



مهندسين
مشاور پژوهش



فصلنامه تخصصی قطار شهر

شماره ۳ - بهار و تابستان ۱۴۰۲



مهندسين
مشاور پژوهش



پژوهشگران

مهندس نیما سلحشور (قائم مقام مدیر عامل)

دکتر سید حسام موسوی (مدیر دپارتمان ناوگان و تجهیزات)

مهندس سید نوید قائمی (مدیر پروژه)

مهندس فرنام بهنام (مدیر PMO)

مهندس محمد نوری (مدیر پروژه)

دکتر صادق آمون (کارشناس دپارتمان سازه)

مهندس منوچهر موسوی زاده (کارشناس دپارتمان نقشه برداری)

مهندس رضا آل خمیس (کارشناس دپارتمان سازه)

طراحی گرافیک و صفحه آرایی

مهندس سجاد محمودی (کارشناس دپارتمان ناوگان و تجهیزات)

ویراستار

سرکار خانم زهره استادولی



غلامرضا منیری تکمه داش
مدیر عامل



پیشگفتار

مهندسین مشاور پژوهش قصد دارد تجارب و دانش بدست آمده در خلال پروژه‌های در دست کار خود را در قالب این فصلنامه در اختیار همکاران و جامعه مهندسین کشور قرار دهد. سعی بر آن است که بتوانیم این مجلد را بصورت منظم منتشر کرده و گامی در مدیریت و مستندسازی دانش در حوزه خدمات مهندسین مشاور برداریم. ارائه تجربیات و نقد صادقانه آنها، همچنین خلاصه و مفید بودن مطالب از اهداف اصلی در نگارش متون است و امید است مورد قبول خواننده قرار گیرد. ما را از نظرات خود با خبر سازید.

info@pajoohesh.ir

فهرست مطالب

۱ مقالات

- ۲ طراحی معماری عناصر سطح زمین ایستگاه قطار شهری
- ۵ پلان مدیریت اینترفیس در پروژه‌های ریلی طرح و ساخت
- ۱۵ معرفی خطوط قطار شهری در شهرهای تاریخی
- ۲۸ مخاطرات حفاری مکانیزه با TBM در محیط‌های شهری
- ۴۶ معرفی انواع سگمنت‌های بتنی در تونل‌سازی و بررسی رینگ‌های چپ و راست در TBM های با تعداد کم جک
- ۵۲ دستورالعمل مهندسی و اجراء نقشه‌برداری پروژه‌های قطار شهری
- ۵۷ برآورد کلان احداث تونل در خطوط قطار شهری زیرزمینی در کشور
- ۵۹ معرفی پروژه‌ها
- ۶۰ معرفی خط ۲ قطار شهری مشهد
- ۶۷ تجربه‌های پیشین
- ۶۸ سوابق پژوهش در انجام مطالعات مرحله اول ایستگاه‌های خطوط قطار شهری
- ۶۹ تدوین ضوابط
- ۷۰ ضابطه شماره ۱-۸۰۴ - ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه (جلد اول - ضوابط معماری)
- ۷۳ اخبار پروژه



از اهداف دپارتمان تحقیق و توسعه در مهندسين مشاور پژوهش، حمايت از پروژه‌ها و تحقيقات بروز در زمينه‌هاي مرتبط با فعاليت‌هاي شرکت است. در اين راستا بسياري از همکاران علاوه بر فعاليت در بخش تخصصي مربوطه با حمايت شرکت، حاضري فعال در عرصه‌هاي تحقيقاتي و آزمایشگاهی دارند.

از دستاوردهاي دپارتمان تحقیق و توسعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- همکاري با سازمان برنامه و بودجه کشور در راستای تدوين نشریات تخصصي؛
- حمايت از کنگره‌ها و جلسات تخصصي؛
- چاپ کتاب در زمينه‌هاي تخصصي؛
- چاپ مقاله در مجلات معتبر بين‌المللي و يا کنفرانس‌هاي معتبر خارجي و داخلي.



طراحی معماری عناصر سطح زمین ایستگاه قطار شهری مهندس نیما سلحشور

در خطوط قطار شهری که بصورت همسطح یا بالاتر از سطح زمین طرح‌ریزی می‌شوند، موضوع تعامل با شهر بسیار گسترده و نیازمند طراحی شهری در لبه‌های بوجود آمده توسط این خطوط می‌باشد؛ اما در خطوط قطار شهری زیرزمینی (فارغ از مباحث مربوط به نظام حرکت در معابر و گسترش فضای شهری در سطوح زیرزمین و صرفاً از منظر مباحث مربوط به کالبد و منظر شهری)، عناصر روسطوحی ایستگاه‌ها تنها محل تعامل شهر و خطوط قطار شهری هستند. این عناصر شامل ورودی و آسانسور دسترسی به ایستگاه، کیوسک‌های هوارسان و خروجی‌های اضطراری می‌باشد. در یک دسته‌بندی کلی چالش‌های طراحی و جانمایی این اجزا را می‌توان در دو حالت زیر تقسیم نمود:

(الف) عناصر روسطوحی ایستگاه که در فضاهای عمومی شهر قرار می‌گیرند.
(ب) عناصر روسطوحی ایستگاه که در بافت و پلاک‌های شهری قرار می‌گیرند.

(الف) جانمایی عناصر ایستگاه در فضای عمومی شهر

این دسته از اجزای سطح زمین ایستگاه‌ها در فضاهای عمومی شهر نظیر پارک‌ها، پیاده‌روها، سطوح میانی میادین و فضای سبز میان خیابان قرار می‌گیرند. در طراحی معماری این گروه دو رویکرد اصلی وجود دارد که شامل برجسته‌سازی عناصر یا استتار و محو کردن آنها در منظر شهری می‌باشد. در مجموع بنابر موقعیت قرارگیری ایستگاه و شرایط و ویژگی‌های سایت یکی از دو رویکرد مورد اشاره ایده طراحی این اجزا را شکل می‌دهد. در رویکرد برجسته‌سازی عناصر که بیشتر شامل ورودی‌های ایستگاه می‌گردد، بکارگیری فرم یا نمای شاخص و نورپردازی رایج‌ترین راهکارهای طراحی است.



شکل ۱- ورودی ایستگاه Protugalet در شهر Bilbao - اسپانیا (برجسته‌سازی ورودی ایستگاه با فرم)



شکل ۲- ورودی ایستگاه Canary wharf در شهر لندن - برجسته‌سازی ورودی ایستگاه با فرم



شکل ۳- هواکش ایستگاه فاطمی در خط ۳ متروی تهران (برجسته سازی هواکش ایستگاه با طرح نما)

رویکرد استتار اجزا که با هدف محو کردن آنها در منظر شهری اتخاذ می شود، بیشتر در طراحی کیوسک های هوارسان ایستگاه و خروجی های اضطراری بکار می رود. دو راه کار کلی در جانمایی عناصر با هدف استتار آنها رایج است که شامل جمعیت تمامی عناصر در یک موقعیت یا تفرق آنها در سایت می باشد. انتخاب یکی از این دو راه کار نیز کاملاً وابسته به شرایط سایت است. هرچند که راه کار جمعیت عناصر سطح زمین که البته اغلب مستلزم ساخت مسیر و گالری های دسترسی طولانی تر جهت جمعیت عناصر در یک نقطه نیز می باشد، رایج تر است اما در برخی موارد جمعیت عناصر متعدد سطح زمین در یک نقطه خود سبب بوجود آمدن توده ای بزرگ و حجیم شده و رویکرد اصلی طرح که استتار اجزا می باشد را نقض می کند. فرض کنید طرح ایستگاه مستلزم جانمایی مجموعه ای از کیوسک های هوارسان و خروجی های اضطراری در یک پارک یا فضای سبز در مقیاس محله باشد، در این شرایط اتخاذ راه کار جمعیت عناصر می تواند بدلیل حجیم تر کردن اجزا در یک نقطه به منظر شهری پارک و کارکرد آن آسیب برساند و تفرق اجزای کوچک تر در وسعت فضای سبز، نمود آنها را کاهش دهد و با رویکرد استتار اجزا در منظر شهری هماهنگ تر باشد؛ لذا برخلاف امر رایج در طراحی ایستگاه ها همواره اتخاذ سیاست جمعیت عناصر نمی تواند موفقیت طرح را تضمین نماید و شرایط و امکانات سایت ایستگاه تنها عامل تصمیم گیری در جمعیت یا تفرق اجزا ایستگاه می باشد. از دیگر راه کارهای رایج در جهت استتار اجزای ایستگاه می توان از کاهش ارتفاع کیوسک های هوارسان و حتی اجرای آن بصورت همسطح با پیاده رو، استفاده از رنگ و مصالح یکسان با منظر شهری، حذف دیوار و سقف ورودی ایستگاه نام برد.



شکل ۵- ورودی ایستگاه Centraal Station در شهر آمستردام - هلند
(حذف دیوار و شفت ورودی با هدف استتار و حفظ نمای شهری)



شکل ۴- هواکش کار شده در کف خیابان
New York - آمریکا

ب) جانمایی عناصر ایستگاه در بافت و پلاک‌های شهری

در این گروه با تملک یک یا چند پلاک شهری اجزای ایستگاه داخل پلاک قرار می‌گیرند و از قوانین طرح تفصیلی شهر تبعیت می‌نمایند. در این حالت نیز اتخاذ یکی از دو رویکرد برجسته‌سازی اجزای ایستگاه یا استتار آنها اولین گام در طراحی می‌باشد و بدیهی است که هیچ امر کلی در این باب نیز وجود ندارد و تصمیم درست با بررسی شرایط و ویژگی‌های سایت بدست می‌آید. اغلب در این حالت در طرح ورودی‌ها از رویکرد برجسته‌سازی و در طراحی کیوسک‌های هوا و خروجی‌های اضطراری از رویکرد استتار استفاده می‌شود. رایج‌ترین راه‌کارهای معماری در رویکرد برجسته‌سازی عناصر عبارتند از: طرح فرم شاخص، نورپردازی، طرح فضای باز شهری در داخل پلاک (در تقابل با توده‌گذاری در پلاک‌های مجاور)، طرح نمای متفاوت با پلاک‌های همسایه (در این موارد گاهی از ضوابط طرح تفصیلی چشم‌پوشی می‌گردد). در رویکرد استتار و ناپیدا کردن اجزای ایستگاه راه‌کارهایی نظیر: استفاده از مصالح نمای واحدهای همسایه، امتداد خطوط شکل دهنده به نمای پلاک‌های همسایه (نظیر خط آسمان) در اجزای ایستگاه، استفاده از پوشش گیاهی جهت ناپیدا کردن احجام، بکار گرفته می‌شود.

طراحی معماری عناصر سطح زمین ایستگاه قطار شهری

جانمایی عناصر در فضای عمومی شهر		جانمایی عناصر در بافت	
رویکرد برجسته‌سازی عناصر	رویکرد استتار عناصر	رویکرد برجسته‌سازی عناصر	رویکرد استتار عناصر
فرم شاخص	تجميع عناصر	فرم شاخص	بکارگیری نما و مصالح پلاک همسایه
نور پردازی	تفرق عناصر	نور پردازی	تبعیت از فرم پلاک همسایه
		فضای باز در امتداد فضای عمومی شهر	پوشش گیاهی



پلان مدیریت اینترفیس در پروژه‌های ریلی طرح و ساخت دکتر سید حسام موسوی

۱- مقدمه

پروژه‌های بزرگ و مولتی دیسپلین عموماً در رده پروژه‌های کلان قرار دارند که ذاتاً دارای پیچیدگی‌های متعدد بوده و عموماً گروه‌ها و سازمان‌های مختلف را در بر می‌گیرند. در چنین پروژه‌هایی عملاً لازم است تلاش‌های مضاعفی برای هماهنگی و مدیریت انجام گیرد.

یک راه موثر برای مدیریت پروژه‌های پیچیده (مگا پروژه‌ها و پروژه‌های مولتی دیسپلین)، تقسیم آن به بخش‌های کوچکتر با امکان مدیریت آسان‌تر است. چنین کاری با ساختار شکست کار امکان‌پذیر است که در واقع با تقسیم پروژه به المان‌هایی با اقلام مجزای قابل تحویل، ساختار و سازمان کل پروژه را تعریف می‌کند.

پس از آن، شناسایی و ایجاد ارتباطات و اینترفیس‌های لازم بین زیربخش‌های مختلف پروژه، مدیریت پروژه را تسهیل می‌نماید. بنابراین اینترفیس به معنای هماهنگی و ارتباط بین زیربخش‌های پروژه بوده و مدیریت اینترفیس با شفاف‌سازی نقش‌ها، مسئولیت‌ها و موارد قابل تحویل پروژه، تضمین‌کننده کلیت پروژه و یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت پروژه است. نگاهی به پروژه‌هایی که مدیریت اینترفیس در آنها به درستی اجرا نشده نشان می‌دهد که مشکلاتی مانند دوباره کاری‌ها، تأخیرات، ناسازگاری‌ها و مواردی از این دست برای این پروژه‌ها دور از انتظار نیست.

۲- هدف

هدف از تهیه پلان مقدماتی مدیریت اینترفیس، مدیریت فصل مشترک‌ها و مسئولیت‌های ارکان فعال در پروژه می‌باشد. مدیریت فصل مشترک‌ها در سه حوزه زیر انجام می‌پذیرد:

- ملاحظات مربوط به اینترفیس تجهیزات (ثابت و متحرک) با یکدیگر؛
- ملاحظات مربوط به اینترفیس بخش‌های ساختمانی با تجهیزات ثابت و متحرک؛
- ملاحظات مربوط به اینترفیس عملکرد زیر سیستم‌ها با یکدیگر؛
- ملاحظات مربوط به اینترفیس بین سازمان‌ها، نهادها و ارگان‌های برون سازمانی با ارکان درون سازمانی پروژه.

ارکان مختلف اجرایی پروژه که در مدیریت اینترفیس‌ها دخالت دارند به شرح زیر می‌باشد:

- **پیمانکار اصلی:** یک وظیفه اصلی برای رهبر مشارکت وجود دارد و آن رهبری ساخت و ساز و رعایت اینترفیس‌ها است.
- **مجموعه پیمانکاران جزء تأمین‌کننده تجهیزات ویژه:** این تأمین‌کنندگان تجهیزاتی مسئول رعایت و سازگاری اینترفیس‌های تجهیزاتی و عملکردی تجهیزات هستند.
- **مشاور کارفرما/کارفرما:** نهاد مسئول نظارت بر حسن اجرا و کنترل اینترفیس‌ها در چارچوب شرح خدمات خود می‌باشد.

در طول هر پروژه اغلب چهار فاز اصلی به شرح ذیل تعریف می‌شود که در تمام این مراحل اینترفیس‌های مربوطه باید در نظر گرفته شوند:

- فاز تهیه اسناد مناقصه و برگزاری مناقصات (مسئول انجام مجموعه کارفرمایی): الزامات اینترفیسی اولیه به عنوان بخشی از قراردادها لحاظ خواهند شد و جزئی از مدیریت اینترفیس می‌باشند. این برآورد اولیه اینترفیسی تمام مراحل قرارداد یک مگا پروژه شامل اینترفیس طراحی، اینترفیس نصب، اینترفیس ساخت، اینترفیس تست و آماده‌سازی را نیز در بر خواهد گرفت.
- فاز طراحی و مهندسی (مسئول انجام بدنه پیمانکار طرح و ساخت):
 - **در طول دوره طراحی مفهومی قرارداد طرح و ساخت:** مدیریت اینترفیس و یکپارچگی توسط تیم مهندسی پیمانکار طرح و ساخت برای تحلیل‌های آتی تهیه می‌گردد تا قادر باشد اطلاعات تحویل داده شده توسط طراح را ارزیابی نموده و نکات کلیدی مرتبط با مرحله بعد (طراحی پایه) را شناسایی نماید. این تشخیص اینترفیس بین هر یک از پیمانکاران و مدیریت اینترفیس و یکپارچگی به اشتراک گذاشته خواهد شد. اما این موضوع به منزله ابزاری است تا به جلسات توسعه اینترفیسی کمک نماید. تدقیق اینترفیس‌ها به منظور کاهش ادعاهای مالی و کارهای اضافی در هر قراردادی لحاظ خواهد شد.

• **در طول دوره طراحی پایه و تفصیلی قرارداد طرح و ساخت:** مدیریت اینترفیس و یکپارچگی پروژه، اسناد طراحی پایه را برای تصحیح تحلیل‌های آتی استفاده خواهد نمود تا قادر باشد اطلاعات تحویل داده شده توسط طراح را ارزیابی کرده و نکات کلیدی مرتبط به مرحله بعد (طراحی تفصیلی) را شناسایی نماید. این تشخیص اینترفیس بین هر یک از پیمانکاران و مدیریت اینترفیس و یکپارچگی به اشتراک گذاشته خواهد شد. اما این موضوع به منزله ابزاری است تا به جلسات توسعه اینترفیسی کمک نماید. تدقیق اینترفیس‌ها به منظور کاهش ادعاهای مالی و کارهای اضافی در هر قراردادی لحاظ خواهد شد. ارزیابی‌های انجام شده بر روی فصل مشترک بین هر یک از مهندسان و پیمانکاران به اشتراک گذاشته خواهد شد، هرچند بعنوان ابزاری برای کمک به توسعه و پیشرفت جلسات فصل مشترک بعنوان قطعنامه‌ای برای محدود کردن میزان ادعا و کارهای اضافی پیمانکاران مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- فاز اجرا، نصب و راه‌اندازی،
- فاز تست و آماده‌سازی تا بهره‌برداری آزمایشی.

هدف از فعالیت‌های مدیریت فصل مشترک‌ها، حصول اطمینان از عملکرد صحیح و سازگاری بین فعالیت‌های ساختمانی، روسازی، تجهیزات ثابت و ناوگان و تأسیسات شهری می‌باشد که تمامی این موارد باید به موقع مشخص و شناسایی شده و بر سازگاری آنها و عملکرد صحیح نظارت شود که این امر می‌تواند از تأخیرها، دوباره کاری‌ها و هزینه‌های اضافی در طول پروژه جلوگیری نماید.

هدف از تهیه "پلان مقدماتی اینترفیس"، تعریف فصول مشترک بین پیمانکاران مختلف فعال در پروژه و همچنین تعریف اینترفیس‌های مختلف بین بخش‌های مختلف ساختمانی و تجهیزاتی پروژه بوده که کنترل این الزامات اینترفیسی در فازهای طراحی، تأمین، نصب و راه‌اندازی تجهیزات متفاوت بوده و در طول پروژه توسط تیم مدیریت اینترفیس و حفظ یکپارچگی پیمانکار طرح و ساخت در سندی بعنوان "پلان تفصیلی مدیریت اینترفیس و یکپارچگی" تهیه و مبنای انجام امور مهندسی، تأمین و ساخت در دوره پروژه قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است که این سند یک سند زنده و به روز بوده و در دوره پروژه و با پیشرفت عملیات اجرایی و تأمین، بازنگری و ویرایش مجدد می‌گردد.

رعایت فهرست اینترفیس‌های تهیه و ارائه شده در پروژه منحصراً بر عهده و مسئولیت پیمانکار طرح و ساخت بوده و مشکلات ناشی از عدم رعایت فصل مشترک‌ها و نیز هماهنگی آن با سایر بخش‌ها بر عهده ایشان می‌باشد.

شناسایی مدیریت فصل مشترک‌ها تا حد امکان موارد زیر را برآورده خواهد نمود:

- شناسایی اینترفیس‌های بخش‌های مختلف پروژه که توسط پیمانکاران متعدد اجرا می‌گردد از بروز مشکلات احتمالی مرتبط با ساختار شکست کار پروژه بین این پیمانکاران جلوگیری می‌نماید.
- شناسایی تمام اینترفیس‌های موجود داخل اجزاء پروژه و اینترفیس‌ها با تأسیسات شهری و سازمان‌های دولتی و خصوصی متولی آن که در این قالب قابل اجرا می‌باشد.

بر اساس توافقات قراردادی فی‌مابین کارفرما و پیمانکاران ساختمانی و تجهیزاتی، مسئولیت و شرح کار هر گروه کاری اینترفیسی، به یک پیمانکار جزء ساختمانی / تجهیزاتی پروژه انتقال داده می‌شود.

یک گروه کاری می‌تواند به یک بخش یا مجموعه‌ای واحد از چند زیر بخش مرتبط باشد. در سند "پلان مقدماتی مدیریت اینترفیس و یکپارچگی" گروه‌های مختلف کاری لازم است که تعریف شوند.

این لیست فصل مشترک، به اینترفیس‌های بین پیمانکار اصلی پروژه و پیمانکاران جزء گروه‌های مختلف کاری مرتبط می‌باشد.

۳- محدوده و حوزه کاری

همانطور که در بخش پیش نیز تبیین گردید، هدف از تدوین پلان مقدماتی مدیریت اینترفیس اطمینان حاصل کردن از پیش‌بینی تداخلات کاری بین حوزه‌های عمرانی، تجهیزاتی، ناوگان، ارگان‌های شهری و سایر عوامل دخیل در طراحی، ساخت، تأمین تجهیزات، نصب و راه‌اندازی، بهره‌برداری و نگهداری بوده به نحوی که با شناسایی و شفاف‌سازی شرح وظایف هر پیمانکار / سازنده و مشاور، از تأخیرات زمانی و هزینه‌های اضافی ناشی از دوباره‌کاری پیشگیری شود. لذا لازم است طراح در همکاری با تمامی پیمانکاران و سازندگان موثر در طراحی بر اساس روش ارائه شده در ادامه این بخش، نسبت به تدوین پلان تفصیلی مدیریت اینترفیس اقدام نماید.

مدیریت فصل مشترک‌ها برای انواع اینترفیس‌های زیر در الزامات و مسئولیت‌های عملکردی، نصب، سازماندهی و مدیریت حوزه‌های کاری مختلف ساختمانی و تجهیزاتی قابل اجرا می‌باشد:

- اینترفیس‌های داخلی بین بخش ساختمانی و سایر بخش‌های تجهیزات ثابت و متحرک (برق‌رسانی، سیگنالینگ، کنترل و مخابرات، تأسیسات، ناوگان و...);
 - اینترفیس‌های داخلی بین زیرسیستم‌های تجهیزات ثابت و ناوگان؛
 - اینترفیس‌های خارجی بین سازمان‌های تأسیسات شهری (آب، برق، گاز منطقه‌ای، مخابرات، آتش‌نشانی، شهرداری، راهنمایی و رانندگی، سازمان تنظیم مقررات، پدافند غیرعامل و...) با بخش‌های ساختمانی و تجهیزاتی پروژه.
- به منظور تضمین حسن اجرای فعالیت‌های مرتبط با مدیریت اینترفیس‌ها، مدیر اینترفیس باید مستندات اولیه زیر را تهیه و تشریح نموده و به تایید پیمانکار اصلی و پیمانکاران جزء برساند:

- طرح و برنامه مدیریت اینترفیس؛
- ماتریس اینترفیس؛
- ثبت اینترفیس؛
- جداول اینترفیس‌ها.

این اسناد باید توسط کارفرما بازبینی شده و نقطه نظرات ارائه شده تا حد امکان توسط مدیر اینترفیس اعمال گردد. وظایف اصلی مدیریت فصل مشترک‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- شناسایی فصول مشترک؛
- توافق در خصوص فصول مشترک؛
- طبقه‌بندی فصول مشترک؛
- تعیین فصول مشترک؛
- تجزیه و تحلیل و تدقیق اینترفیس‌ها؛
- تغییر/لغو اینترفیس‌هایی که منتج از تغییرات در طراحی هستند؛
- زمانبندی (برنامه‌ریزی) اینترفیس‌ها؛
- نظارت و پایش اینترفیس‌ها در طول مدت طراحی، تست و راه‌اندازی؛
- ممیزی و بازرسی اینترفیس‌ها.

۴- روش‌های شناسایی اینترفیس‌ها و معرفی عوامل تاثیرگذار

عوامل هر پیمانکار جزء باید در شناسایی فصل مشترک‌های متناظر مشارکت داشته باشد.

برای هر نوع اینترفیس، باید مستند ثبت اینترفیس تهیه شده باشد، این مستند باید در برگرفته حداقل اطلاعات زیر باشد:

- عنوان اینترفیس؛
- شماره شناسایی اینترفیس / شماره تجدید نظر؛
- وضعیت اینترفیس؛
- تقسیم‌بندی اینترفیس (اصلی / مربوط به ایمنی)؛
- نوع اینترفیس (داخلی / خارجی / کارهای ساختمانی / محیطی / سازمان‌های بیرونی متولی تأسیسات شهری)؛
- تعیین بخش‌ها یا زیرسیستم‌های درگیر؛
- مهلت زمانی درخواست شده برای بازنگری و تدقیق.

انطباق و سازگاری اینترفیس‌های تجهیزاتی و عملکردی باید در طول پروژه بروزرسانی شود.

برای یک اینترفیس داده شده، فقط یک بخش تحت عنوان اصلی فرآیند اینترفیس باید در نظر گرفته شود. در این اینترفیس فقط عنوان اصلی اینترفیس با یک یا چند زیر سیستم درگیر ارتباط خواهد داشت. این بخش‌ها برای ایجاد یک مجموعه عملکردی واحد و برآورده نمودن کلیه الزامات اینترفیس باید با یکدیگر کار کنند.

در هر بخش کاری برای مواجه شدن با تمام مسایل اینترفیسی باید یک مسئول اینترفیس تعیین گردد. فرآیند مدیریت اینترفیس می‌بایست در برنامه‌زمانبندی کلی پروژه لحاظ شده و با سایر فرآیندهای اجرایی پروژه به لحاظ زمانبندی سازگار باشد. مدیر اینترفیس در جلسات دوره‌ای (حداکثر یک ماهه)، می‌بایست جلساتی با موضوع بررسی و مرور مدیریت اینترفیس جهت نظارت و پایش اینترفیس‌ها برگزار نماید.

۵- روش انجام

به منظور اطمینان حاصل کردن از اجرای صحیح عملیات مدیریت اینترفیس، مدیر اینترفیس طراح/پیمانکار اصلی می‌بایست در هماهنگی با سایر پیمانکاران و سازندگان دخیل در اجرای پروژه، نسبت به تولید اسناد ذیل اقدام نماید:

- پلان مدیریت اینترفیس؛
 - ماتریس اینترفیس؛
 - معرفی حوزه‌های کاری موثر (مطابق نمونه ارائه شده در جدول ۱)؛
 - برگه اطلاعات اینترفیسی بین بخش‌ها و زیربخش‌های مختلف (مطابق فرمت ارائه شده در جدول ۲)؛
- مهم‌ترین موضوعاتی که در پلان مدیریت اینترفیس لازم است مورد بررسی و توجه قرار گیرد شامل موارد ذیل می‌باشد:
- شناسایی اینترفیس‌ها؛
 - حل و فصل روش مدیریت اینترفیس؛
 - طبقه‌بندی اینترفیس‌ها؛
 - تعاریف مفاهیم اینترفیسی؛
 - تغییرات یا حذف برخی موارد اینترفیسی بواسطه تغییرات در طراحی؛
 - زمانبندی اجرای موارد اینترفیسی؛
 - مانیتورینگ اینترفیس‌های تعریف شده در مراحل مختلف طراحی، ساخت، تأمین تجهیزات، نصب و راه‌اندازی، بهره‌برداری و نگهداری؛
 - بازرسی و ممیزی اجرای اینترفیس‌ها.

جدول ۱ - نمونه حوزه کاری مخابرات برای معرفی زیرسیستم‌ها و فرآیندهای موثر اینترفیسی

ایجاد ارتباطات رادیویی	خلاصه‌ای از عملکرد و کارکرد سیستم
اطلاع رسانی	
تبادل اطلاعات	
همسنگ‌سازی زمانی اطلاعات در کل مجموعه	
کنترل دسترسی	
P01.01: مخابرات-رادیو	زیرسیستم‌ها و رویه‌های اصلی
P01.02: مخابرات-وای‌فای	
P01.03: مخابرات-اطلاع‌رسانی صوتی	
P01.04: مخابرات-دوربین مدار بسته	
P01.05: مخابرات-MSN	
P01.06: مخابرات-شبکه	
P01.07: مخابرات-تلفن	
P01.08: مخابرات-ساعت	
ایستگاه‌ها	موقعیت نصب
تونل	
سالن‌های پارکینگ و تعمیراتی ناوگان و تعمیرات زیربنایی و ساختمان‌های اداری دپو	
خطوط ریلی سایت دپو	
گزارشات و استانداردهای مرتبط	مراجعه و استانداردهای طراحی

بعلاوه مدیر اینترفیس ملزم به برگزاری جلسات منظم به منظور مرور و پیگیری در اجرای مفاهیم اینترنتیسی از سایر اعضای دخیل در اجرای پروژه می باشد. این جلسات می بایست با حضور کارشناسان و مدیران کلیدی از مجموعه های مختلف برگزار شود. پیشنهاد می شود به منظور تفکیک حوزه های کاری موثر، پس از شناسایی آنها نسبت به تفکیک بصورت "گروه کاری" و کدگذاری آنها اقدام شود. یک گروه کاری می تواند به یک بخش یا مجموعه ای واحد از چند زیربخش مرتبط باشد. در ذیل بعنوان نمونه گروه های کاری و کدگذاری در یک پروژه طراحی و ساخت دیو قطار شهری تعریف شده است.

G1 کارهای عمرانی	G2 تجهیزات الکترومکانیکال و ناوگان	G3 ارگان های شهری
G1-1 مجرای کابل	G2-1 ناوگان	G3-1 تأسیسات شهری
G1-2 مجرای کابل و تأسیسات آدمرو/کانال انرژی	G2-2 تجهیزات تعمیرگاهی	G3-2 پدافند غیر عامل
G1-3 پایه های ریل سوم/شبکه بالاسری	G2-3 سیستم سیگنالینگ	G3-3 سایر ارگان های شهری
G1-4 زهکشی	G2-4 سیستم مخابرات - ساعت	G3-4 سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
G1-5 فنداسیون دکل های روشنایی	G2-5 سیستم مخابرات - اعلان صوتی	
G1-6 روکش بتونی	G2-6 سیستم مخابرات - رادیو	
G1-7 تقاطعات ریلی و جاده ای	G2-7 سیستم مخابرات - MSN	
G1-8 محدود بارانداز قطار	G2-8 سیستم مخابرات - تلفن	
G1-9 ساختمان توقفگاه	G2-9 سیستم مخابرات - دوربین مدار بسته	
G1-10 سالن بازدیدهای روزانه و تعمیرات سبک	G2-10 سیستم مخابرات - کنترل دسترسی	
G1-11 سالن تعمیرات سنگین، نیمه سنگین و تعمیرات اساسی	G2-11 پست ولتاژ قوی HVS	
G1-12 سالن تراش چرخ زیرزمینی	G2-12 پست پاساژ	
G1-13 چال سرویس ها	G2-13 پست ترکشنی TPS	
G1-14 عرشه های دسترسی	G2-14 پست روشنایی LPS	
G1-15 ساختمان HVS	G2-15 توزیع ولتاژ پایین	
G1-16 ساختمان پست پاساژ	G2-16 ریل سوم/شبکه بالاسری	
G1-17 ساختمان TPS	G2-17 ارتینگ و همبندی ترکشنی	
G1-18 ساختمان LPS	G2-18 ارتینگ و همبندی غیر ترکشنی	
G1-19 ساختمان شستشوی اتوماتیک قطار	G2-19 سیستم اعلام حریق	
G1-20 کارهای خطی	G2-20 سیستم اطفای حریق	
G1-21 تأمین آب	G2-21 SCADA & BMS	
G1-22 فنداسیون تجهیزات تعمیرگاهی ویژه	G2-22 تأسیسات الکتریکی	
	G2-23 تأسیسات مکانیکی	

شکل ۱- گروه های کاری و کدگذاری در یک پروژه طراحی و ساخت دیو قطار شهری

مطابق دیاگرام نمایش داده در شکل (۱) جهت انجام مطالعات اینترفیس، انجام شکست کار و تعیین گروه‌های کاری به شیوه ذیل مورد انتظار می‌باشد:

۱- شکست کار به بخش‌های اصلی؛

۲- شکست هر یک از بخش‌های اصلی اشاره شده در بند (۱) به زیر بخش‌ها؛

۳- شکست هر یک از زیر بخش‌های اشاره شده در بند (۲) به زیرسیستم‌ها و فرآیندهایی که در انجام مطالعات اینترفیسی موثر می‌باشند. به عنوان مثال در جدول (۱) نمونه‌ای برای حوزه کاری مخابرات جهت معرفی فرمت مورد نظر اشاره شده است.

پس از تعریف جداول مورد نیاز برای تمامی زیربخش‌ها و معرفی تمامی زیرسیستم‌ها و فرآیندهای موثر در فصل مشترک‌ها، لازم است به شیوه ذیل بررسی متقابل و ضربداری موارد اینترفیسی صورت پذیرد:

- چک کردن فصل مشترک‌ها در یک زیربخش: کنترل زیرسیستم‌ها و فرآیندهای یک زیربخش (به عنوان مثال معرفی اینترفیس زیربخش **کارهای خطوط ریلی** با کد G1-20 (از بخش **کارهای عمرانی** با کد G1) که زیر مجموعه‌های آن شامل زیرسازی، روسازی، ریل، سوزن، اسلب، پابند و ... می‌باشد)؛
- چک کردن فصل مشترک‌ها در یک بخش: شامل کنترل زیربخش‌ها (و فرآیندهای آن زیربخش) با سایر زیربخش‌ها از همان بخش (به عنوان مثال معرفی اینترفیس‌های زیربخش **زهکشی** با کد G1-4 با زیربخش **ساختمان شستشوی اتوماتیک** با کد G1-19 که هر دو زیربخشی از بخش **کارهای عمرانی** با کد G1 می‌باشند)؛
- چک کردن فصل مشترک‌ها در دو بخش مختلف: کنترل زیربخش‌ها (و فرآیندهای آن زیربخش) با سایر زیربخش‌ها از بخش دیگر (به عنوان مثال معرفی اینترفیس‌های زیربخش **ناوگان** با کد G2-1 (از بخش **تجهیزات الکترو-مکانیکال** با کد G2) با زیربخش **کارهای خطوط ریلی** با کد G1-20 (از بخش **کارهای عمرانی** با کد G1).

ردیف	نوع تجهیز	نام تجهیز	وضعیت تجهیز		توضیحات
			در دسترس	خارج از دسترس	
1	تجهیزات مکانیکی	1-1	موتور الکتریکی	در دسترس	
		1-2	پمپ سانتریفوجی	در دسترس	
		1-3	موتور دیزلی	در دسترس	
		1-4	تurbine	در دسترس	
		1-5	موتور هیدرولیک	در دسترس	
		1-6	موتور الکتریکی	در دسترس	
		1-7	موتور دیزلی	در دسترس	
		1-8	موتور الکتریکی	در دسترس	
		1-9	موتور دیزلی	در دسترس	
		1-10	موتور الکتریکی	در دسترس	
2	تجهیزات الکتریکی	2-1	کابل برق	در دسترس	
		2-2	تابلو برق	در دسترس	
		2-3	موتور الکتریکی	در دسترس	
		2-4	تابلو برق	در دسترس	
		2-5	موتور الکتریکی	در دسترس	
		2-6	تابلو برق	در دسترس	
		2-7	موتور الکتریکی	در دسترس	
		2-8	تابلو برق	در دسترس	
		2-9	موتور الکتریکی	در دسترس	
		2-10	تابلو برق	در دسترس	
3	تجهیزات هیدرولیک	3-1	موتور الکتریکی	در دسترس	
		3-2	پمپ سانتریفوجی	در دسترس	
		3-3	موتور دیزلی	در دسترس	
		3-4	turbine	در دسترس	
		3-5	موتور هیدرولیک	در دسترس	
		3-6	موتور الکتریکی	در دسترس	
		3-7	موتور دیزلی	در دسترس	
		3-8	موتور الکتریکی	در دسترس	
		3-9	موتور دیزلی	در دسترس	
		3-10	موتور الکتریکی	در دسترس	

شکل ۲- ماتریس اینترفیس برای پروژه طراحی و ساخت یک دیوی قطار شهری

جهت انجام موارد اینترفیس به صورت ذکر شده در ۳ بند بالا، لازم است جداولی به شرح ذیل (مطابق الزامات کارفرمایی) تشکیل شود و مشخصاً روابط اینترفیسی، اطلاعات رد و بدل شده و مسئول انجام این موارد در مراحل مختلف کاری از طراحی تا تحویل پروژه تشریح شود.

جدول ۲- فرمت برگه اطلاعات اینترفیسی

برگه اطلاعات اینترفیسی - فرمت					
نام پروژه	کد گروه کاری	پیمانکار (ب)	کد گروه کاری	پیمانکار (الف)	ویرایش #: ۰۰ برگه #: ۱/۱
آخرین تغییرات:	مخفف	نام پیمانکار/سازنده	مخفف	نام پیمانکار/سازنده	تولید شده توسط:
		نام نویسنده، سمت، امضای پیمانکار/سازنده/طراح (ب)		نام نویسنده، سمت، امضای پیمانکار/سازنده/طراح (الف)	کنترل و بررسی توسط:
		نام کنترل کننده، سمت، امضای طراح دیو		نام کنترل کننده، سمت، امضای طراح دیو	
طبیعت: توصیف مختصر اینترفیس مربوطه / اجزای کلیدی (برنامه زمانی، برنامه فیزیکی، عملکرد و ...)					
پیمانکار ب (پیمانکار دنبال کننده)			پیمانکار الف (پیمانکار جلودار و رهبر)		
مرحله طراحی			مرحله طراحی		
عنوان:			عنوان:		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی		
مستندات و مراجع:			مستندات و مراجع:		
پیمانکار ب (پیمانکار دنبال کننده)			پیمانکار الف (پیمانکار جلودار و رهبر)		
مرحله ساخت و نصب			مرحله ساخت و نصب		
عنوان:			عنوان:		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی		
مستندات و مراجع:			مستندات و مراجع:		
پیمانکار ب (پیمانکار دنبال کننده)			پیمانکار الف (پیمانکار جلودار و رهبر)		
مرحله تست و راه اندازی			مرحله تست و راه اندازی		
عنوان:			عنوان:		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی		
مستندات و مراجع:			مستندات و مراجع:		
پیمانکار ب (پیمانکار دنبال کننده)			پیمانکار الف (پیمانکار جلودار و رهبر)		
مرحله بهره برداری و تعمیرات			مرحله بهره برداری و تعمیرات		
عنوان:			عنوان:		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #: جزئیات اینترفیسی		
مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی			مخفف نام پیمانکار (الف) / مخفف نام پیمانکار (ب) - #+۱: جزئیات اینترفیسی		
مستندات و مراجع:			مستندات و مراجع:		

که در این جدول رنگ‌های نمایش داده شده به مفهوم ذیل است:

- رنگ زرد
- رنگ آبی
- رنگ سبز
- رنگ بنفش
- رنگ نارنجی
- مرحله طراحی پایه
- مرحله طراحی تفصیلی
- مرحله ساخت و نصب
- مرحله تست و راه اندازی
- مرحله بهره‌برداری و تعمیرات

۶- مدیریت اینترفیس در قراردادهای طراحی

در قرارداد هر پکیج تجهیزایی یا ساختمانی، باید بندهای الزام آوری وجود داشته باشد که پیمانکار به فراهم آوردن اطلاعات لازم برای سایر زیرسیستم‌ها یا سایر پیمانکاران ملزم و متعهد شده باشد.

هدایت و راهبری کلیه اینترفیس‌های فیزیکی در وهله اول بر عهده پیمانکار اصلی طرح و ساخت و در هماهنگی با خواسته‌های طراحان بخش ساختمانی و نیازهای عملکردی پیمانکاران تجهیزاتی می‌باشد. بعنوان بخشی از قراردادهای طراحی، طراحی در مراحل زیر انجام خواهد شد:

- طراحی مفهومی؛
- طراحی پایه؛
- طراحی نهایی و طراحی ساخت.

اهتمام و توجه مدیر طرح پروژه برای برگزاری جلسات اینترفیس



شکل ۳-فلوچارت نحوه مدیریت اینترفیس در قراردادهای طراحی

۶-۱- پیشرفت فرآیند مدیریت اینترفیس و حفظ یکپارچگی

هر یک از مراحل اشاره شده در بالا، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در تدقیق اینترفیس‌ها فراهم می‌آورد و پیمانکار تجهیزاتی را مجاز می‌شمارد تا اطلاعات اینترفیزی کلی را تهیه نموده، آنگاه الزامات اینترفیزی را ریزتر نموده و نهایی نماید. اینترفیس‌های ممکنه به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- اینترفیس قراردادهای ساختمانی، تجهیزاتی و سازمان‌های تأسیسات شهری با یکدیگر؛
- اینترفیس‌های فیزیکی (اینترفیس بخش ساختمانی با بخش تجهیزات ثابت و متحرک)؛
- اینترفیس‌های عملکرد (اینترفیس "خدمات ارائه شده با اجرای پروژه" با "قراردادهای ساختمانی و تجهیزاتی و سازمان‌های تأسیسات شهری")؛

ماتریس اینترفیس با تقسیم شرح اجرای پروژه تعیین می‌شود.

- اولین برآورد از اینترفیس‌ها توسط مدیر طرح پروژه ارائه می‌شود. تعیین این ساختار اینترفیزی مقدماتی با شکست شرح کار پروژه بین پیمانکاران انجام می‌پذیرد؛
- به عنوان بخشی از طراحی مفهومی، هر دفتر طراحی پاسخ‌های مفهومی، نقشه‌ها یا نکات فنی را به عنوان الزامات اینترفیزی به سایر واحدهای طراحی پروژه ارائه خواهد داد. به صورت همزمان آنها الزامات مربوطه را جهت بهبود و تکمیل طراحی‌ها تعیین می‌نمایند و به واحدهای طراحی مربوطه درخواست‌های خود را اعلام می‌نمایند؛
- این تقاضاها طی برگزاری جلسات مدیریت اینترفیس‌ها با محوریت مدیریت اینترفیس و یکپارچگی به صورت شفاف ارائه خواهد گردید. مدیریت اینترفیس و یکپارچگی می‌بایست کاملاً توجه نماید نتایج حاصل از برگزاری تمام این جلسات سبب بهبود تبادل اطلاعات اینترفیزی بین پیمانکاران می‌گردد؛
- بعنوان بخشی از گزارش‌های ارائه شده، گزارش‌دهی پیشرفت مرتب اینترفیس‌ها باید مستندسازی گردد. اطلاعات این گزارش‌ها بصورت جدولی تنظیم می‌گردد و نشان می‌دهد اطلاعات اینترفیزی کدام بخش‌ها تهیه شده و اطلاعات اینترفیزی کدام بخش‌ها از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه مدیریت اینترفیس یکی از مهمترین روش‌های مدیریت مگاپروژه‌ها است. مدیریت اینترفیس در پروژه‌های کلان ریلی با توجه به پیمانکاران فعال در پروژه، اجزای فیزیکی، رشته‌های تخصصی و نهایتاً اقلام قابل تحویل می‌بایست برنامه‌ریزی شده و به انجام رسد.

در مدیریت اینترفیس‌های چنین پروژه‌هایی براساس ساختار شکست پروژه و براساس ماتریس اینترفیس و روش ذکر شده در این مقاله، پیمانکار طرح و ساخت می‌بایست نسبت به تهیه و ارائه گزارش "پلان تفصیلی مدیریت اینترفیس" و سایر خدمات مورد نیاز در این حوزه در طول دوره پروژه اقدام نماید. این گزارش شامل فرم‌های مربوط به مشخصات اینترفیس و ماتریس مسئولیت مربوط به هر اینترفیس بوده و انتقال اطلاعات و داده‌ها در هر نقطه اینترفیسی با کمک فرم‌های اینترفیسی تا بسته شدن هر اینترفیس ادامه می‌یابد.

مدیریت اینترفیس پروژه توسط تیمی متشکل از مدیر اینترفیس و یکپارچگی و کارشناسان عالی در حوزه‌های تخصصی مهندسی برق/راه‌آهن برقی (قدرت، الکترونیک و کنترل) و مهندسی مکانیک/راه‌آهن جریه (اطفای حریق، ناوگان و تجهیزات تعمیرگاهی) و کارهای عمرانی انجام می‌شود.

تمام اینترفیس‌های پروژه در گزارش "پلان تفصیلی مدیریت اینترفیس" (FIMP^۲) ذخیره شده و می‌بایست به صورت دوره‌ای به روز شده و تحویل مجموعه کارفرمایی گردد.

مقدمه

تاریخچه استفاده از مترو به نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی برمی گردد؛ زمانی که شکوفایی صنعتی در کشورهای اروپایی به اوج خود رسیده بود و هر روز طرح‌ها و ایده‌های بسیاری برای توسعه و پیشرفت زندگی شهری جوامع مطرح می‌شد. مترو نیز در همین راستا مدیون پیشرفت تکنولوژی در عرصه راه‌آهن و همچنین توسعه فیزیکی شهرهای اروپایی است.

ایده احداث مترو اولین بار در کشورهای انگلستان و آلمان مطرح شد. این ایده اولیه به این صورت بود که دو ایستگاه اصلی راه‌آهن در دو سوی شهر توسط یک محور زیرزمینی به هم متصل شود. اولین طرحی که در این زمینه اجرایی شد، در سال ۱۸۶۳ میلادی در شهر لندن بود که یک قطار زیرزمینی به کمک نیروی لوکوموتیو بخاری، مسافران را جابجا می‌کرد. پیشرفت واقعی در این زمینه وقتی آغاز شد که از نیروی الکتریسیته برای حرکت قطارهای زیرزمینی استفاده شد. در سال ۱۸۹۰ میلادی در شهر برلین اولین قطار زیرزمینی که به کمک الکتریسیته حرکت می‌کرد، به کار افتاد.

در اروپا اولین مترو در سال ۱۸۶۳ میلادی در انگلستان به کار گرفته شد. اولین مترو در آسیا در سال ۱۹۲۷ میلادی در ژاپن مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در آمریکا اولین مترو در سال ۱۸۹۲ میلادی در شهر شیکاگو ساخته شد که بیشترین مسیر آن روی زمین احداث شد و اولین مترویی که مسیر حرکت آن کاملاً در زیرزمین قرار داشت در شهرهای بوستن در سال ۱۸۹۷ میلادی و نیویورک ۱۹۰۴ میلادی ساخته شدند. در این بخش چند نمونه از خطوط مترو در شهرهای تاریخی و ایستگاه‌های مجاورت ابنیه تاریخی معرفی می‌شوند.

پاریس

پاریس یکی از تاریخی‌ترین و زیباترین شهرهای دنیا به شمار می‌آید که بیش از یکصد سال سابقه برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت خطوط قطار شهری را دارد. حمل و نقل ریلی در پاریس دارای کیفیت بسیار بالایی است و از ۱۴ خط قطار شهری و ۵ خط اکسپرس تشکیل شده است. تعداد ۳۰۳ ایستگاه در خطوط ۱۴ گانه قطار شهری پاریس وجود دارد که ۶۲ ایستگاه آن تقاطعی است. بطور میانگین روزانه در حدود ۴٫۵ میلیون سفر توسط خطوط قطار شهری انجام می‌شود و در طول سال این میزان به ۱/۵ میلیارد سفر می‌رسد.



شکل ۱- نقشه خطوط قطار شهری و خطوط اکسپرس پاریس

خط یک قطار شهری پاریس قدیمی‌ترین خط قطار شهری در پاریس است که در سال ۱۹۰۰ مورد بهره‌برداری واقع شده است. این خط در امتداد خیابان شانزالیزه قرار دارد و از مجاورت تعدادی از مهم‌ترین ابنیه یادمانی و آثار تاریخی پاریس عبور می‌کند. این خط که ۱۶٫۶ کیلومتر است، دارای ۲۵ ایستگاه است و سالانه در حدود ۲۱۳ میلیون نفر به کمک این خط جابجا می‌شوند. بخش مرکزی این خط دربردارنده تعدادی از مهم‌ترین ایستگاه‌های شهر پاریس است که به علت مجاورت با ابنیه و آثار تاریخی و بخش‌های مرکزی شهر، تعداد زیادی از شهروندان و گردشگران در آن تردد می‌کنند. در ادامه به موقعیت و ویژگی‌های برخی از ایستگاه‌های این خط پرداخته می‌شود.



شکل ۳- نقشه خط یک قطار شهری پاریس



شکل ۲- عملیات اجرایی احداث ایستگاه پیش از سال ۱۹۰۰

ایستگاه شارل دوگل^۱

ایستگاه شارل دوگل در ابتدای خیابان شانزالیزه واقع شده است و از تقاطع ۳ خط قطار شهری و یک خط قطار اکسپرس برون شهری (RER) بوجود آمده است. این ایستگاه یکی از اولین ایستگاه‌های ساخته شده در شهر پاریس است و بهره‌برداری از آن از سال ۱۹۰۰ میلادی آغاز شده است.

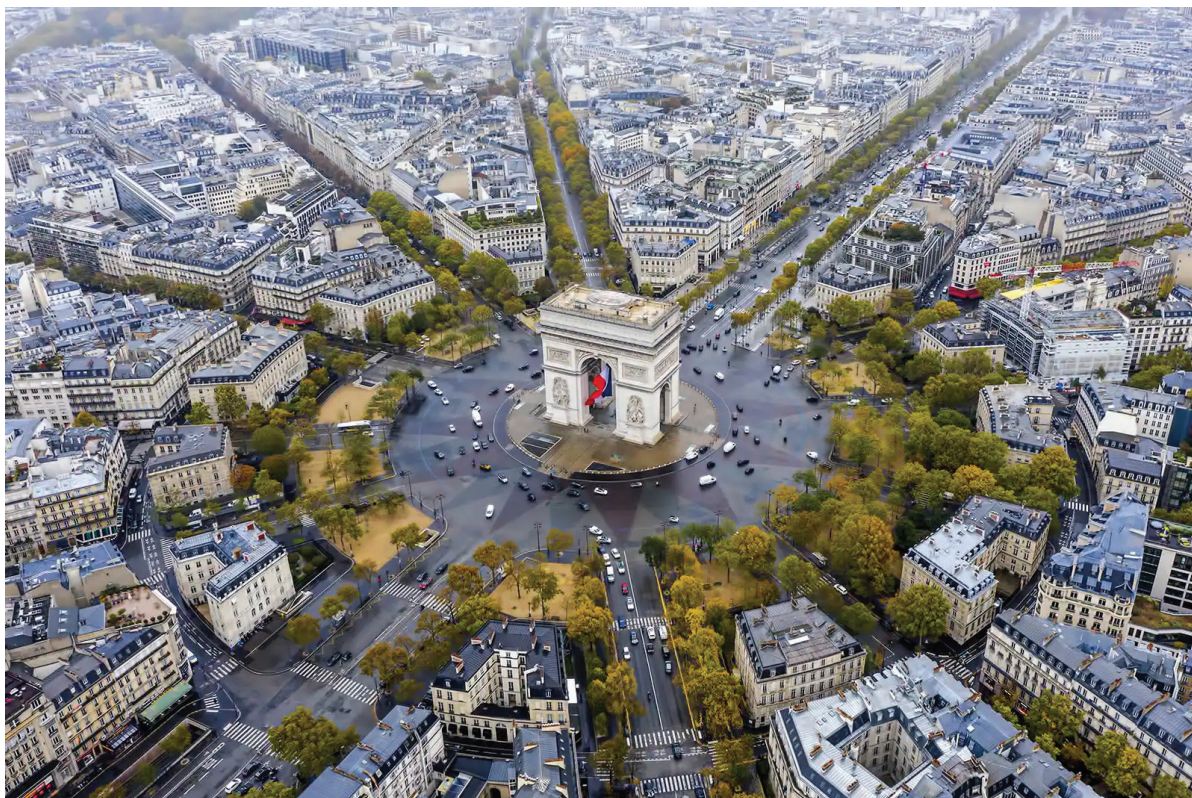


شکل ۴- بنای طاق نصرت^۲

بنای طاق نصرت که یکی از مهم‌ترین آثار تاریخی پاریس با ۲۰۰ سال قدمت به شمار می‌آید، در جوار این ایستگاه قرار دارد. این بنا در مرکز میدانی متشکل از تقاطع ۱۲ خیابان قرار دارد و از این رو به منظور ایجاد دسترسی ایمن و مناسب به این بنا، کریدوری زیرزمینی از سالن بلیت ایستگاه احداث شده است.

1- Charles de gaulle

2- Arc de Triomphe



شکل ۵- تقاطع ۱۲ خیابان در میدان شارل دوگل



شکل ۷- سکوی خط ۲ ایستگاه شارل دوگل



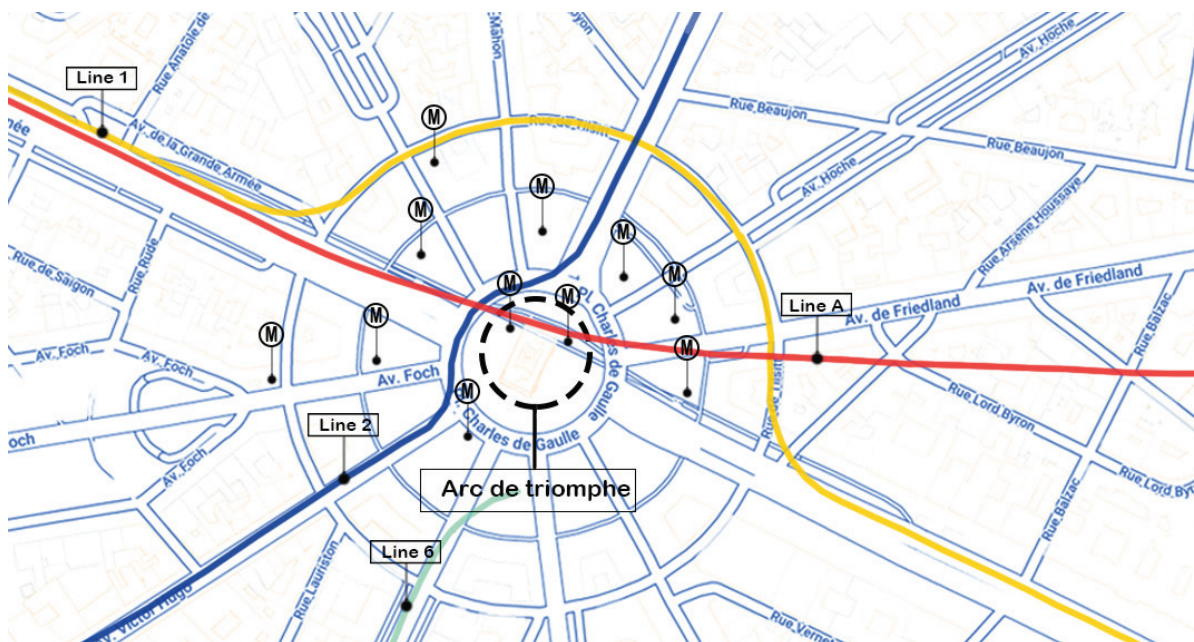
شکل ۶- راهروی زیرزمینی متصل کننده سالن بلیت ایستگاه به بنای طاق نصرت



شکل ۹- ورودی شمال شرقی ایستگاه شارل دوگل



شکل ۸- ورودی شرقی ایستگاه شارل دوگل



شکل ۱۰- موقعیت ورودی‌های ایستگاه شارل دوگل

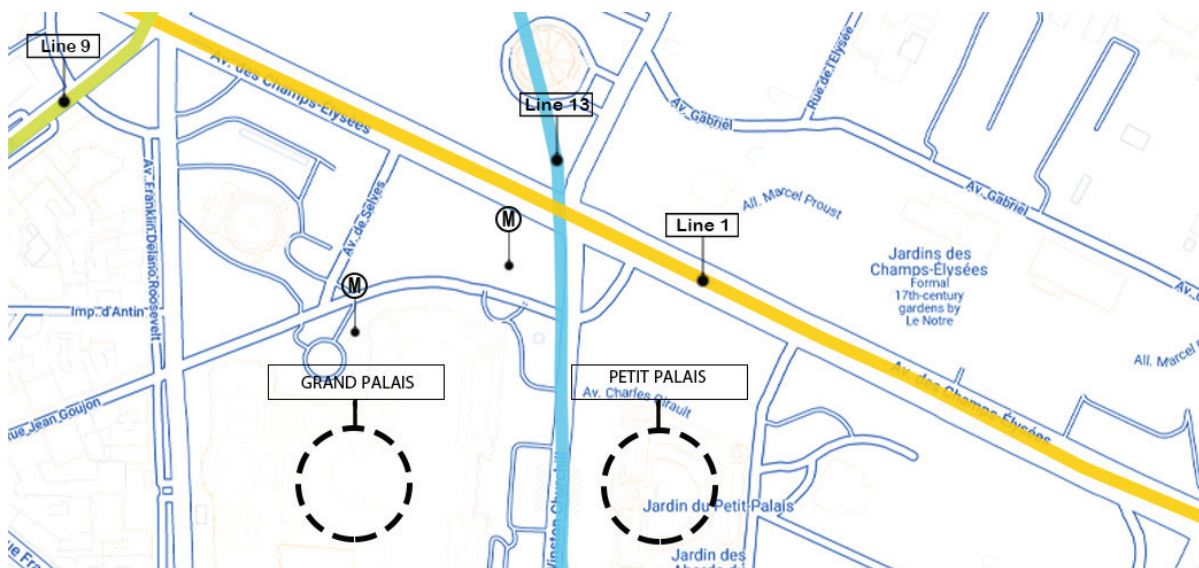
فاصله نزدیکترین ورودی مترو از طاق نصرت حدود ۱۳ متر است و دورترین ورودی این ایستگاه ۲۰۰ متر از طاق فاصله دارد.

ایستگاه شانزالیزه - کلمنسو^۳

این ایستگاه نیز در داخل خیابان شانزالیزه واقع شده است و در اطراف آن بناهایی نظیر کاخ‌های گرند و پتی قرار دارد. هر دوی این کاخ‌ها بیش از یکصد سال قدمت دارند و در حال حاضر به عنوان موزه از آنها استفاده می‌شود. کاخ پتی میزبان موزه هنرهای زیبای پاریس است و در کاخ گرند نیز موزه و نمایشگاه‌های غیردائمی و همچنین سالن اجرا مراسم هنری وجود دارد.



شکل ۱۱- نمای بام کاخ پتی و گرند پالاس



شکل ۱۲- موقعیت ورودی‌های ایستگاه کلمنسو

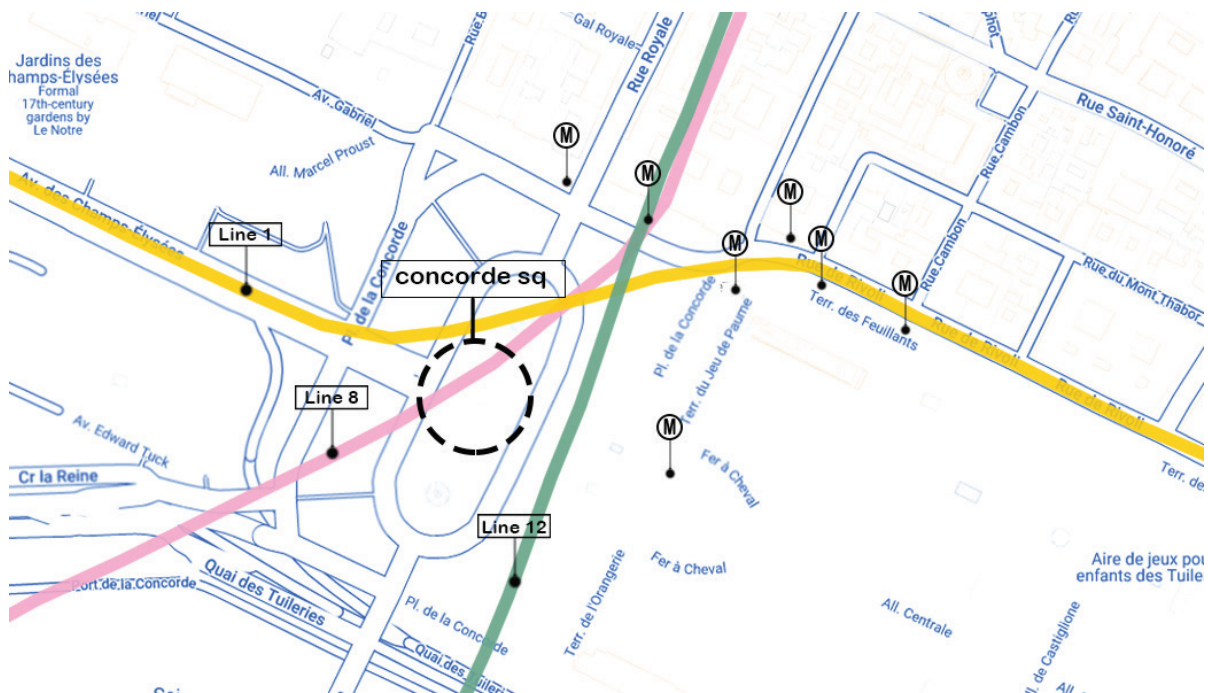
نزدیکترین ورودی مترو در این ایستگاه ۱۷ متر تا کاخ گرند پالاس فاصله دارد و دورترین ورودی در فاصله ۴۵ متری این کاخ است.

ایستگاه کنکورده^۴

این ایستگاه در میدان کنکورده و در ابتدای شرقی خیابان شانزالیزه واقع شده است. میدان کنکورده یک فضای باز شهری است که با مساحتی در حدود ۸/۶ هکتار بزرگترین میدان شهر پاریس نیز به شمار می‌آید. عناصر مختلفی نظیر آب‌نما، پیکره و تندیس‌های تاریخی و یادمانی در این میدان قرار دارند، از این رو میدان کنکورده یک فضای شهری همگانی زنده و پویا است. علاوه بر این کاربری‌های مهم تاریخی و بزرگ مقیاس شهری دیگری نیز نظیر مجلس نمایندگان فرانسه، کلیسای مدلین و پارک شهری توپلری در اطراف این میدان قرار دارند. در ایستگاه «کنکورده» می‌توان متن اعلامیه حقوق بشر یا متون مربوط به دوران انقلاب فرانسه را دید.



شکل ۱۳- میدان کنکورده



شکل ۱۴- موقعیت ورودی‌های ایستگاه مترو کنکورده



شکل ۱۶- ورودی شرقی ایستگاه مترو کنکورده



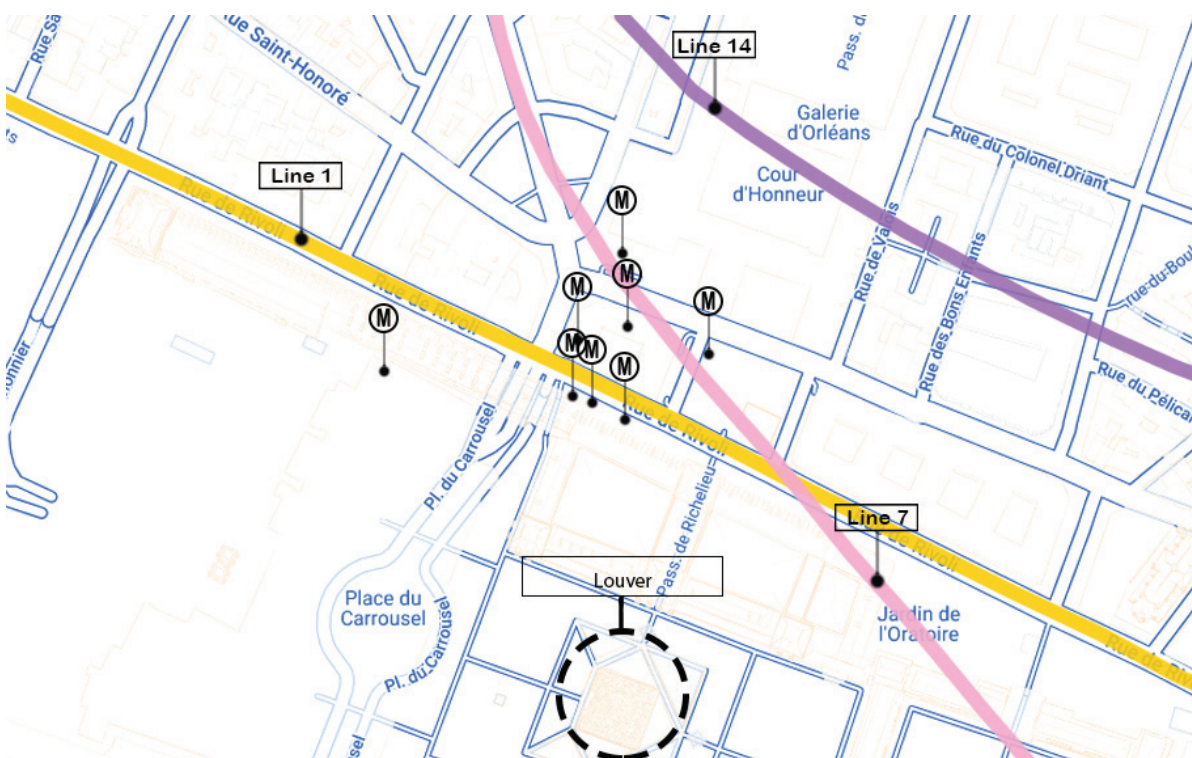
شکل ۱۵- ورودی شمالی ایستگاه مترو کنکورده

ایستگاه موزه لوور^۵ - کاخ رویال

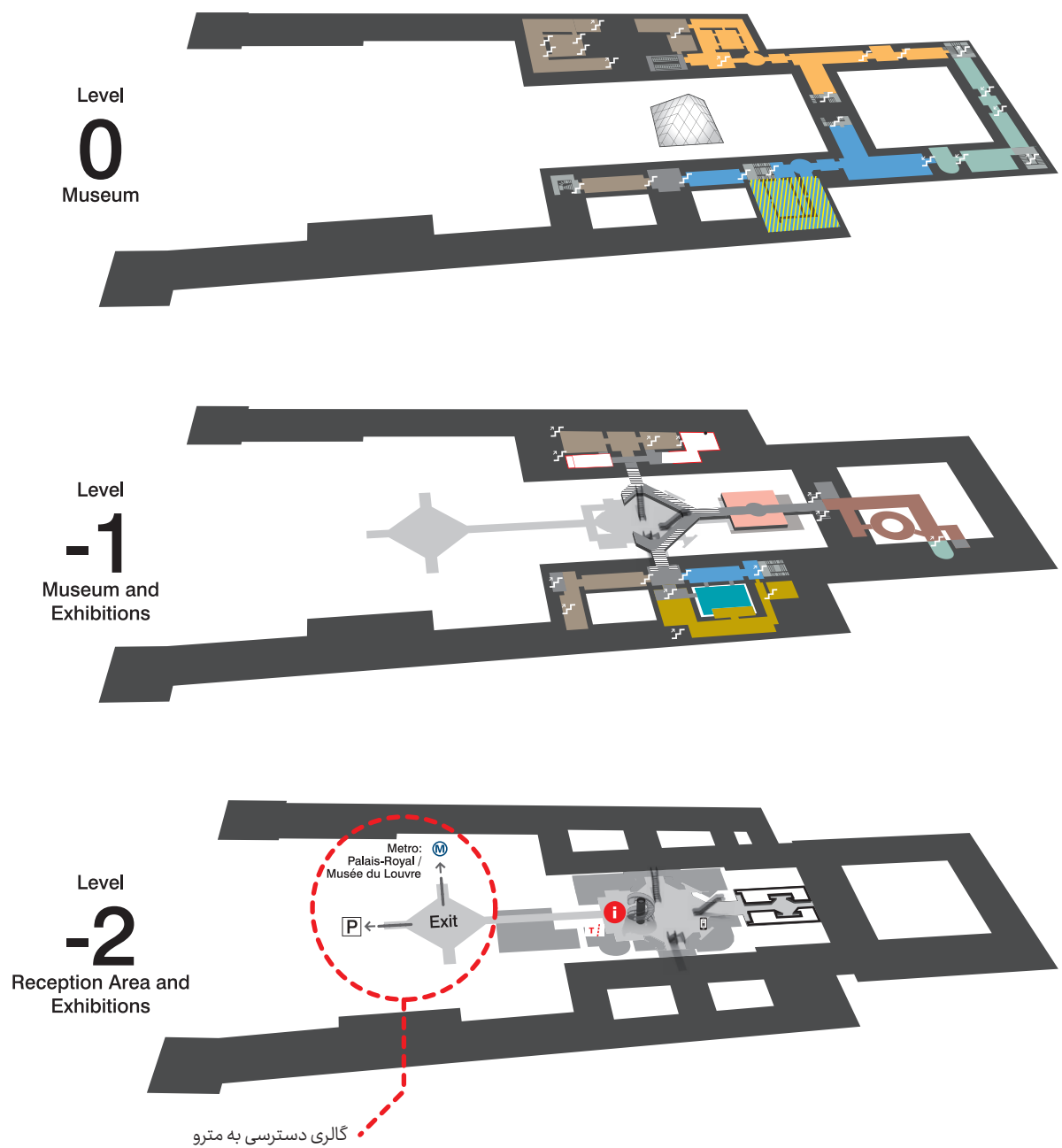
این ایستگاه در خیابان ریوولی واقع شده است و در اطراف آن ابنیه و آثار تاریخی مهمی قرار دارند. مهم‌ترین عناصر نزدیک به این ایستگاه موزه لوور و کاخ رویال هستند. موزه لوور یکی از بزرگترین موزه‌های دنیا است که در یکی از کاخ‌های قدیمی پاریس با قدمتی در حدود ۵۰۰ سال برپا شده است. کاخ رویال نیز یکی دیگر از بناهای باشکوه تاریخی فرانسه است که در حال حاضر وزارت فرهنگ، دادگاه عالی و شورای قانونی اساسی این کشور در آن واقع شده است و بالغ بر ۴۰۰ سال قدمت دارد.



شکل ۱۷- موزه لوور



شکل ۱۸- موقعیت ورودی‌های ایستگاه لوور

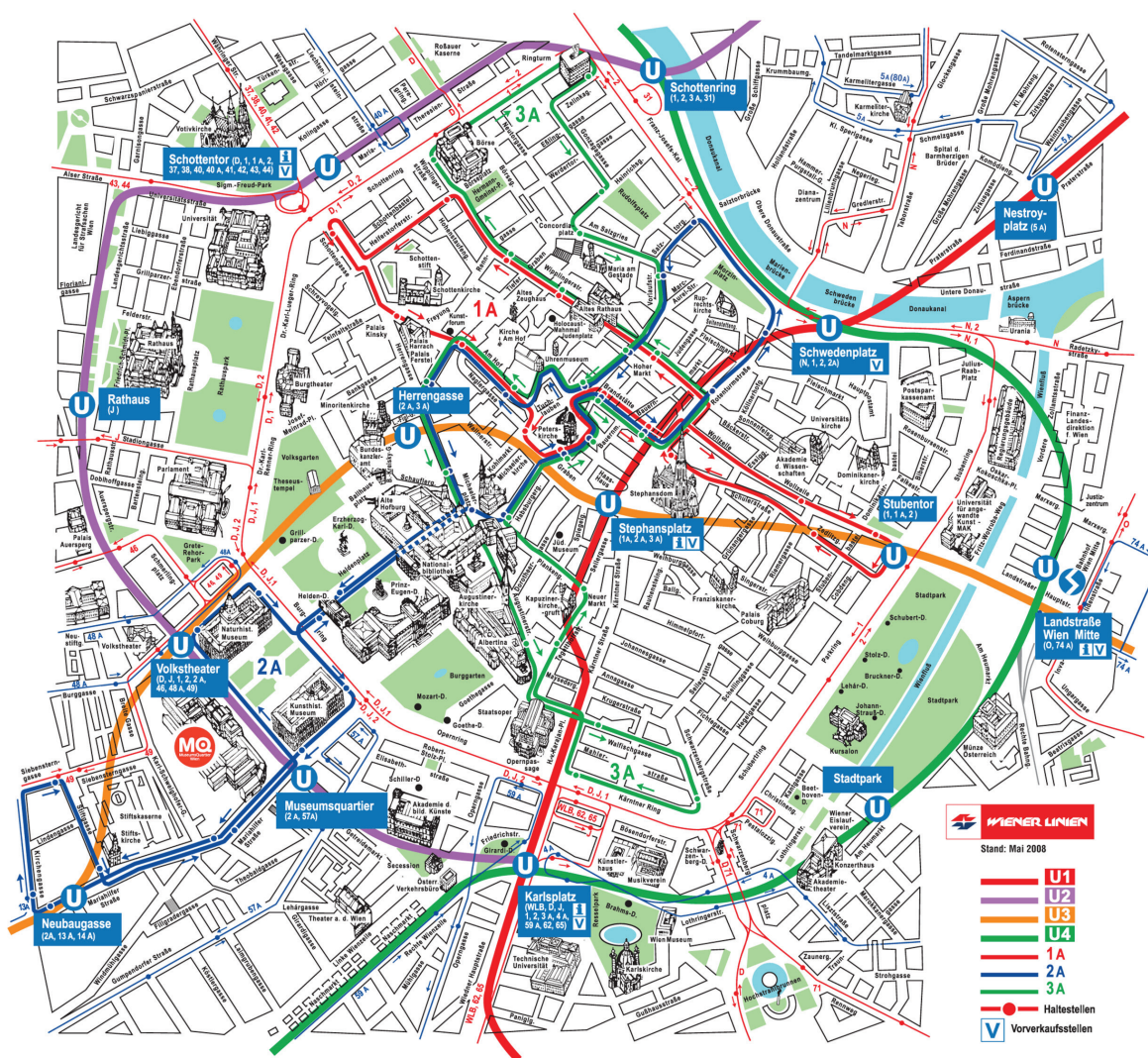


شکل ۱۹- پلان طبقات موزه لوور

جدا از اینکه در طبقه ۲- موزه لوور گالری دسترسی به مترو تعبیه شده است، نزدیکترین ورودی از روی زمین تا موزه ۱۳۶ متر فاصله دارد و دورترین ورودی ۲۳۵ متر فاصله دارد.

شهر وین دارای یک هسته با قدمت تاریخی است که در حال حاضر به عنوان مرکز اداری، تجاری، سیاسی و گردشگری شهر نیز به شمار می‌آید. این شهر در حال حاضر دارای ۵ خط قطار شهری و ۱۰۴ ایستگاه است و روزانه به طور میانگین ۱/۳ میلیون سفر و سالانه ۵۶۸ میلیون سفر با استفاده از قطار شهری انجام می‌شود.

به دلیل حجم بالا و تمرکز فعالیت‌های مهم شهری در مرکز شهر وین، خطوط مختلف قطار شهری از مرکز شهر عبور می‌کنند. همانگونه که در نقشه زیر قابل مشاهده است، دو خط قطار شهری هر کدام از یک سو به مرکز شهر وارد شده و از سوی دیگر خارج می‌شود و در پرتددترین نقطه از بافت مرکزی شهر تقاطع می‌یابند. همچنین دو خط دیگر قطار شهری نیز محیط بر پیرامون بافت مرکزی حرکت می‌کنند و ارتباط پیاده و یا سواره را به سایر نقاط بافت مرکزی فراهم می‌کنند.



شکل ۲- نقشه خطوط قطار شهری در مرکز شهر وین

در بافت تاریخی و مرکزی شهر جمعاً ۱۴ ایستگاه وجود دارد که از این مجموع یک ایستگاه حاصل از تقاطع ۳ خط، ۵ ایستگاه حاصل از تقاطع ۲ خط و ۶ ایستگاه معمولی وجود دارند. ایستگاه اشتفان پلاتس^۶ که یکی از مهم‌ترین و پرتددترین ایستگاه‌های شهر در بافت تاریخی شهر هست، مورد بررسی قرار می‌گیرند. ایستگاه اشتفان پلاتس در قلب بافت تاریخی شهر قرار دارد و پیرامون آن مهم‌ترین ابنیه تاریخی و عرصه‌های گردشگری شهر قرار گرفته است.

ایستگاه اشتفان پلاتس

ایستگاه اشتفان پلاتس یکی از مهم‌ترین مقاصد برای سفرهای شهری و تبادل سفر در وین به شمار می‌آید. این ایستگاه در قلب مرکز شهر وین واقع شده است و به عنوان یکی از گره‌گاه‌های اصلی شبکه حمل نقل ریلی شهر تعیین و برنامه‌ریزی شده است. خطوط ۱ و ۳ که در این ایستگاه تقاطع می‌یابند از پرتعدادترین خطوط قطار شهری وین هستند. این ایستگاه در خط ۱ دارای یک سکوی جزیره‌ای و در خط ۳ دارای دو سکوی منفرد و مجزا در دو طبقه مختلف است.



شکل ۲۲- سکوی منفرد در مسیر رفت خط ۳، ایستگاه اشتفان پلاتس

شکل ۲۱- سکوی جزیره‌ای در خط ۱، ایستگاه اشتفان پلاتس

در کنار این ایستگاه کلیسای سنت اشتفان^۷ قرار دارد که قدمتی در حدود ۹۰۰ سال دارد. این کلیسا یکی از مهم‌ترین جاذبه‌های گردشگری وین است و سالانه تعداد زیادی برای بازدید از این بنا راهی وین می‌شوند. در طبقات زیرین این کلیسا عبادتگاه کوچکی وجود دارد که به دلیل اهمیت آن ارتباط مستقیم بصری از سالن بلیط ایستگاه به آن برقرار شده است.

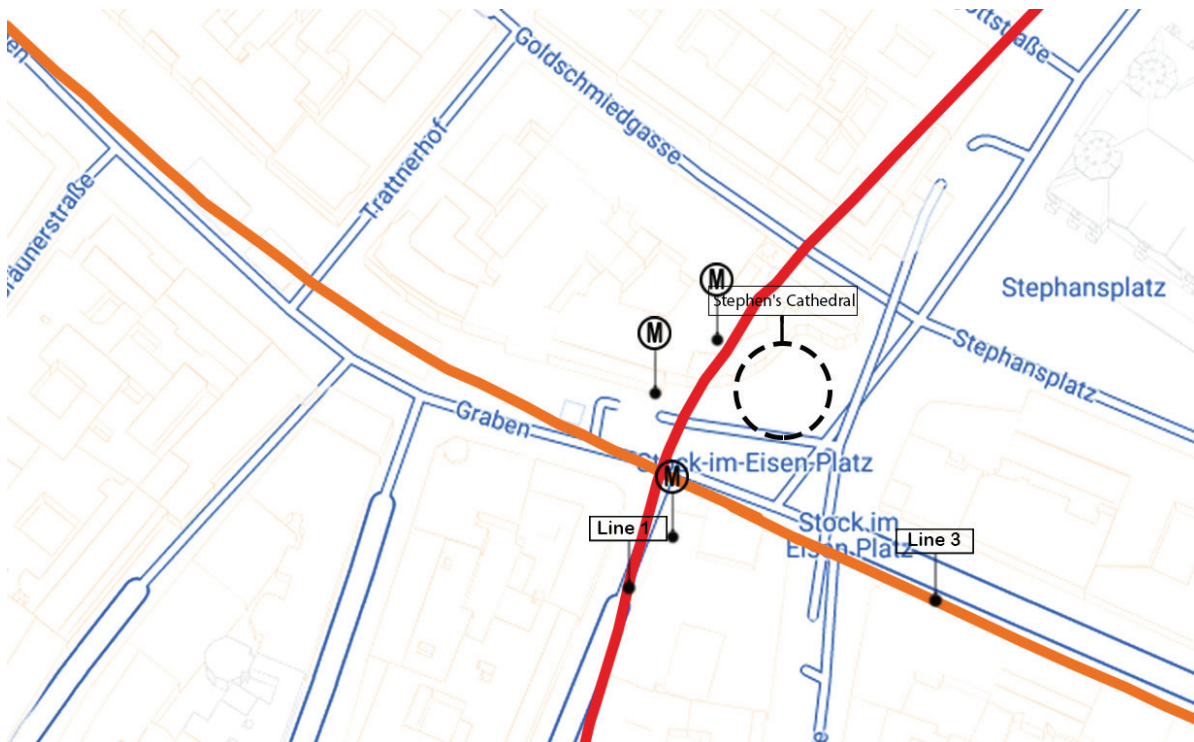


شکل ۲۴- ارتباط بصری مستقیم از سالن بلیط به طبقات زیرین کلیسا

شکل ۲۳- ورودی ایستگاه قطار شهری در کنار کلیسای سنت اشتفان



شکل ۲۵- کلیسای سنت اشتفان



شکل ۲۶- موقعیت ورودی‌های ایستگاه اشتفان پلاتس

نزدیکترین ورودی به کلیسا حدود ۲۰ متر فاصله دارد و دورترین ورودی در فاصله ۱۰۰ متری کلیسا واقع شده است.

رم

شهر رم یکی از تاریخی‌ترین شهرهای جهان است که در حال حاضر دارای دو خط قطار شهر است. این دو خط در محدوده مرکزی شهر از نزدیکی آثار و ابنیه تاریخی گذر می‌کنند و تنها در ایستگاه راه‌آهن شهر تقاطع می‌یابند. یکی از ایستگاه‌های خط ۲ قطار شهری که در کنار یکی از مهم‌ترین آثار باستانی رم قرار دارد، ایستگاه کلوستوم است. کلوستوم با ۲ هزار سال قدمت یکی از قدیمی‌ترین آثار تاریخی جهان است که در دوره امپراطوری روم باستان به عنوان بزرگترین آمفی تئاتر این امپراطوری ساخته شده است. در حال حاضر روزانه تعداد زیادی گردشگر از این اثر بازدید می‌کنند.



شکل ۲۷- کلوستوم

از آنجایی که کلوستوم یکی از باستانی‌ترین آثار تاریخی موجود در جهان به شمار می‌آید، بررسی موقعیت ایستگاه قطار شهری نسبت به آن حائز اهمیت است. سکوی ایستگاه قطار شهری در فاصله کم‌تر از ۴۰ متر و ورودی‌های ایستگاه در فاصله حدوداً ۸۰ متری کلوستوم قرار دارند.

طرح باز ورودی‌ها و استفاده از مصالح پیوسته ارتباط مناسب و کاملی مابین سکوی ایستگاه و فضای باز خارجی ایجاد می‌کند که در نتیجه واحد فضایی با ساختاری واضح و روشن به وجود می‌آید. طراحی سرباز ورودی‌ها نور طبیعی و ارتباطات بصری خوبی را با زیرزمین فراهم می‌آورد. ضمن این که مسافران می‌توانند به راحتی راه خود را با احساس امنیت کافی بیابند.

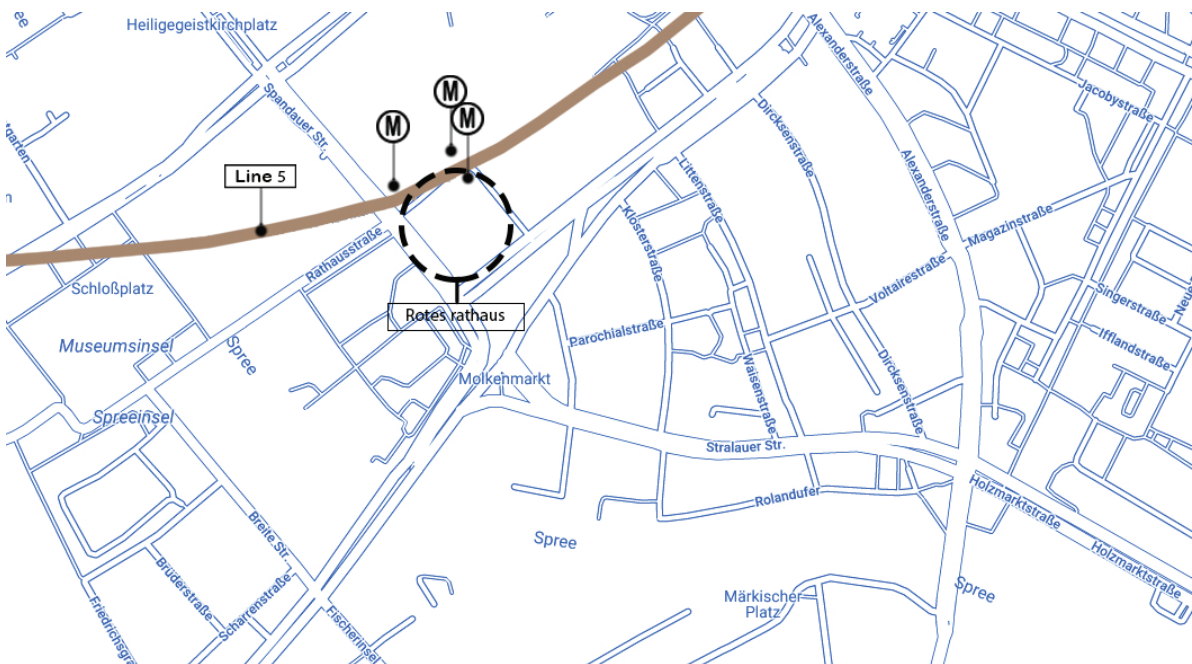


شکل ۳۱- نمای ساختمان روتس راتاوس در برلین



شکل ۳۳- ورودی ایستگاه روتس راتاوس در برلین

شکل ۳۲- سکوی ایستگاه روتس راتاوس در برلین



شکل ۳۴- موقعیت ورودی‌های ایستگاه روتس راتاوس

نزدیکترین ورودی ایستگاه ۸ متر و دورترین آن ۴۵ متر با بنا فاصله دارد.



چکیده

استفاده از ظرفیت‌های مترو و تونل‌های ترافیکی در کلانشهرها به عنوان یکی از مهمترین زیرساخت‌های شبکه حمل و نقل شهری بشمار می‌آید. احداث این زیرساخت‌ها به منظور کاهش مشکلات حمل و نقل شهری، لزوم توجه به استفاده گسترده از این سامانه‌ها را اجتناب ناپذیر می‌نماید. اجرای چنین پروژه‌های عظیمی همواره با چالش‌هایی همراه است که بخشی زیادی از این چالش‌ها متوجه فاز اجرا بوده و بعضاً بی‌توجهی به آنها در مواردی منجر به وارد شدن خسارات سنگین مالی و جانی به پروژه گردیده است. شناخت شرایط ژئوتکنیکی مهمترین اصل برای برنامه‌ریزی و اجرای راحت‌تر و ارزان‌تر یک پروژه تونل‌سازی است. ارزیابی نقشه‌های عمومی و ویژه منجر به شناخت اولیه از شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی شده و اطلاعات مقدماتی را برای مطالعات تفصیلی فراهم می‌سازد. علت اصلی مواجهه با شرایط دشوار زمین، عدم شناخت کافی از شرایط پیچیده و متغیر زمین است. از این‌رو در همه مراحل طراحی و ساخت تونل عدم قطعیت‌های زمین‌شناسی بایستی در نظر گرفته شوند. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان دریافت که آگاهی قبلی از شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی ساختگاه برای توسعه کارهای زیرزمینی مهم است. از این‌رو در این مقاله به بررسی انواع مخاطرات محتمل در حفاری مکانیزه در محیط‌های شهری پرداخته شده است.

۱- مقدمه

با توجه به اینکه حدود ۳/۰ تا ۲ درصد از هزینه پروژه مربوط به مطالعات زمین‌شناسی می‌باشد و حدود ۱۰ درصد از هزینه کل پروژه به حوادث بعد و هنگام اجرای پروژه اختصاص دارد؛ بدیهی است با مطالعات بیشتر و بهتر در زمینه ژئوتکنیک و زمین‌شناسی می‌توان انتظار کاهش هرچه بیشتر حوادث ناخواسته را داشت و این مساله لزوم توجه بیشتر به این امر را آشکار می‌سازد. بسیاری از چنین شرایط زمین‌شناسی به صورت مجزا و یا ترکیبی، مهندسين و طراحان را به چالش کشیده تا جایی که تغییر روش حفاری و یا حتی رهاسازی پروژه تنها راه حل ممکن بدانند. از دلایل عمده بروز مخاطرات زمین‌شناسی در حفر تونل، می‌توان به عدم انجام مطالعات ساختگاهی کافی، تفسیر نامناسب آن، حفاری در مسیر تحمیل شده‌ای که از شرایط مناسبی برخوردار نیست و محدودیت‌های دستگاه اشاره نمود.

۲- چالش‌های روش‌های اجرایی

هریک از روش‌های حفاری در حین اجرا با چالش‌هایی مواجه می‌باشند که در ادامه به آن پرداخته شده است:

الف) روش اجرای روباز

• ویژگی‌های مسأله‌ساز

- اختلال در ترافیک، کسب و کار و تردد ساکنین؛
- مسائل مربوط به پایداری گود؛
- نشست‌ها و تغییر مکان‌های افقی زمین در بالای گود؛
- تداخل با کانال‌ها، لوله‌ها و سایر تاسیسات زیرزمینی؛
- تاثیر بارندگی بر روی راندمان کار؛
- مسائل مربوط به پرکردن بالای سقف تونل و اجرای زیرسازی و روسازی خیابان.

ب) روش‌های اجرای زیرزمینی NATM

• ویژگی‌های مسأله‌ساز روش NATM

- کندی پیشرفت؛
- نیاز به استملاک و دسترسی‌های بیشتر؛
- خطر ناپایداری و ریزش در جبهه حفاری؛
- خطر نشست سطح زمین؛
- مشکلات مربوط به آلودگی محیط؛
- نیاز به پایین آوردن سطح سفره آب زیرزمینی؛
- مشکلات کنترل کیفیت اجرا؛
- مسائل مربوط به تزریق‌های تماسی و تحکیمی مورد نیاز.

ج) روش‌های اجرای زیرزمینی TBM

• ویژگی‌های مسأله ساز روش TBM؛

- مشکلات ناشی از شرایط ژئوتکنیکی؛
- مشکلات ناشی از وجود حفرات موجود در زمین (قنوات، فاضلاب، چاه و...)
- مشکلات ناشی از وجود خاک ناهمگن و یا سایشی و یا بولدرهای بزرگ؛
- مشکلات ناشی از عدم طراحی‌های مناسب سیستم حفاری مکانیزه؛
- مشکلات ناشی از عدم انتخاب دستگاه حفار مناسب؛
- مشکلات ناشی از طرح اختلاط نامناسب گروت و فشارهای کاری تزریق؛
- مشکلات ناشی از عدم محاسبه دقیق فشار سینه‌کار؛
- مشکلات ناشی از راهبری نامناسب دستگاه؛
- مشکلات ناشی از نداشتن تجربه پیمانکار در امر حفاری مکانیزه و عدم آموزش کافی پرسنل؛
- مشکلات ناشی از کنترل ناکافی: ۱) فشار مناسب سینه‌کار و سرعت پیشروی ۲) مقدار وزن و حجم خاک حفاری در یک رینگ ۳) فشار و حجم دوغاب تزریق؛
- مسائل ناشی از تداخل با سازه‌های واقع در مسیر تونل اجرا شده.

برخی از چالش‌هایی که در سطرهای بالا عنوان شده در صورت هماهنگی با سازمان‌های مربوطه قابل حل بوده و راهکار مناسب برای آن در نظر گرفته خواهد شد:

• هماهنگی با سایر سازمان‌های خدماتی؛

- پلیس راهور: انحراف ترافیک؛
- سازمان آب و فاضلاب: اعلام و رفع معارض؛
- شرکت گاز: اعلام و رفع معارض؛
- شرکت توزیع برق: اعلام و رفع معارض؛
- شرکت مخابرات: اعلام و رفع معارض.

در این بررسی تنها به چالش‌های پیش‌روی دستگاه TBM در پروژه‌های شهری پرداخته شده است.

۳- مخاطرات حین اجرای حفاری مکانیزه

بطور کلی مهمترین خطرات بالقوه زمین شناسی مهندسی که در رابطه با سازه‌های زیرزمینی در مناطق شهری می‌توان تصور کرد شامل خطر برخورد با قنات‌های فعال و متروک، خطر روانگرایی خاک، برخورد با لایه‌های سست و زون‌های خرد شده، وجود بولدر و قطعات سنگی بزرگ، هجوم آب زیرزمینی و موضعی و برخورد با مسیر روخانه‌های قدیمی و مدفون می‌باشند. در نگاه کلی به دو صورت می‌توان با زمین‌های مشکل‌دار مواجه شد. حالت اول که در واقع جنبه پیشگیرانه دارد، به شناسایی حتی‌الامکان دقیق زمین مربوط می‌شود. بر اساس شناختی دقیق از شرایط زمین‌شناسی و ملزومات ساخت دستگاه، TBM مورد استفاده با تعاملی مداوم بین سازندگان TBM و پیمانکار ساخته می‌شود. حالت دوم که متأثر از عدم شناخت دقیق زمین مسیر تونل است، جستجوی راه حل پس از برخورد با مشکل است. در این شرایط در حفاری مکانیزه بایستی یا اصلاحاتی را بر روی ماشین و پارامترهای آن اعمال کرد تا با شرایط زمین سازگاری داشته باشد و یا اینکه زمین را برای سازگاری با ماشین آماده‌سازی کرد. اهمیت شناسایی مخاطرات زمین، مربوط به انتخاب استراتژی مناسب بهسازی شرایط خاک در حین حفاری می‌باشد. به عبارت دیگر چنانچه رفتار حفاری زمین با ماشین از قبل پیش‌بینی شده باشد، با اطمینان بیشتری می‌توان تصمیمات در مورد نوع تمهیدات مناسب (مانند انتخاب نوع رفتار فیزیکی فوم و دیگر افزودنی‌ها در حفاری مکانیزه) جهت تغییر شرایط و پارامترهای زمین اخذ نمود.

به طور کلی به منظور تعیین مخاطرات محتمل و شرایط خاص زمین‌شناسی که ممکن است در پروژه‌های شهری با آن مواجه شد، موارد و پارامترهای ذیل باید مورد ارزیابی قرار گیرد:

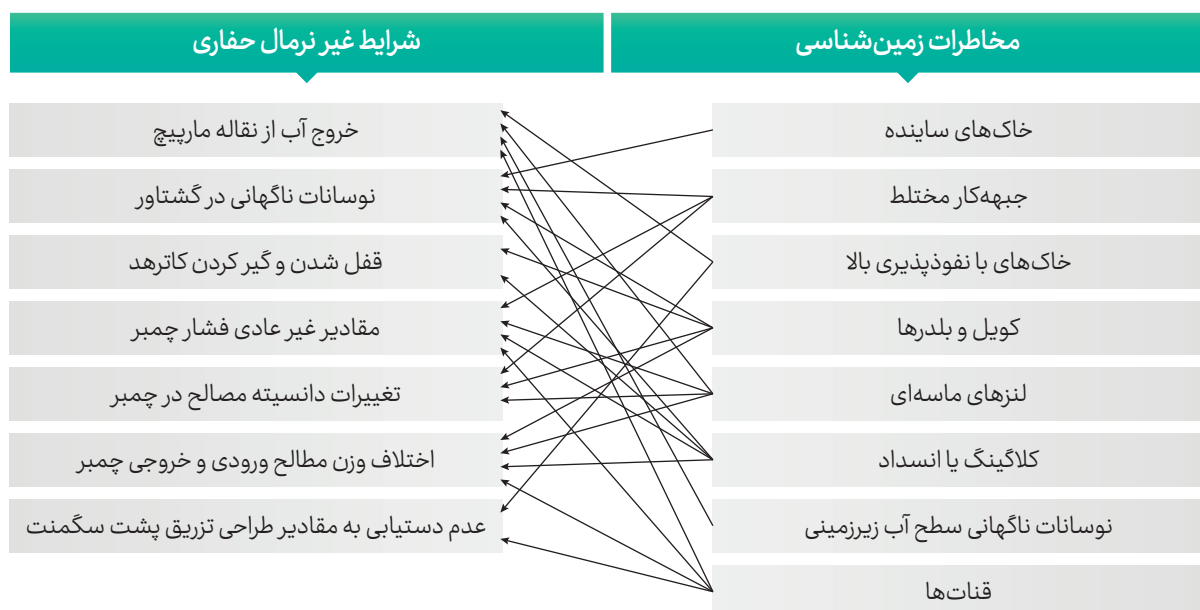
- دستگاه حفار مکانیزه (TBM)؛
- زمین‌شناسی و ژئوتکنیک؛
- سازه‌های سطحی؛
- سازه‌های زیرسطحی؛
- هندسه مسیر؛
- معارضین سطحی و زیرسطحی؛
- محیط زیست.

اغلب شرایط نامساعد زمین‌شناسی و سایر مخاطرات منجر به اختلال در پارامترهای اساسی حفاری مانند گشتاور کاترهد و فشار جبهه‌کار می‌گردند که به عنوان شرایط غیر نرمال حفاری شناخته می‌شوند و به شدت بر روی عملکرد ماشین حفار تأثیرگذار خواهند بود. موارد زیر را می‌توان از مخاطرات محتمل در حفاری مکانیزه به شمار آورد که توجه به هر یک از آنها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

- برخورد با لایه‌های سست و زون‌های برشی گسل‌ها؛
- روانگرایی؛
- مشکل آب زیرزمینی؛
- وجود بولدر و قطعات سنگی بزرگ (Over size) در مسیر تونل و ابعاد آن‌ها؛
- برخورد با حفرات زیرزمینی از قبیل قنوات؛
- رفتار چسبناکی خاک (Sticky Behavior) و خطر گل‌گرفتگی (Clogging risk)؛
- درصد عبوری از الک ۲۰۰؛
- سایش‌پذیری ابزار برشی؛
- خطر نفوذپذیری بالای خاک؛
- پتانسیل ورود گازهای خطرناک به تونل؛
- نشست؛
- خطر نشست تحکیمی خاک؛
- وجود معارضین سطحی و زیر سطحی.

در شکل (۱) ارتباط و تأثیر مخاطرات زمین‌شناسی با شرایط غیر نرمال حفاری مکانیزه نشان داده شده است.

ارتباط مخاطرات زمین‌شناسی با شرایط غیر نرمال حفاری



شکل ۱- ارتباط مخاطرات زمین‌شناسی و شرایط غیر نرمال حفاری مکانیزه

۳-۱- برخورد با لایه‌های سست و زون‌های برشی گسل‌ها

منظور از لایه‌های سست، لایه‌های با تراکم بسیار کم و خواص مکانیکی پایین است. خاک‌هایی مانند خاک‌های دستی و گودبرداری‌های قدیمی پر شده که کار تراکمی بر روی آنها انجام نگردیده است و همچنین محل‌هایی که در اثر کارهای اجرایی مانند احداث سیستم زهکشی آب و فاضلاب که دارای عمق قابل توجه بوده و در نهایت بخوبی دوباره متراکم نشده‌اند از جمله مواردی است که می‌تواند اجرای فضای زیرزمینی را به طرق مختلف تحت قرار دهد.

از موارد دیگری که قابلیت بوجود آوردن مناطق سست را دارند مسیرهای قدیمی رودخانه‌ها و کانال‌های مدفون طبیعی هستند. با توجه به اینکه در این کانال‌های معمولاً سرعت جریان آب زیاد است، عمدتاً با رسوبات سست و درشت دانه (ریزدانه کم یا بدون ریزدانه) پر شده‌اند. همچنین در این رسوبات می‌توان قطعات بسیار بزرگ نیز مشاهده نمود که در هر حال در هر قسمت از فضای زیرزمینی (دیواره، سقف، کف و سینه کار در حین اجرا) قرار گیرد می‌تواند مشکلات ویژه‌ای مانند ریزش قطعات در اثر وزن قطعه، لغزش توده‌های دیواره‌ها، نفوذپذیری بالا و زهکش آب‌های زیرزمینی به فضای حفر شده، آسیب‌رسانی به تجهیزات حفاری و ایجاد وقفه در عملیات اجرایی در صورت وجود قطعات بسیار بزرگ، را بوجود آورند. همچنین وجود گسل‌های عمده و اصلی در محل فضاهای زیرزمینی نیز مشکلاتی مانند هجوم آب، ایجاد زون‌های سست و ریزشی و خطر گسیختگی در زمان ایجاد لغزش در امتداد گسل مرتبط با زلزله و یا تحریک شدن بوسیله سایر گسل‌های فعال اصلی دیگر را به همراه دارد.

در زمین‌های متشکل از سیلت و خاک‌های فاقد چسبندگی ممکن است به دلیل تنش وارده از دستگاه به سینه‌کار ریزش در سینه‌کار رخ دهد که در این صورت TBM با فشاری بیشتر از فشار نرمال حفاری خواهد کرد و نرخ پیشروی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و گشتاور مورد بهره‌برداری نیز افزایش می‌یابد. به همین خاطر پتانسیل سایش بیش از حد روی کاترهد و ابزارهای برشی اثر کرده و تنش روی یاتاقان اصلی افزایش پیدا می‌کند. جهت فائق آمدن به چنین شرایطی استفاده از فوم یا پلیمر باعث الاستیک شدن خاک شده و در نهایت بهبود کنترل خاک شده و موجب کاهش سایش و گشتاور دستگاه می‌گردد.

عمده‌ترین مشکل در برخورد با زون‌های گسلی، ریزش سینه کار و هجوم آب و مواد شسته شده توسط آن به داخل تونل و یا ایجاد حفره‌ای در تاج تونل است زیرا اغلب مناطق گسلی حاوی مواد ریزدانه و آب‌دار هستند که حین حفاری، در زیر این مواد فضای خالی ایجاد و به علت عدم وجود یک سیستم متعادل‌کننده، این مواد تمایل به هجوم به داخل تونل را دارند که حتی در بعضی از موارد ممکن است هجوم مواد منجر به مدفون شدن دستگاه و تجهیزات گردد. در این قسمت با در نظر گرفتن عمق کم حفاری و همچنین حفاری در خاک که سختی آن نزدیک به سختی زون سست شده می‌باشد، عبور از بخش سست می‌تواند با کنترل فشار سینه‌کار و کنترل مواد خروجی از اسکرو همراه با حفاری مداوم (بدون توقف) انجام گیرد.

۳-۲- روانگرایی

روانگرایی پدیده‌ایست که در خاک‌های ماسه‌ای اشباع به هنگام وقوع زمین لرزه رخ می‌دهد. برای وقوع پدیده روانگرایی وجود خاک مستعد (سیلت تا ماسه ریز دانه) و بالا بودن سطح آب زیرزمینی نیاز است. در اثر وقوع زلزله تنش‌های موثر بین دانه‌ای تا حد صفر کاهش می‌یابد (تنش کل تقریباً برابر با فشار آب منفذی می‌شود) و به حالت روانگرایی می‌رسد. روش‌های مختلفی جهت بررسی و ارزیابی پدیده روانگرایی وجود دارند. در همه این روش‌ها مراحل اصلی ارزیابی پتانسیل روانگرایی به شرح زیر است:

- محاسبه تنش برشی تناوبی ایجاد شده در حین زلزله؛

- محاسبه مقاومت برشی تناوبی خاک؛

- مقایسه تنش برشی تناوبی با مقاومت برشی تناوبی و بدست آوردن ضریب اطمینان روانگرایی.

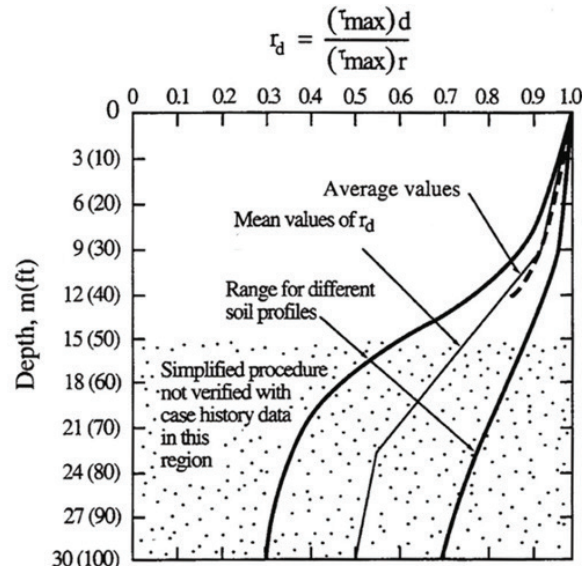
روش‌های مختلفی جهت تحلیل خطر روانگرایی بر اساس دانه‌بندی خاک و نتایج آزمایشات SPT وجود دارد که یکی از معتبرترین روش‌ها روش سید و همکاران (1984) می‌باشد. علاوه بر این روش، روش‌هایی همچون روش (NCEER 1997)، روش Boulanger و (Idriss 2004)، روش Vancouver (2007)، روش Cetin و همکارانش (2004)، روش استاندارد چین، روش استاندارد پل ژاپن، روش Tokimatsu و (Yoshimi 1983)، روش Shibata (1981) و روش Kokusho و همکارانش (1983) جهت ارزیابی پتانسیل روانگرایی ارائه شده‌اند.

برای محاسبه تنش برشی تناوبی، پارامتر نسبت تنش تناوبی (Cyclic Stress Ratio (CSR با استفاده از تحلیل پاسخ لایه‌های خاک تحت ارتعاش زلزله و یا به وسیله روش ساده ارائه شده توسط سید و ادريس (Seed & Idriss, 1971) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_0) = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d$$

که در آن شتاب افقی حداکثر ناشی از زلزله در سطح زمین، g شتاب ثقل، تنش کل عمودی، تنش موثر عمودی و rd ضریب کاهش تنش بر حسب عمق (z) می باشد که در سطح زمین مقدار آن برابر با یک بوده و با افزایش عمق کاهش می یابد. تغییرات ضریب rd نسبت به عمق در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین مقدار ضریب rd را می توان از رابطه زیر که در آن Z بر حسب متر است بدست می آید:

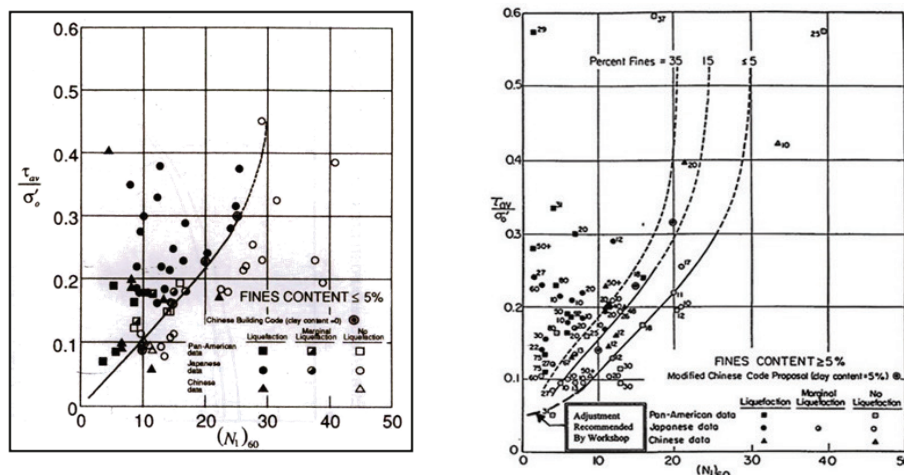
$$Z-0.0151 = rd$$



شکل ۲- ضریب rd در روش سید و همکاران (۱۹۸۴)

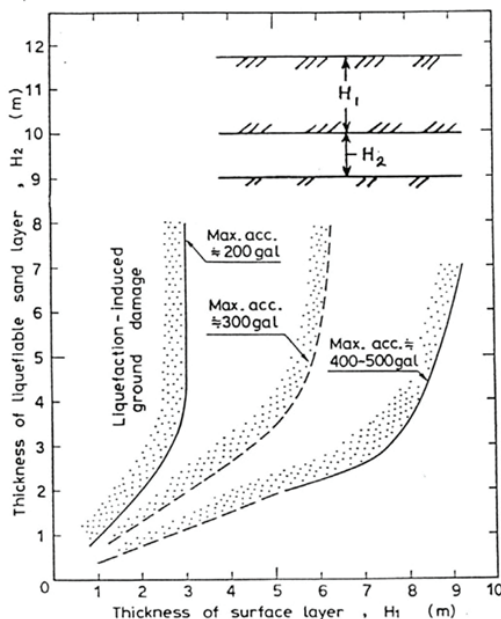
مقاومت برشی تناوبی یا به عبارت دیگر تنش برشی لازم جهت افزایش فشار آب حفره ای و صفر شدن تنش موثر را می توان با استفاده از آزمایش های صحرایی نظیر آزمایش نفوذ استاندارد SPT محاسبه نمود. روابط متعددی برای محاسبه نسبت مقاومت برشی تناوبی (Cyclic Resistance Ratio (CRR با استفاده از عدد SPT اصلاح شده، درصد ریزدانه و بعضاً خواص خمیری خاک ارائه شده است. سید و همکاران (Seed et al 1984) نمودار نشان داده شده در شکل (۳) را جهت محاسبه نسبت مقاومت برشی تناوبی (τ_{av} / σ'_0) ارائه نموده اند.

پس از محاسبه نسبت مقاومت برشی تناوبی و نسبت تنش برشی تناوبی، در صورتیکه نسبت تنش برشی تناوبی بیش از نسبت مقاومت برشی تناوبی باشد، پدیده روانگرایی اتفاق خواهد افتاد. جهت سادگی بیشتر، ضریب اطمینان در مقابل روانگرایی به صورت حاصل تقسیم نسبت مقاومت برشی تناوبی بر نسبت تنش برشی تناوبی تعریف می شود و در صورتیکه ضریب اطمینان کمتر از یک باشد پدیده روانگرایی اتفاق خواهد افتاد.



شکل ۳- نمودار سید و همکاران (۱۹۸۴) جهت محاسبه نسبت مقاومت برشی تناوبی بر حسب عدد SPT اصلاح شده

ایشیهارا (1985) جهت بررسی احتمال بروز آثار تخریبی روانگرایی در سطح زمین نمودار نشان داده شده در شکل (۴) را ارائه نموده است. در این شکل H_1 ضخامت لایه سطحی غیر روانگرا و H_2 ضخامت لایه روانگرا می باشد.



شکل ۴- ارزیابی احتمال بروز آثار تخریبی روانگرایی یک لایه واقع شده در زیر یک لایه غیر روانگرا (ایشیهارا 1985)

۳-۳- مشکل آب زیرزمینی

وجود آب و بالا بودن سطح آب زیر زمینی همواره یکی از مسائل مهم در حفاری تونل ها بشمار می آید. بطوریکه حدود ۱۶ درصد از ریزش های گزارش شده حین حفاری تونل ها مربوط به تاثیرات آب بوده است. با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در برخی شهرها بالا می باشد، در چنین شرایطی بررسی تاثیرات آب از اهمیت بسزایی برخوردار خواهد بود. بالا بودن سطح آب می تواند مشکلاتی از قبیل کند شدن روند پیشروی، آبکی شدن مصالح خروجی و... را به دنبال داشته باشد که در این مواقع تمهیداتی از قبیل زیر را در حفاری مکانیزه می توان مد نظر قرار داد.

- بالا بردن فشار EPB؛
- افزایش هوای فشرده فوم؛
- استفاده از بنتونیت درون چمبر؛
- استفاده از فوم و یا پلیمر در دهانه ورودی اسکرو.

۳-۴- وجود بولدر و قطعات سنگی بزرگ در طول مسیر

در تونل هایی که بصورت مکانیزه در خاک حفاری می شوند، به وفور مخاطرات برخورد با بولدرها و قطعات سنگی با ابعاد بزرگ گزارش شده است. به طور کلی در تونل های مکانیزه که با ماشین های تمام مقطع حفاری می شوند، در زمان برخورد با بولدرها، ماشین با مصالح بسیار سختی مواجه می شود که در بسیاری از مواقع خرد کردن آن مشکل است. برخورد با چنین شرایطی می تواند سبب مشکلات بزرگی برای پروژه شود که از جمله عواقب این مشکلات می توان به توقف، کاهش نرخ پیشروی ماشین و همچنین آسیب دیدگی و ساییدگی ابزارهای برش اشاره نمود.

به طور کلی، زمانیکه ماشین TBM با قطعات سنگی و بولدرها مواجه گردد، رفتار متقابل ماشین و بولدر می تواند یکی از حالات زیر باشد:

- اگر ابعاد بولدرها متناسب با بازشوهای کاترهد و گام نقاله ماریپج باشد، می تواند توسط ماشین حفاری شده و به داخل چمبر وارد شود؛
- اگر با توجه به مشخصات ماشین، ابعاد بولدرها برای حفاری بزرگ بوده و همچنین زمین دربرگیرنده بولدرها نیز سفت باشد، امکان خرد شدن آن (با توجه به ابزارهای برش، جنس و مقاومت بولدرها) توسط ماشین وجود دارد؛
- اگر ماتریکس یا خاک دربرگیرنده بولدرها ضعیف باشد، بولدرها از جای خود کنده شده و ممکن است که بوسیله کاترهد به بیرون از محدوده تونل هل داده شود و یا ممکن است که در محدوده جبهه کار باقی بماند و در بعضی مواقع همراه با کاترهد دوران نماید، در چنین مواقعی گشتاور ماشین به طور غیر عادی بالا خواهد رفت و سرانجام پیشروی ماشین متوقف می گردد. در این مواقع بولدرها باید به صورت دستی خرد شده و یا از مسیر ماشین برداشته شوند. در این شرایط امکان اضافه حفاری و نشست زمین نیز وجود دارد.

بخش هایی از مسیر که پتانسیل برخورد با کوبل و بولدر وجود دارد معمولاً در مطالعات زمین شناسی مهندسی به آنها پرداخته می شود و در طول مسیر مشخص می شوند؛ با این حال بازدیدهای ادواری از جبهه کار تونل و مصالح حفاری شده امکان پیش بینی برخورد با چنین مخاطراتی را محتمل می سازد.

در شکل (۵) نمونه ای از کوبل های حفاری شده به وسیله ماشین EPB-TBM نشان داده شده است. همان طور که در دپو مصالح حفاری مشاهده می شود، درصد زیادی از مصالح را کوبل ها شامل می شوند که حفاری در چنین شرایط زمین شناسی موجب افزایش نرخ مصرف ابزاربرشی خواهد شد؛ علاوه بر این در صورتی که بهسازی مصالح به درستی صورت نگیرد موجب آسیب به بدنه کاترهد دستگاه شود. نکته قابل ذکر دیگر اینکه در چنین شرایطی علاوه بر بهسازی مناسب مصالح، کاهش سرعت چرخش کاترهد می تواند از آسیب های جدی به کاترهد دستگاه بکاهد.



شکل ۵-نمایی از کوبل های حفاری شده توسط ماشین EPB-TBM در محل دمپ مصالح حفاری

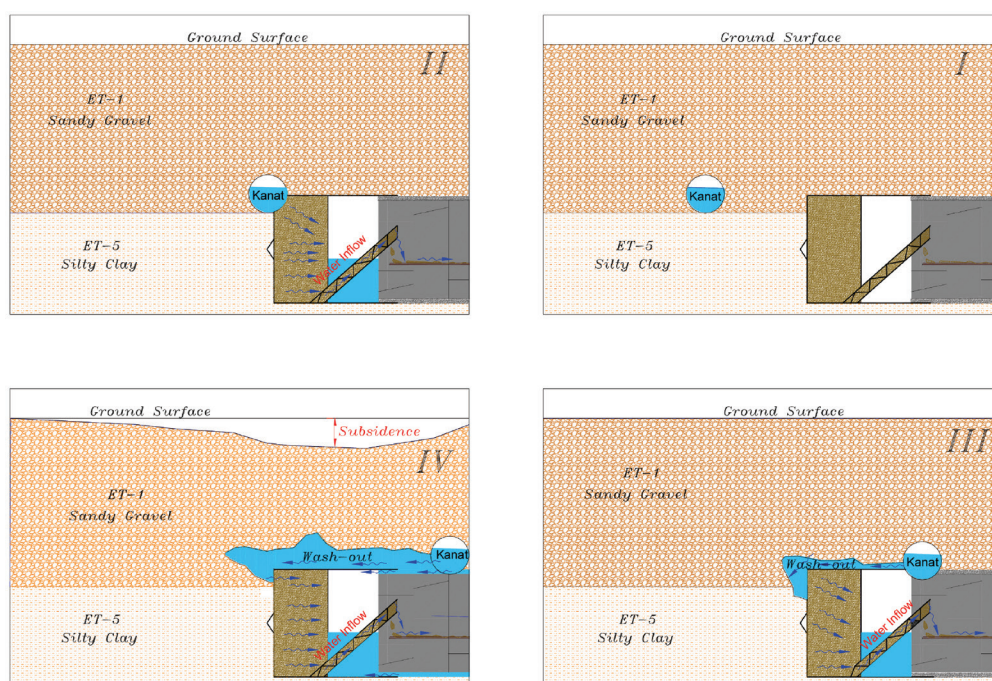
همچنین در شکل (۶) نیز نمایی از بولدرهای برداشته شده از روی نوار نقاله ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود جنس ماتریکس دربرگیرنده بولدرها و مقاومت بولدرها به گونه ای بوده است که با چرخش کاترهد ماشین بدون شکستن و خرد شدن از جبهه کار تونل جدا شده و به داخل چمبر انتقال پیدا کرده اند.



شکل ۶-نمایی از بولدرهای حفاری شده توسط ماشین EPB-TBM

۳-۵- برخورد تونل با قنات

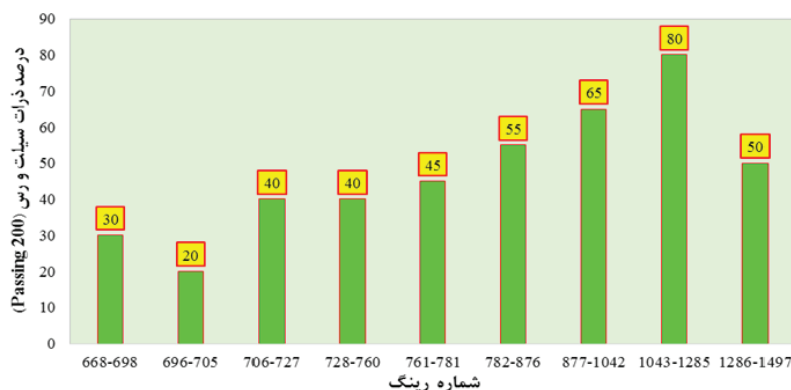
بسته به موقعیت قنات‌ها نسبت به تونل و وضعیت آب‌دهی آنها، اثرات مختلفی بر فرآیند حفاری تونل با ماشین خواهند داشت که ممکن است به صورت اختلال در فشار جبهه‌کار، کاهش دانسیته مصالح در چمبر، خروج آب از نقاله ماریچ، اختلال در حجم و فشار تزریق پشت سگمنت و مخاطراتی از این قبیل در حین حفاری بروز کند. در شرایطی نیز ممکن است ریزش ناگهانی قنات در بالای تونل تحت تأثیر حفاری تونل باعث وارد شدن بارهای ناگهانی و نامتقارن بر پوشش سگمنتی تونل شده و سبب آسیب دیدن پوشش تونل شود. در صورتی که قنات با فاصله کم و در تراز پایین‌تر از تونل قرار داشته باشد ممکن است باعث انحراف ماشین از مسیر طراحی شده گردد. همچنین در صورت برخورد تونل با قنات‌های احتمالی موجود در مسیر، احتمال آب‌شستگی خاک اطراف سگمنت‌ها بسیار زیاد خواهد بود. با توجه به اثرات احتمالی مختلفی که قنات‌ها بر روی حفاری تونل خواهد داشت و بسته به موقعیت آنها نسبت به تونل، راهکارهای مختلفی جهت عبور از آنها از قبیل انحراف مسیر قنات، پر کردن آنها، بهسازی خاک اطراف قنات باید در نظر گرفت. با توجه به اهمیت این موضوع و لزوم شناسایی دقیق موقعیت و شرایط هر رشته قنات و اثرات احتمالی آنها بر تونل، به منظور اتخاذ راهکار مناسب، علاوه بر استفاده از مطالعات اولیه پروژه، همواره باید در طول پیشروی تونل رشته قنات‌ها شناسایی شوند تا از مخاطرات احتمالی جلوگیری گردد.



شکل ۷- تصویری شماتیک از آب‌شستگی اطراف تونل به سبب تقاطع با قنات

۳-۶- رفتار چسبناکی خاک و خطر گل‌گرفتگی در حفاری مکانیزه

بطور کلی چسبندگی ذرات خاک به ابزار برشی، بازشوهای کاترهد، همزن‌های داخل چمبر، بدنه چمبر و نقاله ماریچ می‌تواند سبب پدیده کلاگینگ یا انسداد در ماشین شود. وجود خاک‌های بسیار دانه ریز در جبهه‌کار حفاری در صورتی که بهسازی خاک در آن شرایط به درستی انجام نشود موجب انسداد ماشین و به دنبال آن موجب کاهش عملکرد ماشین می‌شود. بر مبنای شاخص استحکام و شاخص خمیری، پتانسیل خطر کلاگینگ ارزیابی و دسته‌بندی می‌شود؛ بنابراین با استفاده از گزارش زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل که در زمان مطالعات هر پروژه تهیه می‌شود، می‌توان دیدی از میزان خطر کلاگینگ در مسیر پیش‌روی ماشین داشت. علاوه بر این با انجام بازدیدهای ادواری از جبهه‌کار تونل و همچنین ازبیلت مصالح حفاری شده می‌توان مقدار ذرات دانه ریز سیلت و رس را در هر دوره بررسی و خطر وقوع پدیده کلاگینگ را پیش‌بینی نمود. شکل (۸) نمونه‌ای از تغییرات درصد ریزدانه‌ها براساس شماره رینگ‌های حفاری شده در دوره‌های مختلف حفاری در یک تونل را نشان می‌دهد.



شکل ۸- تغییرات درصد ریزدانه‌ها براساس شماره رینگ‌های حفاری شده در دوره‌های مختلف

همان‌طور که مشاهده می‌شود احتمال وقوع پدیده کلاگینگ در محدوده رینگ‌های ۱۰۴۳ تا ۱۲۸۵ بسیار بالا می‌باشد، همچنین در محدوده رینگ‌های ۸۷۷ تا ۱۰۴۲ نیز توجه به خطر کلاگینگ ضروری است. نکته قابل ذکر اینکه در هر دوره می‌بایست بازدیدهای ادواری و تهیه ازبیلتهای روزانه زمین‌شناسی به‌صورت منظم انجام پذیرد تا بتوان در مورد وقوع و یا عدم وقوع پدیده کلاگینگ اظهار نظر کرد.

در مواقعی که پدیده کلاگینگ مشاهده می‌شود، ماشین باید متوقف شده و کاترهد و چمبر کاملاً تمیز شوند. براین اساس بایستی جدول زمانی به منظور بازدید ادواری ابزارها و بخش‌های مختلف ماشین که در تعامل مستقیم با خاک حفاری شده قرار دارند در دستور کار قرار گیرند و این برنامه با استفاده از تجربیات کارگاهی تدقیق شود. شکل (۹) نمایی از تمیزکاری چمبر و چک کردن لاین‌های فوم را نشان می‌دهد. شایان ذکر است در زمان‌های توقف ماشین EPB-TBM و در مواقعی که به عملیات هایپرباریک نیاز نمی‌باشد چمبر از مصالح حفاری تخلیه شده و عملیات تمیزکاری آغاز گردد، همچنین در حین عملیات تمامی لاین‌های فوم نیز چک شده و از عدم انسداد آنها اطمینان حاصل شود.

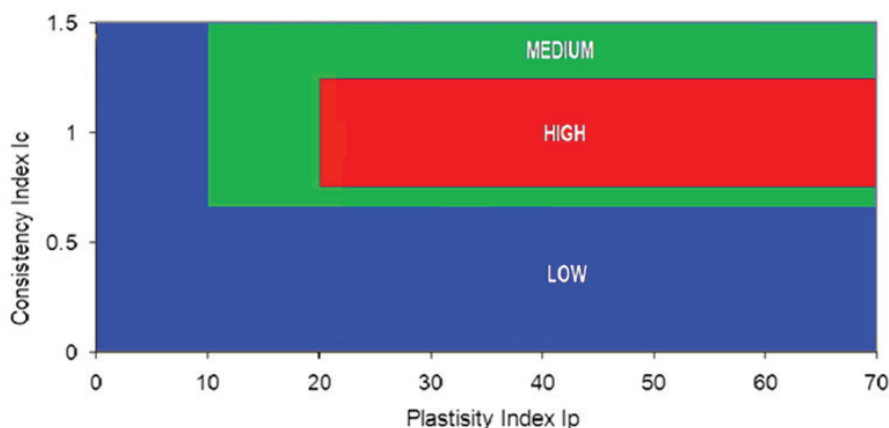


شکل ۹- نمایی از عملیات تمیزکاری و چک کردن لاین‌های فوم

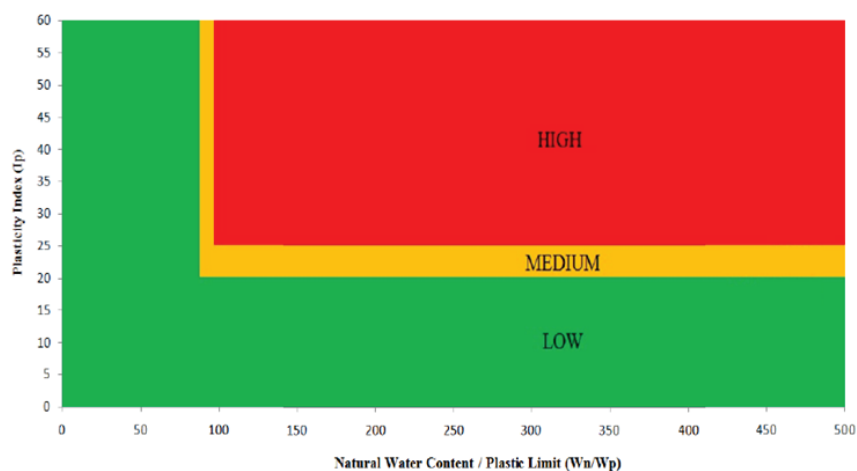
شاخص استحکام (Consistency Index) یکی از پارامترهای مهم در تشخیص خطر گل گرفتگی در حین حفاری می‌باشد. این شاخص را بر اساس پارامترهایی چون شاخص خمیری (PI)، حد روانی (LL) و درصد رطوبت طبیعی خاک‌های رسی (w) می‌توان از رابطه زیر مشخص نمود:

$$I_c = \frac{LL - w}{LL - PL} = \frac{LL - w}{PI}$$

اشکال (۱۰) و (۱۱) نمودار خطر انسداد ماشین‌های حفاری ارائه شده توسط Burger-Thewes (2004) و Geodata-Torino (1995) را بر اساس مقادیر شاخص استحکام و حد پلاستیک نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار خطر انسداد برای ماشین‌های حفاری (Thewes and Burger, 2004)



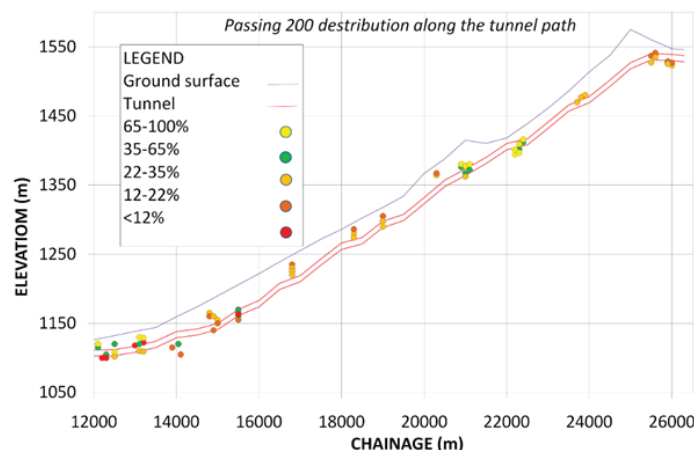
شکل ۱۱- نمودار خطر انسداد برای ماشین‌های حفاری (Geodata-Torino, 1995)

۳-۷- درصد عبوری از الک ۲۰۰

به‌طور کلی ماشین EPB-TBM برای زمین‌هایی که دارای ذرات ریزدانه (درصد عبوری از الک ۲۰۰) قابل توجهی باشند، مناسب‌تر می‌باشد و مقدار ذرات ریزدانه یکی از فاکتورهای مؤثر بر روی عملکرد ماشین محسوب می‌شود. در عین حال امکان حفاری در زمین‌هایی که درصد خاک ریزدانه در آنها کمتر از ۱۲ درصد باشد نیز وجود دارد، ولی نیاز به تمهیدات خاصی مانند بهسازی خاک و صرف هزینه بیشتر می‌باشد.

در تفکیک واحدهای زمین‌شناسی یکی از فاکتورهای مهم، درصد ریزدانه می‌باشد. همچنین مقدار درصد ریزدانه در خاک‌های دربرگیرنده مسیر تونل از عوامل مؤثر در کارپذیری مصالح حفاری شده است. کارپذیری مناسب برای ماشین EPB-TBM وقتی ایجاد می‌شود که خاک جمع شده در چمبر به یک ماده همگن، پلاستیک و خمیری تبدیل شود. چنین خاکی هم قابلیت اعمال فشار به جبهه‌کار را دارد هم قابلیت انتقال مصالح از طریق نقاله ماریپچ را دارا می‌باشد. بنابراین کاهش مقدار درصد ذرات ریزدانه نقش مهمی را در کارپذیری مصالح خواهد داشت و کمبود آن در خاک‌های دربرگیرنده مسیر تونل باعث افزایش هزینه‌های ناشی از بهسازی مصالح خواهد بود. چراکه در مواقعی علاوه بر استفاده از بهسازی مصالح به‌وسیله انواع افزودنی‌ها مانند فوم و پلیمر، نیاز به استفاده از بنتونیت نیز می‌باشد. نکته قابل ذکر اینکه استفاده از بنتونیت امکان جبران فقدان ریزدانه‌ها را فراهم خواهد ساخت.

اگرچه بخش‌هایی از مسیر که احتمال کاهش مقدار ریزدانه‌های موجود در خاک‌های دربرگیرنده تونل وجود دارد معمولاً در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی به آنها پرداخته می‌شود و در طول مسیر مشخص می‌شوند؛ ولی با این حال باز دیده‌های ادواری از جبهه‌کار تونل، مصالح حفاری شده و ازبیل‌ت روزانه زمین‌شناسی امکان پیش‌بینی برخورد با چنین پدیده‌ای را محتمل می‌سازد. شکل (۱۲) نمونه‌ای از بررسی‌های انجام شده در طول مطالعات زمین‌شناسی مهندسی مسیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار درصد ذرات ریزدانه در طول مسیر مشخص شده است. با این حال در بخش‌هایی که مطالعات کافی نبوده است می‌بایست با ازبیل‌ت‌های روزانه زمین‌شناسی و باز دیده‌های ادواری از مصالح حفاری شده، مقدار درصد ذرات ریزدانه تدقیق و تعیین شود.



شکل ۱۲- توزیع مکانی و دامنه تغییرات درصد ذرات ریزدانه در طول مسیر

۳-۸- خطر سایش و خوردگی

با توجه به شرایط کار ماشین‌های EPB-TBM و تماس دائم و کامل بخش‌های مختلف کاترهد، چمبر و نقاله مارپیچ با خاک، در صورت حفاری در خاک‌های ساینده، امکان فرسایش و آسیب دیدن این بخش‌های ماشین وجود دارد. ساینده‌ی خاک تابع جنس، ابعاد و شکل دانه‌های خاک است. خاک‌های درشت‌دانه با دانه‌های تیز گوشه به‌ویژه در صورت وجود کانی‌های ساینده مانند کوارتز، دارای ساینده‌ی زیاد هستند. ارزیابی سایش ابزار برش اغلب از محاسبه فاکتورهای عملکرد ماشین سخت‌تر و مشکل‌تر است. دلیل این ادعا این است که از یک سو سایش و خوردگی کاملاً و قطعاً توسط قابلیت ساینده‌ی مصالح موجود در جبهه‌کار کنترل می‌شود و از سوی دیگر این پدیده به پیچیدگی اندرکنش بین زمین، چیدمان و جنس ابزار برش نیز مربوط می‌شود. بر این اساس عوامل تأثیرگذار بر سایش ابزار در تونل‌سازی مکانیزه با ماشین‌های EPB-TBM را می‌توان به‌صورت شکل (۱۳) خلاصه نمود.

فاکتورهای مؤثر بر روری سایش ماشین حفر تونل

نوع سنگ و خاک	۱	نوع ابزار برش	نوع ماشین	۱	نوع ابزار برش	نوع ماشین
	۲	تعداد ابزار برش		۲	تعداد ابزار برش	
	۳	آرایش ابزار برش		۳	آرایش ابزار برش	
	۴	سختی ابزار برش		۴	سختی ابزار برش	
	۵	شکل ابزار برش		۵	شکل ابزار برش	
	۶	تعداد نازل‌های فوم		۶	تعداد نازل‌های فوم	
سطح آب‌های زیرزمینی	۷	موقعیت نازل‌های فوم		۷	موقعیت نازل‌های فوم	

شکل ۱۳- فاکتورهای مؤثر بر سایش ابزارهای برش و ماشین EPB-TBM

تأثیر خاک‌های ساینده بر روی ماشین EPB-TBM به‌صورت سایش اولیه و ثانویه تعریف می‌گردد. سایش مورد انتظار روی ابزار حفاری و سطوحی از قبیل قلم‌های خراشنده، دیسک‌های برشی که برای حفاری طراحی شده‌اند و به تعویض در فواصل زمانی مشخص نیاز دارند، سایش اولیه نامیده می‌شود. از طرف دیگر، سایش ثانویه، سایشی است طراحی نشده و زمانی که سایش اولیه روی ابزار برشی بیش از اندازه باشد، منجر به سایش ساختار کله‌حفار، قسمت‌های پشتیبان ابزار، اسپوک‌ها یا پره‌های کاترهد، پایه زینی شکل ابزار برشی و دیگر سطوح دور از انتظار طراحان و تولیدکنندگان TBM می‌شود که سایش ثانویه می‌نامند.

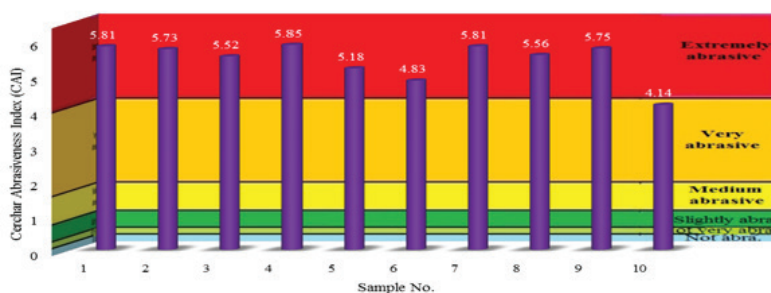
در راستای برآورد کلی خطر ساینده‌گی مصالح در حفاری با ماشین EPB-TBM می‌توان از اطلاعات بدست آمده از مطالعات مرحله اول و دوم هر پروژه استفاده کرد؛ همچنین در حین پیشروی تونل و با توجه به مصالح حفاری شده می‌توان از روش‌های زیر نیز بهره یافت:

- انجام آزمایش سِرشار بر روی نمونه‌های سنگی (کوبل و بولدرها) موجود در مسیر پیش‌رو؛
- استفاده از دیاگرام ارائه شده توسط تورو و همکارانش در سال ۲۰۰۹.

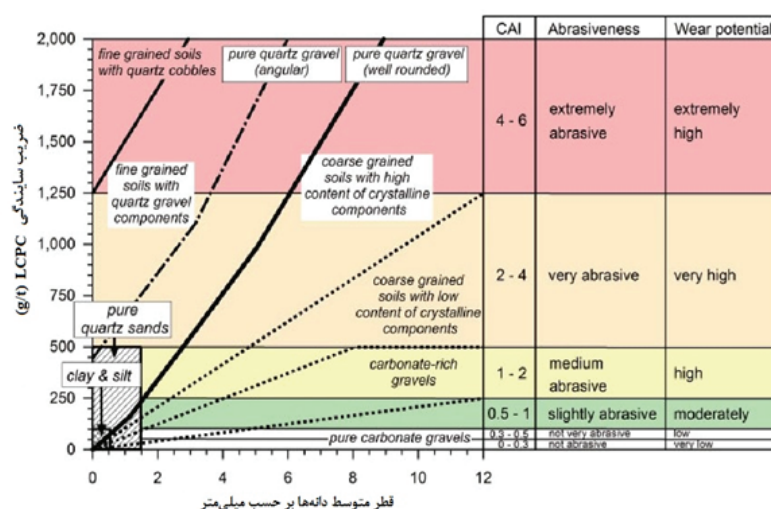
در شکل زیر نمونه‌ای از نتایج آزمایش سِرشار بر روی کوبل و بولدرهای جمع‌آوری شده از روی نوار نقاله نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌ها در رده فوق العاده ساینده قرار دارند. به عبارت دیگر، مقدار شاخص اندیس ساینده‌گی سایش آنها در محدوده ۴ تا ۶ قرار دارد (شکل ۱۴).

تورو و همکارانش در طی سالیان گذشته از میان آزمایش‌های مخصوص ساینده‌گی خاک، با استفاده از آزمایش LCPC در آزمایشگاه، ساینده‌گی مصالح خاکی را مورد بررسی قرار دادند و سپس نتایج به دست آمده را در یک دیاگرام به صورت روابط همبستگی درج کردند. در این دیاگرام، متوسط اندازه ذرات یا همان $D_{50}\%$ در مقابل LAC ترسیم شده است (شکل ۱۵). در این دیاگرام با مشخص بودن مقادیر $D_{50}\%$ و همچنین نوع و جنس خاک (با استفاده از نتایج آزمایش پتروگرافی) می‌توان پتانسیل ساینده‌گی خاک را رده‌بندی کرد و مقدار ضرایب ساینده‌گی LCPC و CAI را نیز برآورد نمود.

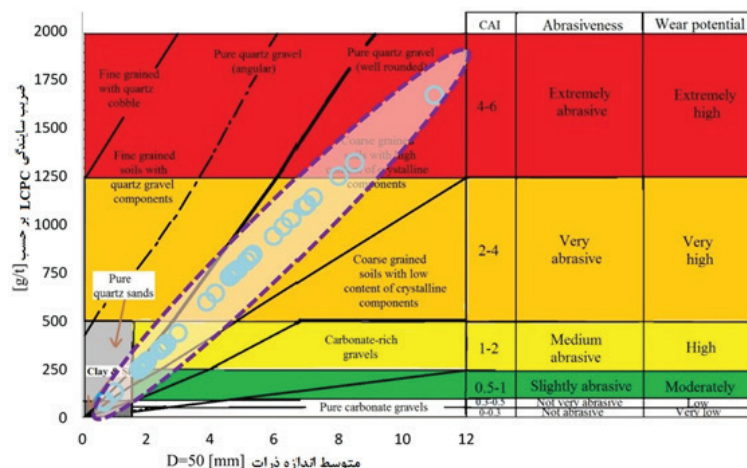
شکل (۱۶) نمونه‌ای از برآورد پتانسیل ساینده‌گی خاک‌ها در مسیر پیش‌روی ماشین حفر تونل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود سناریوی محدوده خاک‌های درشت‌دانه همراه با مقادیر بالای ذرات کریستالین برای نمونه‌های دربرگیرنده تونل انتخاب شده است. با مشخص شدن سناریوی مربوط به خاک‌های دربرگیرنده مسیر تونل می‌توان پتانسیل ساینده‌گی آنها را با توجه به درصد اندازه متوسط ذرات تعیین نمود.



شکل ۱۴- نتایج آزمایش سِرشار بر روی کوبل و بولدرهای مسیر تونل



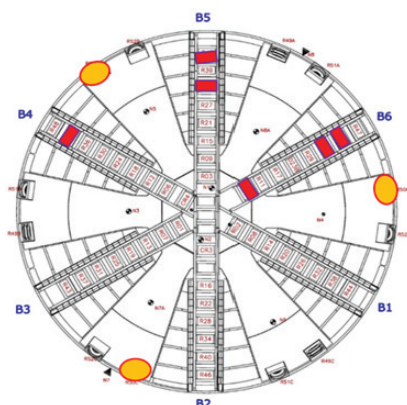
شکل ۱۵- طرح برآورد پتانسیل ساینده‌گی خاک‌ها در مسیر تونل (تورو ۲۰۰۷)



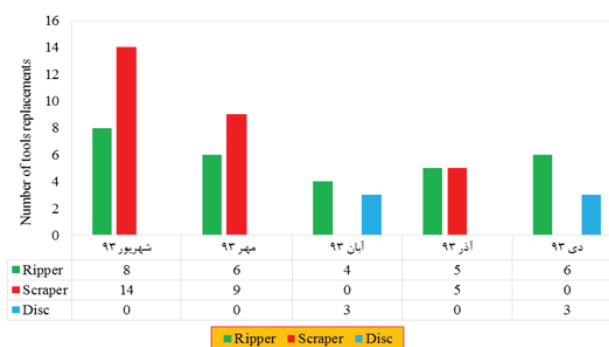
شکل ۱۶- برآورد پتانسیل ساینده‌ی خاک‌ها در مسیر پیش‌روی ماشین

از آنجایی که سایش و خوردگی ابزارهای برش در عملکرد ماشین EPB-TBM تأثیر مستقیم خواهند داشت، لذا ثبت و بررسی ابزارهای تعویض شده در فرمت‌های مشخص ضروری می‌باشد. ثبت شماره و موقعیت ابزار برش تعویض شده باعث آگاهی از وضعیت کلیه ابزارهای برش و داشتن برنامه برای تعویض سایر ابزار برش می‌شود. شکل (۱۷) نمونه‌ای از تعداد ابزار تعویض شده در دوره‌های مختلف را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۱۸) نیز تصویر شماتیک از موقعیت ابزار برش تعویض شده بر روی کاترهد ماشین در یک دوره ارائه شده است. شکل‌های (۱۹) و (۲۰) نیز به ترتیب نمونه‌ای از عملیات تعویض ابزارهای برشی و کدام ابزارهای برش تعویض شده از قبیل دیسک‌ها و رپرها را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار سایش هر کدام از ابزارهای برش به وسیله شابلون‌های مخصوص اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. نکته قابل ذکر اینکه سایش بیش از اندازه هر کدام از ابزارهای برش موجب تسریع در افزایش سایش آنها و حتی سایش بر روی بدنه کاترهد ماشین خواهد شد؛ لذا داشتن مبنایی برای تعویض ابزارهای برشی با توجه موقعیت نصب آنها بر روی بدنه کاترهد ضروری خواهد بود. در نهایت اینکه، بهسازی صحیح مصالح و تنظیم بهینه پارامترهای اپراتوری ماشین از جمله راهکارهای کاهش سایش ابزارهای برش و سایر بخش‌های دستگاه است که در تماس مستقیم با زمین قرار دارند.

۴۰



شکل ۱۸- تصویر شماتیک از موقعیت ابزار برش تعویض شده در یک دوره



شکل ۱۷- تعداد ابزار حفاری تعویض شده در دوره‌های مختلف



شکل ۲- ابزارهای برش تعویض شده در یک دوره



شکل ۱۹- عملیات تعویض ابزارهای برشی در داخل چمبر

۳-۹- نفوذپذیری بالای خاک

نفوذپذیری زمین یکی دیگر از فاکتورهای بسیار مهم در عملکرد ماشین‌های EPB-TBM می‌باشد. ضریب نفوذپذیری به همراه فشار آب زیرزمینی یکی از فاکتورهایی است که در خاک‌های دانه‌ای عملکرد ماشین را کنترل می‌نماید؛ بطوریکه عملکرد ماشین در فشار آب حداکثر ۲ بار، به ضریب نفوذپذیری 5-10E متر بر ثانیه محدود می‌شود. معمولاً در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی مسیر پروژه‌ها به بررسی مقدار ضریب نفوذپذیری مصالح با انجام آزمایش لوفران پرداخته می‌شود. بنابراین در فواصلی که زمین دارای نفوذپذیری بالایی می‌باشد باید آمادگی برای ورود احتمالی آب از نقاله مارپیچ و حفاری در شرایط غیر نرمال را داشت. همچنین در خاک‌های با نفوذپذیری بالا ممکن است مشکلاتی در تثبیت فشار جبهه‌کار و افزایش حجم دوغاب تزریق پشت سگمنت ایجاد شود که با توجه به اهمیت موضوع، می‌بایست تغییرات فشار جبهه‌کار در دو حالت بیشتر و کمتر از مقدار طراحی شده مورد بررسی قرار گیرد:

الف) در شرایطی که فشار جبهه‌کار از حد بالای در نظر گرفته شده تجاوز کند اقدامات زیر باید انجام شود:

- سرعت چرخش کاترهد کاهش داده شود؛
- به منظور کاهش نرخ نفوذ، باید نیروی تراست کاهش یابد؛
- افزایش نرخ تزریق فوم در حالی که سرعت تخلیه مصالح ثابت نگه داشته شده است؛
- در صورتی که با این اقدامات فشار به حالت عادی برنگردد، موضوع باید به اطلاع مسئول راهبری ماشین رسانده شده و با نظر مسئول راهبری حفاری متوقف شود.

ب) در شرایطی که فشار جبهه‌کار از حد پایین طراحی کمتر شود، باید اقدامات زیر در دستور کار تیم حفاری قرار گیرد:

- در اولین گام باید به منظور بالابردن فشار تا حد طراحی، اقدام به تزریق بنتونیت به چمبر در حین حفاری شود؛
- در صورت عدم افزایش فشار به مقدار مورد نظر، حفاری متوقف شده و دریچه تخلیه نقاله مارپیچ بسته شود؛
- تزریق بنتونیت و پلیمر تا رسیدن فشار به حد طراحی ادامه یابد؛
- شروع مجدد حفاری باید با نظر مسئول راهبری باشد.

۳-۱۰- برخورد با لنزهای ماسه‌ای

مهمترین مشکلی که در صورت برخورد با لنزهای ماسه‌ای بویژه در صورت قرار گرفتن تونل در زیر تراز آب امکان بروز دارد، ناپایداری جبهه‌کار، اختلال در فشار جبهه‌کار و نشست آب از داخل نقاله مارپیچ است. بخش‌هایی از مسیر که پتانسیل برخورد با لنزهای ماسه‌ای با آنها در جبهه‌کار وجود دارد معمولاً در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی به آنها پرداخته می‌شود. با این حال برخورد با چنین لنزهایی در قسمت‌هایی که چاهک یا گمانه‌ای برای شناسایی وجود ندارد، محتمل می‌باشد؛ لذا در بازدیدهای ادواری از جبهه‌کار تونل و مصالح حفاری شده می‌بایست به این موضوع توجه کافی داشت. در مواقعی که امکان خروج آب از نقاله مارپیچ وجود دارد، بار هیدرولیکی در چمبر به طور ناگهانی افزایش یافته و باعث جریان آب به داخل چمبر می‌شود. نتیجه این پدیده، تراوش تحت فشار آب از دریچه خروجی نقاله مارپیچ خواهد بود.

به منظور تشخیص به موقع این مشکل باید یکی از دوربین‌های مداربسته در این موقعیت به گونه‌ای قرار گیرد که تخلیه مصالح از دریچه نقاله ماریچ را نشان دهد. اپراتور TBM پس از مشاهده این شرایط بلافاصله باید مسئول راهبری ماشین را مطلع کند. مسئول راهبری ماشین نیز باید مسئول تونل را در جهت اقدامات لازم مطلع نماید. اقدامات لازم برای مقابله با این شرایط به اختصار به شرح زیر است:

- در صورتی که تزریق آب به جبهه کار انجام می‌شود، بلافاصله باید قطع شود؛
- دریچه تخلیه نقاله ماریچ بسته شود (این دریچه باید پس از بسته شدن به طور کامل آب‌بند باشد)؛
- افزایش نرخ تزریق و غلظت فوم و افزودنی‌ها (فوم و افزودنی‌های مورد استفاده در این شرایط باید دارای نرخ انبساط پایین و غلظت بالای کف‌ساز و پلیمر باشد)؛
- ادامه حفاری در حالی که نقاله ماریچ متوقف بوده و تخلیه انجام نمی‌شود. این کار به منظور افزایش دانسیته مصالح در چمبر انجام می‌گردد. این مرحله تا جایی ادامه می‌یابد که فشار چمبر از حد مجاز بیشتر نشود؛
- بازکردن دریچه تخلیه نقاله ماریچ و روشن کردن آن به منظور تخلیه مصالح حفاری متناسب با حفاری انجام می‌شود؛
- در صورتی که هنوز جریان آب ادامه داشته باشد، تا دستیابی به خواص پلاستیک مناسب مصالح، انواع پلیمر یا بنتونیت در طول نقاله ماریچ تزریق می‌شود؛
- در صورت وقوع چنین پدیده‌ای، کلیه فعالیت‌های انجام شده فوق و وضعیت فشار چمبر و مصالح حفاری در هر مرحله باید در گزارشات روزانه حفاری ثبت شود.

۳-۱۱- جبهه کار مختلط

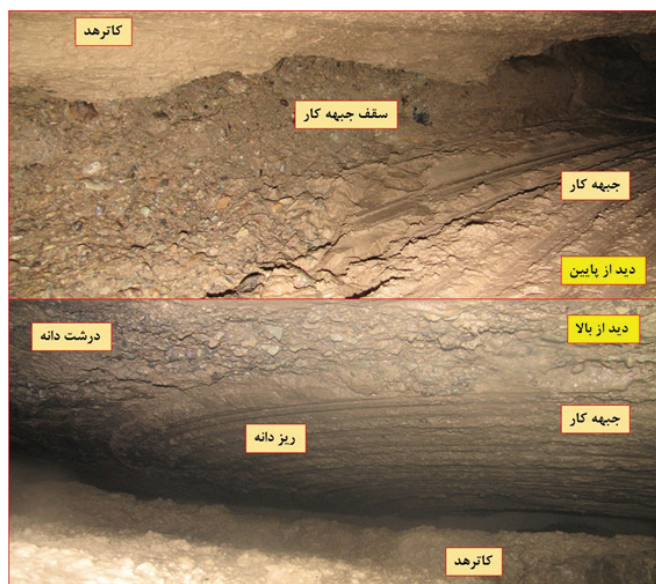
در بخش‌هایی از مسیر که دو خاک با خصوصیات متفاوت در جبهه کار تونل در کنار یکدیگر قرار داشته باشند می‌تواند مشکلاتی را در روند حفاری ماشین ایجاد کند. مثلاً در بخش‌هایی که جبهه کار تونل از رسوبات دانه ریز رسی و آبرفت درشت‌دانه تشکیل شده است به سبب تفاوتی که این دو لایه خاکی در نرخ نفوذ دارند، مقدار مصالح بیشتری از لایه رسی نسبت به لایه درشت‌دانه به ماشین کشیده می‌شود و در چنین شرایطی چنانچه لایه رسی در سقف تونل باشد می‌تواند سبب نشست زمین گردد. موضوع مهم دیگر در چنین شرایطی نوسانات فشار ماشین می‌باشد. شکل (۲۱) نمونه‌ای از جبهه کار مختلط را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود واحدهای مختلف زمین‌شناسی مهندسی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۲۱-نمایی از جبهه کار مختلط در مسیر حفر تونل

با توجه به اینکه فشار داخل چمبر، نوع و مقدار افزودنی‌های مورد استفاده وابسته به جنس خاک است، در صورت اختلاف جنس، دانه‌بندی، نفوذپذیری و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی بخش‌های مختلف خاک جبهه کار، مشکلاتی در حین حفاری بروز خواهد کرد. مشکل اصلی در چنین شرایطی اختلال در فشار جبهه کار می‌باشد. علاوه بر این، نوسانات گشتاور و اضافه حفاری از دیگر مشکلاتی است که امکان بروز آنها وجود دارد. نتیجه این اختلالات در صورت عدم توجه کافی به فرآیند حفاری نشست سطحی و انحراف ماشین خواهد بود. بنابراین لازم است در صورت برخورد با این شرایط و بروز علائم آن (اختلال در فشار جبهه کار و تغییرات گشتاور)، حفاری در شرایط غیر نرمال انجام گیرد.

شکل (۲۲) نمونه‌ای از بازدید ادواری جبهه‌کار تونل را نشان می‌دهد که به دلیل وجود جبهه‌کار مختلط می‌بایست سقف تونل از نظر اضافه حفاری احتمالی بررسی شود. در صورت وجود اضافه حفاری باید در سریع‌ترین زمان ممکن و به محض عبور انتهای سپر ماشین EPB-TBM از محل مورد نظر (جهت جلوگیری از حرکت زمین و نشست سطح زمین)، با استفاده از سیستم تزریق دوغاب پرکننده پشت سگمنت، فضای ایجاد شده در اثر اضافه حفاری پر شود.



شکل ۲۲-نمایی از جبهه‌کار مختلط در حین حفاری

۱۲-۳- نشست تحکیمی خاک

برداشت بی رویه آب زیرزمینی یا زهکشی ناخواسته آن در زمان حفر تونل و ایستگاه‌ها باعث پایین رفتن تراز آب زیرزمینی می‌شود که نتیجه آن افزایش میزان تنش موثر در خاک‌های ریزدانه سیلنتی و رسی و نشست زمین می‌باشد. لذا بایستی تدابیر احتیاطی لازم توسط پیمانکار در زمان حفاری و مراقبت و تعمیر و نگهداری مناسب از سیل‌های اطراف سپر دستگاه صورت گیرد. همچنین جلوگیری از وقوع این پدیده از آسیب به سازه‌های سطحی و زیر سطحی جلوگیری خواهد نمود.

۱۳-۳- پتانسیل ورود گازهای خطرناک به تونل

در بافت‌های قدیمی شهری وجود کانال‌های فرسوده و چاه‌های قدیمی فاضلاب به صورت متروکه پتانسیل ایجاد گازهای انفجاری همچون متان CH_4 و سمی خورنده مانند H_2S در اثر تخمیر بی‌هوازی مواد آلی تجمع یافته را دارا هستند. حفاری و برخورد مستقیم به این مجاری یا چاه‌ها یا زهکش شدن آب و لجن از ترازهای بالاتر یا جوانب تونل در زمان حفاری راهیابی گاز متان یا متصاعد شدن گاز H_2S را امکان‌پذیر می‌نماید. در پروژه‌های مشابه داخل کشور همانند حفاری در محدوده خیابان خیام در مسیر خط ۷ متروی تهران برخورد مستقیم و حفاری یک کانال قدیمی و متروکه فاضلاب شهری منجر به متصاعد شدن گاز CH_4 و Shutdown دستگاه حفاری گردید و علاوه بر آن متصاعد شدن گاز H_2S هر چند با غلظت کم شرایط نامناسب محیطی به لحاظ بوی بد فاضلاب برای فعالیت کارکنان ایجاد نمود.

۱۴-۳- وجود معارضین سطحی و زیر سطحی

از نتایج بررسی BCS پیش از ساخت تونل، برای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها استفاده می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری از مشخصه‌های ذاتی و اجتناب‌ناپذیر یک ساختمان است که با تاریخچه یا پیشینه آن و تشریح میزان دور بودن شرایط ساختمان از وضعیت بهینه و بی‌نقص ارتباط می‌یابد. هرچقدر آسیب‌پذیری ساختمان بیشتر باشد رواداری تغییر شکل فیزیکی آن قبل از پدید آمدن خسارت کمتر می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری با کاستن محدوده مجاز شاخص‌های کنترلی هر کدام از رده‌های ریسک ارائه شده توسط رانکین و برولند تأثیر خود را در رده ریسک ساختمان‌ها می‌گذارد؛ در نهایت اینکه پارامترهای کنترلی ارائه شده توسط چیریوتی و همکارانش در سال ۲۰۰۰، بر اساس شاخص آسیب‌پذیری می‌باشد که در حال حاضر در پروژه‌ها استفاده می‌شود.

مهم‌ترین اقدامات صورت گرفته در گزارش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

- شناسایی ساختمان‌های بلند و قابل توجه در طول مسیر؛
- بیان ویژگی‌های ساختمان‌هایی که مشخصات آنها موجود است؛
- مشخص کردن مکان‌های شهری که احتمال حضور طرح‌های آتی در آنها وجود دارد (مانند تقاطع).

۴- جمع‌بندی مطالب

به‌طور کلی به منظور تعیین مخاطرات محتمل و شرایط خاص زمین‌شناسی که ممکن است ماشین EPB با آن مواجه گردد، موارد و پارامترهای ذیل باید مورد ارزیابی قرار گیرد:

- برخورد با لایه‌های سست و زون‌های برشی گسل‌ها؛
- روانگرایی؛
- مشکل آب زیرزمینی؛
- وجود بولدر و قطعات سنگی بزرگ در مسیر تونل و ابعاد آنها؛
- برخورد با حفرات زیرزمینی از قبیل قنات و ...؛
- رفتار چسبناکی خاک و خطر گل‌گرفتگی؛
- درصد عبوری از الک ۲۰۰؛
- سایش‌پذیری ابزار برشی؛
- خطر نفوذپذیری بالای خاک؛
- پتانسیل ورود گازهای خطرناک به تونل؛
- نشست؛
- خطر نشست تحکیمی خاک.

۵- منابع

- [1]-Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, M., Xu, S., 2007. Mechanized Tunneling in Urban Areas: Design Methodology and Construction Control. Taylor & Francis/Balkema, Leiden (507 pp.).
- [2]-O'Carroll, J.B., 2005. A Guide to Planning, Constructing and Supervising Earth Pressure Balance TBM Tunneling. Parsons Brinckerhoff Publishing, New York (142 pp.).
- [3]-EFNARC, 2005. Specification and Guidelines for the Use of Specialist Products for Mechanized tunneling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock, April.
- [4]-BTS, 2005. Closed-Face Tunneling Machines and Ground Stability. British Tunneling Society (Closed-Face Working Group) in association with the Institution of Civil Engineers: Thomas Telford Publishing, London (77 pp.).
- [5]-Amoun, S., Sharifzadeh, M., Azali, S., Tabesh, M., 2015. EPB-TBM tunneling in abrasive soil, Tehran metro tunnel line 7, Iran. 11th Iranian and 2nd Regional Tunnelling Conference, Tehran, 2-5 November.
- [6]-Amoun, S., Sharifzadeh, M., Kourosh, SH., Rostami, J., 2015. Soil abrasiveness for EPB-TBM along Tehran metro tunnel line 7, Iran. ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC), Lacroma Valamar Congress Center, Dubrovnik, Croatia.
- [7]-Amoun, S., Sharifzadeh, M., Kourosh, SH., Rostami, J., Azali, S., 2016. Evaluation of tool wear in EPB tunneling of Tehran Metro, Line 7 Expansion. Tunnelling and Underground Space Technology 61, 233-246.
- [8]-Alavi Gharahbagh, E., Rostami, J., Talebi, K., 2014. Experimental study of the effect of conditioning on abrasive wear and torque requirement of full face tunneling machines. Tunnelling and Underground Space Technology 41, 127-136.
- [9]-Peila, D., Picchio, A., Chiericato, A., Barbero, M., Dal, Negro, E., Boscaro, A., 2012. Test Procedure for Assessing the Influence of Soil Conditioning for EPB tunneling on the Tool Wear. World Tunneling Congress, Bangkok, Thailand.

- [10]-Thuro, K., Käsling, H., 2009. Classification of the abrasiveness of soil and rock. *Geomechanics and Tunneling* 2 (2), 179–188.
- [11]-Thewes, M., Burger, W., 2004. Clogging risks for TBM drives in clay. *Tunnels & Tunneling International* 28–31 (June).
- [12]-Langmaack, L., 2002. Soil conditioning for TBM—chances and limits. *Journées d'Études Internationales de Toulouse—Underground Works, Living Structures*. Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES).
- [13]-Langmaack, L., Feng, Q., 2005. Soil conditioning for EPB machines: balance of functional and ecological properties. In: Erdem, Y., Solak, T. (Eds.), *ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC)*, Istanbul, Turkey, pp. 729–735.
- [14]-Marinos, P.G., Novack, M., Benissi, M., Stoumpos, G., Papouli, D., Panteliadou, M., Marinos, V., Boronkay, K., Korkaris, K., 2009. Assessment of ground conditions with respect to mechanized tunneling for the construction of extension of the Athens Metro to the city of Piraeus. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 68 (1), 17–26.
- [15]-DiPonio, M.A., Chapman, D., Bournes, C., 2007. EPB tunnel boring machine design for boulder conditions. In: Traylor, M.T., Townsend, J.W. (Eds.), *Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC)*, Toronto, Canada, pp. 215–228.
- [16]-Dowden, P.B., Robinson, R.A., 2001. Coping with boulders in soft ground tunneling. In: Hansmire, W.H., Gowing, I.M. (Eds.), *Proceedings Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC)*, San Diego, USA, pp. 961–977.

معرفی انواع سگمنت‌های بتنی در تونل‌سازی و بررسی رینگ‌های چپ و راست در TBM‌های با تعداد کم چک

مهندس محمد نوری / مهندس رضا آل خمیس

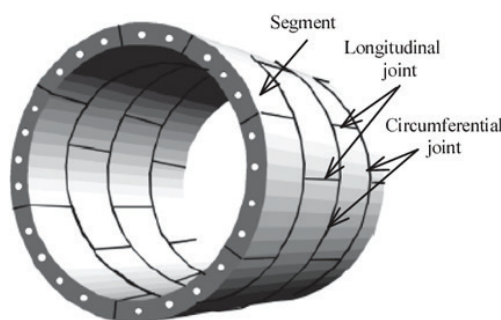


۱- مقدمه

حفاری مکانیزه یکی از روش‌های تول‌سازی می‌باشد که با استفاده از دستگاه (Tunnel Boring Machine) TBM صورت می‌پذیرد و امروزه کاربرد وسیعی در حفاری تونل‌های انتقال آب، تونل‌های مترو و... دارد. تحکیم نهایی تونل در این روش با استفاده از قطعات بتنی پیش‌ساخته^۱ و به شکل رینگ کامل انجام می‌پذیرد، که از جمله مزایای مهم آن می‌توان به کاهش زمان اجرا، کنترل کیفیت و عمل‌آوری مناسب‌تر بتن، بهبود وضعیت آب‌بندی تونل، افزایش ایمنی در حین عملیات اجرایی، کاهش هزینه‌های اجرایی و... اشاره کرد.

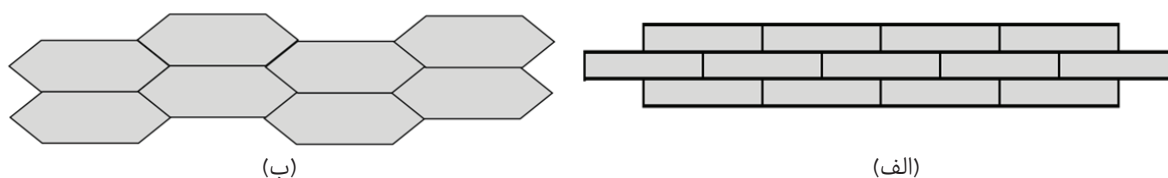
۲- انواع رینگ‌ها

قطعات بتنی پیش‌ساخته (سگمنت) پس از هر سیکل حفاری در کنار هم نصب گردیده و نهایتاً با قرارگیری کوچکترین قطعه سگمنت یا کلید^۲ تشکیل یک حلقه کامل یا رینگ^۳ را می‌دهند. شکل (۱) نمای کلی رینگ و تشکیل درز طولی^۴ و درز رینگ^۵ را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- نمای کلی یک رینگ

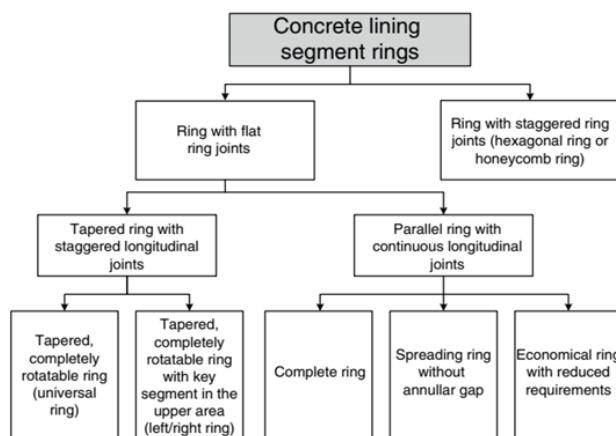
نوع رینگ‌های نصب شده در حفاری مکانیزه با کاربری، شرایط زمین‌شناسی، مشخصات دستگاه و هندسه مسیر طراحی شده تونل (مستقیم، قوس‌دار و...) ارتباط مسقیمی دارند. شکل‌های (۲) و (۳) تقسیم‌بندی کلی رینگ‌ها را نمایش می‌دهند، که بر اساس درز رینگ به دو دسته کلی رینگ‌های با درز صاف^۶ و رینگ‌های با درز پله‌ای^۷ تقسیم‌بندی می‌گردند.



شکل ۲- (الف) درز رینگ صاف (Flat ring joint) (ب) درز رینگ پله‌ای (Staggered ring joint)

رینگ‌های با درز صاف بر اساس موازی بودن درز رینگ^۸ یا مورب بودن درز رینگ^۹ و دنباله‌دار بودن درزهای طولی^{۱۰} یا پله‌ای بودن درزهای طولی^{۱۱} تقسیم‌بندی می‌گردند. از جمله رینگ‌های پرکاربرد بویژه در تونل‌های مترو با توجه به نوع و هندسه مسیر تونل (مستقیم، قوس قائم و افقی) رینگ‌های مورب می‌باشند که شرایط نصب سگمنت و تشکیل رینگ کامل در انواع مسیرهای مستقیم، قوس افقی و قوس قائم را بدون ایجاد هیچ‌گونه مشکلی فراهم می‌سازند.

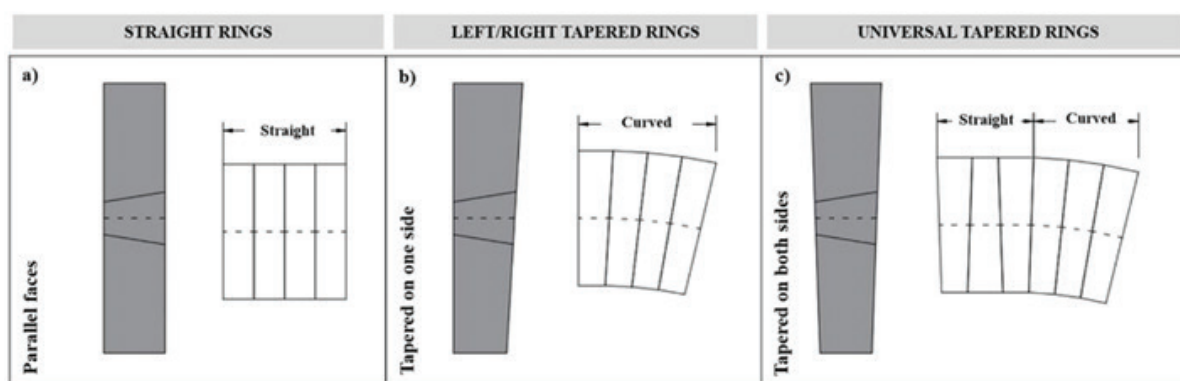
- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1- Segment | 7- Staggered ring joint |
| 2- Key | 8- Parallel ring |
| 3- Ring | 9- Tapered ring |
| 4- Longitudinal joint | 10- Continues longitudinal joint |
| 5- Circumferential joint | 11- Staggered longitudinal joint |
| 6- Flat ring joint | |



شکل ۳- طبقه‌بندی انواع رینگ‌ها

۱-۱-۱- رینگ‌های مورب (Tapered rings)

با توجه به هندسه خاص رینگ‌های مورب امکان نصب سگمنت و رینگ کامل در مسیر قوس‌های قائم و افقی بدون ایجاد مشکلاتی چون فاصله داری غیرمجاز^{۱۲} و... وجود دارد، (شکل ۴). این نوع رینگ‌ها به دو دسته کلی رینگ‌های یونیورسال^{۱۳} و رینگ‌های چپ و راست^{۱۴} تقسیم‌بندی می‌گردند که در ادامه به شرح هر کدام و مزایا و معایب آن‌ها پرداخته می‌شود:

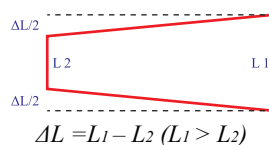


شکل ۴- (a) رینگ موازی، (b) رینگ مورب چپ و راست، (c) رینگ مورب یونیورسال

۱-۱-۲- رینگ یونیورسال

در این نوع رینگ‌ها عرض یک جهت رینگ از طرف مقابل بیشتر، و مورب بودن درز رینگ از دوطرف به نسبت یکسان می‌باشد، به گونه‌ای که امتداد درز رینگ نسبت به امتداد محور تونل مایل می‌باشد (شکل ۵). مقادیر مناسب اختلاف عرض به شعاع قوس، هندسه و ابعاد مقطع تونل و دستگاه حفار بستگی دارد. عرض بیشتر همواره در شعاع خارجی قوس و عرض کمتر در شعاع داخلی قوس واقع می‌گردد. معمولاً قطعه کلید دارای کوچکترین عرض بوده و با توجه به امکان چرخش رینگ حول محور موازی با محور تونل و قرارگیری کلید در هر موقعیت (با توجه به موقعیت قرارگیری و تعداد جک دستگاه) امکان تشکیل قوس در هر جهت فراهم می‌گردد. از جمله مزایای مهم این رینگ‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- نیاز داشتن به یک ست بودن قالب بتن‌ریزی؛
- تسهیل در عملیات اجرایی و نصب رینگ بویژه در شارژ و انتقال سگمنت به درون تونل و....



$$AL = L_1 - L_2 \quad (L_1 > L_2)$$

شکل ۵- رینگ یونیورسال

12- Gap

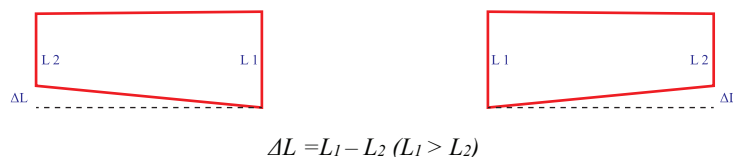
13- Universal ring

14- Left / Right ring

۲-۱-۲- رینگ چپ و راست

در این نوع رینگ‌ها عرض یک جهت رینگ از طرف مقابل بیشتر و مورب بودن درز رینگ فقط از یک طرف می‌باشد. این رینگ‌ها دارای دو ست قالب چپ و راست می‌باشند، که جهت مورب بودن آن‌ها مخالف یکدیگر می‌باشد. امتداد درز یک رینگ نسبت به امتداد محور تونل مایل و امتداد درز دیگر رینگ عمود بر محور تونل می‌باشد (شکل ۶). مقادیر مناسب اختلاف عرض به شعاع قوس، هندسه و ابعاد مقطع تونل و دستگاه حفار بستگی دارد. عرض بیشتر همواره در شعاع خارجی قوس و عرض کمتر در شعاع داخلی قوس واقع می‌گردد. معمولاً قطعه کلید دارای عرض متوسط بوده و قطعه کلید در بخش بالایی تونل نصب می‌گردد. از جمله مزایای مهم این رینگ‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- مورب بودن درز رینگ در یک سمت بویژه در جهت عقب (مخالف جهت پیشروی) شرایط مناسب‌تری را جهت اصلاح سریع وضعیت نصب رینگ بوجود می‌آورد؛
 - اعمال نیروی کمتر به کلید با توجه به قرار گرفتن موقعیت کلید در بخش بالایی تونل؛
 - تسهیل شرایط و دقت بیشتر در نصب کلید؛
 - کیفیت مناسب آب‌بندی تونل بدلیل کاهش جابجایی کلید و دیگر سگمنت‌های یک رینگ؛
 - امکان نصب رینگ بدون تداوم در درزهای طولی رینگ‌ها بویژه در دستگاه‌هایی با تعداد کم جک.
- از جمله معایب این نوع رینگ‌ها نیز می‌توان به نیاز داشتن به دو دست قالب بتن‌ریزی متفاوت و مشکلات اجرایی همچون شارژ و انتقال سگمنت به درون تونل^{۱۵} و... اشاره کرد.



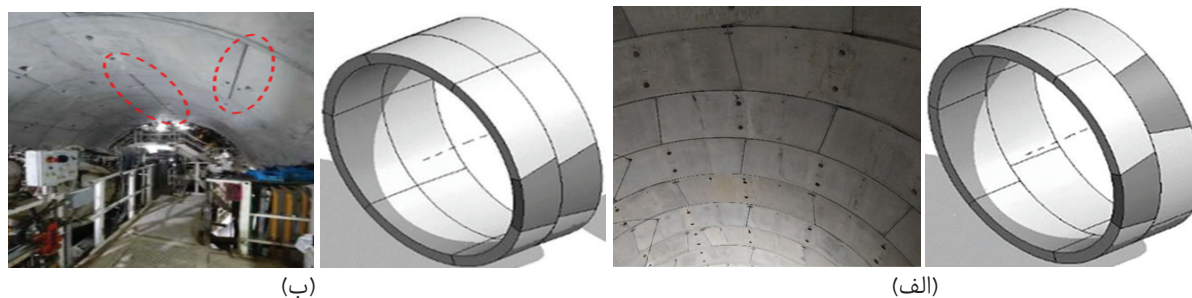
$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (L_1 > L_2)$$

شکل ۶- رینگ چپ و راست

۳- درزهای طولی پله‌ای

به منظور بهبود کیفیت آب‌بندی تونل و جلوگیری از جابجایی، ایجاد فاصله داری و پله داری^{۱۶} خارج از حد مجاز و آسیب دیدگی سگمنت‌ها و نوارهای آب‌بندی^{۱۷} مراحل زیرهمواره می‌بایست مد نظر قرار گیرد:

- بهره‌گیری از ادوات اتصال^{۱۸} سگمنت و رینگ استاندارد و مطابق با طرح؛
- دقت در عملیات رینگ‌گذاری؛
- ممانعت از تشکیل درزهای طولی دنباله‌دار. درزهای طولی دنباله دار باعث ایجاد افزایش نقاط ضعف آب‌بندی ناشی از تلاقی درزها می‌گردند (شکل ۷).



شکل ۷- (الف) درزهای طولی پله‌ای (ب) درزهای طولی دنباله‌دار

15- Top spring line

16-Offset

17- Gasket

18- Connection device

۳-۱- موقعیت کلید و عدم تکرار درز طولی

همانگونه که در بخش ۲ اشاره گردید در رینگ‌های مورب با توجه به اختلاف مقادیر عرض یک رینگ در دو جهت (AL) و جابجایی موقعیت کلید، امکان نصب رینگ در مسیرهای مسقیم، قوس قائم و افقی در هر جهت و بدون ایجاد هر نوع مشکلی وجود دارد. موقعیت صحیح کلید علاوه بر تنظیم مقادیر طول جک حفاری و فاصله پشت سگمنت تا پوسته داخلی سپر دنباله^{۱۹} می‌بایست شرایطی را فراهم آورد تا از تکرار درزهای طولی، طی رینگ‌هایی نصب شده متوالی جلوگیری بعمل آید. عدم تکرار درز طولی به عوامل زیر وابسته می‌باشد:

(الف) طرح هندسی رینگ (موازی یا مورب بودن رینگ)؛

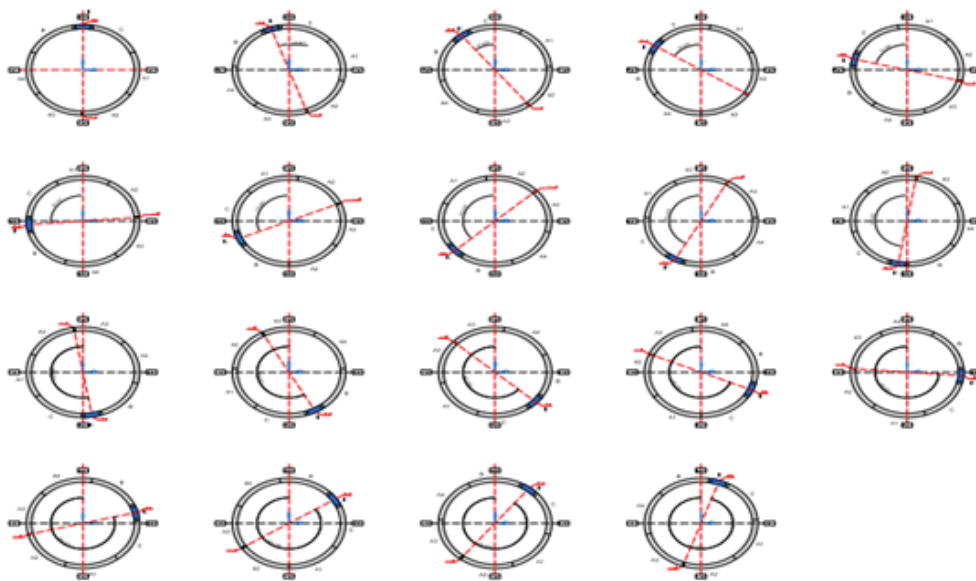
(ب) نوع رینگ مورب (یونیورسال یا چپ/راست)؛

(ج) طول قطعه کلید؛

(د) تعداد قطعات سگمنت و جک‌های دستگاه حفار، که در ادامه با ذکر مثال به تاثیر عوامل فوق پرداخته می‌گردد.

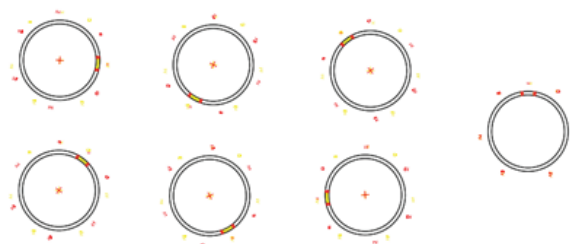
۳-۱-۱- رینگ ۷ قطعه‌ای یونیورسال

دستگاه حفاری S227 - HK با قطر حفاری نهایی ۶/۹۱ متر دارای ۶+۱ قطعه سگمنت به قطر خارجی ۶/۶۰ متر و قطر داخلی ۶/۰ متر و عرض متوسط ۱/۴۰ متر می‌باشد. رینگ‌های مورد استفاده از نوع یونیورسال با اختلاف عرض ۵۰ میلی‌متر و قطعه کلید دارای کوچکترین عرض (۱/۳۷۵ متر) بوده و با توجه به ۱۹ عدد جک امکان قرار گیری ۱۹ موقعیت برای کلید با زاویه چرخش ۱۸/۹۴۷ درجه وجود دارد (شکل ۸).



شکل ۸- وضعیت قرارگیری کلید

از ۱۹ حالت نمایش داده شده در شکل (۸)، در ۶ حالت موقعیت کلید بگونه‌ای می‌باشد که امکان تداوم و تکرار درز طولی در رینگ بعدی وجود ندارد (شکل ۹). جهات حاصله پیشنهادی بدون درز در هر ۴ ربع دایره وجود داشته و مناسبترین موقعیت کلید با توجه به اختلاف طول جک‌ها و فضای بین پشت سگمنت و شیلد (Gap) و بدون تکرار درز طولی انتخاب می‌گردد.

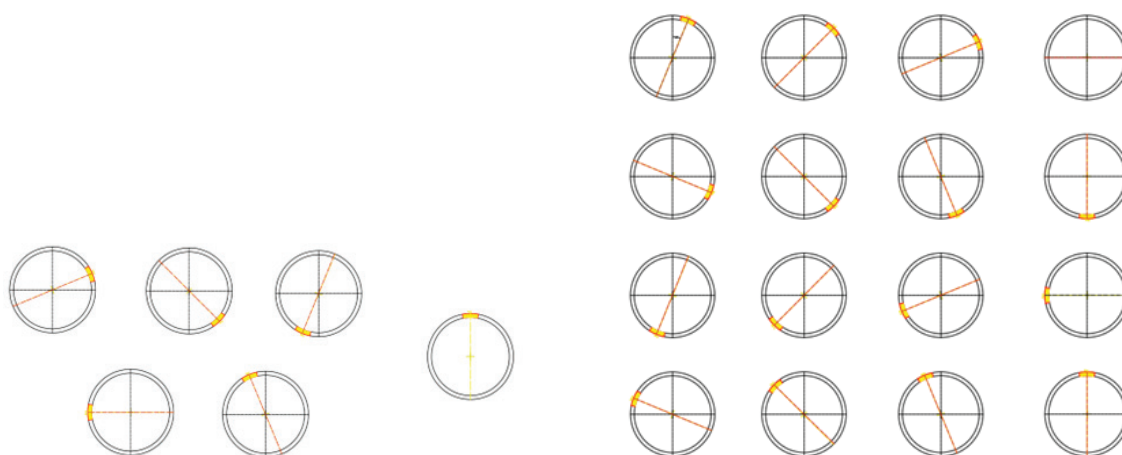


شکل ۹- حالات پیشنهادی موقعیت قرارگیری کلید بدون تکرار درز طولی

۳-۱-۲- رینگ ۶ قطعه‌ای چپ و راست

دستگاه حفاری S803 - HK با قطر حفاری نهایی ۶/۶۳ متر دارای ۵+۱ قطعه سگمنت به قطر خارجی ۶/۳۵ متر و قطر داخلی ۵/۸۰ متر و طول متوسط ۱/۴۰ متر می‌باشد. رینگ‌های مورد استفاده از نوع چپ و راست با اختلاف عرض ۴۰ میلی متر و قطعه کلید دارای عرض متوسط (۱/۴۰ متر) بوده و با توجه به ۱۶ عدد جک امکان قرارگیری ۱۶ موقعیت برای کلید با زاویه چرخش ۲۲/۵۰ درجه وجود دارد (شکل ۱۰).

از ۱۶ حالت موقعیت کلید، و با توجه به چپ و راست بودن رینگ‌ها در ۱۰ حالت موقعیت کلید بگونه‌ای می‌باشد که امکان تداوم و تکرار درز طولی در رینگ بعدی وجود ندارد (شکل ۱۱). جهات حاصله پیشنهادی بدون درز در هر ۴ ربع دایره وجود داشته و مناسب‌ترین موقعیت کلید با توجه به اختلاف طول جک‌ها و فضای بین پشت سگمنت و شیلد (Gap) و بدون تکرار درز طولی انتخاب می‌گردد. لازم بذکر است با توجه به تعداد بالای مقادیر پیشنهادی همواره امکان انتخاب موقعیت کلید در نیمه بالایی (Top spring line)، با رعایت اصول عدم تکرار درز و دیگر موارد وجود دارد.

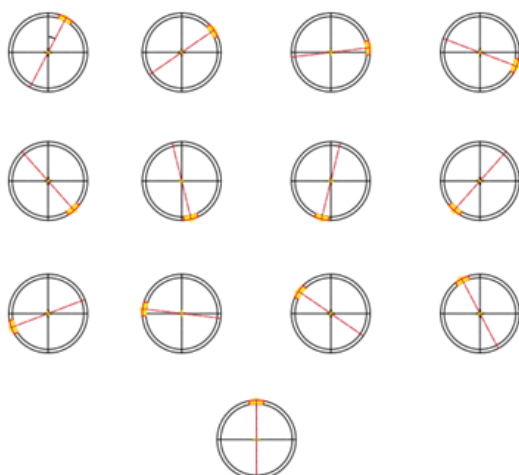


شکل ۱۰- موقعیت قرارگیری کلید

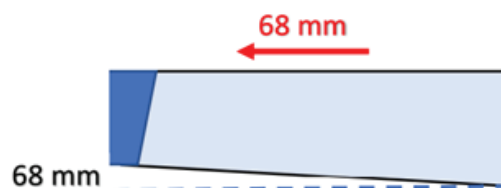
شکل ۱۱- حالات پیشنهادی موقعیت قرارگیری کلید بدون تکرار درز طولی

۳-۱-۳ رینگ ۷ قطعه‌ای یونیورسال یک طرفه

دستگاه حفاری S525 - HK با قطر حفاری نهایی ۹/۴۹ متر دارای ۶+۱ قطعه سگمنت به قطر خارجی ۹/۰۷ متر و قطر داخلی ۸/۴۳ متر و طول متوسط ۱/۵۰ متر می‌باشد. رینگ‌های مورد استفاده از نوع رینگ خاص یونیورسال می‌باشد، بگونه‌ای بر خلاف رینگ‌های یونیورسال معمول فقط از یک طرف (جهت مقابل حفاری) مورب بوده و دارای اختلاف عرض ۶۸ میلی متر می‌باشد (شکل ۱۲). قطعه کلید دارای کوچکترین عرض (۱/۴۷ متر) بوده و با توجه به ۱۳ عدد جک امکان قرارگیری ۱۳ موقعیت برای کلید با زاویه چرخش ۲۷/۶۹ درجه وجود دارد (شکل ۱۳).

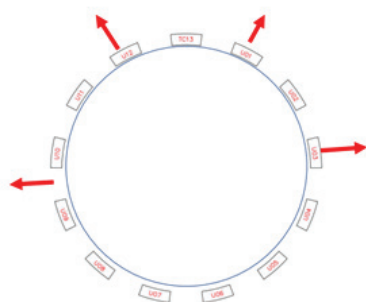


شکل ۱۳- موقعیت قرارگیری کلید

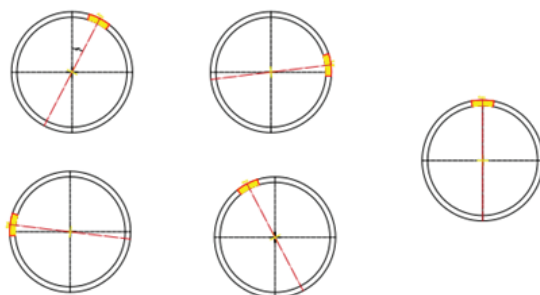


شکل ۱۲- رینگ یونیورسال یکطرفه

از ۱۳ حالت نمایش داده شده در شکل (۱۳)، در ۴ حالت موقعیت کلید بگونه‌ای می‌باشد که امکان تداوم و تکرار درز طولی در رینگ بعدی وجود ندارد (شکل ۱۴). اما با توجه به این که جهات حاصله پیشنهادی بدون درز، فقط در یک نیمه دایره وجود دارند (شکل ۱۵). لذا بر اساس اختلاف طول جک‌ها و فضای بین پشت سگمنت و شیلد (Gap) انتخاب موقعیت کلید بدون تکرار درز دارای محدودیت گشته و تکرار درز در رینگ‌های بعدی رخ خواهد داد.

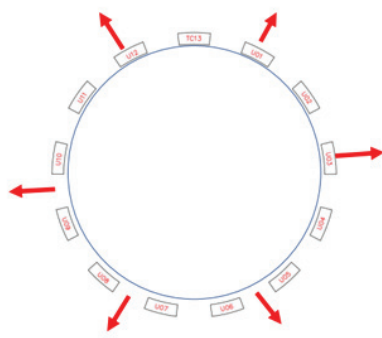


شکل ۱۵- جهات حاصله در حالت عدم تکرار درز

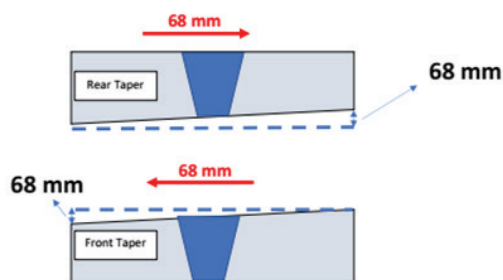


شکل ۱۴- حالات پیشنهادی موقعیت قرارگیری کلید بدون تکرار درز طولی

در صورتیکه نوع رینگ‌ها از حالت خاص یونیورسال یک طرفه به رینگ‌های چپ و راست با مورب بودن معکوس تبدیل گردند و قطعه کلید عرض متوسط باشد (شکل ۱۶)، در ۶ حالت موقعیت کلید بگونه‌ای می‌باشد که امکان تداوم و تکرار درز طولی در رینگ بعدی وجود ندارد. در این حالت جهات حاصله پیشنهادی بدون درز در هر ۴ ربع دایره وجود داشته و مناسب‌ترین موقعیت کلید با توجه به اختلاف طول جک‌ها و فضای بین پشت سگمنت و شیلد (Gap) و بدون تکرار درز طولی انتخاب می‌گردد.



(ب)



(الف)

شکل ۱۶- جهات حاصله در حالت عدم تکرار درز



دستورالعمل مهندسی و اجراء نقشه برداری پروژه های قطار شهری مهندس منوچهر موسوی زاده

پیشگفتار

این دستورالعمل حاصل چندین سال تجربه نگارنده در مدیریت نظارت نقشه برداری پروژه های احداث خطوط قطار شهری مشهد و با رعایت اصول پایه مهندسی نقشه برداری، تهیه و تدوین شده است و توصیه می گردد در پروژه های قطار شهری، به عنوان یک سند فنی، ضمیمه قرارداد پیمانکاران مجری تونل مکانیزه گردد.

۱- هدف

این دستورالعمل لازم است در کلیه امور مهندسی و اجرای نقشه برداری پروژه های قطار شهری (مترو)، شامل اندازه گیری ها، پیاده سازی ها و کنترل های ذی ربط، براساس هماهنگی مورد نیاز ارکان پروژه (کارفرما، مشاور کارفرما یا مدیریت طرح و شرکت های مهندسی مشاور و پیمانکاران اجرایی) به عنوان مرجع عملیات اجرایی، مورد استفاده مشترک، قرار گیرد. دستورالعمل کلی و جامع نقشه برداری بنیادین/ پایه پروژه های قطار شهری در مجموعه ای مجزا تهیه و در دسترس بوده و برای آگاهی از جزییات امور مربوطه، قابل بهره برداری است. رویه کلی ناوبری دستگاه های حفار، کنترل مکانی مستحذات، شامل تونل، ایستگاه ها، سازه های جنبی، کنترل پشتیبان یا مضاعف ناوبری مترو، و سایر موارد نقشه برداری در پروژه مترو، در این دستورالعمل مندرج است. شایان ذکر است این دستورالعمل از مسئولیت های قراردادی مشاوران و پیمانکاران نکاسته و صرفا با هدف ایجاد هماهنگی و تعریف رویه ای مشترک در رعایت اصول مهندسی و کنترل نقشه برداری در حین اجرای پروژه، تهیه شده است.

۲- دامنه کاربرد

این دستورالعمل مشمول کلیه ارکان پروژه، شامل کارفرما، نماینده کارفرما یا مدیریت طرح، شرکت های مهندسی مشاور و پیمانکاران (تونل/ مسیر/ ایستگاه ها/ دیو/ نقشه برداری) می باشد.

۳- مسئولیت ها

مسئولیت اجرای صحیح این دستورالعمل بر عهده پیمانکار اصلی پروژه (طرف قرارداد مستقیم با کارفرمای اصلی) و مسئولیت نظارت بر عملیات اجرایی بر عهده شرکت مهندسی مشاور تحت نظارت عالیه مدیریت طرح یا نماینده/ مشاور کارفرمای اصلی خواهد بود.

۴- نقشه برداری بنیادین/ ایجاد نقاط مبنا کل پروژه

مختصات نقاط پایه کل پروژه باید توسط شرکت مهندسی مشاور ذی صلاح و مورد تایید نماینده کارفرما یا مدیریت طرح به عنوان مشاور نقشه برداری بنیادین با استفاده از GPS در سیستم جهانی UTM اندازه گیری و در اختیار پروژه قرارگیرد. جزییات فنی و اجرایی نقشه برداری بنیادین در دستورالعمل مجزای دیگری در دسترس می باشد. همچنین لازم است در شبکه نقاط پایه، ارتفاعات مبنا با انجام ترازبایی درجه یک (مطابق دستورالعمل سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور) مورد بهره برداری مشترک مشاوران و پیمانکاران قرارگیرد. بدیهی است مسئولیت احداث پیلاریا روپرها و بنچ مارک های شبکه نقاط پایه با پیمانکار اصلی است و لازم است نتایج نهایی نقشه برداری بنیادین (شناسنامه نقاط مسطحاتی و ارتفاعی)، پس از تأیید مدیریت طرح یا مشاور کارفرما، از طریق صورتجلسه رسمی، به پیمانکاران و سایر ذی نفعان ابلاغ گردد. پس از ابلاغ مختصات نقاط پایه به پیمانکار اصلی/ پیمانکاران، لازم است فرایند ذیل دنبال شود:

- ۱- چک نمودن مختصات و ارتفاعات ابلاغی از سوی پیمانکار و اعلام نتیجه کار با ارسال گزارش مربوطه، به دستگاه نظارت.
- ۲- در صورت وجود هر گونه عدم انطباق، دستگاه نظارت یا مهندسی مشاور مربوطه، موظف است توسط تیم نقشه برداری خود و با استفاده از تجهیزات نقشه برداری مستقل از پیمانکار، برداشت مجدد انجام داده و به دستگاه فرادست گزارش نماید.
- ۳- پس از بررسی توسط دستگاه فرادست مراتب جهت تصمیم گیری به مشاور کارفرما یا مدیریت طرح ارسال خواهد شد. نماینده کارفرما موظف است بلافاصله موارد را بررسی کرده و حداکثر ظرف مدت ۱۵ روز پس از دریافت گزارش، با هماهنگی کارفرما، تعیین تکلیف نماید.

۵- نقشه‌برداری ساخت ایستگاه‌ها، دیو و سازه‌های جانبی

عملیات و کنترل‌های نقشه‌برداری ساخت ایستگاه‌ها، دیو و سازه‌های جانبی شامل پیاده‌سازی و کنترل موقعیت‌های طرح/ نقشه مصوب پروژه، باید بر اساس اصول نقشه‌برداری استاندارد (به عنوان مثال، مطابق با دستورالعمل‌های نقشه‌برداری مرجع سازمان و مدیریت برنامه‌ریزی) و تحت مسئولیت یک کارشناس/ مهندس نقشه‌برداری، صورت پذیرد. برخی عملیات نقشه‌برداری مورد نظر در این بخش عبارتند از: پیاده‌سازی اجزاء ایستگاه‌ها، کنترل موقعیت و تراز بتن‌ریزی‌ها، ریل‌گذاری، کنترل موقعیت و احجام عملیات خاکی، اجرای تونل‌های غیرمکانیزه، کنترل شاغولی اسکلت‌های فلزی و دیوارها، ...، تهیه مدارک یا مستندات نقشه‌برداری ذی‌ربط جهت فرم‌ها یا چک‌لیست‌های عملیات اجرایی، و سایر مدارک فنی مرتبط. با توجه به اهمیت ویژه نقشه‌برداری تونل مکانیزه، دستورالعمل مربوطه در بخشی مجزا ارائه می‌گردد.

۶- نقشه‌برداری ساخت تونل مکانیزه (هدایت حفاری TBM و کنترل مضاعف)

۱- پیش‌نیاز نقشه‌برداری تونل مکانیزه، که توسط سیستم راهبر TBM انجام می‌گردد، وجود سه پیلار نقشه‌برداری، در محدوده شفت ورودی TBM است بگونه‌ای که باید حداقل یک پیلار در موقعیتی قرارگیرد که دید مستقیم تجهیز نقشه‌برداری (دوربین توتال استیشن) از روی آن به دهانه ورودی تونل، برقرار گردد. بدیهی است مختصات مسطحاتی و ارتفاعی این سه پیلار باید با نقشه‌برداری دقیق یا GPS تهیه و پس از طی مراحل تایید نهایی، جهت توجیه مختصاتی دستگاه حفار بکار گرفته شوند.

۲- فرایند توجیه مختصاتی دستگاه حفار (TBM) در سیستم راهبری با استفاده از نرم‌افزار انجام می‌پذیرد، بنابراین حضور کارشناس شرکت ارائه دهنده این نرم‌افزار در کارگاه در هنگام راه‌اندازی یا ابتدای شروع حفاری و در مواقع لازم، با تشخیص پیمانکار اصلی، الزامی است. پیمانکار تونل می‌بایست با هماهنگی‌های قبلی، شرایط حضور به موقع کارشناس مربوطه را در کارگاه مهیا نماید.

۳- پس از راه‌اندازی نرم‌افزار، می‌بایست تمامی مستندات و صورتجلسات مرتبط و همچنین گارانتی شرکت سازنده مبنی بر انجام صحیح کار توسط پیمانکار تونل اخذ و در اختیار نماینده کارفرما یا مدیر طرح قرار گیرد.

۴- دستگاه نظارت در تمامی مراحل می‌بایستی حضور موثر و مستمر داشته باشد.

۵- الزامات پدافند غیر عامل در خصوص حضور کارشناسان خارجی مطابق با دستورالعمل ابلاغی به پروژه رعایت گردد.

۶- ابلاغ نقشه‌های پلان و پروفیل مصوب تونل مکانیزه، به صورت مهر و امضا شده به پیمانکار صورت می‌پذیرد.

۷- نقشه‌های پلان و پروفیل ابلاغی، مورد بررسی نقشه‌برداری پیمانکار قرارگرفته و فایل DTA شامل مختصات محور تونل، توسط پیمانکار در فواصل مورد نیاز نرم‌افزار سیستم راهبر TBM، تهیه می‌گردد. این فایل باید به دستگاه نظارت ارسال گردد.

۸- هر گونه تغییرات در DTA باید به جهت به‌روزرسانی، صورتجلسه شده و به تایید دستگاه نظارت برسد.

۹- پس از نهایی شدن DTA، سه نسخه پرینت شده با مهر و امضاء همراه با فایل الکترونیکی آن به مشاور کارفرما یا مدیر طرح ارسال می‌گردد. متعاقباً با تایید نماینده کارفرما (با امضاء و مهر همه نسخه DTA پرینت شده)، دستگاه نظارت مجاز است نسخه DTA را رسماً (با مهر و امضاء) به پیمانکار ساخت تونل مکانیزه جهت بارگذاری فایل بر روی کامپیوتر سیستم راهبر ابلاغ نماید.

۱۰- دستگاه نظارت موظف است هر نوع ایراد یا اشکالی را که توسط پیمانکار در حین عملیات اجرایی اعلام می‌گردد، بلافاصله بررسی و موارد را به آگاهی مشاور کارفرما یا مدیر طرح برساند. نظر قطعی در مورد DTA نهایی، حداکثر ظرف یک هفته به پیمانکار تونل ابلاغ می‌گردد.

۱۱- در صورت وجود هر گونه خطا و یا ایراد، پیمانکار باید مراتب را مطابق شرایط عمومی پیمان به اطلاع دستگاه نظارت برساند.

تبصره ۱: مسئولیت تیم نقشه‌برداری می‌بایست بر عهده یک کارشناس نقشه‌برداری (حداقل دارای تحصیلات لیسانس مهندسی نقشه‌برداری و یا حداقل ۵ سال تجربه در انجام نقشه‌برداری تونل و هدایت حفاری مکانیزه) بوده و نفرات اجرایی تیم، از تجربه و مهارت کافی برخوردار باشند.

تبصره ۲: همواره می‌بایست فقط یک فایل بروز رسانی شده DTA در سیستم نقشه‌برداری وجود داشته باشد و باید از بایگانی نمودن ورژن‌های قبلی بر روی کامپیوتر سیستم نقشه‌برداری اجتناب گردد.

تبصره ۳: لازم است سیستم راهبری دستگاه حفار دارای رمز عبور بوده و این رمز عبور تنها در اختیار سرپرست واحد نقشه برداری پیمانکار و مشاور، سرپرست کارگاه پیمانکار، سرپرست دستگاه نظارت و نماینده کارفرما قرارگیرد (هیچ شخص دیگری مجاز به داشتن رمز عبور جهت ورود اطلاعات به سیستم ناوبری نیست).

تبصره ۴: ورود سایر پرسنل نقشه برداری به سیستم راهبری باید صرفاً برای کاربری سیستم نقشه برداری تعریف گردد و مجاز به تغییر در بارگذاری فایل DTA نباشند.

۱-۶- کنترل ناوبری در حین حفاری مکانیزه

۱- کنترل ناوبری صرفاً توسط پرسنل ذیصلاح/ آموزش دیده پیمانکار، مورد تأیید دستگاه نظارت، و مطابق با دستورالعمل کنترل راهبری سیستم راهبر TBM (ارائه شده توسط شرکت ارائه دهنده نرم افزار راهبر)، صورت می پذیرد.

۲- **مهم:** با پیشروی TBM در تونل، انجام نقشه برداری مسطحاتی کنترلی پشتیبان یا مستقل از سیستم راهبر (تحت عنوان کنترل مضاعف) الزامی است. و پیمانکار اجرای تونل باید از نقاط پایه بیرون تونل با ترکیب عملیات نقشه برداری دقیق رو زمینی و زیرزمینی، با انجام پیمایش تونلی، نسبت به کنترل نقاط پایه سیستم راهبر تا پشت TBM اقدام نماید. معمولاً فواصل اندازه گیری مربوطه، در هر ۲۰۰ متر پیشروی TBM است و در آخرین مرحله، در فاصله ۱۰۰ متری TBM تا محل ایستگاه، صورت می گیرد. نتایج کار باید رسماً طی گزارشی به دستگاه نظارت و نماینده کارفرمای اصلی ارسال گردد. **تبصره:** پیمایش تونلی و ترازبایی تا حداکثر ۳۰۰ متر از دهانه ورودی TBM، می تواند تنها روش کنترل مضاعف حفاری مکانیزه باشد، و چنانچه دستگاه حفار، قبل از رسیدن به دهانه خروجی، فاصله بیشتری را طی کند، لازم است تیم نقشه برداری، ضمن هماهنگی با واحد ساختمان، دستگاه نظارت و مشاور کارفرما یا مدیر طرح، در محلی مناسب، نسبت به انتقال مختصات سه بعدی (X,Y,H) از سطح زمین به سقف تونل با اجرای شفت قائم اقدام نماید. گزارش نتیجه مقایسه مختصات سطح الارضی با مختصات اندازه گیری شده از طریق پیمایش تونلی، باید، جهت تصمیم گیری لازم، به مراجع بالادست، ارسال شوند.

۳- با انجام ترازبایی کنترلی داخل تونل (به مرجع بنچ مارک های ارتفاعی مصوب در دهانه ورودی TBM)، علاوه بر کنترل مسطحاتی بند ۲، لازم است ارتفاعات نقاط سیستم راهبر نیز مورد بررسی و تدقیق قرارگیرند و نتایج مربوطه همراه با گزارش بند ۲ ارسال گردند. ترازبایی کنترل مضاعف با دقت ترازبایی درجه دو صورت پذیرد.

۴- نتیجه نهایی مقایسه مختصات مسطحاتی و ارتفاعات نقاط نقشه برداری کنترل مضاعف، با مختصات سیستم راهبر، (اصلاح محتمل مختصات و ارتفاعات سیستم راهبر TBM) باید جهت اخذ تایید به دستگاه نظارت با رونوشت به مشاور کارفرما، ارسال گردد.

۵- جزئیات بیشتری از مراحل ۱ تا ۴ فوق الذکر در بند ۶-۲ ارائه شده است.

۶- دستگاه نظارت موظف است بطور مستمر بر کلیه عملیات نقشه برداری پیمانکار در اجرای تونل، به منظور رعایت استانداردها و دستورالعمل های مرجع نقشه برداری، در حین اجرا، نظارت موثر داشته باشد.

۷- مشاور می بایست برای هر مرحله از کار، مجوز اجرا را از طریق پرمیت مربوطه به پیمانکار داده و در مراحل بعدی با تایید اجرای مرحله قبل مجوز ادامه کار (شروع مرحله بعد) را به پیمانکار اعلام نماید. در این خصوص دستگاه نظارت وظیفه دارد، راهنمایی و مشاوره موثر قبل از اجراء را به عمل آورد تا حتی المقدور از نقص در اجراء، توقف، و به تبع آن از اتلاف وقت ناشی از دوباره کاری ها، جلوگیری گردد.

تبصره: پیمانکار تونل موظف است تمامی مدارک و سوابق مربوط به عملیات نقشه برداری در این بخش را مستندسازی نموده و مطابق با قرارداد، به دستگاه نظارت و نماینده کارفرما ارسال نماید.

۲-۶- نحوه اصلاح و دادن اطلاعات جدید به سیستم راهبر ماشین حفار در حین اجرا (اعمال نتایج کنترل مضاعف در صورت لزوم)

۱- پیمانکار باید با انجام عملیات پیمایش داخل تونل (ترجیحاً چهارضلعی با دوقطر) نسبت به کنترل مضاعف مسطحاتی و با انجام ترازبایی مستقیم برای کنترل مضاعف ارتفاعات (طبق اشکال ذیل) و سرشکنی خطاها با استفاده از نرم افزارهای مناسب، اقدام نماید.

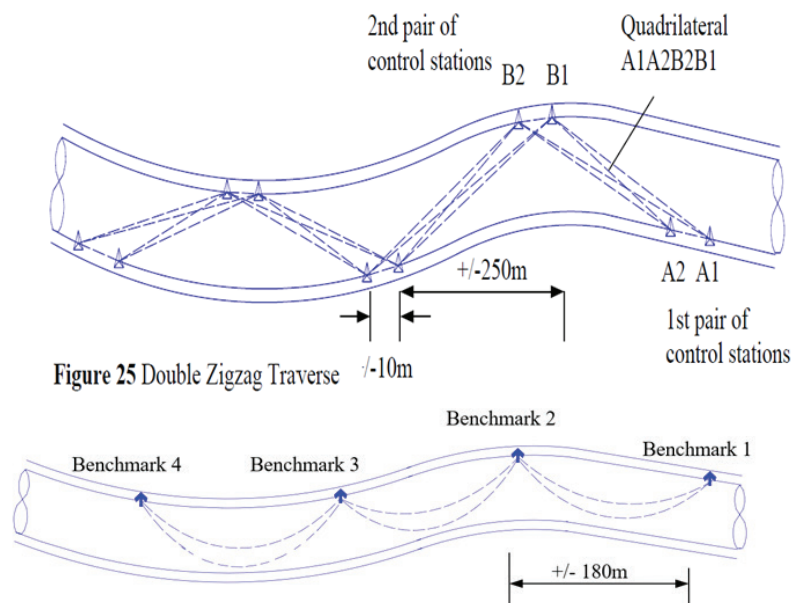


Figure 25 Double Zigzag Traverse

شکل ۱- پیمایش های تونلی کنترل مضاعف مسطحاتی و ارتفاعی

۲- سرشکنی خطاها بر روی نقاط مبنای تونلی مورد استفاده برای راهبری TBM، باید منتهی به ارائه بیضی‌های خطای ۹۵٪ در پیمایش مسطحاتی داخل تونل و همچنین فاصله اطمینان ۹۵٪ نقاط ترازیابی، تصحیح خطا بر روی نقاط مبنای تونلی و ارائه گزارش به دستگاه نظارت و نماینده کارفرما گردد.

۳-۶- کالیبراسیون و دقت تجهیزات نقشه‌برداری و سیستم ناوبری

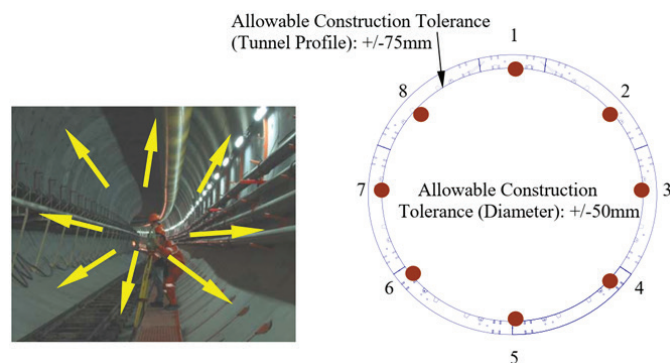
۱- تجهیزات نقشه‌برداری سیستم راهبر TBM می‌بایست در دوره‌های زمانی تعیین شده توسط سازنده (معمولاً ۶ ماهه) کالیبره گردند. این دوره، در صورت تشخیص کارشناس نقشه‌برداری و یا مشاهده خطای قابل توجه در تجهیز نقشه‌برداری، ممکن است کوتاه‌تر شود.

۲- دقت زاویه یابی دوربین مورد استفاده جهت کنترل مضاعف، باید در حد ۱ تا ۳ ثانیه و دقت طولیابی، بهتر از و یا حداقل در حد، $2\text{mm}+2\text{ppm}$ در هر بار اندازه‌گیری باشد.

۳- در خصوص بند ۱، پیمانکار موظف است کنترل‌های مربوطه را انجام و گزارش آن را به همراه مستندات لازم به دستگاه نظارت و نماینده کارفرما ارسال نماید.

۴-۶- برداشت مقطع و تعیین محور as built تونل مکانیزه

در مسیرهای مستقیم تونل، لازم است در فواصل ۱۰ متر به ۱۰ متر، مقطع تونل در ۶ تا ۸ نقطه روی دیواره تونل برداشت شوند (در روی قوس‌ها، در فواصل ۶ متری) و از نتیجه برداشت‌ها، موقعیت‌های مقطع، بخصوص محور واقعی تونل محاسبه و با موقعیت‌های طرح، مورد مقایسه قرارگیرند. شکل ذیل یکی از روش‌های برداشت مقطع را نشان می‌دهد. روش‌های قابل قبول دیگر برداشت، بر اساس نظر مسئول تیم نقشه‌برداری، با شرط کسب دقت‌های لازم، قابل اتخاذ است.



شکل ۲- برداشت نقاط مقطع تونل با دوربین نقشه‌برداری

- ۱- کل فرایند مستندسازی می‌بایست بر اساس دستورالعمل ابلاغی کارفرما (قرارداد) توسط ارکان پروژه صورت پذیرد.
- ۲- پیمانکار باید فرم‌ها و مدارک مربوط به انجام حفاری (خروجی نرم‌افزار راهبر) را بطور روزانه تهیه و در اختیار دستگاه نظارت قرار دهد. این فرم‌ها باید منضم به اطلاعات موقعیت سگمنت کلید، موقعیت محدوده تونل اجرا شده و طرح باشند که در آن میزان اختلاف این دو نسبت به یکدیگر در هر رینگ مشخص شده باشد.
- ۳- یک نسخه از DTA (موقعیت طرح مصوب تونل) مهر و امضاء شده توسط پیمانکار و دستگاه نظارت می‌بایست در اتاق مانیتورینگ و یک نسخه در دفتر فنی مشاور و پیمانکار وجود داشته باشد. همچنین بر روی کامپیوتر سیستم راهبر می‌بایست، فقط آخرین ورژن فایل بارگذاری شده موجود باشد و ورژن‌های قبلی در واحد مانیتورینگ و دفتر فنی پیمانکار و مشاور بایگانی گردند.
- ۴- لازم است از تمامی اطلاعات دستگاه‌ها به صورت هفتگی نسخه پشتیبان تهیه شده و یک نسخه از آن در دفتر مانیتورینگ و یک نسخه در اختیار دستگاه نظارت قرار گیرد.
- ۵- این دستورالعمل باید در دفتر نقشه‌برداری پیمانکار و دستگاه نظارت موجود بوده و در دسترس باشد.



برآورد کلان احداث تونل در خطوط قطار شهری زیرزمینی در کشور مهندس فرنام بهنام

۱- مقدمه

در اختیار داشتن اطلاعات لازم برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در حوزه مدیریت توسعه خطوط ریلی شهری موضوعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، چرا که هر گونه تحلیل و تصمیم‌گیری بدون داده‌های کلیدی لازم، سبب بروز خطاهای زیادی در تصمیم‌گیری و نتایجاً تحمیل هزینه بسیار زیاد به جامعه خواهد شد. در این میان، یکی از مهمترین داده‌های اولیه برای بررسی و لحاظ در تحلیل، هزینه اجرایی تونل‌ها در خطوط قطار شهری می‌باشد. این اهمیت زمانی آشکار می‌شود که گزینه‌های اجرایی در یک کریدور ریلی، متنوع بوده و در مرحله امکان‌سنجی، آلترناتیوهای اجرایی مختلفی مطرح می‌گردد و باید گزینه بهینه استخراج و اعلام گردد تا مبنای طراحی مراحل بعد پروژه قرار گیرد.

انتخاب اینکه کل یا بخشی از یک خط ریلی زیرزمینی در چه عمقی اجرا گردد بستگی به عوامل مختلفی دارد که بسیاری از آنها مسائل فنی نظیر تاسیسات شهری، موقعیت شهری کریدور، امکان اجرا از روی سطح و... می‌باشد. لیکن معیار دیگری که به اندازه تمامی معیارهای فنی اهمیت دارد، معیار هزینه است. چرا که اجرای پروژه‌های متروی زیرزمینی در سطح شهر، هزینه بسیار هنگفتی را می‌طلبد (حدود ۲۵۰۰ میلیارد تومان به ازای هر کیلومتر و بدون لحاظ تعدیل و با فرض ثابت بودن نرخ ارز) و لذا کاهش هر چه بیشتر هزینه‌ها می‌تواند احتمال اجرای آنها را افزایش داده و منابع مالی کمتری درگیر اینگونه پروژه‌ها گردد. همواره در مقاطع مختلف زمانی، این سوال مطرح می‌گردد که هزینه کنونی اجرای تونل به روش‌های مختلف چقدر است. مهندسین مشاور پژوهش سعی نموده است که همیشه برآورد جدیدی از تمامی اجزای پروژه در اختیار داشته باشد تا بتواند در تصمیم‌سازی برای مدیران قطارهای شهری کشور و سایر مدیران شهری، نقش بسزایی را ایفا نماید. لذا در این مقاله سعی شده تا برآوردی کلان از اجرای تونل به روش‌های مختلف ارائه گردد تا مبنایی برای محاسبه گزینه‌های مختلف در خطوط مختلف قطار شهری فراهم گردد.

۲- مفروضات

صعوبت احداث سازه‌های زیرزمینی معمولاً باعث می‌گردد تنوع زیادی از روش‌های اجرایی و شرایط خاص بر پروژه‌های اجرای خطوط قطار شهری حاکم باشد که هر یک از این شرایط مستقیماً بر هزینه اجرا تاثیرگذار و تعیین‌کننده می‌باشد. به طور مثال، روش‌های NATM، ترانشه‌باز/بسته و حفاری مکانیزه به عنوان روش‌های متداول اجرای تونل شناخته شده‌اند که هر یک از این روش‌ها در عمق‌های مختلف در خطوط مختلف اجرا می‌شوند. حال اگر صعوبت حفاری در زمین‌های خاص و یا آب‌های زیرزمینی و... را نیز به شرایط فوق اضافه نماییم، طیف گسترده‌ای از حالت‌های مختلف تونل‌ها با برآوردهای متفاوت خواهیم داشت. لذا جهت ایجاد امکان تهیه برآوردی کلان برای تونل، لازم است شرایط خاصی برای اجرای یک کیلومتر تونل به عنوان فرض در نظر گرفته شود. لذا در تمامی این روش‌ها، شرایط ایده‌آل زمین و در عمق معمول و بدون وجود آب لحاظ گردیده که قابلیت مقایسه بین گزینه‌ها فراهم گردد. این برآوردها صرفاً هزینه ساخت سازه تونل بوده و هزینه‌های تاسیسات داخلی تونل‌ها را شامل نمی‌گردد.

جدول ۱- مفروضات برآورد تونل

ردیف	روش اجرا	عمق (متر)
۱	اتریشی (NATM)	۲۰
۲	روش ترانشه باز / بسته	۱۰
۳	روش مکانیزه (TBM)	۱۵ تا ۲۰ متر

شرایط اجرایی خاص مانند اجرا در عمق زیاد، زیر بافت متراکم، ناپایداری شدید خاک، نیاز به فورپول یا جت گروتینگ، وجود بولدر و... در این برآوردها لحاظ نگردیده است.

توضیح اینکه منظور از روش مکانیزه، اجرای تونل با استفاده از ماشین حفار^۱ TBM و منظور از روش ترانشه‌باز/بسته، اجرای تونل به یکی از روش‌های کند و پوش یا پوشش و حفر است. با توجه به اینکه دو روش اخیرالذکر به لحاظ هزینه اجرا اختلاف معناداری ندارند، این دو روش، به عنوان یک روش در ارزیابی‌ها لحاظ شده است.

ملاک انجام برآورد صرفاً فهرست بهای سال ۱۴۰۲ بوده و هیچگونه پلوس یا مینوس در محاسبات لحاظ نشده است. ضریب بالاسری در این محاسبات ۱/۳ و هزینه تجهیز کارگاه ۴ درصد منظور گردیده است.

۳- برآورد یک کیلومتر تونل خط قطار شهری

بر اساس مفروضات فوق‌الذکر، برآورد تقریبی یک کیلومتر تونل مترو بین ۲۶ تا ۳۰۰ میلیارد تومان به شرح خلاصه جدول (۲) محاسبه گردیده است.

جدول ۲- خلاصه برآورد یک کیلومتر تونل مترو

ردیف	موضوع	هزینه اجرا (میلیارد تومان)
۱	تونل اتریشی (NATM)	۳۰۰
۲	تونل ترانشه‌باز / بسته	۲۶۰
۳	تونل مکانیزه (TBM)	۲۸۰

۴- ملاحظات مهم

موضوع حائز اهمیت این است که در اجرای تونل به روش NATM معمولاً با مسائلی مواجه می‌شویم که این شرایط (مانند ریزش آب، وجود بولدر، نیاز به فورپولینگ یا جت‌گروتینگ و...) باعث می‌گردد هزینه مربوط به این روش که در جدول (۲) درج گردیده، حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد افزایش یابد. لذا بسیار مهم است که در برآورد هر پروژه بر اساس شرایط خاص آن پروژه این ملاحظات نیز در نظر گرفته شود.

موضوع بسیار مهم دیگر اینکه اجرای تونل NATM در شرایط عادی و بدون محدودیت مالی، می‌تواند سریعتر از روش TBM باشد، چرا که می‌توان دسترسی‌های زیادی به زیر زمین از طریق شفت‌ها و رمپ‌ها ایجاد و جبهه‌های کاری زیادی را همزمان فعال نمود. لذا اتمام سریعتر اجرا در این روش هزینه‌های تعدیل کمتری را به کارفرماها تحمیل می‌نماید (البته این موضوع صرفاً از منظر مالی مطرح گردید و تنها ملاک ترجیح NATM بر TBM نمی‌باشد و مسائل مهم دیگری را نیز مانند ریسک ریزش، تملک‌ها و... باید در نظر گرفت).

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید، برآورد یک کیلومتر تونل قطار شهری به شرایط مختلفی از جمله صعوبت‌ها، نوع دسترسی به زیر زمین، شرایط خاص اجرایی و... بستگی دارد. لیکن به منظور در اختیار داشتن برآوردی کلان از تونل خطوط متروی زیرزمینی و امکان تصمیم‌گیری کلان در سطوح مدیریتی، برآورد حاضر با لحاظ مفروضاتی که در بخش ۲ به آنها اشاره گردید، با تلورانس خطای ± ۱۰ درصد، می‌تواند ملاک محاسبه در عمده موارد قرار گیرد. باید توجه داشت که این برآورد بر اساس فهرست بهای سال ۱۴۰۲ تهیه شده و هیچگونه نرخ تعدیلی در آن لحاظ نشده است. لذا پیشنهاد می‌گردد برای استفاده از این جدول جهت برآورد هزینه اجرایی هر پروژه، نسبت به اعمال ضریب تعدیل با توجه به دوره زمانی پروژه (بر مبنای برنامه زمان‌بندی کلان) و یا ضریب پلوس/مینوس مورد نظر روی برآورد فوق اقدام لازم به عمل آید.^۲

در انتها شایان ذکر است که جهت اطلاع از جزئیات برآورد و یا اطلاع از برآورد سایر اجزای خط بر اساس فهرست بهای سال ۱۴۰۲ می‌توانید از طرق مختلف با مهندسین مشاور پژوهش تماس حاصل فرمایید.

1- Tunnel-boring Machine

2- در محاسبات تمامی روش‌ها تونل تک (دو خطه) مدنظر بوده است.

در این بخش در هر شماره از فصلنامه از تعدادی از پروژه های در دست کار مهندسين مشاور پژوهش معرفى و ويژگى تجربيات و دست آوردهاى آن ارائه مى گردد.

۱- مقدمه

استفاده از سیستم‌های حمل و نقل ریلی در شهرهای بزرگ کشور مانند شهر مقدس مشهد از سالیان گذشته تاکنون مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است، بطوری که در حال حاضر خطوط ریلی قطار شهری مشهد در سه حوزه بهره‌برداری، مطالعه و اجرا قرار دارند.

مشهد پس از تهران، نخستین شهر کشور بوده است که داشتن سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری برای آن مورد تصویب ارگان‌های ذیربط قرار گرفته است.

بطور کلی چهار خط مترو برای شهر مشهد در نظر گرفته شده است که از این میان خط یک و دو در حال بهره‌برداری، خط سه در حال اجرا و خط چهار نیز در حال اجرای تونل و مطالعه و طراحی ایستگاه‌ها می‌باشند.

۲- مطالعات

مطالعات جامع حمل و نقل شهر مشهد بین سال‌های ۷۳ تا ۷۸ صورت پذیرفته و برای شناسایی کریدورهای ریلی درون شهر مشهد، دو مجموعه مطالعه توسط مرکز مطالعات حمل و نقل و ترافیک دانشگاه صنعتی شریف انجام گرفته است. اولین مطالعه گزارشی با عنوان "سیستم حمل و نقل مشهد" در سال ۱۳۷۷ به عنوان زیر مجموعه‌ای از مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر مشهد برای افق سال ۱۳۹۵ خطوط ۱، ۲، ۳ و ۴ قطار شهری مشهد به انجام رسید.

دومین مطالعه انجام شده توسط پژوهشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی شریف با عنوان "مطالعات یکپارچه حمل و نقل شهری مشهد" در سال ۱۳۸۲ جهت ارائه پلان سیستم یکپارچه حمل و نقل ریلی سبک درون شهری و اتوبوس آغاز شده است. این مطالعه ابتدا چهار کریدور مقدماتی و سپس کریدورهای نهایی را پیشنهاد نمود. کریدورهای پیشنهادی حاصل از مطالعه دوم مشابه کریدورهای پیشنهادی مطالعه جامع حمل و نقل مشهد بودند.

این مطالعات بعداً توسط مشاور طرح هفتم و عرصه در خلال انجام مطالعات پایه خطوط جدید قطار شهری مشهد به‌روزرسانی شد.

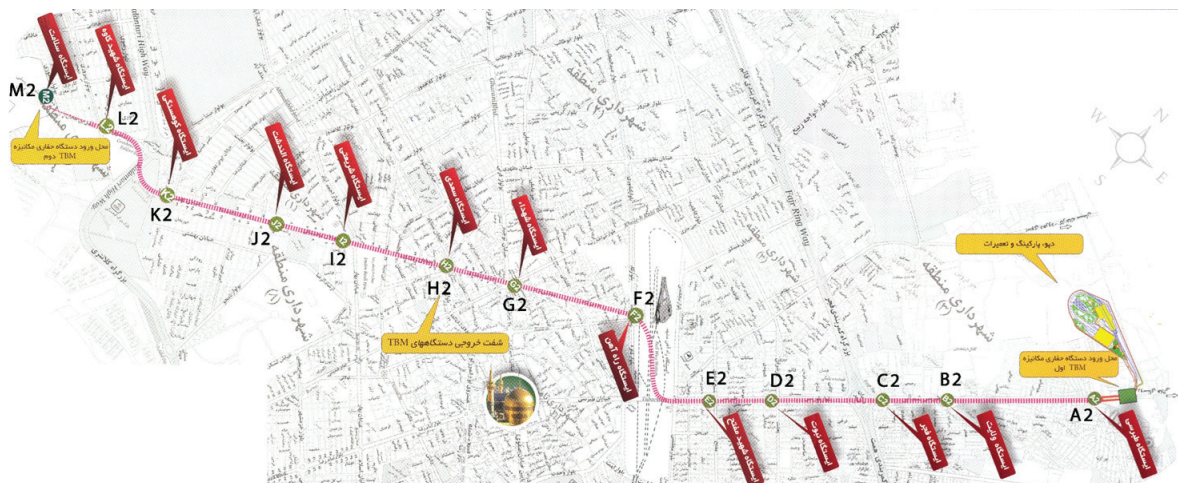
مطالعات پایه و فاز یک خطوط جدید قطار شهری مشهد نیز از سال ۱۳۸۳ آغاز شد. مطالعات مقدماتی لازم چون نقشه‌برداری خطوط، شناسایی تاسیسات شهری، مطالعات ژئوتکنیک و سایر مطالعات پیش نیاز به همراه به روز رسانی مطالعات ترافیکی در این سال آغاز گردید و در ادامه آن مطالعات پایه و فاز یک با ارائه خدمات مدیریت طرح توسط مشارکت مهندسین مشاور پژوهش و شرکت سیستم‌ها به انجام رسیده است.

خط ۲ قطار شهری مشهد پس از انجام مطالعات و طراحی فاز یک پیشرفته به کارفرمایی شرکت قطار شهری مشهد و با مدیریت مهندسین مشاور پژوهش، (با مشخصات ۱۲ ایستگاه، ۱۲ شفت هوای میان تونلی، ۱۰ کیلومتر تونل، دپو با مساحت ۱۶/۴ هکتار و لینک‌های ارتباطی به خطوط ۱ و ۳ و راه آهن سراسری) به مناقصه گذاشته شد و قرارداد پیمانکار در تاریخ ۸۷/۱۰/۵ منعقد و در تاریخ ۸۷/۱۱/۲۶ به پیمانکار ابلاغ و مهندسین مشاور پژوهش بعنوان مشاور کارفرما در مرحله طراحی و ساخت خط ۲ انتخاب گردید.

مشاوران خارجی همکار پیمانکار EPC که توسط ایشان انتخاب و به تایید کارفرما رسیده است عبارتند از: شرکت Arthe در بخش طراحی تونل حفاری مکانیزه، قالب و کارخانه سگمنت و شرکت Egis Rail در بخش مشخصات فنی مترو سیستم.

۳- معرفی خط ۲ قطار شهری مشهد

مسیر خط ۲ قطار شهری مشهد به طول کلی حدود ۱۵ کیلومتر از خیابان طبرسی شمالی (در شمال شرقی شهر) شروع و تا دهکده سلامت (در جنوب شهر) به صورت مجموعه‌ای متشکل از ۱۳ ایستگاه ادامه یافته که به صورت زیرزمینی با عمق متوسط ۱۶ تا ۲۵ متر می‌باشد. مجموعه دپو با ۶۴ هکتار مساحت در بخش شمالی خط و مرکز فرمان با پیش‌بینی مرکز کنترل تجمیعی سایر خطوط قطار شهری در محل دپوی شرقی خط یک در حال ساخت و تکمیل می‌باشند.



شکل ۱- پلان مسیر خط ۲ قطار شهری مشهد

در اواخر سال ۱۳۸۸، اولین فعالیت اجرایی در ایستگاه سوم (ایستگاه C2 میدان فجر) آغاز گردید (در مطالعات اولیه حفاری تونل از ابتدای خط تا ایستگاه C2 با روش اتریشی و از ایستگاه C2 تا انتهای خط با یک دستگاه حفار پیش‌بینی شده بود؛ لذا در مطالعات اولیه شفت ورود دستگاه حفار در ایستگاه C2 پیش‌بینی شده بود). همزمان با شروع عملیات اجرایی، ساخت کارخانه سگمنت به همراه آزمایشگاه و تجهیز آن صورت پذیرفت.

در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۹، با ابلاغ قرارداد مشاور کارفرما به شرکت مهندسین مشاور پژوهش، برنامه زمان‌بندی جدیدی با تکیه بر وجود دو دستگاه حفار مکانیزه ارائه و برنامه زمان‌بندی با دو دستگاه در همین زمان به تأیید مجموعه کارفرمایی رسیده و تصویب گردید.

- شروع کامل عملیات اجرایی سیویل پس از تصویب بکارگیری دو دستگاه و با برنامه زمان‌بندی جدید، در تیر ماه ۱۳۸۹ بصورت همزمان و در دو جبهه ایستگاه A2 (طبرسی شمالی ۴۶) و شفت شمالی ورود دستگاه اول در خرداد ماه ۱۳۸۹ آغاز گردید؛
- در اواسط سال ۱۳۸۹ اولین دستگاه حفار تمام مکانیزه (EPB) از شرکت NHI چین (تحت لیسانس NFM فرانسه) به مرحله خرید رسیده و در پایان همین سال مراحل حمل به مشهد انجام و عملیات مونتاژ دستگاه از اواخر اسفند ماه ۱۳۸۹ آغاز گردید؛

- در پایان خرداد ماه ۱۳۹۰ عملیات مونتاژ دستگاه حفار به اتمام رسید و با تکمیل ادوات پشتیبانی شفت شمالی تا اواسط تیر ماه ۱۳۹۰ اجرای حفاری اولین تونل تمام مکانیزه در شهر مشهد (نیمه شمالی خط) طی مراسمی در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱۴ آغاز گردید؛
- در اوایل سال ۱۳۹۰ مراحل خرید دستگاه حفار دوم از شرکت NHI چین توسط پیمانکار انجام و عملیات حمل به مشهد جهت شروع مونتاژ تا پایان شهریور ماه ۱۳۹۰ انجام شد. عملیات مونتاژ این دستگاه که وظیفه حفاری نیمه جنوبی را برعهده داشت تا اواخر دی ماه ۱۳۹۰ انجام و عملیات حفاری دستگاه دوم نیز از تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ آغاز گردید.

۳-۱-۳ اجزاء ساختمانی خط ۲

۳-۱-۳-۱-۱ شفت‌های ورودی و خروجی تونل حفاری مکانیزه

دو شفت ورودی TBM جهت مونتاژ و شروع به کار دستگاه‌های حفار، به ترتیب در شمال ایستگاه A2 و در جنوب ایستگاه L2 (محل شفت ورودی دستگاه دوم) در نظر گرفته شده است که در ادامه و با تأیید شورای عال ترافیک و همچنین مجاورت با شهرک سلامت مشهد بعنوان یک ایستگاه جدید (M2) انتخاب گردید.

شفت خروجی دستگاه‌های حفار در ابتدا در محدوده ایستگاه F2 پیش‌بینی گردیده بود، اما در سال ۱۳۹۳ باتوجه به اتمام حفاری نیمه شمالی از یک طرف و تاخیرات پیش آمده در روند حفاری نیمه جنوبی از طرف دیگر، تصمیم به جابجایی شفت پشتیبان دستگاه حفار اول از شفت ورودی اولیه به ایستگاه F2 و تغییر شفت خروجی به ایستگاه H2 گرفته شد. بر همین اساس با شروع ادامه حفاری دستگاه حفار شمالی به سمت ایستگاه H2، دستگاه حفار جنوبی در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۶ و دستگاه حفار شمالی در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۵ وارد ایستگاه H2 گردیدند.

۳-۱-۲- ایستگاه‌ها

خط ۲ مجموعه‌ای از ۱۳ ایستگاه می‌باشد که در کلیه ایستگاه‌ها، سکوها در طرفین خط ریلی قرار گرفته است. طول مفید هر سکو ۱۰۰ متر و عرض آن ۴ متر می‌باشد. سکوها بدون قوس (مستقیم‌الخط)، ارتفاع سطح تمام شده سکوها نسبت به روی ریل یک متر، فاصله مرکز به مرکز دو ایستگاه متوالی بین ۸/۰ تا ۱۵/۵ کیلومتر و به طور متوسط ۱۲/۲ کیلومتر می‌باشد. تمامی ایستگاه‌ها از نوع زیرزمینی، تعداد طبقات ایستگاه‌ها بین ۲ تا ۳ طبقه و تعداد ورودی دسترسی مسافران در هر ایستگاه دو ورودی می‌باشد. در جدول ذیل روش اجرای ایستگاه‌های خط ۲ مشاهده می‌گردد:

جدول ۱- روش اجرای ایستگاه‌های خط ۲ قطار شهری مشهد

ردیف	نام ایستگاه / مسیر	نام گذاری ایستگاه	موقعیت شهری	روش اجرا	تعداد طبقات
۱	ایستگاه A2	طبرسی	کشف رود	ترانشه باز	۲
۲	ایستگاه B2	ولایت	انتهای طبرسی	ترانشه باز	۲
۳	ایستگاه C2	فجر	میدان فجر	ترانشه باز	۲
۴	ایستگاه D2	نبوت	چهارراه نبوت	ترانشه بسته	۲
۵	ایستگاه E2	مفتح	چهارراه مفتح	ترانشه بسته	۲
۶	ایستگاه F2	راه آهن	میدان راه آهن	ترانشه باز	۲
۷	ایستگاه G2	شهدا	میدان شهدا	زیر زمینی + ترانشه باز	۲
۸	ایستگاه H2	سعدی	میدان سعدی	ترانشه باز	۲
۹	ایستگاه I2	شریعتی	میدان شریعتی	ترانشه بسته	۳
۱۰	ایستگاه J2	الندشت	میدان ال‌ندشت	زیر زمینی	۱
۱۱	ایستگاه K2	کوهسنگی	میدان کوهسنگی	زیر زمینی	۱
۱۲	ایستگاه L2	شهید کاوه	میدان کاوه	ترانشه باز	۳
۱۳	ایستگاه M2	سلامت	میدان جوان	ترانشه باز	۳

۳-۱-۳- مجموعه دیو (پارکینگ و تعمیرگاه)

دیو و تعمیرگاه در بخش شمال شرق خط (شمال ایستگاه A2) به مساحت حدود ۳۴/۹ هکتار (محدوده جانمایی لی‌اوت) با طول ریل گذاری تقریباً ۱۲ کیلومتر به صورت یک خطه و با ظرفیت پارکینگ ۲۶ قطار (به صورت مسقف) و سطوح تعمیرگاهی در حد سبک برای ناوگان خط ۲ و تعمیرات اساسی جهت پشتیبانی ناوگان خطوط ۲، ۳ و ۴ جانمایی شده است. دیو شامل بخش‌های مختلف به شرح ذیل می‌باشد: سالن‌های پارکینگ و بازرسی (۱۶۰۰۰ مترمربع)، سالن تعمیرات زیربنایی (۸۰۰۰ مترمربع)، سالن تعمیرات سنگین ناوگان و تراش چرخ (۳۰۰۰۰ مترمربع)، سالن شستشوی اتوماتیک قطار، ساختمان اداری و مرکز کنترل، پست‌های برق، انبار مواد خطرناک و انبار روباز، منابع آب و سوخت، موتورخانه مرکزی و خط تست. در انتهای خط نیز پس از ایستگاه M2 فضای پارک محدود قطارها (خط انتظار) به طول تقریباً ۳۰۰ متر و گنجایش ۴ قطار پیش‌بینی گردیده است.

۳-۱-۴- خروجی‌های اضطراری و شفت‌های هوای میان تونلی

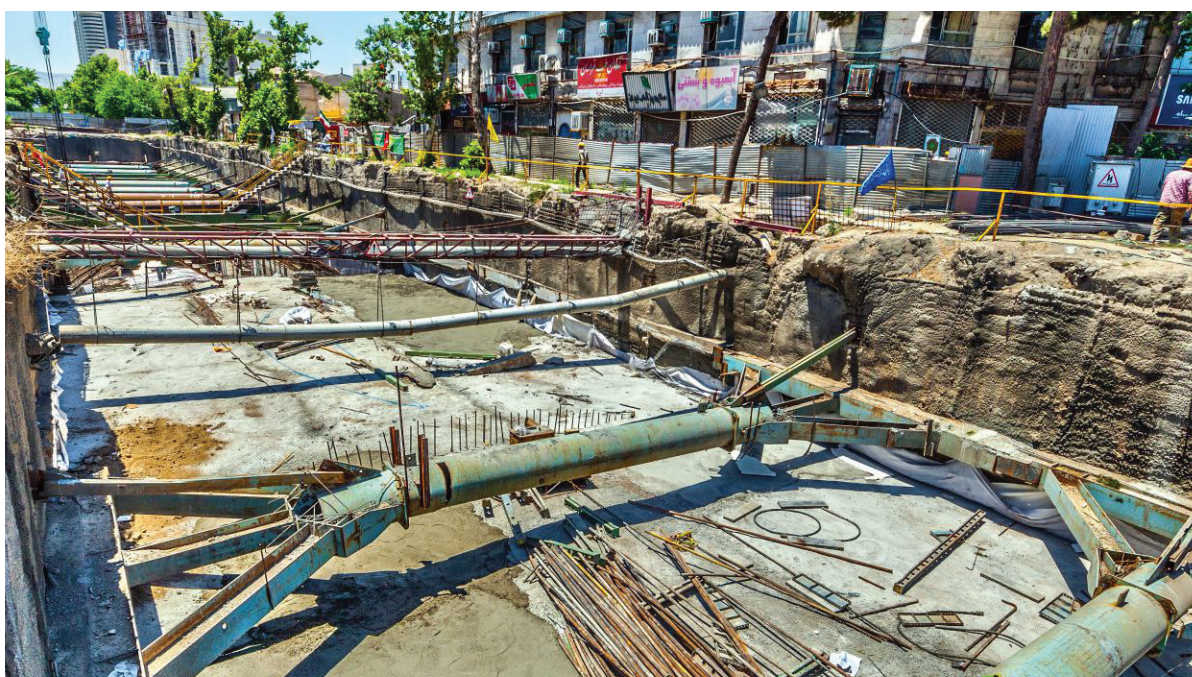
تعداد ۱۱ خروجی اضطراری در طول و انتهای جنوبی خط و ۲ عدد شفت هوای میان تونلی در میانه خط (با انجام مهندسی ارزش) طراحی شده است.

۳-۱-۵- مرکز فرمان

ساختمان مرکز فرمان بر اساس توافق اولیه در محدوده میدان سعدی شامل یک ساختمان ۵ طبقه با مساحت تقریبی ۷۳۰ مترمربع در نظر گرفته شده بود که با یک گالری ارتباطی به تونل خط ۲ متصل می‌گردید. سپس در سال ۱۳۹۷ با ابلاغ کارفرما و با پیش بینی مرکز فرمان تجمیعی کلیه خطوط در محل دپو غدیر خط یک (واقع در شرق مشهد) شروع به احداث گردید.

۳-۲- رکوردهای پروژه

- رکورد انجام فرآیند باراندازی کشتی، ترخیص، تخلیه و حمل TBM از بندعباس به مشهد طی ۱۷ روز؛
- رکورد مونتاژ TBM-EPB با قطر ۹ متر طی ۴۵ روز؛
- رکورد حفاری ۲۱ متر تونل مکانیزه شهری طی یک شیفت (۱۲ ساعته)؛
- رکورد حفاری ۳۱/۶ متر تونل مکانیزه شهری در یک روز؛
- رکورد عبور ۴۰/۵ متر TBM در طول ایستگاه در یک روز کاری؛
- رکورد تولید ۱۲ رینگ ۹ قطعه‌ای سگمنت طی یک روز کاری (۱۰۸ قطعه بتنی)؛









تجربه‌های پیشین

سوابق پژوهش در انجام مطالعات مرحله اول ایستگاه‌های خطوط قطار شهری

طراحی مرحله اول ایستگاه‌های قطار شهری در تخصص‌های معماری و شهرسازی، سازه و روش اجرا، تاسیسات برق و مکانیک انجام می‌گردد. بصورت کلی این بخش از مطالعات در دو قالب کلی در خطوط قطار شهری کشور تحقق می‌یابد در برخی خطوط انجام مطالعات مرحله اول کل خط قطار شهری (مانند خط ۷ متروی تهران) یا شبکه خطوط قطار شهری (مانند خطوط ۲، ۳ و ۴ قطار شهری مشهد) مورد مطالعات و طراحی مرحله اول قرار می‌گیرد. در این وضعیت مطالعات بیشتر با شرح خدمات مطالعات پایه، به مشاوران طراح واگذار می‌شود. در حالت دوم یک خط قطار شهری به اجزای آن تقسیم شده و بخش‌های مختلف نظیر ایستگاه‌ها، تونل، مرکز فرمان و... موضوع مطالعات مرحله اول قرار می‌گیرد.

در حالت اول که یک خط یا شبکه خطوط قطار شهری موضوع مطالعه است بخش عمده‌ای از طراحی منوط به حفظ یکپارچگی بین اجزای مختلف پروژه می‌گردد. همپوشانی تخصص‌های مختلف و تاثیرگذاری و تاثیرپذیری آنها بر یکدیگر براساس برنامه زمانی مشخص و هدفمند کلیدی‌ترین عامل در موفقیت پروژه است. مهندسین مشاور پژوهش تاکنون در مطالعات مرحله اول خطوط زیر ارائه خدمات نموده است:

- مطالعات مرحله اول خط ۷ متروی تهران در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خط ۳ قطار شهری شیراز در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خطوط ۴، ۵ و ۶ قطار شهری شیراز در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خط ۲ قطار شهری تبریز در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خط ۲ قطار شهری اصفهان در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خط ۲ قطار شهری اهواز در جایگاه مشاور طراح؛
- مطالعات مرحله اول خطوط ۲، ۳ و ۴ قطار شهری مشهد در جایگاه مدیر طرح مطالعات؛
- مطالعات مرحله اول خط ۳ و بخش شمالی خط یک متروی تهران در جایگاه مدیر طرح مطالعات.

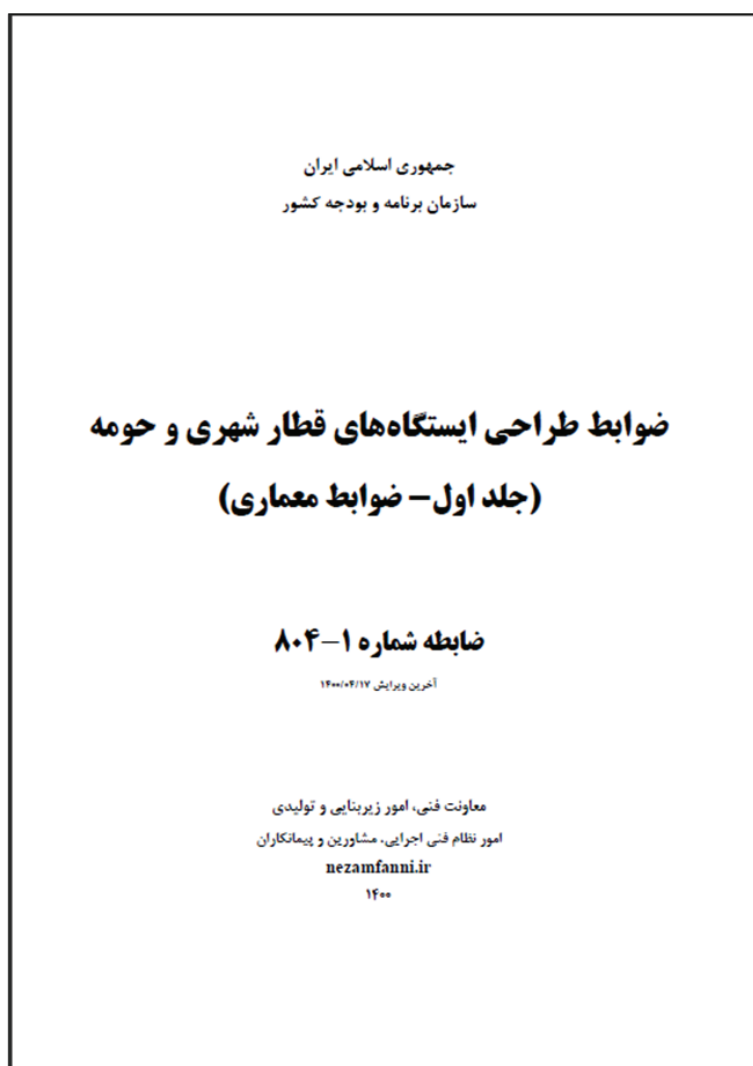
حالت دوم انجام مطالعات مرحله اول که بصورت منفک در اجزای خطوط قطار شهری صورت می‌پذیرد پیشینه قدیمی‌تری در مطالعات قطار شهری کشور دارد. اولین مطالعات در زمینه خطوط قطار شهری که توسط مهندسین مشاور ایرانی در متروی تهران به انجام رسیده است براساس این روش تحقق یافته و شرکت متروی تهران بر پایه نقشه‌ها و طرح‌های تهیه شده توسط شرکت سوفرتو^۱ مطالعات مرحله اول و دوم اجزای خطوط متروی تهران را بین مشاوران واگذار کرده است. مهندسین مشاور پژوهش نیز در سال ۱۳۶۶ اولین پروژه در زمینه خطوط قطار شهری خود را با انجام مطالعات مرحله اول و دوم ایستگاه ۱ (چهارراه مخابراتالدوله) از خط یک متروی تهران آغاز کرده است و تاکنون در طراحی مرحله اول ۱۹۴ ایستگاه خدمات طراحی ارائه نموده است. با توجه به سابقه کار و تجربیات بدست آمده در زمینه طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و شناختی که در این زمینه بر استانداردها و ضوابط طراحی ایستگاه‌ها در مهندسین مشاور پژوهش بوجود آمده است، سازمان برنامه و بودجه کشور مهندسین مشاور پژوهش را برای انجام مطالعات و تدوین ضوابط طراحی ایستگاه‌ها انتخاب کرده و نتیجه این مطالعات منجر به تدوین ضابطه ۸۰۴ در جلد‌های معماری، سازه و تاسیسات (ناویژه) شد که امید است بتواند موجب ارتقای کیفیت ایستگاه‌های قطار شهری کشور باشد.

بخشی از فعالیت‌های مهندسين مشاور پژوهش به تدوین ضوابط در خطوط قطار شهری کشور اختصاص دارد که برگرفته از مطالعات و تجربیاتی است که در پروژه‌ها بدست آمده است. در هر شماره از فصلنامه حاضر یکی از ضوابط ابلاغ شده یا در دست کار معرفی می‌گردد.



ضابطه شماره ۸۰۴-۱ - ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه (جلد اول - ضوابط معماری)
مهندس نیما سلحشور

در شماره پیشین اهداف طراحی ایستگاه قطار شهری که در ضابطه ۸۰۴ سازمان برنامه و بودجه مورد نظر بوده است، شرح و اولویت‌بندی میان اهداف عنوان شد. در این شماره، جلد اول از ضابطه ۸۰۴ که به طرح معماری ایستگاه اختصاص دارد، معرفی می‌گردد. همانطور که در شماره قبل نیز عنوان گردید، ضابطه ۸۰۴ در سه جلد معماری، سازه و تاسیسات تدوین شده و تمامی جلدها در پی تحقق اهداف تعریف شده و مورد انتظار در ایستگاه قطار شهری در زمینه تخصصی خود می‌باشند.



جلد اول ضابطه ۸۰۴ که به ضوابط معماری طراحی ایستگاه اختصاص دارد در هفت فصل تدوین شده است. رئوس این فصول عبارتند از:

- **فصل اول:** مبانی طراحی معماری ایستگاه‌های قطار شهری و حومه‌ای
- **فصل دوم:** طرح‌ریزی ابعاد و ظرفیت اجزا در ایستگاه‌های قطار شهری و حومه‌ای
- **فصل سوم:** الزامات و ضوابط طراحی معماری اجزای ایستگاه
- **فصل چهارم:** الزامات طراحی بخش اداری
- **فصل پنجم:** الزامات نورپردازی
- **فصل ششم:** الزامات ارائه تسهیلات عمومی
- **فصل هفتم:** الزامات حریق و تخلیه اضطراری در ایستگاه

فصل اول: مبانی طراحی معماری ایستگاه‌های قطار شهری و حومه‌ای

این فصل به اصول و مبانی طراحی معماری ایستگاه‌ها و محیط پیرامون آن می‌پردازد. در مقدمه این فصل چنین آمده است: "نوع بیان و روش ارائه مطالب در این فصل با بخش‌های دیگر متفاوت بوده و ضمن ارائه اصول و مبانی طرح معماری ایستگاه بر حفظ انعطاف‌پذیری و پرهیز از یک جانبه‌نگری تاکید می‌شود. بعبارت دیگر روش ارائه ضوابط به گونه‌ای خواهد بود که ضمن ایجاد وحدت رویه در نگرش به طرح معماری ایستگاه و تاکید بر رعایت اصول معماری در آن، طراح در نحوه تحقق اصول مورد اشاره آزادی کامل داشته تا بتواند بنابر امکانات و محدودیت‌های حاکم بر موقعیت ویژه هر ایستگاه مناسب‌ترین پاسخ در ارتقاء شرایط فضایی را تدوین نماید."

این فصل هشت راهبرد طراحی ارائه کرده و در هر راهبرد، مبانی طرح موضوع (شرح مختصری بر راهبرد)، اهداف مرتبط با راهبرد و راهکارهای دستیابی به راهبرد را تبیین می‌نماید. راهبردهای طراحی معماری ارائه شده در این فصل عبارتند از:

- حفظ تعادل؛
- ایستگاه به عنوان فضای شهری؛
- هویت و عامل شناسایی؛
- طراحی بر پایه نیازهای کاربران؛
- خوانایی و شفافیت؛
- نظام حرکتی؛
- طراحی براساس عوامل زیست محیطی؛
- آثار هنری در طرح معماری ایستگاه.

فصل دوم: طرح‌ریزی ابعاد و ظرفیت اجزا در ایستگاه‌های قطار شهری و حومه‌ای

این فصل به ظرفیت‌سنجی و تبیین نحوه محاسبه ظرفیت و ابعاد در اجزای ایستگاه در شرایط عادی بهره‌برداری می‌پردازد و مواردی نظیر:

- تعیین ترازهای سرویس‌دهی در بخش‌های مختلف ایستگاه؛
 - حداقل فواصل بین اجزای ایستگاه؛
 - محاسبه تعداد مسافران در بازه‌های زمانی (یک ساعت، ۱۵ دقیقه و دقیقه) اوج تقاضا؛
 - دسته‌بندی ایستگاه براساس تعداد مسافران ایستگاه؛
 - نحوه تعیین تراز سرویس‌دهی مناسب در ایستگاه‌هایی که در مجاورت کاربری‌های خاص (نظیر ورزشگاه‌ها) قرار دارند؛
 - شرح روش‌های مکمل (نسبت به روش محاسبه براساس تراز سرویس‌دهی) در طرح‌ریزی ظرفیت مناسب برای اجزای ایستگاه؛
- در این فصل شرح داده شده است.

فصل سوم: الزامات و ضوابط طراحی معماری اجزای ایستگاه

در این فصل ضوابط طراحی معماری به تفکیک ورودی، مسیرهای دسترسی افقی، مسیرهای دسترسی عمودی، سالن فروش بلیت و سکو تدوین شده است و در هر یک از اجزا ضوابط در دسته‌بندی‌های زیر ارائه شده است:

- طرح‌ریزی در ارتباط با محیط شهری پیرامون؛
- طرح‌ریزی در ارتباط با الزامات ایستگاه؛
- طرح‌ریزی در هماهنگی با شرایط اقلیمی؛
- طرح‌ریزی در ارتباط با الزامات دسترسی کم‌توانان جسمی؛
- مبلمان و مصالح؛
- طرح‌ریزی ابعاد.

فصل چهارم: الزامات طراحی بخش اداری

در تدوین مطالب این فصل ضمن استفاده از دستورالعمل‌های طراحی بخش اداری در خطوط ریلی شهرهایی که سابقه طولانی در بهره‌برداری از خطوط قطار شهری دارند، استعلام از خواسته‌ها و نیازهای بهره‌برداران خطوط ریلی در شهرهای کشور نیز مورد توجه قرار گرفته است و در قالب تنظیم پرسشنامه خواسته‌های بهره‌برداران و مشکلات طراحی معماری بخش اداری از خطوط قطار شهری مشهد، تبریز، اصفهان، شیراز و تهران دریافت و مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدای این بخش اصول کلی طراحی بخش اداری که باید مورد توجه طراح قرار گیرد، مطرح و در ادامه ضوابط طراحی در چهار گروه از فضاهای معماری شامل:

- بخش مدیریت و بهره‌برداری از ایستگاه؛
- بخش حفظ امنیت ایستگاه؛
- بخش خدمات به پرسنل ایستگاه؛
- بخش تعمیرات و نگهداری ایستگاه؛

ارائه شده است.

فصل پنجم: الزامات نورپردازی

این فصل بر تاثیر نورپردازی صحیح در ارتقاء کیفیت فضای معماری ایستگاه تاکید دارد و فارغ از امور کمی در میزان روشنایی فضا که موضوع بحث در جلد سوم ضوابط طراحی (بخش تأسیسات) است بر امور کیفی و تأثیرگذاری نور بر فضای معماری می‌پردازد. این مطلب در ابتدای این فصل ضمن ارائه کلیات مورد تأکید قرار گرفته است.

در این فصل در ابتدا انواع نور در سه دسته روشنایی عمومی، روشنایی متمرکز، خلق جلوه‌های ویژه تفکیک شده است و سپس در هر یک از اجزای ایستگاه (شامل ورودی، سالن بلیت، راهرو، پله و پله‌برقی و سکو) ضوابط و توصیه‌های نورپردازی به تفکیک سه دسته بالا ارائه شده است.

فصل ششم: الزامات ارائه تسهیلات عمومی

یکی از چالش‌های همیشگی طراحی ایستگاه‌های قطار شهری کاربری‌هایی است که در ایستگاه‌ها جهت خدمت‌رسانی به مسافران اضافه می‌گردد. وجود یا عدم نیاز به این کاربری‌ها همچنین مقیاس طراحی آنها همواره از موارد مورد بحث میان طراحان و مدیران قطارهای شهری کشور است. این کاربری‌ها بیشتر شامل سرویس‌های بهداشتی عمومی، اتاق مادر و کودک، نمازخانه عمومی، غرفه‌های تجاری، تابلوهای تبلیغاتی و پارکینگ دوچرخه می‌باشد که به تفکیک در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و در هر یک از کاربری‌های مکمل شرایطی که وجود آنها را در ایستگاه توجیه می‌کند همچنین مقیاس طرح‌ریزی و الزامات طراحی آنها درج شده است.

فصل هفتم: الزامات حریق و تخلیه اضطراری در ایستگاه

این بخش به مجموعه ضوابطی می‌پردازد که جهت جلوگیری از حریق در ایستگاه بکارگرفته می‌شود. همچنین شرایط لازم برای تخلیه اضطراری ایستگاه را ارائه می‌نماید. در بخش‌های این فصل منطقه‌بندی حریق، نحوه محاسبه تعداد نفرات ایستگاه در تخلیه اضطراری و شیوه محاسبه زمان خروج از سکو و ایستگاه شرح داده شده است و مجموعه ضوابط اجزای ایستگاه در ارتباط با مقابله با حریق و خروج اضطراری به تفکیک در دسترسی‌ها، سکوها، راه‌پله و پله‌برقی، آسانسور، درها و دروازه‌های کنترل بلیت ارائه شده است.

در این بخش رویدادهای مهم خطوط مختلف قطار شهری که این مهندسین مشاور در آنها نقش داشته است ارائه می‌گردد.

۱- خط ۲ قطار شهری مشهد

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات مشاور كارفرما ارائه مي‌دهد.
- حفاري گالري ورودی شمالی و همچنین معماری و نازک‌کاری فضاهای داخلی تراز سکو و تاسیسات ایستگاه سلامت در حال انجام می‌باشد.
- در خروجی اضطراری F2-G2 معماری بیرونی تکمیل و نازک‌کاری و معماری داخلی در جریان می‌باشد. عملیات خروجی اضطراری I2-J2 و I2-K2 تکمیل و محوطه‌سازی آن نیز به پایان رسیده است. در خروجی اضطراری K2-L2 اجرای گالری به پایان رسیده و اجرای رمپ پله در جریان می‌باشد.

۲- خط ۴ قطار شهری مشهد

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات مشاور كارفرما ارائه مي‌دهد.
- با توجه به حساسیت موضوع عبور TBM از مجاورت پل کابلی امام حسین، کمیته ویژه مدیریت بحران تشکیل و جلسات منظم هفتگی با حضور اعضای کمیته متشکل از (نمایندگان کارفرما، مشاور کارفرما و پیمانکار) به صورت مداوم تشکیل و تصمیم‌سازی‌های مربوط به نحوه پیش‌بینی و تامین منابع مورد نیاز برای کاهش ریسک‌های احتمالی و عبور ایمن از کنار سازه پل امام حسین (ع) صورت می‌پذیرد.
- PMIS (سیستم اطلاعاتی مدیریت پروژه) در خط ۴ قطار شهری مشهد طراحی گردید.
- کارگروه BIM (مدل‌سازی اطلاعات ساخت) در مجموعه کارفرما، مشاور کارفرما و پیمانکار تشکیل گردید و فرآیندهای قراردادی پیاده‌سازی BIM (مدل‌سازی اطلاعات ساخت) در حال انجام است.

۳- خط ۳ متروی تهران

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات نظارت ارائه مي‌دهد.
- عملیات ساختمانی کارهای باقیمانده قسمت میانی خط ۳ آغاز گردید.
- هواکش میان‌تونلی G3I3 (خیابان ولیعصر- نرسیده به خیابان جمهوری- خیابان رجب‌بیگی) تکمیل و تحویل کارفرما شد.
- عملیات احداث رکتیفایر در ایستگاه اقدسیه آغاز شد.

۴- خط ۳ قطار شهری شیراز (توسعه غربی خط یک)

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات طراحی و نظارت تونل و چهار ایستگاه خط را ارائه مي‌دهد.
- قرارداد حفاری تونل مکانیزه و شفت ورود و خروج دستگاه TBM، همچنین قراردادهای مربوط به ساخت ایستگاه‌های میلاد، شهید بهشتی و آفرینش به شرکت مهندسی و ساختمان شمس عمران ابلاغ گردید.
- عملیات دمونتاز دستگاه TBM به قطر ۹،۳۶ جهت انتقال به شیراز و شروع حفاری تونل آغاز گردید.

۵- خط ۲ قطار شهری شیراز

- مهندسين مشاور پژوهش در اين بخش از خط ۲ خدمات مشاور كارفرما ارائه مي‌دهد.
- ایستگاه عادل آباد در هفته دولت سال جاری مورد بهره‌برداری شهروندان قرار خواهد گرفت.

۶- توسعه خط ۲ قطار شهری شیراز

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات طراحی و نظارت ارائه مي‌دهد.
- عملیات اجرایی ایستگاه‌های اطلسی و حافظ از توسعه شمالی خط ۲ قطار شهری شیراز آغاز گردید.

۷- خط ۲ قطار شهری اصفهان

- مهندسین مشاور پژوهش در این پروژه خدمات طراحی و نظارت بر مسیر در قطعه غربی خط ۲ (در حد فاصل ایستگاه‌های کهندژ تا ابن سینا H2-O2) - لینک خطوط یک و دو- هواکش‌های میان‌تونلی و سایر ابنیه فنی مجاور مسیر را ارائه می‌دهد.
- **اتمام دیوار CLSM در ایستگاه خلجا:** پس از ورود دستگاه به ایستگاه خلجا به علت آماده نبودن کردل ایستگاه، حرکت دستگاه حفار با توقف همراه شد. به علت وجود آثار تاریخی بعد از ایستگاه خلجا دستگاه حفار مکانیزه مجبور به رعایت فشار سینه کار قبل از خروج از ایستگاه می‌باشد. به همین علت اجرای دیوار CLSM با بتن C5 در فضای داخلی ایستگاه به جهت پر شدن چمبر برای فشار مناسب در هنگام خروج از ایستگاه اجرا گردید.
- **اتمام تونل دسترسی به تونل لینک ارتباطی خط ۱ به ۲ از شفت ۲:** به جهت جبران تاخیرات برای حفاری تونل ارتباطی خط ۱ به ۲ به روش NATM موقعیت دیگری در اختیار پیمانکار برای ایجاد جبهه جدید کاری در قسمت خشک و بدون آب قرار گرفت که در این مدت شفت و تونل دسترسی به طول ۲۰ متر به اتمام رسید.
- **اتمام سازه نگهبان و سازه اصلی ادیت لینک ارتباطی خط ۱ به ۲ از شفت ۱:** جهت انجام عملیات اجرایی کراس اور و تونل ارتباطی خط ۱ به ۲، سازه نگهبان و سازه تونل ادیت به طول ۱۰ متر که به طور کامل در زیر تراز آب زیرزمینی قرار داشت به اتمام رسید. شایان ذکر است به علت وجود آب عملیات حفاری به کندی و با توقف همراه می‌باشد.

۸- قطار سبک شهری تهران (LRT)

- مهندسین مشاور پژوهش در این پروژه خدمات مطالعات امکان‌سنجی ارائه می‌دهد.
- قرارداد مطالعات تفصیلی حمل و نقل همگانی شهر تهران و امکان‌سنجی احداث قطار سبک شهری براساس ضابطه ۷۷۷ به مشارکت مهندسین مشاور اندیشکار، طرح هفتم و پژوهش ابلاغ گردید. در این مطالعات ضمن انجام بخش اول ضابطه ۷۷۷ توسط مشاوران با تخصص حمل و نقل، مطالعات امکان‌سنجی خطوط سبک ریلی تهران (بخش دوم ضابطه ۷۷۷) توسط مهندسین مشاور پژوهش انجام می‌گردد.

فصلنامه

تخصص قطار شهر | نسخه‌های پیشین

برای دریافت نسخه پیشین این فصلنامه لطفاً به وبسایت مهندسين مشاور پژوهش مراجعه كنيد.





مهندسين
مشاور پژوهش



فصلنامه تخصصی قطار شهر


مهندسين
مشاور پژوهش



تهران، خیابان شریعتی، نرسیده به دوراهی قلهک، روبروی بیمارستان ایرانمهر، بن بست مرشدی، پلاک ۲

☎ ۰۲۱-۲۲۹۰۱۸۵۱-۴

📠 ۰۲۱-۲۲۹۰۱۹۳۴

@ info@pajoohesh.ir