

ارزیابی ریسک‌های ژئوتکنیک در حفاری‌های تمام مقطع مکانیزه (TBM) تونل‌های مترو (مطالعه موردی: پروژه خط هفت مترو تهران)

محسن قراباغی
ایران- شرکت مهندسی سپاسد
Gharabaghi.mo@gmail.com

سید تقی نعیمی
ایران- دانشگاه آزاد تهران- جنوب
.....

علیرضا طالبی نژاد*
ایران- دانشگاه تهران
A_Talebinezhad@yahoo.com

احمد اسدی
ایران- دانشگاه آزاد تهران- جنوب
learnmining@gmail.com

مصطفی عماد
ایران- دانشگاه آزاد تهران- جنوب و شرکت مهندسی سپاسد
Mostafa.Emad@gmail.com

عباس پرورش
ایران- دانشگاه آزاد تهران- جنوب
Dr.A.Parwarsh@afraimail.com

چکیده

پروژه خط هفت متروی تهران یکی از طولانی‌ترین (۲۶ کیلومتر) و عمیق‌ترین (حدوداً ۲۷ متر) خطوط متروی شهر تهران است. به لحاظ تفاوت‌های عمده مانند گذر از تمامی آبرفت‌های شهر و مواجهه با شرایط ژئوتکنیکی مختلف، عمیق‌تر بودن و قرارگیری بخشی از آن در زیر سطح آب زیرزمینی و همچنین روش حفاری مکانیزه، از پروژه‌های خاص مترویی می‌باشد. به لحاظ پیچیدگی‌های موجود، موضوع ارزیابی و آنالیز ریسک‌های موجود از مراحل شناسایی تا مراحل اجرایی امری ضروری است. در این مقاله بر اساس طرح مدیریت ریسک RMP، با بررسی ماشین TBM و تاثیر حفاری مکانیزه بر تونل‌سازی در محیط‌های شهری همچنین بررسی مطالعات ژئوتکنیک سعی گردید مبنایی از ریسک‌های محتمل در حفاری توسط دستگاه EPB مطرح گردد و ریسک‌های پیش‌روی پروژه مشخص و اقداماتی برای کاهش و ایجاد شرایط ایمن برای طراحی و اجرا اتخاذ گردد. نتایج نشان می‌دهد، ۴۸٪ از پتانسیل‌های ایجاد خرابی با ریسک بالا، ۴۵٪ با ریسک متوسط و ۷٪ دارای ریسک پائینی بوده که پس از ارزیابی هرکدام و شناسایی اقدامات کاهنده مربوطه، سطح ریسک به ترتیب برای پتانسیل‌های ایجاد خرابی به ترتیب به ۴٪ با ریسک بالا، ۳۳٪ به ریسک متوسط و ۶۳٪ با سطح ریسک پائین تقلیل پیدا نمود.

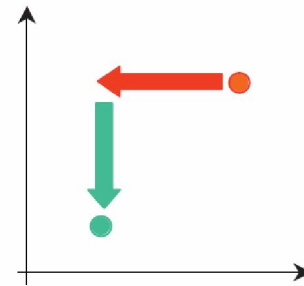
ABSTRACT

The Metro Line 7 of Tehran is one of the Longest (26 Km) and deepest (27m) of projects that's under implementation. Because of major differences like passing under all geotechnical layers of the town and encountering part of it with underground water table and also using mechanized excavation system, is one of special metro projects. Because of these complexities, assessment and analyzing of the encountered risks from the preliminary phases to execution phase should be considered. In this paper, base on Risk Management Plan (RMP), the specification of TBM and effect of mechanized excavation on urban areas by considering geotechnical condition has been noted to prepare probable risks due to EPB machines and related tunneling projects. Reduction programs for risks have been considered to achieve a safe condition for design and execution phase. Results indicate that 48% of damage potentials are in high risk area, 45% are in mediocre risk and 7% have low potential of risk. After assessment of each risk and using related mitigation measures the level of risks decreases to 4% of high risk, 33% of mediocre risk level and 63% for low level of risk.

مقدمه

مدیریت کنترل ریسک، در بسیاری از رشته‌ها و زمینه‌های تکنیکی به صورت ابزاری کارآمد و مهم در آمده است و صنعت تونل و ساخت و سازهای زیرزمینی از آن استقبال زیادی کرده است.

اکنون در سال ۲۰۱۰ میلادی در خصوص پروژه‌های زیرزمینی، ارزشیابی سیستماتیک و مستمر مدیریت ریسک در همه مراحل طرح‌ریزی، طراحی، ساخت و اجرای پروژه‌های زیرزمینی، بسیار معمول و کاربردی گردیده است. در مواردی که سطح اولین ریسک قابل قبول نباشد، بایستی اقدامات مربوط به کاهش ریسک مربوطه تعیین و مشخص گردند. پس از انجام اقدامات کاهش، تجزیه و تحلیل، بایستی برای ارزیابی مجدد، سطح باقی‌مانده ریسک ارائه شود تا سطح ریسک به روز شده بدست آید به این میزان از ریسک "سطح ریسک باقیمانده" می‌گویند.



نمودار ۱- تعریف سطح ریسک

متدولوژی ارزیابی ریسک‌های ژئوتکنیکی

متدولوژی و روش ارزیابی ریسک‌های ژئوتکنیکی در حفاری مکانیزه TBM در محیط‌های شهری، که پس از مطالعات و تحقیقات فراوان انتخاب شده است، طرح مدیریت ریسک RMP بوده و نحوه شناسایی، کمی‌سازی، توسعه پاسخ ریسک و در نهایت مانیتورینگ عکس‌العمل ریسک مطرح و سپس با فعال‌سازی روش RMP اقدام به کاهش کلیه ریسک‌ها شده است و در پایان با ارائه روشی فنی اقدام به شناسایی ریسک‌های اولیه با استفاده از ثبت ریسک نموده و سپس به چگونگی تحلیل کیفی و کمی آن اشاره گردیده است. خروجی و نتیجه اجرای یک برنامه مدیریت ریسک (RMP) برای یک پروژه، به معنای اطمینان از کاهش کلیه ریسک‌ها تا سطح قابل قبول و مناسب‌ترین مدیریت برای خطرات است. (Guglielmetti ۲۰۰۷)

لازم بذکر است کلیه مراحل انجام این مقاله با مطالعه موردی پروژه خط ۷ متروی تهران، برای اولین بار در سطح این پروژه انجام و اقدام به ارزیابی ریسک‌های ناشی از مسائل ژئوتکنیکی (با توجه به مطالعات ژئوتکنیکی مسیر) در حفاری مکانیزه تونل پرداخته و نهایتاً باعث کاهش آن‌ها شده است.

به هنگام عملیات حفاری متاسفانه 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، بوجود می‌آورند.

منابع ریسک اولیه در تونلسازی مکانیزه در مناطق شهری:

۱. ریسک‌های مربوط به زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی
۲. ریسک‌های مربوط به طراحی
۳. ریسک‌های مربوط به دوره ساخت

یک برنامه مدیریت ریسک RMP باید بر مبنای چهار اصل بنیادی و

اساسی بنا شود:

۱. شناسایی ریسک‌ها
۲. کمی‌سازی ریسک
۳. توسعه پاسخ ریسک
۴. مانیتورینگ عکس‌العمل ریسک

فعال‌سازی برنامه مدیریت ریسک RMP جهت کاهش کلیه ریسک‌ها

فعال‌سازی RMP باعث حصول اطمینان از شناسایی و حل و فصل مسائل احتمالی در بهترین زمان ممکن می‌شود؛ بنابراین RMP را باید در کوتاه‌ترین زمان و بدون وقفه در همه فازهای پروژه بصورت یکپارچه از آغاز طراحی پروژه تا زمان بهره‌برداری از آن اجرا کرد. حتی یک مورد از موارد تحقیق، طراحی و مراحل مربوط به انجام پروژه نباید حذف شود؛ هدف از این کارها، کاهش کلیه ریسک‌های شناسایی شده در هر فاز در حال اجرای پروژه، به کمترین سطح ممکن و اجرای اقدامات پیشگیرانه برای کاهش حین ساخت و ساز می‌باشد. (Guglielmetti ۲۰۰۷)

از آنجایی که انجام RMP بایستی تضمین شده، به روز شده تمام و کمال انجام شود و در راستای پروژه، با کل پروژه مرتبط باشد، پس مسلماً RMP بایستی پروسه‌ای پویا باشد، بنابراین اطمینان از اینکه ثبت ریسک در هر دوره و مرحله و بطور سیستماتیک به روز می‌شود، یکی از مشخصه‌های اصلی برای بکارگیری موفق این رویکرد می‌باشد.

اجرای مدیریت ریسک بایستی مشارکتی از بخش‌های مختلف تکنیکی باشد و تمامی گروه‌های متاثر و مرتبط از قبیل کارفرمای پروژه، مدیر پروژه، ناظر پروژه، پیمانکاران، کارشناس و طراحان، همکاری داشته باشند (Herrenknecht ۲۰۰۶).

ریسک‌های مربوط به پروژه، به چگونگی برقراری ارتباط مدیر پروژه با دیگر دست‌اندرکاران پروژه نیز بستگی دارد.

تونلسازی مکانیزه در مناطق شهری عموماً مرتبط و درگیر با پروژه‌های زیرساختی عظیمی چون متروها، خطوط راه‌آهن شهری، تونل‌های انتقال سیلاب و تونل‌های مربوط به تاسیسات، فاضلاب یا جاده‌ها می‌باشد، بنابراین اجرای پروژه مستلزم رعایت نظم و هماهنگی است که می‌بایستی برای نیل به موفقیت نهایی با در نظر گرفتن بودجه تصویب شده برای اجرای پروژه (به عبارت دیگر کاهش کلیه ریسک‌هایی که بطور بالقوه مانع نیل به این اهداف است)، فعالیت‌های آن مرحله به مرحله انجام پذیرد (Reilly ۲۰۰۴).

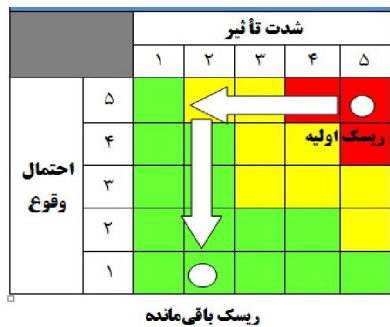
زمانی که طراح، نیاز اصلی کارفرما و میزان بازه ریسک او را شناسایی کرده باشد، پروسه شناسایی ریسک در مسیر تونل و در پروسه تونل‌سازی، بایستی همراه با تعریف سناریوی طرح مرجع، که شامل کارهای زیر است، انجام شود:

- تشکیل گروهی از متخصصین متناسب با اندازه و پیچیدگی پروژه.
- یک بررسی فهرست‌وار برای جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با پروژه که ممکن است برانتخاب روش‌های اجرا، تاثیر داشته باشد. (مثل داده‌های منتشر شده درباره شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه‌ای و بومی، شبکه تاسیسات و ساختارهای حساس شناسایی شده در مسیر پروژه)؛ این اطلاعات بعداً باید تکمیل‌کننده نقشه‌برداری و مطالعات مناسب دیگر باشند.
- گردآوری و مرور جدی تجارب به دست آمده از شرایط مشابه، به خصوص در شرایطی که ریسک‌هایی مشابه آن اتفاق افتاده، رایزنی با پیمانکاران و تجهیز پروژه با آنچه ضروری خواهد بود.

سطح ریسک	عملیات مورد نیاز
غیر قابل قبول	عملیات ساخت نایبستی قبل از کاهش ریسک شروع گردد. اگر ریسک قابل کاهش نباشد، ریسک توقف پروژه وجود دارد.
قابل توجه	عملیات ساخت نایبستی قبل از کاهش ریسک شروع گردد. راه‌حلی برای ریسک وجود دارد، اما نیاز به افزایش منابع دارد.
مهم	عملیات ساخت می‌تواند آغاز گردد و ادامه یابد تا اینکه اقدامات کاهش‌ی نیز انجام پذیرد.
جزئی	کار ممکن است با تاخیر انجام پذیرد. نیاز به راه‌حلی برای بهینه کردن میزان هزینه‌ها دارد.
غیر مربوط	نیازی نیست.

جدول ۱- مقیاس کیفی ریسک (Guglielmetti ۲۰۰۷)

مزیت اصلی تحلیل کیفی این است که باعث ارائه مناسب سناریوی طراحی مرجع به صورت واضح، پایدار و مشترک می‌شود. تحلیل کمی ریسک، یعنی تخمین کمی از احتمال و شدت تاثیر یک خطر یا رویداد ریسک را جایگزین داوری کیفی ریسک کنیم. بررسی کمی شدت تاثیر یک خطر عمدتاً برای بررسی کیفی پیامدهای آن از طول مدت و هزینه پروژه از منظرهای متنوعی (مثلاً ساخت، نگهداری، بهره‌برداری) (Guglielmetti ۲۰۰۷) انجام می‌شود.



نمودار ۲- مقیاس کیفی ریسک (Guglielmetti ۲۰۰۷)

ارزیابی ریسک ژئوتکنیکی در پروژه خط ۷ متروی تهران

خط ۷ متروی تهران از شهرک امیرالمومنین (ع) واقع در منطقه جنوب شرق تهران در امتداد شرقی- غربی شروع و پس از عبور از تقاطع بزرگراه محلاتی- خیابان ۱۷ شهریور و میدان محمدیه، در تقاطع بزرگراه نواب - پل قزوین تغییر جهت داده و در امتداد جنوبی- شمالی (در راستای بزرگراه نواب صفوی) مسیر آن ادامه یافته و ضمن گذر از کنار تونل توحید و عبور از کنار برج میلاد و میدان صنعت، در منطقه سعادت‌آباد (میدان بوستان) واقع در شمال غرب تهران پایان می‌یابد (مطالعات پایه تونل ۱۳۸۷).

- گردآوری داده‌های مطالعاتی محل سایت توسط زمین‌شناسان و آب‌شناسان مجرب به منظور دستیابی به بهترین تخمین مدل زمین‌شناسی، شرایط مشابه زمین و تغییرپذیری آن‌ها.
- شناسایی تکنیک‌های احتمالی ساختمانی و غیره.
- تعیین خصوصیات بخش‌های معمول تونل.

وقتی سناریوی طراحی مرجع تعریف شد، یک چک لیست (همچنین یک چک لیست از یک پروژه مشابه، از قضاوت‌های کارگاهی و مهندسی مبتنی بر تجارب قبلی) برای شناسایی ریسک‌های مربوط به پروژه، مورد استفاده قرار می‌گیرد، به عبارت دیگر از همان نخستین مراحل پروژه ثبت ریسک انجام می‌گردد.

ثبت ریسک باید به گونه‌ای پی‌ریزی شود که شامل همه قسمت‌های زیر باشد (Wannick ۲۰۰۶):

- دارای تاریخچه‌ها و سوابق خطرات باشد، و درون هر تاریخچه‌ای فهرست خطرات و آنچه باعث این خطرات می‌شود، بیان شده باشد.
- تعیین کمیت احتمال خطر و شدت تاثیر، که به بروز ریسک منجر می‌گردد.
- تعیین ریسک‌های اولیه غیر قابل قبول.
- شناسایی راهکاری معین برای کاهش هرگونه ریسک اولیه (اقدامات کاهش دهنده) و غیره.
- تعیین کمیت ریسک‌های باقی مانده از طریق ارزیابی مجدد، با فرض اینکه اقدامات کاهش دهنده ریسک انجام گردیده است.

ثبت ریسک، چنانچه به طور مناسب مورد استفاده قرار گیرد، راهنمایی مفید برای پیشرفت پروژه خواهد بود، زیرا استفاده مفید از آن منجر به اتخاذ تدابیر استراتژیک و یافتن مسیری کوتاه و واضح برای اعمال نقشه پیشنهاد شده از نظر سازماندهی، پژوهشی و طراحی و یا برآورده کردن نیازها برای کاهش ریسک‌های شناسایی شده، خواهد شد. ریسک را می‌توان از لحاظ کمی و کیفی تجزیه و تحلیل کرد؛ اما تقریباً در مرحله آغازین پروژه، اغلب ریسک را از لحاظ کیفی تجزیه و تحلیل می‌کنند.

تحلیل کیفی ریسک در هر مرحله، زمانی که ماهیت و گستره داده‌ها، برای ایجاد آمار صحیح کافی نباشند و نیز هنگامی که تحلیل آماری داده‌ها قادر به شناسایی مشکلات ویژه (نظیر مکان گسل یا شرایط زمین غیرعادی) نباشند، ضرورت پیدا می‌کند. پروسه تحلیل کیفی ریسک با شناسایی ریسک و با اهداف یک ارزیابی اولیه از ریسک آغاز می‌شود (Herrenknecht ۲۰۰۶).

احتمال (P) و شدت تاثیر (I) با استفاده از مقیاس‌های کیفی مشخص می‌شوند که مناسب با خواسته‌ها و اضطرارهای پروژه می‌باشند. بنابراین مقیاس‌های ویژه کیفی P و I، مقدار ریسک اولیه برآورده شده و در صورت قابل قبول نبودن، اقدامات کاهش ریسک هم برای اجرا در مرحله طراحی و هم در مراحل ساخت به منظور کاهش احتمال و یا کاهش شدت تاثیر فهرست‌بندی شده است. مجدداً هم با ارزیابی P و هم با ارزیابی I و فرض اینکه اقدامات کاهش‌ی در جای خود انجام شوند، تخمین کیفی از ریسک‌های باقی مانده را می‌توان بدست آورد (Guglielmetti ۲۰۰۷).

- خطا توپوگرافی
- اقدامات ناکافی ایمنی
- عدم تهویه مکفی
- از دست رفتن مواد آلاینده (دوغاب یا فوم) در طی حفاری



شکل ۳- دستگاه TBM خط ۷ مترو تهران

پدیده خطر از منظر عوامل و فاکتورهای انسانی شامل موارد زیر است:

- فقدان تجربه پرسنل
- فقدان تجربه پیمانکار
- تحریم‌ها
- مشکلات قراردادی
- سازمان‌دهی نادرست پیمانکار

در نهایت پدیده خطر از منظر تحقیقات پروژه و فاز طراحی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- ارزیابی ناکافی سازه‌های زیرزمینی موجود
- وجود سازه‌های زیرزمینی که نقشه‌برداری نشده
- وجود گمانه‌هایی با جداره فلزی
- عمق ناکافی مسیر تونل
- شرایط ژئوتکنیکی غیرمنتظره
- زلزله

پس از این مرحله اقدام به بررسی و ثبت ریسک‌های پروژه با توجه به پدیده‌های خطر نامبرده در پروژه گردید. موارد زیر به ریسک‌های پتانسیل خرابی یا آسیب در پروژه اشاره دارد:

- بلوکه شدن دستگاه در اثر ناپایداری جبهه کار
- گیر کردن دستگاه حفاری
- اضافه حفاری
- ناپایداری دیواره تونل
- هجوم زیاد آب
- شکست مکانیکی دستگاه حفاری
- سایش اضافی ابزارهای برشی
- گازهای سمی و خطرناک

- خوردگی شیمیایی
- اعوجاج رینگ سگمنت
- درزه‌بندی درست جهت جلوگیری از آب
- ایجاد ترک و شکست در سگمنت
- قرارگیری در مسیر نادرست دستگاه حفاری
- نرخ پیشروی پائین دستگاه حفاری
- کمبود تجربه پرسنل
- کمبود تجهیزات (بایستی از خارج وارد شوند)
- آتش سوزی و یا رخداد انفجار
- تصادفات و تصادمات نیروی انسانی
- تاخیر در تجهیز و پشتیبانی دستگاه حفاری
- ایجاد صدمه یا خرابی تاسیسات شهری
- خرابی یا وارد شدن صدمه بر ساختمان‌های مجاور
- ایجاد صدمه و خرابی بر اثر روانگرایی
- ایجاد ترافیک
- آلودگی هوا و آب
- ایجاد سیستمی که بتواند موارد زیر را در حین اجرای تونل جهت کاهش ریسک طرح‌ریزی و انجام دهد، لازم و ضروری است:
- بررسی مطالعات ژئوتکنیک و هیدروژئولوژی هر بخش از مسیر تونل
- ارائه پیش‌بینی‌های لازم جهت راهبری دستگاه در تعامل با شرایط ژئوتکنیکی همچون مقادیر نرخ پیشروی، نیروی پیشران مورد نیاز دستگاه، گشتاور مورد نیاز، فشار جبهه کار
- بررسی و ارزیابی نوع مصالح و خاک‌های حاصل از عملیات حفاری بر روی تسمه نقاله دستگاه
- ارزیابی و مونیتورینگ دستگاه و زمین و بررسی تاثیرات پس از عملیات حفاری
- ادغام و انطباق سریع مطالعات اولیه و مطالعات ثانویه (پس از عملیات حفاری) و ارائه طرح پیشروی دستگاه حفار برای مقاطع جلوتر تونل
- با مدنظر قرار دادن اهم ریسک‌های نامبرده شده اقداماتی که می‌بایست برای کاهش ریسک انجام داد در هر حوزه فعالیت پروژه خط هفت مترو مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این راستا با رویکرد حفاری مکانیزه در تونل‌های شهری اقدامات کاهنده ریسک بصورت زیر ارائه شده است:
- استفاده از ابزارهای برشی کافی
- استفاده از ماشین حفاری EPB
- استفاده از درجه بتن با عیار مناسب بر اساس خوردگی آب و برای طول عمر تونل
- تزریق بنتونیت پشت شیلد
- افزایش گام نقاله مارپیچی دستگاه حفاری EPB

- کاهش نسبت بازشدگی کاترهد دستگاه حفار
- کنترل زهکشی جبهه کار تونل
- مونیتورینگ و کنترل جبهه کار تونل و تحقیقات و بررسی‌های اضافی
- استفاده از پرسنل با تجربه
- استفاده از پرسنل خارجی
- اجرای برنامه کنترل کیفیت در کارخانه سگمنت
- استفاده از درجه بتن با عیار مناسب بر اساس خوردگی آب و برای طول عمر تونل
- استفاده از سیمان مناسب در برابر آب‌های دارای خاصیت خوردگی
- انتخاب پیمانکار با تجربه
- مقابله با آب‌های ورودی به تونل
- استفاده از سیستم مونیتورینگ برای پارامترهای ماشین حفاری
- استفاده از سیستم زهکشی مناسب
- انتخاب تامین کننده معتبر قطعات
- استفاده از کلاه ایمنی و تضمین ایمنی کارگران
- کف سازی محوطه کارگاه
- استفاده از ماشین آلات دارای کارایی پایین
- سیستم جمع آوری آب
- فیلتر برای سیستم تهویه
- سیستم اطفاء حریق
- سیستم تصفیه آب
- روش حفاری متفاوت که در ایران تجربه گردیده است
- برنامه نگهداری
- استفاده از حالت لرزه‌ای در طراحی پوشش تونل
- اجرای آنالیز ریسک ساختمان‌ها و انجام اقدامات تحکیمی
- مطالعه انحراف ترافیک در کارگاه‌ها
- مطالعات مناسب و کافی ژئوتکنیک
- نقشه برداری کافی از سازه‌های زیرزمینی موجود
- ارزیابی کافی شرایط ساختمان
- نقشه برداری PU موجود
- نقشه برداری از گمانه‌های اجرا شده
- اجرای تست سرشار در تخته‌سنگ‌ها
- از بکارگیری جداره فلزی در گمانه‌ها، هنگام انجام مطالعات جلوگیری گردد.

نتیجه گیری

هدف از آنالیز 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 بوجود می‌آید. یک برنامه آنالیز ریسک در واقع ارزیابی یک پروژه در جهت هدف و جلوگیری از انحراف آن از هدف تعیین شده است. ارزیابی ریسک یک برنامه و فرآیند دینامیک بوده که در طول پروژه از مراحل آغازین (مطالعات مرحله مفهومی) تا دوره ساخت و بهره برداری پروژه ادامه دارد. در حقیقت اطلاعات مورد نیاز برای رسیدن به سطح منطقی برای کنترل پروژه‌های تونلی، تقریباً تا زمان شروع پروژه قابل دستیابی نیست، و پس از مشخص شدن اقدامات کاهنده، فرآیندی رو به جلو با پیشرفت پروژه می‌باشد. در این حالت بایستی مدنظر قرار گیرد که حتی پس از مرحله مطالعات، همچنان حاشیه‌ای از عدم قطعیت‌ها، پارامترهای کلیدی حاکم بر تصمیم‌گیری‌ها در پروژه را تحت تاثیر قرار خواهد داد. توجه به موارد زیر در این حالت لازم و ضروری است:

- فرآیند آنالیز ریسک بایستی از ابتدای پروژه شروع شده و بصورت مستمر با دستیابی به اطلاعات جدید بروز گردد.
- ریسک‌ها می‌توانند با بکارگیری سیاست‌های کاهنده کاهش یابند ولی حذف نمی‌گردند.
- مدیریت ریسک‌های باقیمانده نیازمند تخصیص تجهیزات مناسب و مجیز برای بخش‌های مختلف همچون کارفرما، پیمانکار، طراح و تیم مهندسی است.
- با رویکرد آنالیز ریسک تونل‌های طولانی پروژه خط هفت متروی تهران می‌توان نتایج زیر را عنوان نمود:
- تعیین منابع پتانسیل ریسک‌ها با توجه به شرایط ژئوتکنیکی پروژه
- ارزیابی ریسک اولیه دوره ساخت
- تعیین اقدامات لازمه در راستای رسیدن به هدف پروژه برای کاهش ریسک‌های اولیه
- ارزیابی ریسک باقیمانده بعد از بکارگیری اقدامات کاهنده

براساس نتایج حاصل از بررسی‌ها ۵۴ درصد از پتانسیل‌های ایجاد خرابی یا صدمه در سطح ریسک غیرقابل قبول صرفاً مربوط به عوامل و شرایط ژئوتکنیکی مسیر تونل می‌باشد که با انجام و موثرسازی اقدامات کاهنده ریسک به ۷ درصد تقلیل می‌یابد. همچنین از سطوح ریسک متوسط ۴۲ درصد از پتانسیل‌های ایجاد خرابی و صدمه مربوط به مسائل ژئوتکنیکی بوده که پس از اعمال اقدامات کاهنده ریسک تمامی آنها به سطح پائین ریسک تقلیل یافت.

همچنین با آنالیزهای انجام شده بر روی این پروژه، ۴۸ درصد از پتانسیل‌های ایجاد خرابی و صدمه با ریسک بالا و غیرقابل قبول، ۴۵ درصد با ریسک متوسط و ۷ درصد دارای ریسک جزئی بوده است که پس از ارزیابی هرکدام و شناسایی اقدامات کاهنده مربوطه سطح ریسک به ترتیب برای پتانسیل‌های ایجاد خرابی و صدمه به ترتیب به ۴ درصد با ریسک بالا یا غیرقابل قبول، ۳۳ درصد به ریسک متوسط و ۶۳ درصد با سطح ریسک پائین یا جزئی تقلیل پیدا نمود.

مراجع

Degn Eskesen, S. Tengborg, P. Kampmann, J. Holst Veicherts, T. Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association, Working Group No.2, 2004.

Guglielmetti, V. Piergiorgio, G. Mahtab, A. Xu, and S. MECHANIZED TUNNELLING IN URBAN AREAS. Design methodology and construction control. A BALKEMA BOOK. Turin, Italy, 2007.

گزارش مطالعات تکمیلی ژئوتکنیکی، پروژه خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور زميران ۱۳۸۸.

گزارش مطالعات تکمیلی ژئوتکنیکی، پروژه خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور ساحل ۱۳۸۸.

گزارش مطالعات تکمیلی ژئوتکنیکی، پروژه خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور پژوهش عمران راهوار ۱۳۸۸.

مطالعات پایه تونل - مرحله فاز پیشرفته - گزارش روش اجرا و انتخاب دستگاه و مشخصات فنی دستگاه TBM خط ۷ متروی تهران - شرکت مهندسی سپاسد - اسفند ۱۳۸۷.

Herrenknecht, M. Bappler, K. Mastering risks during mechanized excavation in urban centers with highly complex ground conditions, 2006.

Reilly, J.J. & Brown, J. Management and Control of Cost and Risk for Tunnelling and Infrastructure Projects. Singapore: ITA W.T.C. Proceedings, (۴).

Wan nick, H.P, the Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works. Seoul: ITA W.T.C. Proceedings. 2006.

گزارش مطالعات تکمیلی ژئوتکنیکی، پروژه خط ۷ متروی تهران، مهندسین مشاور زمین فن آوران.

شماره	پتانسیل ایجاد صدمه (خرابی)	شماره	پتانسیل ایجاد صدمه (خرابی)
R1	گیر کردن شیلد TBM	R15	قرارگیری در مسیر نادرست دستگاه حفاری
R2	ناپایداری دیواره تونل	R16	نرخ پیشروی پائین دستگاه حفاری
R3	اضافه حفاری	R17	کمبود تجربه پرسنل
R4	بلوکه شدن دستگاه در اثر ناپایداری جبهه کار	R18	کمبود تجهیزات (بایستی از خارج کشور وارد شوند)
R5	گیر کردن کاترهد دستگاه حفاری	R19	تاخیر در تجهیز و پشتیبانی دستگاه حفاری
R6	هجوم زیاد آب	R20	تصادفات و تصادمات نیروی انسانی
R7	بروز مشکلات مکانیکی در دستگاه حفاری	R21	آتش سوزی و یا رخداد انفجار
R8	گازهای سمی و خطرناک	R22	ایجاد صدمه یا خرابی به تاسیسات شهری
R9	سایش اضافی ابزارهای برشی	R23	خرابی یا وارد شدن صدمه بر ساختمان‌های مجاور
R10	خوردگی شیمیایی	R24	ایجاد صدمه و خرابی بر اثر روانگرایی
R11	اعوجاج رینگ سگمنت	R25	ایجاد ترافیک
R12	عدم جلوگیری سگمنت از ورود آب	R26	آلودگی هوا
R13	درزه‌بندی درست جهت جلوگیری از آب	R27	آلودگی آب
R14	ایجاد ترک و شکست در سگمنت		

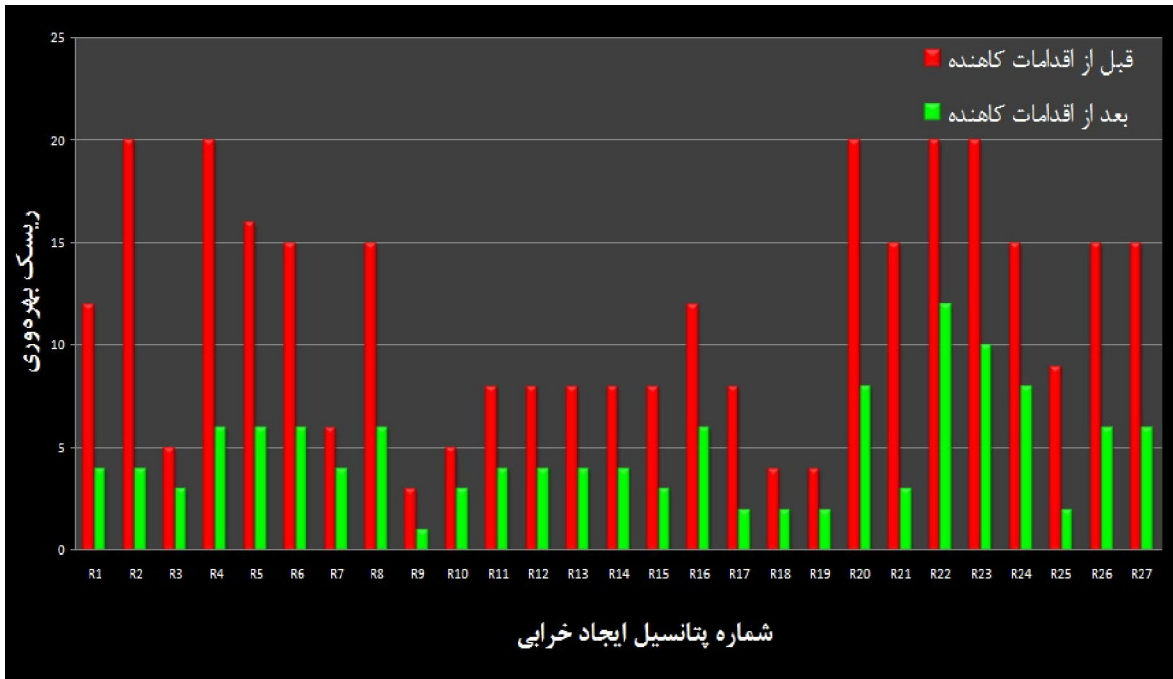
جدول ۲- معرفی اسامی پتانسیل ایجاد صدمه (خرابی)



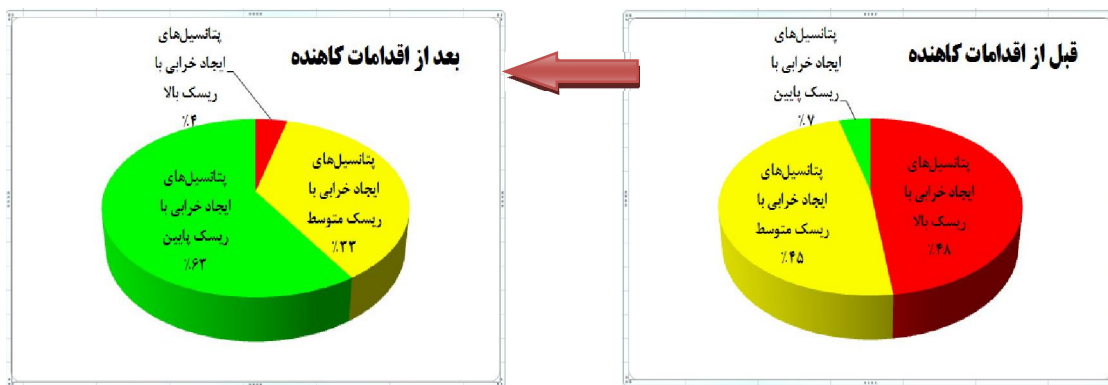
نمودار ۳ ریسک‌های ژئوتکنیکی قبل و پس از اقدامات کاهشده ریسک از دید اقتصادی



نمودار ۴ نتیجه اقدامات کاهشده بر روی ریسک‌ها از دید اقتصادی



نمودار ۵ ریسک‌های ژئوتکنیکی قبل و پس از اقدامات کاهشده ریسک از دید بهره‌وری



نمودار ۶ نتیجه اقدامات کاهشده بر روی ریسک‌ها از دید بهره‌برداری