

# شناسایی و رتبه بندی انواع ریسک در پروژه های

## زیرزمینی به روش AHP (نمونه کاربردی: خط ۷ مترو تهران)

مسعود احمدوند،\* حسین اقبالی\*\*

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش: نوع مقاله: پژوهشی

چکیده پروژه های تونل سازی همواره با در دسترس بودن ریسک های بسیار است. بنابراین، با توجه به اهمیت بازرسی که در انواع ریسک ها در این پروژه ها به وجود می آید، ارزیابی آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. مساله ای که در دسترس است، دسته بندی و شدت آنها برای این پروژه است که باید به صورت موردتوجه قرار گیرد. رتبه بندی ریسک ها یا وامتخیر می تواند نقش بسزایی در تصمیم گیری مدیران داشته باشد. ما در این مقاله شناسایی و رتبه بندی انواع ریسک در پروژه های عمرانی از نوع پروژه های زیرزمینی است. تکنیک های مختلف تصمیم گیری با معیارهای چندگانه<sup>۱</sup> (MDCM) از ابزارهای مهم رتبه بندی و ارزیابی است. روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> (PHA) یکی از قوی ترین این تکنیک ها است. در این مطالعه، ۲۴ ریسک مربوط به مطالعه موردی (خط ۷ مترو تهران) با توجه به ۴ شاخص ارزیابی<sup>۳</sup>، ۱۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و در پایان ریسک های: ۱. عدم تأمین قطعات یدکی اصلی و فرسوده بودن ماشین آلات و ۳. تجهیزات و عدم تطابق با استانداردهای روز

جهانی به ترتیب رتبه های اول تا سوم را کسب کردند.

واژگان کلیدی: رتبه بندی، ریسک، پروژه های عمرانی، AHP.

\* مری، مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه غیر انتفاعی ایوان کی، ایوان کی.

\*\* کارشناسی ارشد، ریاضی کاربردی گرایش کنترل و بهینه سازی، دانشگاه فردوسی، مشهد، h.eghbal@eyc.ac.ir

1. Multi Criteria Decision Making

2. Analytical Hierarchy process

فصلنامه مهندسی سیستم و بهره وری، سال اول، شماره ۱، اسفند ۱۳۹۹، ص ۷-۲۹

## مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و نیاز به خدمات بیشتر باعث افزایش درخواست برای فضاهای زیرزمینی شده است. سازه‌های زیرزمینی اغلب به دلیل ایمنی بیشتر و کاهش محدودیت‌های فضا در سطح زمین گسترش روزافزونی پیدا کرده‌اند. تونل‌ها یکی از این فضاها هستند که در صنایع و علوم مختلف از قبیل مهندسی معدن، مترو، راه و راه‌آهن، مقاصد نظامی و دفاعی، انتقال آب و فاضلاب شهری، سدها و ذخیره‌سازی نفت استفاده می‌شوند. پروژه‌های زیرزمینی، به طور عموم پروژه‌های پیچیده با عوامل تأثیرگذار زیادی از جمله شرایط متغیر زمین هستند. بنابراین، اتمام پروژه در چارچوب تعیین‌شده، یعنی: زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی نیازمند شناخت ریسک‌ها، آنالیز و در نهایت، رتبه‌بندی برای پاسخ به آنهاست. شناخت هر چه بیشتر عوامل تأثیرگذار بر روند پروژه می‌تواند راه را برای این منظور هموار کند. پروژه‌های تونل‌سازی همواره با درصد بالایی از ریسک همراه هستند؛ زیرا فعالیت‌های موجود و شرایط خاص اجرایی، عدم قطعیت‌های زیادی را وارد این پروژه‌ها می‌کنند. مدیریت صحیح و به موقع ریسک‌ها موجب به حداقل رساندن احتمال وقوع و یا حذف پیامدهای منفی بر اهداف پروژه، نظیر: زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی می‌شود. بدیهی است که با استفاده از ابزار و روش‌های مدیریتی مناسب، می‌توان در بهینه‌سازی فعالیت‌ها، کاهش و مدیریت ریسک‌ها گام مؤثرتری برداشت. 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. مدیریت صحیح ریسک نیازمند درک درستی از ریسک‌های پیش‌روی پروژه است. این امر فراتر از اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس احتمال وقوع و شدت اثرشان در پروژه است. تعداد زیاد ریسک‌هایی که در طول فرایند مدیریت ریسک تولید می‌شوند، بایستی به گونه‌ای طبقه‌بندی شوند که بتوان آنها را به خوبی شناخت و از آن به عنوان پایه‌ای برای اقدامات مناسب استفاده کرد. پروژه‌های عمرانی، مجموعه‌های کاری غیرتکراری هستند و به شکل ذاتی همواره با تغییر فناوری و ماهیت همراه هستند. این امر باعث می‌شود، حتی هنگامی که در ابتدای پروژه، مدیریت ریسک اعمال می‌شود، در مراحل بعدی هم نیاز به اعمال مدیریت ریسک کاملاً محسوس باقی بماند. عوامل زیادی از جمله تغییر مقادیر کار، تغییر در طرح و یا روش اجرایی، ضعف پیمانکار، تورم، کمبود منابع و همچنین بروز هر نوع ریسک پیش‌بینی‌نشده‌ای باعث افزایش زمان و هزینه در پروژه می‌شود. پروژه‌های تونل‌سازی به دلیل اهمیت آنها در ابعاد بهره‌برداری و همچنین میزان سرمایه‌گذاری هنگفتی که در آنها صورت می‌گیرد، همچنین به لحاظ ماهیت پیچیده و وجود عدم قطعیت‌های فراوان در آنها، از جمله برخورد با شرایط زمین‌شناسی پیش‌بینی‌نشده، بلایای طبیعی مانند: سیل و زلزله و ... از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. شناسایی ریسک‌ها، اولویت‌بندی و تأثیرات متقابل آنها بر روی یکدیگر در تونل به منظور

انجام اقدامات و آمادگی برای مواجه شدن با آنها و انجام تمهیدات لازم در زمینه کاهش و یا حذف ریسک‌های احتمالی امری است که می‌تواند در زمینه مدیریت ریسک یاری‌رسان باشد. اولین گام در فرایند مدیریت ریسک، شناسایی ریسک است. در این زمینه، رویکردهای زیادی برای شناسایی و دسته‌بندی ریسک‌ها پیشنهاد شده است. یکی از اولین تلاش‌ها برای دسته‌بندی ریسک‌ها از سوی شولتز<sup>۱</sup> و همکاران انجام گرفته است (شولتز، ۱۹۸۷). آنان فاکتورها را به دو دسته راهبردی و تاکتیکی دسته‌بندی کرده‌اند. این دو گروه در فازهای مختلف پیاده‌سازی، پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. گروه راهبردی، شامل: مأموریت پروژه، حمایت مدیریت عالی و زمان‌بندی پروژه است؛ در حالی که گروه فاکتورهای تاکتیکی شامل فاکتورهایی مانند: مشاوره سرویس گیرنده، انتخاب و تعلیم پرسنل در کارها و اقدامات بعدی‌شان است. به عنوان مثال، کوپر<sup>۲</sup> و چاپمن<sup>۳</sup> ریسک‌ها را بر اساس ماهیت و شدت‌شان به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کردند (کوپر و چاپمن، ۱۹۸۷). دیاس<sup>۴</sup> و یوانو<sup>۵</sup> منشأ و منابع ریسک را در ۱۰ گروه مختلف دسته‌بندی کرده است (دیاس و یوانو، ۱۹۹۵). این ۱۰ گروه عبارت‌اند از: کشور، حادثه غیرقابل پیش‌بینی، فیزیکی، مالی، ساخت، منافع، پیشرفت و ترقی، تدارکات، توسعه‌ای و ریسک‌های عملیاتی. در سال ۱۹۶۶، ویربا<sup>۶</sup> و همکاران از ترکیب رویکردهای تاه<sup>۷</sup> و همکاران و کوپر و چاپمن استفاده کرده است (ویربا، ۱۹۹۶). رویکرد آنان بدین صورت است که ابتدا ریسک‌ها را به صورت جامع دسته‌بندی و سپس آنها را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کردند. با توجه به اهمیت پروژه‌های تونلی در میان پروژه‌های عمرانی، مطالعات زیادی در زمینه مدیریت و شناسایی ریسک در این نوع پروژه‌ها صورت گرفته است. در مطالعات انجام‌شده موضوع ارزیابی ریسک به ویژه ریسک عملیات ساخت تونل‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در اکثر مطالعات از روش کلاسیک ارزیابی ریسک استفاده شده است. اثر رخداد اغلب بر زمان و یا هزینه پروژه بررسی می‌شود. برخی دیگر از پژوهشگران هزینه و زمان پروژه‌های زیرزمینی و تونل را با لحاظ ریسک به صورت یک تابع احتمالاتی بیان کرده‌اند (کاولو<sup>۸</sup>، ۱۹۸۵). برای رفع محدودیت تعداد معیار در این روش، معیارهای دیگری نظیر: "توانایی سازمان در واکنش به ریسک"، "درجه عدم قطعیت تخمین" نیز در ارزیابی سایر پروژه‌ها مطرح شده‌اند. احتمال و میزان تأثیر بر کیفیت پروژه نیز در رتبه‌بندی به کار برده شده‌اند. معیارهای

1. Schultz
2. Cooper
3. Chapman
4. Dias
5. Ioannou
6. Wirba
7. Tah
8. Covello

تکمیلی دیگری نظیر مدیریت‌پذیری و نزدیکی وقوع ریسک پروژه در برخی از پژوهش‌های دیگر مورد توجه واقع شده‌اند. در زمینه ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، از معیارهای اثرات اجتماعی اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی نیز استفاده کرده‌اند.

ایده اصلی ما در این مقاله، رتبه‌بندی ریسک‌ها پس از شناسایی آنهاست. به عنوان مطالعه موردی، پروژه احداث خط ۷ مترو تهران بررسی شده است. روش‌های زیادی برای رتبه‌بندی وجود دارد. در واقع، رتبه‌بندی یک نوع تصمیم‌گیری است که با توجه به داده‌های حاصل از نظرات نخبگان صورت می‌گیرد. در این مقاله، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی که یک روش کارا از خانواده روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد، استفاده شده است. پیش‌تر مطالعاتی در زمینه کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پیرامون تصمیم‌گیری در پروژه‌های عمرانی صورت گرفته است. به عنوان مثال، می‌توان به انتخاب پیمانکاران با استفاده از روش AHP اشاره کرد. در انتها با توجه به اینکه در روش به‌کار گرفته شده همه ریسک‌ها با توجه به تمامی معیارها به صورت زوجی مقایسه شدند، نتایج واقعی‌تر به دست آمدند.

## ریسک

صنعت ساخت و ساز به طور طبیعی پیچیده است و به علت طرف‌های درگیر آن، روش‌های به‌کار گرفته شده و فعالیت‌های اجراشده، همیشه با ریسک همراه است. ریسک را می‌توان بدین صورت تعریف کرد: «حادثه و رخدادی که می‌تواند اثر منفی بر روی اجزای پروژه شامل هدف، کیفیت، اجرا، برنامه و هزینه پروژه بگذارد». از این نقطه‌نظر، ریسک به عنوان تهدید موفقیت است. در نتیجه، یک رویداد سیستماتیک برای مواجهه با ریسک لازم است. «مواجه شدن با ضرر و یا سود اقتصادی و مالی، صدمه و حادثه جانی و یا تأخیر در اثر عدم قطعیت مربوط به پیامدهای یک فعالیت» تعریف صریح و روشن ریسک است.

ریسک پروژه، رویداد یا وضعیتی غیرقطعی است که در صورت وقوع، اثری مثبت یا منفی بر یک هدف پروژه می‌گذارد. هر ریسک یک علت و در صورت وقوع، یک پیامد دارد. به عنوان مثال، نیاز به یک مجوز، یا کارکنان محدود تخصیص داده شده به پروژه می‌تواند یک علت باشد؛ زیرا ممکن است، اخذ مجوز بیشتر از زمان برنامه‌ریزی شده به طول انجامد یا ممکن است تعداد کارکنان برای انجام آن وظیفه کافی نباشند. در صورتی که هرکدام از این رویدادهای غیرقطعی رخ دهند، پیامدی را بر هزینه، زمانبندی یا کیفیت پروژه خواهند داشت. وضعیت‌های دارای ریسک می‌تواند شامل جوانب محیطی پروژه، همچون شیوه‌های ضعیف مدیریت پروژه یا وابستگی به دست‌اندرکاران خارجی که قابل کنترل نیستند، باشد. ریسک پروژه دربرگیرنده تهدیدهایی بر اهداف پروژه و نیز فرصتهایی

برای بهبود در راستای این اهداف است. منشأ ریسک پروژه در عدم قطعیتی است که در تمام پروژه‌ها موجود است. ریسک‌های معلوم، ریسک‌هایی است که شناسایی و تحلیل شدند و ممکن است بتوان برای آنها برنامه‌ریزی کرد. ریسک‌های نامعلوم، قابل مدیریت نیستند، اگر چه ممکن است مدیران پروژه با به‌کارگیری تجربه‌های پیشین، در پروژه‌های مشابه به آنها بپردازند. در تعریف ریسک، دو دیدگاه وجود دارد: یک دیدگاه به ریسک، فقط به عنوان ضرر و زیان نگاه می‌کند و دیدگاه دوم به ریسک، هم به عنوان ضرر و هم به عنوان سود و منفعت نگاه می‌کند. حاصل این دیدگاه‌ها، تعاریف مختلف در مدیریت ریسک است که در این مقاله، بعد منفی ریسک مد نظر است.

قطعیت هنگامی وجود دارد که تصمیم‌گیرنده بتواند به طور دقیق مشخص کند، در زمان تحت پوشش تصمیم چه رخ می‌دهد. در واقع، او از عاقبت و نتیجه تصمیم خود، در آن بازه زمانی کاملاً مطمئن است. این اعتماد به نفس و یقین در صنعت پیچیده‌ای مثل صنعت ساخت و ساز معمولاً رخ نمی‌دهد. بر اساس نظریه رافتری<sup>۱</sup>، در سال ۱۹۹۴، کلمه عدم قطعیت زمانی به کار می‌رود که موقعیتی را نتوان به صورت احتمال وقوع بیان کرد. بنابراین، تفاوت اصلی عدم قطعیت و ریسک در کمیت آن است. موقعیت‌های ریسکی صفات قابل اندازه‌گیری دارند؛ در حالی که عدم قطعیت این گونه نیست. وقتی قطعیت چنین نیست و نمی‌توان به آن احتمال وقوع نسبت داد، بنابراین، عدم قطعیت، بیمه‌پذیر نیست. عدم قطعیت هنگامی وجود دارد که بیش از یک خروجی محتمل وجود داشته باشد و احتمال هر یک نامشخص باشد. از طرفی دیگر، عده‌ای معتقدند ریسک و عدم قطعیت تفاوت چندانی ندارند و ریسک را چنین تعریف می‌کنند: اتفاقات غیرقطعی که در پروژه‌های عمرانی وجود دارند؛ یعنی شامل: رخدادهای غیر قطعی هم‌ضرر و هم‌فایده است. مواردی مثل: پیچیدگی پروژه، تعداد متغیرهای زیاد، تعدد در انتخاب، تصمیم و اهداف متعدد ریسک را در مورد یک پروژه افزایش می‌دهد. علاوه بر این عوامل، در صورت افزایش طرف‌های درگیر و استفاده از فناوری‌های جدید، افزایش ریسک را بایستی انتظار داشت. ریسک و عدم قطعیت، چه از داخل و چه از خارج در پروژه‌های عمرانی نهفته است.

## مدیریت ریسک<sup>۲</sup>

تاریخچه و موضوع مدیریت ریسک، به زمان‌های اولیه حضور انسان در زمین برمی‌گردد. کاولو<sup>۳</sup> که پیشینه تاریخی ریسک را بررسی کرده است، اشاره می‌کند که اولین علائم مدیریت ریسک به ۳۲۰۰ سال قبل از میلاد، در محل رود دجله و فرات و در میان افرادی به نام آسیپو<sup>۴</sup> بازمی‌گردد.

1. Raftery
2. Risk management
3. Covello
4. Asipu

یکی از فعالیت‌های آنان مشاوره در زمینه ریسک بود. آنان ابعاد مختلف یک مشکل را شناسایی می‌کردند و راهکارهای مختلف ارائه می‌دادند. جامعه آن زمان می‌پنداشت، این گروه اطلاعات خود را از خدایان می‌گیرند. فرایند مدیریت ریسک در چندین دهه گذشته، به علت پیشرفت سریع فناوری، به یک مجموعه از فرایندهای قاعده‌مند و رسمی تبدیل شد. و با این تغییرات، مدیریت ریسک به یک موضوع تخصصی تبدیل شد. مدیریت سیستماتیک ریسک، فواید زیر را به همراه دارد:

- ✓ ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های شناسایی شده،
- ✓ تمرکز کردن بر روی ریسک‌های اساسی،
- ✓ فراهم‌سازی تصمیمات آگاهانه به طور متنوع،
- ✓ حداقل کردن توان وقوع رخداد مضر،
- ✓ کنترل کردن وجه دارای عدم قطعیت،
- ✓ صنعتی کردن نقش شرکت و وظایف افراد در مدیریت ریسک.

### پی‌گیری و کنترل ریسک

این مرحله آخرین مرحله مدیریت ریسک است و شامل کنترل و بازبینی ریسک، فرایند پی‌گیری مستمر و دائمی ریسک‌های شناسایی شده، کنترل ریسک‌های باقیمانده، شناسایی ریسک‌های جدید، حصول اطمینان از اجرای برنامه‌های مرتبط با ریسک و بالاخره ارزیابی میزان اثربخشی آنها برای کاهش ریسک پروژه است. در نتیجه، این بررسی‌ها ممکن است لازم باشد، برنامه مدیریت ریسک پروژه مجدداً اصلاح شود؛ به خصوص در مواقعی که راهکارهای رویارویی با ریسک مؤثر نیست و یا فرضیات اولیه صحیح نبوده باشند. حتی اگر مدیر پروژه مسئول توسعه و اجرای برنامه مدیریت ریسک باشد، مدیران وظیفه‌ای باید به تأثیراتی که ریسک‌ها در هر یک از حوزه‌های مسئولیت آنها دارند، توجه داشته باشند. هر مدیر، وظیفه مسئول اجرای مدیریت و کنترل ریسک پروژه را دارا است. همان طور که پروژه پیش می‌رود و تغییرات اتفاق می‌افتد، در رخداد‌های ریسک نیز تغییراتی نسبت به ارزیابی‌های اولیه اتفاق می‌افتد. بنابراین، مدیر پروژه باید مدیریت ریسک را در مراحل مختلف چرخه حیات پروژه برای کاهش احتمال وقوع و تأثیر ریسک بر پروژه به کار برد. در یک نگاه کلی، فرایند پایش و کنترل ریسک به انجام اقداماتی به شرح زیر می‌پردازد:

- ✓ انتخاب راهبردهای جایگزین واکنش در برابر ریسک،
- ✓ اجرای برنامه‌های اقتضایی،
- ✓ انجام اقدامات اصلاحی،
- ✓ برنامه‌ریزی مجدد مدیریت ریسک پروژه.

### معرفی تونل خط ۷ متروی تهران

پروژه خط هفت متروی تهران یکی از طولانی‌ترین (حدود ۲۷ کیلومتر) و عمیق‌ترین (حدود ۲۷ متر) خطوط متروی شهر تهران است. به لحاظ تفاوت‌های عمده نظیر: عبور از تمامی آبرفت‌های شهر و مواجهه با شرایط ژئوتکنیکی مختلف، عمیق‌تر بودن و فراگیری بخشی از آن در زیر سطح آب زیرزمینی و همچنین روش حفاری مکانیزه، از پروژه‌های خاص مترویی است. این خط مترو، از شهرک امیرالمؤمنین واقع در جنوب شرق تهران در امتداد شرقی - غربی شروع می‌شود و پس از عبور از بزرگراه بسیج و امتداد یافتن در طول بزرگراه شهید محلاتی و اتصال به بزرگراه نواب صفوی، مسیر آن در امتداد شمالی - جنوبی و در طول بزرگراه نواب تغییر می‌یابد، با قطع بزرگراه جلال آل احمد مسیر این خط در امتداد خیابان نصر امتداد پیدا می‌کند و پس از اتصال به میدان صنعت در امتداد بلوار شهید پاک‌نژاد و عبور از میدان سرو، مسیر تونل در امتداد سرو غربی تغییر و تا میدان کاج ادامه می‌یابد.

جدول ۱: مشخصات کلی ابنیه‌های خط ۷ مترو

| ردیف | توضیح                             | واحد    | تعداد/مقدار |
|------|-----------------------------------|---------|-------------|
| ۱    | تعداد ایستگاه‌ها                  | دستگاه  | ۲۸          |
| ۲    | طول سکوی هر ایستگاه               | متر     | ۱۶۰         |
| ۳    | طول تونل با احتساب طول ایستگاه‌ها | کیلومتر | ۲۶/۹        |
| ۴    | واحدهای تهویه بین ایستگاهی        | دستگاه  | ۳۰          |
| ۵    | پست آبکشی                         | دستگاه  | ۲           |
| ۶    | پست برق                           | دستگاه  | ۳           |
| ۷    | پایانه و تعمیرگاه                 | عدد     | ۱           |
| ۸    | پارکینگ                           | عدد     | ۱           |

### چینه‌شناسی سطحی

چینه‌شناسی زیرسطحی زمین در طول مسیر متروی مورد نظر، با نمودارنگاری دقیق مغزه به دست آمده از گمانه‌های مته‌ای و بررسی دیواره چاه‌های دستی مورد بررسی قرار گرفته است. حاصل برداشت‌های صحرائی انجام‌شده در نمودار ژئوتکنیکی گمانه‌ها و برش طولی ژئوتکنیکی مسیر مورد مطالعه، اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات آبرفتی در گستره طرح از ذرات بسیار ریز رس تا تخته سنگ‌های بزرگ را شامل می‌شود که از توزیع دانه‌بندی متغیری در عمق و گسترش افقی برخوردار است؛ به طوری که این مسیر از لایه‌های متناوب خاک‌های ریز و درشت‌دانه تشکیل یافته است که از این نظر، می‌تواند بر طراحی و ساخت پروژه مورد نظر اثرگذار باشد.

## وضعیت آب‌های زیرزمینی

حدود ۶۰ درصد از تونل و ایستگاه‌های قطار شهری با آب‌های زیرزمینی برخورد خواهند داشت. بنابراین، وضعیت آب‌های زیرزمینی نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی و ساخت سازه‌های زیرزمینی مورد نظر ایفا خواهد کرد.

## انواع آبخوان

دو نوع آبخوان شناخته‌شده در گستره طرح وجود دارد که می‌تواند بر روی کارهای عمرانی طرح مورد نظر اثرگذار باشد. این آبخوان‌ها را که در رسوبات آبرفت دامنه‌ای تهران شکل گرفته‌اند، می‌توان آبخوان‌های "اصلی" و "سوار" نامگذاری کرد. آبخوان اصلی در گستره طرح به طور عمده غیرمحصور با ضخامت متغیر است. این آبخوان در بخش شرقی- غربی مسیر، حد فاصل کیلومترهای ۲ و ۱۳ با تونل و ایستگاه‌ها برخورد خواهد داشت. آبخوان سوار که در عمق‌های کم زمین در بخش‌های شمالی گستره طرح شکل گرفته است، از کیلومتر ۱۹ تا انتهای مسیر با تونل و ایستگاه‌ها برخورد خواهد کرد. دلیل تشکیل این آبخوان وجود لایه‌هایی از رسوبات ریزدانه در لابه‌لای رسوبات درشت‌دانه در بخش شمال غربی تهران است.

همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، پروژه‌های تونل‌سازی دارای ویژگی‌های منحصر به فرد مانند: دوره طولانی، فرایندهای پیچیده، محیط نامناسب، شدت مالی و ساختارهای سازمانی پویا هستند. چنین پیچیدگی‌های سازمانی و فناورانه، با احداث تونل در کلان‌شهری چون تهران خطرات را دوچندان می‌کند. جمعیت زیاد، بافت زمین، ترافیک شهری، اعتراضات مردمی، نشست ساختمان‌ها و ... از جمله معضلاتی هستند که با ورود تونل به شهر به بار می‌آیند. اعتبار برآورده‌شده برای اتمام این پروژه، بالغ بر ۱۲۰۰ میلیارد دلار است. اما به‌رغم وجود معضلات ذکرشده در مسیر تونل و همچنین هزینه هنگفت در نظر گرفته شده برای ساخت و اجرای آن، مطالعات کافی در زمینه شناسایی ریسک در مراحل مختلف پروژه انجام نشده است؛ چرا که تاکنون مخاطرات بسیاری به بار آمده که منجر به تأخیر زمانی طولانی و هزینه‌های اضافی شده است. شناسایی دقیق هر یک از این خطرها در ابتدای پروژه می‌توانست کمک بزرگی در زمینه ارائه تمهیدات و راهکارهایی برای کاهش و یا حذف کامل مخاطرات، پیش از رخداد و یا حین وقوع ریسک‌ها باشد. بنابراین، در این پژوهش، با شناسایی دقیق ریسک‌ها در تونل‌سازی در کشور ایران و همچنین اولویت‌بندی آنها، می‌توان گامی در جهت پیشرفت تونل‌سازی برداشت و با ارائه راهکار، تلاشی برای حذف و کاهش ریسک‌ها انجام داد.



### روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>1</sup> AHP یک روش تصمیم‌گیری قوی است. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند فاکتور تصمیم رو به روست می‌تواند استفاده شود. فاکتورهای مطرح‌شده می‌توانند کیفی یا کمی باشند. همچنین تصمیم‌گیری می‌تواند به صورت فردی یا گروهی انجام شود. به علت ساده بودن و در عین حال کاربردی بودن روش پیاده‌سازی AHP در سازمان‌ها و مراکز تصمیم‌گیری نسبت به سایر روش‌های تحقیق در عملیات از موقعیت بیشتری برخوردار بوده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یک روش تصمیم‌گیری است که به وسیله آن می‌توان تصمیمی را که وابسته به معیارهای مختلف و یا تصمیمات چند معیاره است، اتخاذ کرد. به صورت دقیق‌تر می‌توان گفت که از طریق AHP مسئله تصمیم‌گیری ابتدا ساختار داده شد و سپس گزینه‌های مختلف موجود بر اساس معیارهای مطروحه در تصمیم‌گیری با هم مقایسه و اولویت انتخاب هر یک از آنها مشخص شد. در این تحقیق، برای انتخاب تکنیک، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولین بار از سوی توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به علت ماهیت ساده و در عین حال جامعی که دارد، مورد استقبال مدیران و کاربران مختلف واقع شده است و به علاوه در طول بیست سال گذشته از سوی محافل علمی نیز همواره مورد توجه بوده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است؛ زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند؛ همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است. به علاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است.

### اصول فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

توماس ساعتی، چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بیان کرده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است. این اصول عبارت‌اند از:

---

#### 1. Analytic Hierarchy Process

۱. اصل شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد؛ ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر  $1/n$  خواهد بود؛
۲. اصل همگنی: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشد؛ به بیان دیگر، برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد؛
۳. اصل وابستگی: هر عنصر سلسله‌مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد؛
۴. انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله‌مراتبی رخ دهد، پروسه ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

### ساختن سلسله مراتبی

اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. در رأس سلسله‌مراتبی هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. هر چند یک قاعده ثابت و قطعی برای رسم سلسله‌مراتبی وجود ندارد اما برخی افراد سعی کرده‌اند، یک سری قواعد کلی در این زمینه بیان کنند؛ به طور مثال، دایر<sup>۱</sup> و فورمن<sup>۲</sup> بیان می‌کنند که سلسله‌مراتبی ممکن است به یکی از صورت‌های زیر باشد:

- هدف، معیارها، زیر معیارها، گزینه‌ها،
- هدف، معیارها، عوامل، زیر عوامل، گزینه‌ها.

### محاسبه وزن

در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و وزن آنها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها، وزن نسبی نامیده می‌شوند؛ سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود که وزن مطلق نامیده می‌شود. کلیه مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد، به گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت i بر j یکی از حالات زیر است:

- ✓ کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر،
- ✓ ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی،

---

1. dyer  
2. forman

- ✓ ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی،
  - ✓ کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر،
  - ✓ ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان.
- این قضاوت‌ها از سوی ساعتی به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند که در جدول ۲ مشخص شده‌اند.

**جدول ۲: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی**

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

محاسبه وزن در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در دو قسمت جداگانه زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:

✓ وزن نسبی (Local Priority)

✓ وزن نهایی (Overall Priority)

وزن نسبی از ماتریس مقایسه زوجی به دست می‌آید؛ در حالی که وزن مطلق رتبه نهایی هر گزینه است که از تلفیق وزن‌های نسبی محاسبه می‌شود. برای محاسبه وزن‌های عناصر هر سطح نسبت به سطح بالاتری روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱. روش حداقل مربعات،

۲. روش حداقل مربعات لگاریتمی،

۳. روش برداری ویژه،

۴. روش‌های تقریبی.

روش‌های تقریبی به دلیل سادگی، کاربرد بیشتری دارند. یکی از این روش‌ها، روش میانگین حسابی است که شامل گام‌های زیر است:

گام اول: مقادیر هر یک از ستون با هم جمع می‌شوند؛

گام دوم: هر عنصر در ماتریس مقایسه‌ای زوجی را به جمع ستون خودش تقسیم کرده تا

ماتریس مقایسه‌ای زوجی نرمال شود؛

گام سوم: مقدار متوسط (میانگین) عناصر در هر سطر از ماتریس نرمال شده به عنوان وزن آن گزینه نسبت به معیار مربوطه در نظر گرفته می‌شود.  
وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله‌مراتبی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید.

### الگوریتم روش AHP

۱. تشکیل ساختار سلسله‌مراتبی (هدف، معیارها، گزینه‌ها)،
۲. انجام مقایسه‌های زوجی،
۳. به‌هنجار کردن مقایسات زوجی،
۴. به دست آوردن میانگین حسابی هر سطح ماتریس به‌هنجار شده مقایسه‌های زوجی (وزن نسبی)،
۵. ضرب وزن‌های نسبی شاخص‌ها در میانگین حسابی گزینه‌ها،
۶. رتبه‌بندی کردن گزینه‌ها،
۷. سنجش نرخ ناسازگاری.

### محاسبات مربوط به روش AHP

ماتریس مقایسات زوجی (D) را در بردار وزن‌های نسبی ضرب کنید. به بردار به دست آمده، «بردار مجموع وزنی» گفته می‌شود.

$$W \times WSV = D$$

### محاسبه بردار سازگاری (CV):

عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار وزن‌های نسبی تقسیم کنید.

محاسبه بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی ( $\lambda_{\max}$ ) میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌شود.

### محاسبه شاخص ناسازگاری (II):

$$II : \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

### محاسبه نرخ ناسازگاری

$$IR = \frac{II}{IRI}$$

جدول ۳: مقدار IRI بر پایه n

| N | IR   | N  | IR   |
|---|------|----|------|
| ۱ | ۰    | ۶  | ۱/۲۴ |
| ۲ | ۰    | ۷  | ۱/۳۲ |
| ۳ | ۰/۵۸ | ۸  | ۱/۴۱ |
| ۴ | ۰/۹  | ۹  | ۱/۴۵ |
| ۵ | ۱/۱۲ | ۱۰ | ۱/۵۱ |

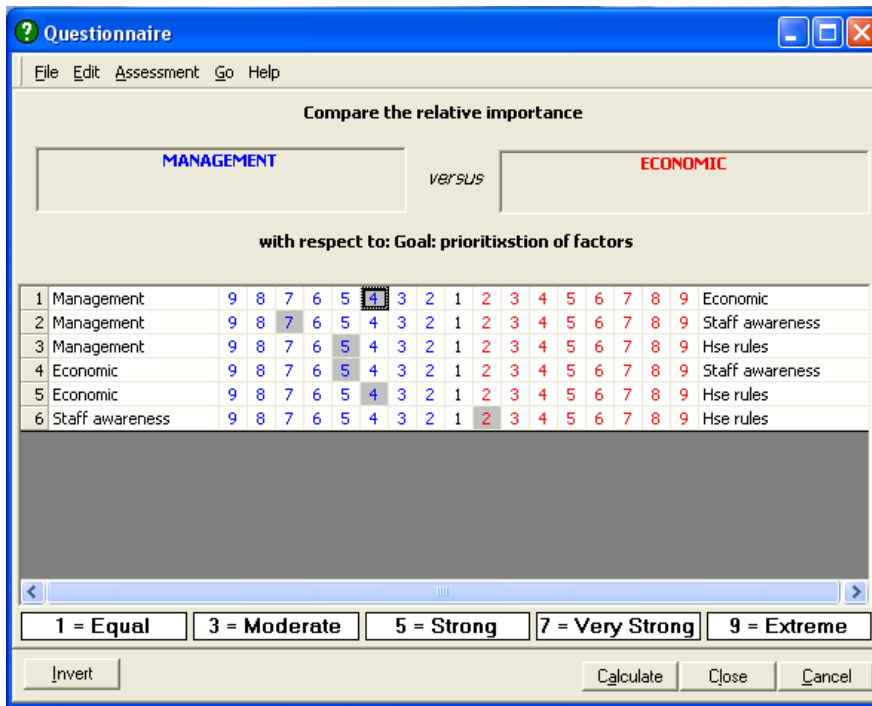
اگر نرخ ناسازگاری، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد؛ ( $IR < 0.1$ )، در مقایسه‌های زوجی سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در این صورت، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسه‌های زوجی بازنگری کند.

### روش انجام کار

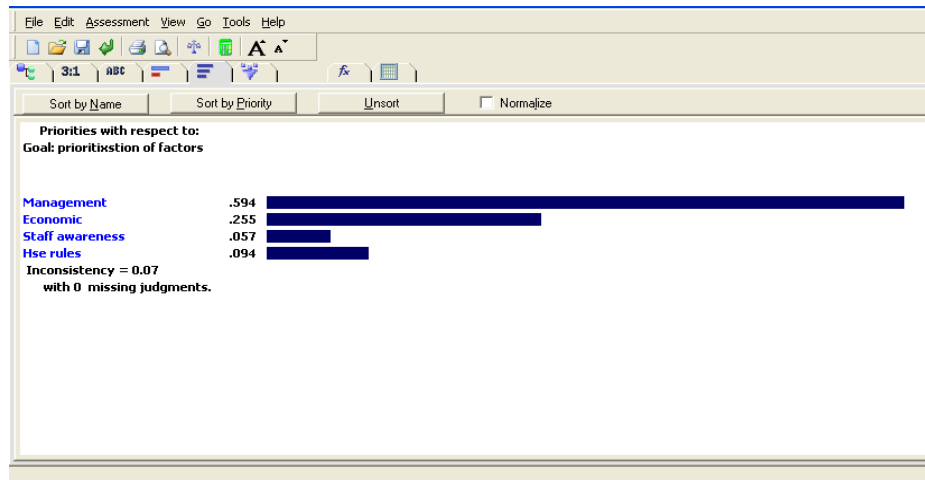
برای علل تأخیر در اجرای پروژه خط ۷ متروی تونل تهران، دو پرسشنامه تهیه شد که بین عوامل درگیر در اجرای پروژه‌های تونل‌سازی شامل مهندسين مشاور، پیمانکار و کارفرما پخش شد. هر یک از این پرسشنامه‌ها بین ۲۷ نفر از افراد مربوطه توزیع شد که ۲۱ مورد جمع‌آوری شد و به منظور درک بهتر مفهوم سؤال‌ها، برای هر کدام از سؤال‌شوندگان، هر یک از این سؤال‌ها توضیح داده شد. سؤال‌های پرسشنامه‌ها در پیوست ارائه شده و نتایج حاصل از آنها در جدول ۵ موجود است.

### امتیازدهی معیارها

امتیازدهی به معیارها با توجه به چهار شاخص مربوط به مسائل مدیریتی، اقتصادی، آگاهی عوامل فردی و قوانین HSE اصول مدیریت ریسک و با در نظر گرفتن مسائل و مشکلات موجود در کارگاه‌های ساخت و ساز مترو انجام شد و مقایسه بین فاکتورهای ریسک در مورد هر معیار با توجه به این نمره‌دهی انجام گرفته است. به منظور وزن‌دهی به معیارها پس از تجمیع پرسشنامه‌ها در نهایت این میانگین‌ها



وارد تحلیل AHP شده و در نرم‌افزار Expert Choice مورد بررسی قرار گرفت. در شکل‌های زیر نتایج مربوط به این بررسی نشان داده شده است:



شکل ۲: وزن نهایی معیارها

همان طور که در شکل ۲ مشاهده شد، عوامل مدیریتی با امتیاز ۰/۵۹۴ با اهمیت‌ترین معیار و عوامل اقتصادی، قوانین HSE و آگاهی عوامل فردی به ترتیب با امتیاز ۰/۲۵۵، ۰/۰۹۴ و ۰/۰۵۷ در رده بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری ماتریس‌ها همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شد، ۰/۰۷ به دست آمد. نتایج به دست آمده با نرخ ناسازگاری مجاز (۰/۱) مقایسه شد که نرخ سازگاری در محدوده مجاز بود. در صورتی که نرخ ناسازگاری بیش از حد مجاز باشد، نتایج نهایی حاصل از اجرای Expert Choice غیرقابل اتکا بوده و بایستی مرحله نظر سنجی دو باره تکرار شود.

### شناسایی فاکتورهای مؤثر در ایجاد تأخیر پروژه خط ۷ متروی تهران

با توجه به اهداف این پژوهش، شناسایی ریسک‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل در فرایند مدیریت ریسک است؛ چرا که بدون شناسایی کامل ریسک‌های پروژه، پرداختن به ارزیابی ریسک امکان‌پذیر نبوده و نتایج به دست آمده غیرقابل استفاده است و واکنش اصولی و برنامه‌ریزی‌شده در برابر ریسک‌های تأخیر پروژه‌های تونل‌سازی که هدف اصلی این پژوهش است، بدون در نظر گرفتن این امر امکان‌پذیر نیست. در این بخش، فاکتورهای به وجود آورنده تأخیر در پروژه‌های تونل‌سازی براساس مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی مقالات و پایان‌نامه‌های مرتبط و مصاحبه با متخصصان این امر شناسایی شد. سپس این فاکتورها برای نهایی‌سازی و مستندسازی با ۵ نفر از مهندسان شاغل در پروژه خط ۷ مترو تهران مورد بازبینی قرار گرفت و در نهایت، ۴۲ فاکتور عامل ایجاد تأخیر در این پروژه شناسایی شد. شناسایی دقیق ریسک‌ها در این پروژه، می‌تواند کمک بزرگی در زمینه ارائه تمهیدات و راهکارهایی برای کاهش و یا حذف کامل خطرها کند.

### تهیه و تنظیم پرسشنامه

به دلیل کمبود آمار و اطلاعات مستند از وضعیت دلایل ایجاد تأخیر در پروژه خط ۷ مترو تهران به نظر رسید که بهترین روش برای کسب چنین اطلاعاتی، استفاده از پرسشنامه است که پرسشنامه‌ها بر اساس ریسک‌های شناسایی‌شده طراحی شد. این پرسشنامه، به چند نفر از کارشناسان این امر، ارائه و مواردی مانند تعداد سؤال‌ها، وضوح و قابل فهم بودن و استفاده از کلمات در سطح علمی به کار برده شده بررسی شد. در نهایت، ۴۲ سؤال تأیید شد. پرسشنامه‌های مربوطه بین ۲۷ مهندس عمران شاغل در این پروژه با حداقل ۱۰ سال سابقه کار مفید در این زمینه توزیع شد که در نهایت، ۲۱ عدد از این پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد.

## تحلیل نتایج

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های توزیع‌شده بین متخصصان و جمع‌آوری آنها، نمرات جزئی ریسک با استفاده از روش AHP برای ۴ فاکتور عوامل مدیریتی، اقتصادی، قوانین HSE و آگاهی عوامل فردی محاسبه شد. خلاصه نتایج به دست آمده در جدول ۴ آورده شده است. نمره کلی فاکتورهای ریسک و در نهایت، رتبه آنها نیز محاسبه و در جدول زیر درج شده است. همان‌طور که پیداست، در این مجموعه فاکتورهای ریسک، فاکتور شماره ۱ یعنی عدم تطبیق شرایط فیزیکی موجود در محل انجام پروژه با تجهیزات اجرایی بیشترین نمره را به خود اختصاص می‌دهد. پس از آن، فاکتورهای ریسک با عناوین عدم تأمین بودجه کافی و در نتیجه، ناتوانی از سرویس تجهیزات، وارد آمدن خسارت به اموال مردم ناشی از کارشکنی‌ها، خاکبرداری غیر اصولی و عدم وجود افراد با تخصص فنی کافی به ترتیب با امتیازهای ۰/۷۵۱، ۰/۶۷۸، ۰/۶۵۹ و ۰/۶۵۶ بحرانی‌ترین حالت را به خود اختصاص دادند.

جدول ۴: نمره کلی مربوط به فاکتورهای ریسک

| ردیف | فاکتورهای ریسک   | نمره ریسک | رتبه |
|------|--|-----------|------|
| ۱    | عدم تطبیق شرایط فیزیکی موجود در محل انجام پروژه با تجهیزات اجرایی      | ۰,۷۶      | ۱    |
| ۲    | عدم تأمین بودجه کافی و در نتیجه ناتوانی از سرویس تجهیزات               | ۰,۷۵۱     | ۲    |
| ۳    | وارد آمدن خسارات به اموال مردم ناشی از کارشکنی‌ها                      | ۰,۶۷۸     | ۳    |
| ۴    | خاکبرداری غیر اصولی  | ۰,۶۵۹     | ۴    |
| ۵    | عدم وجود افراد با تخصص فنی کافی  | ۰,۶۵۶     | ۵    |
| ۶    | عدم تأمین قطعات یدکی اصلی  | ۰,۶۳۳     | ۶    |
| ۷    | فرسوده بودن ماشین‌آلات و تجهیزات و عدم تطابق با استانداردهای روز جهانی | ۰,۶۹۲     | ۷    |
| ۸    | آسیب‌دیدگی جدار تونل به علت اجرای ناصحیح سیستم عایق و زهکشی            | ۰,۵۹      | ۸    |
| ۹    | تغییر در قوانین و مقررات و عدم توجه به قوانین جدید                     | ۰,۵۸۶     | ۹    |
| ۱۰   | عدم رعایت جزئیات اجرایی ناشی از دانش ناکافی عوامل اجرایی               | ۰,۵۷۹     | ۱۰   |
| ۱۱   | عدم اخذ مجوزها و تاییدیه‌ها  | ۰,۵۵۵     | ۱۱   |
| ۱۲   | تحریم‌ها   | ۰,۵۵۴     | ۱۲   |
| ۱۳   | برخورد ماشین‌آلات با دیواره‌ها   | ۰,۵۵۴     | ۱۳   |
| ۱۴   | عدم رعایت استانداردها و الزامات محیطی                                  | ۰,۵۵      | ۱۴   |



| ردیف | فاکتورهای ریسک   | نمره ریسک | رتبه |
|------|--|-----------|------|
| ۱۵   | خسارت وارد بر تأسیسات زیربنایی   | ۰,۵۴۸     | ۱۵   |
| ۱۶   | عدم تأمین اعتبار لازم  | ۰,۵۳۱     | ۱۶   |
| ۱۷   | ریزش جداره تونل ناشی از اشتباه طراحی   | ۰,۵۲      | ۱۷   |
| ۱۸   | عدم وجود قوانین روشن   | ۰,۵۱۱     | ۱۸   |
| ۱۹   | عدم وجود اطلاعات سازهای در مورد ساختمان‌های اطراف                            | ۰,۵۰۷     | ۱۹   |
| ۲۰   | ریزش وسیع تونل به اندازه‌ای که بر سطح خیابان و ساختمان‌های اطراف تأثیر گذارد | ۰,۵۰۶     | ۲۰   |
| ۲۱   | ضعف فنی در تعمیر و نگهداری و در نتیجه ناتوانی از سرویس تجهیزات               | ۰,۴۷۲     | ۲۱   |
| ۲۲   | ریزش وسیع تونل به اندازه‌ای که بر سر سطح زمین و تأسیسات مجاور تأثیر گذارد    | ۰,۴۷۲     | ۲۲   |
| ۲۳   | خطا در نقشه‌برداری به علت جا به جا شدن بنچمارک‌ها                            | ۰,۴۶۸     | ۲۳   |
| ۲۴   | عدم رعایت جزئیات اجرایی ناشی از روشن نبودن نقشه‌های اجرایی                   | ۰,۴۶۵     | ۲۴   |
| ۲۵   | اشتباه اپراتور که منجر به برخورد وسیله با تأسیسات شود                        | ۰,۴۴۶     | ۲۵   |
| ۲۶   | مطالعات ژئوتکنیکی ناکافی   | ۰,۴۴۵     | ۲۶   |
| ۲۷   | برخورد با موانع مثلاً تأسیسات شهری   | ۰,۴۲۵     | ۲۷   |
| ۲۸   | عدم وجود اطلاعات دقیق در مورد تأسیسات به دلیل گذشت زمان و نبود سوابق بایگانی | ۰,۴۲۴     | ۲۸   |
| ۲۹   | جریان آب زیرزمینی و ورود آب به تونل  | ۰,۴۰۸     | ۲۹   |
| ۳۰   | برخورد با عوارض ناشناخته مثلاً آثار باستانی                                  | ۰,۴۰۷     | ۳۰   |
| ۳۱   | ایجاد ترافیک در محدوده اجرای تونل  | ۰,۳۸۷     | ۳۱   |
| ۳۲   | برخورد با لایه‌های آبدار   | ۰,۳۸      | ۳۲   |
| ۳۳   | برخورد با گسل در طول مسیر تونل   | ۰,۳۷۱     | ۳۳   |
| ۳۴   | اشتباه در محاسبات  | ۰,۳۳۷     | ۳۴   |
| ۳۵   | برخورد با لایه‌های تاریخی  | ۰,۳۳۲     | ۳۵   |
| ۳۶   | دود و سر و صدا و ارتعاش و گرد و غبار   | ۰,۳۲۴     | ۳۶   |
| ۳۷   | مشکلات ناشی از راه‌های دسترسی به سایت  | ۰,۳۰۴     | ۳۷   |

| ردیف | فاکتورهای ریسک  | نمره ریسک | رتبه |
|------|---|-----------|------|
| ۳۸   | قرار گرفتن پروژه در مراکز شهری و مکان های شلوغ و پرترافیک | ۰,۲۷۳     | ۳۸   |
| ۳۹   | ناقص بودن اطلاعات دریافتی از سوی مراجع مربوطه             | ۰,۲۴      | ۳۹   |
| ۴۰   | تغییرات ژئوتکنیکی غیرقابل پیش بینی                        | ۰,۱۹      | ۴۰   |
| ۴۱   | رطوبت بیش از حد   | ۰,۰۸۷     | ۴۱   |
| ۴۲   | استاندارد نبودن ساختمان های اطراف                         | ۰,۰۵۸     | ۴۲   |

### پاسخ به ریسک‌ها

درک این نکته که چرا بعضی‌ها فکر می‌کنند، مرحله طراحی و اجرای پاسخ به ریسک، مهم‌ترین بخش فرایند ریسک می‌باشد، آسان است. اینجا، جایی است که می‌توان تفاوتی در شدت ریسک‌های پروژه ایجاد کرد. اگر پاسخ‌های خوبی برای ریسکی که شناسایی و ارزیابی شد، طراحی و اجرا شود، قادر خواهیم بود خطرها را کمتر و فرصت‌ها را بیشتر سازیم و همچنین احتمال دستیابی به اهداف بهبود می‌یابد ولی اگر پاسخ‌ها به ریسک اثربخش نباشد (یا اجرا نشود)، سطح شدت ریسک بدون تغییر باقی می‌ماند و یا حتی ممکن است بدتر نیز شود.

### پاسخ به ریسک‌ها

برای پاسخ به ریسک‌ها، با توجه به رتبه‌بندی صورت‌گرفته به ریسک‌های موجود در هر گروه ریسک پاسخ داده می‌شود. در این پروژه، ریسک‌هایی که درجه بحرانی دارند، مشخص خواهد شد و باید مدیریت پروژه تا حد ممکن آنها را کاهش دهد. ابتدای پروژه بایستی شرایط اجرایی و فیزیکی محل به دقت از سوی تیم مشاور و با تجربه مشابه اجرایی، به دقت بررسی و تمامی احتمالات ممکن آنالیز شود و در اختصاص زمان‌بندی و تأمین بودجه دقت لازم به عمل آید. همچنین اطمینان حاصل شود که تجهیزات اجرایی موجود تیم اجرایی جوابگوی شرایط خاص منطقه است و در صورت بروز مشکلات احتمالی این تیم از عهده حل مسائل برمی‌آید. با انتخاب مدیر مناسب که علاوه بر داشتن مهارت اجرایی کافی، با علم مدیریت و کنترل پروژه آشنا و سابقه لازم در امر مدیریت را دارا باشد، می‌توان بر بسیاری از ریسک‌ها غلبه کرد؛ زیرا یک مدیر کارآمد از توانایی مهار ریسک‌ها قبل از شدت گرفتن و تبدیل شدن به بحران برخوردار است. تأمین هزینه‌ها و اختصاص بودجه به خصوص برای پروژه‌های ملی همچون احداث خطوط مترو بسیار مهم است و باید تمامی هزینه‌های احتمالی با اعمال ضریب اطمینان و به صورت دست بالا لحاظ شود. واضح است هرگونه دیرکرد به خصوص

در پروژه‌های عام‌المنفعه علاوه بر اینکه وجهه کارفرما را خدشه‌دار خواهد کرد، چه بسا لطمات جبران‌ناپذیری نیز به همراه داشته باشد.

با صرف زمان و هزینه برای آشنایی با آب‌های زیرزمینی، محل عبور سفره‌های آب زیرزمینی، قنات‌های آب و چاه‌های فاضلاب منازل، طراحی سیستم‌های زهکشی تونل بر اساس این معیارها صورت گیرد و بر اجرای صحیح این موارد مرتبط با تونل نظارت کافی انجام شود تا اطمینان حاصل شود که سیستم‌های زه‌کشی به صورت ایده‌آل وظیفه خود را انجام می‌دهد. همچنین در این زمینه نیز با انجام مطالعات ویژه ژئوتکنیکی در مورد پایداری و شکست خاک زمینه ایمنی بیشتر در عملیات عمرانی لحاظ شود. انجام آموزش‌های لازم برای پرسنل اجرا به خصوص آموزش‌های لازم برای خاکبرداری و کار با دستگاه‌های حفاری، رعایت مسائل مورد نیاز در عملیات انفجار (در صورت وجود)، توجه ویژه به نقشه‌های اجرایی در طول پروسه اجرا توصیه می‌شود. در صورتی که عملیات گودبرداری و حفاری خطری برای دیوارها و ساختمان‌های مجاور در بر داشته باشد، باید از طریق نصب شمع، سپر و مهارهای مناسب ایمنی و پایداری آنها تأمین شود. دیوارهای محل گودبرداری و حفاری در مواردی از قبیل بعد از یک وقفه زمانی قابل توجه، بعد از هرگونه عملیات انفجاری، بعد از ریزش ناگهانی، بعد از صدمات اساسی به مهارها، بعد از یخبندان‌های شدید و بعد از باران‌های شدید، باید دقیقاً مورد بررسی و بازدید قرارگیرد و در نقاطی که خطر ریزش به وجود آمده است، وسایل ایمنی نصب و یا نسبت به تقویت آنها اقدام شود. بیمه کارگاه و خطرات احتمالی اطراف نیز باید در دستور کار قرار گیرد. به کار گرفتن نیروی متخصص و انتخاب پیمانکار دارای سابقه خوب می‌تواند راهکاری برای جلوگیری از وقوع بسیاری از ریسک‌ها باشد. در این تحقیق، تعداد زیادی از کارشناسان بر نقش نیروی کار متخصص در مدیریت و کنترل ریسک‌ها تأکید داشتند؛ زیرا تجربه و دانش مهندسان فعال در پروژه، تأثیر عمیقی در مدیریت و کنترل ریسک‌ها دارد. بازنگری و کنترل مرتب قوانین و مقررات مصوبه ساخت و ساز و انجام عملیات عمرانی در طول مراحل مختلف، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که باید در مدیریت پروژه مورد توجه قرار گیرد.

قبل از شروع کار توصیه می‌شود که شرایط فیزیکی موجود منطقه با امکانات و ماشین‌آلاتی که قرار است مورد استفاده قرار گیرد، تطبیق داده شود. ماشین‌آلات سهم زیادی در اجرا و هزینه پروژه دارند؛ بنابراین، توصیه می‌شود با استفاده از جداول زمانی و عملیاتی وضعیت آنها کنترل شود و ضمن استفاده بهینه از ماشین‌آلات و همچنین با تعمیر و نگهداری مناسب آنها، هزینه‌ها و حوادث مربوط به آنها کاهش یابد. همچنین انتخاب وسایل مورد استفاده باید مطابق با استانداردهای جهانی و موجود در بازار انجام شود تا تأمین قطعات یدکی آنها در صورت بروز مشکل و تعویض احتمالی آن سریعاً انجام شود. در محل‌هایی که احتمال سقوط اشیاء به محل گودبرداری و حفاری وجود دارد،

باید موانع حفاظتی برای جلوگیری از وارد شدن آسیب به کارگران پیش‌بینی شود. همچنین برای پیش‌گیری از سقوط کارگران و افراد به داخل محل گودبرداری و حفاری نیز باید اقدامات احتیاطی از قبیل محصور کردن محوطه، نصب نرده و موانع، وسایل کنترل مسیر و علائم هشداردهنده انجام شود. موقعیت تأسیسات زیرزمینی از قبیل کانال‌های فاضلاب، لوله‌کشی آب، گاز، کابل‌های برق، تلفن و غیره که ممکن است در حین انجام عملیات گودبرداری موجب بروز خطر و حادثه شوند و یا خود دچار خسارت شوند، باید مورد شناسایی قرار گیرد و در صورت لزوم، نسبت به تغییر مسیر دائم و یا قطع جریان آنها اقدام شود. همچنین مسائل مرتبط با HSE در تمامی مراحل کار باید مورد توجه اساسی قرار گیرند.

مطابق تحقیقات انجام‌شده نیاز به کسب اطلاعات بیشتری در مورد زمین‌های اطراف و تأسیسات و بناهای حساس اطراف احساس می‌شود؛ زیرا باید اولاً انتخاب مسیر تونل به صورتی باشد که در صورت ریزش احتمالی فاصله مناسبی از تجهیزات زیربنایی داشته باشد و کمترین خسارت و آسیب وارد شود. همچنین داشتن بانک اطلاعاتی از مراجع مربوطه نظیر شهرداری‌ها و ادارات مرتبط با این تأسیسات حیاتی است. توصیه می‌شود قبل از شروع به کار، بخشی از پرسنل درگیر در پروژه مدیریت جمع‌آوری و طبقه‌بندی اطلاعات فوق را به عهده بگیرند. همچنین بازرسی و نظارت بر اپراتورهای مشغول به کار باید در اولویت قرار گیرد. مسائل و مشکلات ناشی از عدم شناخت زمین پیش‌روی سینه کار و زمین پیرامون تونل باعث بروز و یا تشدید بسیاری از ریسک‌ها می‌شود. بنابراین، توصیه می‌شود با تخصیص بودجه مناسب و زمان کافی برای انجام مطالعات و به ویژه مطالعات ژئوتکنیکی تا حد امکان اطلاعات بیشتری حاصل شود تا در زمان حفاری تسلط کافی بر روند پیشروی وجود داشته باشد. برای محدود شدن ریسک‌های این قسمت نیز باید توجه شود که قبل از انتخاب مسیر باید فاصله از مراکز شلوغ و پرتردد لحاظ شود. همچنین باید تمهیداتی اندیشیده شود که در صورت ریزش احتمالی تونل در مسیر تردد مسیر جایگزینی معرفی شود. همچنین وسائل نقلیه حتی‌الامکان خارج از کارگاه و مسیرهای تردد تونل پارک شوند. برای مقابله با این مجموعه ریسک نیز باید توجه شود که محاسبات مسیریابی و ژئوتکنیکی به دقت مورد بازبینی و بررسی قرار گیرد. همچنین نقشه‌های مسیریابی باید کامل باشد و عواملی نظیر ساختمان‌ها و تأسیسات زیربنایی شهری مجاور باید در نقشه‌ها مشخص شوند. مسئله مهم دیگر به حداقل رساندن اشتباهات و خطاهای نقشه‌برداری است. در این مورد نیز هم باید تجهیزات نقشه‌برداری، بنچ مارک‌ها و ... در فواصل زمانی مشخص مورد بازرسی قرار گیرند. هم‌اینکه نظارت دقیقی بر کار اپراتورهای نقشه‌بردار انجام شود. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها و تحقیقات انجام‌شده، اجرای مناسب حفاری و همچنین بتن‌ریزی صحیح جداره تونل باید در اولویت قرار گیرد. در بسیاری موارد به دلیل تزریق و بتن‌ریزی نامناسب پس از مدتی جداره تونل دچار ترک خوردگی می‌شود و سبب

اعمال خسارات و خطرات متعاقب می‌شود. همچنین مطالعات ژئوتکنیکی نیز در این بحث باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. نظارت بر زهکش‌ها و عایق‌ها در صورت لزوم اجرا نیز اکیداً توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیق انجام‌شده مهم‌ترین ریسک‌های مربوط به تأخیر پروژه خط ۷ مترو تهران، به ترتیب: عدم تطبیق شرایط فیزیکی موجود در محل انجام پروژه با تجهیزات اجرایی و با نمره ریسک ۰/۷۶، عدم تأمین بودجه کافی و در نتیجه، ناتوانی از سرویس تجهیزات با نمره ریسک ۰/۷۵۱، وارد آمدن خسارت به اموال مردم ناشی از کارشکنی‌ها با نمره ریسک ۰/۶۷۸، خاکبرداری غیر اصولی با نمره ریسک ۰/۶۵۹ و عدم وجود افراد با تخصص فنی کافی با نمره ریسک ۰/۶۵۶ می‌باشند که در جهت کاهش و کنترل ریسک‌ها باید مورد توجه مسئولان قرار گیرند. با توجه به اعداد به دست آمده توجه به مسائل زیر توصیه می‌شود:

۱. انتخاب مدیر مناسب که علاوه بر داشتن مهارت اجرایی کافی، با علم مدیریت و کنترل پروژه آشنا و دارای سابقه مدیریتی لازم باشد؛ زیرا یک مدیر کارآمد از توانایی مهار ریسک‌ها قبل از شدت گرفتن و تبدیل شدن به بحران برخوردار است؛
۲. تطبیق دادن شرایط فیزیکی موجود منطقه با امکانات و ماشین‌آلاتی که قرار است مورد استفاده قرار گیرد، قبل از شروع کار؛
۳. احتساب و اختصاص تمامی هزینه‌های احتمالی موجود در پروژه با اعمال ضریب اطمینان و به صورت دست بالا برای جلوگیری از هرگونه دیرکرد و تعطیلی کار؛
۴. استحصالی حداکثری اطلاعات با تخصیص بودجه مناسب و زمان کافی برای انجام مطالعات و به ویژه مطالعات ژئوتکنیکی و زیربنایی و همچنین داشتن بانک اطلاعاتی کافی از مراجع مربوطه؛
۵. حتی‌الامکان مسیر تونل به صورتی انتخاب شود که در صورت ریزش احتمالی فاصله مناسبی از تجهیزات زیربنایی داشته باشد و کمترین خسارت و آسیب وارد شود؛
۶. به کارگیری نیروی متخصص و انتخاب پیمانکار دارای سابقه خوب؛
۷. اهمیت به مسائل ایمنی اجرای مناسب حفاری و همچنین بتن‌ریزی صحیح جداره تونل و در اولویت قرار دادن HSE محیط کار؛
۸. تهیه دقیق و همراه با جزئیات نقشه‌های اجرایی، مسیر تونل‌کشی و انجام نقشه‌برداری و نظارت دقیق‌تر بر حسن اجرای طرح.

## منابع

- A.Osuli, E.Negabat, A.Bayani, A.Naseri, H.Afkhani, *Project Management Body of Knowledge*, Printing, Tehran, National Petrochemical Company, 1384. (in Persian )
- Al salman, A.A, *Assessment of risk management perceptions and practices of construction contractors*, Saudi Arabia, MSc. Thesis of Construction Engineering and Management, Department of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum & minerals, 2004.
- Arikan, A.E, *Development of a risk management decision support system for international construction projects*, MSc. Thesis of civil engineering, Department of civil engineering, Middle East technical university, 2005.
- Baccarini D, Archer R, *The risk ranking of projects: a methodology*, International Journal of Project Management, vol.19, 139-145,2010.
- Cooper, D.I, and Chapman, C. B, *Risk Analysis for large projects*, Wiley, Chichester,1987.
- Covello V.T, Mumpower. J, *Risk analysis and Risk Managemen*, An historical perspective. Risk analysis, 1985.
- Dias Jr, A., and P. G Ioannou, *A desirability model for the development of privately-promoted, Infrastructure*. UMCEE Rep, 1995.
- E. Rafizadeh, *Review and risk assessment projects with a fuzzy, approach MS Thesis*, Department of Civil Engineering and the environment, Amirkabir University of Technology,1388. (in Persian ).
- H.Ghodsipoor, *Analytic Hierarchy Process*, Publication Center Amir Kabir University (Tehran Polytechnic), 1379.
- Isaksson T, Stille H, *Model for estimation of time and cost for tunnel projects based on risk evaluation*, Rock mechanics, Rock engineering, Vol. 38 NO .5, 373-398,2005.
- ITA/AITES, *Guidelines for tunneling risk management: International Tunneling Association*, Working Group No. 2. Tunneling and underground space technology, Vol.19. 217-237,2004.
- Klein J. H, Cork R. B, *An approach to technical risk assessment*, International Journal of Project Management, 16(6), 345-351,1998.
- M. Emad, A Talebnejad, M. Gharabaghani, *Geotechnical risk assessment of all sections of drilling machines (TBM) subway tunnel. Case Study: Tehran metro line project seven*), 1389.
- M. Momeni, A. Sharifi Salim, *Multiple Attribute Decision Making model and software*,1390.
- M.H. Gholami, J. Ariani, *Prioritize strategies HSE management to help increase productivity in hierarchical analysis*, The third Conference HSE, 1389. (in Persian ).

- McDermott R. E, Mikulak R. J, Beaugard M. R, *The basics of FMEA*, New York, Quality Resources, 1996.
- Pertmaster Software, *Pertmaster Project Risk V7.5: Tutorial, manual and help*, Available on: <http://www.pertmaster.com/>,2002.
- Project Management Institute, *A guide to Project Risk management Body of Knowledge (PMBOK)*, 2008.
- Schultz, RL, D .P Slevin, and J. K pinto, *Strategy and tactics in process model of project implementation*, Interface:34-36, 1987.
- Wirba E.N, Tah J.H.M. and Howes, R, *Risk interdependencies and natural language computation*, Journal of Engineering Construction and Architectural Management,3(4):251-269,1996.
- Xu L, Liu G, *The study of a method of regional environmental risk assessment*, Journal of environmental assessment, 90(11). 3290- 3296,2009.