

# Safety Risk Assessment of Subway Construction Projects Based on Fuzzy Logic

Farhad Taherkhani<sup>1</sup>, Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani<sup>2,\*</sup>, Saeed Malmasi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc of Environmental Management, Department of Environmental Management, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Management, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran

\* **Corresponding Author:** Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani, Department of Environmental Management, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran. Email: m\_mirzaebrahim\_tehrani@iau-tmb.ac.ir

## Abstract

Received: 26/06/2017

Accepted: 10/12/2017

### How to Cite this Article:

Taherkhani F, Mirza Ebrahim Tehrani M, Malmasi S. Safety Risk Assessment of Subway Construction Projects Based on Fuzzy Logic. *J Occup Hyg Eng.* 2017; 4(3): 49-62. DOI: -----

**Background and Objective:** Organizations, manufacturing and non-manufacturing companies, as well as development units are always associated with incidents and the need for proper risk assessment. The subway construction project is one of the operations, which often entails accidents given its nature and requires special attention. As indicated in the risk definition, risk is always associated with uncertainty. Accordingly, it should be noted that the implementation of risk assessment calculations should be consistent with the principles that could cover this uncertainty. One of the most prominent methods in risk calculation is the use of fuzzy logic that can provide an appropriate response, if accompanied by expert opinions, to estimate the probable risk of accidents.

**Materials and Methods:** In this study, first, the existing occupational hazards in the subway construction projects were identified. Then, the prioritization and ranking of the identified hazards were performed based on their degree of importance using the fuzzy hierarchical analysis. Finally, the ranking of the safety risks of the subway construction was accomplished by means of the fuzzy hierarchical analysis.

**Results:** According to the results, the main risk factors of the underground operations included collapse during drilling, collision of machinery with manpower, shotcrete hazards, and leakage of surface water and groundwater.

**Conclusion:** The present study is the first attempt focusing on the development of a new model to calculate the probability of event incidence. Effective measures can be taken to reduce the risk of a project by eliminating the high risk factors.

**Keywords:** Anthropy; Hazard; Fuzzy Hierarchical Analysis; Risk; Subway Construction Projects

## ارزیابی ریسک‌های ایمنی بر اساس منطق فازی در پروژه‌های ساخت مترو

فرهاد طاهرخانی<sup>۱</sup>، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی<sup>۲\*</sup>، سعید ملامسی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران شمال، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران شمال، تهران، ایران  
 \* نویسنده مسئول: مهناز میرزا ابراهیم طهرانی، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
 ایمیل: m\_mirzaebrahim\_tehrani@iau-tnb.ac.ir

### چکیده

**سابقه و هدف:** سازمان، شرکت‌های تولیدی و غیرتولیدی و واحدهای عمرانی همواره با بروز حوادث و لزوم انجام ارزیابی ریسک صحیح مواجه هستند. یکی از این موارد فرآیند ساخت متروهای شهری می‌باشد که با توجه به ماهیت کاری آن نیازمند توجه ویژه‌ای است و وقوع حوادث در آن همواره به چشم می‌خورد؛ اما همان‌طور که از تعریف ریسک آشکار می‌باشد، همواره با عدم قطعیت همراه است. بر این اساس باید به این مهم توجه داشت که انجام محاسبات ارزیابی ریسک باید منطبق بر اصولی باشد که بتواند این عدم قطعیت را پوشش دهد. یکی از مهم‌ترین روش‌های موجود در این زمینه بهره‌گیری از محاسبات ریسک به روش منطق فازی است که می‌تواند پاسخ مناسبی را در صورتی که همراه با دریافت نظرات خبرگان باشد، به منظور برآورد ریسک احتمالی وقوع حوادث به‌همراه داشته باشد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش ابتدا شناسایی خطرات شغلی موجود در ساخت پروژه‌های مترو انجام شد و سپس اولویت‌بندی و رتبه‌بندی خطرات شناسایی‌شده بر اساس میزان درجه اهمیت به روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی صورت گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، رتبه‌بندی بر روی ریسک‌های ایمنی ساخت مترو انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که عمده‌ترین ریسک‌فاکتورهای این عملیات به ترتیب اولویت شامل: ریزش آوار در هنگام حفاری، تصادف ماشین‌آلات با نیروی انسانی، خطرات مرتبط با عملیات شاتکریت و نشت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** در پژوهش حاضر مدلی جدید برای محاسبه میزان احتمال وقوع رویداد فرموله گردید که تاکنون در مطالعات دیگر به آن پرداخته نشده بود. در نهایت جهت تقلیل میزان ریسک پروژه از طریق حذف ریسک فاکتورهای بالا می‌توان اقدامات مؤثری را انجام داد.

**واژگان کلیدی:** آنتروپی؛ پروژه‌های ساخت مترو؛ تحلیل سلسله‌مراتبی؛ خطر؛ ریسک؛ مدل فازی

### مقدمه

گردید و تاکنون نزدیک به ۳۰ سال می‌باشد که ادامه یافته است. متأسفانه آمار بالایی از حوادث منجر به فوت در این صنعت به ثبت رسیده است که لزوم ارزیابی ریسک‌های این‌گونه پروژه‌ها را بیش از پیش آشکار می‌نماید. علاوه بر فشارهای مالی که به جامعه و پروژه‌ها وارد می‌شود، زمان‌های ازدست‌رفته، تأخیرها و از کار افتادن نیروهای ماهر در کار و تجهیزات از عواقب و پیامدهای این حوادث می‌باشد. در سراسر دنیا روش‌های متعددی برای ارزیابی ریسک وجود دارد که بر مبنای آن‌ها می‌توان ریسک را شناسایی کرد و آن را حذف یا کنترل نمود. پروژه ساخت مترو یکی از پروژه‌هایی است که متأسفانه با وجود انجام ارزیابی ریسک صحیح

توسعه اقتصادی باعث شده است تا صنعت ساخت و ساز (اعم از عمومی و شخصی) رشد چشمگیری داشته باشد. نیاز به امکانات دسترسی و ارتباطی درون شهری نیز منجر به افزایش تعداد پروژه‌های ملی در حال اجرا گردیده است. به‌طور کلی ساخت و ساز دارای خط‌مشی فعالانه‌ای نسبت به تهدیدهای موجود (عدم قطعیت) در پروژه‌های شهری می‌باشد [۱]. طبق آماري که در سال ۲۰۱۲ توسط اداره کار ایالات متحده آمریکا اعلام شد، نزدیک به ۷۲۱ حادثه منجر به فوت در صنایع ساخت و ساز رخ داده است که بیش از ۵۰ درصد آن‌ها مربوط به ساخت و ساز شهری می‌باشد [۲]. از حدود سال ۱۳۶۵ ساخت متروی شهری در تهران آغاز

طبقه‌بندی‌های خطرات انجام نشده است.

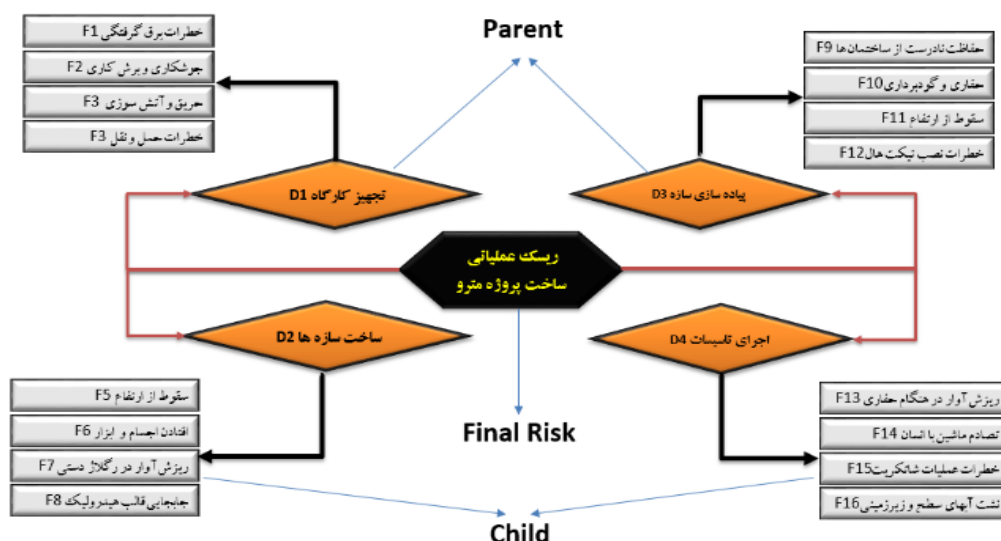
### مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور تعیین ضرایب هریک از شاخص‌ها در مدل ارزیابی ریسک از روش آنتروپی فازی استفاده شد. این روش با به‌کارگیری تکنیک‌های آماری و بر اساس داده‌های ذهنی افراد خبره به اتفاق نظر می‌رسد. در روش دلفی فازی ابتدا از افراد خبره واجد شرایط خواسته می‌شود تا نظر و عقیده خود را به‌طور جداگانه و بدون هیچ تعاملی با یکدیگر در طبقه‌بندی داده ارائه نمایند. سپس یک تحلیل آماری از این داده‌های ذهنی به عمل می‌آید و چارک اول، دوم (میانی) و سوم مورد محاسبه قرار می‌گیرد. آنگاه این اطلاعات آماری به افراد خبره منتخب منتقل می‌شود تا نتایج را مرور نموده و تخمین جدیدی را ارائه نمایند. این تخمین جدید مورد تحلیل قرار گرفته و چارک اول، دوم و سوم دوباره محاسبه می‌گردد. این فرآیند تا رسیدن به یک پاسخ باثبات و قابل قبول ادامه می‌یابد. در حقیقت هدف از این بخش تعیین سطوح اصلی ریسک قابل قبول برای پروژه می‌باشد. بر این اساس نتایج حاصل از آن در پنج سطح از ریسک (بسیار بالا، بالا، نرمال، پایین و بسیار پایین) طبقه‌بندی می‌گردد.

### یافته‌ها

به منظور بررسی خطرات بالقوه پروژه احداث ایستگاه مترو، خطرات موجود طبقه‌بندی گردید. این طبقات شامل: خطرات تجهیز کارگاه، ساخت سازه اصلی ایستگاه، اجرای سازه تیکت هال و اجرای هواکش‌ها، دسترسی‌ها و کانال‌های تأسیساتی می‌باشد. شایان ذکر است که می‌توان این خطرات را به چهار بعد طبقه‌بندی نمود که این سلسله‌مراتب دربرگیرنده ۱۶ عامل ریسک پایه می‌باشد و ریسک آیت‌ها نیز به پنج گروه تقسیم می‌شوند (شکل ۱).

و شناسایی و اولویت‌بندی خطرات در این حوزه همواره با وقوع حوادث شغلی همراه می‌باشد. ذکر این نکته ضرورت دارد که با توجه به موارد مطرح‌شده، مطالعات چندانی در این ارتباط صورت نگرفته است. با توجه به بررسی جامعی که انجام شد می‌توان گفت مطالعات معدودی که در این زمینه به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم (که در اغلب موارد در مورد محاسبه ریسک ساخت تونل‌ها می‌باشد) صورت گرفته است شامل: بررسی تأثیر زلزله بر تونل‌ها و ایستگاه‌های زیرزمینی مترو [۲،۴]، ارزیابی و تحلیل ریسک‌های پروژه با استفاده از رویکرد تلفیقی مدیریت ریسک استاندارد، مدل تلفیق ارزش و ریسک در فاز ساخت پروژه‌های عمرانی [۵]، بررسی تأثیر حفاری تمام مقطع تونل مترو بر روی ساختمان‌های مجاور [۶]، بررسی ارزیابی مدیریت ریسک در ساخت ایستگاه‌های مترو [۷]، ریسک و مدیریت آن در سیستم‌های حمل و نقل ریلی درون شهری [۸]، بررسی ریسک‌های پروژه‌های راه‌سازی در ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه [۹]، بررسی و ارزیابی کیفی ریسک پروژه‌های عمرانی با رویکرد فازی [۱۰]، مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک‌های MADM (Multi-attribute Decision Making) [۱۱]، بررسی نشت و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی در ایستگاه‌های N7 و W7 خط ۷ مترو تهران [۱۲]، رتبه‌بندی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی [۱۳]، بررسی آسیب‌پذیری متروها در برابر تهدیدات انسان‌ساز [۱۴]، بررسی و ارائه یک سیستم خبره فازی به منظور مدیریت ریسک پروژه‌ها [۱۵] و ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک پروژه‌های (Build-operate-transfer) B.O.T بر مبنای تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی [۱۶] می‌باشد. با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که مطالعات چندانی در حوزه ساخت پروژه‌های مترو صورت نگرفته است و در اندک مطالعات انجام‌شده نیز تنها به شناسایی خطرات اکتفا شده و اولویت‌بندی‌های صورت‌گرفته بر مبنای روش‌های مناسبی در



شکل ۱: شماره‌گذاری ریسک فاکتورها و ابعاد ریسک

باید توجه داشت که وزن هر یک از این معیارها می‌تواند در میزان بروز احتمال از درجه اهمیت متفاوتی برخوردار باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر با دریافت نظرات خبرگان و با بهره‌گیری از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به وزن‌دهی هر یک از این معیارها پرداخته شد.

**مقایسه معیارهای مؤثر بر تعیین احتمال وقوع به روش F.AHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process)**

در این بخش با بهره‌گیری از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به مقایسه زوجی میان معیارهای مؤثر بر تعیین احتمال وقوع پرداخته شده است که عبارت هستند از: اقدامات کنترلی (X1)، میزان مواجهه (X2)، فرکانس پیامد (X3) و قابلیت کشف (X4) (شکل ۲).

در ادامه با توجه به مقایسه صورت‌گرفته به محاسبه وزن

ارزیابی ریسک پس از شناسایی ریسک‌ها صورت می‌گیرد. برای ارزیابی ریسک نیازمند تشکیل ماتریس ریسک می‌باشیم که برای تشکیل آن می‌بایست احتمال وقوع، شدت پیامد و آسیب‌پذیری سیستم بررسی شود و در انتها ماتریس ریسک تشکیل گردد. در این پژوهش ضریب میزان آسیب‌پذیری سیستم معادل یک در نظر گرفته شد.

بر اساس دریافت نظرات خبرگان پیش از تعیین مقدار عددی مثلی فازی احتمال وقوع از چهار معیار اصلی به منظور تعیین احتمال وقوع رویداد استفاده شد که عبارت هستند از: فرکانس پیامد، میزان مواجهه، اقدامات کنترلی و قابلیت کشف؛ به عبارت دیگر، احتمال وقوع تابعی است از چهار معیار مطابق با رابطه ۱:

رابطه (۱)

$$I = F + C + M + K$$

(فرکانس پیامد + میزان مواجهه + اقدامات کنترلی + قابلیت کشف)

	معیار X1	معیار X2	معیار X3	معیار X4
معیار X1 به X1	1 1 1	کمی مهمتر	مهمتر	خیلی مهمتر
معیار X1 به X2	0.66 1 2	1 1 1	کمی مهمتر	مهمتر
معیار X1 به X3	0.5 0.66 1	0.66 1 2	1 1 1	کمی مهمتر
معیار X1 به X4	0.4 0.5 0.66	0.5 0.66 1	0.666 1 2	1 1 1

شکل ۲: مقایسه زوجی معیارهای مؤثر بر احتمال وقوع به روش F.AHP

مقادیر اول اعداد فازی مثلی در مقایسه X1 با سایر متغیرها (X2، X3 و X4) تقسیم بر مجموع اولین اعداد فازی مثلی (تمامی L ها) در مقایسه‌های زوجی می‌باشد. بر این اساس مقدار درج‌شده در مقابل MX1M نیز مقدار نرمال‌شده مجموع اعداد میانی فازی مثلی برای X1 می‌باشد که بر

نرمال‌شده هر یک از وزن‌ها پرداخته شد که در آن مجموع هر سطر بر مجموع سطرها تقسیم گردید و نتایج زیر به دست آمد (شکل ۳).

همان‌طور که مشاهده می‌گردد در این بخش مقدار سطر اول یعنی MX1L نشان‌دهنده مقدار نرمال‌شده مجموع تمامی

MX1L	0.169061707523246	MX4L	0.108453085376162
MX1M	0.326991676575505	MX4M	0.187871581450654
MX1U	0.565154206362022	MX4U	0.376231228806717
MX2L	0.133558748943364	MX5L	0
MX2M	0.267538644470868	MX5M	0
MX2U	0.524786048764734	MX5U	0
MX3L	0.112426035502959	MX6L	0
MX3M	0.217598097502973	MX6M	0
MX3U	0.44404973357016	MX6U	0

شکل ۳: محاسبه وزن نرمال‌شده هر یک از وزن‌ها در معیارهای احتمال وقوع به روش F.AHP

به سایر  $M_i$  ها محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است:

مجموع اعداد میانی مثلثی فازی تقسیم شده است. در ادامه درجه احتمال بزرگ‌تر بودن هر یک از  $M_i$  ها نسبت

$V(M_{x1} \geq M_{x2})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x1})$	0.71540371	$V(M_{x5} \geq M_{x1})$	0	$V(M_{x7} \geq M_{x1})$	0	$V(M_{x9} \geq M_{x1})$	0
$V(M_{x1} \geq M_{x3})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x2})$	0.86144235	$V(M_{x5} \geq M_{x2})$	0	$V(M_{x7} \geq M_{x2})$	0	$V(M_{x9} \geq M_{x2})$	0
$V(M_{x1} \geq M_{x4})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x4})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x3})$	0	$V(M_{x7} \geq M_{x3})$	0	$V(M_{x9} \geq M_{x3})$	0
$V(M_{x1} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x4})$	0	$V(M_{x7} \geq M_{x4})$	0	$V(M_{x9} \geq M_{x4})$	0
$V(M_{x1} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x7} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x9} \geq M_{x5})$	1
$V(M_{x1} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x7} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x9} \geq M_{x6})$	1
$V(M_{x1} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x7} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x9} \geq M_{x7})$	1
$V(M_{x1} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x7} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x9} \geq M_{x8})$	1
$V(M_{x1} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x3} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x5} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x7} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x9} \geq M_{x9})$	1
$V(M_{x2} \geq M_{x1})$	0.85680089	$V(M_{x4} \geq M_{x1})$	0.59825508	$V(M_{x6} \geq M_{x1})$	0	$V(M_{x8} \geq M_{x1})$	0	$V(M_{x10} \geq M_{x1})$	0
$V(M_{x2} \geq M_{x3})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x2})$	0.75284738	$V(M_{x6} \geq M_{x2})$	0	$V(M_{x8} \geq M_{x2})$	0	$V(M_{x10} \geq M_{x2})$	0
$V(M_{x2} \geq M_{x4})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x3})$	0.89872809	$V(M_{x6} \geq M_{x3})$	0	$V(M_{x8} \geq M_{x3})$	0	$V(M_{x10} \geq M_{x3})$	0
$V(M_{x2} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x4})$	0	$V(M_{x8} \geq M_{x4})$	0	$V(M_{x10} \geq M_{x4})$	0
$V(M_{x2} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x8} \geq M_{x5})$	1	$V(M_{x10} \geq M_{x5})$	1
$V(M_{x2} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x8} \geq M_{x6})$	1	$V(M_{x10} \geq M_{x6})$	1
$V(M_{x2} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x8} \geq M_{x7})$	1	$V(M_{x10} \geq M_{x7})$	1
$V(M_{x2} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x8} \geq M_{x8})$	1	$V(M_{x10} \geq M_{x8})$	1
$V(M_{x2} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x4} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x6} \geq M_{x10})$	1	$V(M_{x8} \geq M_{x9})$	1	$V(M_{x10} \geq M_{x9})$	1

شکل ۴: احتمال بزرگ‌تر بودن هر یک از  $M_i$  ها نسبت به سایر  $M_i$  ها در معیارهای احتمال وقوع

معیارها به صورت زیر خواهد بود:

$$d(X_1) = 0.3154116 > d(X_2) = 0.270245 > d(X_3) = 0.22564 > d(X_4) = 0.188696$$

نتایج در شکل ۵ ترسیم شده است.

بر این اساس می‌توان احتمال وقوع حوادث را بر اساس رابطه ۲ تعیین نمود:

رابطه ۲

$$r = [0.188 * \text{قابلیت کشف} + 0.225 * \text{فرکانس پیامد} + 0.27 * \text{میزان مواجهه} + 0.315 * \text{اقدامات کنترلی}]$$

در این بخش پایین‌ترین مقدار داده‌های حاصل از مقایسه

هر یک از  $X_i$  ها با دیگر  $X$  ها به عنوان احتمال بزرگ‌تر بودن  $X_i$

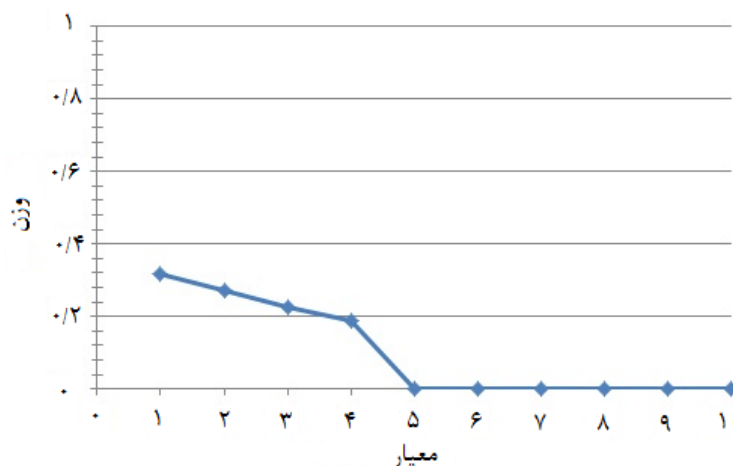
از سایر  $X$  ها در نظر گرفته می‌شود؛

بنابراین می‌توان احتمال بزرگ‌تر بودن هر یک از چهار  $X$

مورد بررسی را به شرح زیر گزارش نمود:

$$d(X_1) = 1 \quad d(X_2) = 0.185680089 \\ d(X_3) = 0.171540371 \quad d(X_4) = 0.159825508$$

با نرمال نمودن مقدار وزن‌های فوق، رتبه‌بندی هر یک از



شکل ۵: وزن هر یک از چهار معیار اصلی در احتمال وقوع

به منظور نمره‌دهی هریک از چهار معیار مورد نظر در برآورد میزان احتمال وقوع حوادث خبرگان در پژوهش حاضر به نمره‌دهی هریک از معیارها بر اساس نمرات درج شده در جدول ۱ تا ۳ پرداخته شد که در ادامه ارائه شده است.

در جدول ۲ نیز مقادیر و رتبه هریک از اقدامات کنترلی درج گردیده است که با این نمرات بر اساس خطری خاص به

در صورتی که احتمال وقوع عدد اعشاری وجود داشته باشد، تا یک رقم اعشار محاسبه شده و به صورت زیر گرد می‌شود:

$X$ : بخش صحیح عدد و  $y$ : بخش اعشاری است  $(x/y)$ .

$$\text{If } y < 5 \rightarrow x/y = [x]$$

$$\text{If } y \geq 5 \rightarrow x/y = [x] + 1$$

جدول ۱: فرکانس پیامد و میزان مواجهه با خطر

ردیف	ضریب	فرکانس پیامد	ضریب	میزان مواجهه با خطر
۱	۱۰	هر روز اتفاق می‌افتد	۱۰	هر روز در تماس است
۲	۹	یک روز در میان	۹	یک روز در میان
۳	۸	یک بار در هفته	۸	یک روز در هفته
۴	۷	یک هفته در میان	۷	یک هفته در میان
۵	۶	یک بار در ماه	۶	یک روز در ماه
۶	۵	هر ۳ ماه یک بار	۵	هر ۳ ماه یک بار
۷	۴	هر ۶ ماه یک بار	۴	هر ۶ ماه یک بار
۸	۳	یک بار در سال	۳	هر سال یک بار
۹	۲	۱-۵ سال یک بار	۲	در هر ۵ سال یک بار
۱۰	۱	بیش از هر ۱۰ سال یک بار	۱	بیشتر از ۱۰ سال یک بار

جدول ۲: اقدامات کنترلی

ردیف	اقدام کنترلی	رتبه
۱	عدم وجود اقدام کنترلی	۹-۱۰
۲	اقدام کنترلی با اثربخشی خیلی کم	۷-۸
۳	اقدام کنترلی با اثربخشی کم	۵-۶
۴	اقدام کنترلی با اثربخشی متوسط	۳-۴
۵	اقدام کنترلی با اثربخشی خوب	۱-۲

جدول ۳: قابلیت کشف خطر

ردیف	نحوه کشف	امتیاز	مثال
۱	کاملاً خطر بارز دارد	۲-۱	با استفاده از حواس پنجگانه قابل درک می‌باشد.
۲	امکان کشف با یکی از حواس پنجگانه	۳-۴	سر و صدا/ نور و غیره ایجاد کرده است. فقط قابل دیدن، شنیدن و غیره می‌باشد.
۳	جهت تشخیص باید از ابزار ساده استفاده کرد.	۴-۵	توسط فازمتر و دماسنج
۴	نیاز به استفاده از ابزار پیشرفته دارد	۷-۸	سنسورها و یا ابزار دیجیتالی خاص
۵	با امکانات فعلی قابل شناسایی نیست	۹-۱۰	زلزله

امتیازدهی پرداخته می‌شود:

دیدگاه خبرگان بهره برده می‌شود. در برآورد هریک از مقادیر شدت و احتمال وقوع از مقادیر نمایش داده شده در جداول ۲ و ۳ منطبق بر مدل ارائه شده بر اساس دیدگاه خبرگان استفاده می‌شود.

به همین ترتیب در جدول ۳ امتیاز هریک از انواع قابلیت کشف خطر ارائه شده است که با استفاده از این نمرات بر اساس خطری خاص به امتیازدهی پرداخته می‌شود:

ارزیابی ریسک فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی (Triangular Fuzzy Number) TFN انجام می‌شود که در جدول ۴ برای ۵ سطح احتمال وقوع و شدت پیامد بر اساس دیدگاه خبرگان این پژوهش نشان داده شده است که در برآورد هریک از مقادیر شدت و احتمال وقوع از مقادیر نمایش داده شده در جداول ۵ و ۶ منطبق بر مدل ارائه شده بر اساس

پس از بررسی‌های لازم و تعیین میزان درجه شدت و احتمال وقوع، با بهره‌گیری از مقادیر درج شده در جدول (سطوح در نظر گرفته شده برای احتمال و شدت خطر TFN<sub>i</sub> و TFN<sub>r</sub> در ۱۰ سطح) هریک از خطرات شناسایی شده بر اساس مقادیر فازی امتیازدهی گردیدند.

به منظور رسم TFNL و TFNrl و تعیین نقاطی که این

جدول ۴: سطوح در نظر گرفته شده برای احتمال و شدت خطر TFNI و TNFr

ردیف	مقیاس کیفی برای احتمال وقوع پیامد (۳)	مقیاس کیفی برای شدت پیامد (۱)	اعداد فازی مثلثی (TFNr or TFNI)
۱	خیلی کم	تقریباً مهم نیست	[۰.۰/۱.۰/۲]
۲	کم	کم اهمیت	[۰/۲.۰/۳.۰/۴]
۳	متوسط	متوسط	[۰/۴.۰/۵.۰/۶]
۴	زیاد	مهم	[۰/۶.۰/۷.۰/۸]
۵	خیلی زیاد	خیلی مهم	[۰/۸.۰/۹.۰/۱]

جدول ۵: دسته‌بندی شدت

ردیف	شرح	امتیاز	سطح
۱	۹-۱۰ مرگ یک و بیش از یک نفر	۹-۱۰	فاجعه
۲	۷-۸ از کارافتادگی ۳۰-۶۰ و بیشتر از ۶۰ درصد	۷-۸	زیاد
۳	۵-۶ از کارافتادگی کمتر از ۱۰ درصد و از کارافتادگی ۱۰ تا ۳۰ درصد	۵-۶	متوسط
۴	استراحت پزشکی ۳ تا ۳۰ روز/ استراحت پزشکی بیش از یک ماه	۳-۴	کم
۵	استراحت پزشکی کمتر از ۳ روز/ کمک‌های اولیه/ کاهش تمرکز و آسایش کارکنان	۱-۲	خیلی کم

جدول ۶: دسته‌بندی احتمال وقوع

ردیف	شرح	امتیاز
۱	۹-۱۰ قطعاً روی می‌دهد.	۹-۱۰
۲	۷-۸ احتمال دارد اتفاق بیافتد.	۷-۸
۳	۵-۶ ممکن است گاهی اتفاق بیافتد (امکان پذیر).	۵-۶
۴	۳-۴ بعید است (کم اتفاق می‌افتد).	۳-۴
۵	۱ به ندرت می‌تواند روی دهد (نادر/ کمیاب).	۱-۲

(پایین و بالا) و حداکثر مقدار ارائه نمایند [۱۷].

$$(A_1^{(i)}, B_1^{(i)}, C_1^{(i)}), i=1, \dots, n \quad 2-$$

در این رابطه  $i$  بیانگر فرد خبره بوده و  $i$  ام و عدد ۱ نشانگر اولین مرحله در فرآیند پیش‌بینی است (این فرایند در بررسی پیش رو تا ۳ مرحله ادامه یافت).

۳- پاسخ‌های  $n$  فرد خبره (۱۰ نفر به‌عنوان مدیران و رؤسای واحد مدیریت ایمنی و بهداشت) دسته‌ای را شکل داد که میانگین آن محاسبه گردید:

$$(A_1^m, B_1^m, C_1^m)$$

و برای هر فرد خبره میزان اختلاف از میانگین دسته به‌صورت زیر محاسبه گشت:

$$(A_1^m - A_1^{(i)}, B_1^m - B_1^{(i)}, C_1^m - C_1^{(i)})$$

که این اختلاف می‌تواند مثبت، منفی و یا تهی باشد. آنگاه این اطلاعات برای کسب نظرات جدید از افراد خبره منتخب برای آن‌ها فرستاده شد.

دو یکدیگر را در آن نقاط قطع می‌کنند، ابتدا با دریافت نظرات خبرگان در این پژوهش به تعیین بازه اعداد برای هر یک از ۵ سطح پرداخته شد که نتایج آن به شرح جدول ۴ می‌باشد. بدین‌منظور از روش آنترپوی فازی و دلفی فازی به‌طور همزمان استفاده گردید.

در روش دلفی پیش‌بینی‌های ارائه‌شده توسط افراد خبره در قالب اعداد قطعی بیان می‌گردند؛ درحالی که استفاده از اعداد قطعی برای پیش‌بینی‌ها یا تصمیم‌گیری آن را از دنیای واقعی دور می‌سازد. از سوی دیگر افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای تصمیم‌گیری استفاده می‌نمایند و این نشان می‌دهد که عدم قطعیت حاکم بر این شرایط از نوع امکانی است و نه احتمالی. مکانی بودن عدم قطعیت، سازگاری با مجموعه‌های فازی دارد و بنابراین بهتر آن است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (با به‌کارگیری اعداد فازی) به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود. بدین ترتیب اطلاعات لازم در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ گردید و مورد تحلیل قرار گرفت و بدین‌منظور از روش دلفی فازی استفاده شد.

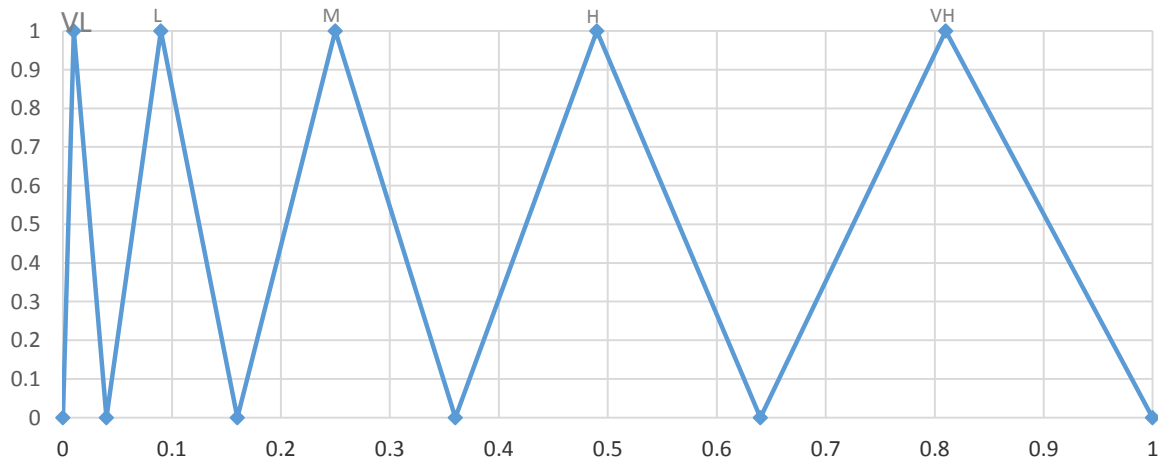
مراحل انجام کار به شرح زیر بود:

۱- از افراد خبره خواسته شد تا پیش‌بینی خود را (با توجه به اعداد فازی مثلثی) در قالب حداقل مقدار، ممکن‌ترین

برآیند این فرآیند منتج به یک عدد واحد و قطعی شد که از آن برای تعیین بازه عددی هر یک از سطوح مختلف ریسک (خیلی کم، کم، متوسط، بالا و سطح ریسک خیلی بالا) استفاده گردید که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

۴- در این مرحله هر فرد خبره بر اساس اطلاعات به دست آمده از مرحله قبل، یک پیش‌بینی جدید ارائه داد و در صورت صلاحدید، نظر قبلی خود را اصلاح نمود [۱۷].

$$(A_2^{(i)}, B_2^{(i)}, C_2^{(i)}), i=1, \dots, n$$



شکل ۶: ریسک فازی- مثلثی TFNL

خوب  
میزان مواجهه: ضریب ۹ یعنی یک روز در میان  
فرکانس پیامد: ضریب ۵ یعنی هر سه ماه یک بار  
قابلیت کشف: امتیاز ۴ یعنی امکان کشف با یکی از حواس  
پنجگانه

پس از آن به محاسبه عدد فازی- مثلثی ریسک فاکتورها پرداخته شد؛ به‌طور مثال برای F2 (خطرات جوشکاری و برشکاری) ابتدا مقدار احتمال بر اساس پارامترهای زیر تعیین گردید:  
اقدامات کنترلی: رتبه ۲ یعنی اقدام کنترلی با اثربخشی

$$r = [0.188 * \text{قابلیت کشف} + 0.225 * \text{فرکانس پیامد} + 0.27 * \text{میزان مواجهه} + 0.315 * \text{اقدامات کنترلی}] = 5.8$$

رسم شده و محل‌هایی که نمودار TFNL با نمودار TFNL را قطع نموده است، همان درصد تعلق ریسک به سطوح VL, L, M, H و VH می‌باشد که در نهایت یک بازه ۵ تایی به دست می‌آید که اعداد ریسک از طریق آن محاسبه می‌گردد که در شکل ۷ نمایش داده شده است.

پس از به دست آوردن محل‌های تلاقی تمامی ریسک فاکتورها با نمودار TFNL نسبت به محاسبات نهایی جهت به دست آوردن عدد ریسک اقدام گردید (جدول ۸). در این راستا برای هر یک از سطوح ریسک (VL, L, M, H و VH) استنتاجی ارائه گردیده است که نشان‌دهنده برخورد نمودارهای TFNL با TFNL می‌باشد.

این اعداد در ۵ سطح به دست آمده و باید نرمال شوند. به منظور نرمال شدن این اعداد تک تک مؤلفه‌ها بر مجموع آن‌ها تقسیم گردید. ذکر این نکته ضرورت دارد که مجموع اعداد به عدد کاردینالیته معروف است که در جدول ۸ برابر با ۱/۰۵ می‌باشد.

که با توجه به قاعده زیر:  
X: بخش صحیح عدد و y: بخش اعشاری است (x/y).

$$\text{If } y < 5 \rightarrow x/y = [x]$$

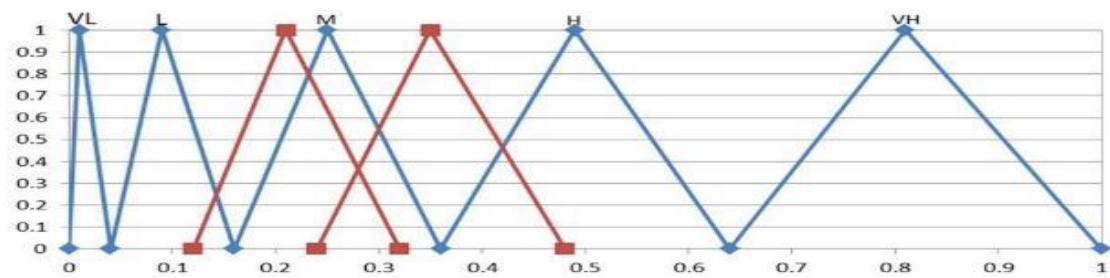
$$\text{If } y \geq 5 \rightarrow x/y = [x] + 1$$

بر این اساس مقدار r برابر با ۶ می‌باشد که این مهم نشان‌دهنده مقدار متوسط است. مقدار شدت آن نیز ناچیز تعیین گردید که می‌توان نتایج آن را در جدول ۷ مشاهده نمود.

پس از تعیین احتمال و شدت ریسک به صورت کمی با استفاده از اعداد موجود TFNL محاسبه می‌شود و سپس می‌توان آن‌ها را با نمودار ریسک قطع داد و مقادیر واقعی ریسک فاکتورها و درصد تعلق آن‌ها به سطوح پنج‌گانه ریسک را محاسبه نمود. پس از به دست آوردن TFNL می‌بایست اعداد مربوط به هر ریسک فاکتور را با نمودار ریسک قطع داد. بدین معنا که نمودارهای هر یک از TFNL با نمودار TFNL بر روی یکدیگر

جدول ۷: محاسبه  $TFN_{Fi}$  برای ریسک فاکتورهای پروژه

ریسک فاکتورها	احتمال وقوع ریسک $r$	شدت پیامد ریسک $l$	$TFN_r$	$TFN_l$	$TFN_{rl}$
F <sub>1</sub>	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۱۰،۰/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F <sub>2</sub>	متوسط	ناچیز	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F <sub>3</sub>	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۰۱،۰/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F <sub>4</sub>	خیلی کم	ناچیز	[۰،۰/۱۰،۰/۲]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]
F <sub>5</sub>	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۰/۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F <sub>6</sub>	متوسط	ناچیز	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F <sub>7</sub>	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۱۰،۰/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F <sub>8</sub>	خیلی کم	ناچیز	[۰،۰/۱۰،۰/۲]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]
F <sub>9</sub>	خیلی کم	کاملاً مهم	[۰،۰/۱۰،۰/۲]	[۰/۸،۰/۹،۰/۱]	[۰،۰/۰۹،۰/۲]
F <sub>10</sub>	کم	مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]
F <sub>11</sub>	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۰/۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F <sub>12</sub>	کم	ناچیز	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۰۸،۰/۱۵،۰/۲۴]
F <sub>13</sub>	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۰/۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F <sub>14</sub>	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۰/۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F <sub>15</sub>	متوسط	مهم	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۲۴،۰/۳۵،۰/۴۸]
F <sub>16</sub>	کم	مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]



شکل ۷: محل تلاقی  $TFNL$  با  $TFNIR$

جدول ۸: محاسبه مجموعه ۵ تایی فازی برای ریسک فاکتورهای پروژه

$X=TFN_{Fi}$	[۰/۱۲، ۰/۲۱، ۰/۳۲]
سطح ریسک	خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد
$TFN_L$	[۰/۰۴، ۰/۰۹، ۰/۱۶]
استنتاج	۰/۲۵
$X_{L(F10)}$	(مجموع $C=1/25$ ) [۰/۲۵، ۰/۸، ۰/۰]
	مجموعه ۵ تایی فازی که نشان دهنده عضویت $\mu_P$ است در سطوح کیفی ریسک های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد.
$X_{F10}$	[۰، ۰/۲۴، ۰/۷۶، ۰/۰]

[0/13, 0/21, 0/31]  
 Risk<sub>F10</sub>=[0/12, 0/21, 0/31]

پس از به دست آوردن اعداد 5 تایی ریسک فاکتور، ریسک  
 قطعی آن را از طریق رابطه زیر محاسبه می‌نماییم:

به همین ترتیب تمامی مقادیر ریسک فاکتورها محاسبه  
 گردید و در جدول 9 قرار گرفت:

$$\text{Risk}_{F10} = (0 \times VL) + (0/24 \times L) + (0/76 \times M) + (0 \times H) + (0 \times VH)$$

$$\text{Risk}_{F10} = 0 + (0/01, 0/02, 0/04) + (0/12, 0/19, 0/27) + 0 + 0 =$$

جدول 9: مقادیر XL عدد کاردینالیته، X نرمال شده و ریسک فازی نهایی

ریسک فاکتورها	TFNrl	XL	C	X	ریسک فازی نهایی
F <sub>1</sub>	[0,0/07,0/16]	[0/39,0/85,0,0,0]	1/24	[0/31,0/69,0,0,0]	[0/03,0/07,0/12]
F <sub>2</sub>	[0/16,0/25,0/36]	[0,0/1,0,0,0]	1	[0,0/1,0,0,0]	[0/16,0/25,0/36]
F <sub>3</sub>	[0,0/07,0/16]	[0/39,0/85,0,0,0]	1/24	[0/31,0/69,0,0,0]	[0/03,0/07,0/12]
F <sub>4</sub>	[0,0/05,0/12]	[0/49,0/66,0,0,0]	1/15	[0/43,0/57,0,0,0]	[0/02,0/06,0/11]
F <sub>5</sub>	[0/16,0/27,0/4]	[0,0,0/91,0/17,0]	1/08	[0,0,0/84,0/16,0]	[0/19,0/29,0/4]
F <sub>6</sub>	[0/16,0/25,0/36]	[0,0/1,0,0,0]	1	[0,0/1,0,0,0]	[0/16,0/25,0/36]
F <sub>7</sub>	[0,0/07,0/16]	[0/39,0/85,0,0,0]	1/24	[0/31,0/69,0,0,0]	[0/03,0/07,0/12]
F <sub>8</sub>	[0,0/05,0/12]	[0/49,0/66,0,0,0]	1/15	[0/43,0/57,0,0,0]	[0/02,0/06,0/11]
F <sub>9</sub>	[0,0/09,0/2]	[0/25,0/99,0/8,0,0]	2/04	[0/12,0/49,0/39,0,0]	[0/08,0/06,0/22]
F <sub>10</sub>	[0/12,0/21,0/32]	[0,0/25,0/8,0,0]	1/05	[0,0/24,0/76,0,0]	[0/13,0/21,0/31]
F <sub>11</sub>	[0/16,0/27,0/4]	[0,0,0/91,0/17,0]	1/08	[0,0,0/84,0/16,0]	[0/19,0/29,0/4]
F <sub>12</sub>	[0/08,0/15,0/24]	[0,0/6,0/45,0,0]	1/05	[0,0/57,0/43,0,0]	[0/09,0/16,0/24]
F <sub>13</sub>	[0/16,0/27,0/4]	[0,0,0/91,0/17,0]	1/08	[0,0,0/84,0/16,0]	[0/19,0/29,0/4]
F <sub>14</sub>	[0/16,0/27,0/4]	[0,0,0/91,0/17,0]	1/08	[0,0,0/84,0/16,0]	[0/19,0/29,0/4]
F <sub>15</sub>	[0/24,0/35,0/48]	[0,0,0/55,0/47,0]	1/02	[0,0,0/54,0/46,0]	[0/25,0/36,0/49]
F <sub>16</sub>	[0/12,0/21,0/32]	[0,0/25,0/8,0,0]	1/05	[0,0/24,0/76,0,0]	[0/13,0/21,0/31]

مقادیر محاسبه شده در بخش‌های قبلی برای هر یک از فاکتورها در مقادیر وزن به دست آمده برای هر یک از آن‌ها ضرب گردید. این فرایند از سطوح پایین شروع شد و پس از مقایسه هر یک از ریسک فاکتورها، ابعاد آن‌ها نیز با یکدیگر مقایسه گشت و در یک سطح بالاتر مقادیر به دست آمده حاصل از ارزیابی ریسک‌ها در وزن ابعاد آن‌ها ضرب شد. شیوه پیاده‌سازی تکنیک F.AHP شامل هشت مرحله می‌باشد که در بالا به آن‌ها اشاره گردید. بر این اساس در ادامه ابتدا به مقایسه هر یک از ریسک فاکتورها در هر بعد پرداخته شده و در انتها نیز وزن‌های حاصل از مقایسه هر یک از ابعاد ریسک با یکدیگر گزارش می‌گردد.

#### مقایسه ریسک فاکتورها به تفکیک ابعاد

در این بخش به تفکیک هر یک از ابعاد (D) به مقایسه درونی ریسک فاکتورهای (F) پرداخته شده است که در این مقایسات زوجی، امتیازدهی به مقایسات مبنی بر تبدیل عبارات کلامی به اعداد فازی از مقایسات زوجی فازی بهره گرفته شده است.

بر مبنای محاسبات جدول فوق و به دست آوردن ریسک فازی نهایی هر یک از ریسک فاکتورها می‌بایست اقدام به دیفازی کردن داده‌های ریسک فازی نمود. گاهی لازم است دو عدد فازی را با یکدیگر مقایسه کرد تا مشخص شود که کدام یک بزرگ‌تر از دیگری است. گاهی نیز به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گسترده اعداد فازی باید آن‌ها را به اعداد قطعی تبدیل نمود که به این کار دیفازی کردن (تبدیل اعداد از حالت فازی به قطعی) گفته می‌شود. در این پژوهش با استفاده از میانگین ثقلی به دیفازی کردن داده‌ها اقدام گردید [18].

$$\text{Defuzzified risk} = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3)$$

مقادیر دیفازی شده ریسک‌های محاسبه شده در جدول 10 ارائه گردیده است:

در این بخش که گام پایانی می‌باشد با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به مقایسه زوجی هر یک از ریسک فاکتورهای شناسایی شده پرداخته شد و پس از این

جدول ۱۰: مقادیر دیفازی شده ریسک‌ها

ریسک فاکتورها	ریسک فازی نهایی هریک از فاکتورها	عدد ریسک دیفازی شده
F <sub>1</sub>	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F <sub>2</sub>	[۰/۰،۱۶/۰،۲۵/۳۶]	۰/۰۲۶
F <sub>3</sub>	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F <sub>4</sub>	[۰/۰،۰۲/۰،۰۶/۱۱]	۰/۰۶
F <sub>5</sub>	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F <sub>6</sub>	[۰/۰،۱۶/۰،۲۵/۳۶]	۰/۲۶
F <sub>7</sub>	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F <sub>8</sub>	[۰/۰،۰۲/۰،۰۶/۱۱]	۰/۰۶
F <sub>9</sub>	[۰/۰،۰۸/۰،۰۶/۲۲]	۰/۱۲
F <sub>10</sub>	[۰/۰،۱۳/۰،۲۱/۳۱]	۰/۲۲
F <sub>11</sub>	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F <sub>12</sub>	[۰/۰،۰۹/۰،۱۶/۲۴]	۰/۱۶
F <sub>13</sub>	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F <sub>14</sub>	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F <sub>15</sub>	[۰/۰،۲۵/۰،۳۶/۴۹]	۰/۳۷
F <sub>16</sub>	[۰/۰،۱۳/۰،۲۱/۳۱]	۰/۲۲

**الف) وزن‌دهی به ریسک فاکتورها در بعد تجهیز کارگاه (D1)**

در این بعد (تجهیز کارگاه) ریسک فاکتورهای اشاره شده به اختصار به نام‌های F<sub>1</sub>، F<sub>2</sub>، F<sub>3</sub> و F<sub>4</sub> مشخص شده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه هریک از ریسک فاکتورها به شرح زیر می‌باشد.

$$d(F_{11})=0/31459 > d(F_{12})=0/25142 > d(F_{10})=0/24530 > d(F_9)=0/18867$$

۱. خطرات برق‌گرفتگی
۲. خطرات جوشکاری و برشکاری
۳. حریق و آتش‌سوزی
۴. خطرات حمل و نقل تجهیزات سنگین

**د) وزن‌دهی به ریسک فاکتورها در بعد اجرای هواکش‌ها و کانال‌ها (D4)**

- ریزش آوار به هنگام حفاری
- تصادف ماشین‌آلات با نیروی انسانی
- خطرات مرتبط با عملیات شاتکریت
- نشت آب‌های سطحی و زیرزمینی

$$d(F_1)=0/4823 > d(F_4)=0/2249 > d(F_3)=0/1783 > d(F_2)=0/11433$$

$$d(F_{13})=0/39389 > d(F_{14})=0/2990 > d(F_{15})=0/1934 > d(F_{16})=0/11364$$

**ب) ساخت و سازهای اصلی ایستگاه (D2)**

- سقوط از ارتفاع
- خطرات جابه‌جایی قالب هیدرولیک سقف قوسی
- افتادن اجسام یا ابزار از ارتفاع
- ریزش آوار هنگام رگلاژ دستی

**وزن‌دهی ابعاد اصلی ریسک با استفاده از روش F.AHP**

در این بخش با دریافت نظرات خبرگان بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به وزن‌دهی هریک از ابعاد پرداخته شد.

$$d(F_5)=0/3186 > d(F_8)=0/2553 > d(F_6)=0/2286 > d(F_7)=0/1973$$

نتایج به ترتیب:

- تجهیز کارگاه (D1)
- ساخت سازه اصلی ایستگاه (D2)

**ج) ریسک فاکتورها در بعد اجرای سازه تیکت‌ها (D3)**

- سقوط از ارتفاع

مقادیر دیفازی و وزن داده‌ها (در تعیین اولویت‌ها)

گام پایانی محاسبه ریسک اجماعی

با ضرب عدد ریسک ابعاد بر وزن آن‌ها میزان ریسک ابعاد به دست آمد و با جمع تمامی مقادیر ریسک ابعاد، مقدار ریسک مجموع برآورد گردید که برابر با ۰/۳۲ بود. همان‌طور که اشاره شد مقدار عدد ریسک می‌تواند بین ۰ الی ۱ قرار گیرد که در این پژوهش مقدار عددی ریسک گزارش‌شده مقدار نزدیک به متوسط را نشان می‌دهد (جدول ۱۲).

- اجرای سازه تکیت هال (D3)
- اجرای هواکش‌ها، دسترسی‌ها و کانال‌های تأسیسات (D4)

$$d(D1)=0/3608 > d(D2)=0/2833 > d(D3)=0/20918 > d(D4)=0/14660$$

به منظور اولویت‌بندی ریسک‌ها مطابق جدول ۱۱ مقادیر دیفازی و وزن هر یک از ریسک فاکتورها منظور شده است.

جدول ۱۱: مقادیر دیفازی و وزن داده‌ها

اولویت‌ها	ریسک*وزن	وزن داده‌ها	ریسک دیفازی شده	ریسک فاکتورها
۹	۰/۰۳۴	۰/۴۸۲۳	۰/۰۷	F1
۱۰	۰/۰۳۰	۰/۱۱۴۳۳	۰/۲۶	F2
۱۶	۰/۰۱۲	۰/۱۷۸۳	۰/۰۷	F3
۱۵	۰/۰۱۳	۰/۲۲۴۹	۰/۰۶	F4
۲	۰/۲۸۰	۰/۳۱۸۶	۰/۸۸	F5
۶	۰/۰۵۹	۰/۲۲۸۶	۰/۲۶	F6
۱۴	۰/۰۱۴	۰/۱۹۷۳	۰/۰۷	F7
۱۳	۰/۰۱۵	۰/۲۵۵۳	۰/۰۶	F8
۱۲	۰/۰۲۳	۰/۱۸۸۶۷	۰/۱۲	F9
۷	۰/۰۵۴	۰/۲۴۵۳	۰/۲۲	F10
۳	۰/۰۲۲۷	۰/۳۱۴۹۵	۰/۸۸	F11
۸	۰/۰۴۰	۰/۲۵۱۴۲	۰/۱۶	F12
۱	۰/۳۴۷	۰/۳۹۳۸۹	۰/۸۸	F13
۴	۰/۲۶۳	۰/۲۹۹	۰/۸۸	F14
۵	۰/۰۷۲	۰/۱۹۳۴	۰/۳۷	F15
۱۱	۰/۰۲۵	۰/۱۱۳۴۴	۰/۲۲	F16

جدول ۱۲: ریسک مجموع

عدد ریسک ابعاد (D)	وزن ابعاد (W)	ریسک ابعاد	ریسک مجموع
۰/۰۸۹	۰/۳۶۱	۰/۰۳۲	
۰/۳۶۹	۰/۲۸۳	۰/۱۰۵	
۰/۳۹۴	۰/۲۰۹	۰/۰۸۲	۰/۳۲۳
۰/۷۰۶	۰/۱۴۷	۰/۱۰۴	

بحث

در پژوهش حاضر مشخص شد که می‌توان برای ارزیابی ریسک جامع از سه عنصر کلی احتمال وقوع، شدت پیامد و آسیب‌پذیری استفاده کرد. در مطالعات متعدد معیارهای بسیاری علاوه بر این سه معیار بیان گردیده است. همان‌طور که در پژوهش حاضر نشان داده شد می‌توان این معیارها را در راستای برآورد احتمال وقوع حوادث در یک گروه طبقه‌بندی کرد و برای هر یک وزن مشخصی را تبیین نمود. این چهار معیار عبارت هستند از: فرکانس پیامد، میزان مواجهه، قابلیت کشف و اقدامات کنترلی. از میان مطالعاتی که به ارائه مدلی برای ارزیابی ریسک پرداخته‌اند

در پژوهش‌هایی چون Toth-Laufer [۱۹]، Narasimhan و Malathi [۲۰]، Rama Devi و Nagaveni [۲۱] و Murè و Demichela [۲۲] در ارزیابی ریسک، معیار میزان مواجهه را یکی از معیارهای مهم در بعد احتمال وقوع رویداد دانسته‌اند. همچنین در پژوهش‌های صورت‌گرفته توسط Zou و همکاران [۲۳]، Toth-Laufer [۲۴]، Saric [۲۵]، Ren و Yu [۲۶]، Aras و همکاران [۲۷]، Malathi و Narasimhan [۲۸]، Narasimhan، Rama Devi Nagaveni [۲۹]، Murè و Demichela [۲۲] نیز معیار

تاکنون در مطالعات دیگر به آن پرداخته نشده بود. در نهایت جهت تقلیل میزان ریسک پروژه از طریق حذف ریسک فاکتورهای بالا می‌توان اقدامات مؤثری را انجام داد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مدلی جدید برای محاسبه میزان احتمال وقوع رویداد فرموله گردید که تاکنون در مطالعات دیگر به آن پرداخته نشده بود. در نهایت جهت تقلیل میزان ریسک پروژه از طریق حذف ریسک فاکتورهای بالا می‌توان اقدامات مؤثری را انجام داد.

### تشکر و قدردانی

نظر به اینکه داده‌های این پژوهش از متروی تهران دریافت شده بود؛ لذا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین و دست‌اندرکاران خط هفت متروی تهران تشکر و قدردانی نمایند. همچنین از آنجایی که دستاوردهای این پژوهش از رساله کارشناسی ارشد استخراج شده است از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال تشکر می‌نماییم.

دیگری به نام فرکانس پیامد و یا فرکانس وقوع به‌عنوان یکی از معیارهای دیگر برای برآورد احتمال رویداد مورد بررسی قرار گرفت. از سوی دیگر معیار سومی که از آن در مطالعات Zou و همکاران [۲۳]، Toth-Laufer [۲۴]، Aras و همکاران [۲۷]، Pinto [۳۰] و Murè و Demichela [۲۲] به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم برای تخمین احتمال وقوع رویداد بهره گرفته شده است، اقدامات کنترلی می‌باشد. در نهایت در مطالعاتی که توسط Toth-Laufer [۲۴]، Preece و Milanovic [۳۱]، Rimini و همکاران [۳۲] و Zhou و Allen [۳۳] صورت گرفته شده است، معیار چهارم یعنی قابلیت کشف از جمله معیارهایی می‌باشد که می‌توان برای تعیین احتمال رویداد از آن بهره جست. در پژوهش حاضر هر یک از این چهار معیار مؤثر در تعیین احتمال وقوع با استفاده از روش F.AHP به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شدند و در نهایت مشخص گردید که اقدامات کنترلی با وزن ۰/۳۱۵ بااهمیت‌ترین موضوع در برآورد احتمال بوده و رتبه نخست را به خود اختصاص داده است و میزان مواجهه با خطر ۰/۲۷، فرکانس پیامد ۰/۲۲۵ و قابلیت کشف ۰/۱۸۸ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بر این اساس در پژوهش حاضر مدلی جدید برای محاسبه میزان احتمال وقوع رویداد فرموله گردید که

## REFERENCES

- Kuo YC, Lu ST. Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. *Int J Project Manag.* 2013;31(4):602-14. DOI:10.1016/j.ijproman.2012.10.003
- Handbook OO. US department of labor. Washington, D.C: Bureau of Labor Statistics; 2012.
- Vojodi M. Investigating the impact of earthquake on underground metro structures. *Master Earthq Engin.* 2003;68(4):693-725.
- Alamtabriz A, Hamzehi E. Project risk evaluation and analysis using risk management based on pmbok standard and rfmea technique. *Indust Manag Stud.* 2011;9(23):1-19. [Persian]
- Tehrani R, Karimi H. Model of value integration and risk in the construction phase. Third National Conference on Value Engineering, Tehran; 2008. P. 129-34.
- Abbasi A, Hosseini M. Investigation on effect of full face excavation of subway tunnel on adjacent buildings (Case study: 1st Line of Tabriz Subway). *J Analyt Numerical Methods Mining Engin.* 2012;2(4):59-70. [Persian]
- Salimipour S, Miri Lavasani SM, Give Chi S. Fuzzy risk assessment of metro station construction (case study: Karaj D2 Metro Station). *J Environ Sci Technol.* 2017;19(5):191-201. DOI: 10.22034/jest.2017.11268 [Persian]
- Nazari A. Risk and its management in urban transport systems. *Instit Human.* 2010;8:338-53. [Persian]
- Fathollah Zadeh M, Mahdizadeh M. Risk assessment of road construction projects in Iran as a developing country. *Instit Human.* 2012;8:338-53. [Persian]
- Xu Y, Yeung JF, Chan AP, Chan DW, Wang SQ, Ke Y. Developing a risk assessment model for PPP projects in China-A fuzzy synthetic evaluation approach. *Automat Construct.* 2010;19(7):929-43. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.006
- Sayadi A, Hayati M, Monjezi M. Risk management in tunnel Construction using MADM techniques. *J Indust Manage.* 2012;3(7):99-116. [Persian]
- Shahbazi M, Ghafouri M, Lashkaripour GR. Seepage analysis and modeling the underground water in Tehran metro line 7 stations, N7, W7. *Iran Geological Soc.* 2010;2:435-43. [Persian]
- Fouladgar MM, Yazdani-Chamzini A, Zavadskas EK. Risk evaluation of tunneling projects. *Arch Civil Mechan Engin.* 2012;12(1):1-2. DOI: 10.1016/j.acme.2012.03.008
- Jalali Farahani G, Shamsayi Zafarghandi F, Ghanbari M, Ghanbarinasab A. Man-made threats determination and ranking for themain parts of the subway stations. *Sci Res Crisis Manage.* 2014;2(2):65-75. [Persian]
- Mousavi SM, Kavianpour J, Serfianpour H. A fuzzy expert system for risk management of projects. 5th International Project Management Conference, Tehran, Iran; 2013. [Persian]
- Ebrahimnejad S, Mousavi SM, Seirafianpour H. Provide a model for risk assessment of B.O.T projects based on fuzzy multi-index decision making. 5th National Conference on Industrial Engineering, Tehran, Iran; 2012. P. 79-84. [Persian]
- Zeng J, An M, Chan AH. A fuzzy reasoning decision making approach based multi-expert judgement for construction project risk analysis. Proceedings of the twenty-first annual conference. Association of Researchers in Construction Management (ARCOM), London, UK; 2005. P. 841-52.
- Liu F, Zhu WD, Chen YW, Xu DL, Yang JB. Evaluation, ranking and selection of R&D projects by multiple experts: an evidential reasoning rule based approach. *Scientometrics.* 2017;111(3):1501-19.
- Toth-Laufer E. Fuzzy logic-based sport activity risk assessment framework optimization. In Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI). IEEE 9th International Symposium, Charlotte, NC, USA; 2012. P. 129-34.
- Narasimhan B, Malathi A. A Fuzzy logic system with attribute ranking technique for risk-level classification of CAHD in female diabetic patients. Intelligent Computing Applications (ICICA), International Conference, Australia; 2014. P. 179-83.
- Devi RE, Nagaveni N. Design methodology of a fuzzy knowledgebase system to predict the risk of diabetic nephropathy. *Int J Computer Sci Issues.* 2010;7:5. [Persian]
- Murè S, Demichela M. Fuzzy Application Procedure (FAP) for the risk assessment of occupational accidents. *J Loss Prev Proc Indust.* 2009;22(5):593-9. DOI:10.1016/j.jlp.2009.05.007
- Zhao ZY, Zuo J, Zillante G. Factors influencing the success

- of BOT power plant projects in China: A review. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2013;**22**:446-53. DOI: [10.1016/j.rser.2013.02.025](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.025)
24. Toth-Laufer E. Fuzzy logic-based sport activity risk assessment framework optimization. *Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, IEEE 9th International Symposium on, China; 2014. P. 129-34.
  25. Šarić M. Fuzzy approach for evaluating risk of service interruption used as criteria in electricity distribution network planning. *Neural Network Applications in Electrical Engineering (NEUREL)*, 12th Symposium, Serbia, Belgrade; 2014. P. 79-84.
  26. Yu S, Ren Y. Research on the lightning risk assessment method for Chongqing based on fuzzy mathematics. *Lightning Protection (ICLP)*, International Conference, Poland; 2014. P. 1054-7.
  27. Aras F, Karakaş E, Biçen Y. Fuzzy logic-based user interface design for risk assessment considering human factor: a case study for high-voltage cell. *Safety Sci.* 2014;**70**:387-96. DOI: [10.1016/j.ssci.2014.07.013](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.07.013)
  28. Srivastava S, Pant M, Agarwal N. A review on role of fuzzy logic in psychology. *Proceedings of Fifth International Conference on Soft Computing for Problem Solving*, New York; 2016. P. 783-94.
  29. Narasimhan B, Malathi A. Fuzzy logic system for risk-level classification of diabetic nephropathy. *Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE)*, India; 2014. P. 1-4.
  30. Pinto A. QRAM a qualitative occupational safety risk assessment model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Sci.* 2014;**63**:57-76.
  31. Preece R, Milanović JV. Probabilistic risk assessment of rotor angle instability using fuzzy inference systems. *IEEE Transact Power Syst.* 2015;**30**(4):1747-57.
  32. Grassi A, Gamberini R, Mora C, Rimini B. A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Sci.* 2009;**47**(5):707-16.
  33. Zhou Z, Allen E. Risk management in information system development. *Computer Sci Rep.* 2005;**50**(7):1535-48.