Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 4, Issue 3, Autumn 2017, Pages: 49-62

Original Article

doi: ------

Safety Risk Assessment of Subway Construction Projects Based on Fuzzy Logic

Farhad Taherkhani[1], Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani[2,*], Saeed Malmasi[2]

[1] *MSc of Environmental Management, Department of Environmental Management, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran*
[2] *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-tnb.ac.ir*

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: ------

Abstract

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: Accrding 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

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

Copyright © 2017 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: ----------

ارزیابی ریسک‌های ایمنی بر اساس منطق فازی در پروژه‌های ساخت مترو

فرهاد طاهرخانی[۱]، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی[۲،*]، سعید ملماسی[۲]

[۱] کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران شمال، تهران، ایران
[۲] 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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

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 درصورتی که همراه با دریافت نظرات خبرگان باشد، به منظور برآورد ریسک احتمالی وقوع حوادث به‌همراه داشته باشد.

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 سلسه‌مراتبی؛ خطر؛ ریسک؛ مدل فازی

مقدمه

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 درحال اجرا گردیده است. به‌طور کلی ساخت و ساز دارای خطمشی فعالانه‌ای نسبت به تهدیدهای موجود (عدم قطعیت) در پروژه‌های شهری می‌باشد [۱]. طبق آماری 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 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

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]
[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

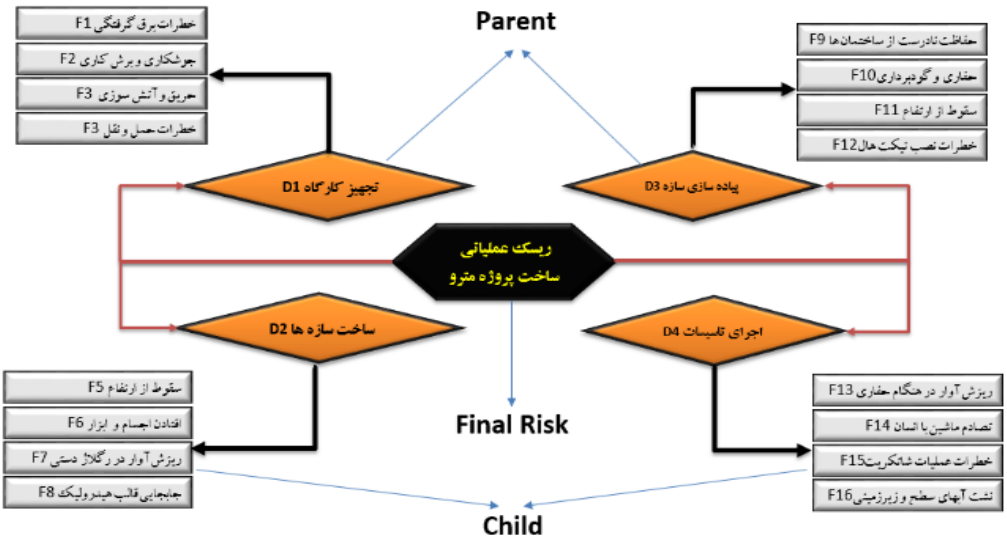
و شناسایی و اولویت‌بندی خطرات در این حوزه همواره با وقوع حوادث شغلی همراه می‌باشد. ذکر این نکته ضرورت دارد که با توجه به موارد مطرح‌شده، مطالعات چندانی در این ارتباط صورت نگرفته است. با توجه به بررسی جامعی که انجام شد می‌توان گفت مطالعات معدودی که در این زمینه به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم (که در اغلب موارد در مورد محاسبه ریسک ساخت تونل‌ها می‌باشد) صورت گرفته است شامل: بررسی تأثیر زلزله بر تونل‌ها و ایستگاه‌های زیرزمینی مترو [۳،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 درحال 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 B.O.T (Build-operate-transfer) 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 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 قابل‌قبول ادامه می‌یابد. در حقیقت هدف از این بخش تعیین سطوح اصلی ریسک قابل‌قبول 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 آیتم‌ها نیز به پنج گروه تقسیم می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱: شماره‌گذاری ریسک‌فاکتورها و ابعاد ریسک

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]
[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

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 مثلثی 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)

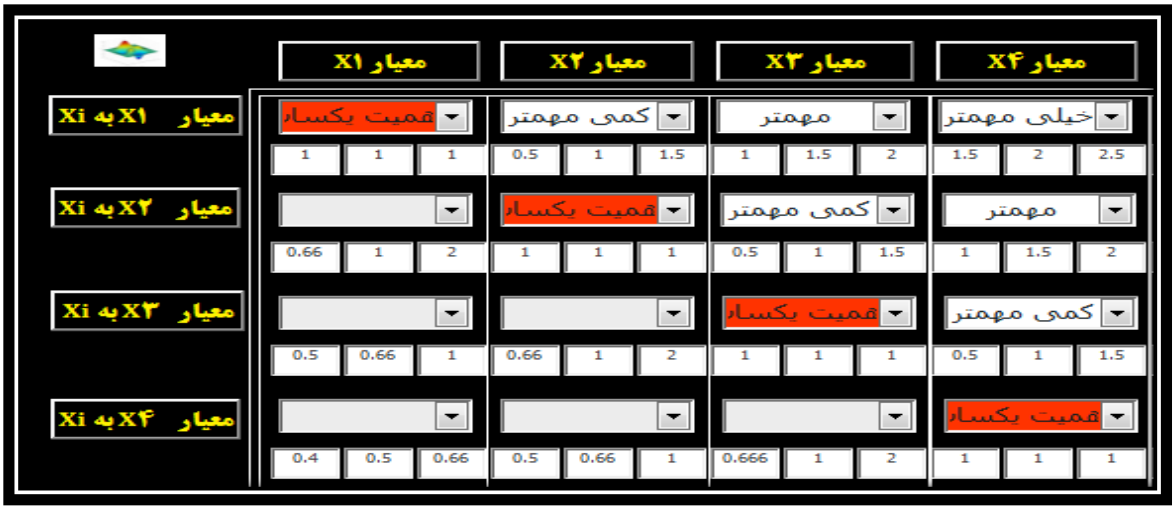
r=f (فرکانس پیامد + میزان مواجهه + اقدامات کنترلی + قابلیت کشف)

باید توجه داشت که وزن هریک 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 هریک 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 (X۱)، میزان مواجهه (X۲)، فرکانس پیامد (X۳) و قابلیت کشف (X۴) (شکل ۲).

در ادامه با توجه به مقایسه صورت‌گرفته به محاسبه وزن



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

نرمال‌شده هریک از وزن‌ها پرداخته شد که در آن مجموع هر سطر بر مجموع مجموع سطرها تقسیم گردید و نتایج زیر به دست آمد (شکل۳).

همان‌طور که مشاهده می‌گردد در این بخش مقدار سطر اول یعنی MX1L نشان‌دهنده مقدار نرمال‌شده مجموع تمامی مقادیر اول اعداد فازی مثلثی در مقایسه X۱ با سایر متغیرها (X۲، X۳ و X۴) تقسیم بر مجموع مجموع اولین اعداد فازی مثلثی (تمامی L ها) در مقایسه‌های زوجی می‌باشد. بر این اساس مقدار درج‌شده در مقابل MX1M نیز مقدار نرمال‌شده مجموع اعداد میانی فازی مثلثی برای X۱ می‌باشد که بر

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 هریک از وزن‌ها در معیارهای احتمال وقوع به روش F.AHP

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

مجموع مجموع اعداد میانی مثلثی فازی تقسیم شده است.

در ادامه درجه احتمال بزرگ‌تربودن هریک از Mi ها نسبت به سـایر Mi ها محاسـبه گردید که نتایج آن در شـکل ۴ ارائه شده است:

V(Mx1 >= Mx2):	1	V(Mx3 >= Mx1):	0.71540371	V(Mx5 >= Mx1):	0	V(Mx7 >= Mx1):	0	V(Mx9 >= Mx1):	0
V(Mx1 >= Mx3):	1	V(Mx3 >= Mx2):	0.86144235	V(Mx5 >= Mx2):	0	V(Mx7 >= Mx2):	0	V(Mx9 >= Mx2):	0
V(Mx1 >= Mx4):	1	V(Mx3 >= Mx4):	1	V(Mx5 >= Mx3):	0	V(Mx7 >= Mx3):	0	V(Mx9 >= Mx3):	0
V(Mx1 >= Mx5):	1	V(Mx3 >= Mx5):	1	V(Mx5 >= Mx4):	0	V(Mx7 >= Mx4):	0	V(Mx9 >= Mx4):	0
V(Mx1 >= Mx6):	1	V(Mx3 >= Mx6):	1	V(Mx5 >= Mx6):	1	V(Mx7 >= Mx5):	1	V(Mx9 >= Mx5):	1
V(Mx1 >= Mx7):	1	V(Mx3 >= Mx7):	1	V(Mx5 >= Mx7):	1	V(Mx7 >= Mx6):	1	V(Mx9 >= Mx6):	1
V(Mx1 >= Mx8):	1	V(Mx3 >= Mx8):	1	V(Mx5 >= Mx8):	1	V(Mx7 >= Mx8):	1	V(Mx9 >= Mx7):	1
V(Mx1 >= Mx9):	1	V(Mx3 >= Mx9):	1	V(Mx5 >= Mx9):	1	V(Mx7 >= Mx9):	1	V(Mx9 >= Mx8):	1
V(Mx1 >=Mx10):	1	V(Mx3 >=Mx10):	1	V(Mx5 >=Mx10):	1	V(Mx7 >=Mx10):	1	V(Mx9 >=Mx10):	1
V(Mx2 >= Mx1):	0.85680089	V(Mx4 >= Mx1):	0.59825508	V(Mx6 >= Mx1):	0	V(Mx8 >= Mx1):	0	V(Mx10>= Mx1):	0
V(Mx2 >= Mx3):	1	V(Mx4 >= Mx2):	0.75284738	V(Mx6 >= Mx2):	0	V(Mx8 >= Mx2):	0	V(Mx10>= Mx2):	0
V(Mx2 >= Mx4):	1	V(Mx4 >= Mx3):	0.89872809	V(Mx6 >= Mx3):	0	V(Mx8 >= Mx3):	0	V(Mx10>= Mx3):	0
V(Mx2 >= Mx5):	1	V(Mx4 >= Mx5):	1	V(Mx6 >= Mx4):	0	V(Mx8 >= Mx4):	0	V(Mx10>= Mx4):	0
V(Mx2 >= Mx6):	1	V(Mx4 >= Mx6):	1	V(Mx6 >= Mx5):	1	V(Mx8 >= Mx5):	1	V(Mx10>= Mx5):	1
V(Mx2 >= Mx7):	1	V(Mx4 >= Mx7):	1	V(Mx6 >= Mx7):	1	V(Mx8 >= Mx6):	1	V(Mx10>= Mx6):	1
V(Mx2 >= Mx8):	1	V(Mx4 >= Mx8):	1	V(Mx6 >= Mx8):	1	V(Mx8 >= Mx7):	1	V(Mx10>= Mx7):	1
V(Mx2 >= Mx9):	1	V(Mx4 >= Mx9):	1	V(Mx6 >= Mx9):	1	V(Mx8 >= Mx9):	1	V(Mx10>= Mx8):	1
V(Mx2 >=Mx10):	1	V(Mx4 >=Mx10):	1	V(Mx6 >=Mx10):	1	V(Mx8 >=Mx10):	1	V(Mx10>= Mx9):	1

شکل ۴: احتمال بزرگ‌تربودن هریک از Mi ها نسبت به سایر Mi ها در معیارهای احتمال وقوع

در این بخش پایین‌ترین مقدار داده‌های حاصـل از مقایسـه هریک از Xi ها با دیگر X ها به‌عنوان احتمال بزرگ‌تربودن Xi از سایر X ها در نظر گرفته می‌شود؛

بنـابراین می‌توان احتمـال بزرگ‌تربودن هریک از چهار X مورد بررسی را به شرح زیر گزارش نمود:

d(X۱)=۱ d(X۲)=۰/۸۵۶۸۰۰۸۹

d(X۳)=۰/۷۱۵۴۰۳۷۱ d(X۴)=۰/۵۹۸۲۵۵۰۸

بـا نرمـال‌نمودن مقدار وزن‌های فوق، رتبه‌بندی هریک از معیارها به‌صورت زیر خواهد بود:

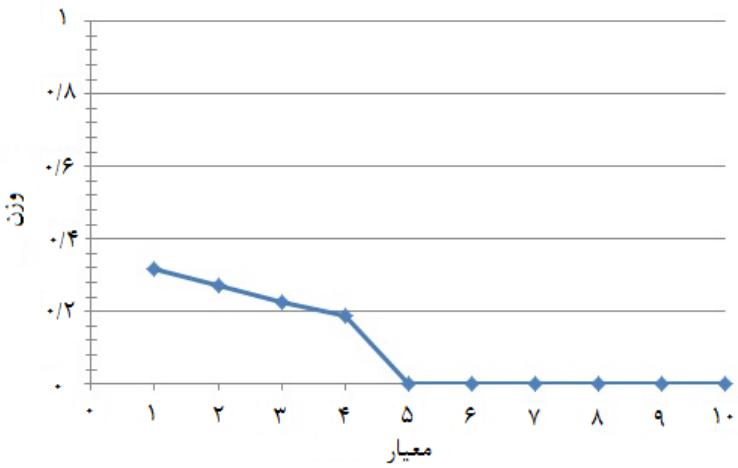
d(X۱)=۰/۳۱۵۴۱۱۶> d(X۲)=۰/۲۷۰۲۴۵>d(X۳)=۰/۲۲۵۶۴> d(X۴)=۰/۱۸۸۶۹۶

نتایج در شکل ۵ ترسیم شده است.

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

رابطه ۲

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



شکل ۵: وزن هریک از چهار معیار اصلی در احتمال وقوع

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

درصورتی که احتمال وقوع عدد اعشاری وجود داشته باشد، تا یک رقم اعشار محاسبه شده و به‌صورت زیر گرد می‌شود:

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

If y<5→x/y=[x]
If y=>5→x/y=[x]+1

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 درج‌شده در جداول 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

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	۶ ماه یک بار	۴	هر ۶ ماه یک بار
۸	۳	یک بار در سال	۳	هر سال یک بار
۹	۲	۵-۱ 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	۱۰-۹
۲	اقدام کنترلی با اثربخشی خیلی کم	۸-۷
۳	اقدام کنترلی با اثربخشی کم	۶-۵
۴	اقدام کنترلی با اثربخشی متوسط	۴-۳
۵	اقدام کنترلی با اثربخشی خوب	۲-۱

جدول ۳: قابلیت کشف خطر

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

امتیازدهی پرداخته 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 ارائه‌شده بر اساس 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 ارائه‌شده بر اساس دیدگاه خبرگان استفاده می‌شود.

پس از بررسی‌های لازم و تعیین میزان درجه شدت و احتمال وقوع، با بهره‌گیری از مقادیر درج‌شده در جدول (سطوح در نظر گرفته شده برای احتمال و شدت خطر TFNi و TFNr در ۱۰ سطح) هریک از خطرات شناسایی‌شده بر اساس مقادیر فازی امتیازدهی گردیدند.

به منظور رسم TFNL و TFNrl و تعیین نقاطی که این

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

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

ردیف	مقیاس کیفی برای احتمال وقوع پیامد (r)	مقیاس کیفی برای شدت پیامد (I)	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،۱]

جدول ۵: دسته‌بندی شدت

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

جدول ۶: دسته‌بندی احتمال وقوع

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

دو یکدیگر را در آن نقاط قطع می‌کنند، ابتدا با دریافت نظرات خبرگان در این پژوهش به تعیین بازه اعداد برای هریک از ۵ سطح پرداخته شد که نتایج آن به شرح جدول ۴ می‌باشد. بدین‌منظور از روش آنتروپی 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. مکانی‌بودن 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. بدین‌ترتیب 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 (پایین و بالا) و حداکثر مقدار ارائه نمایند [۱۷].

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

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.

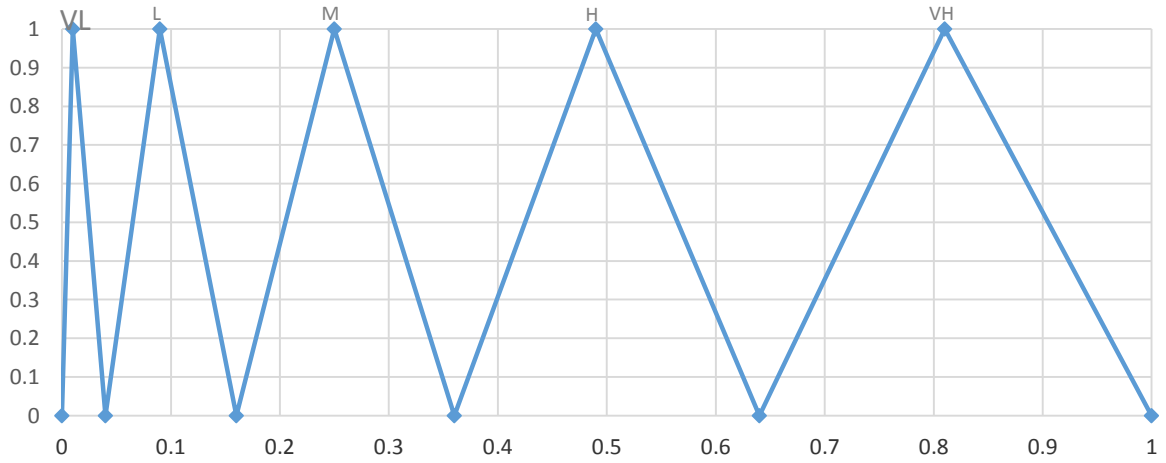
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

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

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

برآیند این فرآیند منتج به یک عدد واحد و قطعی شد که از آن برای تعیین بازه عددی هریک 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.



شکل ۶: ریسک فازی- مثلثی TFNL

پس از آن به محاسبه عدد فازی- مثلثی ریسک‌فاکتورها 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 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

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

که با توجه به قاعده زیر:

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

If y<5→x/y=[x]
If y=>5→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 به‌صورت کمی با استفاده از اعداد موجود TFNrl محاسبه می‌شود و سپس می‌توان آن‌ها را با نمودار ریسک قطع داد و مقادیر واقعی ریسک‌فاکتورها و درصد تعلق آن‌ها به سطوح پنج‌گانه ریسک را محاسبه نمود. پس از به‌دست‌آوردن TFN_{rl} می‌بایست اعداد مربوط به هر ریسک‌فاکتور را با نمودار ریسک قطع داد. بدین‌معنا که نمودارهای هریک از TFN_{rl} ها با نمودار TFN_L بر روی یکدیگر رسم شده و محل‌هایی که نمودار TFN_{rl} نمودار TFN_L 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 به‌دست‌آوردن محل‌های تلاقی تمامی ریسک‌فاکتورها با نمودار TFN_L نسبت به محاسبات نهایی جهت به‌دست‌آوردن عدد ریسک اقدام گردید (جدول ۸). در این راستا برای هریک از سطوح ریسک (VL، L، M، H و VH) استنتاجی ارائه گردیده است که نشان‌دهنده برخورد نمودارهای TFN_{rl} با TFN_L می‌باشد.

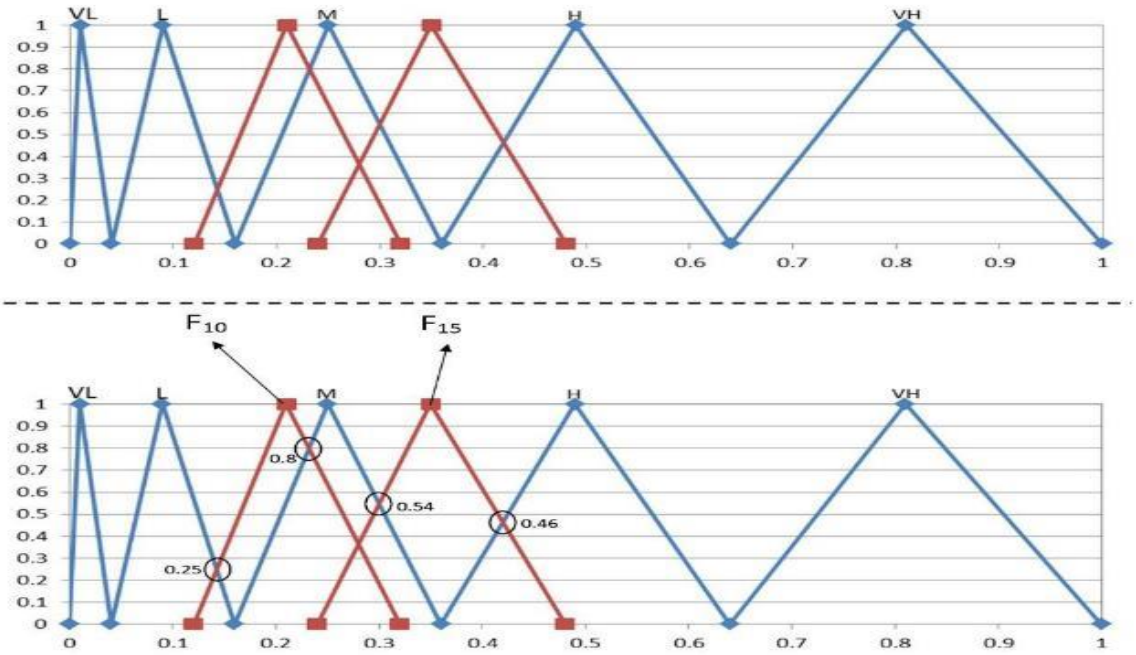
این اعداد در ۵ سطح به دست آمده و باید نرمال شوند. به منظور نرمال‌شدن این اعداد تک‌تک مؤلفه‌ها بر مجموع آن‌ها تقسیم گردید. ذکر این نکته ضرورت دارد که مجموع اعداد به عدد کاردینالیتی معروف است که در جدول ۸ برابر با ۱/۰۵ می‌باشد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

جدول ۷: محاسبه TFN_{ri} برای ریسک‌فاکتورهای پروژه

ریسک فاکتورها	احتمال وقوع ریسک r	شدت پیامد ریسک l	TFN_r	$TFNl$	$TFNrl$
F_1	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۱،۰/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F_2	متوسط	ناچیز	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F_3	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۰،۱/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F_4	خیلی کم	ناچیز	[۰،۰/۱،۰/۲]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]
F_5	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F_6	متوسط	ناچیز	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F_7	خیلی کم	مهم	[۰،۰/۱،۰/۲]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]
F_8	خیلی کم	ناچیز	[۰،۰/۱،۰/۲]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]
F_9	خیلی کم	کاملاً مهم	[۰،۰/۱،۰/۲]	[۰/۸،۰/۹،۱]	[۰،۰/۰۹،۰/۲]
F_{10}	کم	مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]
F_{11}	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۰۴]
F_{12}	کم	ناچیز	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۰۸،۰/۱۵،۰/۲۴]
F_{13}	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F_{14}	کم	کاملاً مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۸،۰/۹،۱]	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]
F_{15}	متوسط	مهم	[۰/۴،۰/۵،۰/۶]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۲۴،۰/۳۵،۰/۴۸]
F_{16}	کم	مهم	[۰/۲،۰/۳،۰/۴]	[۰/۶،۰/۷،۰/۸]	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]



شکل ۷: محل تلاقی TFNIR با TFNL

جدول ۸: محاسبه مجموعه ۵ تایی فازی برای ریسک‌فاکتورهای پروژه

$X=TFN_{rl}$	[۰/۱۲ ،۰/۲۱ ،۰/۳۲]				
سطح ریسک	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
TFN_L	[۰ ،۰/۱۰ ،۰/۰۴]	[۰/۰۴ ،۰/۰۹ ،۰/۱۶]	[۰/۱۶ ،۰/۲۵ ،۰/۳۶]	[۰/۳۶ ،۰/۴۹ ،۰/۶۴]	[۰/۶۴ ،۰/۸۱ ،۱]
استنتاج	۰	۰/۲۵	۰/۸	۰	۰
$X_{L(F10)}=$	(C= ۱/۲۵، مجموع) [۰/۲۵ ،۰/۸ ،۰/۰] مجموعه ۵ تایی فازی که نشان‌دهنده عضویت μ_P است در سطوح کیفی ریسک‌های خیلی کم، کم، متوسط ،زیاد و خیلی زیاد.				
$X_{F10}=$	[۰ ،۰/۲۴ ،۰/۷۶ ،۰/۰]				

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

پس از به‌دست‌آوردن اعداد ۵ تایی ریسک‌فاکتور، ریسک قطعی آن را از طریق رابطه زیر محاسبه می‌نماییم:

$Risk_{F10}$=(۰×VL)+(۰/۲۴×L)+(۰/۷۶×M)+(۰×H)+(۰×VH)

$Risk_{F10}$=۰+(۰/۰۱ ،۰/۰۲ ،۰/۰۴)+(۰/۱۲ ،۰/۱۹ ،۰/۲۷)+۰+۰=

[۰/۱۳ ،۰/۲۱ ،۰/۳۱]

$Risk_{F10}$=[۰/۱۲ ،۰/۲۱ ،۰/۳۱]

به همین ترتیب تمامی مقادیر ریسک‌فاکتورها محاسبه گردید و در جدول ۹ قرار گرفت:

جدول ۹: مقادیر XL عدد کاردینالیتی، X نرمال‌شده و ریسک فازی نهایی

ریسک‌فاکتورها	TFNrl	XL	C	X	ریسک فازی نهایی هریک از فاکتورها
F_1	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]	[۰/۳۹،۰/۸۵،۰،۰،۰]	۱/۲۴	[۰/۳۱،۰/۶۹،۰،۰،۰]	[۰/۰۳،۰/۰۷،۰/۱۲]
F_2	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]	[۰،۰/۱،۰،۰]	۱	[۰،۰/۱،۰،۰]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F_3	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]	[۰/۳۹،۰/۸۵،۰،۰،۰]	۱/۲۴	[۰/۳۱،۰/۶۹،۰،۰،۰]	[۰/۰۳،۰/۰۷،۰/۱۲]
F_4	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]	[۰/۴۹،۰/۶۶،۰،۰،۰]	۱/۱۵	[۰/۴۳،۰/۵۷،۰،۰،۰]	[۰/۰۲،۰/۰۶،۰/۱۱]
F_5	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]	[۰،۰،۰/۹۱،۰/۱۷،۰]	۱/۰۸	[۰،۰،۰/۸۴،۰/۱۶،۰]	[۰/۱۹،۰/۲۹،۰/۴]
F_6	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]	[۰،۰/۱،۰،۰]	۱	[۰،۰/ ۱،۰،۰]	[۰/۱۶،۰/۲۵،۰/۳۶]
F_7	[۰،۰/۰۷،۰/۱۶]	[۰/۳۹،۰/۸۵،۰،۰،۰]	۱/۲۴	[۰/۳۱،۰/۶۹،۰،۰،۰]	[۰/۰۳،۰/۰۷،۰/۱۲]
F_8	[۰،۰/۰۵،۰/۱۲]	[۰/۴۹،۰/۶۶،۰،۰،۰]	۱/۱۵	[۰/۴۳،۰/۵۷،۰،۰،۰]	[۰/۰۲،۰/۰۶،۰/۱۱]
F_9	[۰،۰/۰۹،۰/۲]	[۰/۲۵،۰/۹۹،۰/۸،۰،۰]	۲/۰۴	[۰/۱۲،۰/۴۹،۰/۳۹،۰،۰]	[۰/۰۸،۰/۰۶،۰/۲۲]
F_{10}	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]	[۰،۰/۲۵،۰/۸،۰،۰]	۱/۰۵	[۰،۰/۲۴،۰/۷۶،۰،۰]	[۰/۱۳،۰/۲۱،۰/۳۱]
F_{11}	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]	[۰،۰،۰/۹۱،۰/۱۷،۰]	۱/۰۸	[۰،۰،۰/۸۴،۰/۱۶،۰]	[۰/۱۹،۰/۲۹،۰/۴]
F_{12}	[۰/۰۸،۰/۱۵،۰/۲۴]	[۰،۰/۶،۰/۴۵،۰،۰]	۱/۰۵	[۰،۰/۵۷،۰/۴۳،۰،۰]	[۰/۰۹،۰/۱۶،۰/۲۴]
F_{13}	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]	[۰،۰،۰/۹۱،۰/۱۷،۰]	۱/۰۸	[۰،۰،۰/۸۴،۰/۱۶،۰]	[۰/۱۹،۰/۲۹،۰/۴]
F_{14}	[۰/۱۶،۰/۲۷،۰/۴]	[۰،۰،۰/۹۱،۰/۱۷،۰]	۱/۰۸	[۰،۰،۰/۸۴،۰/۱۶،۰]	[۰/۱۹،۰/۲۹،۰/۴]
F_{15}	[۰/۲۴،۰/۳۵،۰/۴۸]	[۰،۰،۰/۵۵،۰/۴۷،۰]	۱/۰۲	[۰،۰،۰/۵۴،۰/۴۶،۰]	[۰/۲۵،۰/۳۶،۰/۴۹]
F_{16}	[۰/۱۲،۰/۲۱،۰/۳۲]	[۰،۰/۲۵،۰/۸،۰،۰]	۱/۰۵	[۰،۰/۲۴،۰/۷۶،۰،۰]	[۰/۱۳،۰/۲۱،۰/۳۱]

بر مبنای محاسبات جدول فوق و به دست آوردن ریسک فازی نهایی هریک از ریسک‌فاکتورها می‌بایست اقدام به دیفازی‌کردن داده‌های ریسک فازی نمود. گاهی لازم است دو عدد فازی را با یکدیگر مقایسه کرد تا مشخص شود که کدام‌یک بزرگ‌تر از دیگری است. گاهی نیز به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گستردهٔ اعداد فازی باید آن‌ها را به اعداد قطعی تبدیل نمود که به این کار دیفازی‌کردن (تبدیل اعداد از حالت فازی به قطعی) گفته می‌شود. در این پژوهش با استفاده از میانگین ثقلی به دیفازی‌کردن داده‌ها اقدام گردید [۱۸].

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

مقادیر دیفازی‌شده ریسک‌های محاسبه‌شده در جدول ۱۰ ارائه گردیده است:

در این بخش که گام پایانی می‌باشد با استفاده از رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به مقایسه زوجی هریک از ریسک‌فاکتورهای شناسایی‌شده پرداخته شد و پس از این مقادیر محاسبه‌شده در بخش‌های قبلی برای هریک از فاکتورها در مقادیر وزن به‌دست‌آمده برای هریک از آن‌ها ضرب گردید. این فرایند از سطوح پایین شروع شد و پس از مقایسه هریک از ریسک‌فاکتورها، ابعاد آن‌ها نیز با یکدیگر مقایسه گشت و در یک سطح بالاتر مقادیر به‌دست‌آمده 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 هریک از ریسک‌فاکتورها در هر بعد پرداخته شده و در انتها نیز وزن‌های حاصل از مقایسه هریک از ابعاد ریسک با یکدیگر گزارش می‌گردد.

مقایسه ریسک‌فاکتورها به تفکیک ابعاد

در این بخش به تفکیک هریک از ابعاد (D) به مقایسه درونی ریسک‌فاکتورهای (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.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

جدول ۱۰: مقادیر دیفازی‌شده ریسک‌ها

ریسک‌فاکتورها	ریسک فازی نهایی هریک از فاکتورها	عدد ریسک دیفازی‌شده
F_1	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F_2	[۰/۰،۱۶/۰،۲۵/۳۶]	۰/۰۲۶
F_3	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F_4	[۰/۰،۰۲/۰،۰۶/۱۱]	۰/۰۶
F_5	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F_6	[۰/۰،۱۶/۰،۲۵/۳۶]	۰/۲۶
F_7	[۰/۰،۰۳/۰،۰۷/۱۲]	۰/۰۷
F_8	[۰/۰،۰۲/۰،۰۶/۱۱]	۰/۰۶
F_9	[۰/۰،۰۸/۰،۰۶/۲۲]	۰/۱۲
F_{10}	[۰/۰،۱۳/۰،۲۱/۳۱]	۰/۲۲
F_{11}	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F_{12}	[۰/۰،۰۹/۰،۱۶/۲۴]	۰/۱۶
F_{13}	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F_{14}	[۰/۰،۱۹/۰،۲۹/۴]	۰/۸۸
F_{15}	[۰/۰،۲۵/۰،۳۶/۴۹]	۰/۳۷
F_{16}	[۰/۰،۱۳/۰،۲۱/۳۱]	۰/۲۲

الف) وزن‌دهی به ریسک‌فاکتورها در بعد تجهیز کارگاه (D1)

در این بعد (تجهیز کارگاه) ریسک‌فاکتورهای اشاره‌شده به اختصار به نام‌های F1، F2، F3 و F4 مشخص شده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه هریک از ریسک‌فاکتورها به شرح زیر می‌باشد.

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

d(F۱)=۰/۴۸۲۳>d(F۴)=۰/۲۲۴۹>d(F۳)=۰/۱۷۸۳>d(F۲)=۰/۱۱۴۳۳

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

d(F۵)=۰/۳۱۸۶>d(F۸)=۰/۲۵۵۳>d(F۶)=۰/۲۲۸۶>d(F۷)=۰/۱۹۷۳

ج) ریسک‌فاکتورها در بعد اجرای سازه تیکت هال (D3)

- سقوط از ارتفاع
- خطرات نصب استرات‌های تیکت هال
- خطرات حفاری و گودبرداری
- حفاظت نادرست از ساختمان‌ها و مکان‌های اطراف

d(F۱۱)=۰/۳۱۴۵۹>d(F۱۲)=۰/۲۵۱۴۲>d(F۱۰)=۰/۲۴۵۳۰>d(F۹)=۰/۱۸۸۶۷

د) وزن‌دهی به ریسک‌فاکتورها 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(F۱۳)=۰/۳۹۳۸۹>=d(F۱۴)۰/۲۹۹۰>d(F۱۵)=۰/۱۹۳۴>d(F۱۶)=۰/۱۱۳۶۴

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.

نتایج به ترتیب:

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

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

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

d(D1)=۰/۳۶۰۸>d(D2)=۰/۲۸۳۳>d(D3)=۰/۲۰۹۱۸>d(D4)=۰/۱۴۶۶۰

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

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).

جدول ۱۱: مقادیر دیفازی و وزن داده‌ها

اولویت‌ها	ریسک*وزن	وزن داده‌ها	ریسک دیفازی‌شده	ریسک‌فاکتورها
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	۰/۱۱۳۶۴	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 هریک 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 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]، Yu و Ren [۲۶]، Aras و همکاران [۲۷]، Narasimhan و Malathi [۲۸]، Narasimhan [۲۹]، Malathi Rama Devi Nagaveni [۱۸]، Pinto [۳۰] و Murè و Demichela [۲۲] نیز معیار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

دیگری بـه نـام فرکـانس پیامد و یا فرکانس وقوع به‌عنوان یکی از معیـارهای دیگر برای برآورد احتمال رویداد مورد بررســـی قرار گرفت. از سـوی 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] صـــورت گرفته شـــده است، معیار چهارم یعنی قابلیت کشف از جمله معیارهایی می‌باشد کـه می‌توان برای تعیین احتمـال رویـداد از آن بهره جســـت. در پژوهش حاضـــر هریک از این چهار معیار مؤثر در تعیین احتمال وقوع با استفاده از روش F.AHP به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شـــدند و در نهایت مشـــخص گردید که اقدامات کنترلی با وزن ۰/۳۱۵ بااهمیت‌ترین موضوع در برآورد احتمال بوده و رتبه نخست را به خود اختصـــاص داده اســـت و میزان مواجهه با خطر ۰/۲۷، فرکـانس پیـامـد ۰/۲۲۵ و قـابلیت کشـــف ۰/۱۸۸ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. بر این اساس در پژوهش حاضر مدلی جدید برای محاســبه میزان احتمال وقوع رویداد فرموله گردید که تاکنون در مطالعات دیگر به آن پرداخته نشده بود. در نهایت جهت تقلیل میزان ریســک پروژه از طریق حذف ریســک‌فاکتورهای 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.

REFERENCES

1. 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
2. Handbook OO. US department of labor. Washington, D.C: Bureau of Labor Statistics; 2012.
3. Vojodi M. Investigating the impact of earthquake on underground metro structures. *Master Earthq Engin*. 2003;**68**(4):693-725.
4. 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]
5. 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.
6. 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]
7. 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]
8. Nazari A. Risk and its management in urban transport systems. *Instit Human*. 2010;**8**:338-53. [Persian]
9. Fathollah Zadeh M, Mahdizadeh M. Risk assessment of road construction projects in Iran as a developing country. *Instit Human*. 2012;**8**:338-53. [Persian]
10. 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
11. Sayadi A, Hayati M, Monjezi M. Risk management in tunnel Construction using MADM techniques. *J Indust Manage*. 2012;**3**(7):99-116. [Persian]
12. 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]
13. 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
14. Jalali Farahani G, Shamsayi Zafarghandi F, Ghazanfari 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]
15. Mousavi SM, Kavianpour J, Serfianpour H. A fuzzy expert system for risk management of projects. 5th International Project Management Conference, Tehran, Iran; 2013. [Persian]
16. 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]
17. 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.
18. 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.
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.
20. 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.
21. 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]
22. 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
23. Zhao ZY, Zuo J, Zillante G. Factors influencing the success

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]

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
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, Polandp; 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
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.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-02-13]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.49]