علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵ ، تابستان۱۳۹۶

ارزیابی ریسک فازی پروژه احداث ایستگاه متروی شهری (مورد مطالعه: ایستگاه D2 متروی کرج)

سروش سلیمی پور [۱*]

s.salimipour@gmail.com

سید محمدرضا میری لواسانی [۲]

سعید گیوه چی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۹ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۰۳/۱۲**

چکیده

زمینه و هدف: با رشد و افزایش جمعیت شهرها مشکلات بسیاری نمود پیدا می کند که از این مسائل می توان به ترافیک، اختلال در سیستم حمل و نقل، آلودگی هوا و تصادفات اشاره نمود. جهت کاهش این موارد می توان به سامانه های حمل و نقل تندرو و با انرژی پاک توجه خاصی نمود مانند سیستم های حمل و نقل ریلی(مترو) که می تواند هم کمک شایانی به کاهش ترافیک نموده و هم سبب کاهش آلودگی هوا و محیط زیست گردد . از طرفی پیشرفت کشور در صنعت مترو نیز سبب افزایش شمار پروژه های احداث مترو و تونلینگ می گردد که حوادث متعددی را نیز به همراه خواهد داشت. هدف این تحقیق بررسی خطرات پروژه احداث ایستگاه متروی شهری می باشد.

روش بررسی: در این پژوهش که از نوع کاربردی می باشد از روش توصیفی تحلیلی بهره گرفته شده که جهت بررسی خطرات احداث ایستگاه مترو انجام می پذیرد. در این تحقیق از ارزیابی ریسک فازی و مدل تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. فرایند ارزیابی ریسک شامل چهار مرحله کلی شناسایی، ارزیابی، واکنش و نظارت بر ریسک ها می باشد و با توجه به موضوع عدم قطعیت در مبحث مدیریت ریسک و همچنین کمبود و نقص اطلاعات در این زمینه از روش ارزیابی ریسک فازی استفاده شده است.

یافته‌ها: پس از انجام ارزیابی، نتایج پژوهش حاکی از آن است که ریسک اجماعی پروژه مذکور تقریباً برابر با ۵۰ درصد می باشد که این عدد مؤید این می باشد که احتمال وقوع و شدت خطرات بسیار زیاد می باشد. همچنین با نگاهی به ابعاد ریسک ها و ریسک فاکتورهای مورد مطالعه در این تحقیق مشخص گردید که بیشترین سهم این عدد مربوط به بخش اجرای دسترسی های ایستگاه مترو و ریسک فاکتور ریزش آوار حین حفاری می باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: جهت کاهش خطرات و حوادث می بایست بر روی این قسمت ها بیشترین تمرکز و انرژی گذاشته شود و اقدامات پیشگیرانه و کنترلی مناسب را جهت ایجاد ایمنی بیشتر در اینگونه پروژه ها در نظر گرفت که در مقاله به صورت کامل تشریح شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک فازی ، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی ، ریسک اجماعی ، احداث ایستگاه مترو

۱-*(مسوول مکاتبات): دکتری محیط زیست، گروه آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۲-استادیار گروه مدیریت HSE، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.5, Summer 2017

Fuzzy Risk Assessment of Metro Station Construction (Case study: Karaj D2 Metro Station)

Soroush Salimipour [1*]

s.salimipour@gmail.com

Seyed Mohammad Reza Miri Lavasani [2]

Saeed Give chi [3]

Abstract

Background and Objective: Growth of urban population contributes to many emerging problems including traffic, disturbances in the transportation system, air pollution and traffic accidents. In order to reduce these problems, it is possible to use rapid transportation systems and clean energy, such as rail transport systems (Metro), which can help to reduce traffic and also reduce air pollution and environmental pollution. On the other hand, with the remarkable development of our country in subway industry and its increasing necessity in large cities, transport systems (metro) have pushed industrialists and manufacturers towards such projects. This increases the number of metro and tunnel construction projects that may result in many incidents. The aim of this study is to investigate the hazards associated with metro station construction projects.

Method: In this applied research, an analytical descriptive method is used to investigate the hazards of constructing a metro station. In general, Fuzzy Risk Assessment (FRA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) models are used for this purpose. The risk assessment process involves four general stages including: identifying, assessing, responding, and monitoring the risks. Regarding the problem of uncertainty in the field of risk management as well as the lack of information in this field, fuzzy risk assessment method was used and hierarchical analysis was applied to include the importance of component as compared to each other.

Findings: After evaluation, the results indicated that the aggregative risk of the project was almost equal to 50%, which confirms very high probability of occurrence and severity of the risks. Also, considering the dimensions of the risks and risk factors studied, it was found that the largest share of this number was related to the implementation of metro station access and the risk of debris falling during drilling.

Conclusion: In order to reduce the risks and incidents, these areas should be focused and appropriate preventive and control measures should be considered to ensure greater safety in such projects.

Keywords: Fuzzy Risk Assessment, Analytic Hierarchy Process, Aggregative risk, Metro station construction.

1- PhD of Environment, Department of Environmental Science–Pollution, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran*. *(Corresponding Author)*

2- Assistant Professor, Department of HSE Management, Graduate School of the Environment and Energy, Science and Research Branch, IAU, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Environmen, Faculty of Environment Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

مقدمه

در کشورهای توسعه یافته و همچنین برخی از کشورهای در حال توسعه مسئله ترافیک یکی از نگرانی های بزرگ می باشد که با استفاده از برنامه ریزی های کلان، طراحی و مهندسی می توان از این امر جلوگیری نمود. یکی از مواردی که به بحران ترافیک در شهرهای بزرگ کمک می‌کند استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی‌است مترو در کم شدن مشکل ترافیک و آلودگی هوا در شهرها بسیار موثر و ضروری است. ایمنی بسیار بالا، راحتی و آسایش مسافران، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب، قیمت پایین حمل مسافر در مقایسه با خودروهای شخصی از جمله مزیت‌های قطار شهری نسبت به سایر وسایل نقلیه عمومی است.

در ایران نیز به مانند سایر کشورهای در حال توسعه ترافیک امری است اجتناب ناپذیر که می بایست برای رفع آن از اقدامات همه جانبه کمک گرفت. مترو یکی از بهترین گزینه های حمل و نقل شهری است که در چند دهه اخیر به صورت چشمگیری در کشور ما گسترش یافته و هر روز به وسعت خطوط ریلی مترو افزوده می شود(۱). با توجه به این امر که آمار ساخت و ساز پروژه های زیر زمینی در کشور رو به افزایش است که به دنبال آن آمار حوادث ناشی از احداث پروژه های مذکور نیز روز به روز در حال فزونی است. با توجه به این امر که حفظ و صیانت نیروی انسانی و همچنین حفاظت از سرمایه، تجهیزات، اعتبار و محیط زیست از الزامات اساسی سیستم های مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست می باشد می بایست جهت کاهش ریسک ها و مخاطرات اقدامات عاجل و موثر صورت پذیرد. در این پژوهش به ارزیابی ریسک پروژه احداث ایستگاه مترو پرداخته و با احصاء ریسک های احتمالی و محاسبه میزان و اهمیت آنها به ارائه اقدامات پیشگیرانه و کنترلی خواهیم پرداخت.

بیان مسئله و ضرورت تحقیق

توسعه اقتصادی در جهان امروز سبب گردیده تا صنعت ساخت و ساز اعم از عمومی و شخصی رشد چشمگیری داشته باشد و همچنین نیاز به امکانات دسترسی و ارتباطی درون شهری نتیجه افزایش تعداد پروژه های ملی و بین المللی در حال اجرا گردیده است. در مقایسه پروژه های روستایی و کلان شهری به این نتیجه می توان رسید که پروژه در کلان شهر ها نه تنها جذابیت بیشتری دارد بلکه بسیار پرمخاطره تر ، رقابتی تر و نسبت به محیط اطراف پویا بوده وپیچیدگی هایی شامل حمل و نقل ، تعداد شرکاء و ذی نفعان ، رفع معارض پروژه نسبت به پروژه های روستایی داراست(۲). به طور کلی ساخت و ساز خط مشی فعالانه ای نسبت به تهدیدهای موجود(عدم قطعیت) در پروژه های شهری را دارا می باشد. طبق آمار سال ۲۰۱۲ که توسط اداره کار ایالات متحده آمریکا[1] اعلام شده نزدیک به ۷۷۵ حادثه منجر به فوت در صنایع ساخت و ساز اتفاق افتاده است(۳). که بیش از ۵۰ درصد آن مربوط به ساخت و ساز های شهری می باشد.به طور کلی هدف ما از انجام این تحقیق شناسایی ریسک های موجود در صنعت ساخت و ساز و به خصوص ساخت و سازهای شهری (مترو) می باشد که مملوء از ریسک های شناخته شده و ناشناخته می باشد (۴).

در صنعت مترو به دلیل اینکه اکثر فعالیت های اجرایی در زیر زمین انجام می گیرد از اهمیت خاص و همچنین خطرات ویژه ای برخوردار می باشد. در حین عملیات عمرانی احداث ایستگاه مترو شاهد حوادث ناگواری بوده که سبب از بین رفتن تجهیزات، نیروی انسانی و محیط زیست می گردد که می بایست جهت جلوگیری از وقوع این حوادث می بایست اقدامات عاجلی با توجه به تحقیقات و پژوهش ها صورت پذیرد. این امر سبب گردید تا به انجام این پژوهش پرداخته تا بتوان گام مهم و موثری در کنترل ریسک ها و مخاطرات در حین احداث ایستگاه مترو در شهر کرج پرداخته که البته نتایج آن تا حدود بسیار زیادی قابل تعمیم به سایر پروژه ها نیز می باشد.

خطرات دائماً با توجه به پیشرفت پروژه ها و اتمام و شروع عملیات ها از بین رفته و یا پدید می آیند (۵)که این امر سبب می گردد سیستم همواره نیازمند پایش و بازنگری باشد. شناسایی خطرات می بایست به صورت دوره ای انجام پذیرد و تغییرات حاصل از آن به سرعت در سیستم اعمال شود. حال به پاره ای توضیحات در رابطه با ارزیابی ریسک پرداخته خواهد شد.

چارچوب ارزیابی ریسک معمول متشکل از چهار مرحله: شناسایی خطرات ، ارزیابی ریسک ، واکنش به ریسک و نظارت به ریسک ها و بازنگری می باشد(۶). مدیریت موثر ریسک پروژه

1-U.S. Department of Labor(USDL)

می تواند عملکرد پروژه را بهبود بخشد و سبب افزایش کارآیی و اثربخشی گردد و هزینه های ناشی از حوادث (هزینه های مستقیم و غیرمستقیم) را کاهش دهد. عوامل متعددی است که پروژه ساخت و ساز را تحت تاثیر قرار می دهند، مانند نوع ساخت و ساز ، مکان، ویژگی های سایت کاری ، تیم پروژه و زمان(۲). به منظور برآورد ریسک پروژه ساخت و ساز می بایست با شیوه ای دقیق تر عمل نمود. در ارزیابی ریسک پروژه باید به صورت منطقی به رفع خصوصیات منحصر به فرد و عدم قطعیت های(۷) پروژه های ساخت و ساز اقدام نمود. با توجه به اینکه ارزیابی ریسک فرآیندی کیفی می باشد و ما برای کمی نمودن این ارزیابی نیازمند فرآیندی هستیم که بتواند احتمال و شدت خطرات را به صورت عددی به ما ارائه دهد تا بتوان با استفاده از آنها میزان ریسک را بدست آورده و به تجزیه و تحلیل بهتر و مفهومی تری دست یافت که در این راستا از ارزیابی ریسک فازی (اعداد فازی مثلثی[1]) بهره گرفته می شود(۸).

۱. اهداف، سوالات و فرضیه های پژوهش

اهداف

- شناسایی ریسک های موجود در پروژه احداث ایستگاه های مترو شهری
- تعیین ریسک فاکتورها ، ابعاد مختلف آن و عوامل تاثیر گذار بر ریسک
- الویت و رتبه بندی ریسک های و سپس مشخص کردن مهمترین ریسک ها
- ارزیابی ریسک ها
- آنالیز ریسک های ارزیابی شده و ارائه پیشنهادات جهت حذف یا کنترل ریسک

سوالات

- چه ریسک فاکتورهایی در پروژه ساخت ایستگاه های مترو شهری وجود دارد ؟
- این ریسک فاکتورها شامل چه ابعادی است ؟
- عوامل تاثیر گذار برریسک ها چیست ؟
- رتبه ریسکهای موجود به چه صورت است ؟
- آیا اقداماتی جهت کنترل آنها وجود دارد ؟

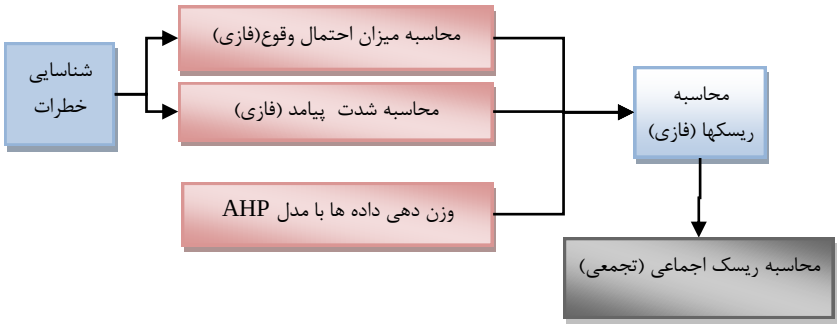
فرضیه ها

- پروژه احداث ایستگاه های مترو شهری دارای ریسک های متعددی می باشد .
- در پروژه ها تعدادی از ریسک ها هستند که بیشترین درصد احتمال را به خود اختصاص می دهند .
- با حذف ریسک های مهم می توان ریسک کلی سیستم را کاهش داد .

۲. مدل ساختاری پژوهش

تجزیه تحلیل و ارزیابی ریسک از اجزای مهم و کلی فرآیند مدیریت ریسک هستند(۲)، که برنامه های مدیریت ریسک ها از این نتایج بدست می آید. تجزیه و تحلیل ریسک منابع موجود و یا قابل ظهور خطرات را شناسایی می نماید، که اینها می توانند عوامل بالقوه یا بالفعل خطر باشد. ارزیابی ریسک نیز بیشتر به محاسبه ریسک های پروژه به وسیله ارزیابی میزان تاثیر ریسک ها بر عملکرد پروژه و همچنین امکان به وجود آمدن این خطرات می پردازد(۹) .در این بخش فرایند کلی برای تجزیه و تحلیل ریسکهای پروژه ساخت ایستگاه متروی شهری ارائه گردیده است.در این مقاله بر اساس فعالیت های کلی اجرایی پروژه سلسله مراتبی برای ریسک فاکتورها در نظر گرفته شده که در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است . بر این اساس هریک از فعالیت های اجرایی دارای ریسک فاکتورهایی است که هرکدام به صورت جداگانه بر روی ریسک اجماعی تاثیر می گذارند که هر کدام به صورت مجزا محاسبه شده و سپس در وزن اهمیت خود ضرب شده و نهایتا ریسک اجماعی محاسبه می گردد .

1-Triangular Fuzzy Number(TFN)



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق(متدولوژی ارزیابی ریسک)

Figure 1- Risk Assessment Methodology

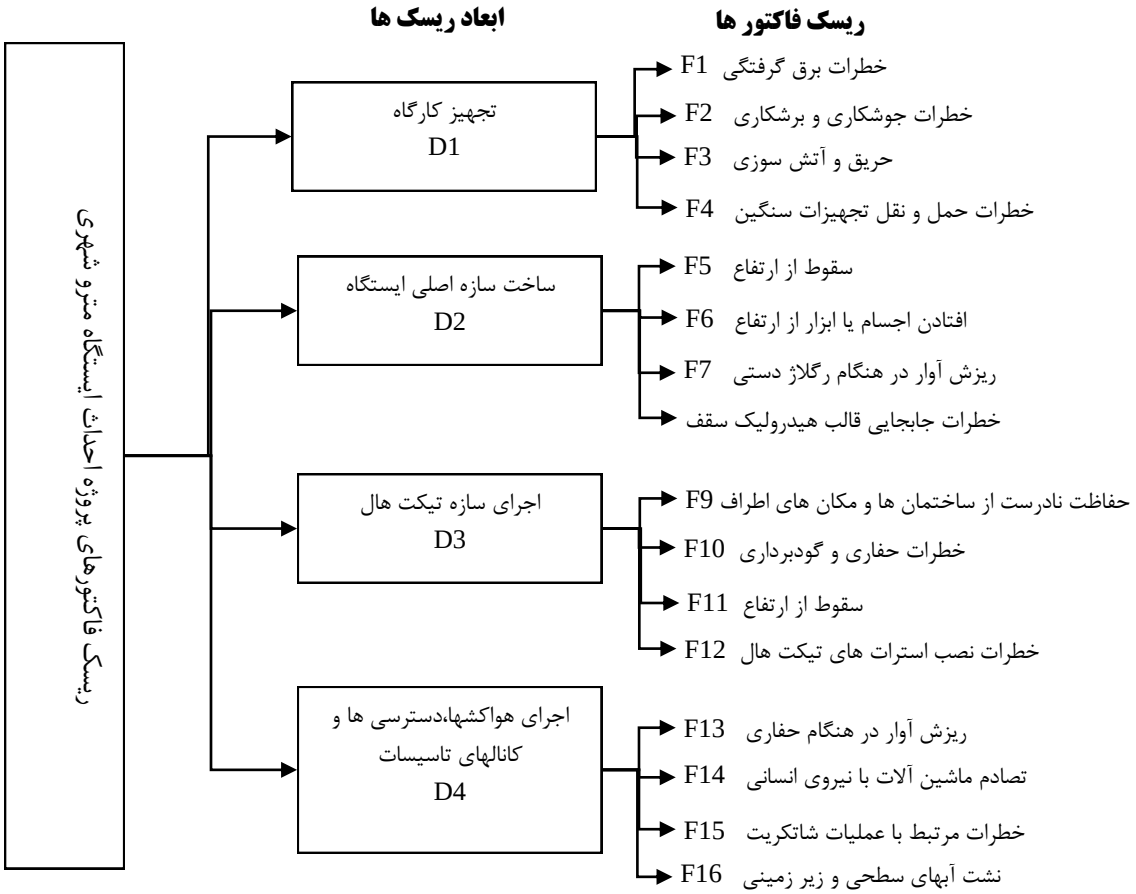
منابع مختلف ریسک های ایمنی پروژه در جدول شماره(۱) بیان گردیده است که در مطالعات انجام شده در چندین پروژه مشابه شناسایی گردیده است .

جدول ۱- ریسک فاکتورها

Table 1- Risk Factors

انواع خطرات	نوع پروژه
سقوط از ارتفاع	**ساخت و ساز عمومی**
برق گرفتگی	
افتادن ابزار کار از ارتفاع	
خطرات جوشکاری و برشکاری	
ریزش آوار هنگام رگلاژ دستی	
تصادم ماشین آلات با انسان	**ساخت تونل های زیرزمینی**
خطرات نصب استرات های تیکت هال	
ریزش آوار هنگام حفاری	
حریق و آتش سوزی	
حفاظت نامناسب از ساختمان های اطراف	
خطرات گودبرداری و حفاری	
خطرات حمل و نقل تجهیزات سنگین	
خطرات قالب های هیدرولیک	
خطرات شاتکریت	
نشت آبهای سطحی و زیرزمینی به تونل	
سقوط از ارتفاع	

با استفاده از این مقاله می توان تاثیر نسبی هریک از خطرات شناسایی شده بر عملکرد پروژه را مشخص نمود. همچنین لازم به ذکر است که جهت ساخت ماتریس تصمیم گیری از روش الویت بندی فازی بهره مند می گردیم . در این روش به وسیله مقایسه زوجی و یا دو تایی(۲) نسبت به ساخت ماتریس اقدام می گردد. یکی از ملزومات برای تصمیم گیرنده تعیین ارزش ها برای مجموعه ای از معیارها می باشد.



شکل ۲-ابعاد ریسک و ریسک فاکتورها

Figure 2- Risk dimension and risk factors structure

۳. ارزیابی ریسک فازی[1]:

ارزیابی ریسک پس از شناسایی ریسک ها صورت می گیرد. برای ارزیابی ریسک نیازمند تشکیل ماتریس ریسک می باشیم که برای تشکیل آن می بایست احتمال وقوع ، شدت پیامد و آسیب پذیری سیستم بررسی و در انتها ماتریس ریسک تشکیل گردد(۱۰). در این تحقیق ضریب میزان آسیب پذیری سیستم را یک درنظر می گیریم. همانطور که در فصل سوم توضیح داده شد ارزیابی ریسک فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی استفاده می گردد که در شکل زیر برای ۵ سطح احتمال وقوع و شدت پیامد محاسبه نموده ایم .

1-Fuzzy Risk Assessment

جدول ۲- سطوح در نظر گرفته شده برای احتمال و شدت خطر TFNr , TFNl

Table 2- Linguistic definitions of grades using TFNr, l for likelihood and peril

ردیف	مقیاس کیفی برای احتمال وقوع پیامد (r)	مقیاس کیفی برای شدت پیامد (l)	اعداد فازی (TFN_r or TFN_l)
۱	خیلی کم	خیلی کم اهمیت	(۰ ، ۰/۱ ،۰/۲)
۲	کم	کم اهمیت	(۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴)
۳	متوسط	معمولی	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۶)
۴	زیاد	مهم	(۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸)
۵	خیلی زیاد	بسیار مهم	(۰/۸ ، ۰/۹ ، ۱)

با استفاده ازجدول(۲) به محاسبه ریسک ها پرداخته و نمودار (۱) را با استفاده از ریسک های بدست آمده محاسبه می‌نماییم.

پس از آن مانند جدول (۳) به محاسبه اعداد فازی مثلثی ریسک فاکتورها می پردازیم .

پس از تعیین احتمال و شدت ریسک به صورت کمی با استفاده از اعداد موجود TFN_{rl} را محاسبه نموده و سپس می توانیم آن‌ها را با نمودار ریسک قطع داده و مقادیر واقعی ریسک فاکتورها و درصد تعلق آنها به سطوح پنج گانه ریسک محاسبه نماییم.

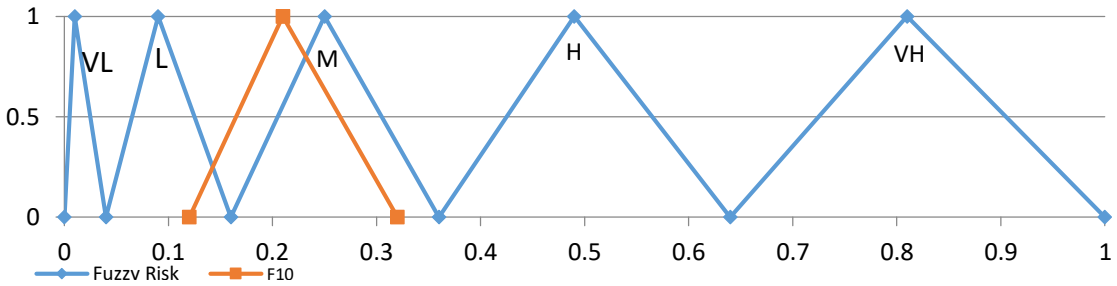
جدول ۳- محاسبه TFNrl برای ریسک فاکتورهای پروژه

Table3 – Calculation for risk factors

ریسک فاکتورها	احتمال وقوع ریسک r	شدت پیامد ریسک l	TFN_r	TFN_l	TFN_{rl}
F_{10}	Low	Important	(۰/۲ ، ۰/۳ ، ۰/۴)	(۰/۶ ،۰/۷ ،۰/۸)	(۰/۱۲ ، ۰/۲۱ ، ۰/۳۲)
F_{15}	Medium	Important	(۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۶)	(۰/۶ ،۰/۷ ،۰/۸)	(۰/۲۴ ،۰/۳۵ ،۰/۴۸)

پس از بدست آوردن TFN_{rl} می بایست اعداد مربوط به هر ریسک فاکتور را با نمودار (۱) که نمودار ریسک هایمان می باشد قطع داده . یعنی نمودارهای هریک از TFN_{rl} با نمودار TFN_L بر روی یکدیگر رسم شده و محل هایی که نمودار TFN_{rl} نمودار TFN_L را قطع نموده است درصد تعلق ریسک به سطوح VL,L,M,H,VH می باشد که در نهایت یک بازه ۵تایی به دست آمده که اعداد ریسک ما از آن طریق محاسبه می گردد.(۱۱)

در نمودار زیر اعداد فازی مثلثی با توجه به جدول شماره ۲ و همچنین اعداد ریسک فاکتور ۱۰ (F10) با توجه به محاسبات جدول شماره ۳ رسم گردیده است.



نمودار ۱- محل تلاقی TFNrl با TFNL

Chart 1- Intersection TFNrl by TFNL

جهت نرمالیزه شدن این اعداد تک تک مولفه ها را بر مجموع آنها تقسیم می نماییم . مجموع اعداد به عدد کاردینالیتی معروف است که در جدول (۴) برابر ۱،۰۵ می باشد.

جدول ۴- محاسبه مجموعه ۵تایی فازی برای ریسک فاکتورها

Table 4 - Estimating 5-tuple fuzzy set of risk

$x = TFN_{rl} =$	[۰،۱۲ ،۰،۲۱ ،۰،۳۲]				
p	VL	L	M	H	VH
TFN_L	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)	(۰/۲۵ ،۰/۵۰ ،۰/۷۵)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
Inference	۰/۳۸	) ۰/۷۵ ، ۰/۸۸max(	۰/۲	۰	۰
$X_L =$	(۰ ،۰ ،۰/۲ ،۰/۸۸ ،۰/۳۸)Cardinality, C = ۱/۴۶ مجموعه ۵ تایی فازی که نشان دهنده عضویت μpدر سطوح کیفی ریسک های VL, L, M, H and VHاست.				
X =	(۰/۲۶ ،۰/۶۰ ،۰/۱۴ ،۰ ،۰)				

پس از محاسبه ریسک ها با استفاده از ۵تایی های فازی نسبت به دیفازی کردن داده ها اقدام می نماییم.

۴. دیفازی سازی

پس از محاسبات و بدست آوردن ریسک فازی نهایی هریک از ریسک فاکتورها می بایست اقدام به دیفازی کردن داده های ریسک فازی نمود.

گاهی لازم است که دو عدد فازی را با هم مقایسه کرده تا مشخص شود که کدام یک بزرگتر از دیگری است .گاهی نیز به دلیل متغیرهای زیاد و محاسبات گستردهٔ اعداد فازی، باید اعداد فازی را به اعداد قطعی تبدیل کرد .به این کار دیفازی کردن (تبدیل اعداد از حالت فازی به قطعی) گفته میشود. در این تحقیق با استفاده از میانگین ثقلی اقدام به دیفازی کردن داده ها می پردازیم.(۵)

رابطه (۱)

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

۵. وزن دهی ریسک فاکتورها با استفاده از مدل AHP

از پایین ترین سطح به پالایش سلسله مراتب می پردازیم .در گام اول ماتریس مقایسه زوجی را برای هر معیار به طور جدا تشکیل می دهیم(۱۲). در روش سلسله مراتبی گزینه ها به صورت دو به دو با یگدیگر مقایسه می شوند .این مقایسه ها از طریق پرسشنامه (نظر کارشناسان) یا فرد تصمیم گیرنده صورت می گیرد .با توجه به نتیجه مقایسه ها که می تواند شامل پاسخ های اهمیت برابر، نسبتاً مهمتر، مهمتر، خیلی مهمتر ، کاملاً مهمتر یا بسیار مهم باشدکه به ترتیب عددی بین ۹ تا ۱ انتساب داده می شود.(۱۳)

حال باتوجه به شکل (۲) به مقایسه زوج های هریک از ابعاد ریسک ها می پردازیم . در مرحله تجهیز کارگاه ما ۴ ریسک فاکتور پایه داریم که آنها را به اختصار به نام های F1, F2, F3, F4 نامیده ایم .

پس از ساخت ماتریس ۴×۴ که ریسک فاکتورها در آنها طبق اعداد ترجیحی قرار می گیرند ،حاصل جمع هر ستون را به دست می آوریم. سپس هر عنصر در ماتریس زوجی را به جمع ستون خودش تقسیم می کنیم تا ماتریس زوجی نرمالیزه شود(۱۵و۱۴). مقدار میانگین هر سطر در ماتریس نرمالیزه را محاسبه می کنیم .

۶. محاسبه ریسک اجماعی

با توجه به جدول ۵ نسبت به محاسبه ریسک هر یک از ابعاد ریسک می پردازیم. برای بدست آوردن ریسک هریک از ابعاد می بایست عدد های ریسک های پایه آن بعد با یکدیگر به صورت خطی جمع گردد.(۱۰)

یعنی به صورت ذیل محاسبه می گردد :

$D_1=F_1+F_2+F_3+F_4$

D1= (0.04+0.05+0.01+0.01) = 0.11 **رابطه (۳)**

رابطه(۲)

	F1	F2	F3	F4					
F1	۱	۵	۷	۲		۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۱۸	= ۰/۵۴
F2	۱/۵	۱	۲	۳	=	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲۷	= ۰/۱۸
F3	۱/۷	۱/۲	۱	۵		۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱	۰/۴۵	= ۰/۱۸
F4	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۱		۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱	= ۰/۱۱

جدول ۵- محاسبه ریسک اجماعی

Table 5- Aggregative Risk

ابعاد ریسک	عدد ریسک	وزن ابعاد ریسک	ریسک ابعاد	ریسک اجماعی
D_1	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۱۵	۰/۴۹۸
D_2	۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۱۳۰	
D_3	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۱۴۵	
D_4	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۲۰۸	

با توجه به جدول ۵ همانطور که مشهود است ریسک اجماعی ما که تقریباً برابر ۰,۵۰ می باشد بخش عمده این ریسک را بعد D4 تشکیل داده است. بنابراین به عوامل موثر در بعد D4 رفته و در آنجا خواهیم یافت که ریسک فاکتورهای F14, F13 (تصادم ماشین آلات با نیروی انسانی و ریزش آوار در حین حفاری)بیشترین عدد ریسک را به خود تخصیص داده اند. حال با حذف این دو ریسک فاکتور تاثیر آنرا در ریسک اجماعی ردیابی می کنیم .

بحث و نتیجه گیری

- فرضیه اول پژوهش که بیانگر وجود ریسک های متعدد در پروژه های احداث ایستگاه مترو بود با عنایت به شکل شماره ۲ که با استفاده از گزارش ها و آمار حوادث گذشته احصاء و به صورت درختواره نمایش داده شده است اثبات می گردد.
- فرضیه دوم پژوهش نیز این قضیه را بازگو می نمود که تعدادی از ریسک ها هستند که بیشترین درصد احتمال را به خود اختصاص می دهند که با توجه به جدول شماره ۵ مشخص می گردد ابعاد D4 و D3 بیشترین درصد ریسک را داشته که بعد D4 (اجرای هواکشها، دسترسی ها و کانالهای تاسیسات) با ۲۰ درصد بیشترین ریسک پروژه را داشته که این ریسک بالا ناشی از ریسک فاکتورهای F13 F14, می باشد. که فرضیه دوم پژوهش را تایید می نماید.
- فرضیه سوم پژوهش بیانگر این قضیه است که با حذف ریسک های مهم می توان ریسک کلی سیستم را کاهش داد. همانطور که در جدول شماره ۶ مشاهده می نمایید با حذف ریسک فاکتورهای F14, F13 از لیست ریسک ها مقدار ریسک اجماعی ما به میزان ۰/۱۸۵ یا ۱۸/۵ درصد کاهش یافت که میزان قابل توجه ای است. که بدین ترتیب فرضیه سوم پژوهش نیز اثبات می گردد.

با عنایت به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل(جدول شماره ۶) که مشخص گردید بیشترین درصد ریسک در پروژه احداث ایستگاه مترو شهری مربوط به ریسک فاکتورهای F13 که همان ریزش آوار در هنگام حفاری و F14 که بیانگر تصادم ماشین آلات با نیروی انسانی می باشد.

ریزش آوار در هنگام حفاری یکی از خطرناک ترین بخش های اجرایی احداث ایستگاه مترو می باشد و از این رو که می تواند سرمایه های یک شرکت را با مخاطره روبرو نماید حائز اهمیت می باشد. زمانی که ریزش در هنگام تعریض و یا حفاری دسترسی های ایستگاه حادث می گردد می تواند تلفات انسانی بسیار زیاد و همچنین از بین رفتن تجهیزات و سرمایه های شرکت را به دنبال داشته باشد. لذا جهت کنترل و پیشگیری از وقوع این ریسک فاکتور می توان با استفاده از روش های مهندسی همچنین با به کار گیری اصول مدیریتی اقدامات موثر و مناسبی را اتخاذ نمود تا با کمترین ریسک و مخاطرات پروژه ها را به اتمام رسانید.

ریسک فاکتور بعدی که از اهمیت بالایی برخوردار می باشد تصادم ماشین آلات با نیروی انسانی است که این آیتم همانطور که مشخص است بیشترین تلفات را متوجه نیروی انسانی که یکی از با ارزشترین منابع هر سازمان و شرکت می باشد داشته و با مروری بر اینگونه حوادث می توان به اهمیت بیش از پیش آن پی برد. جهت جلوگیری از وقوع اینگونه حوادث و حفظ و صیانت نیروی انسانی می توان از تجهیزات هشدار دهنده و همچنین تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه به عنوان موثر ترین اقدامات پیشگیرانه و کنترلی یاد نمود. لذا با توجه به نتایج فوق موارد زیر پیشنهاد می گردد.

جدول ۶- حذف مقادیر ریسک فاکتورهای پر اهمیت

Table 6- Eliminate important risk factors

ریسک فاکتورها	عدد ریسک دیفازی شده	وزن داده ها	ریسک × وزن داده	الویت
F_1	۰/۰۷	۰/۵۴	۰/۰۴	۶
F_2	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۰۵	۵
F_3	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۰۱	۹
F_4	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۱	۹
F_5	۰/۸۸	۰/۴۳	۰/۳۸	۲
F_6	۰/۲۶	۰/۲	۰/۰۵	۵
F_7	۰/۰۷	۰/۲	۰/۰۱	۹
F_8	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۱	۹
F_9	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۰۲	۸
F_{10}	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۰۴	۶
F_{11}	۰/۸۸	۰/۴۷	۰/۴۱	۱
F_{12}	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۰۳	۷
F_{13}	۰	۰	۰	۰
F_{14}	۰	۰	۰	۰
F_{15}	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۰۵	۵
F_{16}	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۳	۷

جدول ۷-حذف ریسک های پراهمیت

Table 7- Eliminate important risk

ابعاد ریسک	عدد ریسک	وزن ابعاد ریسک	ریسک ابعاد	ریسک اجماعی
D_1	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۱۵	**۰/۳۱۳**
D_2	۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۱۳۰	
D_3	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۱۴۵	
D_4	۰/۰۸	۰/۲۹	۰/۰۲۳	

پیشنهادات

با توجه به نتایج پژوهش می توان جهت حذف و یا کاهش ریسک های F13,F14 موارد ذیل را پیشنهاد نمود:

- نصب آلارم دنده عقب ماشین آلات کارگاهی جهت جلب توجه بیشتر نیروی انسانی
- نصب چراغ گردان برای ماشین آلات کارگاهی جهت جلب توجه بیشتر نیروی انسانی
- فقط افرادی که دارای گواهینامه مربوطه هستند حق کار بر روی ماشین آلات را دارند
- آموزش نیروهای انسانی و آگاهی آنها از خطرات و عواقب ریسک های مورد بررسی
- عدم وقفه زمانی بین حفاری و تحکیم موقت سازه تونلی
- استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب با شغل
- عملیات حفاری بدون حضور نیروهای اجرایی و یا مسئول HSE صورت نگیرد
- قبل از هر شیفت کاری بازدید از محل حفاری و توجه به ترکها و یا سایر نشانه ها الزامی است
- استفاده از تیرهای مهاری موقت یا دایم
- نظارت بر اجرای ایمن کار توسط دستگاه نظارت پروژه ، کارفرما و پیمانکار اجرایی

منابع

۱- تارنمای شرکت بهره برداری مترو تهران و حومه ،۱۳۹۲، در باره مترو ، تاریخچه و روش های احداث تونل.

-(URL: http://www.metro.tehran.ir) ۱۳۹۴/۱۰/۱.

2- Y.-C. Kuo, S.-T. Lu. (2012).Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects : the case of risk assessment approach is demonstrated using data from a metro system construction project in the city of Taipei. International Journal of Project Management.
3- US Department of Labor,(2012) Bureau of Labor Statistics, NATIONAL CENSUS OF FATAL OCCUPATIONAL INJURIES IN 2012(PRELIMINARY RESULTS),4-5
4- Lyons T, Skitmore M.(2004). Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey. Int J Project Manage 2004; 22:51–61.
5- Lavasani, S.M.; Yang, Z.; Finlay, J.; Wang, J., 2011. Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells, Process Safety and Environmental Protection 89, 277-294.
6- Zhi H.(1995). Risk management for overseas construction. International Journal of Project Management 1995; 13:231–7.
7- Betrie, G., Sadiq, R., Nichole, C., Morin, K.A., 2016. Environmental risk assessment of acid rock drainage underuncertainty: The probability bounds and PHREEQC approach. Journal of Hazardous Materials 301, 187–196.
8- Lavasani, M.R., Wang, J., Yang, Z., Finlay, J., 2011. Application of fuzzy fault tree analysis on oil and gas offshore pipelines. Mar. Sci. Eng 1, 29–41.
9- Lu, S.T., 2010. Using the fuzzy multiple criteria decision making approach for risk evaluation on investment of overseas project. Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics 4, 2031–2036.
10- Lavasani, S.M.; Wang, J.; Yang, Z.; Finlay, J., 2012. Application of MADM in a fuzzy environment for selecting the best barrier for offshore wells, Expert Systems with Applications 39, 2466-2478.
11- Betrie, G., Sadiq, R., Nichole, C., Morin, K.A., 2016. Environmental risk assessment of acid rock drainage underuncertainty: The probability bounds and PHREEQC approach. Journal of Hazardous Materials 301, 187–196.
12- Saaty, T.L., Vargas, L.G., 2012. The seven pillars of the analytic hierarchy process. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. Int. Ser. Oper. Res. Manage. Sci. 175, 23–40.
13- Shi, S., Cao, J., Feng, L., Liang, W., Zhang, L., 2014. Construction of a technique plan repository and evaluation system based on AHP group decision-making for emergency treatment and disposal in chemical pollution accidents. J. Hazard .Mater 276, 200–206.
14- Podgorski, D., 2015. Measuring operational performance of OSH management system – A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. Safety Science 73, 146–166.
15- An, D., Yang, Y., Chai, X., Xi, B., Dong, L., Ren, J., 2015. Mitigating pollution of hazardous materials from WEEE of China: Portfolio selection for a sustainable future based on multi-criteria decision making. Resources, Conservation and Recycling 105, 198–210.