دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد تونل و فضاهای زیرزمینی

کاربرد نظریه بازی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت ریسک تونل‌ها
(مطالعه موردی خط ۳ قطار شهری مشهد)

نگارش

محمد امین قسوره

استاد راهنما

دکتر مجید نیکخواه

استاد مشاور

دکتر نازبانو فرزانه بهالگردی

دی ۱۳۹۶

شماره: ۳۰۶/۹۶/۲۰۷۲
تاریخ: ۹۶/۱۱/۳

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد امین قسوره با شماره دانشجویی۹۴۳۶۵۷۴ رشته مهندسی معدن گرایش تونل و فضاهای زیرزمینی تحت عنوان کاربرد نظریه بازی و روش‌های تصمیم گیری چند معیاره در مدیریت ریسک تونل‌ها (مطالعه موردی خط ۳ قطار شهری مشهد) که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۲۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) ☑ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ■

عضو هیات داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر مجید نیکخواه	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	ــــــ	ــــــ	ــــــ
۳- استاد مشاور	دکتر نازبانو فرزانه بهالگردی	استادیار	ــــــ
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر اصغر عزیزی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر محمد عطائی	استاد	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر علیرضا عرب امیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت تحصیل مجاز دانشجو) پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم

به او که نمی‌دانم از بزرگی او بگویم یا از مردانگی، سخاوت، سکوت یا مهربانی‌اش...

تقدیم به حضور ارجمند مادرم

که لذت غرور دانستن، جسارت خواستن و عظمت رسیدن به تمام تجربه‌های زندگی‌ام مدیون حضور سبز اوست.

تقدیم به حضور ارجمند همسر و خواهرم

که مسیح وار با صبرشان در تمامی لحظات رفیق راه بودند.

خدایا

چگونه می توان نعمتت را سپاس گفت آنگاه که من را همقدم مشتاقانی قرار دادی که در میان انبوه سوال ها و چراها به دنبال نیم نگاهی از کمال کبریایی تو می گردند و آتش اشتیاق به داشتن و سوز نیاز به شناختن تو را با اشک قلم فرو می نشانند.

اینک که در پرتو الهی، توانسته ام این تحقیق را به انجام برسانم، لازم می دانم از همه بزرگوارانی که مرا در پیشبرد هرچه بهتر این تحقیق یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید بزرگوارم، جناب آقای دکتر **مجید نیکخواه** و سرکار خانم دکتر **نازبانو فرزانه بهالکردی** به خاطر کمک ها و زحمات بی دریغشان در این تحقیق، کمال تشکر را دارم.

همچنین از آقای دکتر جواد طیبی نیز بابت همکاری و زحمات بی دریغشان در پیش برد این تحقیق تشکر و قدردانی می نمایم.

تعهدنامه

اینجانب **محمد امین قسوره** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته تونل و فضاهای زیرزمینی دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **کاربرد نظریه بازی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت ریسک تونل‌ها (مطالعه موردی خط ۳ قطار شهری مشهد)** تحت راهنمایی دکتر مجید نیکخواه متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام **دانشگاه صنعتی شاهرود** و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده(یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو: محمد امین قسوره

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن(مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

فضاهای زیرزمینی به علت اینکه در محیط‌های ژئوتکنیک با عدم قطعیت بالا اجرا می‌شوند، ریسک‌های بالایی را نیز به دنبال دارند. بیشترین حوادث و رخدادها در این سازه‌ها، اغلب با عدم قطعیت همراه است، بنابراین پیشرفت روش‌های تحلیل و مدیریت ریسک و جلوگیری از وقوع حوادث امری ضروری است. شناخت هرچه بیشتر عوامل تأثیرگذار بر روند اجرای پروژه می‌تواند راه را برای این منظور هموار کند. رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه‌ها، قسمت کلیدی مرحله ارزیابی ریسک در فرآیند مدیریت ریسک هر پروژه است. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، به عنوان رویکردی کمّی، به منظور امکان استفاده از آن‌ها در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های هر پروژه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق به کمک نظریه بازی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روشی جدید برای مدیریت ریسک‌های موجود در تونل خط ۳ قطار شهری مشهد ارائه شده است. بر اساس پاسخ متخصصان و خبرگان به پرسشنامه‌های تهیه شده، گروه‌های مختلف ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل رتبه‌بندی گردیده است. بر این اساس گروه ریسک‌های اقتصادی به عنوان مهم‌ترین ریسک و گروه ریسک‌های اجتماعی به عنوان کم اهمیت‌ترین ریسک در رتبه‌بندی با استفاده از هر دو روش قرار گرفته‌اند. در ادامه پاسخ مناسب به ریسک‌های اصلی حاصل از رتبه بندی‌ها با استفاده از مدل‌سازی حاصل نظریه بازی پیشنهاد و به لحاظ درجه اهمیت رتبه‌بندی شده است. همچنین بدترین حالت ریسک در پروژه نیز مشخص گردیده و پاسخ‌های مناسب برای این حالت نیز به ترتیب درجه اهمیت بیان شده است. نتایج به دست آمده مبین آن است که ریسک مربوط به مشکلات تأمین مالی به عنوان مهم‌ترین ریسک در این پروژه مشخص شده و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعدی به لحاظ درجه اهمیت قرار گرفتند. همچنین استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه نیز به عنوان مهم‌ترین پاسخ به ریسک در این پروژه به لحاظ درجه اهمیت است و سایر پاسخ‌ها در رتبه‌های بعد به لحاظ درجه اهمیت قرار گرفته‌اند.

کلید واژه‌ها: تحلیل سلسله مراتبی،تصمیم‌گیری چند معیاره، تونل، ریسک، شباهت به گزینه ایده‌آل، نظریه بازی.

فهرست نوشتار

فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. بیان مسئله ۳

۱-۳. ضرورت انجام تحقیق ۵

۱-۴. روش تحقیق ۶

۱-۵. اهداف تحقیق ۶

۱-۶ ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم: مفاهیم، تعاریف و اصطلاحات ۹

۲-۱. مقدمه ۱۰

۲-۲. تعاریف و اصطلاحات ۱۰

۲-۲-۱. ریسک (احتمال خطر) ۱۰

۲-۲-۲. ریسک باقیمانده ۱۱

۲-۲-۳. ریسک ذاتی ۱۲

۲-۲-۴. ریسک قابل قبول ۱۲

۲-۲-۵. کاهش ریسک ۱۲

۲-۲-۶ ارزیابی ریسک ۱۲

۲-۲-۷. عدم قطعیت ۱۲

۲-۳. ضرورت به کارگیری مدیریت ریسک در پروژه ۱۳

۲-۴. مدیریت ریسک ۱۴

۲-۴-۱-۱. برنامه‌ریزی مدیریت ریسک ۱۶

۲-۴-۱-۲. شناسایی ریسک ۱۷

۲-۴-۱-۳. تجزیه و تحلیل ریسک ۱۷

۲-۴-۱-۴. ارزیابی ریسک ۱۹

۲-۴-۱-۵. پاسخ به ریسک ۲۰
۲-۵. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ۲۱
۲-۵-۱. لزوم استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ۲۱
۲-۵-۲. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد استفاده ۲۲
۲-۶ نظریه بازی ۲۷
۲-۶-۱. استراتژی‌ها و نقطه تعادل نش ۳۰
۲-۶-۲. طبقه‌بندی بازی‌ها ۳۲
۲-۷. بازی‌های ماتریسی (بازی‌های دو نفره با مجموع صفر) ۳۳
۲-۸ رابطه حل بازی و مسائل برنامه‌ریزی خطی ۳۴
۲-۹. جمع‌بندی ۳۶
فصل سوم: پیشینه تحقیق ۳۷
۳-۱. مقدمه ۳۸
۳-۲. سابقه تحقیق ۳۸
۳-۳. جمع‌بندی ۴۷
فصل چهارم: شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های تونل‌سازی ۴۹
۴-۱. مقدمه ۵۰
۴-۲. شناسایی ریسک‌ها در پروژه‌های تونل‌سازی ۵۰
۴-۲-۱. مرور اسناد ۵۱
۴-۲-۲. طوفان ذهنی ۵۱
۴-۲-۳. روش دلفی ۵۱
۴-۲-۴. مصاحبه ۵۱
۴-۲-۵. چک لیست ۵۱
۴-۲-۶. تحلیل سناریو ۵۲

۴-۳. منابع خارجی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی ۵۲
۴-۳-۱. ریسک‌های سیاسی ۵۲
۴-۳-۲. ریسک‌های اجتماعی ۵۳
۴-۳-۳. ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی ۵۴
۴-۳-۴. ریسک‌های ناشی از بلایای طبیعی ۵۵
۴-۴. منابع داخلی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی ۵۵
۴-۴-۱. ریسک‌های مسائل ژئوتکنیک و زمین‌شناسی ۵۵
۴-۴-۲. ریسک‌های مسائل فنی (طراحی، ساخت‌وساز) ۵۶
۴-۴-۳. ریسک‌های عوامل و فاکتورهای انسانی ۵۷
۴-۴-۴. ریسک‌های سازمانی و مدیریتی ۵۸
۴-۴-۵. ریسک‌های مسائل قراردادی ۵۹
۴-۴-۶. ریسک‌های منابع و تجهیزات ۶۰
۴-۵. جمع‌بندی ۶۱
فصل پنجم: ارزیابی و مدیریت ریسک در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد ۶۳
۵-۱. مقدمه ۶۴
۵-۲. معرفی پروژه خط ۳ متروی قطار شهری مشهد ۶۴
۵-۳. فرآیند انجام تحقیق ۶۶
۵-۴. رتبه‌بندی گروه‌های ریسک شناسایی شده ۶۸
۵-۴-۱. رتبه‌بندی گروه‌های ریسک با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل ۶۹
۵-۴-۲. رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ۷۳
۵-۵. طراحی مدل بازی مورد استفاده ۷۹
۵-۵-۱. اجزای بازی ۷۹
۵-۵-۲. حل بازی مطرح شده ۸۲

۶-۵. جمع‌بندی ۹۲
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۵
۶-۱. نتیجه‌گیری ۹۶
۶-۲. پیشنهادها ۹۷
فهرست منابع ۹۹
پیوست‌ها ۱۰۹

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) پیامد بازی معمای زندانی ۳۱

جدول (۵-۱) مشخصات فنی دستگاه TBM مورد استفاده در پروژه خط ۳ ..... ۶۶

جدول (۵-۲) مشخصات گروه کارشناسان و متخصصین شرکت کننده در نظرسنجی‌ها ۶۷

جدول(۵-3) ماتریس داده‌ها حاصل از نظرسنجی متخصصین و خبرگان ۶۹

جدول(۵-۴) ماتریس بی مقیاس داده‌ها ۷۰

جدول(۵-۵) ماتریس P_{ij} داده‌ها ۷۱

جدول (۵-۶) مقادیر W_j و D_j و E_j محاسبه شده ۷۱

جدول (۵-۷) ماتریس بی‌مقیاس موزون ۷۲

جدول (۵-۸) رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس روش شباهت به گزینه ایده‌آل ۷۳

جدول (۵-۹) طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها ۷۴

جدول(۵-۱۰) ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها ۷۵

جدول (۵-۱۱) مقایسه زوجی پارامتر مدیریت‌پذیری ۷۵

جدول (۵-12) مقایسه زوجی پارامتر کیفیت پروژه ۷۶

جدول (۵-۱۳) مقایسه زوجی پارامتر عملکرد پروژه ۷۶

جدول (۵-۱۴) مقایسه زوجی پارامتر هزینه پروژه ۷۷

جدول (۵-۱۵) مقایسه زوجی پارامتر احتمال وقوع ۷۷

جدول (۵-۱۶) مقایسه زوجی پارامتر زمان پروژه ۷۸

جدول (۵-۱۷) رتبه‌بندی گروه‌های ریسک بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی ۷۸

جدول (۵-۱۹) مراحل حل بازی ۸۲

جدول (۵-۲۰) مشخصات گروه کارشناسان و متخصصین شرکت کننده در نظرسنجی ۸۴

جدول (۵-۲۱) ماتریس پیامد ۸۵

جدول(۵-۲۲) مقادیر q_j^* محاسبه شده ۸۷

Toc504303703_جدول(۵-۲۳) مقادیر p_j^* محاسبه شده ۸۸

جدول (۵-۲۴) بدترین حالت وقوع ریسک پروژه بر اساس درجه اهمیت ۸۹

جدول (۵-۲۵) رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در گروه ریسک اقتصادی، فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات بر اساس درجه اهمیت ۹۰

جدول(۵-۲۶) رتبه‌بندی پاسخ به ریسک‌های موجود در گروه‌های ریسک اقتصادی، فنی و منابع و تجهیزات بر اساس درجه اهمیت ۹۱

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱) فرآیند مدیریت ریسک ۱۶
شکل (۲-۲) ساختمان سلسله مراتبی ساده ۲۴
شکل (۴-۱) ریسک‌های ناشی از عوامل سیاسی ۵۳
شکل (۴-۲) ریسک‌های ناشی از عوامل اجتماعی ۵۴
جدول (۴-۳) ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی ۵۴
شکل (۴-۴) ریسک‌های ناشی از بلایای طبیعی ۵۵
شکل (۴-۵) ریسک‌های ناشی از مسائل ژئوتکنیک و زمین‌شناسی ۵۶
شکل (۴-۶) ریسک‌های ناشی از مسائل فنی ۵۷
شکل (۴-۷) ریسک‌های ناشی از عوامل و فاکتورهای انسانی ۵۸
شکل (۴-۸) ریسک‌های ناشی مسائل سازمانی و مدیریتی ۵۹
شکل (۴-۹) ریسک‌های ناشی از مسائل قراردادی ۶۰
شکل (۴-۱۰) ریسک‌های منابع و تجهیزات ۶۰
شکل (۵-۱) نقشه جامع سامانه حمل ونقل ریلی شهر مشهد مقدس ۶۵
شکل (۵-۲) نمودار سلسله مراتبی مربوط رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه ۷۴

مقالات مستخرج از تحقیق

۱- قسوره، محمدامین، مجید نیکخواه، و نازبانو فرزانه بهالگردی. ۱۳۹۶. «کاربرد نظریه بازی‌ها در مدیریت ریسک تونل‌سازی.» سومین همایش منطقه‌ای و دوازدهمین همایش ملی تونل ایران، تهران.

۲- قسوره، محمدامین، مجید نیکخواه، و نازبانو فرزانه بهالگردی. ۱۳۹۶. «کاربرد روش AHP در مدیریت ریسک تونل‌سازی.» چهارمین کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های نوین در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.

۳- قسوره، محمدامین، مجید نیکخواه، و نازبانو فرزانه بهالگردی. ۱۳۹۶. «کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در ارزیابی ریسک تونل سازی.» اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم و مهندسی، مشهد.

فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق

۱-۱. مقدمه

فرآیند مدیریت ریسک[1] یکی از مهم‌ترین بخش‌های مدیریت پروژه است به طوری که مطابق برخی تفکرها و نگرش‌های نوین، مدیریت ریسک را جوهره و اساس مدیریت پروژه دانسته‌اند. پروژه ساخت تونل به دلیل عدم شناخت کافی از وضعیت زمین و عدم قطعیت‌های مرتبط در طراحی و اجرا از جمله پر مخاطره‌ترین پروژه‌ها به شمار می‌روند. در پروژه‌های تونل‌سازی، وقوع ریسک‌های مختلف بر عملکرد، زمان، هزینه و کیفیت پروژه تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین اتمام پروژه در چارچوب تعیین شده (زمان، هزینه، کیفیت، ایمنی) نیازمند شناخت ریسک‌ها، رتبه‌بندی برای پاسخ به ریسک‌ها[2] و در نهایت ارزیابی ریسک‌ها[3] است. شناخت هرچه بیشتر عوامل تأثیرگذار بر روند پروژه می‌تواند راه را برای این منظور هموار کند. مدیریت ریسک به عنوان یکی از سطوح اصلی دانش مدیریت در چرخه عمر یک پروژه برای حفظ روند رسیدن به اهداف است. در مجموع، امروزه مدیریت ریسک یک بخش مستقل در طراحی و ساخت هر سازه زیرزمینی بزرگ به حساب می‌آید.

رتبه‌بندی ریسک‌ها، قسمت کلیدی این فرآیند به شمار می‌رود زیرا با انجام رتبه‌بندی، ارجحیت هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک برنامه‌ریزی نماید. رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه به روش‌های مختلف کمّی و کیفی انجام می‌شوند. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره[4]، به‌عنوان رویکردی کمّی، به منظور امکان استفاده از آن‌ها در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت صحیح ریسک، نیازمند درک درستی از ریسک‌های موجود پروژه است. این امر فراتر از لیست کردن ریسک‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس احتمال وقوع و شدت تأثیرشان بر پروژه است که استفاده از نظریه بازی‌ها[5] و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یکی از گزینه‌های جدید و مناسب برای مدیریت ریسک در تونل است.

بازی، توصیفی از تعاملات استراتژیک است که بین افراد تصمیم‌گیرنده یا بازیکن‌ها رخ می‌دهد. نظریه بازی‌ها

[1] Risk Management
[2] Risk Response
[3] Risk Assessment
[4] Multi criteria decision making (MCDM)
[5] Game Theory

مطالعه مدل‌های ریاضی تعارض و همکاری بین تصمیم‌گیرندگان عاقل و هوشمند است. نظریه بازی از روش‌های ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مواردی استفاده می‌کند که دو فرد یا بیشتر، ملزم به تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که تصمیم هر یک از طرفین بر پیامد طرف دیگر تأثیرگذار است. استفاده از نظریه بازی‌ها یکی از روش‌های مناسب و جدید برای مدیریت ریسک‌ها در تونل‌ها است. مسئله مدیریت و ارزیابی ریسک از قسمت‌های کلیدی مدیریت پروژه بوده و امکان رتبه‌بندی ریسک‌ها را بر اساس میزان بحرانی بودن آن‌ها و ارائه پاسخ مناسب ریسک‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس درجه اهمیت فراهم می‌کند. لذا در این تحقیق شناسایی، ارزیابی، تحلیل و در نهایت پاسخ به ریسک‌های حاصل از تونل‌سازی در نواحی شهری مدنظر قرار می‌گیرد. تحقیق پیشنهادی بر روی مطالعه موردی خط ۳ قطار شهری مشهد و داده‌ها و اطلاعات آن بررسی می‌شود.

۱-۲. بیان مسئله

ریسک را می‌توان به عنوان انحراف در پیشامدهایی که می‌تواند در طول یک دوره مشخص در یک موقعیت معین اتفاق افتد، تعریف نمود. هدف از اعمال مدیریت ریسک شناسایی هرچه بیشتر ریسک‌ها، راهکارهای مقابله با آن‌ها و مشخص کردن مسئول هر ریسک است. مدیریت صحیح ریسک، نیازمند درک درستی از ریسک‌های پیش روی پروژه است. مدیریت ریسک یک فرآیند قاعده‌مند و سازمان یافته برای شناسایی، ارزیابی و پاسخ به ریسک در طول چرخه حیات پروژه برای رسیدن به مقدار بهینه حذف اثرات ریسک، کاهش و یا کنترل آن است. به طور واضح و آشکار ارتقاء مدیریت پروژه با اتخاذ فرآیند مدیریت ریسک به دست می‌آید. پروژه‌های زیرزمینی عموماً پروژه‌های پیچیده با عوامل تأثیرگذار زیاد از جمله شرایط متغیر و نامطمئن زمین هستند؛ بنابراین اتمام پروژه در چارچوب تعیین شده نیازمند شناسایی ریسک‌ها[1]، ارزیابی و در نهایت رتبه‌بندی برای پاسخ به آن‌ها است. شناخت هرچه بیشتر عوامل تأثیرگذار بر روند پروژه می‌تواند راه را برای این منظور هموار کند.

شناسایی عوامل ریسک زا و اتخاذ مدیریت صحیح در پروژه‌های ساخت تونل و آگاهی از میزان و نوع تأثیرات و ارزیابی آن‌ها موجب کاهش زیان‌های ناشی از تحمیل زمان و هزینه‌های اضافی و در نهایت کاهش زیان ملی در نتیجه

[1] Risk Identification

این رویدادهای احتمالی است. شناسایی ریسک‌های متوجه پروژه‌های ساخت تونل از یک سو و رتبه‌بندی درست آن‌ها از سوی دیگر به عنوان بخشی از فرآیند پیچیده مدیریت ریسک، گامی اساسی در جهت ارزیابی صحیح و پاسخ‌دهی به موقع و مناسب به این ریسک‌ها است. استفاده از نظریه بازی‌ها همراه با تصمیم‌گیری‌های چند معیاره یکی از روش‌های مناسب برای مدیریت این‌گونه ریسک‌ها در تونل‌ها است. مدیریت ریسک یکی از مراحل مدیریت پروژه بوده و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه قسمت کلیدی فاز ارزیابی ریسک در فرآیند مدیریت ریسک‌های پروژه است.

رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه به صورت‌های مختلف کمّی و کیفی انجام می‌شوند. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، به عنوان روشی کمّی در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هریک دارای ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاصی هستند که درنتیجه نمی‌توان از تمام این روش‌ها در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده کرد. به همین دلیل استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری همراه با نظریه بازی‌ها یکی از راهکارهای جدید برای مدیریت ریسک است.

نظریه بازی، شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در علوم مختلف از جمله اقتصاد، مهندسی، علوم رایانه و روابط بین‌الملل مورد استفاده قرار می‌گیرد. نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک را مدل‌سازی کند. این موقعیت، زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راهبردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. در مسائل اقتصادی، مهندسی، صنعتی و نظامی و ... پدیده‌هایی یافت می‌شوند که در آن‌ها دست‌کم دو نفر در مقام طرفین حضورداشته، هریک از ایشان در پی دستیابی به هدف موردنظر خود هستند. این پدیده‌ها را تصادم و هریک از طرفین نیز شرکت‌کنندگان در تصادم نامیده می‌شوند.

با توجه به ویژگی‌های هر پدیده می‌توان مدلی ریاضی تعریف کرد و بنابراین برای تصادم نیز در جایگاه یک پدیده، مدلی ریاضی تعریف کردنی است. نظریه بازی مطالعه مدل‌های ریاضی تعارض، تصادم و همکاری بین تصمیم‌گیرندگان عاقل و هوشمند است. به همین دلیل از نظریه بازی‌ها با عناوین دیگری نظیر تحلیل تعارض یا نظریه تصمیم‌گیری تعاملی نیز یاد می‌کنند. یکی از کاربردهای این نظریه در تونل‌سازی است که در این مورد، طراحی و اجرای پروژه‌های ساخت تونل مستلزم صرف سرمایه و زمان قابل توجهی است.

۱-۳. ضرورت انجام تحقیق

فضاهای زیرزمینی به علت اینکه در محیطی با عدم قطعیت بالا هستند، ریسک‌های بالایی را نیز به دنبال دارند، از جمله دلایل ریسک‌های بالا در سازه‌های زیرزمینی می‌توان به ناشناخته بودن زمین، وجود آب‌های زیرزمینی، محدود بودن فضای در دسترس، تاریک بودن فضای کاری، محدود بودن هوای تازه و غیره اشاره نمود. بیشترین حوادث و رخدادها، اغلب با عدم قطعیت همراه است؛ بنابراین پیشرفت روش‌های ارزیابی ریسک و جلوگیری از وقوع حوادث امری ضروری است. بررسی نکردن ریسک‌ها در شروع پروژه و مشخص نکردن مسئول هر ریسک، باعث نارضایتی مشتری و کارفرما در زمان اجرا و هنگام مواجه شدن با ریسک‌ها می‌گردد که همین امر می‌تواند باعث عدم موفقیت کامل پروژه از دیدگاه طرفین قرارداد، شود.

به منظور بهبود فرآیند پیشرفت پروژه‌ها می‌توان با پرداختن به علت‌های ریشه‌ای بروز هر ریسک با روش‌های جدید چارچوبی را برای ارائه پاسخ‌های مناسب فراهم کرد. ساخت تونل‌ها در فضاهای شهری، به ناچار منجر به حرکت زمین در اطراف آن‌ها می‌شود که ممکن است فشارهای محیطی قابل توجهی به علت وقوع احتمالی حوادث یا خسارات مهم روی زیربناهای سطحی یا زیرسطحی به ویژه در طول پروسه ساخت و حفاری داشته باشد؛ بنابراین از نقطه نظر طراحی و برنامه‌ریزی، پیشروی با هدف کمینه کردن مخاطرات وابسته یا خسارات ضروری است.

یکی از ابزارهای مناسب برای کسب موفقیت پروژه، اعمال مدیریت ریسک در طول چرخه حیات آن است. هدف از اعمال مدیریت ریسک شناسایی هر چه بیشتر ریسک‌ها، راهکارهای مقابله با آن‌ها و مشخص کردن مسئول هر ریسک است. بنابراین می‌توان با بررسی انواع ریسک‌های موجود در تونل‌ها، روش‌های ارزیابی آن‌ها و سپس با ارائه پاسخ به ریسک‌ها[1]، سطح آن‌ها را تا حد امکان کاهش داده و به سطح قابل قبولی از ریسک رساند. لذا انجام تحقیقاتی به منظور مطالعه ریسک‌های موجود در پروژه‌های تونل‌سازی و مدیریت ریسک‌ها با استفاده از روش‌های جدید ضروری به نظر می‌رسد.

[1] Risk response

۱-۴. روش تحقیق

در این تحقیق به کمک نظریه بازی‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با ارائه یک مدل جدید برای مدیریت ریسک در پروژه ساخت تونل به منظور تعمیم و بهبود روش‌های قبلی پرداخته شده است. در ابتدا برای مطالعه تئوری‌ها و مبانی نظری از مطالعات کتابخانه‌ای استفاده شده است. در مرحله بعد شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه مورد نظر انجام شده و سپس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تئوری بازی‌ها یک مدل جدید برای مدیریت ریسک‌ها ارائه شده است. به این صورت که رتبه‌بندی گروه ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شباهت به گزینه ایده‌آل [1] و تحلیل سلسله مراتبی [2] انجام گرفته است. در ادامه خروجی‌های حاصل از رتبه‌بندی، به عنوان ورودی به نظریه بازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در انتها چارچوب تعاملی از نظریه بازی و تصمیم‌گیری‌های چند معیاره با حل بازی مدل‌سازی شده در مورد بازیکنان مطرح می‌شود. سپس نتایج حاصل از مدل‌سازی تفسیر و تحلیل شده و تحلیل حساسیت‌های موردنظر انجام شده و در پایان گزارشی از کار انجام شده، ارائه شده است. مطالعه موردی و داده‌های مورد نیاز برای تحقیق حاضر داده‌های خط ۳ قطار شهری مشهد است. به طور مختصر مراحل انجام کار به صورت زیر است:

۱) مطالعات کتابخانه‌ای

۲) جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

۳) ساخت مدل تحلیل ریسک با استفاده از نظریه بازی‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

۴) تحلیل حساسیت و مطالعات پارامتری

۵) ارائه گزارش

۱-۵. اهداف تحقیق

هدف اصلی از انجام این تحقیق، ارائه یک رویکرد جدید مبتنی بر ارزیابی ریسک است. به وسیله این رویکرد می‌توان ریسک‌های تونل‌سازی مکانیزه را کمّی کرد. سپس با شناسایی پارامترهای نامطلوب، می‌توان گامی مؤثر در بهینه‌سازی

[1] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution = TOPSIS
[2] Analytical Hierarchy Process = AHP

و کاهش اثرات ریسک‌های موجود پروژه برداشت. اهداف عمده در این تحقیق به شرح زیر است.

الف- شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه‌های تونل‌سازی

ب- رتبه‌بندی گروه ریسک‌های شناسایی شده در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

ج- ارزیابی ریسک‌های موجود در مطالعه موردی با استفاده از نظریه بازی‌ها و ارائه پاسخ مناسب جهت کاهش اثر ریسک‌های موجود.

۱-۶. ساختار پایان‌نامه

این تحقیق شامل شش فصل است. در فصل اول به بیان مسئله، ضرورت تحقیق و اهداف تحقیق پرداخته شده است. در فصل دوم مفاهیم، تعاریف و اصطلاحات مربوط به ریسک، مدیریت ریسک، روش‌های ارزیابی ریسک، نظریه بازی‌ها و کلیاتی در مورد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی بیان شده است. در فصل سوم کارهای پیشین در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک در پروژه‌های مهندسی از جمله تونل‌سازی مرور و جمع‌بندی شده است.

در فصل چهارم شناسایی، طبقه‌بندی و معرفی ریسک‌های موجود در پروژه‌های تونل‌سازی انجام گرفته است. در فصل پنجم رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شده و سپس با استفاده از نظریه بازی‌ها و تحلیل نتایج حاصل از رتبه‌بندی، منطقی‌ترین روش‌ها برای مدیریت ریسک در این پروژه ارائه و رتبه‌بندی به لحاظ درجه اهمیت انجام شده است. در نهایت در فصل ششم نتایج به دست آمده به بحث گذاشته شده و پیشنهادهایی برای ادامه مطالعات ارائه شده است.

فصل دوم: مفاهیم، تعاریف و اصطلاحات

۲-۱. مقدمه

فضاهای زیرزمینی به آن علت که در محیطی با عدم قطعیت بالا هستند، ریسک‌های بالایی را نیز به دنبال دارند. بیشتر حوادث و رخدادها، اغلب با عدم قطعیت همراه است؛ بنابراین پیشرفت سیستم‌های ارزیابی ریسک و جلوگیری از وقوع حوادث امری ضروری است. توجه بسیار زیادی برای به حداقل رساندن و توزیع خسارات‌های درگیر و عوامل ایجادکننده آن‌ها در سازه‌های زیرزمینی وجود دارد. در نتیجه تعداد گزارش‌ها در خصوص حوادث در تونل‌ها و دیگر سازه‌های زیرزمین به نسبت کاهش یافته است. ارزیابی و مدیریت ریسک از ابزارهای مدیریت در هر سازمان است که با بررسی و ارزیابی ریسک‌های موجود در سیستم و با هدف جلوگیری از وقوع شرایط نامطلوب و یا کاهش اثرات عوامل خطرزا یا به عبارتی کاهش ریسک به وجود آمده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. جایگاه این مباحث در شرایط کنونی که پروژه‌ها می‌توانند هر لحظه با بحران مواجه شوند، بارزتر شده است. فرآیند استفاده از این فنّ در ایمنی سیستم‌ها شامل تعیین ریسک، تعیین عوامل ایجادکننده ریسک، بررسی و ارزیابی ریسک و اقدام در جهت کنترل ریسک‌های موجود است. در این فصل اصول و مفاهیم اولیه ریسک، عدم قطعیت و مدیریت ریسک تشریح و برخی از روش‌های ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها، از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و نظریه بازی که از این روش‌ها در تحقیق استفاده شده، به طور کامل معرفی می‌شوند.

۲-۲. تعاریف و اصطلاحات

۲-۲-۱. ریسک (احتمال خطر [1])

واژه ریسک، مفاهیم متعددی دارد و هریک از محققان به فراخور حال، تعریف خاص مورد نظر خود را با بیان دلیل و مباحث گسترده مطرح کرده‌اند. مهم‌ترین تعریف‌های ارائه شده برای ریسک به شرح زیر است:

احتمال (کم یا زیاد) وارد شدن آسیب و زیان توسط خطرات، ریسک نامیده می‌شود. در واقع به شانس یا احتمال اینکه کسی از خطر آسیب ببیند یا اموالی دچار صدمه شود، ریسک اطلاق می‌شود (عطائی، ۱۳۹۵).

[1] Hazard

طبق تعریف اسمیت [1] ریسک، احتمال وقوع یک اتفاق نامعلوم گفته می‌شود، در شرایطی که آن اتفاق بتواند سبب بروز مشکلاتی شود؛ به عبارت دیگر ریسک به موقعیتی بستگی دارد که نتیجه واقعی، احتمالاً تحت تأثیر یک اتفاق نامعلوم قرار دارد و احتمال اثرات آن دقیقاً قابل تعیین باشد (Smith et al, 2009).

پریتچارد [2] دو تعریف از ریسک ارائه داده است. در تعریف اول ریسک، تأثیر تجمعی احتمال رویداد غیرقطعی که ممکن است بر اهداف پروژه به طور مثبت یا منفی تأثیر بگذارد. در تعریف دوم، ریسک میزان قرار گرفتن در معرض رویدادهای منفی و پیامدهای محتمل این رویدادها است. این رویدادها به وسیله سه فاکتور توصیف می‌شوند: رویداد ریسک، احتمال ریسک و مقداری که در معرض خطر بوده است (Pritchard and PMP, 2014)

طبق تعریف کرزنر [3]، ریسک تفاوت در پیشامدهایی است که می‌توانند در طول یک دوره مشخص در یک موقعیت معین ایجاد شوند. اندازه‌گیری احتمال و مقدار نرسیدن به اهداف از قبل تعیین شده پروژه، به عبارت دیگر نداشتن دانش از یک واقعه در آینده است (Kerzner, 2003)

طبق تعریف انجمن مدیریت پروژه [4]، ریسک رویدادها یا وضعیت‌های بالقوه نامعلومی است که در صورت وقوع، به صورت پیامدهای منفی یا مثبت بر اهداف پروژه مؤثر هستند. هریک از این رویدادها یا وضعیت‌ها، دارای علل مشخص و نتایج و پیامدهای قابل‌تشخیص هستند که پیامدهای این رویدادها مستقیماً در زمان، هزینه و کیفیت پروژه مؤثر است. این انجمن همچنین تعریف جدیدی از ریسک ارائه کرده است که بر طبق این تعریف، ریسک یک رویداد یا وضعیت غیرقطعی است که در صورت وقوع، اثری مثبت یا منفی بر اهداف پروژه خواهد داشت. در این تعریف به ریسک، نه به عنوان خطر بلکه به صورت عدم قطعیت نگریسته شده است که دارای دو جنبه مثبت (فرصت) و منفی (تهدید) است (Project Management Institute, 2008).

۲-۲-۲. ریسک باقیمانده [5]

سطحی از ریسک که علی‌رغم ایجاد عوامل کنترلی و سعی در کاهش ریسک، هنوز وجود دارد (عطائی، ۱۳۹۵).

---

[1] Smith
[2] Pritchard
[3] Kerzner
[4] Project Management Institute = PMI
[5] Residual risk

۲-۲-۳. ریسک ذاتی[1]

ریسک ذاتی، سطحی از ریسک است که در پیاده‌سازی سیستم مورد نظر به صورت بالقوه وجود داشته و مدیریت باید تغییرات در احتمال یا اثر آن‌ها را مورد بررسی قرار دهد (عطائی، ۱۳۹۵).

۲-۲-۴. ریسک قابل قبول[2]

ریسکی که به سطحی کاهش یافته باشد که با توجه به مقررات قانونی و خط مشی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای برای سازمان قابل تحمل باشد (Project Management Institute, 2008).

۲-۲-۵. کاهش ریسک[3]

فرآیندی که در آن، یک سازمان کنترل‌ها و اقدامات حفاظتی را انجام داده تا از وقوع ریسک‌های شناسایی شده ممانعت به عمل آورد، در حالی که به طور هم زمان ابزاری را برای بازیابی مجدد مورد استفاده قرار می‌دهد؛ چراکه در شرایط واقعی ممکن است تمامی تلاش‌ها برای پیشگیری از وقوع ریسک با شکست مواجه شوند (عطائی، ۱۳۹۵).

۲-۲-۶. ارزیابی ریسک

فرآیندی است که نتایج تحلیل ریسک‌ها (ریسک‌های برآورد شده) را با رتبه‌بندی و یا مقایسه آن‌ها با مقدارهای هدف (اهداف عملکردی یا الزامات قانونی) برای تصمیم‌گیری به‌کار می‌برد. ارزیابی ریسک میزان قابل قبول بودن ریسک‌ها را نشان می‌دهد (مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار، ۱۳۹۶).

۲-۲-۷. عدم قطعیت[4]

عدم قطعیت به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن نه تنها مجموعه رویدادهای ممکن نامعلوم است، بلکه احتمال رویدادهای معلوم نیز نامشخص است (حسنی پاک و خالصی، ۱۳۸۲).

---

[1] Inherent risk
[2] Acceptable Risk
[3] Risk Mitigation
[4] Uncertainty

۲-۳. ضرورت به کارگیری مدیریت ریسک در پروژه

به طور کلی اجرای پروژه‌ها به دلیل مواجهه با مسائلی همچون شرایط پیش‌بینی نشده‌ی محیطی و فنی، حضور افراد درگیر در پروژه با فرهنگ‌های مختلف، بی‌ثباتی‌های سیاسی و امکان تغییر سیاست‌های دولتی، مسائل مالی و اقتصادی و غیره همواره با ریسک‌های فراوان رو به رو هستند. تعداد و اهمیت هر یک از این ریسک‌ها به بزرگی پروژه و پیچیدگی آن بستگی دارد. پرهیز و ممانعت از وقوع ریسک‌ها در پروژه امری ناممکن است. لذا استفاده از یک سیستم جامع مدیریت ریسک جهت مدیریت تمام انواع ریسک‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت فرآیند مدیریت ریسک در پروژه‌ها، در ادامه به برخی از دلایل لزوم اجرای این فرآیند اشاره می‌شود (El-Sayegh, 2008).

۱- کسب وکار خوب و اجرای درست وظایف مدیریت پروژه

۲- کمک به برنامه‌ریزی ریسک

۳- کاهش رخدادهای پیش‌بینی نشده (غیر مترقبه)

۴- تخصیص مؤثرتر منابع

۵- کسب نتایج بهتر از پروژه‌ها و برنامه‌ها

۶- ترغیب افراد برای شرکت در فعالیت‌های سازمان به منظور کاهش ریسک

۷- کسب اطلاعات بهتر برای تصمیم‌گیری

محدودیت جدی برای اعمال مناسب عدم قطعیت‌ها در تحلیل ریسک وجود دارد. این محدودیت‌ها تحلیل ریسک را میان روش‌های قطعی و روش‌های فازی قرار می‌دهد. تحلیل ریسک به عنوان تلفیقی از قضاوت مهندسی و علم امکان، ارزیابی شرایط نامطلوب را فراهم می‌سازد و امکان بررسی همه جانبه‌تر ایمنی سیستم‌ها را ممکن می‌سازد و در گستره‌ی وسیعی تمامی عواملی که ایمنی سیستم را تهدید نموده و یا آن را بهبود می‌بخشد، شامل می‌گردد. چنانچه ریسک‌ها درست شناسایی‌شده و با بخش‌های درگیر ارتباط برقرار کنند، به سمت یک استراتژی کاهش و تعدیل ریسک پیش خواهند رفت (Cleland and Ireland, 2007).

۲-۴. مدیریت ریسک

به هر گونه اقدام در راستای کاهش ریسک، مدیریت ریسک گفته می‌شود. ریسک‌ها را نمی‌توان به طور کامل حذف کرد اما می‌توان به حد قابل قبول یا قابل تحمل کاهش داد؛ بنابراین هدف مدیریت ریسک ایجاد یک چارچوب نظام‌مند و مستمر به منظور شناسایی، ارزیابی، حذف، کنترل، پیشگیری و کاهش ریسک‌ها است. در فرآیند مدیریت ریسک تصمیم‌ها بر اساس مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی ریسک با معیار هدف و عواملی نظیر قضاوت فنی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی اتخاذ می‌شود. مدیریت ریسک به عنوان مجموعه‌ای از فعالیت‌ها به همراه استفاده از منابع به منظور کنترل و نظارت بر سیستم مورد مطالعه و با هدف کنترل ریسک و آثار آن به کار می‌رود. مدیریت ریسک به منظور کاهش خطرات بالقوه ناشی از وقوع مخاطرات مرتبط با ریسک‌های منتسب به هرکدام از جنبه‌های مدیریت یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد (مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار، ۱۳۹۶).

از این تعریف می‌توان دریافت که مدیریت ریسک فرآیندی پویا است که مستلزم متعهد و متمرکز شدن است. مدیریت ریسک خود تا حد زیادی درگیر قضاوت می‌شود و سازمان را ملزم می‌کند که درباره آینده برآورد دقیقی داشته باشند. همین مسئله ریسک را از عدم قطعیت و احتمال متمایز می‌سازد. برای مدیریت ریسک نیز تعاریفی ارائه شده است که البته همه در برگیرنده مفهوم یکسان هستند و تمرکز روی فرآیند مدیریت ریسک دارند. در ادامه به چند مورد از این تعریف‌ها اشاره شده است.

طبق تعریف انجمن مدیریت پروژه (PMI) مدیریت ریسک، شامل فرآیندهای برنامه‌ریزی، شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی پاسخ و کنترل ریسک پروژه است. می‌توان هدف از مدیریت ریسک را افزایش احتمال و اثر وقایع مثبت و کاهش احتمال و اثر وقایع منفی در پروژه دانست. فرآیندهای یاد شده با یکدیگر همپوشانی داشته و در تعامل هستند (مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار، ۱۳۹۶). از نظر انجمن مدیریت پروژه انگلستان (APM[1]) مدیریت ریسک، یک فرآیند نظام‌مند است که اجازه می‌دهد تا رویدادهای انفرادی ریسک و ریسک کلی پروژه به خوبی درک شود و کارهای پیشگیرانه با به حداقل رساندن تهدیدها و حداکثر رساندن فرصت‌ها برای مدیریت بهتر پروژه صورت پذیرد. هدف از مدیریت ریسک، شناخت ریسک قبل از وقوع آن، اجرای راهبردهای مقابله‌ای با آن و در نظر

[1] Association for Project Management

گرفتن طرح‌های احتمالی در صورت وقوع ریسک است تا اثرات احتمالی آن‌ها را کاهش دهد. طبق اصول مدیریت ریسک، این الگوریتم یک مرحله‌ای نبوده و چرخه‌ی فرآیند آن به تعدد طی می‌شود و در هر چرخه، برنامه مدیریت ریسک به روز می‌شود (رمضان‌نیا و همکاران).

از بین مدل‌هایی که برای مدیریت ریسک ارائه‌شده، مدل راهنمای مدیریت پروژه (PMBOK[1]) از طرفداران بیشتری برخوردار است و به عنوان استاندارد مدیریت پروژه در اکثر سازمان‌هایی که با ریسک در ارتباط هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این راهنما، مدیریت پروژه را در قالب نه فرآیند مورد بررسی قرار می‌دهد که بند هشتم آن در رابطه با مدیریت ریسک است. بر طبق این راهنما، فرآیند مدیریت ریسک دارای شش مرحله به شرح زیر است (PMBOK, 2004).

۱-برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

۲-شناسایی ریسک

۳-تجزیه و تحلیل ریسک[2]

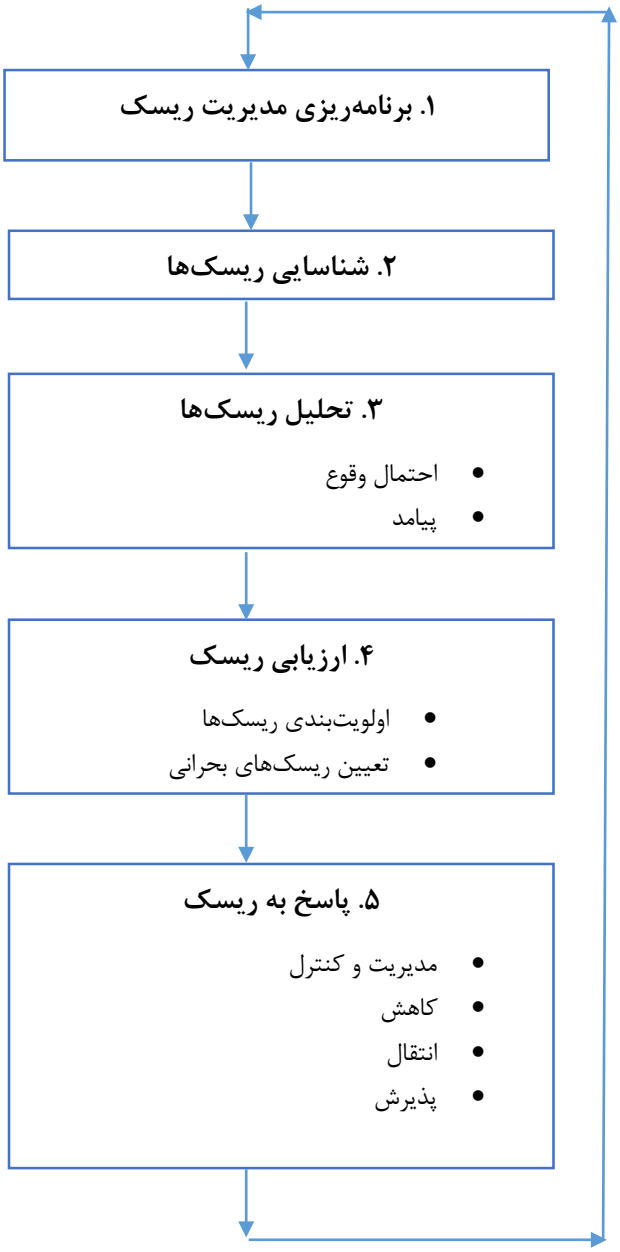
۴-ارزیابی ریسک

۵-برنامه‌ریزی پاسخ به ریسک

۶- نظارت و کنترل

[1] Project Management Body of Knowledge
[2] Risk Analysis

در شکل (۲-۱) فرآیند کلی مدیریت ریسک نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) فرآیند کلی مدیریت ریسک (عطائی، ۱۳۹۵)

۲-۴-۱-۱. برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

برنامه‌ریزی مدیریت ریسک، فرآیند تصمیم‌گیری در مورد تعیین اهداف و چگونگی فعالیت‌های مدیریت ریسک است، که به اهمیت ارزیابی ریسک واحد مورد نظر و منابع در دسترس بستگی دارد. این مرحله را می‌توان مهم‌ترین مرحله در اجرای سیستم مدیریت ریسک دانست؛ زیرا چارچوب کلی کار در این مرحله مشخص می‌شود و هرگونه

بی دقتی یا تشخیص نادرست وضعیت در این مرحله، می‌تواند منجر به عدم موفقیت سیستم در مرحله اجرا شود (عطائی، ۱۳۹۵).

۲-۴-۱-۲. شناسایی ریسک

این موضوع، مرحله‌ای حیاتی در ارزیابی ریسک است. ریسکی که شناخته نشود، قابل مدیریت نخواهد بود. روش‌های زیادی برای شناخت ریسک‌ها وجود دارد ولی از هیچ یک از آن‌ها انتظار نمی‌رود که قادر به شناسایی همه ریسک‌های بزرگ و کوچک باشد. هدف از شناسایی ریسک‌ها، حصول اطمینان نسبی از لحاظ شدن تمامی ریسک‌های عمده در مطالعات است. با آگاهی از وجود ریسک‌ها لازم است که علل و نحوه وقوع آن‌ها نیز مدنظر قرار گیرد.

روش‌های متعددی برای شناسایی خطرات وجود دارند که از نقاط قوت و ضعف خاص خود برخوردار هستند. روش‌های تحلیل اسناد و مدارک [1]، مشاهده [2]، مصاحبه [3]، طوفان ذهنی [4]، روش دلفی [5]، تحلیل چک لیست [6] و بازنگری ایمنی [7] مهم‌ترین روش‌های شناسایی خطرات می‌باشند. روش‌های موجود را می‌توان از دیدگاه‌های متفاوت طبقه‌بندی کرد. به عنوان مثال، تعدادی از این روش‌ها کاربرد مدیریتی و تعدادی دیگر، کاربرد مهندسی دارند (عطائی، ۱۳۹۵).

۲-۴-۱-۳. تجزیه و تحلیل ریسک

الف. تجزیه و تحلیل کیفی ریسک

تجزیه و تحلیل کیفی ریسک، اندازه‌گیری احتمال وقوع و میزان تأثیر کیفی ریسک‌ها بر اهداف پروژه است. تحلیل کیفی ریسک بهترین و آسان‌ترین روش یافته شده برای درک روش‌های تحلیل ریسک است. هدف از تحلیل، جدا کردن ریسک‌های جزئی (قابل قبول) از ریسک‌های اصلی و بزرگ است (روزبهی و جدا، ۱۳۸۷).

عبدالمحمدی (۱۳۸۷) تحلیل کیفی ریسک را شامل موارد زیر اعلام نموده است:

[1] Document Analysis
[2] Observation
[3] Interview
[4] Brain storming
[5] Delphi Technique
[6] Checklist
[7] Safety Review

- شناسایی خطرات که بهتر است این کار توسط یک گروه ریسک و کارشناسان این موضوع انجام شود.
- ارزیابی نتایج و احتمالات هم زمان با مرحله‌ی یک
- محاسبه‌ی احتمال و یا نتیجه‌ی ریسک که به عنوان امتیاز ریسک، برای آن نتیجه نشان داده می‌شود.

یک خطر ممکن است توسط چندین عامل متفاوت حادث شود و ممکن است نتایج مختلفی نیز داشته باشد. تا زمانی که ارزیابی کیفی ریسک برای درک و مدیریت ریسک مفید باشد از آن استفاده می‌شود و در غیر این صورت روش‌های کمی تحلیل ریسک بکار گرفته می‌شوند.

ابزار و روش‌های تجزیه وتحلیل کیفی ریسک عبارت‌اند از (حیاتی، ۱۳۸۸)

۱- احتمال و تأثیر ریسک

توصیف احتمال رخداد ریسک و عواقب حاصل از آن ممکن است با استفاده از واژگان کیفی نظیر (خیلی کم، کم، زیاد و ...) صورت پذیرد. احتمال ریسک به شانس رخداد یک ریسک اطلاق می‌شود. عواقب ریسک به میزان تأثیر ریسک بر اهداف پروژه در صورت وقوع گفته می‌شود.

۲- ماتریس درجه‌بندی احتمال تأثیر ریسک

ممکن است ماتریسی تشکیل شود که در آن، درجات ریسک بر مبنای ترکیب مقادیر احتمال و میزان تأثیر آن، به موقعیت‌های مختلف و یا ریسک‌های پروژه تخصیص داده شود. فرآیند رتبه‌بندی ریسک با استفاده از یک ماتریس و اختصاص مقادیری به هر یک از ریسک‌ها تکمیل می‌شود. میزان تأثیر یک ریسک منعکس‌کننده‌ی شدت اثر آن بر اهداف پروژه است.

۳- آزمون فرضیات پروژه

فرضیات شناسایی‌شده همواره بایستی مورد ارزیابی و آزمون قرار گیرند.

ب. تجزیه و تحلیل کمّی ریسک

تجزیه و تحلیل کمّی ریسک، اندازه‌گیری احتمال وقوع و میزان تأثیر کمّی ریسک‌ها بر اهداف پروژه است. تحلیل‌های کمی به منظور بنا نهادن تخمین‌های واقع‌بینانه از احتمالات پروژه‌ی مورد نظر، لازم است. اگرچه تحلیل‌های کمّی بر اساس هر واحدی می‌توانند باشند، این تحلیل‌ها در پروژه‌های زیرساختی اغلب بر اساس هزینه و یا زمان تأخیر

است. درجایی که هم تحلیل کیفی و هم تحلیل کمّی موجود است، فهرست خطرات کیفی می‌تواند اساس تحلیل کمّی را شکل دهد. برای هر خطر مشخص، احتمال رخداد آن تخمین زده و این کار را می‌توان از روی تحلیل کیفی انجام داد (عبدالمحمدی، ۱۳۸۷).

۲-۴-۱-۴. ارزیابی ریسک

مفهوم ضمنی تعریف ارزیابی ریسک آن است که همه ریسک‌ها را یک باره نمی‌توان درمان نمود و لازم است که ریسک‌ها برحسب اولویت و ضرورت رسیدگی به آن‌ها مرتب گردند؛ یعنی معلوم شود که کدام ریسک بلافاصله باید مورد توجه قرار گرفته و کدام یک به مرحله بعد موکول شود و چه ریسک‌هایی به واسطه اهمیت کم، نیازی به رسیدگی ندارند. ارزیابی ریسک بخش مهمی از فرآیند مدیریت ریسک است که به موجب این ارزیابی، ریسک‌های پروژه رتبه‌بندی شده و ریسک‌های با اولویت بالاتر برای واکنش سریع‌تر مشخص می‌شوند تا با مدیریت درست و به هنگام، از عواقب این ریسک‌ها (در جهت مقابله یا کاهش) بر فرآیند پروژه جلوگیری به عمل آید (Mckensey, 2009). با این رتبه‌بندی، تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز بعدی مشخص شده و حدود کار تعیین می‌شود.

به منظور ارزیابی ریسک، روش‌های مختلفی معرفی‌شده است. روش‌های تحلیل درخت خطا[1]، تحلیل درخت رویداد[2]، تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن[3]، شبیه‌سازی مونت‌کارلو[4]، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و نظریه بازی‌ها مهم‌ترین روش‌های ارزیابی ریسک هستند. در تصمیم‌گیری‌ها، معیارهای مختلفی باید مورد توجه قرار گیرند که این معیارها اهمیت یکسانی ندارند. بعضی از این معیارها، کمّی و برخی از آن‌ها کیفی هستند. اخیراً روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور کمک به تصمیم‌گیرنده‌ها و با در نظر گرفتن مجموعه معیارها، کاربرد زیادی در زمینه‌های مختلف علمی پیدا کرده است (رمضان نیا و همکاران، ۱۳۹۴).

[1] Fault Tree Analysis = FTA
[2] Event Tree Analysis = ETA
[3] Failure Mode and Effect Analysis = FMEA
[4] Monte Carlo Method

روش شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تحلیل تاکسونومی (TAXONOMY)، فرآیند سلسله مراتبی دلفی فازی [1] (FDAHP) و روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) [2] کارآمدترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره هستند که در ادامه دو روش مورد استفاده در این تحقیق (روش شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی) به طور کامل تشریح شده است.

۲-۴-۱-۵. پاسخ به ریسک

راهکارهای به کار رفته برای پاسخ به ریسک شامل مواردی همچون انتقال ریسک به بخش‌های دیگر، اجتناب از ریسک، کاهش اثرات منفی ریسک و یا پذیرش قسمتی یا تمامی پیامدهای یک ریسک خاص است. انتقال ریسک، نوعی اقدام پیشگیرانه است که ریسک به شخص یا مؤسسه ریسک‌پذیر منتقل می‌شود که از توانایی بهتری در مدیریت ریسک برخوردار است. اجتناب از ریسک نیز، نوعی اقدام پیشگیرانه است که به موجب آن فعالیت‌هایی که سبب بالا رفتن ریسک می‌شوند، انجام نخواهند شد. طی این اقدام، احتمال رخ دادن رویداد در پروژه به حداقل و نزدیک به صفر می‌رسد.

به موجب راهکار کاهش، اقداماتی انجام می‌شود که موجب کاهش در احتمال وقوع یا اثر رویداد و یا ترکیبی از هر دو عامل باشد. در این راهکار با استفاده از یک یا چند مورد از ابزارهای کنترلی، می‌توان خطرها را کنترل و شدت زیان را کاهش داد. ابزارهای کنترلی از نظر توالی و مؤثر بودن به ترتیب عبارت‌اند از: حذف خطر [3]، جایگزینی [4]، جداسازی [5]، کنترل مهندسی [6]، کنترل اداری [7] و لوازم حفاظت فردی [8]. در راهکار پذیرش، هیچ‌گونه اقدامی که بر احتمال وقوع و اثر رویداد مؤثر باشد، صورت نمی‌گیرد (عطائی، ۱۳۹۵). از بین راهکارهای مذکور باید محتمل‌ترین و مؤثرترین راهکار را انتخاب کرد.

[1] Fuzzy Delphi Analytical Hierarchy Process = FDAHP
[2] Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution = FTOPSIS
[3] Hazard Elimination
[4] Hazard Substitution
[5] Isolation
[6] Engineering control
[7] Administration control
[8] Personal protective equipment = PPE

۲-۵. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

۲-۵-۱. لزوم استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

در جهان امروز پیچیدگی ذاتی بسیاری از محیط‌های تصمیم‌گیری، لزوم جامع‌نگری در تصمیم‌گیری‌ها را ایجاب می‌کند. امروزه لزوم بهره‌گیری از افراد مختلف با مشاغل، تخصص‌ها، تجربه، سوابق و دیدگاه‌های علمی گوناگون کاملاً معمول شده است. همه این موارد، ضرورت استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی و چند معیاره را بیش از پیش مشخص می‌کند. در بعضی از مسائل، معیارها ممکن است با یکدیگر متضاد باشند، یعنی افزایش یک عامل یا معیار موجب کاهش عامل دیگر شود.

تبدیل معیارها اعم از کیفی و کمّی به یکدیگر نیز مشکلات خاص خود را دارد. با توجه به مشکلات مربوط به فرآیند تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌توان گفت که در این حالت تصمیم‌گیری ساده نبوده و به علت عدم وجود استاندارد از سرعت و دقت تصمیم‌گیری به مقدار زیادی کاسته می‌شود. چنین شرایطی باعث می‌شود که فرآیند تصمیم‌گیری به مقدار زیادی به فرد تصمیم‌گیرنده وابسته باشد. برای رفع این مشکل و یا حداقل کردن آثار جانبی آن، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه طراحی شده‌اند (عطائی، ۱۳۹۳).

تصمیم‌گیری مناسب و بهینه از اصول اولیه در علوم مهندسی است. علم مهندسی تونل نیز با توجه به پیچیده بودن شرایط و تعداد گزینه‌های ممکن، از این اصل جدا نیست. روش‌های تصمیم‌گیری مهندسی می‌تواند برای نزدیک شدن به انتخاب بهینه، ابزاری مناسب و علمی باشد. از آنجا که جهت دسترسی به این مهم با توجه به گزینه‌های متعدد و محدودیت‌های شناخته و ناشناخته، اغلب غیرممکن است، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بسیار کارگشا بوده، منجر به اخذ نتایج صحیح و علمی می‌شوند و همچنین می‌توان با درجه اطمینان بالاتری گزینه مناسب را انتخاب کرد (Liqun et al, 1995). رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه به روش‌های مختلف کمّی و کیفی انجام می‌شوند. در این میان روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل از شهرت و محبوبیت بیشتری نسبت به سایر روش‌های دیگر برخوردار هستند. در این تحقیق نیز از روش‌های مذکور استفاده و در ادامه این روش‌ها به طور کامل توضیح داده شده است.

۲-۵-۲. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد استفاده

۲-۵-۲-۱. روش شباهت به گزینه ایده‌آل

روش تصمیم‌گیری اولویت‌بندی بر اساس شباهت به گزینه ایده‌آل، نخستین بار به‌وسیله ونگ[1] و یون[2] در سال ۱۹۸۱ معرفی شد. از این روش می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارت دیگر، می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده نمود.

در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایده‌آل ، فاصله آن از نقطه ضد ایده‌آل هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل بوده و همچنین دارای دورترین فاصله از راه‌حل ضد ایده‌آل باشد (قدسی پور، ۱۳۸۶). گام‌های حل روش شباهت به گزینه ایده‌آل برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده عبارت‌اند از (عطائی، ۱۳۹۳):

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم.

مرحله دوم: بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم.

روش‌های مختلفی برای بی مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینه ایده‌آل معمولاً از رابطه (۲-۱) استفاده می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} {r_{ij}}^2}} \qquad (۲-۱)$$

مرحله سوم: تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار.

مرحله چهارم: تعیین حل ایده‌آل و حل ضد ایده‌آل.

حل ایده‌آل (A^+) و ضد ایده‌آل (A^-) به صورت رابطه‌های (۲-۲) و (۲-۳) تعریف می‌شود.

$$A^+ = \{(\max V_{ij} \,|j \in J), (\min V_{ij} \,|j \in \acute{J})|i = 1,2,\dots,m\}$$
$$= \{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\} \qquad (۲-۲)$$

[1] Wang
[2] Yoon

$$A^- = \{(\min V_{ij} \,|j \in J), (\max V_{ij} \,|j \in \acute{J})|i = 1,2, \dots, m\}$$
$$= \{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^- \} \qquad (۳-۲)$$

مرحله پنجم: محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل

در این مرحله برای هر گزینه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط (۲-۴) و (۲-۵) محاسبه می‌شوند.

$$d_{i+} = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^+\right)^2\right\}^{0/5}, \qquad 1,2, \dots m \qquad (۴-۲)$$

$$d_{i-} = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^-\right)^2\right\}^{0/5}, \qquad 1,2, \dots m \qquad (۵-۲)$$

مرحله پنجم: محاسبه شاخص شباهت

در این مرحله شاخص شباهت از رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شود.

$$CL_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})}, \qquad 0 \le CL_{i+} \le 1, \quad i = 1,2, \dots n \qquad (۶-۲)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه گزینه مورد نظر به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن، به یک نزدیک‌تر خواهد بود. کاملاً روشن است که اگر گزینه‌ای بر گزینه ایده‌آل منطبق باشد، آنگاه فاصله آن تا حل ایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که گزینه‌ای بر گزینه ضد ایده‌آل منطبق باشد، آنگاه فاصله آن تا حل ضد ایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفر خواهد بود. لذا برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کم‌ترین شاخص شباهت است، در رتبه آخر قرار می‌گیرد (عطائی، ۱۳۹۳).

مزایای روش تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل عبارت‌اند از:

۱- تصمیم‌گیری در صورت وجود معیارهای مثبت و معیارهای منفی (حتی توأم با هم در مسئله) امکان پذیر است.

۲- برای تعیین بهترین گزینه می‌توان تعداد قابل توجهی معیار را مورد بررسی قرار داد.

۳-این روش ساده و دارای سرعت مناسب است و برای تعداد زیادی گزینه و معیار به خوبی پاسخگو است.

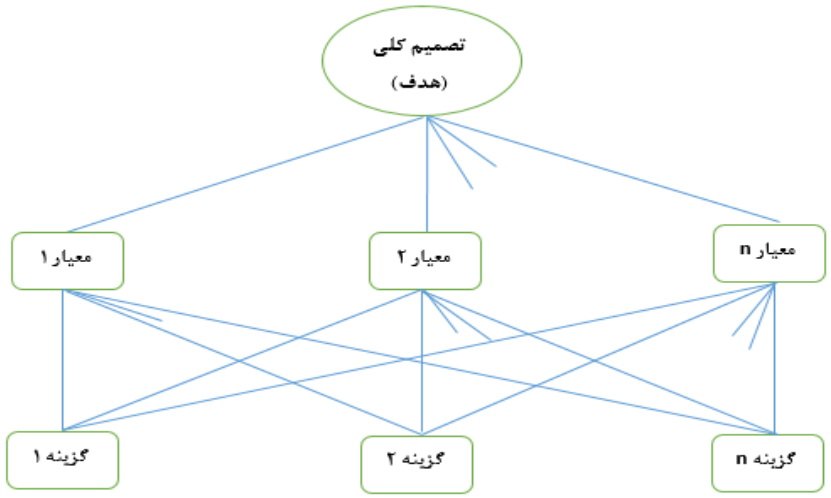
۴- به راحتی می‌توان معیارهای کیفی را کمّی کرد و تصمیم‌گیری با وجود معیارهای کیفی و کمّی میسر است.

۵- خروجی سیستم به صورت کمّی و علاوه بر تعیین گزینه برتر، رتبه سایر گزینه‌ها به صورت عددی بیان می‌شود.

۶- این امکان وجود دارد که بتوان تأثیر ضریب اهمیت معیارها را بر روی رتبه‌بندی گزینه‌ها به صورت عددی مشاهده کرد.

۲-۵-۲-۲. روش تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این روش بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد و توسط محققی به نام ساعتی[1] در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد گردیده است؛ به طوری که کاربردهای متعددی از آن زمان تاکنون برای این روش مورد بحث قرار گرفته‌اند. در این روش مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف[2]، معیارها[3]، زیرمعیارها[4] و گزینه‌ها[5] تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند به راحتی در کوچک‌ترین تصمیم‌گیری دقت کند. برای ساختن مدل تصمیم‌گیری، در بالاترین سطح، هدف و در سطح یا سطوح میانی، معیارها و در سطح پایین، گزینه‌های ممکن گذاشته می‌شود (عطائی، ۱۳۹۳). ساختمان سلسله مراتبی ساده در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۲) ساختمان سلسله مراتبی ساده

[1] Saaty
[2] Goal
[3] Criteria
[4] Subcriteria
[5] Alternatives

مهم‌ترین قابلیت روش تحلیل سلسله مراتبی در توانایی تبدیل ساختار سلسله مراتبی یک مسئله پیچیده چند شاخصه به ساختار بسط داده شده، برای درک بهتر تصمیم‌گیرنده از مسئله تصمیم‌گیری است. این روش برای تعیین اهمیت نسبی معیارها یا گزینه‌ها از مقایسه زوجی [1] (دوتایی) عناصر تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن معیارها یا گزینه‌ها بهره می‌گیرد (Saaty, 2001). همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمّی و کیفی در مسئله وجود دارد. در این فرآیند گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت می‌کنند و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. از مزایای ممتاز دیگر این روش تصمیم‌گیری چند معیاره، تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم است. این روش از یک مبنای تئوری قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است. این فرآیند با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد (عطائی، ۱۳۹۳).

مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی تقسیم مسئله تصمیم‌گیری به بخش‌های کوچک‌تر است که تصمیم‌گیرندگان را به سوی مقایسه‌های زوجی بین معیارهای مؤثر در مسئله تصمیم‌گیری هدایت می‌کند تا میزان اهمیت هریک از معیارها و میزان تأثیر هرکدام از آن‌ها توسط کارشناسان در سلسله مراتب بیان شود. در این روش بر اساس قضاوت‌های ذهنی، به اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها، مقادیر عددی اختصاص داده می‌شود. در نهایت معیارهایی که دارای بیشترین اهمیت باشند، مشخص می‌شوند و ترتیب اولویت معیارها تعیین می‌شود (عطائی، ۱۳۹۳). توماس ساعتی (۲۰۰۱) چهار اصل زیر را به‌عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیان کرده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است (قدسی پور، ۱۳۸۶) این اصول عبارت‌اند از:

اصل ۱: شرط معکوسی [2]

اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $\frac{1}{n}$ خواهد بود.

اصل ۲: همگنی [3]

عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند. برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

[1] Pairwise comparison
[2] Reciprocal Condition
[3] Homogeneity

اصل ۳: وابستگی[1]

هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

اصل ۴: انتظارها[2]

هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد، فرآیند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا، سهولت استفاده، دارا بودن ارزش، اعتبار، درستی و دقت نتیجه، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. در ادامه مرحله‌های حل روش تحلیل سلسله مراتبی بیان شده است.

مرحله اول: ساختن نمودار سلسله مراتبی

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ساختن نمودار سلسله مراتبی مسئله است که معمولاً به ترتیب در آن هدف، زیرمعیارها، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. نمودار سلسله مراتبی تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد.

مرحله دوم: تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی

در این مرحله، عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به‌صورت زوجی مقایسه شده و سپس ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌شوند. یک ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \qquad (۷-۲)$$

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i نسبت به عنصر j است.

مرحله سوم: محاسبه وزن عناصر در روش تحلیل سلسله مراتبی

عناصر هر سطح نسبت به هریک از عناصر سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود.

[1] Dependency
[2] Expectations

این وزن‌ها را وزن نسبی [1] می‌گویند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود. وزن نهایی [2] هر گزینه، از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه از آن معیار به دست می‌آید (عطائی، ۱۳۹۵).

مرحله چهارم: محاسبه نرخ ناسازگاری

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه کرد و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل‌قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل‌قبول ناسازگاری یک سیستم بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد، اما ساعتی عدد ۰/۱ را به عنوان حد قابل‌قبول ارائه می‌کند و معتقد است اگر میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (Saaty, 2001).

مسئله دیگری که در همین زمینه مطرح می‌شود تحلیل سلسله مراتبی گروهی است که در آن گروهی از افراد نظرات خود را ارائه می‌کنند و در سیستم‌های خبره نیز کاربرد دارد. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسه‌های زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هر یک از معیارها پرداخته می‌شود (Pardalos and Hearn, 2000).

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هریک دارای ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاصی هستند بنابراین نمی‌توان از تمام این روش‌ها در مسئله رتبه‌بندی، تحلیل و مدیریت ریسک‌ها استفاده نمود، روش‌های متفاوتی در زمینه مدیریت ریسک به‌کار برده می‌شود، یکی از روش‌های جدیدی که اخیراً توسعه یافته است، ترکیب نظریه بازی‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. در ادامه نظریه بازی به طور کامل تشریح شده است.

۲-۶. نظریه بازی

نظریه بازی، مطالعه رفتار منطقی در شرایطی است که وابستگی متقابل وجود دارد. وابستگی متقابل یعنی اینکه هر بازیکن از آنچه دیگران در بازی انجام می‌دهند، تأثیر می‌پذیرد. رفتار خود بازیکن‌ها نیز بر دیگران تأثیر می‌گذارد. خروجی بازی وابسته به تصمیم‌های بازیکن‌ها است و هیچ فردی کنترل کامل بر آنچه اتفاق می‌افتد، ندارد. افراد، این

[1] Local Priority
[2] Overall Priority

وابستگی‌های متقابل را می‌دانند و آن‌ها را در تصمیم‌ها لحاظ می‌کنند (Mac Milan,1999).

طبق تعریف مایرسون [1] (۲۰۰۳)، نظریه بازی‌ها مطالعه مدل‌های ریاضی تعارض و همکاری بین تصمیم‌گیرندگان عاقل و هوشمند است؛ بنابراین از نظریه بازی‌ها با عناوین دیگری نظیر تحلیل تعارض یا نظریه تصمیم‌گیری تعاملی نیز یاد می‌کنند. نظریه بازی‌ها از روش‌های ریاضی به منظور تجزیه و تحلیل مواردی استفاده می‌کند که دو فرد یا بیشتر، ملزم به تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که تصمیم هریک از طرفین بر پیامد طرف دیگر تأثیرگذار است (Holt and Roth, 2004).

تفاوت مدل‌های ریاضی ارائه شده در نظریه بازی‌ها و تحقیق در عملیات این است که در تحقیق در عملیات، چون تابع هدف و محدودیت‌های مسئله ثابت‌اند، بهینه‌سازی در شرایط معین صورت می‌گیرد اما در نظریه بازی‌ها امکانات طرفین بازی و عملی که انجام می‌دهند مشخص است اما امکان وقوع در هر مرحله با مرحله دیگر بازی، متفاوت است. به همین دلیل بازی بهینه‌سازی در شرایط نامعین است و بنابراین می‌توان بازی را به صورت مدل ریاضی نظریه تصمیم در شرایط تصادم تعریف کرد (نویدی و همکاران، ۱۳۹۰).

عناصر اصلی در هر بازی عبارت‌اند از:

۱-بازیکن [2]

فرد یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان را در بر می‌گیرد. برای شکل‌گیری بازی وجود حداقل دو بازیکن الزامی است، اما در مورد حداکثر تعداد بازیکن‌ها سقف و محدودیتی وجود ندارد. تشریح یک بازی که شامل دو بازیگر است نسبت به بازی‌هایی با تعدد بازیگران ساده‌تر است. میزان پیچیدگی با افزایش تعداد بازیکن‌ها بیشتر شده و مدل‌سازی سخت‌تر خواهد شد. دربازی‌هایی با تعداد حداقل سه بازیکن، امکان شکل‌گیری ائتلاف به وجود می‌آید.

۲-قواعد بازی

قواعد بازی موارد زیر را مشخص می‌کند:

- هر بازیکن چه زمانی باید حرکت کند.

[1] Myreson
[2] Players

- هریک از بازیکن‌ها در زمان حرکت، چه انتخاب‌هایی دارند.
- هر بازیکن در زمان انتخاب عمل خود، چه اطلاعاتی دارد.

۳-خروجی‌ها[1]

۴-پیامدها[2]

از رخ دادن هریک از خروجی‌ها، مقدار عایدی هر کدام از بازیکن‌ها پیامد نامیده می‌شود (نویدی و همکاران، ۱۳۹۰). منظور از عمل (اقدام) انتخاب‌های ممکن پیش روی هر بازیکن است که یکی از آن‌ها را انتخاب می‌کند و به آن، انتخاب یا عمل بازیکن گفته می‌شود. به اختیارهایی که هریک از طرفین بازی دارند، راهکار (استراتژی) گفته می‌شود. به عبارت دیگر، به برنامه عملی هریک از طرفین بازی لفظ راهکار اطلاق می‌شود. برای مثال جابجا کردن مهره‌ها در بازی شطرنج یک راهکار است. در بازی‌هایی که بازیکن‌ها به صورت هم زمان، حرکت (انتخاب عمل) خود را انجام می‌دهند، تفاوتی میان راهکار و عمل وجود ندارد، اما در مورد بازی‌هایی با حرکت‌های متوالی بازیکن‌ها، میان این دو مفهوم تفاوت وجود دارد. مجموعه راهکارهای محض بازیکنان A و B در یک بازی دو نفره به صورت زیر نشان داده می‌شود (اصغرپور، ۱۳۹۳):

$$S_C^A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$$
$$S_C^B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\} \qquad (۸-۲)$$

اگر $S_C^A , S_C^B < \infty$ و تعداد راهکارهای هریک از بازیکن‌ها محدود باشد، بنابراین بازی متناهی است. مجموعه راهکارهای انتخاب شده‌ی بازیکن‌ها در یک مرحله از بازی را بردار موقعیت یا ترکیب عمل می‌نامند و به صورت زیر نمایش می‌دهند (قهرمان عبدلی، ۱۳۹۳).

$$x = (A_i, B_j): 1 \le i \le m , 1 \le j \le n \qquad (۹-۲)$$

مجموعه همه این ترکیب عمل‌ها برابر است با:

$$X = \{x | x = (A_i, B_j) : A_i \in S_C^A, B_j \in S_C^B\} \subseteq S_C^A \times S_C^B \qquad (۱۰-۲)$$

[1]Outcomes
[2]Payoffs

به علت وجود یک سری راهکارهای ممنوع، در رابطه بالا از تساوی استفاده نشده است. برای مثال، زدن بازیکن مقابل در بازی فوتبال یک راهکار ممنوع است. با فرض عدم وجود راهکارهای ممنوع در بازی، می‌توان رابطه بالا را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$X = \{x | x = (A_i, B_j) : A_i \in S_C^A, B_j \in S_C^B\} = S_C^A \times S_C^B \quad (۱۱-۲)$$

در صورتی که بیش از دو بازیکن حضور داشته باشند، مجموعه موقعیت‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$X = S_C^A \times S_C^B \times \dots \quad (۱۲-۲)$$

به مقدار عددی که به ازای هریک از عناصر مجموعه موقعیت‌ها، عاید بازیکن می‌شود، پیامد آن بازیکن گفته می‌شود. تابع پیامد بازیکن A به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$U_A: S_C^A \times S_C^B \rightarrow R$$
$$U_A(x) = U_A(A_i, B_j) \quad (۱۳-۲)$$

بازیکن به منظور موفق شدن در بازی (کسب حداکثر مطلوبیت) باید با در نظر گرفتن تصمیم حریف، موقعیتی را پیدا کند که پیامد مربوط به آن موقعیت برای بازیکن، حداکثر باشد، به این موقعیت، موقعیت بهینه اطلاق می‌شود. موقعیت بهینه، موقعیتی است که اگر بازی به تعداد زیاد تکرار شود، تضمین می‌کند که امید ریاضی پیروزی‌ها، حداکثر مقدار را بگیرد. البته ممکن است نتیجه بازی به صورت برد و باخت مطلق نباشد و هریک از بازیکن‌ها، در پیروزی سهمی داشته باشند (قهرمان عبدلی، ۱۳۹۳).

۲-۶-۱. استراتژی‌ها و نقطه تعادل نش[1]

جان نش (۱۹۵۱) معتقد است نقطه تعادل، نقطه‌ای است که به ازای وقوع آن، بازیکن‌ها با یکدیگر هم‌عقیده بوده و به عقیده یکدیگر احترام می‌گذارند. هماهنگی مستمر در عقیده معروف به CAB[2] بوده و بازیکن‌ها به صحت و درستی حدس رقیب معتقداند؛ بدان معنی که انتظار حدس اشتباه از طرف سایر رقبا را ندارند. استراتژی‌های نش مناسب‌ترین پاسخ رقبا به یکدیگر است و موجب دسترسی به راه‌حل منحصر به فرد می‌گردند؛ اما فرض اشتباه از طرف

[1] NASH
[2] Consistently Aligned Beliefs

رقیب، به ازای نقطه نش مصداق نداشته و این نقطه مشخص کننده منطقی‌ترین نقطه در قبال فرض خواهد بود (Ghoseiri et al, 2003).

نقطه تعادل از یک بازی N نفره ممکن است منحصر به فرد و یا متعدد بوده، یا وجود نداشته باشد. منتقدین نش ادعا دارند که نمی‌توان همیشه انتظار داشت که بازیکن‌ها منطقی و دارای عقاید هماهنگ و متقابل باشند. نقاط نش برای برخی بازی‌ها ممکن است متعدد بوده یا آنکه یک بازی اصلاً دارای نقطه نش نباشد. یک ترکیب احتمالی از استراتژی‌ها برای این موارد مشخص کننده راه‌حل مناسب از مسئله خواهد بود (Holt and Roth, 2004). در ادامه با ارائه مثالی، عناصر بازی بیشتر معرفی می‌شود.

مثال: معضل زندانیان

دو زندانی براثر دزدی در دو سلول مجزا مورد بازپرسی قرار گرفته‌اند. وکیل آن‌ها عواقب قانونی اعتراف یا انکار را به آن‌ها گوشزد می‌نماید؛ به طوری که سال‌های محکومیت در اثر انتخاب راهکارهای متفاوت به قرار جدول (۲-۱) است.

الف- بازیکن‌ها: دو زندانی

ب- قواعد بازی: بازیکن‌ها به صورت جداگانه بازجویی می‌شوند.

ج: پیامدها: در صورتی که تنها یکی از زندانیان اعتراف کند، آن فرد زندانی نشده و فرد دیگر پنج سال زندان خواهد بود. در صورتی که هر دو اعتراف کنند، هریک به مدت سه سال و در صورتی که هیچ یک از این دو نفر اعتراف نکنند، هریک به مدت یک سال زندانی می‌شوند. بازی کننده اول A و بازی کننده دوم B است.

جدول (۲-۱) پیامد بازی معمای زندانی (اصغرپور، ۱۳۹۳)

استراتژی	انکار (B_1)	اعتراف (B_2)
انکار (A_1)	۱ و ۱	۰ و ۵
اعتراف (A_2)	۵ و ۰	۳ و ۳

نقطه تعادل به ازای استراتژی‌های اعتراف توسط هر دو بازی کننده واقع می‌شود، اما اگر هر دو نفر منکر دزدی شوند، فقط یک سال زندانی بودن را تحمل خواهند نمود. مشکل این است که زندانی‌ها در ارتباط با یکدیگر نبوده و به

توافق برای راه‌حل انکار نخواهند رسید، با وجودی که داشتن ارتباط هم ممکن است مشکل را بر طرف نکند، زیرا تنها قول به همکاری مهم نبوده، بلکه الزام به اجرای آن قول مهم خواهد بود (اصغرپور، ۱۳۹۳).

۲-۶-۲. طبقه‌بندی بازی‌ها

۲-۶-۲-۱. طبقه‌بندی بازی‌ها بر اساس همکاری یا عدم همکاری بازیکنان

به طور کلی می‌توان بازی‌ها را به دو دسته بازی‌های اتحادی و غیر اتحادی تقسیم‌بندی کرد. بازی‌های اتحادی (همکارانه) بازی‌هایی هستند که در آن‌ها چند شرکت‌کننده، ضد دیگری متحد می‌شوند؛ در این‌گونه بازی‌ها، مجموعه استراتژی‌های هر گروه از بازیکن‌ها که با یکدیگر ائتلاف تشکیل داده‌اند، از مجموعه استراتژی‌های بازیکنان شرکت‌کننده در آن ائتلاف به دست می‌آید. بازی‌های غیر اتحادی بازی‌هایی هستند که رقابت میان بازیکنان از نوع کامل است و شرکت‌کنندگان به طور کامل روبروی هم قرار می‌گیرند. البته دربازی‌های اتحادی، هریک از ائتلاف‌های بازیکنان را می‌توان به طور جداگانه به عنوان یک بازی در نظر گرفت و از این طریق، بازی اتحادی را به یک بازی غیر اتحادی تبدیل کرد (نویدی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۶-۲-۲. تقسیم‌بندی بازی‌ها بر اساس ایستایی و پویایی بازی

نوعی دیگر از تقسیم‌بندی بازی‌ها بر مبنای ایستایی و پویایی بازی انجام می‌گیرد. در صورتی که ابتدا یکی از بازیکنان حرکت خود را انجام دهد و سپس بازیکن دیگر با آگاهی از حرکت بازیکن اول، عمل خود را انتخاب کند، بازی از نوع پویاست؛ اما اگر هردو بازیکن بدون اطلاع از عمل انتخابی رقیب در مورد حرکت خود تصمیم‌گیری کنند، بازی ایستا است. لازم به ذکر است که حتی اگر بازیکنان در زمان‌های متفاوت به حرکت اقدام کنند و از استراتژی رقیب بی اطلاع باشند، بازی از نوع ایستا خواهد بود (قهرمان عبدلی، ۱۳۹۳).

۲-۶-۲-۳. تقسیم‌بندی بازی‌ها بر اساس شکل نمایش بازی‌ها

بر اساس شکل نمایش بازی‌ها نیز می‌توان بازی‌ها را به سه دسته بازی‌های استراتژیک، بازی‌های بسط یافته، بازی‌های ائتلافی تقسیم کرد. بازی‌های استراتژیک که با عناوین بازی‌های به فرم نرمال یا بازی‌های حرکت هم زمان نیز نامیده می‌شوند به بازی‌هایی اطلاق می‌شود که طی آن، کلیه بازیکنان به صورت هم زمان عمل خود را انتخاب

کنند و هر بازیکن، تنها یک دفعه در طول بازی برای تصمیم‌گیری و انتخاب عمل فرصت داشته باشند. بازی‌های به فرم بسط یافته، بازی‌هایی هستند که طی آن‌ها، توالی از اقدام‌های ممکن را بازیکنان انتخاب می‌کنند و هر بازیکن ممکن است در بیش از یک نوبت برای تصمیم‌گیری فرصت داشته باشند. به این فرم نمایش بازی‌ها در اصطلاح بازی‌های درختی نیز گویند. تمام بازی‌های غیر اتحادی (ایستا و پویا) را می‌توان به هر دو شکل نرمال و بسط یافته نمایش داد، اما اغلب، بازی‌های ایستا را به فرم نرمال و بازی‌های پویا را به صورت بسط یافته نمایش می‌دهند. بازی‌های ائتلافی برای بازی‌های اتحادی استفاده می‌شوند (نویدی و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۶-۲-۴. تقسیم‌بندی بازی‌ها بر اساس اطلاعات

نوع دیگر دسته‌بندی بازی‌ها، بازی‌های با اطلاعات تمام و بازی‌های با اطلاعات ناتمام است. زمانی که بازیکنان قبل از انتخاب عمل خود، از تمام حرکات قبلی بازیکنان اطلاع داشته باشند، بازی‌های با اطلاعات تمام است، در غیر این صورت بازی با اطلاعات ناتمام نامیده می‌شود. علاوه بر این می‌توانیم بازی‌ها را به دو دسته بازی با اطلاعات کامل و ناکامل تقسیم‌بندی کنیم؛ اگر یکی از بازیکنان در ابتدای بازی، اطلاعاتی خصوصی داشته باشد که بازیکنان دیگر این اطلاعات را در اختیار نداشته باشند، با یک بازی با اطلاعات ناقص روبرو هستیم. درصورتی‌که تمام اطلاعات بازی به‌صورت آگاهی عمومی میان بازیکنان باشد، بازی با اطلاعات کامل نامیده می‌شود. انواع دیگر از طبقه‌بندی بازی‌ها مانند بازی‌های تکراری، چند سطحی، مشتق‌پذیر و بازی‌های ماتریسی است (Watson, 2013).

۲-۷. بازی‌های ماتریسی (بازی‌های دو نفره با مجموع صفر [1])

در نظریه بازی‌ها، یک بازی مجموع صفر، یک مدل ریاضی از وضعیتی است که سود (زیان) یک شرکت کننده، دقیقاً متعادل با زیان‌های (سودهای) شرکت کننده دیگر است. اگر مجموع سودهای شرکت کننده‌ها با هم جمع شود و مجموع زیان‌ها از آن کم شود، حاصل برابر صفر خواهد بود. بازی‌های دو نفره با مجموع صفر را می‌توان با ماتریس پیامد یکی از بازیکن‌ها به طور کامل نشان داد. این نوع بازی، بازی‌های ماتریسی نامیده شده است.

[1] Two Zero Sum Games

بازی‌های مجموع غیر صفر وضعیتی را توصیف می‌کند که مجموع سودها و زیان‌های طرف‌های درگیر، کمتر یا بیشتر از صفر باشد. یک بازی مجموع صفر، یک بازی رقابتی اکید هم نامیده می‌شود؛ در حالی که بازی‌های مجموع غیر صفر می‌توانند رقابتی یا غیر رقابتی باشند. بازی مجموع صفر بیشتر مواقع با نظریه مینیماکس [1] که رابطه تنگاتنگی با دوگانگی برنامه‌ریزی خطی یا تعادل نش دارد، بیان می‌شود (Bowles, 2009). یک بازی دو نفره با مجموع صفر خواهد بود، اگر:

$$\begin{cases} f_2(x_i, y_i) = -f_1(x_i, y_i) \\ F_B = F_A \end{cases} \quad (۱۴-۲)$$

ترکیب (x_i, y_i) نشان دهنده نقطه تعادل (نقطه زینی) از بازی دو نفره با مجموع صفر خواهد بود، اگر $f(x_i, y_i)$، در ماتریس F، نشان دهنده بیشترین ارزش از ستون آن عنصر و نشان‌دهنده کوچکترین ارزش از ردیف آن عنصر باشد (با معیار ماکسیمین [2] از نظر بازیکن A و مینیماکس از نظر بازیکن B). بازی دو نفره مجموع صفر ممکن است دارای نقطه زینی نباشد، از این رو از استراتژی‌های مخلوط برای بازیکن‌ها استفاده خواهد شد. در بازی دو نفره مجموع صفر متناهی راه حل‌های متفاوت تعادل نش، مینیماکس و ماکسیمین راه حل یکسان به دست می‌دهند (Von Neumann and Morgenstern, 2007).

۲-۸. رابطه حل بازی و مسائل برنامه‌ریزی خطی

ماتریس بازی مورد نظر $A = (a_{ij})_{m\times n}$ است که $a_{ij} \geq 0$ و همچنین $Q_0 = (q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0)$ و $P_0 = (p_1^0, p_2^0, \dots, p_n^0)$ پاسخ‌های بهینه باشد؛ در این صورت روابط زیر ارائه می‌شود.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} p_i a_{ij} \geq V\ , \ \sum_{i=1}^{m} p_i = 1 \rightarrow \sum_{i=1}^{m} \frac{p_i}{V} a_{ij} \geq 1 \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} q_j \leq V\ , \ \sum_{j=1}^{n} q_j = 1 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} \frac{q_j}{V} a_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (۱۵-۲)$$

حال فرض می‌شود $x_i = \frac{p_i}{V} \geq 0$ و $y_j = \frac{q_j}{V} \geq 0$ بنابراین:

[1] Min-Max
[2] Max-Min

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m} x_i a_{ij} \geq 1, x_i \geq 0 \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j \leq 1, y_i \geq 0 \end{cases} \quad (۱۶-۲)$$

از طرفی، هدف بازیکن A، حداکثر کردن سود خود (حداکثر کردن V) است، بنابراین:

$$\sum_{i=1}^{m} x_i = \sum_{i=1}^{m} \frac{p_i}{V} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^{m} p_i = \frac{1}{V} \quad (۱۷-۲)$$

لذا کافی است $\sum_{i=1}^{m} x_i$ حداقل شود؛ همچنین هدف بعدی حداقل کردن سود (حداقل کردن V) بازیکن B است، بنابراین:

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{q_j}{V} = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^{n} q_j = \frac{1}{V} \quad (۱۸-۲)$$

لذا کافی است $\sum_{i=1}^{m} y_j$ حداکثر شود. در نتیجه با توجه به نکات بالا، بازی ماتریسی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود؛ بنابراین دو مسئله LP که هریک دوگان دیگری است به صورت زیر به دست می‌آیند.

مسئله اولیه:

$$\begin{cases} Max\ W = \sum_{j=1}^{n} y_i \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} y_j \leq 1\ , \\ y_j \geq 0\ , \forall j \end{cases} \quad (۱۹-۲)$$

مسئله ثانویه:

$$\begin{cases} Min\ Z = \sum_{i=1}^{m} x_i \\ \sum_{j=1}^{m} x_i a_{ij} \geq\ 1\ , \\ x_j \geq 0\ , \forall j \end{cases} \quad (۲۰-۲)$$

پاسخ بازی ماتریسی با مقادیر مثبت $a_{ij} \geq 0$ با پاسخ دو مسئله LP بالا معادل خواهد بود (Watson, 2013).

۲-۹. جمع‌بندی

مدیریت ریسک یکی از مباحث حائز اهمیت در مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی است. مدیریت ریسک فرآیند جامعی است که به منظور تعیین، شناسایی، کنترل و حداقل کردن تأثیرات و عواقب رویدادهای احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، به عنوان رویکردی کمّی، به منظور امکان استفاده از آن‌ها در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در روند تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها، روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گرفته که این انتخاب به دلیل سهولت تحلیل و دقت بالا است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هریک دارای ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاصی هستند که درنتیجه نمی‌توان از تمام این روش‌ها در مسئله رتبه‌بندی و مدیریت ریسک‌ها استفاده نمود به همین دلیل استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری همراه با نظریه بازی‌ها یکی از راهکارهای جدید برای مدیریت ریسک است. در این فصل تمامی روش‌های مذکور و پارامترهای آن‌ها به طور کامل تشریح شد. در فصل بعد پیشینه تحقیق در زمینه مدیریت ریسک تونل‌سازی، مرور و جمع‌بندی شده است.

فصل سوم: پیشینه تحقیق

۳-۱. مقدمه

پروژه‌های تونل‌سازی از جمله مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین طرح‌های عمرانی در کشورها است که اجرای این پروژه‌ها با فنّاوری و پیچیدگی‌های خاص همراه است. اهمیت پایه‌ریزی و اجرای دقیق یک سیستم مؤثر برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک در اجرای پروژه‌های بزرگ، به علت وجود ویژگی‌هایی همچون تنوع، تعدد و وابستگی فعالیت‌ها، سرمایه‌بری بالا، دوره‌ی زمانی طولانی چرخه‌ی حیات پروژه، فنّاوری پیچیده‌ی اجرا، ملاحظات سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی، عدم قطعیت‌های بالا و وابستگی به ماشین‌آلات و تجهیزات مناسب چنان است که می‌توان آن را یکی از ارکان اساسی موفقیت پروژه نامید. از آنجا که طرح‌های عمرانی عموماً در کلیه‌ی مراحل مطالعات، طراحی، ساخت و بهره‌برداری با شرایط ریسک و خطرپذیری همچون شرایط زیرزمینی، مواجهه با بلاهای طبیعی، هزینه‌ی بالای ساخت و ... مواجه‌اند.

عدم توجه به عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های پروژه علیرغم اینکه باعث عدم مطلوبیت در دستیابی به اهداف پروژه می‌شود، دقت تخمین زمان و هزینه‌ی پروژه را نیز پایین می‌آورد. با توجه به اهمیت موضوع و لزوم بررسی مطالعات پیشین، در این فصل مرور تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی ریسک با روش‌های مختلف در پروژه‌های مهندسی و تونل‌سازی جمع‌بندی می‌شود.

۳-۲. سابقه تحقیق

مدیریت ریسک بخش مهم و مستقل در طراحی و ساخت هر سازه‌ی زیرزمینی بزرگ بوده و مزایای آن نیز در سیستم مدیریت پروژه مشخص شده است. ارزیابی ریسک یکی از ارکان مدیریت ریسک بوده و با توجه به ماهیت نامطمئن پروژه‌های تونل‌سازی و لزوم صرف بهینه منابع، با اهمیت است. هدف از ارزیابی ریسک، اندازه‌گیری ریسک‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف است (Ghosh and Jintanapakanont, 2004). تحقیقات متفاوتی در زمینه ارزیابی ریسک در پروژه‌های مهندسی از جمله تونل‌سازی با روش‌های مختلف ارائه شده که در ادامه به تعدادی از این تحقیق‌ها اشاره شده است.

ریلی[1] و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقی به بررسی کاهش ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی پرداختند. میزان تأثیر ریسک بر زمان و هزینه پروژه تونل‌سازی و توزیع احتمالاتی آن‌ها را بررسی کرده، نقش کارفرما، پیمانکار و مشاور را در میزان تأثیر ریسک بررسی و راه‌هایی جهت کاهش و مدیریت آن‌ها ارائه کرده‌اند (Reilly et al, 1999).

چو[2] و همکاران (۲۰۰۱) به مطالعه ریسک‌های موجود در تونل‌سازی سپری پرداختند. در این تحقیق ضمن معرفی شاخص ریسک جریان آب به داخل تونل و ارزیابی ریسک آن از ماتریسی که شاخص ریسک را در بازه‌های مختلف کیفی رتبه‌بندی می‌کند، استفاده کرده‌اند (Chou et al, 2001).

گراسو[3] و همکاران (۲۰۰۲) طرحی برای توسعه مدیریت ریسک برای پروژه‌های تونل‌سازی ارائه کرده‌اند. در این تحقیق ضمن بررسی پلان مدیریت ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی و ارائه‌ی مدلی کمی با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمالاتی زمان و هزینه برای فعالیت‌ها، جهت ارزیابی ریسک نیز روش متداول ماتریس ریسک را بررسی کرده‌اند (Grasso et al, 2002).

یو[4] و کیم[5] (۲۰۰۳) ارزیابی ریسک و خسارات وارد بر سازه‌های ساختمانی ناشی از تونل‌زنی را بررسی کرده‌اند. در این تحقیق شبکه‌ای را برای ارزیابی صدمات وارده به تأسیسات و تجهیزات مجاور عملیات تونل‌سازی ایجاد کرده و نام آن را TURISK نهاده‌اند. در این شبکه بر اساس پیش‌بینی میزان جابجایی زمین ناشی از حفر تونل، میزان صدمات و ریسک‌ها را پیش‌بینی و ارزیابی کرده‌اند (Yoo and Kim, 2003).

ریلی و براون[6] (۲۰۰۴) به بررسی مدیریت و کنترل هزینه و ریسک برای تونل‌سازی و پروژه‌های زیربنایی پرداختند. در این تحقیق ریسک‌های بالقوه با اثرات مثبت و منفی در پروژه‌های تونلی را شناسایی و از توزیع احتمالاتی به منظور تخمین دقیق زمان، هزینه پروژه و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و ارزیابی و تحلیل ریسک‌ها، استفاده نموده‌اند (Reilly and Brown, 2004).

[1] Reilly
[2] Chou
[3] Grasso
[4] Yoo
[5] Kim
[6] Brown

اسمیت و هارمان[1] (۲۰۰۴) سیستم ارزیابی ریسک برای تأمین مالی و بیمه پروژه‌های تونل را ارائه کردند. در این تحقیق یک سیستم ارزیابی کیفی ریسک را با استفاده از بانک اطلاعاتی شامل داده‌ها و اطلاعات بیش از ۵۰ پروژه‌ی بزرگ تونل‌سازی در کشورهای آسیایی، با در نظر گرفتن جوانب مختلف و ریسک‌های مربوط به این پروژه‌ها ارائه داده‌اند (Smith and Harman, 2004).

یو[2] و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی و تجزیه و تحلیل ریسک برای سیستم نگهداری تونل پرداختند. در این تحقیق رویکردی را برای تعیین سیستم نگهداری و نرخ پیشروی مناسب و بهینه بر مبنای تحلیل ریسک ارائه کرده‌اند و با توجه به عدم قطعیت‌های فراوان در خصوص پارامترها و ویژگی‌های زمین اطراف با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو یک توزیع احتمالاتی برای ضریب ایمنی تونل به دست آورده‌اند (You et al, 2005).

ایساکسون[3] و استیل[4] (۲۰۰۵) به ارائه مدلی برای برآورد زمان و هزینه پروژه‌های تونل بر اساس ارزیابی ریسک پرداختند. در این تحقیق ضمن بررسی عوامل و فاکتورهای مختلف ریسک ماشین‌های تونل‌زنی، اثرات آن‌ها را روی زمان و هزینه حفر تونل بررسی کرده و در ادامه یک مدل احتمالاتی جهت تخمین هزینه و زمان پروژه‌های تونل‌سازی ارائه کرده‌اند (Isaksson and Stille, 2005).

لامونت[5] و بوس[6] (۲۰۰۶) مدیریت ریسک شغلی برای کارگران شاغل در تونل‌سازی را بررسی کرده‌اند. در این تحقیق ضمن معرفی خطر بی‌هوش شدن کارگران در اثر کم شدن فشار اتمسفر به عنوان یکی از بزرگ‌ترین عوامل ریسک در عملیات ساخت تونل‌ها، به بررسی شاخص DCI مربوط به بیماری ناشی از این ریسک‌ها پرداخته‌اند (Lamont and Booth, 2006).

سونز[7] و همکاران (۲۰۰۶) چارچوبی برای تجزیه و تحلیل ریسک برای سیستم‌های ایمنی در تونل‌های مترو ارائه کردند. در این تحقیق چارچوبی جهت ارزیابی کمّی ریسک در متروهای زیرزمینی که بر اساس اطلاعاتی از قبیل

---

[1] Harman
[2] You
[3] Isaksson
[4] Stille
[5] Lamont
[6] Booth
[7] Soons

مشخصات و پارامترهای استاندارد سیستم مترو و تعداد حوادث مرگبار و تناوب وقوع آن‌ها در طول سال در مترو برای سیستم‌های ایمنی ارائه شده است (Soons et al, 2006).

پارک[1] و همکاران (۲۰۰۶) ابزاری برای ارزیابی ریسک و آسیب وارده به ساختمان‌ها در اثر فعالیت تونل‌سازی ارائه کردند. در این تحقیق برنامه نرم‌افزاری به منظور محاسبه یک مدول جهت تخمین جابجایی زمین و مدول دیگری برای ارزیابی میزان ریسک مربوط به صدمه و تخریب ساختمان‌های اطراف توسعه داده‌اند که بر اساس آن، با تخمین جابجایی زمین، میزان صدمه به ساختمان‌ها با استفاده از معیارهایی نظیر نسبت خمش و کرنش تخمین زده می‌شود (Park et al, 2006).

جعفری و همکاران (۱۳۸۵) ارزیابی ریسک TBM[2] به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن را انجام داده‌اند. در این تحقیق ضمن ارائه‌ی تقسیم‌بندی‌های مختلفی از ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی، مناسب‌ترین تقسیم-بندی، انتخاب و نحوه‌ی تأثیرگذاری آن‌ها در فازهای مختلف یک پروژه تونل‌سازی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای شناسایی ریسک‌ها از روش‌های طوفان ذهنی و مصاحبه استفاده کرده و برای ارزیابی آن‌ها استفاده از ماتریس ریسک را توصیه کرده‌اند (جعفری و همکاران، ۱۳۸۵).

سانچز[3] و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی و ارزیابی ریسک‌های زمین‌شناسی موجود در پروژه تونل‌سازی پرداختند. در این تحقیق ضمن شناسایی برخی از ریسک‌های زمین‌شناسی از قبیل زمین لغزش، ریزش سقف، نشت آب، قنات‌ها و عوارض زمین، دو شاخص (شاخص طبیعی یا ذاتی ریسک و ضریب اطمینان) را ارائه کرده و بر اساس آن‌ها محیط مورد مطالعه را زون‌بندی کرده‌اند (Sanchez et al, 2007).

مدا[4] (۲۰۰۷) در تحقیقی فرآیند تخصیص کمّی ریسک در پروژه‌های زیربنایی حمل و نقل را که به صورت مشارکت بین بخش‌های دولتی و خصوصی اجرا می‌شود، به عنوان فرآیند چانه‌زنی بین دو بخش مدل‌سازی کرده

[1] Park
[2] Tunnel boring machine
[3] Sanchez
[4] Medda

است. این مدل رفتار بازیکن‌ها را در زمان تخصیص ریسک هنگامی که با اهداف متضاد مواجه می‌شوند را در قالب یک بازی ارزیابی کرده است (Medda, 2007).

شهریار و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی ریسک ژئوتکنیک برای انتخاب TBM در شرایط نامناسب زمین پرداخته‌اند. در این تحقیق رویکردی را جهت انتخاب TBM بر مبنای کمینه کردن ریسک‌های ژئوتکنیکی با استفاده از روش درخت تصمیم ارائه کرده‌اند و از تعریف مرسوم ریسک یعنی حاصل‌ضرب احتمال در اثر یک رخداد به منظور ارزیابی ریسک بهره برده‌اند (Shahriar et al, 2008).

حیاتی (۱۳۸۸) به بررسی مدیریت ریسک در پروژه‌های ساخت تونل پرداخته است. ساختار جامعی از ریسک‌های اصلی پروژه‌های تونل‌سازی در قالب ۱۷ دسته اصلی و ۱۹۶ زیر سطح تهیه شده و سپس این ریسک‌ها در عملیات تونل‌سازی سد سیمره در جنوب غرب ایران رتبه‌بندی شده است. بدین منظور از روش تصمیم‌گیری گروهی و میانگین وزنی جهت جمع‌آوری و تجمیع نظر خبرگان و از روش‌های تخصیص خطی الکتر، تاپسیس، تاکسونومی به عنوان مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین رتبه ریسک‌ها، استفاده شده است. در نهایت عوامل اقتصادی و شرایط حقوقی به ترتیب بیشترین و کمترین رتبه ریسک را به خود اختصاص داده‌اند (حیاتی، ۱۳۸۸).

جعفری و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی ریسک‌های ناشی از دستگاه TBMدر حین حفاری یک تونل بلند گازدار به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست را بررسی کرده‌اند. به همین منظور، هریک از سیستم‌های برق، مکانیک، هیدرولیک TBM به زیر سیستم‌هایی تقسیم و در طی جلساتی با مشارکت متخصصین مربوطه حالات بالقوه شکست هر زیر سیستم تعیین شده است. سپس اثرات، شدت اثرات، علل بالقوه و احتمال وقوع هر شکست مشخص و با استفاده از آن‌ها عدد اولویت ریسک به دست آمده است. با مقایسه اعداد ریسک به دست آمده، کلیه مخاطرات رتبه‌بندی گردیده‌اند. نتایج به دست آمده نشان داده که از ۴۸ حالت شکست مورد مطالعه در TBM، ۷ مورد دارای اعداد اولویت ریسک بالا بوده و در گروه شکست‌های غیر قابل پذیرش دسته‌بندی شده‌اند. همچنین ۹ حالت شکست دارای شدت پیامد بالایی بوده‌اند. نتایج نشان داده که توقف کاترهد در اثر شرایط نامناسب سنگ، با بالاترین عدد اولویت ریسک و بالاترین شدت پیامد، تنها شکست بحرانی به شمار می‌رود (جعفری و همکاران، ۱۳۸۸).

عماد (۱۳۸۸) به بررسی و ارزیابی ریسک در پروژه‌های حفاری مکانیزه تونل مترو از منظر مسائل ژئوتکنیک پرداخته است. ابتدا وضعیت دستگاه حفاری TBM و جزئیات مطالعات ژئوتکنیک از دیدگاه شناسایی و ارزیابی ریسک‌های پروژه صورت گرفته، سپس ابهامات و ریسک‌های پیش‌روی پروژه مشخص شده و اقدامات لازم برای کاهش آن با دیدگاه تخصصی در هر حوزه به خصوص مطالعات ژئوتکنیک و حفاری مکانیزه ارائه گردیده است. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی‌ها، ۵۴ درصد از پتانسیل‌های ایجاد خرابی در سطح ریسک بالا صرفاً مربوط به عوامل و شرایط ژئوتکنیکی مسیر تونل است که با انجام اقدامات کاهنده ریسک به ۷ درصد تقلیل یافته است (عماد، ۱۳۸۸).

هونگ[1] و همکاران (۲۰۰۹) به ارزیابی ریسک‌های ناشی از حفاری TBM بر اساس روش تجزیه و تحلیل درخت خطا پرداخته‌اند. در این تحقیق روش تجزیه و تحلیل درخت خطا را جهت کمّی کردن و تعیین ریسک، شناسایی و در نهایت ارزیابی ریسک به منظور طرح مقدماتی حفر یک تونل زیر سطح آب زیرزمینی با استفاده از TBM در تونل‌سازی سپری را مورد بررسی قرار داده‌اند (Hong et al, 2009).

سیاوشی (۱۳۸۹) در تحقیقی ریسک‌های موجود در پروژه خط سوم متروی تهران را شناسایی و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای موجود به رتبه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده پرداخته است. در این پروژه از نرم‌افزارهای Pertmaster و Risk@استفاده شده است. نتایج نشان داده که ریسک‌هایی همچون ریزش، عدم ایمنی کارگران و تجهیزات، خرابی تجهیزات و عدم تأمین مالی از جمله مهم‌ترین ریسک‌های موجود در پروژه‌های تونل‌سازی هستند که در روش‌های مذکور از امتیاز بالاتری برخوردارند (سیاوشی، ۱۳۸۹).

حمیدی و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی ریسک انتخاب ماشین TBM برای شرایط زمین‌شناسی نامساعد پرداخته‌اند. در این تحقیق، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به عنوان یک ابزار کارآمد برای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است که می‌تواند معیارهای مختلف مربوط به انتخاب ماشین مناسب برای شرایط پیش بینی شده زمین را در نظر بگیرد. انتخاب بین سه ماشین حفاری مختلف برای مطالعه موردی تونل زاگرس انجام گرفته است (Hamidi et al, 2010).

[1] Hong

صیادی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی ریسک‌های مرتبط با عملیات تونل‌سازی سد سیمره را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارزیابی و رتبه‌بندی کرده‌اند. برای رتبه‌بندی ریسک‌ها از روش‌های تخصیص خطی، شباهت به گزینه ایده‌آل و میانگین وزنی ساده استفاده کرده‌اند (صیادی و همکاران، ۱۳۹۰).

علی‌احمدی و همکاران (۲۰۱۱) به طراحی مدل جدید با استفاده از تئوری بازی برای مدیریت ریسک در پروژه‌های تونل پرداخته‌اند. در این پروژه مدل جدیدی در این زمینه ارائه شد که بر اساس چارچوب تعاملی از نظریه بازی که در تصمیم‌گیری، هر بازیکن ریسک‌های ممکن را مطرح می‌کند؛ که یک تعادل بین اعمال و راهکار مناسب برای هر بازیکن است. در این تحقیق ریسک‌ها در زمینه تصادفات در تونل رسالت با استفاده از نظریه بازی‌ها مشخص و راه‌های مقابله با آن‌ها ارائه گردیده است. نتایج نشان داده که استراتژی‌های همکاری بهترین نتیجه را برای سه بازیکن خواهد داشت (Aliahmadi et al, 2011).

نظارت و همکاران (۱۳۹۱) به بحث مدیریت ریسک تونل‌سازی مکانیزه با نگاهی بر عوامل زمین‌شناسی پرداخته‌اند. در این تحقیق با توجه به اهمیت موضوع مخاطرات زمین‌شناسی و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه، ابتدا به بررسی مشکلات ناشی از ریسک‌های مذکور پرداخته و سپس راهکارهای پیشگیری و مقابله با هر ریسک را ارائه داده‌اند (نظارت و همکاران، ۱۳۹۱).

ملکوتی و غریبی (۱۳۹۱) در تحقیقی تجزیه و تحلیل ریسک عملیات حفاری مکانیزه با استفاده از روش ردیابی انرژی و ارزیابی مانع را بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایج مطالعه، عملیات دستگاه TBM دربردارنده‌ی منابع خطر متنوع و متعددی است. می‌توان از روش ردیابی انرژی و ارزیابی مانع به عنوان یک روش مؤثر در تجزیه و تحلیل ریسک عملیات دستگاه TBM استفاده کرد (ملکوتی و غریبی، ۱۳۹۱).

نصیرزاده و همکاران (۱۳۹۳) در پروژه‌ای تخصیص کمّی ریسک در پروژه‌های ساخت با رویکرد نظریه بازی‌های همکارانه را بررسی کرده‌اند. مدل پیشنهادی، ابزار قدرتمندی ارائه می‌کند که معیارهای مطلوبیت نظیر کارآیی و انصاف را برآورده نموده و درصد تخصیص ریسک منصفانه را مشخص می‌نماید. درصد تخصیص ریسک بین کارفرما و پیمانکار، برای ریسک تورم در این پروژه تعیین گردیده است (نصیرزاده و همکاران، ۱۳۹۳).

سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی برای تحلیل ریسک‌های پروژه خط ۷ متروی تهران از روش نزدیکی به گزینه ایده‌آل استفاده کرده‌اند. نتایج حاصل نشان داده است که ریسک عوامل مالی و انسانی در رتبه اول قرار دارند. همچنین ریسک برخورد با شبکه قنات‌ها از مهم‌ترین مشکلات در پروژه شناخته شده است. ریسک آلودگی هوا، به عنوان آخرین ریسک به لحاظ اهمیت در پروژه شناخته شده که هیچ‌گونه مشکلی را برای پروژه به وجود نیاورده است (سلطانی محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

رمضان‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی به اولویت‌بندی ریسک‌ها در تونل‌سازی مکانیزه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی در محیط‌های سنگی پرداخته‌اند. آن‌ها به منظور این اولویت‌بندی ابتدا ریسک‌های زمین‌شناسی شناسایی و عوامل مؤثر بر آن‌ها را تعیین کرده‌اند. این محاسبات در ۱۹ پهنه به صورت مجزا انجام گرفته و در نهایت ۳ ریسک به عنوان ریسک اصلی در هر پهنه مشخص شده‌اند. نشت گازهای سمی و نشت و هجوم آب به داخل تونل به ترتیب مهم‌ترین مخاطره‌های موجود در این تحقیق هستند (رمضان‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵).

یزدانی و همکاران (۲۰۱۵) به رتبه‌بندی ریسک پروژه‌های ساخت تونل با استفاده از روش‌های فازی پرداخته‌اند. رتبه‌بندی خطرات ناشی از تونل‌سازی یکی از مهم‌ترین وظایف در روند مدیریت ریسک است. از آنجا که روند رتبه‌بندی ریسک یک مشکل پیچیده و نامشخص است و منطق فازی قادر به حل عدم قطعیت موجود در تصمیم‌گیری است، در این تحقیق از روش الکتر فازی استفاده شده است. این تحقیق برای پروژه خط ۷ مترو تهران پیاده‌سازی شده است (Yazdani et al, 2015).

گاکیس[1] و همکاران (۲۰۱۵) مدیریت ریسک‌های ژئوتکنیک را بررسی کرده‌اند. در این تحقیق شرایط ژئوتکنیک، چالش اصلی، حاکم بر روند طراحی و ساخت و ساز تونل بوده است. ازجمله شرایط ژئوتکنیکی حاکم بر پروژه وجود چهار گسل در منطقه و وجود آب‌های زیرزمینی است. هدف این پروژه ارزیابی و مدیریت ریسک‌های ژئوتکنیکی موجود در پروژه تونلی واقع در بریتانیا بوده است (Gakis et al, 2015).

[1] Gakis

شوگوانگ[1] و همکاران (۲۰۱۵) از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای مدیریت و ارزیابی ریسک تونل استفاده کرده‌اند. این روش مدیریت ریسک برای تونل متروی چانگشا که توسط دو EPB حفاری شده، استفاده شده است. در این پروژه اصلی‌ترین ریسک‌ها در تونل چانگشا مشخص شده و سپس پیامدهای هرکدام از عوامل ریسک به پنج دسته تقسیم شدند. سپس با استفاده از روش مذکور، ریسک‌ها بر اساس میزان اهمیت آن دسته‌بندی شدند که در این میان گیرکردن کله حفار و انحراف از مسیر حفاری دارای بیشترین ریسک و ناپایداری دیواره تونل و ایجاد ترک و شکست در سگمنت دارای کمترین میزان ریسک بودند (Shu-guang et al, 2015).

غفاری و امین‌زاده (۲۰۱۵) در تحقیقی به بررسی ریسک‌های موجود در تونل‌سازی با استفاده از روش ساختار شکست ریسک پرداخته‌اند. همچنین این ریسک‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی شده است و در انتها رتبه‌بندی مربوط به ریسک‌ها ارائه شده و در ادامه تحقیق از روش RBS استفاده شده است. از آنجا که این روش یک ابزار مؤثر برای شناسایی و طبقه‌بندی هدفمند ریسک‌ها است، در نهایت اقدامات ضروری برای نظارت و کنترل روند سیستماتیک مدیریت ریسک مطالعات انجام گرفته است (Gafari and Aminzadeh, 2015).

لی[2] و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی از یک مدل بازی چانه‌زنی برای تخصیص ریسک بین دو بازیکن درگیر در پروژه‌های مختلف یعنی بخش‌های دولتی و خصوصی استفاده نموده‌اند. تخصیص ریسک به عنوان یک بازی منعکس‌کننده روند چانه‌زنی در میان بازیکنان بازی، تجزیه و تحلیل می‌شود. یک ابزار تخصیص ریسک جدید بر اساس نظریه بازی چانه‌زنی برای تجزیه و تحلیل رفتار بازی در زمینه ساخت و ساز ارائه داده‌اند (Li et al, 2016).

کیان[3] و لین[4] (۲۰۱۶) مدیریت ریسک در فضاهای زیرزمینی و پیشرفت، چالش‌ها و استراتژی‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق پیشرفت‌های اصلی در زمینه مدیریت ریسک در پروژه‌های زیرزمینی به خصوص تونل‌ها در کشور چین طی یک دهه گذشته مورد بررسی قرار گرفته و همچنین چالش‌ها و استراتژی‌های مورد نظر برای پاسخ به ریسک بررسی شده است (Qian and Lin, 2016).

[1] Shu-guang
[2] Li
[3] Qian
[4] Lin

ژیا[1] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی تأثیر عدم قطعیت در ارزیابی و مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری را در مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی مورد بررسی قرار داده‌اند. این پروژه برای مطالعه موردی تونل راه در غرب چین با ساختار زمین‌شناسی پیچیده در منطقه کوهستانی انجام شده است (Xia et al. 2017).

حق‌شناس و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل جدید برای ارزیابی ریسک‌های زمین‌شناسی را بر اساس خواص ژئومکانیکی با استفاده از الگوریتم رقابت برای مطالعه موردی تونل امام‌زاده هاشم تهیه کرده‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم استفاده شده می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند ریاضی و یک روش مدل‌سازی مناسب برای ارزیابی ریسک زمین‌شناسی پروژه‌های تونل‌زنی مورد استفاده قرار گرفته است (حق‌شناس و همکاران، ۲۰۱۷).

ملاحظه می‌شود که تاکنون تحقیق‌های مختلفی به بررسی مدیریت ریسک در انواع پروژه‌ها با روش‌های متفاوت پرداخته‌اند؛ اما آنچه که به وضوح دیده می‌شود آن است که نظریه بازی به عنوان یک روش جدید و مؤثر در مدیریت ریسک پروژه‌های تونل‌سازی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۳. جمع‌بندی

در این فصل مرور تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی ریسک با روش‌های مختلف در پروژه‌های تونل‌سازی و مهندسی جمع‌بندی شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، روش‌های مختلف مانند روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به‌عنوان رویکردی کمی، در تعدادی از تحقیقات ذکر شده به منظور امکان استفاده از آن‌ها در مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما با توجه به اینکه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هریک دارای ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاصی هستند، با توجه به اهمیت موضوع رتبه‌بندی، مدیریت و تحلیل ریسک‌ها، لذا بایستی از روش‌های جدید جهت مدیریت ریسک استفاده شود. نظریه بازی به عنوان یک روش جدید در مدیریت ریسک تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک را مدل‌سازی کند آنچه که به وضوح دیده می‌شود آن است که نظریه بازی به عنوان یک روش جدید و مؤثر در مدیریت ریسک پروژه‌های تونل‌سازی، کمتر مورد استفاده قرار گرفته است.

[1] Xia

فصل چهارم: شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های تونل‌سازی

۴-۱. مقدمه

ابتدا به منظور روشن شدن هدف‌ها و خروجی‌های تحقیق، به جمع‌آوری اطلاعات در خصوص وضعیت پروژه‌ها و روش‌های انجام کار اقدام شده است. به این منظور برای شناسایی ریسک‌ها در پروژه‌های تونل‌سازی به مطالعه پروژه‌های مشابه گذشته پرداخته شده؛ به گونه‌ای که ابتدا بررسی پروژه‌های مترو صورت گرفته در ایران از جمله مترو شیراز، اهواز، تهران، اصفهان و سایر خطوط اجرا شده متروی مشهد و همچنین بررسی پروژه‌های مترو خارج از کشور از جمله مترو میلان ایتالیا و مترو احمدآباد هند انجام شده است. البته نقطه مشترک تمام این پروژه‌ها روش فنی اجرای پروژه بود؛ به طوری که در تمام آن‌ها از دستگاه حفار مکانیزه استفاده شده است. در حالت کلی برای شناسایی ریسک‌ها از روش‌های زیر متناسب با آن بخش استفاده می‌شود.

- شناسایی خطرات و ریسک‌ها به روش طوفان ذهنی
- شناسایی خطرات به روش مصاحبه
- شناسایی خطرات به کمک تحلیل اسناد و مدارک
- شناسایی خطرات توسط مشاهده و بازرسی
- شناسایی خطرات با استفاده از روش دلفی
- شناسایی خطرات با استفاده از چک لیست‌ها

در این فصل برای بهبود فرآیند شناسایی و دسته‌بندی ریسک‌ها بر اساس منبع تولید، به دو دسته منابع داخلی ریسک در پروژه و منابع خارجی ریسک در پروژه تقسیم‌بندی می‌شود تا تمام جنبه‌های مختلف ریسک‌ها مدنظر قرار گیرند.

۴-۲. شناسایی ریسک‌ها در پروژه‌های تونل‌سازی

هدف از شناسایی ریسک حصول اطمینان نسبی از لحاظ شدن تمامی ریسک‌های عمده در مطالعات است. با آگاهی از وجود ریسک‌ها، لازم است که علل و نحوه وقوع آن‌ها نیز مدنظر قرار گیرد (Mckensey, 2009). رایج‌ترین روش‌های شناسایی ریسک‌ها عبارت‌اند از:

۴-۲-۱. مرور اسناد[1]

بازنگری و بررسی پروژه‌های مشابه قبلی، به منظور شناسایی خطرات که اصولاً اولین گامی است که توسط گروه مدیریت ریسک انجام می‌شود.

۴-۲-۲. طوفان ذهنی[2]

رایج‌ترین فن شناسایی خطر است. هدف از اجرای آن، به دست آوردن فهرست جامعی از خطرات است. بر اساس این روش، گروه مدیریت ریسک و عده‌ای از متخصصان گرد هم جمع شده و ریسک‌های ممکنه در زمان اجرای پروژه را بررسی و شناسایی می‌کنند. در جلسات طوفان ذهنی گروه‌های مختلف، تجربیات و دیدگاه‌های خود را در زمینه‌های مختلف به اشتراک می‌گذارند (عطائی، ۱۳۹۵).

۴-۲-۳. روش دلفی[3]

روش دلفی، روشی برای اجماع متخصصان روی یک موضوع مانند ریسک پروژه است. بر اساس این روش، به منظور شناسایی اثر بخش‌تر خطرات، پرسشنامه‌هایی توسط متخصصان پاسخ داده شده و تحلیل می‌شوند.

۴-۲-۴. مصاحبه[4]

خطرات را می‌توان از طریق مصاحبه با مدیران باتجربه و متخصصان موضوع شناسایی کرد.

۴-۲-۵. چک لیست[5]

برای شناسایی سریع خطرات می‌توان بر اساس اطلاعات گذشته و دانشی که از پروژه‌های مشابه قبلی و سایر منابع اطلاعاتی گردآوری شده، چک لیستی تهیه کرد. موارد در نظر گرفته شده در چک لیست، باید تمامی خطرات ممکنه در پروژه را در برگیرد.

---

[1] Documentation Review
[2] Brain storming
[3] Delphi Technique
[4] Interviewing
[5] Checklist

۴-۲-۶. تحلیل سناریو

تحلیل سناریو روش بسیار مفیدی در شناسایی ریسک‌های اصلی است. این روش به ویژه برای شناسایی حوادث فاجعه‌آمیز به کار می‌رود. در این فرآیند، سناریوهای احتمالی مختلفی در آینده تعیین شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (عطائی، ۱۳۹۵). مجموعه ریسک‌ها برای پروژه‌های تونل‌سازی، در دو دسته کلی ریسک‌های منابع داخلی و ریسک‌های منابع خارجی و در قالب ۱۰ سطح و ۶۰ زیر سطح دسته‌بندی شده‌اند. در ادامه منابع داخلی و خارجی ریسک پروژه‌های تونل‌سازی توضیح داده شده است.

۴-۳. منابع خارجی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی

۴-۳-۱. ریسک‌های سیاسی[1]

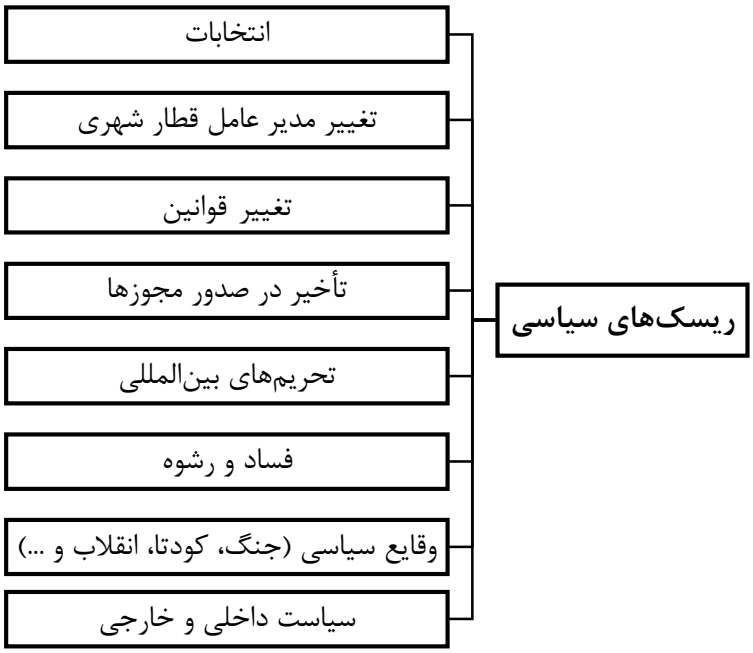
امروزه جامعه جهانی مانند گذشته با سطح قابل توجهی از ریسک‌های سیاسی رو به رو است اما نکته مهم و بدیهی این موضوع است که ماهیت این ریسک‌ها تغییر شکل داده و اکنون ریسک سیاسی یک پدیده بسیار پیچیده و چند بعدی است که جامعه جهانی را به ویژه در مورد ارزیابی دقیق و مدیریت آن به شدت به چالش کشیده است (Jakobsen, 2010).

ریسک سیاسی، گونه‌ای از ریسک است که سرمایه‌گذاران، شرکت‌های بزرگ و حکومت‌ها با آن مواجه می‌شوند. ریسک سیاسی عبارت است از کاهش ارزش سرمایه که به دلیل تغییرات در سیاست‌ها و نظام‌های سیاست‌گذاری یک کشور رخ می‌دهد. این ریسک به انتظارات سرمایه‌گذار نسبت به آینده سیاسی کشور بستگی دارد؛ بنابراین تغییراتی که در قیمت رخ می‌دهد از کنترل شرکت منتشر کننده سهام، خارج است. یک جنگ ناگهانی یا پایان یافتن آن، انتخاب رئیس‌جمهور جدید یا درگذشت ناگهانی او، خروج ناگهانی مقدار هنگفتی طلا از بازار و امثال این‌ها، از جمله رخدادهایی هستند که پیامدهای روانی بسیار زیادی بر اوضاع سیاسی کشور دارند.

بیشتر پروژه‌های زیربنایی نمی‌توانند در یک محیط کاملاً اقتصادی شکل بگیرند، به گونه‌ای که اثرات سیاسی بر روی آن‌ها اثر نداشته باشد. به همین خاطر کمتر ریسکی را می‌توان یافت که یا مستقیماً یا به طور غیر مستقیم تحت تأثیر تصمیم‌گیری‌های سیاسی قرار نداشته باشد. این امر در کشورهای در حال توسعه که دارای ریسک‌های سیاسی

[1] Political Risk

بزرگ‌تری می‌باشند و بقای پروژه‌ها از فرآیند تصمیم‌گیری‌های سیاسی مستقل نیست، مشهودتر و هزینه‌هایی را نیز در بردارد (گوگردچیان و همکاران، ۱۳۹۴). شکل (۴-۱) ریسک‌های سیاسی را برای پروژه‌های تونل‌سازی بیان می‌کند.

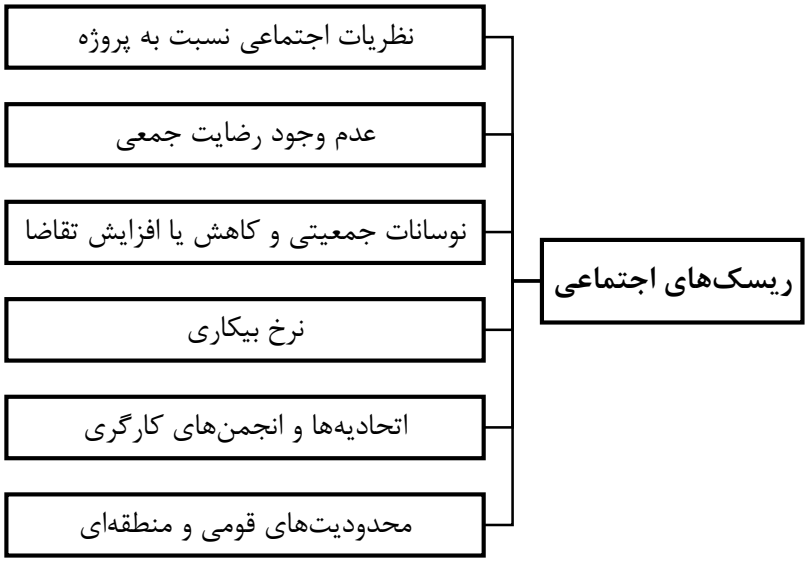


شکل (۴-۱) ریسک‌های ناشی از عوامل سیاسی (Jakobsen, 2010)

۴-۳-۲. ریسک‌های اجتماعی[1]

مدیریت ریسک اجتماعی، فرآیند شناسایی، ارزیابی و انجام اقدامات کنترلی و اصلاح ریسک‌های اتفاقی بالقوه است که مشخصاً پیشامدهای ممکن آن خسارت یا عدم تغییر در وضع موجود است. مدیریت ریسک اجتماعی چارچوب مفهومی جدیدی برای سامان دادن به ریسک‌هایی است که محیط پیرامون ما را احاطه کرده‌اند. با این هدف که احتمال تحقق ریسک‌های با نتیجه منفی به حداقل برسد. این ریسک‌ها عمدتاً ناشی از نوسانات مرتبط با مؤلفه‌های اجتماعی محیط پیرامونی پروژه است (معینی، ۱۳۸۱). شکل (۴-۲) ریسک‌های ناشی از عوامل اجتماعی را برای کلیه پروژه‌های تونل‌سازی بیان می‌کند.

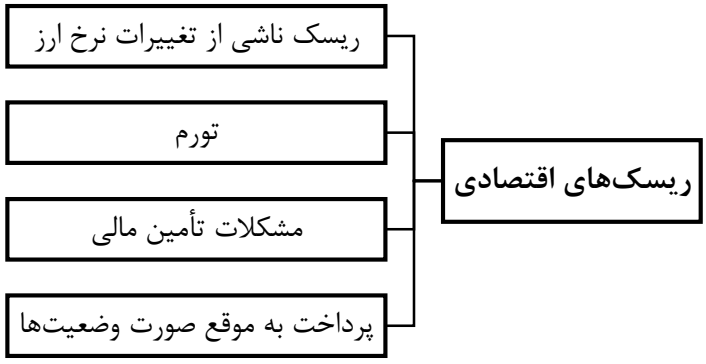
[1] Social Risk



شکل (۴-۲) ریسک‌های ناشی از عوامل اجتماعی (معینی، ۱۳۸۱)

۴-۳-۳. ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی[1]

ریسک اقتصادی یکی از ریسک‌هایی است که اقتصاد هر پروژه را تهدید می‌کند. از انواع این ریسک‌ها می‌توان به ریسک‌های ناشی از تغییرات نرخ ارز، تورم ، ریسک مشکلات تأمین مالی و ریسک پرداخت به موقع صورت وضعیت‌ها اشاره کرد. این ریسک‌ها از جهت تأثیرگذاری روی میزان جذب سرمایه گذاری‌های داخلی و خارجی اهمیت دارند. با توجه به بکارگیری حجم بالایی از منابع انسانی، تجهیزات و استفاده از منابع مالی زیاد و تأثیر بالای ریسک‌های اقتصادی بر روی عوامل ذکر شده، مدیریت این گروه ریسک‌ها بسیار مهم است (صیادی و همکاران، ۱۳۸۸). عمده‌ترین ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی پروژه‌های تونل‌سازی در جدول (۴-۳) آورده شده‌اند.

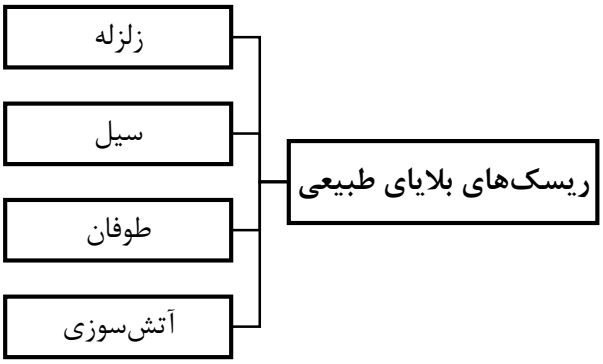


جدول (۴-۳) ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی (صیادی و همکاران، ۱۳۸۸)

[1] Economical Risk

۴-۳-۴. ریسک‌های ناشی از بلایای طبیعی[1]

در عرصه بین‌المللی افزایش وقوع بلایای مختلف طبیعی در دو دهه اخیر و گستردگی خسارات مالی و جانی ناشی از آن‌ها، باعث شده که با نگاه آینده‌نگری بیشتری به مسئله توجه شود (عسکری‌زاده، ۱۳۸۹). بر اساس آمار صدمات و خسارت وارده در ابعاد مختلف بر اثر بلایای طبیعی، لزوماً به کارگیری مدیریت ریسک در پیشگیری از بروز این‌گونه حوادث کمک قابل توجهی می‌نماید. عمده‌ی عوامل طبیعی شامل زلزله، طوفان، آتش‌سوزی‌های طبیعی و سیل می‌شوند (ایزدی و فاضلی،۱۳۹۶). شکل (۴-۴) ریسک‌های ناشی از بلایای طبیعی برای پروژه‌های تونل‌سازی را بیان می‌کند.



شکل (۴-۴) ریسک‌های ناشی از بلایای طبیعی (اردلان و حیدری، ۱۳۹۵)

۴-۴. منابع داخلی ریسک در پروژه‌های تونل‌سازی

۴-۴-۱. ریسک‌های مسائل ژئوتکنیک و زمین‌شناسی[2]

هنگام عملیات حفاری در طبیعت، شرایط ایده‌آل زمین‌شناسی برای دستگاه وجود نداشته و این امر چالش‌هایی را برای زمین‌شناسان، سازندگان ماشین و پیمانکاران، جهت فراهم نمودن تجهیزات مورد نیاز و انجام عملیات موفقیت‌آمیز، تحت شرایط زمین‌شناسی دشوار، به وجود می‌آورند. شرایط محدود کننده، شرایطی است که دستگاه حفاری با توجه به طراحی و ساخت خود، نتواند تحت این شرایط زمین‌شناسی عملیات خود را به‌درستی و با موفقیت انجام دهد، به همین دلیل پیشروی ماشین حفار تحت این شرایط به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و حتی برحسب

[1] Acts of God Risk
[2] Geotechnical and geological risk

شدت مشکل، ممکن است، دستگاه متوقف شود. وقوع ریسک‌های ژئوتکنیک می‌تواند اثرات منفی بر اجرای پروژه چه از نظر زمان، هزینه، ایمنی و حتی ابعاد زیست محیطی داشته باشد (عماد، ۱۳۸۸). شکل (۴-۵) بیان کننده ریسک‌های ناشی از مسائل ژئوتکنیک و زمین‌شناسی در پروژه‌های تونل‌سازی است.

شکل (۴-۵) ریسک‌های ناشی از مسائل ژئوتکنیک و زمین‌شناسی (عماد، ۱۳۸۸؛ رمضان‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴)

۴-۴-۲. ریسک‌های مسائل فنی (طراحی، ساخت‌وساز)[1]

طراحی پروژه در ظرفیت بالا با پیچیدگی‌های خاص خود می‌تواند مسائل و مشکلات در ارتباط با طراحی پروژه‌های زیربنایی و بروز تغییراتی در طراحی پروژه را به دنبال داشته باشد. از طرفی با توجه به خصوصیات این پروژه‌ها، به‌کارگیری فنّاوری جدید به دلایل رقابتی و فنی و اقتصادی، ضروری است (حیاتی، ۱۳۸۸). ریسک‌های مسائل فنی از جمله ریسک‌های با اهمیت در پروژه‌های تونل‌سازی مکانیزه است که در شکل (۴-۶) مهم‌ترین این ریسک‌ها اشاره شده است.

[1] Technical Risk

شکل (۴-۶) ریسک‌های ناشی از مسائل فنی (حیاتی، ۱۳۸۸)

۴-۴-۳. ریسک‌های عوامل و فاکتورهای انسانی

ریسک انسانی، ریسک وارد کردن صدمه توسط کارکنان به خود یا به سازمان که ممکن است سهواً (به دلیل دارا نبودن شایستگی‌های لازم) یا عمداً (به دلیل انحراف از قوانین تجویز شده در راستای کنترل ریسک) صورت گیرد. این نوع ریسک از خصوصیت‌های رفتارهای انسانی است و از طریق داده‌های منابع انسانی قابل شناسایی و پیش‌بینی است.

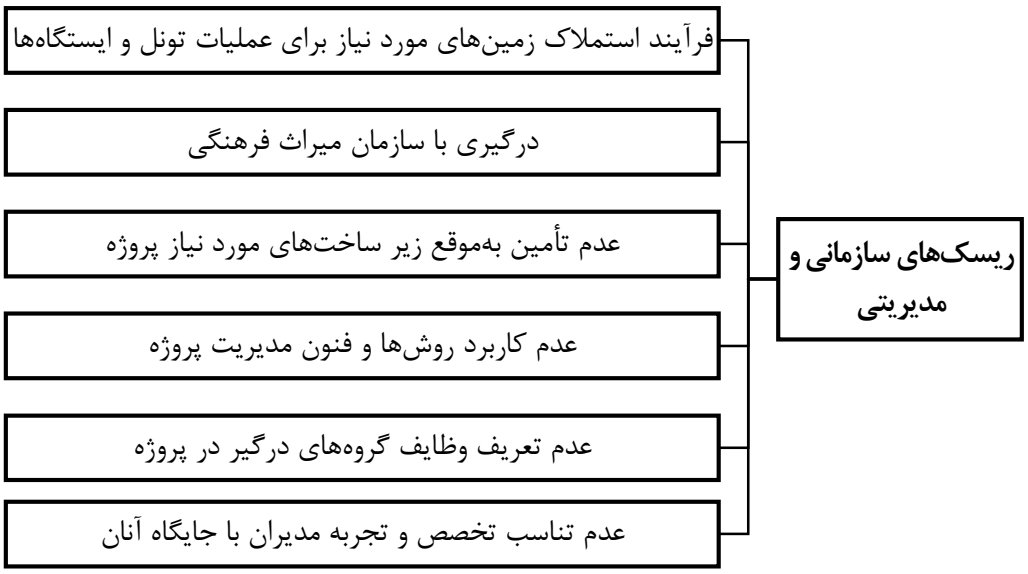
ریسک منابع انسانی، ریسک‌هایی است که از سیستم منابع انسانی سازمان (انتخاب، آموزش، ارزیابی عملکرد و جبران خدمات) نتیجه می‌شوند. در هر سازمان اثر بخش‌ترین دارایی برای ارتقا بازدهی نیروی انسانی است. درصورتی‌که کارکنان سازمان به میزان کافی آموزش دیده باشند و از احساس تعهد سازمانی در سطح بالا برخوردار باشند، وقوع هرگونه نوسانات محیطی و عوامل دیگر حداقل تأثیر را بر سازمان خواهد داشت.

گزینش و استخدام، آموزش و ارتقا ایجاد انگیزه و رضایت و سرانجام حفظ منابع انسانی از اهم موضوعاتی است که ریسک نیروی انسانی را به حداقل می‌رساند (قلی‌پور و ابراهیمی، ۱۳۹۵). از جمله عواملی که می‌توانند در ریسک‌های ناشی از نیروی انسانی و همچنین مهم‌ترین ریسک‌های ناشی از دخیل بودن کارفرما، پیمانکار و مشاور در پروژه‌های تونل‌سازی به حساب آورده شوند، به صورت شکل (۴-۷) ارائه شده است.

شکل (۴-۷) ریسک‌های ناشی از عوامل و فاکتورهای انسانی (قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵)

۴-۴-۴. ریسک‌های سازمانی و مدیریتی

با توجه به گستردگی کار در پروژه‌های بزرگ تونل‌سازی و حضور تعداد قابل توجه مشاورها، پیمانکارها و تأمین‌کننده قطعات و تجهیزات و همچنین حضور ملموس و غیر ملموس سازمان‌ها و بخش‌های دولتی و غیر دولتی در پروژه، فرآیند مدیریت پروژه در این پروژه‌ها بسیار پیچیده‌تر از پروژه‌های معمول بوده و توجه خاصی را می‌طلبد (حیاتی، ۱۳۸۸). برخی از ریسک‌های سازمانی و مدیریتی در شکل (۴-۸) بیان شده است.

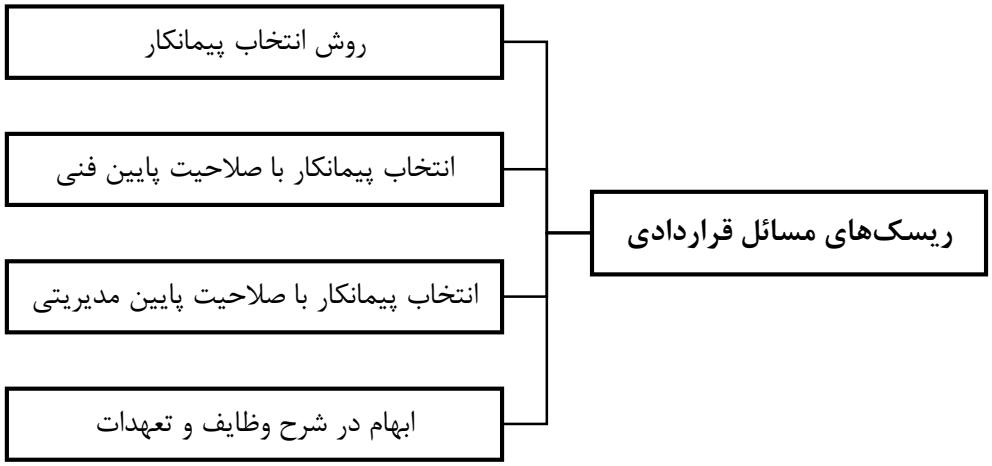


شکل (۴-۸) ریسک‌های ناشی از مسائل سازمانی و مدیریتی (خدامی‌پور و محرومی، ۱۳۹۴؛ حیاتی، ۱۳۸۸)

۴-۴-۵. ریسک‌های مسائل قراردادی

نحوه تنظیم قراردادها در یک پروژه یکی از تصمیم‌های بسیار مهم برای هدایت پروژه در جهت موفقیت است. قراردادها که تبیین کننده رویه‌ها و تعهدات و اختیارات طرفین قرارداد هستند، از لحاظ در نظر گرفتن و تقسیم ریسک‌های قابل پیش‌بینی از اهمیت خاصی برخوردارند. از طرفی پروژه‌ها در دستیابی به هدف‌های تعیین شده با تهدیدها و فرصت‌هایی در رابطه با عناصر کلیدی خود مواجه هستندکه ریشه بیشتر این تهدیدها و فرصت‌ها را می‌توان در مجموعه‌ای از شرایط عدم قطعیت جستجو کرد. در نتیجه تعیین تکلیف بسیاری از ریسک‌های قابل پیش‌بینی را می‌توان در قراردادها مشخص کرد (پرچمی و همکاران، ۱۳۹۰).

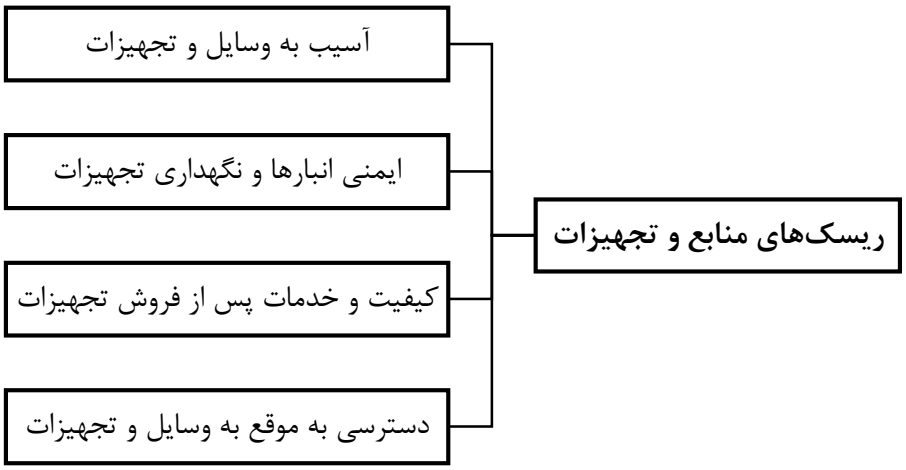
با توجه به ظرفیت بالای اجرایی و عملیاتی پروژه‌های تونل‌سازی، حجم بالای سرمایه‌گذاری و تأثیرات اقتصادی و اجتماعی این پروژه‌ها، کارفرما و پیمانکاران نمی‌توانند نسبت به فرآیند پیش صلاحیت، شرایط مناقصه و پیشنهاد قیمت‌ها و روش اجرا و ابهامات موجود در قرارداد بی‌تفاوت باشند. در نظر گرفتن شرایطی نظیر شرایط تأخیرات مجاز و یا شرایط تحویل موقت به صورت واضح و به دور از ابهام از نکات حائز اهمیت است (حیاتی، ۱۳۸۸). بر اساس بررسی منابع و تجربیات مدیران، عمده‌ترین فاکتورهای ریسک‌های قراردادی به صورت شکل (۴-۹) است.



شکل (۴-۹) ریسک‌های ناشی از مسائل قراردادی (پرچمی و همکاران، ۱۳۹۰)

۴-۴-۶. ریسک‌های منابع و تجهیزات

اجرای پروژه‌های زیربنایی نیازمند انبوهی از مصالح، امکانات، تجهیزات و ماشین‌آلات مختلف خواهد بود. تأمین به موقع منابع مذکور و عدم بروز اختلال در روند آن به عنوان یک فاکتور مهم، بایستی مدنظر قرار بگیرد (حیاتی، ۱۳۸۸). در این راستا ریسک‌های شکل (۴-۱۰) از مواردی است که به‌عنوان عوامل ریسک‌های منابع و تجهیزات باید مدنظر قرار گیرد.



شکل (۴-۱۰) ریسک‌های منابع و تجهیزات (حیاتی، ۱۳۸۸)

۴-۵. جمع‌بندی

هدف از تحلیل و ارزیابی ریسک، تعیین و پیش‌بینی اثرات منفی است که در اثر رخدادهای خطر بر بخش‌های مختلف پروژه همچون مخارج، کیفیت کار و ایمنی، بودجه و طرح و برنامه ساخت به وجود می‌آید. موضوع شناسایی ریسک‌ها مرحله‌ای حیاتی در ارزیابی ریسک است. ریسکی که شناخته نشود قابل مدیریت نخواهد بود. تلاش برای شناسایی تمامی ریسک‌ها زمان بر و مشکل است و تلاش برای بررسی تمامی ریسک‌ها به شکست منجر می‌شود، اما شناسایی ریسک‌های پرخطر در صنعت ساخت وساز مهم است.

با توجه به تنوع و تعداد زیاد ریسک‌هایی که پروژه‌های تونل‌سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهند عملاً بدون یک روند سیستماتیک و صحیح جهت شناسایی و مدیریت آن‌ها هرگونه اقدامی، برای درک و مقابله با آن‌ها را با مشکل و موفقیت را با تردید مواجه می‌سازد؛ به همین دلیل به ویژه در سال‌های اخیر مدیریت ریسک و به تبع آن شناسایی درست و به موقع ریسک‌ها مورد توجه خاصی قرار گرفته است. ساختار ارائه شده در این فصل می‌تواند به عنوان مبنایی برای تبیین ریسک‌های پروژه‌های تونل سازی قرار گیرد و مناسب با نوع پروژه باز تنظیم شود. مجموعه ریسک‌های پروژه تونل‌سازی، در دو دسته کلی ریسک‌های منابع داخلی و ریسک‌های منابع خارجی و در قالب ۱۰ سطح و ۶۰ زیر سطح، دسته‌بندی انجام شده است.

فصل پنجم: ارزیابی و مدیریت ریسک در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد

۵-۱. مقدمه

مدیریت ریسک، شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای مستمر و در حال توسعه است که در راهبرد یک سازمان بکار گرفته می‌شود و باید به شیوه‌ای قاعده‌مند کلیه مخاطرات مربوط به گذشته، حال و آینده را مورد توجه قرار دهد. مدیریت ریسک، فرآیند جامعی است که به منظور تعیین، شناسایی، کنترل و به حداقل رساندن تأثیرها و عواقب رویدادهای احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف مدیریت ریسک، کاهش اثرات نامطلوب رویدادهای داخلی و خارجی مؤثر بر فعالیت سازمان و رساندن این اثرات به سطح قابل‌قبول است. با به‌کارگیری اصول مدیریت ریسک در یک سازمان، انتظار می‌رود احتمال بروز حوادث کاهش یابد، خسارت های جانی از بین بروند، خسارت‌های اقتصادی به حداقل برسند و صدمات زیست‌محیطی مدیریت شوند.

در این فصل ارزیابی و مدیریت ریسک در عملیات تونل‌سازی خط ۳ قطار شهری مشهد انجام می‌شود. پرسشنامه جامعی جهت جمع‌آوری نظرات متخصصان پروژه مذکور برای رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه تهیه شده و سپس ضمن تجمیع نظرات خبرگان، گروه‌های مختلف ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی، رتبه‌بندی و در ادامه پاسخ مناسب به ریسک‌های اصلی حاصل از رتبه‌بندی‌های به دست آمده، با استفاده از مدل‌سازی نظریه بازی پیشنهاد می‌گردد.

۵-۲. معرفی پروژه خط ۳ متروی قطار شهری مشهد

شرکت قطار شهری مشهد مسئولیت ساخت، بهره‌برداری و حمل ونقل ریلی درون شهری مشهد را بر عهده دارد. در شهر مشهد در حال حاضر روزانه ۵ میلیون نفر جا به جا می‌شوند که این میزان طی ۱۰ سال آینده به ۸/۵ میلیون نفر خواهد رسید. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش خط ۳ قطار شهری مشهد است. خط ۳ مسیر شهرک ابوذر تا الهیه را با طول حدود ۲۸/۵ کیلومتر (از جنوب شرق به شمال غرب) پوشش می‌دهد که در ابتدا با ۲۵ کیلومتر طول تا منطقه شهرک غرب ادامه داشت و در طرح توسعه تا الهیه امتداد پیدا کرد؛ بدین ترتیب این خط از پایانه اتوبوس‌رانی در انتهای خیابان امام رضا و تا میدان آب ادامه داشته، با عبور از چهارراه خسروی و چهارراه شهدا به میدان شهدا می‌رسد (شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد).

شکل (۵-۱) نقشه جامع سامانه حمل ونقل ریلی شهر مشهد را نشان می‌دهد.

شکل (۵-۱) نقشه جامع سامانه حمل‌ونقل ریلی شهر مشهد مقدس (شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد)

این خط بعد از میدان شهدا تا میدان فردوسی ادامه می‌یابد و در میدان جانباز و از طریق بلوار جانباز به بزرگراه امام علی و سپس با طی تمام مسیر امامیه به اراضی امامیه می‌رسد. آخرین ایستگاه در محل احداث پایانه جدید اتوبوس‌رانی برون‌شهری غرب مشهد خواهد بود. ۱۹ کیلومتر از طول خط ۳ شرق به غرب و برعکس بوده و دارای ۲۴ ایستگاه است. بر مبنای پروفیل طراحی شده برای خط ۳، تمامی ایستگاه‌ها در تراز زیرزمین واقع‌اند.

حدود ۱۳ کیلومتر از تونل مسیر خط ۳ قطار شهری مشهد به روش استفاده از ماشین حفار اجرا می‌گردد. عمق ریل در این ناحیه از مسیر در محدوده ۱۷ تا ۳۵ متر متغیر است. مشخصات فنی دستگاه تی بی ام مورد استفاده در پروژه خط ۳ در جدول (۵-۱) بیان شده است. ۷ کیلومتر از مسیر به روش پوشش و حفر و در طول محدودی از میانه‌های مسیر بنا بر ضرورت به روش اتریشی طراحی شده است (شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد).

جدول (۵-۱) مشخصات فنی دستگاه TBMمورد استفاده در پروژه خط ۳ (شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد)

مدل دستگاه	EPB/OPEN MODE Single Shield
قطر کاترهد	۹/۴۳ متر
طول دستگاه	۱۰۰ متر
وزن تقریبی دستگاه	۱۱۰۰ تن
طول شیلد	۱۰/۷ متر
سرعت دوران کاترهد	۳/۱۷ دور در دقیقه
نیروی محرکه کاترهد	۱۰دستگاه الکتروموتور با توان ۲۷۵ کیلو وات
سرعت پیشروی ماکزیمم	۸۰ میلی‌متر در دقیقه
سطح مقطع حفاری	۶۹/۳۶ متر مربع
روش انتقال مصالح باطله	اسکرو و نوار نقاله
قطر تونل تمام شده	۸/۴ متر
سیستم حرکتی پشتیبان دستگاه	ریلی (گنتری ها) - چرخ (بوژی ها)
سیستم راهبری دستگاه	سیستم پیمایشی به کمک دوربین نقشه برداری تونلی

۵-۳. فرآیند انجام تحقیق

از آنجا که قرارداد پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد به روش EPC ، در حال انجام است، امکان دسترسی به عوامل مختلف شامل کارشناسان طراحی، ایمنی و اجرا، مدیران مهندسی و اجرایی برای شناسایی ریسک‌های تونل در یک مجموعه وجود داشته است. بهترین زمان برای انجام فرآیند مدیریت ریسک در فازهای اولیه پروژه است که اصلی‌ترین و مؤثرترین تصمیم‌ها و انتخاب‌های پروژه صورت می‌پذیرد، در حالی که این تحقیق در زمانی که پروژه پیشرفتی حدود ۳۰ درصد عملیات اجرایی داشته، صورت گرفته است.

در مرحله اول ابتدا به جمع‌آوری و تجمیع نظرات خبرگان با استفاده از پرسشنامه‌های تهیه شده پرداخته شده است. پرسشنامه تهیه شده شامل ۱۱ سطر و ۶ ستون است که نمونه پرسشنامه تهیه شده در پیوست الف آورده شده است. سطرهای پرسشنامه شامل گروه‌های ریسک اصلی و شناسایی شده است. ستون‌ها شامل معیارهای مختلف برای ارزیابی و رتبه‌بندی گروه‌های ریسک است. نظرسنجی و امتیازدهی در خصوص میزان معیارهای مدیریت‌پذیری و احتمال وقوع به ازای هرکدام از ریسک‌ها مطابق با طیف پنج گزینه‌ای لیکرت (خیلی کم عدد ۱، کم عدد ۳، متوسط

عدد ۵، زیاد عدد ۷ و خیلی زیاد عدد ۹) انجام گرفته است. همچنین نظرسنجی در خصوص میزان تأثیر ریسک‌ها بر معیارهای زمان پروژه، تأثیر بر میزان هزینه پروژه، تأثیر بر میزان کیفیت پروژه و تأثیر بر میزان عملکرد پروژه مطابق با استانداردهای موجود صورت گرفته است. مشخصات گروه کارشناسان و متخصصین شرکت کننده در نظرسنجی‌ها به صورت جدول ۵-۲ است.

جدول (۵-۲) مشخصات گروه کارشناسان و متخصصین شرکت کننده در نظرسنجی‌ها

ردیف	مسئولیت کارشناس	تحصیلات
۱	کارشناس دفتر فنی و کنترل کیفیت پروژه	کارشناس ارشد
۲	کارشناس مسئول خدمات مهندسی حفاری مکانیزه	دکترا
۳	کارشناس نظارت	کارشناس ارشد
۴	کارشناس تجهیزات	کارشناس ارشد
۵	کارشناس تجهیزات	کارشناسی
۶	کارشناس مسئول HSE	کارشناسی
۷	مدیر مهندسی پروژه خط ۳	دکترا
۸	کارشناس شرکت مهندسین مشاور پژوهش	کارشناسی
۹	کارشناس شرکت مهندسین مشاور پژوهش	کارشناسی ارشد
۱۰	مسئول کارگاه حفاری	کارشناسی
۱۱	مسئول حفاری مکانیزه	کارشناسی
۱۲	مسئول بازرسی تونل	کارشناسی ارشد
۱۳	مسئول مالی و امور قراردادها	کارشناسی ارشد

در مرحله دوم رتبه‌بندی گروه‌های ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شده و در مرحله نهایی ارزیابی و مدیریت ریسک‌های اصلی حاصل از رتبه‌بندی، با استفاده از نظریه بازی صورت پذیرفته است. در روند تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی گروه ریسک‌های موجود در پروژه، روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرارگرفته که این انتخاب بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از معیارهایی که بر اساس مصاحبه‌های انجام‌شده با کارشناسانی که در این امر تجربه کافی داشته‌اند انجام‌شده و این روش‌ها به دلیل سهولت تحلیل، دقت بالا و قابلیت کاربرد در اکثر موضوعات مورد انتخاب قرار گرفته‌اند.

۵-۴. رتبه‌بندی گروه‌های ریسک شناسایی شده

در این تحقیق ۶ معیار که در رتبه‌بندی گروه ریسک‌های موجود در پروژه تونل‌سازی مکانیزه خط ۳ قطار شهری مشهد مؤثر هستند، در نظر گرفته‌شده است که در ادامه گروه‌های ریسک و معیارهای مورد استفاده بیان شده است.

۹ گروه ریسک به عنوان مهم‌ترین گروه ریسک‌ها در تونل‌سازی مکانیزه معرفی شده‌اند که عبارت‌اند از:

A_1: ریسک‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک

A_2: ریسک‌های فنی

A_3: ریسک‌های فاکتورهای انسانی

A_4: ریسک‌های سازمانی و مدیریتی

A_5: ریسک‌های قراردادی

A_6: ریسک‌های منابع و تجهیزات

A_7: ریسک‌های سیاسی

A_8: ریسک‌های اقتصادی

A_9: ریسک‌های اجتماعی

A_{10}: ریسک‌های بلایای طبیعی

معیارهای در نظر گرفته شده برای رتبه‌بندی گروه ریسک‌های موجود در مطالعه موردی به صورت زیر است.

C_1: مدیریت‌پذیری

C_2: احتمال وقوع

C_3: تأثیر بر میزان زمان پروژه

C_4: تأثیر بر میزان هزینه پروژه

C_5: تأثیر بر میزان کیفیت پروژه

C_6: تأثیر بر میزان عملکرد پروژه

شاخص‌های رتبه‌بندی بر مبنای احتمال و میزان اثرگذاری ریسک‌ها بر اهداف اصلی پروژه (زمان، هزینه، کیفیت و عملکرد) و همچنین احتمال وقوع ریسک و مدیریت‌پذیری ریسک‌ها تعیین شده است. با کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ریسک‌ها با توجه به شاخص‌های گوناگون بهتر ارزیابی می‌گردند و در نتیجه واقع بینانه تر رتبه‌بندی می‌شوند.

۵-۴-۱. رتبه‌بندی گروه‌های ریسک با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل

در این مرحله به منظور رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها از روش شباهت به گزینه ایده‌آل استفاده شده است. با توجه به روش معرفی شده، رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها در عملیات ساخت پروژه در قالب مراحل زیر انجام شده است. پس از تکمیل پرسشنامه‌های تهیه شده توسط ۱۳ کارشناس خبره و متخصص پروژه ذکر شده در جدول (۵-۲)، ماتریس داده‌ها را تشکیل و امتیازدهی به شاخص‌ها را انجام داده که نتایج حاصل از آن در جدول (۵-3) آورده شده است. گروه کارشناسان و افراد خبره از شرکت‌های پیمانکار، کارفرما و شرکت‌های مشاور و با تخصص‌های مرتبط و مختلف انتخاب شده است.

جدول(۵-3) ماتریس داده‌ها حاصل از نظرسنجی متخصصین و خبرگان

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$
$A_۱$	۵/۸	۵/۵	۴/۵	۴/۴۲	۴/۷۵	۴/۲۵
$A_۲$	۵/۵	۵/۷۵	۵/۵	۶/۷۱	۶	۵/۵
$A_۳$	۳/۸۵	۵/۷۵	۴/۲۵	۴/۴۲	۵/۵۲	۵/۲۵
$A_۴$	۵/۵۷	۴/۲۵	۴/۲۵	۴/۷۱	۵	۳/۷۵
$A_۵$	۵	۵	۵	۵/۵۷	۴/۷۵	۴/۵
$A_۶$	۶/۵	۵/۲۵	۶	۶/۱۴	۵/۵	۴/۵
$A_۷$	۵/۷۵	۳/۲۵	۵	۳/۸	۴/۲۵	۴/۲۵
$A_۸$	۷/۶۲	۶/۲۵	۶/۷۵	۵/۸۵	۵/۸۵	۵/۸۵
$A_۹$	۵/۲۵	۳/۷۵	۳/۲۵	۳/۲۸	۲/۵	۳/۵
$A_{۱۰}$	۵	۲/۴۲	۴/۵	۳/۸۵	۴/۲۵	۴/۵

سپس با استفاده از رابطه (۵-۱) عمل بی مقیاس کردن داده‌ها انجام شده که نتایج در جدول (۵-4) آورده شده است.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum a_{ij}^2}} \qquad (۱-۵)$$

که در آن a_{ij} عملکرد گزینه $i\,(i = 1,2, \dots, m)$ در رابطه با معیار $j\,(j = 1,2, \dots, m)$ است.

جدول(۵-۴) ماتریس بی مقیاس داده‌ها

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$
$A_۱$	۰/۳۲۳۸	۰/۳۵۷۶	۰/۲۸۵۱	۰/۲۷۹۹	۰/۳۰۴۴	۰/۲۸۹۷
$A_۲$	۰/۳۰۷۱	۰/۳۷۳۸	۰/۳۴۸۵	۰/۴۲۵۰	۰/۳۸۴۵	۰/۳۷۴۹
$A_۳$	۰/۲۱۴۹	۰/۳۷۳۸	۰/۲۶۹۳	۰/۲۷۹۹	۰/۳۵۳۸	۰/۳۵۷۸
$A_۴$	۰/۳۱۱	۰/۲۷۶۳	۰/۲۶۹۳	۰/۲۹۸۳	۰/۳۲۰۴	۰/۲۵۵۶
$A_۵$	۰/۲۷۹۲	۰/۳۲۵۱	۰/۳۱۶۸	۰/۳۵۲۸	۰/۳۰۴۴	۰/۳۰۶۷
$A_۶$	۰/۳۶۲۹	۰/۳۴۱۳	۰/۳۸۰۲	۰/۳۸۸۹	۰/۳۵۳۸	۰/۳۰۶۷
$A_۷$	۰/۳۲۱۱	۰/۲۱۱۳	۰/۳۱۶۸	۰/۲۴۰۶	۰/۲۷۲۴	۰/۲۸۹۷
$A_۸$	۰/۴۲۵۵	۰/۴۰۶۳	۰/۴۲۷۷	۰/۳۷۰۵	۰/۳۷۴۹	۰/۳۹۸۷
$A_۹$	۰/۲۹۳۱	۰/۲۴۳۸	۰/۲۰۵۹	۰/۲۰۷۷	۰/۱۶۰۲	۰/۲۳۸۵
$A_۱۰$	۰/۲۷۹۲	۰/۱۵۷۳	۰/۲۸۵۱	۰/۲۴۳۸	۰/۲۷۲۴	۰/۳۰۶۷

گام سوم تشکیل ماتریس بی مقیاس موزون است. برای این منظور لازم است وزن‌های شاخص‌ها محاسبه گردند، بنابراین با روش آنتروپی شانون، وزن شاخص‌ها محاسبه می‌گردد. برای این منظور ابتدا ماتریس P_{ij} داده‌ها توسط رابطه (۵-۲) تشکیل می‌گردد.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{ij}^{n} a_{ij}} \qquad (۲-۵)$$

که در آن a_{ij} عملکرد گزینه $i\,(i = 1,2, \dots, m)$ در رابطه با معیار $j\,(j = 1,2, \dots, m)$ است. نتایج حاصل در جدول (۵-۵) ارائه شده است.

جدول(۵-۵) ماتریس P_{ij} داده‌ها

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$
$A_۱$	۰/۱۰۳۸	۰/۱۱۶۵	۰/۰۹۱۸	۰/۰۹۰۶	۰/۰۹۸۲	۰/۰۹۲۶
$A_۲$	۰/۰۹۸۴	۰/۱۲۱۸	۰/۱۱۲۲	۰/۱۳۷۶	۰/۱۲۴۰	۰/۱۱۹۹
$A_۳$	۰/۰۶۸۹	۰/۱۲۱۸	۰/۰۸۶۷	۰/۰۹۰۶	۰/۱۱۴۱	۰/۱۱۴۵
$A_۴$	۰/۰۹۹۷	۰/۰۹۰	۰/۰۸۶۷	۰/۰۹۶۶	۰/۱۰۳۳	۰/۰۸۱۷
$A_۵$	۰/۰۸۹۵	۰/۱۰۵۹	۰/۱۰۲۰	۰/۱۱۴۲	۰/۰۹۸۲	۰/۰۹۸۱
$A_۶$	۰/۱۱۶۴	۰/۱۱۱۲	۰/۱۲۲۴	۰/۱۲۵۹	۰/۱۱۳۷	۰/۰۹۸۱
$A_۷$	۰/۱۰۲۹	۰/۰۶۸۸	۰/۱۰۲۰	۰/۰۷۷۹	۰/۰۸۷۸	۰/۰۹۲۶
$A_۸$	۰/۱۳۶۴	۰/۱۳۲۴	۰/۱۳۷۷	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰۹	۰/۱۲۷۵
$A_۹$	۰/۰۹۴	۰/۰۷۹۴	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۷۲	۰/۰۵۱۶	۰/۰۷۶۳
$A_{۱۰}$	۰/۰۸۹۵	۰/۰۵۱۳	۰/۰۹۱۸	۰/۰۷۸۹	۰/۰۸۷۸	۰/۰۹۸۱

به ازای روابط (۵-۳) و (۵-۴) و (۵-۵) مقادیر W_j و D_jو E_j محاسبه شده و در جدول (۵-۶) ارائه شده است. مقادیر P_{ij} با استفاده از جدول(۵-۳) به دست می‌آیند.

$$E_j = -\frac{1}{Ln(m)}\sum_{i=1}^{11} P_{ij}\, Ln(P_{ij}) \qquad (۵-۳)$$

$$D_j = 1 - E_j \qquad (۵-۴)$$

$$W_j = \frac{D_j}{\sum D_j} \qquad (۵-۵)$$

که E_j آنتروپی شاخص j ام، m تعداد گزینه‌ها، W_j وزن هر شاخص و D_j فاصله هر شاخص از آنتروپی آن است.

جدول (۵-۶) مقادیر W_j و D_jو E_j محاسبه شده

	$C_۱$	$C_۲$	$C_۳$	$C_۴$	$C_۵$	$C_۶$
E_j	۰/۹۹۳۶	۰/۹۸۴۷	۰/۹۹۱۸	۰/۹۸۹۱	۰/۹۸۹۹	۰/۹۹۴۶
D_j	۰/۰۰۶۴	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۸۲	۰/۰۱۰۹	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۵۴
W_j	۰/۱۱۳۶	۰/۲۷۱۷	۰/۱۴۵۶	۰/۱۹۳۶	۰/۱۷۹۳	۰/۰۹۵۹

با توجه به ضرایب اهمیت معیارها ماتریس تصمیم بی مقیاس شده وزن‌دار به صورت جدول (۵-۷) است.

جدول (۵-۷) ماتریس بی‌مقیاس موزون

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	۰/۰۴۳۴	۰/۰۸۶۰	۰/۰۳۶۷	۰/۰۶۴۰	۰/۰۶۴۳	۰/۰۱۶۲
A_2	۰/۰۴۱۱	۰/۰۸۹۸	۰/۰۴۴۸	۰/۰۹۷۱	۰/۰۸۱۳	۰/۰۲۱۰
A_3	۰/۰۲۸۸	۰/۰۸۹۸	۰/۰۳۴۶	۰/۰۶۴۰	۰/۰۷۴۸	۰/۰۲۰۰۷
A_4	۰/۰۴۱۷	۰/۰۶۶۴	۰/۰۳۴۶	۰/۰۶۸۲	۰/۰۶۷۷	۰/۰۱۴۳
A_5	۰/۰۳۷۴	۰/۰۷۸۱	۰/۰۴۰۸	۰/۰۸۰۶	۰/۰۶۴۳	۰/۰۱۷۲
A_6	۰/۰۴۸۶	۰/۰۸۲۰	۰/۰۴۸۹	۰/۰۸۸۹	۰/۰۷۴۸	۰/۰۱۷۲
A_7	۰/۰۴۳۰	۰/۰۵۰۸	۰/۰۴۰۸	۰/۰۵۵۰	۰/۰۵۷۶	۰/۰۱۶۲
A_8	۰/۰۵۷۰	۰/۰۹۷۷	۰/۰۵۵۰	۰/۰۸۴۷	۰/۰۷۹۲	۰/۰۲۲۳
A_9	۰/۰۳۹۳	۰/۰۵۸۶	۰/۰۲۶۵	۰/۰۴۷۵	۰/۰۳۳۸	۰/۰۱۳۳
A_{10}	۰/۰۳۷۴	۰/۰۳۷۸	۰/۰۳۶۷	۰/۰۵۵۷	۰/۰۵۷۶	۰/۰۱۷۲

درنهایت مقادیر راه‌حل ایده‌آل (A^+) و راه‌حل ضد ایده‌آل (A^-) به شرح ذیل محاسبه‌شده است:

$$A^+ = \{۰/۰۴۳۰۱, ۰/۱۰۰۶, ۰/۰۸۳۰, ۰/۰۷۳۶, ۰/۰۵۸۸, ۰/۰۳۵۱\}$$

$$A^- = \{۰/۰۲۱۷, ۰/۰۳۷۴, ۰/۰۳۵۶, ۰/۰۳۵۹, ۰/۰۲۴۵, ۰/۰۲۱۰\}$$

میزان فاصله‌ی هر گزینه از حل ایده‌آل (d_{i+}) و میزان فاصله‌ی هر گزینه از حل ضد ایده‌آل (d_{i-}) با استفاده از روابط (۵-۶) و (۵-۷) محاسبه شده‌اند که نتایج حاصل در جدول (۵-۸) آورده شده است.

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^{4} \left(V_{ij} - V_j^+\right)^2 \right\} \qquad (۵-۶)$$

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^{4} \left(V_{ij} - V_j^-\right)^2 \right\} \qquad (۵-۷)$$

که در این روابط V_j^+ بهترین مقدار معیار j از بین تمامی گزینه‌ها و V_j^- بدترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها است. میزان شاخص شباهت هر گزینه با استفاده از رابطه (۵-۸) محاسبه می‌شود.

$$CL_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i-} + d_{i+_}} \qquad (۵-۸)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هرچه گزینه مورد نظر به ایده‌آل شبیه‌تر باشد، میزان شاخص شباهت آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود. برای رتبه‌گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که دارای بیشترین شاخص شباهت است، در رتبه اول و گزینه‌ای که دارای کم‌ترین شاخص شباهت است، در رتبه آخر قرار خواهد گرفت. با توجه به شاخص شباهت هر گزینه، اولویت و رتبه‌بندی گروه‌های ریسک طبق جدول (۵-۸) حاصل شده است.

جدول (۵-۸) رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس روش شباهت به گزینه ایده‌آل

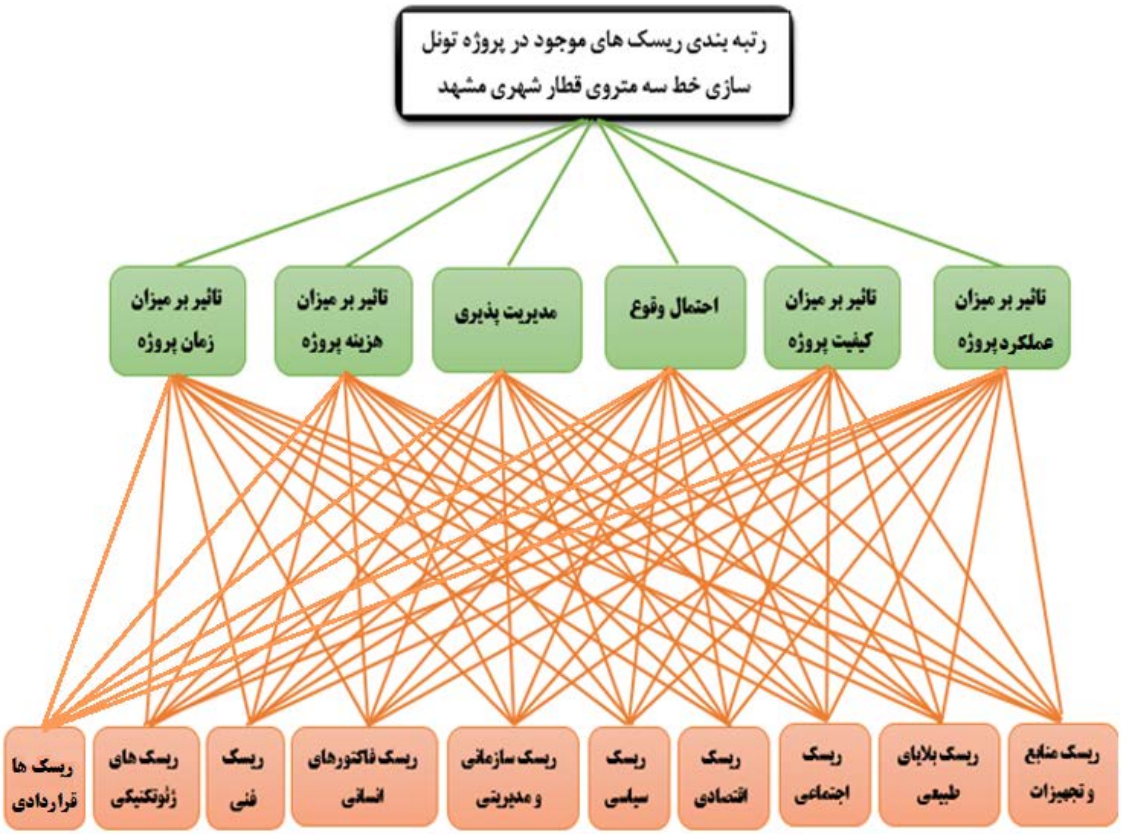
گزینه	فاصله از حل ایده‌آل	فاصله از حل ضد ایده‌آل	شاخص شباهت	رتبه
$A_۱$	۰/۰۴۵۵	۰/۰۶۲۰	۰/۵۷۷۱	۶
$A_۲$	۰/۰۲۰۵	۰/۰۸۹۲	۰/۸۱۳۱	۲
$A_۳$	۰/۰۴۹۱	۰/۰۶۹۰	۰/۵۸۴۰	۵
$A_۴$	۰/۰۵۲۰	۰/۰۵۱۲	۰/۴۹۵۹	۷
$A_۵$	۰/۰۳۹۴	۰/۰۶۲۷	۰/۶۱۳۸	۴
$A_۶$	۰/۰۲۲۱	۰/۰۷۹۰	۰/۷۸۱۲	۳
$A_۷$	۰/۰۷۰۳	۰/۰۳۴۷	۰/۳۳۰۴	۸
$A_۸$	۰/۰۱۲۵	۰/۰۹۳۳	۰/۸۸۱۲	۱
$A_۹$	۰/۰۷۶۹	۰/۰۲۳۲	۰/۲۳۲۳	۱۰
$A_{۱۰}$	۰/۰۸۱۱	۰/۰۳۷۶	۰/۳۱۷۷	۹

همان‌طور که در جدول (۵-۸) مشاهده می‌شود، در نتیجه رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل، گروه ریسک‌های اقتصادی به عنوان مهم‌ترین گروه ریسک و گروه ریسک‌های اجتماعی به عنوان گروه ریسک با اهمیت کم ارزیابی شده است.

۵-۴-۲. رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

در این مرحله به منظور رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ایجاد نمودار سلسله مراتبی مسئله است که معمولاً به ترتیب در آن، هدف، معیارها (در صورت وجود زیرمعیارها) و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. نمودار سلسله مراتبی تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های

رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهند. برای این منظور یک نمایش گرافیکی که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها برای مطالعه موردی نشان داده شده و در شکل (۵-۲) به نمایش در آمده است.



شکل (۵-۲) نمودار سلسله مراتبی مربوط رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه

در مرحله دوم برای رتبه‌بندی گروه ریسک‌های موجود در پروژه با توجه به نظرات افراد خبره و متخصص، ماتریس مقایسه زوجی بین معیارهای مختلف بر اساس جدول (۵-۹) به دست می‌آید.

جدول (۵-۹) طبقه‌بندی کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی معیارها (عطائی، ۱۳۹۳)

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)		امتیاز عددی
اهمیت مطلق	Extremely Preferred	۹
اهمیت خیلی قوی	Very strongly Preferred	۷
اهمیت قوی	Strongly Preferred	۵
اهمیت ضعیف	Moderately Preferred	۳
اهمیت یکسان	Equal	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	Intermediate values between the two adjacent judgments	۸و۶،۴،۲

در نتیجه ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها به صورت جدول (۵-۱۰) ارائه شده است.

جدول(۵-۱۰) ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	۱	۰/۳۷۴۵	۳/۶۷۱	۰/۳۵۳۳	۰/۳۱۶۴	۳/۳۳۴
C_2	۲/۶۷۱	۱	۴/۸۳۳	۰/۸۶۲۰	۰/۵۹۸۸	۴/۱۶۶
C_3	۰/۲۷۲۴	۰/۲۰۷۰	۱	۰/۲۷۲۴	۰/۲۶۱۰	۰/۸۶۲۰
C_4	۲/۸۳۳	۱/۱۶۶	۳/۶۷۱	۱	۰/۸۶۲۰	۲/۶۷۱
C_5	۳/۱۶۶	۱/۶۷۱	۳/۸۳۳	۱/۱۶۶	۱	۴/۱۶۶
C_6	۰/۳۰۰۳	۰/۲۴۰۳	۱/۱۶۶	۰/۳۷۴۵	۰/۲۴۰۳	۱

در گام بعد وزن عناصر محاسبه می‌شود که برای این منظور با تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، باید اولویت معیارهای مختلف برای رسیدن به هدف تعیین شود. در جدول‌های (۵-۱۱) تا (۵-۱۶) مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف آورده شده است. از نرم افزار Super Decisions جهت انجام محاسبات و همچنین جهت محاسبه وزن‌ها از روش میانگین هندسی استفاده شده است.

جدول (۵-۱۱) مقایسه زوجی پارامتر مدیریت‌پذیری

مدیریت پذیری	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	وزن
A_1	۱	۲/۱۶۶	۷/۶۷۱	۱/۸۳۳	۴/۵۰۱	۰/۲۶۳	۱/۱۶۶	۰/۱۱۳	۳/۵۱۰	۳/۶۷۱	۰/۰۸۷۹
A_2	۰/۴۶۲۹	۱	۷/۵۰۱	۱	۲/۳۳۴	۰/۲۲۹۸	۰/۵۹۸۸	۰/۱۰۷۱	۱/۶۷۱	۳/۸۳۳	۰/۰۸۹۸
A_3	۰/۱۳۰۵	۰/۱۳۳۳	۱	۰/۱۴۹۲	۰/۱۵۷۹	۰/۱۰۹۱	۰/۱۲۲۵	۰/۱۰۳۵	۷/۸۳۳	۰/۱۷۱۵	۰/۰۱۴۲
A_4	۰/۵۴۶۴	۱	۶/۶۷۱	۱	۲/۶۷۱	۰/۲۱۴۱	۰/۵۴۶۴	۰/۱۰۷۱	۲/۶۷۱	2/833	۰/۰۵۷۸
A_5	۰/۲۲۲۱	۰/۴۳۲۹	۶/۳۳۴	۰/۳۷۴۵	۱	۰/۱۳۹۶	۰/۲۳۰۹	۰/۱۰۷۱	۰/۵۴۶۴	۱/۱۶۶	۰/۰۲۷۲
A_6	۳/۸۳۳	۴/۳۳۴	۹/۱۶۶	۴/۶۷۱	۷/۱۶۶	۱	۴/۳۳۴	۰/۲۶۱۰	۵/۳۳۴	۶/۸۳۳	۰/۱۹۸۶
A_7	۰/۸۶۲۰	۱/۶۷۱	۸/۱۶۶	۱/۸۳۳	۴/۳۳۴	۰/۲۳۰۹	۱	۰/۱۱۵۳	۲/۸۳۳	۳/۳۳۴	۰/۰۷۹۹
A_8	۸/۸۳۳	۹/۳۳۴	۹/۶۷۱	۹/۳۳۴	۹/۳۳۴	۳/۸۳۳	۸/۶۷۱	۱	۹/۱۶۶	۹/۳۳۴	۰/۳۹۳۲
A_9	۰/۲۸۴۹	۰/۵۸۴۷	۰/۱۲۷۷	۰/۳۷۴۵	۱/۸۳۳	۰/۱۸۷۶	۰/۳۵۳۳	۰/۱۰۹۱	۱	۱/۸۳۳	۰/۰۲۴۷
A_{10}	۰/۲۷۳۲	۰/۲۶۸۸	۵/۸۳۳	۰/۳۵۳۳	۰/۸۶۲۰	۰/۱۴۶۴	۰/۳۰۰۳	۰/۱۰۷۱	۰/۵۴۶۴	۱	۰/۰۲۶۲

جدول (۵-۱۲) مقایسه زوجی پارامتر کیفیت پروژه

کیفیت پروژه	$A_۱$	$A_۲$	$A_۳$	$A_۴$	$A_۵$	$A_۶$	$A_۷$	$A_۸$	$A_۹$	$A_{۱۰}$	وزن
$A_۱$	۱	۰/۱۹۳۷	۰/۲۷۲۴	۰/۵۴۹۴	۰/۸۶۲۰	۰/۳۱۶۴	۱/۱۶۶	۰/۱۸۷۶	۹/۳۳۴	۳/۱۶۶	۰/۰۴۷۸
$A_۲$	۵/۱۶۶	۱	۳/۳۳۴	۵/۱۶۶	۵/۶۷۱	۲/۸۳۳	۷/۳۳۴	۱/۱۶۶	۹/۳۳۴	۷/۳۳۴	۰/۲۵۶۷
$A_۳$	۳/۶۷۱	۰/۳۰۰۳	۱	۳/۳۳۴	۲/۶۷۱	۱	۵/۸۳۳	۰/۲۷۲۴	۸/۶۷۱	۶/۳۳۴	۰/۱۲۹۲
$A_۴$	۱/۸۳۳	۰/۱۹۳۷	۰/۳۰۰۳	۱	۲/۱۶۶	۰/۲۷۲۴	۲/۸۳۳	۰/۲۳۰۹	۸/۶۷۱	۲/۸۳۱	۰/۰۶۵۷
$A_۵$	۱/۱۶۶	۰/۱۷۶۳	۰/۳۷۴۵	۰/۴۶۲۹	۱	۰/۳۵۳۳	۲/۶۷۱	۰/۲۰۷۰	۸/۶۷۱	۲/۸۳۱	۰/۰۵۵۱
$A_۶$	۳/۱۶۶	۰/۳۵۳۳	۱	۳/۶۷۱	۲/۸۳۳	۱	۶/۳۳۴	۰/۴۶۲۹	۹/۱۶۶	۶/۱۶۶	۰/۱۴۰۱
$A_۷$	۰/۸۶۲۰	۰/۱۳۶۴	۰/۱۷۱۵	۰/۳۵۳۳	۰/۳۷۴۵	۰/۱۵۷۹	۱	۰/۱۳۶۴	۶/۶۷۱	۰/۸۶۲۰	۰/۰۳۰۴
$A_۸$	۵/۳۳۴	۰/۸۶۲۰	۳/۶۷۱	۴/۳۳۴	۴/۸۳۳	۲/۱۶۶	۷/۳۳۴	۱	۹/۶۷۱	۷/۱۶۶	۰/۲۳۸۱
$A_۹$	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۷۱	۰/۱۱۵۳	۰/۱۱۵۳	۰/۱۱۵۳	۰/۱۰۹۱	۰/۱۴۹۹	۰/۱۰۳۴	۱	۰/۱۴۶۴	۰/۰۱۰
$A_{۱۰}$	۰/۳۱۶۴	۰/۱۳۶۴	۰/۱۵۷۹	۰/۳۵۳۳	۰/۳۵۳۳	۰/۱۶۲۳	۱/۱۶۶	۰/۱۳۹۶	۶/۸۳۳	۱	۰/۰۲۷۱

جدول (۵-۱۳) مقایسه زوجی پارامتر عملکرد پروژه

عملکرد پروژه	$A_۱$	$A_۲$	$A_۳$	$A_۴$	$A_۵$	$A_۶$	$A_۷$	$A_۸$	$A_۹$	$A_{۱۰}$	وزن
$A_۱$	۱	۰/۱۹۳۷	۰/۲۰۷۰	۳/۶۷۱	۰/۴۶۲۹	۰/۴۶۲۹	۰/۵۹۸۸	۰/۱۳۹۶	۴/۳۳۴	۰/۴۶۲۹	۰/۰۳۸۵
$A_۲$	۵/۱۶۶	۱	۰/۳۳۴	۷/۶۷۱	۵/۱۶۶	۴/۸۳۳	۵/۳۳۴	۰/۳۰۰۳	۸/۶۷۱	۴/۸۳۳	۰/۲۱۴۷
$A_۳$	۴/۸۳۳	۰/۴۲۹۱	۱	۶/۶۷۱	۳/۱۶۶	۲/۸۳۳	۵/۳۳۴	۰/۳۱۶۴	۶/۸۳۳	۳/۳۳۴	۰/۱۵۱۶
$A_۴$	۰/۲۷۲۴	۰/۱۳۰۳	۰/۱۴۹۹	۱	۰/۳۵۳۳	۰/۳۰۰۳	۰/۳۱۶۴	۰/۱۰۷۱	۲/۳۳۴	۰/۳۰۰۳	۰/۰۲۱۲
$A_۵$	۲/۱۶۶	۰/۱۹۳۷	۰/۳۱۶۴	۲/۸۳۳	۱	۰/۷۵۱۸	۲/۳۳۴	۰/۱۶۲۳	۴/۸۳۳	۱/۱۶۶	۰/۰۶۰۸
$A_۶$	۲/۱۶۶	۰/۲۰۷۰	۰/۳۵۳۳	۳/۳۳۴	۱/۳۳۴	۱	۲	۰/۱۷۱۵	۵/۳۳۴	۰/۸۶۲۰	۰/۰۶۶۸
$A_۷$	۱/۶۷۱	۰/۱۸۷۶	۰/۱۸۷۶	۳/۱۶۶	۰/۴۲۹۱	۰/۵۰۱	۱	۰/۱۳۶۴	۳/۳۳۴	۰/۴۶۲۹	۰/۰۴۰۳
$A_۸$	۷/۱۶۶	۳/۳۳۴	۳/۱۶۶	۹/۳۳۴	۶/۱۶۶	۵/۸۳۳	۷/۳۳۴	۱	۹/۶۷۱	۵/۸۳۳	۰/۳۲۷۵
$A_۹$	۰/۲۳۰۹	۰/۱۱۵۳	۰/۱۴۶۴	۰/۴۲۹۱	۰/۲۰۷۰	۰/۱۸۷۶	۰/۳۰۰۳	۰/۱۰۳۴	۱	۰/۲۰۷۰	۰/۰۱۴۹
$A_{۱۰}$	۲/۱۶۶	۰/۲۰۷۰	۰/۳۰۰۳	۳/۳۳۴	۰/۸۶۲۰	۱/۱۶۶	۲/۱۶۶	۰/۱۷۱۵	۴/۸۳۳	۱	۰/۰۶۳۶

جدول (۵-۱۴) مقایسه زوجی پارامتر هزینه پروژه

هزینه پروژه	$A_۱$	$A_۲$	$A_۳$	$A_۴$	$A_۵$	$A_۶$	$A_۷$	$A_۸$	$A_۹$	$A_{۱۰}$	وزن
$A_۱$	۱	۰/۱۰۷۰	۱/۱۶۶	۰/۴۶۲۹	۰/۲۰۷۰	۰/۱۳۹۶	۳/۳۳۴	۰/۱۵۷۹	۶/۳۳۴	۳/۱۶۶	۰/۰۵۱۳
$A_۲$	۹/۳۳۴	۱	۸/۸۳۳	۸/۱۶۶	۴/۸۳۳	۲/۸۳۳	۸/۶۷۱	۳/۱۶۶	۹/۱۶۶	۹/۳۳۴	۰/۳۰۸۰
$A_۳$	۰/۸۶۲۰	۰/۱۱۳۲	۱	۰/۴۶۲۹	۰/۱۸۷۶	۰/۱۴۶۴	۳/۳۳۴	۰/۱۶۲۳	۴/۶۷۱	۲/۸۳۳	۰/۰۳۶۰
$A_۴$	۲/۱۶۶	۰/۱۲۲۵	۲/۱۶۶	۱	۰/۲۷۲۴	۰/۱۵۷۹	۴/۳۳۴	۰/۲۰۷۰	۵/۸۳۳	۴/۳۳۴	۰/۰۵۳۶
$A_۵$	۴/۸۳۳	۰/۲۰۷۰	۵/۳۳۴	۳/۶۷۱	۱	۰/۳۷۴۵	۷/۱۶۶	۰/۴۲۹۱	۸/۸۳۳	۶/۸۳۳	۰/۱۱۷۱
$A_۶$	۷/۱۶۶	۰/۳۵۳۳	۶/۸۳۳	۶/۳۳۴	۲/۶۷۱	۱	۹/۳۳۴	۲/۱۶۶	۹/۱۶۶	۹/۶۷۱	۰/۲۱۲۳
$A_۷$	۰/۳۰۰۳	۰/۱۱۵۳	۰/۳۰۰۳	۰/۲۳۰۹	۰/۱۳۹۶	۰/۱۰۷۰	۱	۰/۱۲۰۰	۲/۸۳۱	۱/۶۷۱	۰/۰۱۹۳
$A_۸$	۶/۳۳۴	۰/۳۱۶۴	۶/۱۶۶	۴/۸۳۱	۲/۳۳۴	۰/۴۶۲۹	۸/۳۳۴	۱	۹/۶۷۱	۸/۶۷۱	۰/۰۱۶۲
$A_۹$	۰/۱۵۷۹	۰/۱۰۹۱	۰/۲۱۴۱	۰/۱۷۱۵	۰/۱۱۳۲	۰/۱۰۹۱	۰/۳۵۳۳	۰/۱۰۳۴	۱	۰/۳۱۶۴	۰/۰۱۱۲
$A_{۱۰}$	۰/۳۱۶۴	۰/۱۰۷۰	۰/۳۵۳۳	۰/۲۳۰۹	۰/۱۴۶۴	۰/۱۰۳۴	۰/۵۹۸۸	۰/۱۱۵۳	۳/۱۶۶	۱	۰/۰۲۴۷

جدول (۵-۱۵) مقایسه زوجی پارامتر احتمال وقوع

احتمال وقوع	$A_۱$	$A_۲$	$A_۳$	$A_۴$	$A_۵$	$A_۶$	$A_۷$	$A_۸$	$A_۹$	$A_{۱۰}$	وزن
$A_۱$	۱	۰/۵۴۶۴	۰/۴۶۲۹	۶/۳۳۴	۳/۱۶۶	۲/۱۶۶	۹/۳۳۴	۰/۲۴۰۳	۸/۶۷۱	۸/۸۳۳	۰/۱۲۸۴
$A_۲$	۱/۸۳۳	۱	۱/۱۶۶	۷/۱۶۶	۳/۳۳۴	۲/۸۳۳	۹/۳۳۴	۰/۳۵۳۳	۸/۱۶۶	۹/۱۶۶	۰/۱۷۲۲
$A_۳$	۲/۱۶۶	۰/۸۶۲۰	۱	۶/۸۳۳	۲/۸۳۳	۳/۱۶۶	۹/۱۶۶	۰/۳۱۶۴	۷/۸۳۳	۸/۶۷۱	۰/۱۶۴۶
$A_۴$	۰/۱۵۷۹	۰/۱۳۹۶	۰/۱۴۶۴	۱	۰/۲۶۱۰	۰/۱۹۳۷	۴/۸۳۱	۰/۱۲۷۷	۳/۳۳۴	۷/۸۳۳	۰/۰۳۳۳
$A_۵$	۰/۳۱۶۴	۰/۳۰۰۳	۰/۳۵۳۳	۳/۸۳۳	۱	۰/۵۴۶۴	۷/۱۶۶	۰/۱۵۷۹	۶/۳۳۴	۸/۶۷۱	۰/۰۷۰۱
$A_۶$	۰/۴۶۲۹	۰/۳۵۳۳	۰/۳۱۶۴	۵/۱۶۶	۱/۸۳۳	۱	۸/۳۳۴	۰/۲۱۴۱	۷/۳۳۴	۸/۸۳۳	۰/۰۹۱۱
$A_۷$	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۷۱	۰/۱۰۹۱	۰/۲۰۷۰	۰/۱۳۹۶	۰/۱۲۰۰	۱	۰/۱۰۳۴	۰/۳۰۰۳	۳/۸۳۳	۰/۰۱۴۲
$A_۸$	۴/۱۶۶	۲/۸۳۳	۳/۱۶۶	۷/۸۳۳	۶/۳۳۴	۴/۶۷۱	۹/۶۷۱	۱	۹/۸۳۳	۹/۶۷۱	۰/۲۹۶۰
$A_۹$	۰/۱۱۵۳	۰/۱۲۲۵	۰/۱۲۷۷	۰/۳۰۰۳	۰/۱۵۷۹	۰/۱۳۶۴	۳/۳۳۴	۰/۱۰۱۷	۱	۵/۸۳۳	۰/۰۲۰۸
$A_{۱۰}$	۰/۱۱۳۲	۰/۱۰۹۱	۰/۱۱۵۳	۰/۱۲۷۷	۰/۱۱۵۳	۰/۱۱۳۲	۰/۲۶۱۰	۰/۱۰۳۴	۰/۱۷۱۵	۱	۰/۰۱

جدول (۵-۱۶) مقایسه زوجی پارامتر زمان پروژه

زمان پروژه	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	وزن
A_1	۱	۰/۲۰۷۰	۲/۱۶۶	۲/۳۳۴	۰/۳۵۳۳	۰/۱۳۶۴	۰/۳۱۶۴	۰/۱۱۳۲	۵/۸۳۳	۰/۷۵۱۸	۰/۰۳۶۶
A_2	۴/۸۳۳	۱	۵/۸۳۳	۶/۱۶۶	۳/۳۳۴	۰/۵۳۳۳	۲/۸۳۳	۰/۱۶۲۳	۹/۳۳۴	۵/۱۶۶	۰/۱۳۸۱
A_3	۰/۴۶۲۹	۰/۱۷۱۵	۱	۲/۱۶۶	۰/۲۶۱۰	۰/۱۳۹۶	۰/۳۷۴۵	۰/۱۰۹۱	۴/۶۷۱	۰/۴۶۲۹	۰/۰۲۸۱
A_4	۰/۴۲۹۱	۰/۱۶۲۳	۰/۴۶۲۹	۱	۰/۲۳۰۹	۰/۱۳۶۴	۰/۳۰۰۳	۰/۱۰۷۱	۵/۱۶۶	۰/۵۴۶۴	۰/۰۲۳۵
A_5	۲/۸۳۳	۰/۳۰۰۳	۳/۸۳۳	۴/۳۳۴	۱	۰/۲۰۷۰	۰/۵۹۸۸	۰/۱۴۶۴	۶/۸۳۳	۳/۱۶۶	۰/۰۷۰۶
A_6	۷/۳۳۴	۲/۸۳۳	۷/۱۶۶	۷/۳۳۴	۴/۸۳۳	۱	۵/۱۶۶	۰/۳۵۳۳	۹/۳۳۴	۷/۱۶۶	۰/۲۲۶۷
A_7	۳/۱۶۶	۰/۳۵۳۳	۲/۶۷۱	۳/۳۳۴	۱/۶۷۱	۰/۱۹۳۷	۱	۰/۱۳۶۴	۶/۶۷۱	۲/۸۳۳	۰/۰۷۳۵
A_8	۸/۸۳۳	۶/۱۶۶	۹/۱۶۶	۹/۳۳۴	۶/۸۳۳	۲/۸۳۳	۷/۳۳۴	۱	۸/۸۳۳	۹/۶۷۱	۰/۳۵۴۲
A_9	۰/۱۷۱۵	۰/۱۰۷۱	۰/۲۱۴۱	۰/۱۹۳۷	۰/۱۴۶۴	۰/۱۰۷۱	۰/۱۴۹۹	۰/۱۱۳۲	۱	۰/۱۷۱۵	۰/۰۱۰۶
A_{10}	۱/۳۳۴	۰/۱۹۳۷	۲/۱۶۶	۱/۸۳۳	۰/۳۱۶۴	۰/۱۳۹۶	۰/۳۵۳۳	۰/۱۰۳۴	۵/۸۳۳	۱	۰/۰۳۷۴

در نهایت امتیاز نهایی گزینه‌ها محاسبه شده است. با توجه به امتیاز هر گروه ریسک ، رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها به شرح جدول (۵-۱۷) به دست آمده است

جدول (۵-۱۷) رتبه‌بندی گروه‌های ریسک بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی

گزینه	گروه ریسک	امتیاز هر گزینه	رتبه
A_1	ریسک‌های زمین شناسی و ژئوتکنیکی	۰/۰۷۰۴	۵
A_2	ریسک‌های فنی	۰/۲۱۴۶	۲
A_3	ریسک فاکتورهای انسانی	۰/۰۹۶۵	۴
A_4	ریسک‌های سازمانی و مدیریتی	۰/۰۴۸۲	۷
A_5	ریسک‌های قراردادی	۰/۰۶۹۲	۶
A_6	ریسک‌های منابع و تجهیزات	۰/۱۵۰۱	۳
A_7	ریسک‌های سیاسی	۰/۰۳۳۰	۸
A_8	ریسک‌های اقتصادی	۰/۲۶۲۸	۱
A_9	ریسک‌های اجتماعی	۰/۰۱۴۸	۱۰
A_{10}	ریسک‌های بلایای طبیعی	۰/۰۲۴۹	۹

در نتیجه رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، گروه ریسک‌های اقتصادی به عنوان مهم‌ترین گروه ریسک و گروه ریسک‌های اجتماعی به عنوان گروه ریسک با اهمیت کم ارزیابی شده است. در نتیجه رتبه‌بندی گروه ریسک‌ها با استفاده از روش‌های شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی، سه گروه ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات به عنوان مهم‌ترین گروه ریسک‌ها و در رتبه‌های اول تا سوم در این رتبه‌بندی‌ها قرار گرفته‌اند. در ادامه با استفاده از نظریه بازی و مدل‌سازی، بدترین حالت وقوع ریسک‌ها در پروژه، رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در سه گروه مذکور و پاسخ‌های مناسب برای ریسک‌های سه گروه اول حاصل از رتبه‌بندی ارائه شده است.

۵-۵. طراحی مدل بازی مورد استفاده

در نظریه بازی‌ها امکانات طرفین بازی و عملی که انجام می‌دهند، مشخص است اما امکان وقوع در هر مرحله با مرحله دیگر بازی، متفاوت است. به همین دلیل بازی بهینه‌سازی در شرایط نامعین است و بنابراین می‌توان بازی را به صورت مدل ریاضی نظریه تصمیم در شرایط تصادم تعریف کرد. به دلیل شرایط نامعین در تونل‌سازی و ریسک‌های موجود در پروژه در این قسمت از نظریه بازی استفاده شده است. بازی مورد استفاده در این تحقیق بازی‌های دونفره مجموع صفر است. بازی‌های مجموع صفر، بازی‌هایی هستند که ارزش آن در طول بازی ثابت می‌ماند و کاهش یا افزایش پیدا نمی‌کند. در این بازی‌ها، سود یک بازیکن با زیان بازیکن دیگر همراه است؛ به عبارت ساده‌تر، یک بازی مجموع صفر، یک بازی برد - باخت مانند دوز است و به ازای هر برنده همیشه یک بازنده وجود دارد. در ادامه به معرفی عناصر اصلی در نظر گرفته شده در بازی این تحقیق پرداخته می‌شود.

۵-۵-۱. اجزای بازی

عناصر اصلی در این بازی عبارت‌اند از:

الف- بازیکن‌ها

بازیکن‌ها فرد یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان را در بر می‌گیرد. بازیکن‌ها می‌توانند شخص، شرکت، دولت، پدیده‌ها و ... باشند. این بازی متشکل از دو بازیکن است که عبارت‌اند از: بازیکن اول ریسک‌های موجود در پروژه

خط ۳ متروی قطار شهری مشهد (سه گروه اول حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه، حاصل از رتبه‌بندی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل) و بازیکن دوم گروه عوامل درگیر در پروژه ساخت تونل اعم از کارفرما، پیمانکار و مشاوران است.

ب- استراتژی‌های هرکدام از بازیکن‌ها

در نظریه بازی، استراتژی یا راهبرد یک بازیکن در یک بازی، مجموعه‌ای کامل از اعمالی است که در هر موقعیت انجام می‌دهد. استراتژی یک بازیکن بیان کننده اعمالی است که بازیکن در هر مرحله از بازی، برای هر مجموعه از اعمالی که بازیکن قبل از این مرحله انجام داده، انتخاب می‌کند. ترکیب استراتژی، مجموعه‌ای از استراتژی‌های هر بازیکن است که به طور کامل همه اعمال در یک بازی را بیان می‌کند.

استراتژی‌های بازیکن اول در این تحقیق عبارت‌اند از:

x_1: ریسک ضمانت و کیفیت تجهیزات فروشندگان

x_2: ریسک آسیب به وسایل و تجهیزات

x_3: ریسک انبارهای ایمنی و نگهداری

x_4: ریسک دسترسی به موقع به وسایل و تجهیزات

x_5: ریسک ناشی از تغییرات نرخ ارز

x_6: ریسک ناشی از تورم

x_7: ریسک ناشی از مشکلات تأمین مالی

x_8: ریسک ناشی از پرداخت نکردن به موقع صورت وضعیت‌ها

x_9: ریسک مونتاژ ماشین حفاری

x_{10}: ریسک مربوط به سگمنت‌ها

x_{11}: ریسک اضافه حفاری

x_{12}: ریسک هدایت نادرست دستگاه

x_{13}: ریسک خسارت وارده بر تأسیسات زیربنایی

$x_{۱۴}$: ریسک عدم آب‌بندی تونل

$x_{۱۵}$: ریسک عملیات ناقص و ناکافی تزریق

استراتژی‌های بازیکن دوم (پاسخ به ریسک‌ها) اختیار شده برای تحقیق عبارت است از:

$y_{۱}$: تأمین دوغاب تزریق طبق مشخصات فنی و با مقادیر کافی

$y_{۲}$: سلامت اجزای سیستم عملیات تزریق(پمپ‌ها، خطوط تزریق) و انجام تزریق همزمان با پیشروی

$y_{۳}$: استفاده از اپراتور و کارکنان مجرب و آموزش‌دیده در نصب سگمنت و آموزش اپراتورهای موجود

$y_{۴}$: انجام کنترل مضاعف نقشه‌برداری در طول‌های مشخص جهت اطمینان از مسیر صحیح ماشین حفار

$y_{۵}$: شناسایی و تمهیدات معارض مسیر

$y_{۶}$: رعایت و اجرای صحیح و به موقع دستورالعمل‌های فنی حفاری به منظور محدودسازی نشست‌های القایی ناشی از حفاری تونل (فشار سینه کار، تزریق پشت سگمنت)

$y_{۷}$: ارزیابی و مقایسه حجم خروجی مصالح با حجم تئوری حفاری و استفاده از سیستم‌های کنترلی وزن و حجم مصالح حفاری (مانند اسکنر لیزری روی نوار نقاله و ...)

$y_{۸}$: آب‌بندی مناسب تونل

$y_{۹}$: اتصال‌دهنده مناسب و تأیید کیفیت شده برای اتصال سگمنت

$y_{۱۰}$: به‌کارگیری گروه مونتاژ حرفه‌ای و با تجربه دستگاه و تجهیزات حفاری

$y_{۱۱}$: اخذ تضمین و گارانتی کافی از فروشندگان وسایل و تجهیزات مورد نیاز و بکار گرفته شده

$y_{۱۲}$: انجام و رعایت استانداردهای بین‌المللی، ملی و کارخانه‌ای در انتخاب محصول و اجرای برنامه کنترل کیفی قبل و بعد از خرید وسایل و تجهیزات مورد نیاز

$y_{۱۳}$: رعایت اصول ایمنی و بهداشت (HSE)

$y_{۱۴}$: بیمه کردن تجهیزات

$y_{۱۵}$: گروه پشتیبانی قوی برای دسترسی به موقع به تجهیزات و پیش‌بینی نیازهای آینده به تجهیزات و اقدام به موقع جهت تأمین آن‌ها

y_{16}: رعایت استانداردها و اصول فنی در ساخت انبارها

y_{17}: پیش‌بینی خریدهای خارجی موردنیاز و اقدام جهت انجام آن در اسرع وقت

y_{18}: استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه

۵-۵-۲. حل بازی مطرح شده

در یک بازی دونفره مجموع صفر متناهی، راه‌حل‌های متفاوت تعادل نش، مینیماکس و ماکسیمین راه‌حل یکسان به دست می‌دهند. در همه راه‌حل‌ها، بازیکن‌ها بر اساس یک استراتژی ترکیبی بازی می‌کنند. مراحل حل بازی مورد نظر در جدول (۵-۱۹) ارائه شده است.

جدول (۵-۱۹) مراحل حل بازی

گام اول: ابتدا بررسی می‌شود آیا بازی مورد نظر دارای نقطه زینی است؟ در صورت وجود نقطه زینی و برابری مقادیر ماکسیمین و مینیماکس پاسخ بازی به دست می‌آید و در غیر این صورت، از استراتژی‌های مختلط استفاده می‌شود.
گام دوم: اگر مقدار عایدی‌ها منفی باشد، یک ثابت دلخواه $C \geq -(maximin) + 1$ به هر عنصر از عناصر ماتریس پیامد اضافه می‌شود.
گام سوم: عناصر موجود در ترانهاده ماتریس پیامد بازی به عنوان ضرایب قیودی متغیرهای تصمیم مسئله اولیه در نظر گرفته می‌شود.
گام چهارم: در این مرحله مسئله برنامه‌ریزی خطی به دست آمده از گام سوم حل شده و با حل بازی، مقدار بهینه تابع هدف و مقادیر متغیرهای تصمیم محاسبه می‌شوند.

بازی مورد نظر به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&N = \{A, B\} \\
&S_A^C = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \\
&S_B^C = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\} \\
&u_A(A_i, B_j) = a_{ij} \\
&u_B(A_i, B_j) = b_{ij}
\end{aligned}
\qquad (۵-۱۲)
$$

که در رابطه بالا B بازیکن اول (ریسک‌های موجود در پروژه) و A بازیکن دوم (گروه عوامل درگیر در پروژه) است. S_A^C و S_B^C مجموعه راهکارهای هرکدام از بازیکن‌ها است که به طور کامل معرفی شده است. همچنین a_{ij}، میزان پیروزی بازیکن A در حالتی که A راهکار i ام و B راهکار j ام را انتخاب می‌کند و b_{ji} میزان پیروزی B در حالتی که B راهکار j ام و A راهکار i ام را انتخاب می‌کند.

در این بازی بایستی بعد از ساختن مدل ریاضی، موقعیتی را یافت که میزان برد برای بازیکن A حداکثر و میزان برد برای بازیکن B حداقل شود. در صورتی که بازیکن A یکی از راهکارهای خود را انتخاب کند، پیامدی معادل یکی از عناصر سطر i ام ماتریس پیامد به دست می‌آورد؛ بنابراین اگر بازیکن A راهکار A_i را بر می‌گزیند، بازیکن B راهکاری را در نظر می‌گیرد که میزان پیروزی A را حداقل کند. بنابراین:

$$a_i = min_{1\le j\le n} a_{ij} \,, (1 \le i \le m) \qquad (۱۳-۵)$$

که مقدار a_i توان ثمربخشی انتخاب راهکار A_i توسط بازیکن A است. درواقع، زمانی که بازیکن A یکی از راهکارهای خود را انتخاب می‌کند، بازیکن B، راهکاری که کمترین مقدار از مجموعه‌ی $a_{i1}, a_{i2}, \dots a_{in}$ را در پی داشته باشد، انتخاب می‌کند تا کمترین سود را برای بازیکن A به همراه داشته باشد؛ بنابراین برای هر راهکار بازیکن A یک توان ثمربخشی تعریف می‌شود. بازیکن A از میان این مقادیر حداقل a_i ها، برای سود بیشتر خود، حداکثر مقدار را انتخاب می‌کند. بنابراین

$$a = \max_{1\le i\le m} a_i \qquad (۱۴-۵)$$

بنابراین مقدار ماکسیمین برای بازیکن A به صورت رابطه زیر است.

$$a = \max_{1\le i\le m} \min_{1\le j\le n} a_{ij}$$

با توجه به هدف بازی که پیروزی بازیکن A با بیشترین سوددهی است حال اگر بازیکن B یکی از راهکارهای خود را انتخاب کند از طرفی، با هر انتخاب بازیکن B، بازیکن A، راهکاری را انتخاب می‌کند که میزان پیروزی‌اش حداکثر شود، بنابراین:

$$\beta_j = \max_{1\le i\le m} a_{ij} \,, (1 \le i \le n) \qquad (۱۵-۵)$$

مقدار β_j توان عدم ثمربخشی انتخاب راهکار B_j توسط بازیکن B است. بازیکن B باید B_j را طوری انتخاب کند که β_j متناظر با آن، کمترین مقدار را در میان تمام مقادیر موجود داشته باشد.

$$\beta = \min_{1\le j\le n} B_j \qquad (۱۶-۵)$$

بنابراین مقدار مینیماکس برای بازیکن B به صورت زیر است.

$$\beta = \min_{1\le j\le n} \max_{1\le i\le m} a_{ij} \qquad (۱۷-۵)$$

پرسشنامه‌های تهیه شده برای به دست آوردن جدول پیامد توسط ۵ متخصص و فرد نخبه تکمیل گردیده که مشخصات و سمت افراد متخصص در جدول(۵-۲۰) آورده شده است. همچنین نمونه پرسشنامه‌های مورد نظر در پیوست ب ارائه شده است.

جدول (۵-۲۰) مشخصات گروه کارشناسان و متخصصین شرکت کننده در نظرسنجی

ردیف	مسئولیت کارشناس	تحصیلات
۱	کارشناس دفتر فنی و کنترل کیفیت پروژه	کارشناس ارشد
۲	کارشناس مسئول خدمات مهندسی حفاری مکانیزه	دکترا
۳	مدیر مهندسی پروژه خط ۳	دکترا
۴	مسئول حفاری مکانیزه	کارشناسی
۵	مسئول بازرسی تونل	کارشناسی ارشد

با توجه به راهکارهای بازیکنان، ماتریس پیامد بازی موردنظر به دست می‌آید. ماتریس پیامد حاصل به صورت جدول (۵-۲۱) به دست آمده است.

جدول (۵-۲۱) ماتریس پیامد

ریسک / پاسخ ریسک	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	min
y_1	۰	۰	۰	۱۰	۲	۸	۸	۸	۰	۰	۸	۸	۸	۵	۱۰	۰
y_2	۰	۵	۷	۷	۲	۳	۳	۵	۵	۸	۸	۸	۸	۶	۹	۰
y_3	۰	۱۰	۰	۸	۰	۰	۰	۵	۲	۱۰	۰	۰	۷	۱۰	۷	۰
y_4	۱۰	۸	۹	۹	۰	۰	۵	۵	۰	۲	۳	۸	۱۰	۰	۲	۰
y_5	۰	۰	۸	۸	۰	۰	۵	۵	۰	۰	۰	۴	۶	۰	۰	۰
y_6	۰	۷	۵	۰	۰	۵	۷	۷	۵	۵	۸	۱۰	۸	۸	۷	۰
y_7	۷	۸	۰	۷	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۸	۸	۸	۸	۲	۰
y_8	۸	۸	۲	۸	۷	۷	۷	۷	۰	۰	۵	۰	۵	۱۰	۱۰	۰
y_9	۸	۸	۳	۸	۲	۰	۰	۳	۵	۱۰	۰	۵	۵	۵	۰	۰
y_{10}	۷	۷	۵	۷	۰	۸	۴	۸	۱۰	۸	۷	۷	۷	۷	۷	۰
y_{11}	۱۰	۷	۷	۳	۵	۵	۶	۷	۸	۷	۵	۵	۵	۷	۵	۳
y_{12}	۱۰	۸	۱۰	۰	۸	۴	۴	۴	۸	۵/۵	۰	۰	۰	۵	۲	۰
y_{13}	۰	۷	۱۰	۷	۰	۲	۲	۵	۵	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_{14}	۱۰	۱۰	۷	۷	۰	۳	۳	۳	۱۰	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_{15}	۳	۵	۷	۸	۳	۳	۳	۳	۱۰	۰	۴	۴	۵	۵	۵	۰
y_{16}	۰	۷	۱۰	۸	۰	۰	۰	۴	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_{17}	۵	۰	۸	۸	۱۰	۸	۷	۷	۱۰	۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
y_{18}	۰	۰	۷	۳/۵	۸	۷	۷	۷	۱۰	۴	۰	۰	۰	۳	۰	۰
max	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۸	۸	۸	۱۰	۱۰	۸	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	

با توجه به جدول (۵-۲۱) مقدارهای ماکسیمین و مینیماکس به دست می‌آید.

$$max\ min\ a_{ij} = ۳$$

$$minmax a_{ij} = ۸$$

نقطه زینی نقطه‌ای است که استراتژی‌های وابسته به این نقطه برای هر دو طرف بازی قابل‌قبول است. در واقع، نقطه زینی در یک ماتریس بازی در ستون خودش بیشترین و در سطر خودش کمترین مقدار را دارد. با توجه به جدول (۵-۲۳) و مقادیر مینیماکس و ماکسیمین، نقطه زینی وجود نداشته و بایستی از راهکارهای مخلوط استفاده شود. برای این منظور مسئله انتخاب راهکارها به صورت صفر و یک بررسی نشده بلکه فرم احتمالی در نظر گرفته می‌شود. زیرا در فرم صفر و یک فقط یکی از راهکارها انتخاب می‌شود.

برای مثال اگر اولین راهکار برگزیده شود احتمال‌ها به صورت (۰ , … , ۰, ۱) است یا اگر دومین راهکار انتخاب شود احتمال‌ها به صورت (۰ , … , ۱, ۰) است چنین دیدگاهی به مسئله، یک دیدگاه صفر و یک است و با توجه به اینکه هدف در این بازی، به دست آوردن جواب‌ها بر اساس درجه اهمیت است و نه به صورت صفر و یک، بنابراین راهکارها از حالت محض خارج شده و برای هر راهکار احتمالی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مجموعه راهکارهای A و B با این شکل جدید به فرم زیر خواهند بود:

مجموعه راهکارهای مخلوط بازیکن A $S_A = \{(x_1, x_2, \dots, x_m) | \sum_{i=1}^{m} x_i = 1, \quad p_i \geq 0\}$

مجموعه راهکارهای مخلوط بازیکن B $S_B = \{(y_1, y_2, \dots, y_m) | \sum_{i=1}^{m} y_i = 1, \quad q_i \geq 0\}$

کلیه مراحل ذکر شده در جدول (۵-۲۲) برای حل بازی با استفاده از نرم‌افزار متلب[1] کد نویسی شده است. متلب یک زبان برنامه‌نویسی با قابلیت بالا برای انجام محاسبات فنی است و یکی از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای مهندسی به شمار می‌رود که دارای امکانات زیادی برای رسم اشکال هندسی، مدل‌سازی نرم‌افزارهای مهندسی، پردازش تصویر، ترسیم داده‌ها و انجام محاسبات مهندسی و پژوهشی است. جواب بهینه مسئله، مقادیر q_j^* و p_i^* محاسبه و در جدول‌های (۵-۲۲) و (۵-۲۳) ارائه شده است.

[1] Matlab

جدول(۵-۲۲) مقادیر q_j^* محاسبه شده

q_j^*	مقادیر محاسبه شده
q_1^*	۰/۹۳۰۶ e$^{-۹}$
q_2^*	۰/۹۱۹۳ e$^{-۱۰}$
q_3^*	۰/۰۵۵۷
q_4^*	۰/۲۴۸۳ e$^{-۱۰}$
q_5^*	۰/۰۰۱۶
q_6^*	۰/۱۰۴۸
q_7^*	۰/۲۹۸۳
q_8^*	۰/۲۵۳۲ e$^{-۱۰}$
q_9^*	۰/۵۰۲۷ e$^{-۱۰}$
q_{10}^*	۰/۱۸۲۸ e$^{-۱۰}$
q_{11}^*	۰/۲۷۹۲ e$^{-۱۰}$
q_{12}^*	۰/۵۱۱۲ e$^{-۱۰}$
q_{13}^*	۰/۵۲۵۲ e$^{-۱۰}$
q_{14}^*	۰/۲۰۴۲ e$^{-۱۰}$
q_{15}^*	۰/۲۲۹۳ e$^{-۱۰}$
q_{16}^*	۰/۱۷۴۷
q_{17}^*	۰/۲۸۸۰ e$^{-۱۰}$
q_{18}^*	۰/۳۷۴۵
q_0^*	۴/۷۶۳۲

جدول(۵-۲۳) مقادیر p_i^* محاسبه شده

p_j^*	مقادیر محاسبه شده
p_1^*	۰/۳۹۴۵ e^{-15}
p_2^*	۰/۲۵۰۳
p_3^*	۰/۰۱۳۷
p_4^*	۰/۳۱۲۶
p_5^*	۰/۱۱۱۵ e^{-14}
p_6^*	۰/۳۰۱۱ e^{-15}
p_7^*	۰/۳۲۱۴
p_8^*	۰/۹۰۳۵ e^{-14}
p_9^*	۰/۰۱۵۶
p_{10}^*	۰/۱۶۶۵ e^{-14}
p_{11}^*	۰/۱۹۰۶ e^{-15}
p_{12}^*	۰/۲۲۳۳ e^{-15}
p_{13}^*	۰/۰۵۲۰ e^{-14}
p_{14}^*	۰/۰۱۶۸
p_{15}^*	۰/۱۶۰۹ e^{-16}
p_0^*	۴/۷۶۳۲

همان‌طور که قابل مشاهده است، جدول (۵-۲۲) مقادیر بهینه مربوط به بازیکن دوم (گروه عوامل درگیر در پروژه ساخت تونل) و جدول (۵-۲۳) مقادیر بهینه مربوط به بازیکن اول (ریسک‌های موجود در پروژه) را نشان می‌دهد. نظر به اینکه جواب‌های نهایی بهینه برای هر دو بازیکن برابر است ($q_0^* = p_0^*$) و این دلیلی بر صحت نتایج حاصل از حل یک بازی ماتریسی دو نفره مجموع صفر است؛ بنابراین صحت نتایج به دست آمده در جدول‌های (۵-۲۲) و (۵-۲۳) مورد تأیید قرار می‌گیرد.

در برخی موارد اطلاعات کافی در مورد اندازه، وسعت احتمالی و پیامدهای ریسک‌ها وجود ندارد. در این شرایط باید مبنا را بر بدترین سناریو و حالات ممکن قرار داده شود. در دنیای کنونی دلایل زیادی وجود دارد که در اغلب موارد مبنای تحلیل ریسک و برنامه ریزی مدیریت بحران باید بدترین سناریوی ممکن باشد. بسیاری از بحران‌های

بزرگ سال‌های اخیر نمونه‌هایی هستند که بدترین وضعیت ممکن به وقوع پیوسته است ولی تحلیل‌گران ریسک و همچنین برنامه ریزان مدیریت بحران چنین وضعیتی را در محاسباتشان در نظر نگرفته بوده‌اند. با توجه به نتایج حاصل از حل بازی مطرح شده، سناریوی بدترین حالت وقوع ریسک‌ها در پروژه به صورت جدول (۵-۲۴) ارائه شده است.

جدول (۵-۲۴) بدترین حالت وقوع ریسک پروژه بر اساس درجه اهمیت

ریسک	درجه اهمیت
مشکلات تأمین مالی	۰/۳۲۱۴
دسترسی به موقع به وسایل و تجهیزات	۰/۳۱۲۶
آسیب به وسایل و تجهیزات	۰/۲۵۰۳
عدم آب‌بندی تونل	۰/۰۱۶۸
مونتاژ ماشین حفاری	۰/۰۱۵۶
ایمنی انبارها و نگهداری تجهیزات	۰/۰۱۳۷

سناریوی بدترین حالت، یک مفهوم در مدیریت و ارزیابی ریسک برای برنامه‌ریز است. برنامه‌ریزی برای فجایع بالقوه، در نظر گرفتن بدترین حالت ممکن است که احتمال وقوع در شرایط خاص را دارا است. یک سناریوی بدترین حالت، به طور رایج، یک برنامه‌ریزی استراتژیک برای آمادگی و به حداقل رساندن احتمال وقوع اتفاقی آن در موارد با اهمیت است. به دست آوردن سناریوی بدترین حالت وقوع ریسک با استفاده از نظریه بازی یکی از دلایل اهمیت و برتری این روش نسبت به سایر روش‌های موجود در مدیریت ریسک است. مطابق با جدول (۵-۲۴) بدترین حالت در پروژه مورد نظر، وقوع این ریسک‌ها با درجه اهمیت‌های ذکر شده است. میزان تخصیص منابع و پاسخ به ریسک‌ها بایستی با توجه به درجه اهمیت هر ریسک صورت گیرد.

رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در گروه‌های ریسک‌های اقتصادی، فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات بر اساس درجه اهمیت در جدول (۵-۲۵) بیان شده است. با انجام رتبه‌بندی، ارجحیت هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها بر اساس درجه اهمیت مشخص و در نتیجه می‌توان در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک بر اساس درجه اهمیت هر ریسک و پاسخ به آن برنامه‌ریزی نمود. از این رو باید با تخصیص منابع بیشتر برای ریسک‌های با درجه اهمیت بالاتر، درصدد رفع یا کم رنگ کردن اثرات مخرب این ریسک‌ها بر اهداف پروژه بود.

جدول (۵-۲۵) رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در گروه ریسک اقتصادی، فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات بر اساس درجه اهمیت

رتبه ریسک	ریسک	درجه اهمیت
۱	مشکلات تأمین مالی	۰/۳۲۱۴
۲	دسترسی به موقع به وسایل و تجهیزات	۰/۳۱۲۶
۳	آسیب به وسایل و تجهیزات	۰/۲۵۰۳
۴	عدم آب‌بندی تونل	۰/۰۱۶۸
۵	مونتاژ ماشین حفاری	۰/۰۱۵۶
۶	ایمنی انبارها و نگهداری تجهیزات	۰/۰۱۳۷
۷	پرداخت به موقع صورت وضعیت‌ها	۰/۹۰۳۵ $e^{-۱۴}$
۸	ریسک مربوط به سگمنت‌ها	۰/۱۶۶۵ $e^{-۱۴}$
۹	ریسک ناشی از تغییرات نرخ ارز	۰/۱۱۱۵ $e^{-۱۴}$
۱۰	خسارت وارده بر تأسیسات زیربنایی	۰/۰۵۲۰ $e^{-۱۴}$
۱۱	ضمانت و کیفیت تجهیزات فروشندگان	۰/۳۹۴۵ $e^{-۱۵}$
۱۲	تورم	۰/۳۰۱۱ $e^{-۱۵}$
۱۳	هدایت نادرست دستگاه	۰/۲۲۳۳ $e^{-۱۵}$
۱۴	اضافه حفاری	۰/۱۹۰۶ $e^{-۱۵}$
۱۵	عملیات ناقص و ناکافی تزریق	۰/۱۶۰۹ $e^{-۱۶}$

همان‌طور که مشاهده می‌گردد ریسک مشکلات تأمین مالی در رتبه اول به لحاظ درجه اهمیت در بین ریسک‌های موجود قرار گرفته و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعد بر اساس درجه اهمیت قرار گرفته‌اند. پیمانکار باید در زمان تحویل اسناد بررسی شده مناقصه، حامی مالی پروژه و روش تأمین مالی بودجه پروژه را مشخص کند. در نتیجه حامی مالی پروژه موظف است که تأمین بودجه پروژه را به گونه‌ای تدارک ببیند که باعث مشکل در اجرای پروژه نشود. البته مسئولیت این ریسک قبل از شروع پروژه به عهده کارفرما و گروه آن هست، زیرا باید به گونه‌ای اسناد مناقصه را ارزیابی کنند تا از وجود چنین ریسکی در آینده پروژه اجتناب شود. در نتیجه با توجه به موقعیت پروژه از نظر زمانی، مسئولیت افراد در مقابل ریسک‌ها متفاوت است و مسئولیت‌ها در طول زمان کاهش یا افزایش می‌یابند.

ارائه پاسخ به ریسک‌های دارای اولویت بر اساس درجه اهمیت انجام شده است. پس از شناسایی ریسک‌های اصلی و عوامل تأثیرگذار در وقوع آن‌ها و رتبه‌بندی ریسک‌ها و تجارب موجود از سایر پروژه‌ها، راهکارهای زیر جهت کاهش

و کنترل ریسک‌های موجود در پروژه تونل‌سازی مطالعه موردی برای ۳ گروه اول ریسک حاصل از رتبه‌بندی (ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی، ریسک‌های فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات) ارائه شده است. رتبه‌بندی استراتژی‌های بکار رفته برای پاسخ به ریسک‌ها بر اساس درجه اهمیت در جدول (۵-۲۶) آورده شده است.

جدول(۵-۲۶) رتبه‌بندی پاسخ به ریسک‌های موجود در گروه‌های ریسک اقتصادی، فنی و منابع و تجهیزات بر اساس درجه اهمیت

رتبه	پاسخ به ریسک	درجه اهمیت
۱	استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه	۰/۳۷۴۵
۲	ارزیابی و مقایسه حجم خروجی مصالح با حجم تئوری حفاری و استفاده از سیستم‌های کنترلی وزن و حجم مصالح حفاری (مانند اسکنر لیزری روی نوار نقاله و ...)	۰/۲۹۸۳
۳	رعایت استانداردها و اصول فنی در ساخت انبارها	۰/۱۷۴۷
۴	رعایت و اجرای صحیح و به موقع دستورالعمل‌های فنی حفاری به منظور محدودسازی نشست-های القایی ناشی از حفاری تونل (فشار سینه کار، تزریق پشت سگمنت)	۰/۱۰۴۸
۵	استفاده از اپراتور مجرب و آموزش دیده در نصب سگمنت و آموزش اپراتورهای موجود	۰/۰۵۵۷
۶	شناسایی و تمهیدات معارض مسیر	۰/۰۰۱۶
۷	تأمین دوغاب طبق مشخصات فنی و با مقادیر کافی	۰/۹۳۰۶ e^{-9}
۸	سلامت اجزای سیستم عملیات تزریق (پمپ، خطوط تزریق) و انجام تزریق هم زمان با پیشروی	۰/۹۱۹۳ e^{-10}
۹	رعایت اصول ایمنی و بهداشت (HSE)	۰/۵۲۵۲ e^{-10}
۱۰	انجام و رعایت استانداردهای بین‌المللی، ملی و کارخانه‌ای در انتخاب محصول و اجرای برنامه کنترل کیفی قبل و بعد از خرید وسایل و تجهیزات مورد نیاز	۰/۵۱۱۲ e^{-10}
۱۱	اتصال‌دهنده مناسب و تأیید کیفیت شده برای اتصال سگمنت	۰/۵۰۲۷ e^{-10}
۱۲	پیش‌بینی خریدهای خارجی مورد نیاز و اقدام و انجام آن در اسرع وقت	۰/۲۸۸۰ e^{-10}
۱۳	اخذ تضمین و گارانتی کافی از فروشندگان وسایل و تجهیزات مورد نیاز و به کارگرفته شده	۰/۲۷۹۲ e^{-10}
۱۴	آب‌بندی مناسب تونل	۰/۲۵۳۲ e^{-10}
۱۵	انجام کنترل مضاعف نقشه‌برداری در طول‌های مشخص جهت اطمینان از مسیر صحیح ماشین حفار	۰/۲۴۸۳ e^{-10}
۱۶	گروه پشتیبانی قوی برای دسترسی به موقع به تجهیزات و پیش‌بینی نیازهای آینده به تجهیزات و اقدام به موقع جهت تأمین آن‌ها	۰/۲۲۹۳ e^{-10}
۱۷	بیمه کردن تجهیزات	۰/۲۰۴۲ e^{-10}
۱۸	به‌کارگیری گروه مونتاژ حرفه‌ای و با تجربه دستگاه و تجهیزات حفاری	۰/۱۸۲۸ e^{-10}

بر اساس جدول (۵-۲۶) استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه در رتبه نخست به لحاظ درجه اهمیت در بین پاسخ‌ها قرار گرفته و سایر پاسخ‌ها در رتبه‌های بعد بر اساس درجه اهمیت قرار گرفته‌اند. پیمانکار موظف است برنامه‌ای که تهیه می‌کند بر اساس اطلاعات صحیح باشد تا باعث عدم قطعیت‌ها در پروژه نشود. همچنین کارفرما می‌تواند با بررسی جامع طرح‌های ارائه شده در مناقصه از پذیرفتن مواردی که تأمین مالی آن‌ها دارای عدم قطعیت‌های زیادی است اجتناب کند تا از این طریق رخداد این ریسک را از پروژه خود دور کند.

کارفرما می‌تواند برای اینکه پروژه دچار تأخیرات نشود و زودتر به بازدهی خود برسد، در بخش تأمین مالی به پیمانکار کمک کند و از طریق فروش سهام و همچنین گرفتن وام‌های دولتی، اثر ریسک را کاهش دهد. با توجه به شرایط اجرای پروژه پیمانکار نمی‌تواند این مسئولیت خود را به هیچ روش طبق قرارداد به شخص یا ارگان دیگری واگذار کند و از آنجا که این ریسک از اثرات زیادی برخوردار است پذیرش آن عملاً به مفهوم تأخیرات زیاد زمانی و افزایش هزینه نهایی پروژه است.

با توجه به کاربرد نظریه بازی در مسائل مهم تصمیم‌گیری و مسائل مهندسی از جمله امنیت شبکه‌های کامپیوتری، بررسی اعتبار قراردادهای مهم از جمله قراردادهای بزرگ نفتی، مسائل اقتصادی، مدیریت ریسک، صنعت برق و صنعت رباتیک و تطبیق نتایج حاصله در این پروژه‌ها با مقادیر واقعی، اهمیت کاربرد نظریه بازی و صحت نتایج حاصله از آن را به اثبات می‌رساند. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج واقعی حاصل از حفاری تونل خط ۳ قطار شهری مشهد، گزارش‌های کار در زمینه‌های مورد نظر مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از بررسی‌ها با نتایج حاصل، بر صحت و نزدیکی محاسبات با واقعیت تأکید دارد.

۵-۶. جمع‌بندی

در این فصل به کمک نظریه بازی‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و با ارائه یک مدل جدید برای مدیریت ریسک در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد به منظور تعمیم و بهبود روش‌های قبلی پرداخته شده است. ابتدا رتبه‌بندی گروه ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش های تصمیم‌گیری چند معیاره شباهت به گزینه ایده‌آل و تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است که گروه‌های ریسک اقتصادی، فنی و منابع و تجهیزات در رتبه‌های اول تا سوم قرار

گرفتند. سپس برای ارزیابی ریسک‌های موجود در گروه‌های مذکور از نظریه بازی استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده ریسک مربوط به مشکلات تأمین مالی به عنوان مهم‌ترین ریسک در این پروژه مشخص و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعدی به لحاظ درجه اهمیت قرار گرفتند. همچنین استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه نیز به عنوان مهم‌ترین پاسخ به ریسک در این پروژه به لحاظ درجه اهمیت است. سایر پاسخ نیز در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۶-۱. نتیجه‌گیری

تونل‌سازی و عملیات ساختمانی زیرزمینی در همه قسمت‌های درگیر در پروژه، تحت تأثیر ریسک هستند و عدم قطعیت‌های بی‌شماری طراحی سازه‌های زیرزمینی را احاطه نموده است. در کنار پیشرفت‌هایی که در ساخت فضاهای زیرزمینی در چند دهه اخیر به وجود آمده است، طراحان تونل هنوز نگران ریسک‌هایی هستند که تونل‌سازی را در بر می‌گیرد. ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های پرمخاطره نظیر پروژه‌های تونل‌سازی از جمله اقدامات ضروری برای مدیریت و ارائه پاسخ به ریسک‌های مرتبط است. این امر مستلزم شناسایی و تعیین مجموعه عوامل ریسک‌زا است که در این تحقیق مجموعه ریسک‌ها برای پروژه‌های تونل‌سازی، در دو دسته کلی ریسک‌های منابع داخلی و ریسک‌های منابع خارجی و در قالب ۱۰ سطح و ۶۰ زیر سطح دسته‌بندی شده است.

در این تحقیق با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به راه‌حل ایده‌آل، رتبه‌بندی گروه‌های ریسک موجود در پروژه تونل‌سازی خط ۳ قطار شهری مشهد انجام شده است. نتایج حاصل از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه ایده‌آل نشان دهنده آن است که ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های مربوط به مسائل فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات رتبه‌های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند و دارای بالاترین اهمیت هستند. همچنین ریسک‌های اجتماعی، ریسک‌های سیاسی و ریسک‌های بلایای طبیعی به عنوان کم اهمیت‌ترین گروه ریسک‌ها در این رتبه‌بندی قرار گرفتند.

با توجه به این‌که مدیریت صحیح ریسک، نیازمند درک درستی از ریسک‌های پیش روی پروژه است بنابراین این امر فراتر از لیست کردن ریسک‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس معیارهای مؤثر بر پروژه است که استفاده از نظریه بازی‌ها همراه با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره یکی از گزینه‌های جدید و مناسب برای مدیریت ریسک در تونل است.

در ادامه به کمک نظریه بازی‌ها با ارائه یک مدل جدید برای مدیریت ریسک در پروژه ساخت یا بهره‌برداری تونل به‌منظور تعمیم و بهبود روش‌های قبلی پرداخته شد. با توجه به نتیجه رتبه‌بندی گروه‌های ریسک با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، شباهت به راه‌حل ایده‌آل و حل بازی مطرح شده، سناریوی بدترین حالت وقوع ریسک‌ها در پروژه با رخ دادن ریسک‌های مشکلات تأمین مالی با درجه اهمیت ۰/۳۲۱۴، دسترسی به موقع به وسایل و تجهیزات

با درجه اهمیت ۰/۳۱۲۶، آسیب به وسایل و تجهیزات با درجه اهمیت ۰/۲۵۰۳، عدم آب‌بندی تونل با درجه اهمیت ۰/۰۱۶۸، مونتاژ ماشین حفاری با درجه اهمیت ۰/۰۱۵۶ و انبارهای ایمنی و نگهداری با درجه اهمیت ۰/۰۱۳۷ رخ خواهد داد.

به دست آمدن سناریوی بدترین حالت وقوع ریسک با استفاده از حل نظریه بازی یکی از دلایل اهمیت و برتری این روش نسبت به سایر روش‌های موجود در مدیریت ریسک است. رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در ۳ گروه اول ریسک حاصل از رتبه‌بندی (ریسک‌های ناشی از عوامل اقتصادی، ریسک‌های فنی و ریسک‌های منابع و تجهیزات) بیان شده است. بر اساس نتایج به دست آمده ریسک مربوط به مشکلات تأمین مالی به عنوان مهم‌ترین ریسک و ریسک عملیات ناقص و ناکافی تزریق به عنوان ریسک با درجه اهمیت کم در این پروژه مشخص شده و سایر ریسک‌ها در رتبه‌های بعدی به لحاظ درجه اهمیت قرار گرفتند.

همچنین رتبه‌بندی راهکارهایی جهت کاهش و کنترل ریسک در پروژه تونل‌سازی برای ۳ گروه اول ریسک حاصل از رتبه‌بندی بیان شده است که استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه به عنوان مهم‌ترین پاسخ به ریسک در این پروژه به لحاظ درجه اهمیت است. سایر پاسخ نیز در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. با انجام این رتبه‌بندی‌ها، ارجحیت هر ریسک در مقابل سایر ریسک‌ها بر اساس درجه اهمیت مشخص و در نتیجه تصمیم‌گیرنده می‌تواند در مورد میزان تخصیص منابع موجود برای مقابله با هر ریسک بر اساس درجه اهمیت هر ریسک و پاسخ به آن برنامه‌ریزی نماید. از این رو باید با تخصیص منابع بیشتر برای ریسک‌های با درجه اهمیت بالاتر، در صدد رفع یا کم رنگ کردن اثرات مخرب این ریسک‌ها بر اهداف پروژه صورت گیرد.

۶-۲. پیشنهادها

پس از اتمام تحقیقات و با توجه به اهمیت ریسک در پروژه‌های حفاری مکانیزه در محیط‌های شهری، پیشنهادهای ذیل ارائه می‌گردد:

- به کارگیری مدل‌های خاص و جدید قراردادی برای تأمین مالی طرح‌های زیرزمینی با توجه به نتایج ارزیابی ریسک، این طرح‌ها پیشنهاد می‌شود.

- ارزیابی ریسک پروژه‌های تونل‌سازی با استفاده از ترکیب منطق فازی و نظریه بازی‌ها.
- از بازی‌های فازی برای ارزیابی ریسک پروژه‌های تونل سازی استفاده شود.
- مدل‌سازی با استفاده از سایر بازی‌های موجود همچون بازی‌های همکارانه و استفاده از نظریه چانه‌زنی.
- پیشنهاد می‌گردد در بازه‌های زمانی مختلف پروژه تمامی ارکان مؤثر در پیشرفت پروژه به عنوان مثال برای خط ۴ متروی مشهد، شهرداری، راهنمایی و رانندگی، سازمان ترافیک، قطار شهری، کارفرما، مشاوران و پیمانکاران در جلساتی برای ارزیابی ریسک‌های پروژه گرد هم آیند و نظرات و اقدامات کاهنده ریسک از دیدگاه‌های مختلف ارائه نمایند و موارد جهت اجرا ارائه گردد.
- انجام تحقیق مشابه در سایر خطوط مترو و در صورت امکان در خطوط متروی سایر شهرها جهت مقایسه ریسک‌های موجود در این خطوط.

فهرست منابع

اردلان، مرتضی، و فاطمه حیدری. ۱۳۹۵. ریسک‌های مرتبط با بلایای طبیعی، تغییر شرایط جوی، رویدادهای ناشی از دخالت بشر و تهدیدات امنیتی. تهران: موسسه انتشاراتی مشق شب.

اصغرپور، محمد جواد. ۱۳۹۲. تصمیم‌گیری چند معیاره. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

اصغرپور، محمد جواد. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

ایزدی، حسین، و مجتبی فاضلی. ۱۳۹۶. «شناسایی و مدیریت ریسک بلایای طبیعی و انسان ساخت حاصل از احداث سدها با استفاده از تکنیک AHP مطالعه موردی سد هراز شهرستان آمل.» فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران ۱ (۸): ۷۰-۸۲.

پرچمی، مجید، عزت الله تقی‌زاده و بهروز ساقی. ۱۳۹۰. «بررسی تخصیص قراردادی ریسک ها در شرایط عمومی پیمان.» نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی ۴۶ (۳): ۳۹-۵۰.

جعفری، محمد جواد، و نورالدین قراری. ۱۳۸۸. «آنالیز ریسک تی بی ام به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن.» پوستر ارائه شده در هشتمین کنفرانس تونل ایران، تهران.

حسنی پاک، علی اصغر، و محمدرضا خالصی. ۱۳۸۲. مدیریت خطا و ریسک در اکتشاف. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

حیاتی، محمد. ۱۳۸۸. «مدیریت ریسک در پروژه های ساخت تونل.» پایان‌نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

خدامی‌پور، احمد، و رامین محرومی. ۱۳۹۴. «مدیریت ریسک سازمانی، عوامل تعیین کننده و ارزش اجرای آن.» نشریه پژوهش حسابداری ۲ (۵): ۱۵-۳۰.

دفتر فنی، واحد کنترل پروژه شرکت بهره‌برداری قطار شهری مشهد. ۱۳۹۵. گزارش آشنایی با حفاری تونل پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد.

رمضان نیا، رسول، محمد عطائی، و حسین میرزائی نصیرآباد. ۱۳۹۴. «اولویت‌بندی ریسک‌های زمین‌شناسی در تونل سازی مکانیزه با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی.» نشریه علمی پژوهشی روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن ۵ (۱۰): ۴۹-۶۲.

روزبهی، صادق، و خدیجه جدا. ۱۳۸۷. مدیریت ریسک پروژه با استفاده از نرم‌افزار Pertmaster. تهران: انتشارات کیان رایانه سبز.

سلطانی محمدی، سعید، محمد صابر زمزم، حسن بخشنده امنیه، احسان موسوی، و هادی مختاری. ۱۳۹۴. «ارزیابی و تحلیل ریسک مخاطرات پروژه حفاری مکانیزه تونل خط ۷ متروی تهران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره.» نشریه مهندسی عمران شریف شماره ۳۳ (۱): ۸۱-۸۸.

سلیم پور، نعمت اله، مترجم. ۱۳۹۵. راهنمای مدیریت ریسک در معادن. نوشته مکنسی. ۲۰۰۹. تهران: قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیا- قرب نوح.

سیاوشی، حسین. ۱۳۸۹. «فرآیند مدیریت ریسک در پروژه های تونل سازی با استفاده از نرم افزار Pertmaster.» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

صیادی، احمد، محمد حیاتی، و مسعود منجزی. ۱۳۹۰. «مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک‌های MADM» نشریه مدیریت صنعتی ۳ (۷): ۹۹-۱۱۶.

عبدالمحمدی، رسول. ۱۳۸۷. فرآیند کاربردی مدیریت ریسک پروژه خودآموز نرم‌افزار Pertmaster. تهران: انتشارات مرکز آموزشی و تحقیقات صنعتی ایران.

عبدلی، قهرمان. ۱۳۹۳. نظریه بازی‌ها و کاربردهای آن. تهران: انتشارات مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی.

عسکری‌زاده، محمد، سهراب محمدنیا قرایی، و مجتبی ظهور. ۱۳۸۹. «برنامه ریزی مدیریت بلایا و مخاطرات محیطی در راستای توسعه پایدار.» پوستر ارائه شده در چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.

عطائی، محمد. ۱۳۹۳. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عطائی، محمد. ۱۳۹۵. مدیریت ریسک. شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

عماد، مصطفی. ۱۳۸۸. «ارزیابی ریسک در پروژه های حفاری مکانیزه تونل های مترو از منظر مسائل ژئوتکنیکی.» پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران.

قدسی پور، حسن. ۱۳۸۶. برنامه‌ریزی چند هدفه. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قلی‌پور، آرین، و الهام ابراهیمی. ۱۳۹۵. «مدیریت ریسک منابع انسانی.» نشریه علمی پژوهش‌های مدیریت عمومی 32 (۹): ۷۳-۹۶.

گوگردچیان، احمد، سعید فتحی، هادی امیری، و نسرین سعیدی. ۱۳۹۴. «تحلیل مقایسه‌ای تاثیر ریسک سیاسی بر توسعه بازار سهام کشورهای منتخب.» فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری ۱۵(۴): ۱۳۵-۱۵۶.

مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار. ۱۳۹۶. آموزش شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک برای مسئولین ایمنی کارگاه‌ها. تهران: انتشارات وزارت کار و رفاه اجتماعی.

معینی، محمدرضا. ۱۳۸۱. «مدیریت ریسک اجتماعی.» مجله مجلس و پژوهش ۳۳ (۸): ۲۷-۵۰.

ملکوتی، جواد، و وحید غریبی. ۱۳۹۱. «تجزیه و تحلیل ریسک عملیات حفاری مکانیزه با استفاده از روش ردیابی انرژی و آنالیز مانع.» نشریه سلامت کار ایران ۱۰ (۲): ۸۷-۹۸.

نصیرزاده، فرناد. مهدی روح‌پرور، و حامد مازندرانی‌زاده. ۱۳۹۳. «تخصیص کمی ریسک در پروژه‌های ساخت با رویکرد نظریه بازی‌های همکارانه.» نشریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت ۱ (۱): ۶۱-۷۴.

نظارت، حمیدرضا، فرهنگ سرشکی و محمد عطائی. ۱۳۹۱. «مدیریت ریسک تونل سازی مکانیزه با نگاهی بر عوامل زمین‌شناسی.» ارائه شده در دومین همایش مدیریت بحران در صنعت ساختمان، شریان‌های حیاتی و سازه های زیر زمینی، مرکز پژوهشی مهندسی بحران های طبیعی شاخص سازان، اصفهان.

نویدی، حمیدرضا، و سعید کتابچی. ۱۳۹۰. مدخلی بر نظریه بازی‌ها. تهران: مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شاهد.

Aliahmadi, A., Sadjadi, S. J., Jafari-Eskandari, M. (2011). “Design a new intelligence expert decision making using game theory and fuzzy AHP to risk management in design, construction, and operation of tunnel projects (case studies: Resalat tunnel).” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *53*(5), 789-798.

Allen, N., Ocenosak, D. (2008). “Analyzing Risk and Cost to Society of Tunnel Alternatives”. In *NASTT No-Dig Conference, Fl-04*.

Bowles, S., 2009. *Microeconomics: behavior, institutions, and evolution*. Princeton University Press.

Chou, H.S., Yang, C.Y., Hsieh, B.J. and Chang, S.S., 2001. A study of liquefaction related damage on shield tunnels.*Tunnelling and Underground Space Technology*, *16*(3), pp.185-193.

Cleland, D., Ireland, L. (2007). *Project Manager's Handbook*. McGraw Hill Professional.

Elsayed, E.A., Shaik Dawood, A.K. and Karthikeyan, R., 2017. "Evaluating Alternatives through the Application of Topsis Method with Entropy Weight". *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) Vol*, *46*(2).

El-Sayegh, S. M. (2008). "Risk assessment and allocation in the UAE construction *industry". International journal of project management, 26(4), 431-438.*

Fouladgar, M. M., Yadani-Chamzini, A., Basiri, M. H. (2011). "Risk evaluation of tunneling projects by fuzzy Topsis". In *International conference on management*, No. 1, pp. 1219-1232.

Gafari, M., Aminzadeh, R., (2015) "Identify and Analyze the Risks Involved in Tunnel Projects". *Current World Environment, 1102-1108.*

Gakis, A., Salak, P., St. John, A. (2015). "Innovative geotechnical risk management for SCL tunnels". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, *168*(5), 385-395.

Gandit, M., Kouabenan, D. R., Caroly, S. (2009). "Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users". *Safety science*, *47*(1), 105-114.

Ghoseiri, K., Szidarovszky, F. and Asgharpour, M.J., 2003. "A two-person conflict model in train scheduling". *International Game Theory Review*, *5*(02), pp.105-125.

Ghosh, S. and Jintanapakanont, J., 2004. "Identifying and assessing the critical risk factor in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach". *International Journal of Project Management*, *22*(8), pp.633-643.

Grasso, P., Mahtab, M., Kalamaras, G., Einstein, H. H. (2002). "On the development of a risk management plan for tunnelling". In*Proc. AITES-ITA Down under*.

Guide, P.M.B.O.K., 2004. "A guide to the project management body of knowledge". In *Project Management Institute* (Vol. 3), 356-358.

Haghshenas, S. S., Mikaeil, R., Sirati Moghadam, P. (2017). "A new model for evaluating the geological risk based on geomechanical properties—case study: the second part of emamzade hashem tunnel". *Electron J Geotech Eng*, *22*(01), 309-320.

Hamidi, J. K., Shahriar, K., Rezai, B., Rostami, J., Bejari, H. (2010). "Risk assessment based selection of rock TBM for adverse geological conditions using Fuzzy-AHP". *Bulletin of engineering geology and the environment*, *69*(4), 523-532.

Holt, C. A., Roth, A. E. (2004). "The Nash equilibrium: A perspective". *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *101*(12), 3999-4002.

Hong, E. S., Lee, I. M., Shin, H. S., Nam, S. W., Kong, J. S. (2009). "Quantitative risk evaluation based on event tree analysis technique: application to the design of shield TBM". *Tunnelling and Underground Space Technology*, *24*(3), 269-277.

Isaksson, T. (2002), PhD. Thesis, "Model for estimation of time and cost based on risk evaluation applied on tunnel projects", Division of Soil and Rock Mechanics, Dep. of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden.

Isaksson, T. and Stille, H., 2005. "Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation". *Rock mechanics and rock engineering*, *38*(5), pp.373-398.

Isaksson, T., Reilly, J., Anderson, J. (1999) "Risk mitigation for tunnelling projects – a structured approach". *Challenges for the 21st Century*, ITA Oslo, Norway.

Jakobsen, J. (2010). "Old problems remain, new ones crop up: Political risk in the 21 st century". *Business Horizons*, *53*(5), 481-490.

Kerzner, H., (2003) "Project Management: A System Approach to Planning, Schrduling, and Controlling", 8th ed., New York, Wiley.

Kull, T. J., Talluri, S. (2008). "A supply risk reduction model using integrated multi-criteria decision making". *IEEE Transactions on Engineering Management*, *55*(3), 409-419.

Lamont, D. R., Booth, R. T. (2006). "Occupation as a risk factor in tunneling decompression illness". *Tunnelling and Underground Space Technology*, *21*(3), 280.

Li, Y., Wang, X. and Wang, Y., 2016. Using Bargaining Game Theory for Risk Allocation of Public-Private Partnership Projects: Insights from Different Alternating Offer Sequences of Participants. *Journal of Construction Engineering and Management*, *143*(3), p.04016102.

Liqun, Z., Shihui, L., Lianfu, Z., Lianming, J. (1995). "The analysis and practice of multi-objective decision-making technique for selecting a mining plan". In *Proceedings APCOM XXV Conference, Australia,* pp. 255-259.

Mac Milan, j., (1999), "Games, Strategies & Managers: How Managers Can Use Game Theory to Make Better Business Decision" Oxford University Press, USA.

Medda, F. (2007). "A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships". *International Journal of Project Management, 25*(3), 213-218.

Osborne, M. J. (2004). "An introduction to game theory" Vol. 3, No. 3. New York: Oxford university press.

Pardalos, P., Hearn, D. (2000). "Multi-Criteria Decision Making Methods A Comparative Study". *Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering Louisiana*, U.S.A.

Park, K.H., Soe, M.M. and Kim, Y.J., 2006. A tool for tunneling-induced building damage risk assessment.*Tunnelling and Underground Space Technology*, *21*(3-4).

PMI (Project management institute) (2004) "*A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*", Project management institude Inc. USA.

Pritchard, C. L., PMP, P. R. (2014). "*Risk management: concepts and guidance*". CRC Press.

Project Management Institute. (2008) "*A Guide to the Project Management Body of Knowledge*". Pennsylvania. USA.

Qian, Q., Lin, P. (2016). "Safety risk management of underground engineering in China: Progress, challenges and strategies". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *8*(4), 423-442.

Reilly, J., Brown, J. (2004). "Management and control of cost and risk for tunneling and infrastructure projects". *Tunnelling and Underground Space Technology*, *19*(4), 330.

Saaty, T. L., Cho, Y. (2001). "The decision by the US congress on China's trade status: a multicriteria analysis". *Socio-Economic Planning Sciences*, *35*(4), 243-252.

Sánchez, M. A., Foyo, A., Tomillo, C., Iriarte, E. (2007). "Geological risk assessment of the area surrounding Altamira Cave: A proposed Natural Risk Index and Safety Factor for protection of prehistoric caves". *Engineering Geology*, *94*(3), 180-200.

Schlosser, F., Rázga, M., Danišovič, P. (2014). "Risk Analysis in Road Tunnel". *Procedia Engineering*, *91*, 469-474.

Shahriar, K., Sharifzadeh, M., Hamidi, J. K. (2008). "Geotechnical risk assessment based approach for rock TBM selection in difficult ground conditions". *Tunnelling and Underground Space Technology*, *23*(3), 318-325.

Shu-guang, S., Chao-qun, S., Yan-hui, G., Peng, L., Hong-liang, L., (2015). "Risk Analysis for Metro EPB Shield Tunnel Construction", *International Conference on Education, Management and Computing Technology (ICEMCT).*

Smith, I., & Harman, K. W. (2004). "IMS risk evaluation system for financing and insuring tunnel projects". In *Tunnelling and Underground space technology. Underground space for Sustainable urban Development. Proceedings of the 30TH ITA-AITES World Tunnel Congress Singapore*, Vol. 19, No. 4-5.

Smith, N.J., Merna, T. and Jobling, P., (2009). "*Managing risk: in construction projects*". John Wiley & Sons.

Soons, C. J., Bosch, J. W., Arends, G., van Gelder, P. H. A. J. M. 2006. "Framework of a quantitative risk analysis for the fire safety in metro systems". *Tunnelling and Underground Space Technology*, *21*(3), 281-281.

Von Neumann, J. and Morgenstern, O., 2007. *Theory of games and economic behavior*. Princeton.

Watson, J. (2013). "Strategy: an introduction to game theory". WW Norton.

Weger, D. D., Kruiskamp, M. M., Hoeksma, J. (2001). "Road tunnel risk assessment in the Netherlands, TUNprim: A Spreadsheet Model for the Calculation of the Risks in Road Tunnels". In *ESREL 2001, International conference, Torino, Italy September*, pp. 16-20.

Xia, Y., Xiong, Z., Dong, X., Lu, H. (2017). "Risk Assessment and Decision-Making under Uncertainty in Tunnel and Underground Engineering". *Entropy*, *19*(10), 549.

Yan-Hui, G., Zhi-Hua, Y., Shu-Cai, L., Wei, L., Qing-Song, Z. (2009). "Risk Measurement and Control of Water In rush into Qiyue Mountain Tunnel". *Cutting-Edge Research Topics on Multiple Criteria Decision Making*, 523-530.

Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., Mahmoodian, M. (2013). "Risk ranking of tunnel construction projects by using the ELECTRE technique under a fuzzy environment". *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *8*(1), 1-14.

Yoo, C. and Kim, J.H., 2003. A web-based tunneling-induced building/utility damage assessment system: TURISK.*Tunnelling and Underground Space Technology*, *18*(5), pp.497-511.

You, K., Park, Y. and Lee, J.S., 2005. Risk analysis for determination of a tunnel support pattern. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *20*(5), pp.479-486.

پیوست‌ها

پیوست الف

پرسشنامه ذیل برای بررسی اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد تهیه‌شده است. نظر به تجارب ارزشمند جنابعالی در زمینه تونل‌سازی و حفریات زیرزمینی، صمیمانه دعوت می‌شود پرسشنامه ذیل را با زدن علامت تکمیل نمایید. (* با توجه به تعدد مخاطرات مؤثر در تونل سازی، لذا خواهشمند است اگر ریسکی ازنظر دورمانده است، نام آن ریسک را در ستون خالی آورده و سپس، ستون‌های پرسشنامه را پر نمایید.)

سمت و رشته تحصیلی :

عوامل ریسک	معیارها																									
	مدیریت پذیری					احتمال وقوع					تاثیر بر میزان زمان پروژه					تاثیر بر میزان هزینه پروژه					تاثیر بر میزان کیفیت پروژه					تاثیر بر میزان عملکرد پروژه				
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	بیشتر از ٪۸۰	٪۸۰ – ٪۶۰	٪۶۰ – ٪۴۰	٪۴۰ – ٪۲۰	کمتر از ٪۲۰	بیشتر از ٪۸۰	٪۸۰ – ٪۶۰	٪۶۰ – ٪۴۰	٪۴۰ – ٪۲۰	کمتر از ٪۲۰	بیشتر از ٪۸۰	٪۸۰ – ٪۶۰	٪۶۰ – ٪۴۰	٪۴۰ – ٪۲۰	کمتر از ٪۲۰	بیشتر از ٪۸۰	٪۸۰ – ٪۶۰	٪۶۰ – ٪۴۰	٪۴۰ – ٪۲۰	کمتر از ٪۲۰
ریسک های زمین شناسی و ژئوتکنیکی																										
ریسک های فنی (طراحی و ساخت و اجرا)																										
ریسک های فاکتورهای انسانی																										
ریسک های سازمانی و مدیریتی																										
ریسک های برنامه زمان بندی																										
ریسک های قراردادی																										
ریسک های منابع و تجهیزات																										
ریسک های سیاسی																										
ریسک های اقتصادی																										
ریسک های اجتماعی																										
ریسک های بلایای طبیعی																										
*																										

لطفا اهمیت و اولویت معیارهای ذکر شده را با زدن علامت مشخص نمایید																						معیار
مدیریت پذیری					احتمال وقوع					تاثیر بر میزان هزینه پروژه					تاثیر بر میزان کیفیت پروژه					تاثیر بر میزان عملکرد پروژه					تاثیر بر میزان زمان پروژه				
بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	بسیار با اهمیت	با اهمیت	متوسط	کم اهمیت	بسیار کم اهمیت	
																										وزن معیار

پیوست ب

پرسشنامه ذیل برای بررسی پاسخ به ریسک‌های موجود در پروژه خط ۳ قطار شهری مشهد تهیه‌شده است. نظر به تجارب ارزشمند جنابعالی در زمینه تونل‌سازی و حفریات زیرزمینی، صمیمانه دعوت می‌شود پرسشنامه ذیل را با استفاده از اعداد ۰ تا ۱۰ و با توجه به میزان تاثیر عامل پاسخ به ریسک بر روی ریسک مورد نظر کامل فرمایید.(عدد ۰ به معنای عدم تاثیر و عدد ۱۰ به معنای بیشترین و سایر اعداد تاثیرات مابین این دو خواهند بود.)

ریسک / پاسخ به ریسک	ضمانت و کیفیت تجهیزات فروشندگان	آسیب به وسایل و تجهیزات	انبارهای ایمنی و نگهداری	دسترسی به موقع به وسایل و تجهیزات
تأمین دوغاب طبق مشخصات فنی و با مقادیر کافی				
سلامت اجزای سیستم عملیات تزریق(پمپ‌ها، خطوط تزریق) و انجام تزریق هم زمان با پیشروی				
استفاده از اپراتور و پرسنل مجرب و آموزش‌دیده در نصب سگمنت و آموزش اپراتورهای موجود				
انجام کنترل مضاعف نقشه‌برداری در طول‌های مشخص جهت اطمینان از مسیر صحیح ماشین حفار				
شناسایی و تمهیدات معارض مسیر				
رعایت و اجرای صحیح و به موقع دستورالعمل‌های فنی حفاری به‌منظور محدودسازی نشست‌های القایی ناشی از حفاری تونل(فشار سینه کار، تزریق پشت سگمنت)				
ارزیابی و مقایسه حجم خروجی مصالح با حجم تئوری حفاری و استفاده از سیستم‌های کنترلی وزن و حجم مصالح حفاری (مانند اسکنر لیزری روی نوار نقاله و ...)				
آب‌بندی مناسب تونل				
اتصال‌دهنده مناسب و تأیید کیفیت شده برای اتصال سگمنت				
بکارگیری تیم مونتاژ حرفه‌ای و باتجربه دستگاه و تجهیزات حفاری				
اخذ تضمین و گارانتی کافی از فروشندگان وسایل و تجهیزات مورد نیاز و بکار گرفته شده				
انجام و رعایت استانداردهای بین‌المللی، ملی و کارخانه‌ای در انتخاب محصول و اجرای برنامه کنترل کیفی قبل و بعد از خرید وسایل و تجهیزات مورد نیاز				
رعایت اصول ایمنی و بهداشت HSE				
بیمه کردن تجهیزات				
تیم پشتیبانی قوی برای دسترسی به‌موقع به تجهیزات و پیش‌بینی نیازهای آینده به تجهیزات و اقدام به‌موقع جهت تأمین آن‌ها				
رعایت استانداردها و اصول فنی در ساخت انبارها				
پیش‌بینی خریدهای خارجی موردنیاز و اقدام و انجام آن در اسرع وقت				
استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه				

ریسک / پاسخ به ریسک	مونتاژ ماشین حفاری	ریسک مربوط به سگمنت ها	اضافه حفاری	هدایت نادرست دستگاه	خسارت وارده بر تأسیسات زیربنایی	ریسک عدم آب‌بندی تونل	عملیات ناقص و ناکافی تزریق
تأمین دوغاب طبق مشخصات فنی و با مقادیر کافی							
سلامت اجزای سیستم عملیات تزریق(پمپ‌ها، خطوط تزریق) و انجام تزریق هم زمان با پیشروی							
استفاده از اپراتور و پرسنل مجرب و آموزش‌دیده در نصب سگمنت و آموزش اپراتورهای موجود							
انجام کنترل مضاعف نقشه‌برداری در طول‌های مشخص جهت اطمینان از مسیر صحیح ماشین حفار							
شناسایی و تمهیدات معارض مسیر							
رعایت و اجرای صحیح و به موقع دستورالعمل‌های فنی حفاری به‌منظور محدودسازی نشست‌های القایی ناشی از حفاری تونل(فشار سینه کار، تزریق پشت سگمنت)							
ارزیابی و مقایسه حجم خروجی مصالح با حجم تئوری حفاری و استفاده از سیستم‌های کنترلی وزن و حجم مصالح حفاری (مانند اسکنر لیزری روی نوار نقاله و ...)							
آب‌بندی مناسب تونل							
اتصال‌دهنده مناسب و تأیید کیفیت شده برای اتصال سگمنت							
بکارگیری تیم مونتاژ حرفه‌ای و باتجربه دستگاه و تجهیزات حفاری							
اخذ تضمین و گارانتی کافی از فروشندگان وسایل و تجهیزات مورد نیاز و بکار گرفته شده							
انجام و رعایت استانداردهای بین‌المللی، ملی و کارخانه‌ای در انتخاب محصول و اجرای برنامه کنترل کیفی قبل و بعد از خرید وسایل و تجهیزات مورد نیاز							
رعایت اصول ایمنی و بهداشت HSE							
بیمه کردن تجهیزات							
تیم پشتیبانی قوی برای دسترسی به‌موقع به تجهیزات و پیش‌بینی نیازهای آینده به تجهیزات و اقدام به‌موقع جهت تأمین آن‌ها							
رعایت استانداردها و اصول فنی در ساخت انبارها							
پیش‌بینی خریدهای خارجی موردنیاز و اقدام و انجام آن در اسرع وقت							
استفاده از روش نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه							

ریسک / پاسخ به ریسک	ریسک ناشی از تغییرات نرخ ارز	تورم	مشکلات تأمین مالی	پرداخت به موقع صورت وضعیت ها
تأمین دوغاب طبق مشخصات فنی و با مقادیر کافی				
سلامت اجزای سیستم عملیات تزریق(پمپ‌ها، خطوط تزریق) و انجام تزریق هم زمان با پیشروی				
استفاده از اپراتور و پرسنل مجرب و آموزش‌دیده در نصب سگمنت و آموزش اپراتورهای موجود				
انجام کنترل مضاعف نقشه‌برداری در طول‌های مشخص جهت اطمینان از مسیر صحیح ماشین حفار				
شناسایی و تمهیدات معارض مسیر				
رعایت و اجرای صحیح و به موقع دستورالعمل‌های فنی حفاری به منظور محدودسازی نشست‌های القایی ناشی از حفاری تونل(فشار سینه کار، تزریق پشت سگمنت)				
ارزیابی و مقایسه حجم خروجی مصالح با حجم تئوری حفاری و استفاده از سیستم‌های کنترلی وزن و حجم مصالح حفاری (مانند اسکنر لیزری روی نوار نقاله و ...)				
آب‌بندی مناسب تونل				
اتصال‌دهنده مناسب و تأیید کیفیت شده برای اتصال سگمنت				
بکارگیری تیم مونتاژ حرفه‌ای و باتجربه دستگاه و تجهیزات حفاری				
اخذ تضمین و گارانتی کافی از فروشندگان وسایل و تجهیزات مورد نیاز و بکار گرفته شده				
انجام و رعایت استانداردهای بین‌المللی، ملی و کارخانه‌ای در انتخاب محصول و اجرای برنامه کنترل کیفی قبل و بعد از خرید وسایل و تجهیزات مورد نیاز				
رعایت اصول ایمنی و بهداشت HSE				
بیمه کردن تجهیزات				
تیم پشتیبانی قوی برای دسترسی به‌موقع به تجهیزات و پیش‌بینی نیازهای آینده به تجهیزات و اقدام به‌موقع جهت تأمین آن‌ها				
رعایت استانداردها و اصول فنی در ساخت انبارها				
پیش‌بینی خریدهای خارجی موردنیاز و اقدام و انجام آن در اسرع وقت				
استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی در زمان‌های کمبود اعتبار و مشکلات مالی پروژه				

Abstract

Underground spaces are also associated with high risks because of their high uncertainty in geotechnical environments. Most accidents and incidents in these structures are often associated with uncertainty, so the development of risk analysis and management methods and prevention of accidents is essential. More recognition of factors affecting the implementation process can pave the way for this purpose. Risk rating of projects is a key part of the risk assessment stage in the risk management process of each project. Various multi-criteria decision-making methods, as a quantitative approach, are used to allow them to be used in the risk rating issue of each project. In this study, a new model for risk management of the metro line 3 of Mashhad is provided with the help of game theory and multi-criteria decision-making methods. Based on the answers of specialists and experts to the prepared questionnaires, various risk groups identified using TOPSIS and AHP multi-criteria decision-making methods have been ranked. Accordingly, the group of economic risks as the most important risk and social risk group are ranked as the least significant risk in both methods. In the following, the appropriate response to the main risks of the ratings is proposed based on the modeling of the game theory and ranked in terms of importance. Also, the worst risk scenario in the project is identified and the appropriate responses for this state are also expressed in order of importance. The results indicate that the risk of financing problems was identified as the most significant risk in this project, and other risks were ranked in importance in the next ranks. As well as, the use of new financing methods at times of credit scarcity and project financial problems is also considered as the most important response to the risk in this project.

Keywords: *AHP, Game Theory, Multi criteria decision, Risk, TOPSIS,* Tunnel

Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Tunnel and Underground space Engineering

Application of game theory and multi-criteria decision making methods in tunnel risk management (Case study Mashhad Urban Railway Line 3)

By

Mohammad Amin Ghasvareh

Supervisor

Dr. Majid Nikkhah

Advisor

Dr. Nazbanoo Farzaneh Bahalgardi

January 2018