشور هم‌خوانی دارد. در سال‌های اخیر، حوادث ساختمانی که به دلیل ریزش آوار در گودبرداری غیراصولی انجام شده‌اند، افزایش یافته است [۲۴].

– در این تحقیق بعد از خطر ریزش ساختمان مجاور، خطر سقوط از ارتفاع به عنوان مهم‌ترین خطر در کارگاه‌های ساختمانی شناخته شد که با نتایج تحقیقات پیشین (مانند کاسکوتس و همکارانش در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ [۲۵،۲۶]، هالپرین و همکارانش در سال ۲۰۰۴ [۲۷]، لیپسکومب و همکارانش در سال ۲۰۰۸ [۲۸]، چوی در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸ [۲۹،۳۰] و زنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸ [۳۱]) هم‌خوانی دارد.

– به منظور بررسی جامعیت، درستی روش و نتایج تحقیق، یک پرسشنامه جداگانه در پایان پژوهش طراحی شد. این پرسشنامه بین مدیران و ناظران پروژه‌ها توزیع و تکمیل شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کارشناسان صحت روش و نتایج رتبه‌بندی را تأیید کردند و

جدول (۷): نمره خطر جزئی و کلی برای ۲۰ فعالیت در ساخت‌وساز و اولویت‌بندی خطرها

| ردیف | فعالیت | احتمال وقوع برپایه عوامل خطر* | | | نمره خطر جزئی | | | نمره کلی خطر | اولویت خطر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عوامل مرتبط | وزن عوامل | احتمال وقوع* (رابطه غلظت) | احتمال وقوع* | احتمال وقوع | پیامد جانی | پیامد مالی | | |
| | | | | | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۶۴ | ۰/۰۸ | | |
| ۱ | گودبرداری | $F_1$،$F_2$،$F_4$ | ۵، ۶، ۹ | ۰/۱۵ | ۰/۷۹ | ۰/۹۱۶ | ۰/۸۲۸ | ۱ | ۰/۸۴۷ | ۱ |
| ۲ | نصب و اجرای اسکلت فلزی | $F_1$،$F_2$،$F_3$،$F_4$ | ۵، ۶، ۷، ۹ | ۰/۱۹۲ | ۱ | ۰/۷۴۹ | ۰,۷۹۱ | ۰/۳۸۵ | ۰/۷۸۲ | ۴ |
| ۳ | عملیات بتن‌ریزی اسکلت بتنی | | | | ۱ | ۰/۷۹۱ | ۰/۴۸۷ | ۰/۵۲۶ | ۰/۶۰۵ | ۱۰ |
| ۴ | کار با چرثقیل | | | | ۱ | ۰/۴۴۱ | ۰/۵۴۸ | ۰/۶۳۹ | ۰/۶۰۴ | ۱۱ |
| ۵ | کار با ابزارآلات و مصالح ساختمانی | | | | ۱ | ۰/۹۴۱ | ۰/۷۱۸ | ۰/۳۵ | ۰/۷۵۹ | ۵ |
| ۶ | کار با قالب، داربست و غیره | | | | ۱ | ۰/۸۴۹ | ۰/۵۳۵ | ۰/۳۷ | ۰/۶۳۱ | ۷ |
| ۷ | اجرای سقف | $F_2$،$F_4$ | ۵، ۶ | ۰/۰۷ | ۰/۳۶ | ۰/۴۴۸ | ۰/۶۶۹ | ۰/۳۵۸ | ۰/۵۷۰ | ۱۳ |
| ۸ | جوشکاری اسکلت | | | | ۰/۳۶ | ۰/۹۱۶ | ۰/۹۲۵ | ۰/۳۷۶ | ۰/۸۰۱ | ۳ |
| ۹ | کار روی داربست (افتادن از ارتفاع) | | | | ۰/۳۶ | ۰/۶۴۱ | ۰/۵۹۷ | ۰/۳۵ | ۰/۵۵۰ | ۱۴ |
| ۱۰ | کار با بالابر (افتادن از ارتفاع) | | | | ۰/۳۶ | ۰/۴۷۳ | ۰/۵۳۵ | ۰/۳۶ | ۰/۴۸۸ | ۲۰ |
| ۱۱ | کار در ارتفاع (نداشتن حفاظ) | | | | ۰/۳۶ | ۰/۶۹۹ | ۱ | ۰/۳۵ | ۰/۸۱۶ | ۲ |
| ۱۲ | کار با وسایل برقی | $F_2$،$F_4$ | ۵، ۶ | ۰/۰۷ | ۰/۳۶ | ۰/۶۴۱ | ۰/۵۷۱ | ۰/۳۴ | ۰/۵۳۲ | ۱۵ |
| ۱۳ | کار با مواد خطرناک | $F_2$،$F_3$،$F_4$ | ۵، ۶، ۷ | ۰/۱۰ | ۰/۵۲ | ۰/۵۰۶ | ۰/۸۱۵ | ۰/۹۶ | ۰/۷۴۲ | ۶ |
| ۱۴ | کار با ماشین‌آلات | $F_2$،$F_3$،$F_4$ | ۵، ۶، ۷ | ۰/۱۰ | ۰/۵۲ | ۰/۸۳۳ | ۰/۶۰۸ | ۰/۳۸۵ | ۰/۶۱۰ | ۹ |
| ۱۵ | کار با ابزارآلات | | | | ۰/۵۲ | ۱ | ۰/۵۳۵ | ۰/۳۵ | ۰/۵۸۳ | ۱۲ |
| ۱۶ | گرد و خاک ناشی از فعالیت تخریب و یا ماسه و آهک | $F_2$،$F_3$ | ۶، ۷ | ۰/۰۷۹ | ۰/۴۱ | ۰/۹۳۳ | ۰/۴۷۵ | ۰/۳۲۳ | ۰/۵۱۸ | ۱۶ |
| ۱۷ | گیرکردن بین دو جسم درحین کار | $F_2$،$F_4$ | ۵، ۶ | ۰/۰۶۹ | ۰/۳۵ | ۰/۴۳۱ | ۰/۵۸۴ | ۰,۳۵۸ | ۰/۵۱۲ | ۱۸ |
| ۱۸ | برخورد افراد با موانع | $F_2$،$F_3$،$F_4$ | ۵، ۶، ۷ | ۰/۱۰ | ۰/۵۲ | ۰/۷۴۹ | ۰/۴۷۵ | ۰/۳۲۳ | ۰/۵۰۷ | ۱۹ |
| ۱۹ | برخورد با ماشین حمل و نقل | | | | ۰/۵۲ | ۰/۴۹۸ | ۰/۷۰۶ | ۰/۳۵ | ۰/۶۲۲ | ۸ |
| ۲۰ | لغزش روی سطح در حین کار | $F_3$،$F_4$ | ۵، ۷ | ۰/۰۶ | ۰/۳۱ | ۰/۶۸۳ | ۰/۵۴۸ | ۰/۳۳۲ | ۰/۵۱۶ | ۱۷ |

* احتمال وقوع بر اساس عوامل خطر (از رابطه (۶) محاسبه شده است).

اعلام نمودند که نتایج با واقعیت‌های مشاهده‌شده هم‌خوانی دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

نیاز به یک روش ارزیابی خطر سیستماتیک برای کارشناسان ایمنی ضروری است. روش‌های مورد استفاده در گذشته برای ارزیابی خطرات شغلی در صنعت ساخت‌وساز، عمدتاً به صورت کیفی یا روش‌های آماری بود که متخصصان ساخت‌وساز تمایل به یافتن یک مقدار عددی و واضح در ارزیابی خطر دارند. در این پژوهش، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرایند تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان رویکرد کمی در تجزیه و تحلیل خطرهای ایمنی ساختمانی پرداخته شده است. در نهایت، اولویت‌بندی فعالیت‌های پر خطر در کارگاه‌ها با استفاده از روش تحقیق انجام شد و راهکارهایی برای پیشگیری و بهبود فعالیت‌های پرخطر ارائه گردید. همچنین این مدل می‌تواند به مسئولان ایمنی کارگاه‌های ساختمانی برای شناسایی خطرها، شناسایی علل ریشه‌ای آن‌ها و نیز ارائه راهکارهای کنترل و کاهش خطرها کمک زیادی نماید.

در این تحقیق، از روش یکپارچه AHP-DEA برای اولویت‌بندی خطرهای ایمنی در کارگاه‌های ساختمانی استفاده شد و در مطالعات آینده، می‌توان با یک تغییر جزئی در روش تحقیق، از آن در دیگر زمینه‌های مهندسی برای ارزیابی خطر استفاده نمود. همچنین در این مطالعه، بررسی‌ها به یک نمونه محدود بود و برای بررسی جامع‌تر باید تمام فعالیت‌های کارگاه‌های ساخت‌وساز و عواملی همچون بومی‌بودن، سن کارگران و تجربه کاری بررسی شود.

## ۶- مراجع

[1] Liu, H. T. and Tsai, Y. L.; "A Fuzzy Risk Assessment Approach for Occupational Hazards in the Construction Industry," *Safety Science*, Vol. 50, No. 4, pp. 1067–1078, 2012.

[2] Mc. Donald, M. A.; Lipscomb, H. J.; Bondy, J. and Glazner, J.; "Safety is Everyone's Job: The Key to Safety on a Large University Construction Site," *Journal of Safety Research*, Vol. 40, No. 1, pp. 53–61, 2009.

[3] Lingard, H. C.; Cooke, T. and Blismas, N.; "Safety Climate in Conditions of Construction Subcontracting: a Multi-Level Analysis," *Construction Management and Economics*, Vol. 28, No. 8, pp. 813–825, 2010.

[4] Rozenfeld, O.; Sacks, R.; Rosenfeld, Y. and Baum, H.; "Construction Job Safety Analysis," *Safety Science*, Vol. 48, No. 4, pp. 491–498, 2010.

[5] Badri, A.; Nadeau, S. and Gbodossou, A.; "Proposal of a Risk-Factor-Based Analytical Approach for Integrating Occupational Health and Safety into Project Risk Evaluation," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 48, pp. 223–234, 2012.

[6] Pinto, A.; Nunes, I. L. and Ribeiro, R. A.; "Occupational Risk Assessment in Construction Industry–Overview and Reflection," *Safety Science*, Vol. 49, No. 5, pp. 616–624, 2011.

[7] Pan, N. F.; "Fuzzy AHP Approach for Selecting the Suitable Bridge Construction Method," *Automation in Construction*, Vol. 17, No. 8, pp. 958–965, 2008.

[8] Moutinho, L.; "The Use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Goal Assessment: The Case of Professional Services Companies," *Journal of Professional Services Marketing*, Vol. 8, No. 2, pp. 97–114, 1993.

[9] Gaudenzi, B. and Borghesi, A.; "Managing Risks in the Supply Chain using the AHP Method," *International Journal of Logistics Management*, Vol. 17, No. 1, pp. 114–136, 2006.

[10] Zayed, T.; Amer, M. and Pan, J.; "Assessing Risk and Uncertainty Inherent in Chinese Highway Projects using AHP," *International Journal of Project Management*, Vol. 26, No. 4, pp. 408–419, 2008.

[11] Zheng, G.; Neng, Z.; Zhe, T.; Ying, C. and Binhui, S; "Application of a Trapezoidal Fuzzy AHP Method for Work Safety Evaluation and Early Warning Rating of Hot and Humid Environments," *Safety Science*, Vol. 50, No. 2, pp. 228–239, 2012.

[12] Mu, X. D.; "Grassland Systems Engineering. Chinese Agricultural Press, Beijing," 1997 (In Chinese).

[13] Cengiz, K.; Ufuk, C. and Ziya, U.; "Multi-Criteria Supplier Selection using Fuzzy AHP," *Logistics Information Management*, Vol. 16, No. 6, pp. 382–394, 2003.

[14] Wang, Y. M.; Liu, J. and Elhag, T.; "An Integrated AHP–DEA Methodology for Bridge Risk Assessment," *Computers an Industrial Engineering*, Vol. 54, No. 3, pp. 513–525, 2008.

[15] Fung, I. W.; Lo, T. Y. and Tung, K. C.; "Towards a Better Reliability of Risk Assessment: Development of a Qualitative and Quantitative Risk Evaluation Model (Q2REM) for Different Trades of Construction Works in Hong Kong," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 48, pp. 167–184, 2012.

[16] Rowlinson, S. M. and Walker, T.; "The Construction Industry in Hong Kong Longman," *Hong Kong*, 1995.

[17] Gangolells, M.; Casals, M.; Forcada, N.; Roca, X. and Fuertes, A.; "Mitigating Construction Safety Risks using Prevention Through Design," *Journal of Safety Research*, Vol. 41, No. 2, pp. 107–122, 2010.

[18] Lee, U. K.; Kim, J. H.; Cho, H. and Kang, K. I.; "Development of a Mobile Safety Monitoring System for Construction Sites," *Automation in Construction*, Vol. 18, pp. 258–264, 2009.

[19] Amiri, M.; Ardeshir, A. and Fazel Zarandi, M. H.; "Risk-based Analysis of Construction Accidents in Iran During 2007-2011: Meta Analyze Study," *Iranian Journal of Public Health*, Vol. 43, No. 4, pp. 507-522, 2014.

[20] Cattledge, G. H.; Schneiderman, A.; Stanevich, R.; Hendricks, S. and Greenwood, J.; "Nonfatal Occupational Fall Injuries in the Westvirginia Construction Industry," *Accident, Analysis and Prevention*, Vol. 28, No. 5, pp. 655–663, 1996.

[21] Ghodsipour, S. H.; "Analytical Hierarchy Process (AHP)," *Amirkabir University of Technology Publishing Center*, 2000 (in Persian).

[22] Charnes, A.; Cooper, W. W. and Rhodes, E; "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, No. 6, pp. 429–444, 1978.

[23] http://www.nezam-hormozgan.com/news2.php?id=1

[24] http://irceo.net/fullstory.aspx?id=761

[25] Kaskutas, V.; Dale, A. M.; Lipscomb, H.; Gaal, J.; Fuchs, M. and Evanoff, B.; "Fall Prevention among Apprentice Carpenters," *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health,* Vol. 36, No. 3, pp. 258–265, 2010.

[26] Kaskutas, V.; Dale, A. M.; Lipscomb, H. and 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*, 2012.

[27] Halperin, K. M. and Mc. Cann, M.; "An Evaluation of Scaffold Safety at Construction Sites," *Journal of Safety Research*, Vol. 35, pp. 141–150, 2004.

[28] Lipscomb, H.; Dale, A.; Kaskutas, V.; Sherman-Voellinger, R. and Evanoff, B.; "Challenges in Residential Fall Prevention: Insight from Apprentice Carpenters," *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 51, pp. 60–68, 2008.

[29] Choi, S. D.; "Ratings of Perceived Loss of Balance: A Potential Safety Monitoring Technique for Workers Walking/Working on Sloped Surfaces," *Journal of Safety, Health and Environmental Research*, Vol. 2, No. 1, pp. 1–26, 2005.

[30] Choi, S. D.; "Postural Balance and Adaptations in Transitioning Sloped Surfaces," *International Journal of Construction Education and Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 189–199, 2008.

[31] Zeng, S. X.; Tan, V. W. Y. and Tam, C. M.; "Towards Occupational Health and Safety Systems in the Construction Industry of China," *Safety Science*, Vol. 46, pp. 1155–1168, 2008.