



مهندسين
مشاور پژوهش

فصلنامه تخصصی قطار شهر

شماره ۲ - زمستان ۱۴۰۱



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)

دکتر صادق آمون (کارشناس دپارتمان سازه)

مهندس منوچهر موسوی زاده (کارشناس دپارتمان نقشه برداری)

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 پله در ایستگاه‌های قطارشهری
- ۱۰ ضرورت وجود لینک ارتباطی بین خطوط در شبکه مترو
- ۱۳ دستورالعمل همسان نقشه‌برداری بنیادین احداث مترو (قطارشهری)
- ۳۲ انتخاب دستگاه حفار تونل مکانیزه در محیط‌های شهری
- ۵۳ دستورالعمل ترمیم سگمنت در تونل‌سازی مکانیزه با دستگاه حفار TBM
- ۶۷ هزینه‌های ساخت خطوط مترو در عمق‌های مختلف (مقایسه دو روش NATM و ترانشه‌باز/بسته)

۷۵ معرفی پروژه‌ها

- ۷۶ طراحی ایستگاه A3 در توسعه شمالی خط یک شیراز
- ۸۲ معرفی دستگاه حفار خط دو قطارشهری اصفهان - TBM S525

۸۵ تدوین ضوابط

- ۸۶ ضابطه شماره ۸۰۴ سازمان برنامه و بودجه (ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه)

۹۱ 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، حضوري 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.

پله در ایستگاه‌های قطار شهری مهندس نیما سلحشور



طی تجربیات بدست آمده در طراحی معماری ایستگاه‌ها به نظر می‌رسد می‌توان چالش‌ها و مسائل طراحی معماری ایستگاه‌ها را در قالب عناصر سازنده آن دسته‌بندی نمود. هدف از چنین دسته‌بندی‌هایی عموماً شناخت امکانات و محدودیت‌ها و قابلیت‌هایی است که هر یک از عناصر می‌توانند بواسطه آنها، موجب ارتقاء معماری ایستگاه شوند و ایستگاه‌ها را به عنوان یک مکان شهری، عامل غنای کیفی شهر سازند. در این شماره موضوع پله در ایستگاه قطار شهری مورد تحلیل و جزءبینی قرار می‌گیرد.



تعدد پله‌ها در ایستگاه‌های قطار شهری و لزوم گذر در میان ترازهای مختلف اغلب موجب جلب توجه طراح شده و دستمایه خلق فرم و فضا می‌گردد.



شکل ۲- Nordpark Cable Railway / Zaha Hadid



شکل ۳- Liege-Guillemins TGV Railway Station / Santiago Calatrava's

چالش‌ها و مسائل مربوط به طراحی پله در موضوعات زیر قابل بررسی می‌باشد:

- ویژگی‌های طراحی معمارانه پله؛
- ضوابط طراحی پله؛
- ظرفیت‌سنجی.

۱) ویژگی‌های طراحی معمارانه پله

- فرم پله با پیشینه‌ای که در ذهن کاربر دارد مفاهیمی چون رشد و تکامل، پیشرفت و حرکت رو به بالا را القا می‌کند. مفهوم پلکان در لغت‌نامه دهخدا با گزاره "پله‌های متوالی از پایین به بالا ساخته" تعریف شده است با این پیشینه ذهنی در ادراک فرم پله در بسیاری موارد در طراحی ایستگاه قطار شهری با برداشتن جداره‌های دو طرف پله و طرح آزادانه آن در فضا از ویژگی مجسمه‌وار پله استفاده شده است. فرم پله در ماهیت خود القای جهت می‌کند و طرح آزاد آن در فضا موجب خوانایی معماری می‌گردد. این موضوع به ویژه در ایستگاه‌های زیرزمینی حائز اهمیت است و ارتباط و جهت‌یابی در فضاهای زیرین را با سطح زمین در ذهن کاربر حفظ می‌نماید.

بر این اساس بهتر است تا حد امکان در طرح‌ریزی ساختمان ایستگاه (علیرغم مشکلات سازه‌ای) از پله‌های آزاد و بدون جداره بسته استفاده کرد.



شکل ۴- پله‌های دسترسی به سکو در ایستگاه شاهد - خط یک شیراز

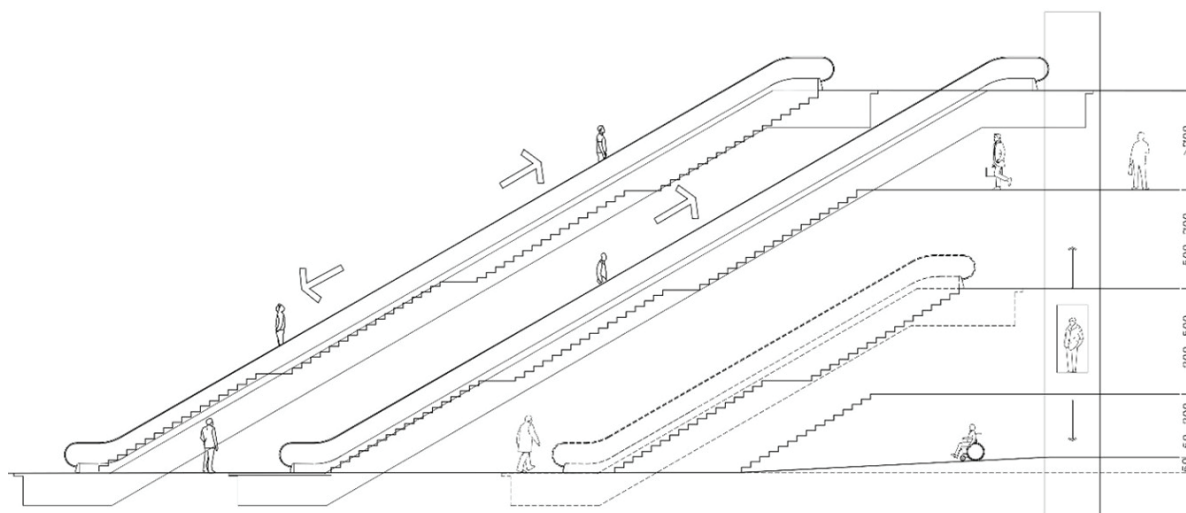
- در فضاهای پرجمعیت مانند ایستگاه‌ها، حرکت بر روی پله نیازمند دقت زیاد می‌باشد؛ لذا اطلاعاتی که از فضا به مخاطب ارائه می‌گردد باید کاملاً برنامه‌ریزی شده و به اندازه باشد. استفاده از تابلوهای تبلیغاتی یا هنری در مجاورت پله‌ها مناسب نیست. نکته قابل توجه دیگری که باید در هنگام طراحی جداره‌ها و سقف پلکان مدنظر قرار گیرد، خطوط جهت دهنده در فضا می‌باشد. لازم است این خطوط عمود بر خط افق (و نه عمود بر شیب پله) طراحی شوند بخصوص در مواقعی که جداره‌های پله بسته است، استفاده از خطوط غیرقائم موجب تضعیف احساس تعادل کاربران می‌گردد و احتمال سقوط از پله بوجود می‌آورد. برای مثال در صورتیکه از مصالحی نظیر ورق‌های کامپوزیت یا سنگ شیاردار برای نازک‌کاری دیوار پله استفاده می‌شود، لازم است خطوط بین قطعات، عمود بر خط افق طراحی شوند و بدلیل کم کردن پرت مصالح یا دشواری اجرا، مجاز به نصب سنگ‌ها بصورت مایل و عمود بر شیب پله نیستیم.
- بطور معمول حرکت رو به بالا در پله‌ها دشوارترین عملی است که مسافرین ایستگاه انجام می‌دهند. مطابق یک نظرسنجی در صورتیکه عامل سختی بالا رفتن از پله را با ضریب ۴ مشخص کنیم این فاکتور برای سایر فعالیت‌های معمول در یک ایستگاه عبارت است از:

- ضریب نشست در قطار: ۱
- ضریب حرکت بوسیله پله برقی و آسانسور: ۱/۵
- ضریب قدم زدن در راهرو بدون وجود مانع و بدون ایستادن‌های ضروری: ۲
- ضریب پایین آمدن از پله: ۲/۵
- ضریب ایستادن و انتظار غیرضروری (نظیر تاخیر در ارسال قطارها): ۳

بر این اساس با توجه به دشواری حرکت در پله‌ها در طرح‌ریزی نظام حرکتی ایستگاه برای دسترسی بین دو نقطه به هیچ وجه نباید از مسیرهای مضاعف و زائد بخصوص در پله‌ها استفاده کرد. برای مثال در صورتیکه برای دسترسی به یک ورودی در سمت مقابل خیابان نیاز به پایین رفتن و بالا آمدن مضاعف از پله در تراز سالن بلیت باشد، اغلب مسافران از آن ورودی استفاده نمی‌کنند و جریان حرکت به سطح خیابان منتقل می‌شود که موجب اختلال حرکت سواره و پیاده خواهد شد.

- با توجه به دشواری حرکت در پله در اکثر ایستگاه‌ها از پله برقی بخصوص در جهت رو به بالا استفاده می‌گردد. در هر خط مترو براساس سیاست‌های شهر و میزان هزینه‌ای که برای ایستگاه‌های یک خط مشخص می‌گردد، ضابطه‌ای برای استفاده از پله برقی تصویب می‌گردد که در طرح‌ریزی ایستگاه‌ها ملاک عمل قرار می‌گیرد. بطور معمول در طرح‌ریزی نظام حرکتی ایستگاه در موارد زیر از پله برقی استفاده می‌گردد:

- در اختلاف تراز کم‌تر از ۳ متر نیازی به استفاده از پله برقی نیست؛
- در اختلاف تراز بین ۳ تا ۵ متر نیازی به پله برقی نیست اما در شرایط خاص بنابر میزان لوکس بودن فضا یا میزان تقاضای سفر در یک ایستگاه در جهت بالارونده می‌توان از پله برقی استفاده نمود؛
- در اختلاف تراز بین ۵ تا ۷ متر لازم است در جهت بالارونده پله برقی نصب گردد اما می‌توان در جهت پایین‌رونده از نصب پله برقی صرف‌نظر نمود. در این حالت با توجه به میزان تقاضای سفر در یک ایستگاه، نصب پله برقی در جهت پایین‌رونده نیز توصیه می‌گردد؛
- در اختلاف تراز بیشتر از ۷ متر لازم است در هر دو جهت پله برقی نصب شود.



x اندازه‌ها به سانتیمتر است.

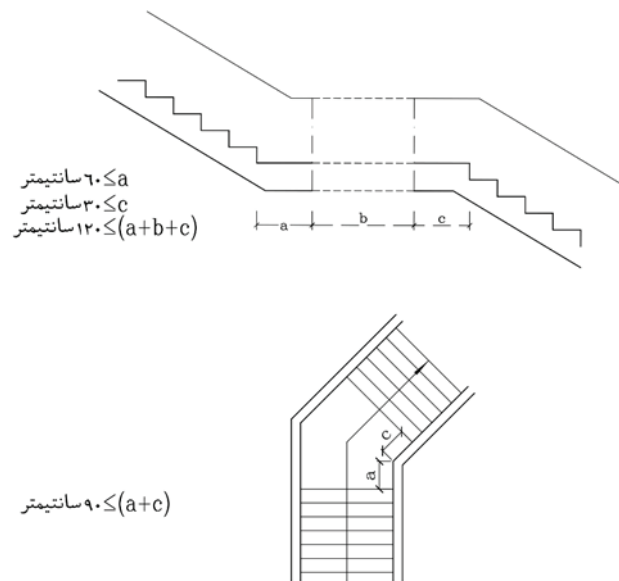
شکل ۵- عناصر ارتباط عمودی متناسب با اختلاف ارتفاع

- همجواری نرده با پله‌ها همواره جزء لاینفک طرح است. بی‌توجهی به طرح نرده می‌تواند ویژگی‌های فرم پله را تضعیف سازد. در برخی مواقع جهت حفظ ویژگی‌های بصری پله، طراحی نرده‌های شفاف مورد استفاده طراح قرار می‌گیرد و پیرو آن استفاده از مصالحی نظیر شیشه پیشنهاد می‌گردد. در این مورد توجه به الزامات طراحی برای حرکت کم‌بینایان ضروری است.

۲) ضوابط طراحی پله

بر اساس ضابطه شماره ۸۰۴ سازمان برنامه و بودجه کشور در طراحی پله‌های ایستگاه قطار شهری لازم است موارد زیر مورد توجه طراح قرار گیرد:

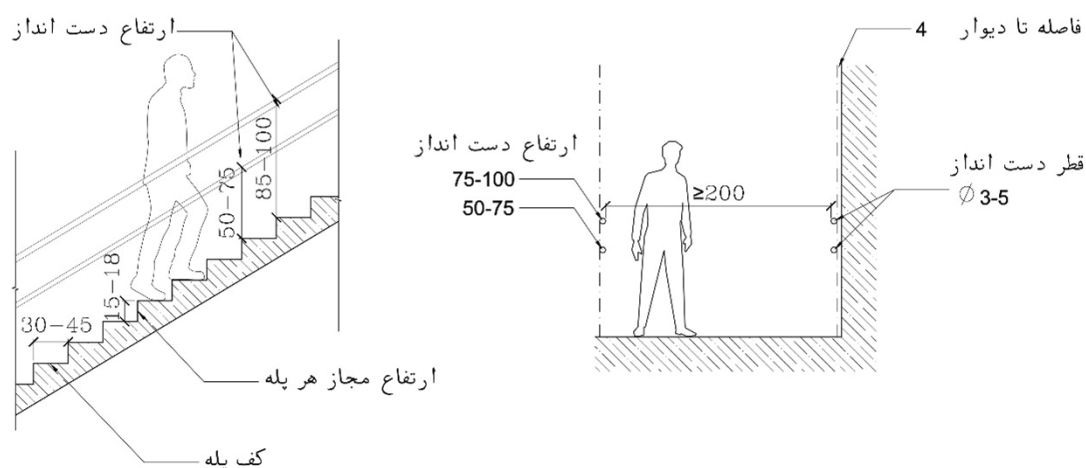
- توصیه می‌گردد جهت پله‌های ورودی با جریان حرکت در معابر شهری موازی باشد در غیر این صورت لازم است عقب نشینی پله‌ها از جریان حرکت عمود بر آن رعایت شود؛
- طرح‌ریزی پله‌های پیچشی و دوار در ایستگاه مجاز نمی‌باشد؛
- حداقل عرض راه‌پله‌ها بدون در نظر گرفتن نرخ متغیر جریان عبور مسافران، در پله‌های با یک جهت حرکت ۲ متر و با امکان حرکت در دو جهت ۲/۴ متر است. در این ارتباط لازم است این عرض در فاصله داخلی دستگیره‌های طرفین پله تامین گردد.
- حداقل ارتفاع عمودی راه‌پله‌ها از خطی که لبه پله‌ها را به هم متصل می‌کند تا زیر سقف کاذب ۲/۴ متر است.
- لازم است حداقل سه پله در هر راه‌پله وجود داشته باشد.
- ارتفاع مجاز هر پله بین ۱۵ تا ۱۸ سانتیمتر و به تناسب آن کف پله‌ها باید بین ۳۰ تا ۴۵ سانتیمتر عرض داشته باشند.
- قوس لبه پله‌ها تا شعاع ۰/۶ سانتیمتر بدون بیرون زدگی مجاز است.
- حداکثر تعداد پله‌های قابل طرح بین دو پاگرد در ایستگاه‌ها ۱۸ عدد است. این تعداد تنها برای پله‌های دسترسی به سطح خیابان تا ۲۰ عدد قابل افزایش است.
- حداقل طول پاگرد در پله‌های مستقیم ۱/۲ متر است. در صورت چرخش در پاگرد که منجر به صفر شدن متغیر b در تصویر زیر می‌گردد مجموع طول پاگرد به ۹۰ سانتیمتر قابل کاهش است (شکل ۶).



شکل ۶- حداقل طول پاگرد در پله‌ها

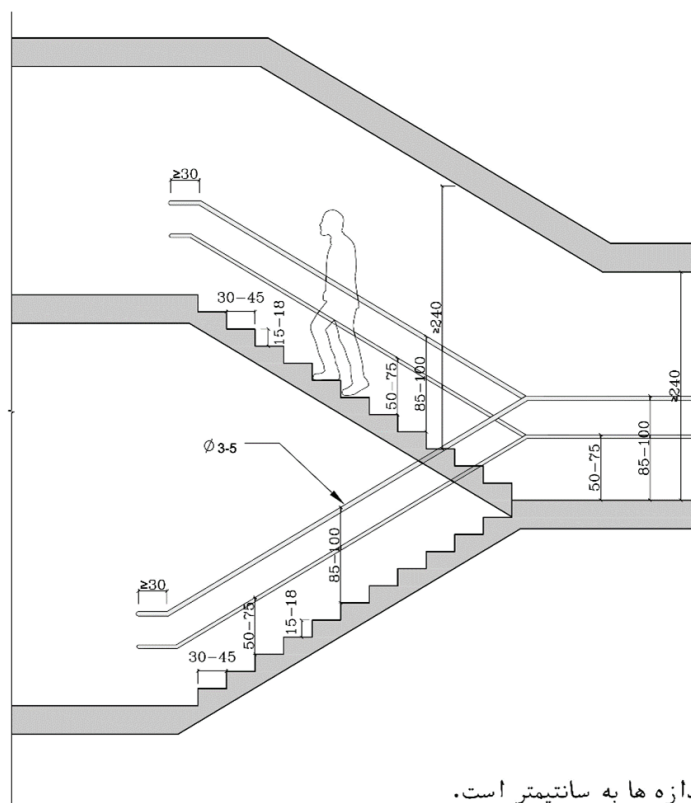
- در صورتیکه در طرح‌ریزی راه‌پله طراح مجبور به در نظر گرفتن چرخش در پاگرد است توصیه می‌گردد چرخش در پاگردها با زاویه‌ای کمتر از ۹۰ درجه صورت گیرد تا کل مسیر حرکت قابل دیدن باشد و نقطه کور در امتداد مسیر بوجود نیاید.
- در صورتیکه در یک مسیر حرکتی راه‌پله‌ها در امتداد سایر اجزای با نرخ جریان حرکت متفاوت (نظیر راهروها) قرار بگیرند توصیه می‌شود که با تغییر عرض موثر، ظرفیت عبور در کل مسیر حرکت یکسان برنامه‌ریزی شود و در صورت عدم امکان این امر لازم است مساحت مورد نیاز برای فضای صف قبل از اجزای با ظرفیت عبوری کمتر محاسبه و در طراحی در نظر گرفته شود.
- لازم است در هر دو طرف پله دست‌انداز طراحی شود. ارتفاع عمودی دست‌انداز از خطی که لبه پله‌ها را به هم متصل می‌سازد محاسبه می‌گردد. بر این اساس لازم است دست‌اندازها در دو تراز طراحی شوند دست‌انداز بالا در تراز بین ۸۵ سانتیمتر تا یک متر و دست‌انداز پایین در ارتفاع بین ۵۰ تا ۷۵ سانتیمتر قرار می‌گیرند (شکل‌های ۷ و ۸).

- توصیه می‌شود همواره جهت پله‌های دسترسی به سکو به موازات راستای سکو باشد؛
- لازم است در پله‌های عریض (عرض بیشتر از ۴ متر) یک دست‌انداز در وسط پله نیز در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود دست‌انداز میانی به صورت دو طرفه باشد تا از هر دو طرف به راحتی قابل استفاده شود. در صورتی که راه‌پله دارای دست‌انداز میانی باشد لازم است به عرض راه‌پله ۳۰ سانتیمتر افزوده شود (شکل ۷)؛
- دست‌اندازهای مدور باید قطری مابین ۳ تا ۵ سانتیمتر داشته باشند (شکل‌های ۷ و ۸)؛
- بین دست‌انداز و دیوار باید حداقل ۴ سانتیمتر فاصله وجود داشته باشد (شکل ۷)؛
- دست‌اندازها باید در ابتدا و انتهای پله‌ها و شیب‌راه‌ها، حداقل تا ۳۰ سانتیمتر به صورت افقی ادامه یابند (شکل ۸)؛



x اندازه‌ها به سانتیمتر است.

شکل ۷- مشخصات عمومی راه‌پله و دست‌اندازها



x اندازه‌ها به سانتیمتر است.

شکل ۸- مشخصات عمومی راه‌پله و دست‌اندازها

۱-۳) حرکت در راه‌پله‌ها

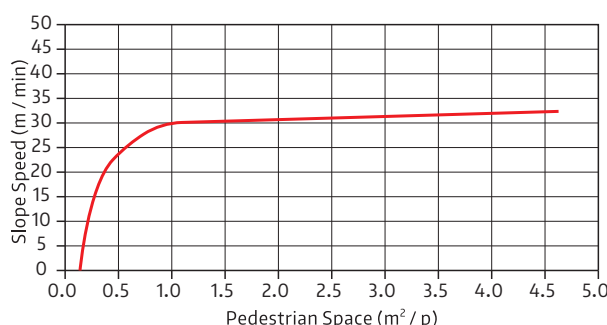
ظرفیت یک راه‌پله تحت تاثیر عرض آن قرار دارد. بر خلاف جریان حرکت مسافران در یک مسیر افقی (راهروها)، افراد بر روی پله‌ها در یک خط یا خطوط مشخص حرکت می‌کنند و کمتر تغییر مسیر می‌دهند. عرض راه‌پله تعیین کننده تعداد خطوطی است که مسافران می‌توانند از پله عبور کنند. همچنین عرض پله، فاصله بین افراد را تعیین می‌کند و از این نظر توانایی مسافران برای سبقت گرفتن از کسانی که با سرعت کمتر حرکت می‌کنند، تعیین می‌گردد. براساس تجربیات، هر یک از خطوط عبور مسافران در پله‌ها عرض ۷۵٪ متر اشغال می‌کنند و از این نظر عرض پله می‌تواند ظرفیت آن را مشخص نماید.

برخلاف راهروها در راه‌پله‌ها حرکت در دو جهت می‌تواند به طرز چشمگیری باعث کاهش ظرفیت شود، یک جریان حرکتی خلاف جهت اصلی هر چند شامل تعداد اندکی گردد، یک خط حرکت برابر با ۷۵٪ متر را به خود اختصاص می‌دهد. برای مثال در راهرویی به عرض ۱/۵ متر حرکت برخلاف جریان اصلی بیش از نیمی از کل ظرفیت را به خود اختصاص می‌دهد.

از آنجا که مسافران برای بالا رفتن از راه‌پله نسبت به پایین آمدن نیروی بیشتری صرف می‌کنند، نرخ جریان عبور مسافران در مسیر بالارونده کمتر می‌باشد. از این رو وقتی راه‌پله‌ای به هر دو جهت حرکتی سرویس‌دهی می‌کند و یا هنگامی که یک راه‌پله در ساعاتی از روز در جهت حرکت رو به پایین و در ساعاتی دیگر در جهت رو به بالا سرویس می‌دهد، باید نرخ جریان عبور مسافران در جهت بالارونده ملاک طراحی قرار گیرد. در پله‌ها سرعت حرکت در جهت رو به بالا در بازه بین ۱۲ متر در دقیقه تا ۲۱ متر در دقیقه (حرکت به صورت عمودی محاسبه شده است) و سرعت حرکت رو به پایین بین ۱۷ متر در دقیقه تا ۳۱ متر در دقیقه می‌باشد.

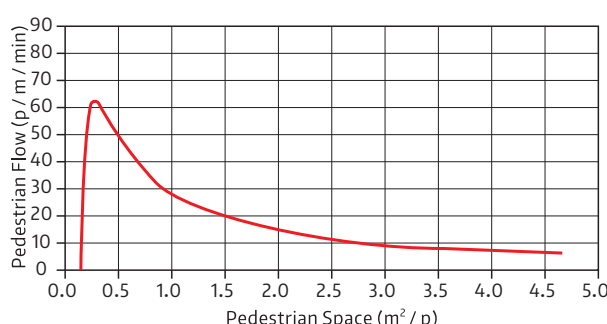
سرعت حرکت رو به بالا در راه‌پله‌های طولانی‌تر کاهش می‌یابد. بطور کلی در طرح‌ریزی ایستگاه، متوسط سرعت ۱۵ متر در دقیقه در جهت رو به بالا و ۱۸ متر در دقیقه برای جهت حرکت رو به پایین در نظر گرفته می‌شود.

زاویه راه‌پله بر راحتی، امنیت و سرعت مسافران تاثیر می‌گذارد. پله‌هایی با شیب کمتر، سرعت حرکت مسافران را در فواصل عمودی کاهش می‌دهند اما سرعت حرکت را در جهت افقی افزایش داده و بر میزان راحتی و امنیت مسافران می‌افزایند. نمودار زیر (شکل ۹)، ارتباط بین افزایش سرعت حرکت و فضای لازم برای مسافران را نشان می‌دهد. این نمودار بیانگر آن است که سرعت حرکت بر روی پله تا رسیدن به متوسط فضای ۹٪ متر مربع برای هر نفر روند افزایشی دارد و در صورتی که سطح اختصاص یافته به هر نفر از ۱/۹ متر مربع بیشتر باشد، مسافران می‌توانند آزادانه سرعت حرکت خود را انتخاب کنند.



شکل ۹- نمودار رابطه تراکم با سرعت در پله

نمودار زیر (شکل ۱۰) ارتباط بین نرخ جریان عبور و فضای لازم برای مسافران در جهت بالارونده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار رابطه تراکم با نرخ عبور در پله

چنانچه مشاهده می‌شود، حداکثر جریان عبوری رو به بالا در تراکم $\frac{1}{3}$ متر مربع برای هر نفر صورت می‌گیرد. در صورتی که سطح کمتری برای هر مسافر فراهم آید، سرعت حرکت از حد معمول کمتر خواهد بود و طراحی براساس کندترین سرعت حرکت صورت می‌گیرد. هر چند که حداکثر نرخ جریان عبور مسافران نشانگر ظرفیت راه‌پله است، اما این میزان مبنای مناسبی برای طراحی نمی‌باشد (مگر در شرایط خاص مانند شرایط اضطراری). در این حالت افزایش سرعت، محدود شده و امکان توقف‌های مکرر در طول مسیر و تشکیل صف افزایش می‌یابد، امنیت و آسایش مسافران از بین می‌رود و کارایی فضا محدود می‌گردد.

۳-۲) ترازهای سرویس‌دهی در راه‌پله‌ها

عرض لازم برای راه‌پله‌ها بر مبنای دستیابی به شرایط آسایش مطلوب تعیین می‌شود. ترازهای سرویس‌دهی در راه‌پله‌ها به متوسط فضای لازم برای هر مسافر و متوسط نرخ جریان عبور بستگی دارد. جدول (۱) ضوابط مربوط به ترازهای سرویس‌دهی مناسب (LOS) برای راه‌پله را نشان می‌دهد. تراز بین "E" تا "F" با عبور ۵۶ مسافر بر متر در دقیقه نشانگر ظرفیت راه‌پله می‌باشد اما نمی‌تواند شرایط آسایش مطلوبی برای مسافران فراهم آورد. ترازهای "E" و "F" صرفاً در زمان تخلیه اضطراری می‌توانند ملاک عمل باشند. بطور معمول در ایستگاه‌های قطار شهری تراز سرویس‌دهی "C" برای پله‌هایی که برای حرکت دو طرفه برنامه‌ریزی شده‌اند ملاک محاسبه قرار می‌گیرد و تراز سرویس‌دهی "D" برای پله‌هایی که برای حرکت یک طرفه برنامه‌ریزی شده‌اند بکار گرفته می‌شود.

جدول ۱- تراز سرویس‌دهی در پله

LOS	میانگین فضای مسافران (مترمربع بر نفر)	نرخ عبوری مسافران در واحد عرض (نفر بر دقیقه بر متر)	ویژگی‌های فضایی
A	$\geq 1/9$	$16 \leq$	فضای کافی برای انتخاب آزادانه سرعت و عبور مسافران وجود دارد. حرکت جهت مقابل برخوردها را محدود می‌کند.
B	$1/4 - 1/9$	$16 - 23$	فضای کافی برای انتخاب سرعت وجود دارد، برای عبور مسافران خیلی کند، کمی محدودیت وجود دارد. حرکت در دو جهت با کمی برخورد صورت می‌گیرد.
C	$1/4 - 0/9$	$23 - 33$	سرعت حرکت کمی محدود می‌گردد در نتیجه عبور برای مسافران کند محدود است. حرکت در دو جهت گاهی با برخورد بین مسافران صورت می‌گیرد.
D	$0/9 - 0/7$	$33 - 43$	سرعت حرکت محدود است. عبور برای مسافران کند مقدور نیست. حرکت در دو جهت با برخورد زیاد بین مسافران صورت می‌گیرد.
E	$0/7 - 0/4$	$43 - 56$	سرعت همه مسافران کاهش می‌یابد. حرکت با توقف‌های پی‌درپی روبرو است و حرکت در دو جهت با برخوردهای بسیار زیاد بین مسافران صورت می‌گیرد.
F	$\leq 0/4$	متغیر	اختلال کامل در جریان عبور مسافران وجود دارد. حرکت با توقف‌های بسیار زیاد همراه است و سرعت حرکت وابسته به سرعت کندترین مسافر می‌باشد.

۳-۳) روند محاسبه و تعیین عرض پله

- بر مبنای تراز سرویس‌دهی مطلوب حداکثر نرخ جریان عبور از جدول تعیین می‌گردد (نفر بر دقیقه بر متر).
- نرخ جریان عبور یک دقیقه پیش‌بینی شده برای ایستگاه براساس تقاضای سفر در ساعت اوج محاسبه می‌گردد.
- تقاضای سفر در ساعت اوج براساس مطالعات فرادست ترافیکی قابل برداشت است (نفر بر دقیقه).
- عرض خالص پله با تقسیم نرخ عبور مسافر در دقیقه بر نرخ عبور مسافر در تراز سرویس‌دهی انتخاب شده محاسبه می‌گردد (متر).
- با در نظر گرفتن فاصله $\frac{1}{4}$ متر از لبه پله تا دیوار طرفین پله عرض مورد نیاز پله بدست می‌آید. این افزایش $\frac{1}{8}$ متری در تبدیل عرض خالص پله به عرض مورد نیاز بدلیل آن است که کاربران در حرکت بر روی پله‌ها از دیوارهای مجاور فاصله می‌گیرند و از لبه‌های انتهایی پله حرکت نمی‌کنند. لذا در صورتیکه دیوارهای طرفین بصورت قوسی باشند، افزایش عرض ضروری نیست.



ضرورت وجود لینک ارتباطی بین خطوط در شبکه مترو دکتر سید حسام موسوی

۱) مقدمه

لینک ارتباطی بین خطوط متروی شهری جهت تبادل ناوگان می‌تواند برای اهداف زیر طراحی و اجرا شود:

- کاهش هزینه‌های احداث خطوط با طراحی و احداث یک دپوی جامع مشترک برای دو یا چند خط و انتقال ناوگان خطوط مختلف از طریق لینک‌های ارتباطی بین خطوط به این دپو؛
- ایجاد امکان استفاده از دپوی خطوط دیگر برای خط یا خطوطی که به دلیل موقعیت قرارگیری آن‌ها در شهر، امکان طراحی و احداث دپو برای آن‌ها در شروع بهره‌برداری وجود ندارد و بخشی از طول آن‌ها احداث و آماده بهره‌برداری بوده ولیکن پایانه آن‌ها احداث نشده است؛
- کاهش هزینه‌های ناشی از کاهش تعداد ناوگان به دلیل امکان انتقال ناوگان بین خطوط در ساعات اوج و هدوی‌های متفاوت در طول روز برای هر خط یا ساعات اوج موردی، مناسبتی، فصلی و... در هر یک از خطوط؛
- صرفه‌جویی در خرید تجهیزات متحرک از جمله تجهیزات شستشوی تونل، امداد و نجات و...؛
- سهولت در عملیات امداد و نجات و کاهش زمان آن و متعاقباً کاهش زمان مسدود شدن خطوط در زمان حوادث با توجه به افزایش دسترسی‌ها به محل حادثه از خطوط مختلف و نیز ایجاد امکان استفاده از تجهیزات مستقر در خطوط دیگر؛
- استفاده موقت از خطوط لینک ارتباطی به عنوان پارکینگ یا محل پارک اضطراری در صورت خرابی یک قطار؛
- وارد کردن قطار به خطوطی که به دلیل موقعیت شهری آن‌ها، امکان باراندازی ناوگان در پایانه آن‌ها وجود نداشته و یا اساساً پایانه خط احداث نشده است.

لازم به ذکر است که اعلام نظر قطعی در خصوص احداث لینک ارتباطی بین خطوط مترو، علاوه بر معیارهای ذکر شده نیازمند آنالیز فنی-اقتصادی و همچنین ملاحظات کارفرمایی نیز بوده و بنابراین تصمیم در این خصوص وفق شرایط خاص هر پروژه می‌بایست مورد بررسی دقیق قرار گیرد.

۱۰

۲) روش امکان‌سنجی طراحی و احداث لینک ارتباطی بین خطوط

قبل از هرچیزی، لازم است با توجه به موقعیت دو خطی که در نظر است بین آن‌ها لینک ارتباطی احداث شود، امکان احداث لینک بررسی شود. موارد زیر می‌تواند در موضوع امکان‌سنجی تأثیرگذار باشند:

- موقعیت دو خط از نظر پلان نسبت به همدیگر (تقاطع دو خط یا عبور از مجاورت یکدیگر)؛
- اختلاف ارتفاع دو خط (از نظر پروفیل) در موقعیت مورد نظر برای طراحی و احداث لینک و امکان تأمین شیب و قوس قائم قابل قبول؛
- امکان طراحی هندسی لینک در محل مورد نظر و تأمین حداقل شعاع قوس قابل قبول و زاویه انشعاب مناسب؛
- امکان اجرای لینک با روش‌های ممکن و مناسب با توجه به شرایط ژئوتکنیکی، آب زیرزمینی، زمین‌شناسی و...؛
- امکان اجرای لینک با توجه به وجود سازه‌های خاص فرهنگی و میراثی؛
- وجود بافت مسکونی در مسیر لینک؛
- ابنیه موجود در محدوده مانند ساختمان‌ها، پل‌ها، راه‌ها و... و نیز سازه‌های زیرزمینی و بررسی تأثیرات لینک بر روی آن‌ها در زمان ساخت و بهره‌برداری؛
- تأسیسات زیربنایی موجود در محل و امکان حفظ یا جابجایی آن‌ها؛
- تملک احتمالی مورد نیاز و امکان‌سنجی آن.

۳) بررسی توجیه اقتصادی احداث لینک ارتباطی

پس از امکان‌سنجی طراحی و احداث لینک، لازم است توجیه اقتصادی موضوع بررسی شود. برای این منظور باید گزینه‌های که در بین سایر گزینه‌های لینک از نظر فنی و اقتصادی بهترین است، از نظر اقتصادی در دو حالت احداث و عدم احداث لینک بررسی شود. به عبارت دیگر باید تمامی هزینه‌های مربوط به احداث لینک با صرفه‌جویی‌های ناشی از احداث آن مقایسه و در صورت داشتن توجیه، نسبت به طراحی و احداث لینک اقدام شود. در خصوص هزینه‌های تملک لازم است امکان استفاده از روی سطح زمین پس از احداث لینک در زیر زمین و آورده‌ی ناشی از این موضوع نیز در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که وجود برخی عواملی ناشی از ملاحظات کارفرمایی و بهره‌برداری در کوتاه مدت و میان مدت، ممکن است طراحی و احداث لینک را علیرغم نداشتن توجیه اقتصادی، اجباری نماید (بعنوان مثال عدم امکان احداث دیو برای یک یا چند خط و...)؛ که در این گونه موارد بررسی توجیه اقتصادی منتفی بوده و طراحی و احداث لینک با در نظر گرفتن ملاحظات خاص و تصمیم کارفرما صورت خواهد پذیرفت.

۴) معیارهای ارزیابی و اولویت‌بندی لینک‌های ارتباطی از دیدگاه بهره‌برداری

به‌طور کلی استفاده از لینک‌های ارتباطی بین خطوط یک شبکه مترو با کاربری عمده ذیل صورت می‌پذیرد:

- بهره‌گیری موقت از قطارهای یک خط جهت راه‌اندازی زودهنگام خط در دست ساخت (بدون قابلیت ATO و با استفاده از دید راهبر و سیگنال‌های کنارخطی)؛
- استفاده از زیر ساخت تعمیراتی در نظر گرفته شده به‌عنوان دیو جامع و تعمیرگاه مرکزی در یکی از خطوط شبکه متروی شهری؛
- انعطاف‌پذیری مدیریت بهره‌برداری شبکه و استفاده جهت انجام مفاهیم ایمنی، امداد و نجات و ایجاد دسترسی میانی به یک خط به هنگام وقوع حوادث (این هدف نسبت به دو هدف پیشین از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد).

بر این اساس پیشنهاد می‌شود که جهت اولویت‌بندی احداث لینک ارتباطی در یک شبکه مترو شهری بر اساس معیارهای تنظیم شده در جدول ۱ (تیپ) نسبت به تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب گزینه برتر اقدام شود:

۵) بررسی وضعیت فعلی لینک‌های ارتباطی در خطوط متروی برخی از شهرهای ایران

وضعیت طراحی و احداث لینک ارتباطی بین خطوط متروی چندین شهر و دلیل احداث یا عدم احداث آن بر اساس بررسی انجام شده به اختصار در ذیل اشاره شده است:

- **اصفهان:** در موقعیتی که خطوط همدیگر را قطع می‌کنند، لینک ارتباطی پیش‌بینی شده است. مشاور خطوط قطار شهری را در قالب یک شبکه دیده و حتی اگر یک خط، خط دیگر را در دو جا قطع نماید، در هر دو تقاطع لینک دیده شده است. هدف از احداث لینک، تغذیه ناوگان، امداد و نجات، تأمین همدی و... می‌باشد.
- **تهران در خطوط موجود:** در هر تقاطعی که امکان اجرای لینک وجود داشته است، لینک ارتباطی موضوعی اولویت‌دار از نظر بهره‌برداری بوده است. لیکن در این خصوص شرط امکان‌پذیر بودن لینک، زاویه تقاطع باز جهت افزایش شعاع قوس در محل اجرای لینک و عدم عبور لینک از زیر ساختمان‌ها بوده است. یکی دیگر از دلایل اصلی اجرای لینک، نبود پایانه در برخی از خطوط (موقت یا دائمی) و وارد کردن قطار به خطوط به تازگی تکمیل شده و تأمین ناوگان خطوط در ساعات اوج و جبران کسری ناوگان می‌باشد.
- **شیراز:** بین خطوط ۱ و ۲ و همچنین ۲ و ۴، لینک دیده شده و اجرای آن در برنامه می‌باشد. دلیل پیش‌بینی لینک، استفاده از ظرفیت دیو اصلی بوده و البته در مواقع اضطراری نیز لینک کارایی خواهد داشت.
- **اهواز:** بین خطوط ۱ و ۲ پیش‌بینی شده بوده اما اجرا نشده است. و علت صعوبت اجرای آن بوده است. لازم به ذکر است که در این خطوط دیو و زیرساخت‌های تعمیراتی مستقل از هم پیش‌بینی شده است.
- **قم:** به دلیل اختلاف کد زیاد بین دو خط، امکان طراحی و اجرای لینک وجود نداشته است.
- **خطوط ۱ و ۲ قطار شهری تبریز:** بین این دو خط لینک ارتباطی برنامه‌ریزی شده است. دلیل این امر طبق اطلاعات دریافت شده، وابستگی خطوط ۱ و ۲ از دیدگاه تعمیراتی می‌باشد.

- جدول ۱

آلترناتیو n		آلترناتیو ۱		امتیاز مرجع			درصد وزنی	ارتباط با خط/خطوط مترو
امتیاز	موقعیت	امتیاز	موقعیت	بله ✓	خیر ✕	~		
				۵۰	~	۰	۱۶٪	اتصال بین خطوط از دیدگاه پلان و پروفیل ممکن می باشد؟ میزان صعوبت اتصال بین دو خط از دیدگاه پلان و پروفیل؟
				۷۰	~	۰	۲۳٪	آیا موقعیت لینک پیشنهادی در الویت اجرای <u>خط اصلی</u> می باشد؟
				۱۰	یا	۵	۳٪	تونل خط <u>غیراصلی</u> ساخته شده است؟
				۰	یا	۵	۲٪	روسازی خط <u>غیراصلی</u> اجرا شده است؟
				۰	یا	۵۰	۱۶٪	خط <u>غیراصلی</u> اکنون در حال بهره برداری است؟
				۴۰	یا	۰	۱۳٪	ساخته شده است یا الویت ساخت دارد؟
				۱۰	یا	۰	۳٪	امکان پوشش سطوح ۱ و ۳؟
				۱۵	یا	۰	۵٪	امکان پوشش سطوح ۴ و ۵؟
				۱۰	~	۱	۳٪	میزان کیلومتر از دسترسی به دپو خط <u>غیراصلی</u>
				۵	~	۰	۲٪	ارتباط ریلی خط غیراصلی با سایر خطوط
				۲۰	یا	۰	۷٪	ساخته شده است یا الویت ساخت دارد؟
				۵	یا	۰	۲٪	امکان پوشش سطوح ۱ و ۳؟
				۱۰	یا	۰	۳٪	امکان پوشش سطوح ۴ و ۵؟
				۵	یا	۰	۲٪	میزان کیلومتر از دسترسی به دپو در <u>خطوط</u> <u>فرعی از خط اصلی</u>
				۳۰۵			حداکثر امتیاز	
				نرمال شده به بیشترین امتیاز کسب شده				



دستورالعمل همسان نقشه برداری بنیادین احداث مترو (قطار شهری) مهندس منوچهر موسوی زاده

مقدمه

مفاهیم پایه نقشه برداری بنیادین پروژه های عمرانی در وسعت یا طول زیاد براساس علم ژئودزی (Geodesy) است. ژئودزی علم تعیین موقعیت نقاط واقع بر روی سطح زمین به منظور تعیین شکل و ابعاد زمین، تعیین میدان ثقل و بررسی تغییرات زمانی آنها است که شاخه های اصلی آن یعنی ژئودزی هندسی، ژئودزی فیزیکی (Physical geodesy) و ژئودینامیک (Geodynamics) را شامل می شود. بنابر تعریف فوق ژئودزی کلاسیک (سنتی) و ژئودزی ماهواره ای، در مقیاس های بزرگ و کوچک و با دقت های معین مربوطه، در حیطه کار ژئودزی هندسی قرار می گیرند که در این دستورالعمل مورد توجه قرار گرفته اند. ثقل سنجی، تراز یابی و تعیین ژئوئید از موضوعات مربوط به ژئودزی فیزیکی و تعیین حرکات مسطحاتی و قائم سطح زمین مربوط به ژئودینامیک است. بخش های مختلف این دستورالعمل، شامل استانداردها و اصول تعیین موقعیت نقاط شبکه های پایه ژئودزی و محلی با سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) و همچنین استانداردها و اصول تراز یابی دقیق با ذکر ملاحظات اندازه گیری و محاسبات، می توانند بعنوان مشخصات فنی (Technical Specifications) نقشه برداری پایه پروژه های مذکور شناخته شوند.

۱) استاندارد شبکه بندی مسطحاتی نقاط پایه (ژئودزی)

از آنجائیکه تعیین موقعیت نقاط به روش کلاسیک وقت گیر و پرهزینه بوده و بخصوص در محدوده داخل شهرها، ترافیک شهری مانع بزرگی برای انجام مشاهدات زمینی است، شبکه بندی نقاط پایه با سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای (GPS) صورت می گیرد که در ادامه به شرح خصوصیات و دستورالعمل های مربوطه اشاره می شود.

۱-۱) طراحی

اولین گام در طراحی یک شبکه پایه GPS، تعیین میزان دقت مورد انتظار از شبکه است که با کمترین هزینه و زمان بتوان شبکه را ایجاد نمود و نیاز به مشاهدات اضافی نداشته باشد. عوامل اصلی در طراحی شبکه نقاط پایه عبارتند از:

- وسعت پروژه (منطقه)؛
- فاصله بین ایستگاه های شبکه؛
- چگونگی اتصال به شبکه های موجود؛
- وضعیت منطقه و دسترسی به ایستگاه ها (نقاط).

پس از در نظر گرفتن موارد فوق و براساس شعاع حداکثر ۳ تا ۴ میلیمتر برای دایره خطای نسبی ۰.۹۵٪ محل تقریبی نقاط انتخاب می گردد (برای انتخاب محل نقاط می توان از نقشه های ۱:۵۰۰۰ یا با مقیاس بزرگتر قابل تهیه از سازمان نقشه برداری کشور بهره برد).

تبصره ۱) توزیع ایستگاه ها (نقاط) شبکه پایه GPS باید حتی المقدور یکنواخت باشد و با توجه به طول باز پیشنهادی برای هر شبکه پایه فاصله هر نقطه با نقاط مجاور خود بیش از ۳۰٪ نسبت به هم اختلاف نداشته باشند.

تبصره ۲) حداکثر تعداد اضلاع شبکه بین دو نقطه مبنا مسطحاتی ۱۵ ضلع باشد و در صورت نیاز به اضلاع بیشتر نقاط مبنا بطور یکنواخت افزایش یابند.

شناسایی محل نقاط نقش بسیار مهمی در بهبود کار و حصول راندمان بیشتر دارد و به مجموعه عملیاتی اطلاق می گردد که از جستجو برای یافتن محل صحیح و مناسب برای نقاط شبکه آغاز و به انتخاب قطعی محل نقاط و علامت گذاری لازم خاتمه می یابد. بدین ترتیب جهت شناسایی نقاط باید پس از انجام طراحی شبکه، با استفاده از نقشه های موجود به محل عزیمت نموده و نقاط مشخص شده روی نقشه ها را از لحاظ موقعیت و وضعیت عوارض اطراف آن مورد بررسی قرارداد. در این بررسی موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

- محل ایستگاه دارای دید آسمانی باز باشد. تا امکان دریافت امواج ارسالی از ماهواره‌های GPS توسط گیرنده‌ها میسر باشد؛
- محل ایستگاه‌ها طوری انتخاب شود که حتی‌المقدور تا پایان پروژه دارای ماندگاری و استحکام زیاد باشد (حتی تعدادی نقطه بعد از اتمام پروژه نیز حفظ و نگهداری شوند)؛
- امکان اندازه‌گیری بر روی ایستگاه وجود داشته باشد؛
- دسترسی به ایستگاه ساده باشد و از انتخاب ایستگاه در مناطق نظامی یا دولتی با مجوزهای خاص خودداری گردد؛
- محل ایستگاه جهت اندازه‌گیری دارای امنیت کافی باشد؛
- محل ایستگاه طوری انتخاب شود که امکان تهیه مصالح برای ساخت آن وجود داشته باشد
- از انتخاب محل ایستگاه در مناطق پر رفت و آمد اجتناب شود؛
- از انتخاب محل ایستگاه در مجاورت سطوح منعکس کننده مثل ساختمان‌های شیشه‌ای، بام‌های شیروانی گالوانیزه، محل پارک وسایل نقلیه و... پرهیز گردد.

پس از انتخاب محل قطعی ایستگاه (نقطه) نسبت به علامت‌گذاری یا ساخت و تکمیل فرم شناسایی (شناسنامه ایستگاه) اقدام می‌شود. استفاده از یک دستگاه GPS دستی برای ثبت موقعیت تقریبی نقطه بسیار مفید است.

۲-۱) ساختمان محل نقطه

علامت‌گذاری محل نقاط در حین شناسایی نقاط انجام می‌شود و در برخی موارد ساختمان نقاط نیز همزمان با آن انجام می‌شود. نکته دیگر اینکه برای هر نقطه باید علائم راهنما یا مرجع نیز در نظر گرفته شود و کلیه اطلاعات لازم از جمله فاصله مایل بین ایستگاه و علائم راهنما و همچنین علائم راهنما نسبت به یکدیگر اندازه‌گیری و در شناسنامه مربوطه ثبت گردند.

۱-۲-۱) ساختمان نقاط شبکه اصلی (درجه یک)

با توجه به اینکه هدف از ایجاد شبکه اصلی، اتصال سیستم مختصات پروژه به شبکه نقاط سراسری (کشوری) و هماهنگی آن با پروژه‌های ملی دیگر است و علاوه بر آن، نقاط این شبکه بعنوان پایه و مرجع نقاط دیگر (فرعی) خواهند بود، ساختن پیلار ژئودزی با استفاده از بتن مسلح الزامی است.

تبصره: ساخت پیلار فقط منحصر به نقاط شبکه اصلی نمی‌باشد. در پروژه‌های اجرای تونل با حفاری مکانیزه (TBM) نقاط مشرف به شفت یا محل شروع حفاری TBM نیز باید بصورت پیلار ساخته شوند. برای ساخت پیلار در مناطق خاکی که امکان کندن زمین وجود دارد مطابق (شکل ۱) بصورت زیر عمل می‌شود.

- حفر زمین تا رسیدن به بستر پایدار طبق مشخصات زمین‌شناسی منطقه؛
- حداقل عمق حفاری باید معادل ارتفاع قسمت خارجی پیلار و سکوی مشاهده باشد؛
- ایجاد فونداسیونی به ابعاد $100 \times 150 \times 150$ سانتیمتر و ضخامت ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتر، متناسب با عمق حفاری؛
- مسلح کردن فونداسیون با آرماتور آجدار $\phi 18$ و نصب ۵ تا ۶ آرماتور آجدار درون فونداسیون، به طوری که در قسمت بالای پیلار به ۱۰ سانتیمتری زیر صفحه پایه برسد؛
- آرماتورهای نصب شده در عرض باید توسط خاموت به هم متصل گردند؛
- ایجاد سازه‌ای از بتن مسلح به شکل هرم ناقص چهار وجهی روی فونداسیون تا سطح زمین که سطح مقطع بالایی آن 40×40 سانتیمتر و سطح مقطع پایینی این سازه متناسب با عمق حفاری و حداقل ۵۰ سانتیمتر باشد؛
- قرار دادن یک لوله فولادی به قطر ۳۰ سانتیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر روی پی سنگی بطوری که آرماتورها داخل آن قرار بگیرند و در قسمت بالای پیلار به صفحه پایه برسد؛
- پر کردن لوله فولادی از بتن متناسب با وضعیت منطقه؛
- عایق‌بندی لوله فولادی با پشم شیشه یا پنبه نسوز برای کاهش اثرات تغییرات دما (برای نقاط در خارج از سد)؛
- قرار دادن لوله فولادی به قطر ۴۰ سانتیمتر و به ضخامت ۵ میلیمتر برای محافظت قسمت خارج از پی پیلار (برای نقاط در خارج از سد)؛
- نصب یک صفحه پایه از جنس استیل به قطر ۱۶ تا ۲۰ و ضخامت ۱/۵ سانتیمتر، با در نظر گرفتن یک پیچ در مرکز آن برای نصب دوربین و تارگت. پیچ نصب شده بر روی صفحه پایه باید قابلیت تعویض داشته باشد. صفحه پایه باید حداقل توسط سه دستک یا اهرم در بتن تثبیت شود؛

- تذکر:** در حین ساخت ییلار، شناسنامه نقطه تهیه گردد.

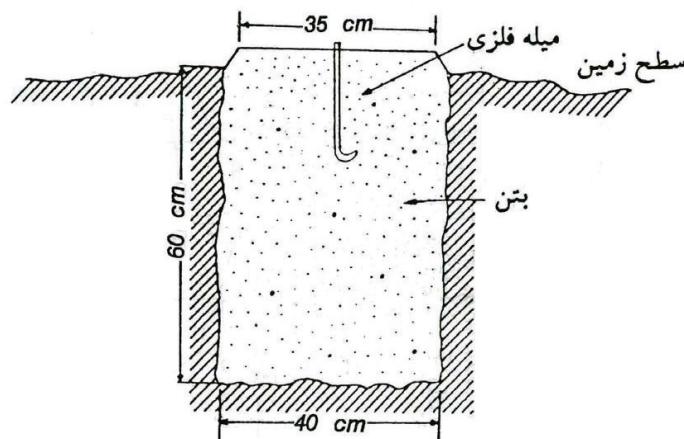


۲-۲-۱) ساختمان نقاط شبکه فرعی

بر اساس نوع عملیات نقشه برداری مورد نیاز در کارگاه‌های پروژه که عمدتاً پیاده کردن و یا برداشت موضوعات مختلف را شامل می‌شود، نقاط فرعی با دسترسی مناسب در نظر گرفته می‌شوند. ساختمان نقاط شبکه فرعی از نوع بتنی یا میله فلزی در سنگ می‌باشد. نحوه انتخاب نوع ساختمان بستگی به جنس زمین محل نقطه دارد.

۱-۲-۲-۱) مناطق غیر سنگی

در این حالت به حفر چاله‌ای با اضلاع 40×40 سانتیمتر مربع و عمق ۶۰ سانتیمتر اقدام نموده و سپس آن با ملات ماسه و سیمان (به نسبت ۳ به ۱) پر می‌شود. میله وسط بتن بطول ۲۰ سانتیمتر و قطر $1/5$ تا ۲ سانتیمتر با حک علامت + در بالای آن، داخل آن قرارداده، پس از پر شدن چاله، سر قالب بتن که سطح فوقانی آن مربعی به اضلاع ۳۵ سانتیمتر است روی آن قرارداده می‌شود (شکل ۲). سپس چاله با ملات پر و روی آن صاف می‌گردد و با یک لایه ملات نرم پوشانیده می‌شود. باید دقت شود میله تقریباً در وسط قالب قرار گیرد و تنها ۵ تا ۱۰ میلی‌متر از آن بیرون از بتن باشد. روی بتن در نیمه بالای آن (به سمت شمال) اسم یا علامت مشخصه پروژه و در قسمت پایین اسم یا شماره نقطه روی سطح بتن (ترجیحاً با استفاده از شابلن پلاستیکی) گود شود.



شکل ۲ - ساختمان نقطه فرعی در مناطق غیر سنگی

۲-۲-۲-۱) مناطق سنگی

در این مناطق که معمولاً در کوهستان‌های سنگی است، در انتخاب ایستگاه باید دقت بیشتری شود که لب پرتگاه نبوده و استقرار ثابت سه پایه و دوربین در آن میسر باشد.

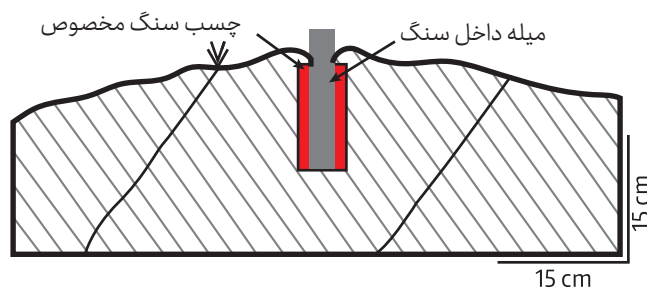
برای نشان دادن نقطه در مناطق سنگی از میله فلزی که در داخل سنگ کار گذاشته می‌شود، استفاده می‌گردد تا ثبات بیشتری داشته و در اثر عوامل جوی یا غیره کمتر آسیب‌پذیر باشد. قطر میله یک سانتیمتر یا بیشتر است که علامت + روی آن حک شده است. برای قراردادن میله در سنگ باید در محل نقطه سوراخی به قطر متناسب با قطر میله و به عمق حدود ۵ سانتیمتر ایجاد گردد. برای ایجاد سوراخ از مواد شیمیایی، مته‌های مخصوص یا قلم‌های نازک فولادی می‌توان بهره برد. میله در سوراخ بوسیله گوگرد یا ملات سیمان محکم می‌شود (شکل ۳).

دور نقطه روی سنگ مثلی به اضلاع ۱۰ سانتیمتر حک شود (عرض خطوط حدود ۱ سانتیمتر) بطوریکه نقطه تقریباً در مرکز مثلث باشد و یک رأس به سمت شمال باشد.

نام یا علامت مشخصه پروژه در بالا و نام ایستگاه زیر قاعده مقابل به رأس روی سنگ حک می‌گردد. سه علامت راهنما یا رفرنس روی سنگ‌های ثابت نیز انتخاب می‌گردد. این نقاط به شکل + به اضلاع حدود ۱۰ سانتیمتر روی سنگ حک شده و زیر آن اسم یا علامت مشخصه پروژه و حرف R با اندیس مربوطه (۱، ۲، ۳) حک می‌شود.

تبصره ۱) در صورتیکه تخته سنگ مناسب برای نقطه راهنما نباشد می‌توان در محل مناسب علامت راهنما را بصورت بتنی ساخت. **تبصره ۲)** دقت شود فاصله علائم راهنما از ایستگاه بیش از ۲۰ متر نباشد و فاصله مایل آنها از ایستگاه و از یکدیگر بطور دقیق اندازه‌گیری و ثبت گردد.

تذکره: حین ساختمان نقطه یا پس از آن، شناسنامه ایستگاه بطور کامل و با جزئیات تکمیل گردد.



شکل ۳- ساختمان نقطه در مناطق سنگی

۳-۲-۲-۱) در مناطق با سطح آسفالت، موزائیک و بتنی

گاهی اوقات بخصوص در سطح شهر ساخت نقطه بر روی آسفالت، موزائیک یا سطوح بتنی و مشابه آن الزام پیدا می‌کند. در این حالت به روش زیر عمل می‌شود.

- ۱- ابتدا سوراخی به عمق ۵ سانتیمتر و قطر ۲ سانتیمتر ایجاد گردد؛
 - ۲- میله‌های فلزی به قطر ۲ سانتیمتر و طول ۵ سانتیمتر با ملات سیمان در داخل آن تعبیه شود؛
 - ۳- میله‌ای به قطر ۲ سانتیمتر و طول ۱۰ سانتیمتر برای وسط بتن آماده شود؛
 - ۴- با استفاده از سرقالب به ابعاد $10 \times 40 \times 40$ سانتیمتر، بتنی به ابعاد فوق ساخته می‌شود و همزمان با بتن‌ریزی، میله مذکور در بند ۳، در وسط بتن قرار داده شود.
- تبصره:** برای استحکام بیشتر بتن میله‌ها باید چنان با گوگرد در کف جاسازی شوند که باقیمانده آن در داخل بتن قرارگیرد.

۳-۱) اندازه‌گیری

اندازه‌گیری شبکه‌های اصلی و فرعی پایه به سه بخش «روش اندازه‌گیری»، «وسایل و تجهیزات» و «عملیات صحرایی GPS» تقسیم می‌شود.

۱-۳-۱) روش اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری شبکه نقاط پایه از روش استاتیک استفاده می‌شود. در این روش حداقل به دو گیرنده که یکی روی نقطه معلوم و دیگری روی نقطه مجهول قرار گرفته و با رعایت مواردی که متعاقباً شرح داده خواهند شد، بصورت همزمان اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. معمولاً در روش استاتیک تنظیمات گیرنده مطابق (جدول ۱) است.

جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شبکه نقاط GPS به روش استاتیک

زاویه ارتفاعی بالاتر از	فاصله زمانی ثبت مشاهدات	حداقل تعداد ماهواره	حداکثر میزان GDOP
۱۵ درجه	۱۵ ثانیه	۵ ماهواره	۵

دقت حاصل از این روش علاوه بر مدت زمان قرائت تابع بسیاری عوامل دیگر از جمله فاصله بین ایستگاه‌ها، شرایط جوی، هندسه ماهواره‌ها و... می‌باشد. با این وجود بطور تقریبی براساس فاصله بین ایستگاه‌ها، مدت زمان اندازه‌گیری Baseline‌های شبکه اصلی حداقل دو ساعت و برای شبکه فرعی باید یک ساعت مشاهدات استاتیک جمع‌آوری گردد. در صورت وجود محدودیت آسمانی در ایستگاه‌های شبکه فرعی، می‌توان به مدت زمان مشاهدات افزود. ضروری است گیرنده GPS مورد استفاده از نوع دو فرکانسه بوده و ضمن استفاده از حداقل ۴ گیرنده برای جمع‌آوری داده‌ها به موارد زیر در انجام مشاهدات توجه گردد:

- دوره زمانی برای جمع‌آوری داده‌ها در یک جلسه اندازه‌گیری باید همزمان و پیوسته (بدون قطع فاز (Cycle Slip)) یا حداقل باشد؛
- استقرار مجدد در هر ایستگاه ۲ تا ۳ بار یا بیشتر (بصورت مستقل) در هر شبکه سبب کشف خطاهای دستگاهی و انسانی می‌شود. خطاهای انسانی شامل سانتراژ و Offset آنتن می‌باشد؛
- در اندازه‌گیری شبکه‌های اصلی و فرعی GPS، افزایش تعداد گیرنده‌ها و به تبع آن تعداد مشاهدات همزمان، افزایش سرعت اندازه‌گیری، کاهش هزینه، افزایش تعداد اتصال‌های چندگانه و استحکام هندسی را به همراه خواهد داشت.

الف) گیرنده

گیرنده‌های GPS بر اساس امکان دریافت سیگنال‌های موج L1 و L2 به گیرنده‌های تک فرکانسه و دو فرکانسه تقسیم می‌شوند. نوع تک فرکانسه قادر به دریافت فقط سیگنال‌های موج است و نوع دو فرکانسه سیگنال‌های هر دو موج L1 و L2 را دریافت می‌کند. استفاده از نوع دوم (دو فرکانسه) باعث حذف یا کاهش بسیاری از خطاها و در نتیجه افزایش دقت می‌گردد. در اندازه‌گیری شبکه‌های پایه GPS فقط از گیرنده‌های دو فرکانسه استفاده می‌شود. در انتخاب گیرنده به مواردی مانند: میزان انرژی مصرفی، تجهیزات منبع تغذیه، ابعاد گیرنده، وزن، میزان دقتی که توسط گیرنده پشتیبانی می‌گردد، مقاومت در برابر رطوبت، نوع ارتباط با تجهیزات مانند ارتباط با آنتن، حافظه داخلی و خارجی و... دقت شود.

ب) آنتن

آنتن وسیله‌ای است جهت تبدیل انرژی الکترومغناطیسی موج به جریان الکتریکی. در شبکه‌های GPS پایه (اصلی و فرعی) از آنتن‌های مقاوم در برابر خطای چند مسیری (MultiPath) استفاده می‌شود. همچنین خطای مرکز فاز آنتن بسیار کوچک باشد. آنتن‌های ChokeRing و ژئودتیک شامل این گروه می‌شوند.

ج) سایر وسایل

وسایل دیگری که در بخش مشاهدات مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از:

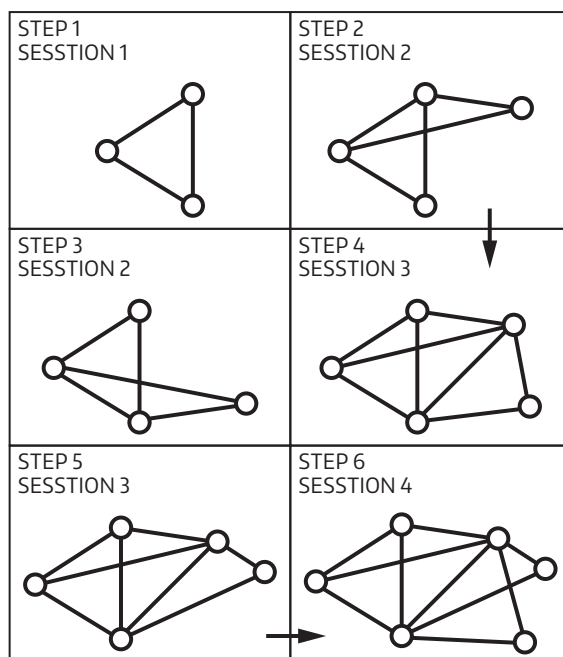
- ۱- سه پایه؛
- ۲- تراپراگ؛
- ۳- رابط بین سه پایه و تراپراگ؛
- ۴- کابل‌های رابط بین گیرنده و آنتن و همچنین گیرنده به منبع تغذیه؛
- ۵- منبع تغذیه؛
- ۶- شارژر.

نکته: بهتر است در اندازه‌گیری شبکه از یک نوع گیرنده و آنتن استفاده شود و در صورتیکه از گیرنده‌ها و آنتن‌های مختلف استفاده می‌شود، سازگاری آن‌ها مد نظر قرار گیرد.

۱-۳-۳) عملیات زمینی (صحرائی)

قبل از شروع عملیات زمینی باید طراحی زمان بهینه اندازه‌گیری و تعیین جلسه کاری صورت پذیرد. زمان بهینه اندازه‌گیری، مدتی است که ماکزیمم تعداد ماهواره‌ها بطور همزمان قابل مشاهده باشند. این زمان توسط چارت‌های آزمون ارتفاع که در نرم‌افزارهای GPS قابل نمایش است، تعیین می‌شود. به کمک این چارت‌ها می‌توان زمان و شماره ماهواره‌های مناسب برای مشاهده و برعکس، ماهواره‌های نامناسب از نظر برقراری دید را کنترل و معلوم ساخت و متناسب با آن مشاهدات را برنامه‌ریزی نمود. زمان صحیح مشاهدات، زمان مشاهده با بیشترین تعداد ماهواره‌هاست. از دوره‌های مشاهداتی با کمتر از ۴ ماهواره باید پرهیز گردد. علاوه بر این موارد ذیل مورد توجه قرار گیرند:

- آرایش هندسی ماهواره‌ها (DOP) باید بررسی شوند. نمودار DOP در اکثر نرم‌افزارهای GPS قابل ارائه می‌باشد. عدد DOP باید کمتر از ۶ باشد؛
- انجام مشاهده در طول شب بدلیل کاهش میزان انکسار یونسفریک مناسب‌تر است؛
- مشاهدات شبکه‌های مبنا (بنیادین) به صورت مثلثی یا ۳ ضلع‌بندی و با مثلث‌های همگن جمع‌آوری شوند؛
- تا حد امکان از قرائت‌های تکراری پرهیز شود و شبکه بصورت Loop بسته شود (شکل ۴)؛



شکل ۴- نمونه‌ای از طراحی جلسه‌های کاری

- کالیبره بودن آنتن و ترابراگ قبل از شروع اندازه‌گیری کنترل شود؛
- استقرار گروه‌های کاری قبل از موعد مقرر روی ایستگاه و اقدام بموقع برای شروع اندازه‌گیری صورت پذیرد؛
- استقرار یا سانتراژ دقیق آنتن علاوه بر شاقول اپتیکی با شاقول مکانیکی کنترل شود؛
- فرم ثبت اطلاعات زمینی بطور دقیق و کامل تکمیل شود؛
- اندازه‌گیری در زمان حداقل ترافیک و تردد تا شعاع ۱۰ متری صورت پذیرد؛
- از پارک نمودن خودرو در نزدیکی ایستگاه خودداری گردد.

۴-۱) پردازش و سرشکنی (Adjustment)

پردازش طول باز از وارد کردن داده‌های خام آغاز و تا تعیین اختلاف مختصات طول باز بعنوان خروجی، خاتمه می‌یابد. داده‌های خام گیرنده‌های مختلف در فرمت‌های خاص خود گیرنده ذخیره می‌شوند که پردازشگر GPS خاص خود را نیز می‌طلبد. برای رفع این مشکل فرمت مشترک RINEX بعنوان خروجی و مبدل بین گیرنده‌های مختلف تعریف شده که باید داده‌های خروجی هر نوع گیرنده مورد استفاده به آن تبدیل شود.

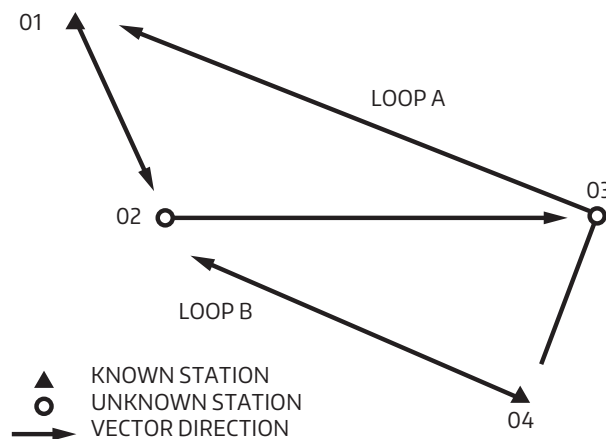
فرمت RINEX شامل ۳ نوع فایل است:

- فایل مشاهدات یا Observation Data File؛
- فایل مشاهدات تکمیلی مانند اطلاعات شرایط آب و هوایی؛
- فایل داده‌های ناوبری (Almanac Data).

پس از تبدیل داده‌های خام به RINEX، داده‌های خام و یا RINEX آن‌ها به نرم‌افزار وارد می‌گردد. در پردازش داده‌ها نکات ذیل حائز اهمیت است:

- ۱- امکان پردازش اختلاف مختصات ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) همراه با ماتریس واریانس کواریانس در نرم‌افزار موجود باشد تا خروجی آن بعنوان ورودی نرم‌افزار سرشکنی بکارگرفته شود؛
- ۲- امکان پردازش تمام مشاهدات همزمان و به تبع آن طول‌های باز هر جلسه مشاهداتی در نرم‌افزار وجود داشته باشد؛
- ۳- کنترل ارتفاع و نوع آنتن کلیه مشاهدات با فرم ثبت اطلاعات زمینی الزامی است و باید مغایرت‌ها اصلاح گردد؛
- ۴- برای حذف یا کاهش خطای یونسفریک، در نظر گرفتن مدل‌های مربوطه ضروری است؛
- ۵- پردازش هر طول باز از یک نقطه مبنا آغاز و در طول شبکه گسترش می‌یابد؛

بعبارت دیگر مطابق (شکل ۵)، فقط مختصات نقاطی که پردازش شده بعنوان مرجع جهت امتدادهای بعدی قابل استفاده است.



شکل ۵- ترتیب صحیح پردازش طول‌های باز

به منظور بررسی و کنترل خطاهای سیستماتیک و تعیین برآورد اولیه از سازگاری داخلی شبکه، اختلاف بین اضلاع مشترک و تکرار شده محاسبه می‌شوند. این اختلاف‌ها نباید از $3\text{mm} + 1\text{ppm}$ برای هر طول تجاوز نماید.

۶- پس از پردازش هر لوپ بسته باید خطای بست آن محاسبه و با خطای بست مجاز لوپ (منتج از خطای مجاز برای هر طول باز) مقایسه گردد؛

۷- خطاهای همه طول‌ها یا بردارهای پردازش شده، باید به روش کمترین مربعات (Least squares) توسط نرم‌افزار سرشکنی شبکه، سرشکن شوند؛

۸- محاسبه مقادیر باقیمانده برای تعیین خطاهای سیستماتیک و حذف آن‌ها ضروری است. همچنین محاسبه ماتریس واریانس - کواریانس مختصات برآورد شده برای بررسی ناسازگاری شبکه و وضعیت خطاها و بخصوص محاسبه و تست فاکتور واریانس حتما باید انجام شود؛

۹- نتایج پردازش هر جلسه مشاهده باید با استفاده از یک نقطه ثابت یا وزن‌دار سرشکن شده و سازگاری داخلی شبکه کنترل گردد. همچنین تست باقیمانده‌های نرمال برای تعیین مشاهدات لازم به تکرار، انجام شود؛

۱۰- پس از پردازش کامل شبکه، سرشکنی نهایی با در نظر گرفتن نقاط ثابت (Fixed) یا وزن‌دار (Weighted) صورت می‌گیرد. انجام آزمون‌های آماری و تعیین بیضی‌های خطای نسبی و مطلق در این مرحله ضروری است؛

۱۱- محاسبه ضریب مقیاس و اعمال آن بر روی ماتریس واریانس - کواریانس خروجی سرشکنی ضروری است؛

۱۲- محاسبه قابلیت اطمینان داخلی و خارجی برای شبکه باید انجام شود.

تبصره: برای دستیابی به فرمول‌ها و روابط ریاضی مربوط به محاسبات و تست‌های بعد از سرشکنی به پیوست یک نشریه شماره ۱۱۹ جلد اول سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی مراجعه گردد.

۵-۱) ارائه گزارش و نتایج

در پایان مراحل محاسبات شبکه پایه GPS، ارائه گزارش عملکرد، مراحل، مشکلات و نتایج الزامی است. در این گزارش ذکر موارد ذیل ضروری است:

- شرح مختصر عملیات، شامل موقعیت (مختصات جغرافیایی و UTM)، محل و تعداد نقاط مورد اندازه‌گیری؛
- خلاصه برنامه هر جلسه مشاهده به تفکیک، شامل نقاط مورد اندازه‌گیری و زمان شروع و خاتمه جمع‌آوری داده‌ها در هر جلسه؛
- شرح مختصر تجهیزات شامل مشخصات و شماره سریال آن‌ها؛
- اطلاعاتی پیرامون نرم‌افزار و سخت‌افزار بکار رفته در پردازش و سرشکنی داده‌ها؛
- نتایج پردازش و سرشکنی داده‌ها، شامل طول‌های باز (Baselines)، مختصات سرشکن شده به همراه ماتریس واریانس - کواریانس آن‌ها و نتایج آزمون‌های آماری شامل باقیمانده‌ها و بیضی‌های خطای مطلق و نسبی در سطح اطمینان ۹۵٪؛
- نتایج مقایسه اضلاع مشترک در جلسات مشاهداتی مختلف؛

- ضمیمه فایل‌های داده‌های خام و فایل‌ها در فرمت RINEX بصورت هر جلسه مشاهداتی در یک فهرست جداگانه.
- برگ ثبت اطلاعات زمینی برای هر ایستگاه (نقطه استقرار گیرنده).
- شناسنامه یا کارت شناسایی هر ایستگاه (نقطه استقرار گیرنده).

تبصره: محاسبات مربوط به سرشکنی و ارائه نتایج باید توسط متخصصین و مهندسین نقشه‌بردار ذیصلاح و با تجربه انجام پذیرد.

۲) شبکه بندی مسطحاتی به روش کلاسیک

این روش شبکه‌بندی که با مشاهدات زمینی طول و زاویه انجام می‌گیرد با محاسباتی تقریباً مشابه با روش ماهواره‌ای دنبال می‌شود. از این روش برای انتقال مختصات از نقاط شبکه پایه (GPS) به محل یا مجاورت کارگاه (جهت دسترسی) و یا گسترش شبکه نقاط در محدوده پروژه استفاده می‌شود. همچنین از این نقاط علاوه بر نقاط پایه اصلی (GPS) می‌توان جهت برداشت عوارض و توپوگرافی محدوده پروژه و بطورکلی تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس در صورت نیاز از طریق عملیات نقشه‌برداری زمینی بهره برد. از آنجائیکه محاسبات (سرشکنی) این روش نیز تقریباً با روش GPS یکسان است لذا در این بخش بیشتر به موضوع اندازه‌گیری پرداخته می‌شود.

۲-۱) طراحی شبکه نقاط کلاسیک

این مرحله باید توسط متخصصان و کارشناسان نقشه‌برداری انجام پذیرد و منظور از آن طراحی شبکه نقاط یکنواخت و متناسب با نیازها و دقت‌های موردنظر در پروژه است.

- طراحی و موقعیت تقریبی نقاط با استفاده از نقشه بزرگ مقیاس ($\frac{1}{500}$ یا $\frac{1}{100}$) که قبلاً تهیه شده و یا با حضور در محل، ضمن کنترل برقراری دید مستقیم بین نقاط صورت می‌پذیرد؛
- طراحی بگونه‌ای باشد که شبکه شامل مثلث یا مجموعه‌ای از مثلث‌ها یا چهارضلعی با دو قطر بوده و به وجود دید مستقیم بین نقاط توجه گردد؛
- شبکه جدید باید به شبکه‌های مسطحاتی و ارتفاعی پایه (اصلی) متصل شود؛
- اتصال به شبکه مسطحاتی اصلی با حداقل دو نقطه در ابتدا و انتهای شبکه و به شبکه ارتفاعی حداقل در یک نقطه صورت پذیرد؛
- محل ایستگاه‌ها طوری انتخاب شود که در معرض تغییر موقعیت (جابجایی)، فرسایش یا خسارت نباشند؛
- هنگام انتخاب محل نقاط، شرایط مناسب برای استقرار دستگاه‌های نقشه‌برداری و حرکت عامل در اطراف ایستگاه هنگام مشاهدات فراهم باشد؛
- ارتفاع نقاط شبکه حتی‌المقدور تقریباً یکسان باشد (شیب امتدادهای اضلاع شبکه کمتر از ۹ درجه باشد).

۲-۲) اندازه‌گیری شبکه مسطحاتی کلاسیک

اندازه‌گیری مربوطه شامل اندازه‌گیری زوایا (افقی و قائم) و اندازه‌گیری طول بعضی از اضلاع شبکه می‌شود.

الف) اندازه‌گیری زوایای افقی

زوایای افقی باید با دوربین یا توتال استیشن با دقت ثانیه (حداقل در حد تئودولیت T2) اندازه‌گیری شوند و رعایت موارد زیر جهت انجام اندازه‌گیری ضروری است:

- ۱- قبل از شروع عملیات، تراز کروی، استوانه‌ای و شاقول (اپتیکی یا لیزری) دستگاه چک شود؛
- ۲- قبل از شروع مشاهدات، کلیماسیون افقی و قائم زاویه‌یاب اندازه‌گیری و کنترل شود در صورتیکه مقدار هر یک بیش از ۶ ثانیه ۶۰ قسمتی باشد، باید دستگاه برای تنظیم به آزمایشگاه ارسال شود؛
- ۳- در مدت اندازه‌گیری شرایط جوی مناسب و مساعد باشد زیرا دما، فشار و جریان هوای نامتعادل خطاهای غیرمترعارف به مشاهدات وارد می‌نمایند؛

۴- قرائت زوایا حتماً بصورت کوپل (مضاعف) صورت پذیرد، اختلاف حداکثر بین میانگین کوپل‌ها و نتیجه هر کوپل نباید از ۴ ثانیه شصت قسمتی بیشتر باشد. همچنین درجات لمب افقی دوربین در هر کوپل به میزان $\frac{180}{n}$ درجه یا $\frac{360}{n}$ گراد تغییر یابد (n تعداد کل کوپل‌های موردنظر برای زاویه است)؛

۵- زاویه افقی یکی از اضلاع شبکه با یکی از اضلاع شبکه اصلی (پایه) جزء زوایای شبکه کلاسیک باشد؛

۶- حداقل ۴ کوپل قرائت برای هر زاویه الزامی است و بسته به شکل هندسی شبکه قابل افزایش است.

ب) اندازه‌گیری زوایای قائم

زوایای قائم بین نقاط شبکه ممکن است با اهداف ذیل اندازه‌گیری شوند:

- ۱- به منظور کنترل شیب امتداد در مرحله طراحی و تعیین محل نهایی نقاط شبکه
 - ۲- به منظور تعیین اختلاف ارتفاع به روش مثلثاتی (در مواقعی که امکان انجام ترازبایی مستقیم فراهم نباشد)
- قرائت زوایای قائم حتماً بصورت کوپل و اختلاف هر کوپل از میانگین نباید از ۴ ثانیه شصت قسمتی بیشتر باشد.

ج) اندازه‌گیری طول

- ۱- در صورت امکان سعی شود طول کلیه اضلاع شبکه اندازه‌گیری شود در غیر اینصورت باید حداقل از هر مثلث یک ضلع آن اندازه‌گیری شود.
- ۲- طول‌ها بصورت دوطرفه و از هر طرف حداقل ۱۰ بار قرائت شوند.
- ۳- در ابتدا و انتهای هر اندازه‌گیری، فشار و حرارت هوا بطور دقیق اندازه‌گیری و ثبت و یا به دوربین (توتال استیشن) معرفی شوند.

د) کنترل مشاهدات

در مورد زوایای افقی قبل از ترک ایستگاه‌ها باید کنترل‌های ذیل توسط گروه اندازه‌گیری انجام پذیرد:

۱- برای هر زاویه با تعداد n کوپل قرائت، خطای استاندارد زاویه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n-1}}$$

که V_i اختلاف هر کوپل از میانگین کوپل‌ها است. σ نباید بیش از یک ثانیه شصت قسمتی باشد در غیر اینصورت کل زاویه باید مجدداً قرائت شود.

۲- خطای بست مثلث‌ها باید از فرمول $A + B + C \leq 3$ کنترل گردد. که در آن A و B و C میانگین زوایای قرائت شده در هر رأس می‌باشد. در صورت عدم تحقق این شرط باید تصمیم مقتضی برای قرائت مجدد بعضی یا کل زوایای مثلث گرفته شود.

۳) ترازبایی (عملیات ارتفاعی)

ترازبایی به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که برای تعیین ارتفاع نقاط نسبت به یک سطح مبنا ارتفاعی انجام می‌شود. ارتفاع از طریق اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع با ترازباب و شاخص (میر) و اعمال تصمیمات لازم و سرشکنی تعیین می‌گردد. هدف از ایجاد شبکه‌های ارتفاعی (ترازبایی) با توجه به دقت آنها متفاوت است ولی ترازبایی به منظور شبکه بنیادین پروژه‌هایی نظیر احداث مترو یا قطار شهری باید از نوع درجه ۱ باشد. برخی کاربردهای اصلی ترازبایی درجه ۱ عبارتند از:

الف) ایجاد نقاط مبنا ارتفاعی برای کنترل‌ها، اندازه‌گیری‌ها و پیاده کردن‌های ارتفاعی پروژه؛

ب) بررسی جابجایی‌های ارتفاعی (مانیتورینگ ارتفاعات) موضوعات مختلف؛

ج) انتقال و گسترش ارتفاعات درجه ۱ به کل مناطق پروژه به منظور تهیه نقشه‌های پوششی همسان با نقشه‌های پوششی کشور.

تبصره: برای تکثیر نقاط ارتفاعی به منظور تهیه نقشه‌های توپوگرافی موضعی، دسترسی کاربران به ارتفاعات منطبق بر مبنا پروژه در مقاصد مختلف نقشه‌برداری ساختمانی، نظیر مطالعات زهکشی، پیاده‌کردن‌های ساختمانی و... انجام ترازبایی درجه ۳ مطابق با دستورالعمل شماره ۱۱۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کفایت می‌کند.

۱-۳) استاندارد شبکه‌های ارتفاعی

بر اساس جدول زیر است:

جدول ۲- استاندارد شبکه‌های ارتفاعی

درجه ترازیبی	معیار دقت	حداکثر فاصله نقاط به متر	تجهیزات (نوع و مشخصات)
۱	$3^{mm} \sqrt{K}$	۳۰۰	ترازیاب دقیق با دقت $0.2 - 0.3^{mm}$ در 1km رفت و برگشت بزرگنمایی 32X-40X شاخص انوار با دماسنج و فشارسنج
۲	$8^{mm} \sqrt{K}$	۵۰۰	ترازیاب دقیق با دقت 0.7^{mm} در 1km رفت و برگشت بزرگنمایی 32X-40X شاخص انوار با دماسنج
۳	$12^{mm} \sqrt{K}$	۱۰۰۰	ترازیاب دقیق با دقت $1.5 - 0.7^{mm}$ در 1km رفت و برگشت حداقل بزرگنمایی 32X شاخص معمولی (مهندسی)

۲-۳) دستورالعمل ترازیبی (عملیات ارتفاعی)

۱-۲-۳) طراحی مسیر ترازیبی

در طراحی مسیرهای ترازیبی می‌توان از نقشه‌های موجود شهری یا نقشه‌های $\frac{1}{25000}$ سراسری و... استفاده نمود. در این مرحله باید مسیرها حتی‌الامکان در امتداد بزرگراه‌ها و خیابان‌های اصلی بصورت لوپ انتخاب شوند. چنانچه در طول مسیر، راه یا خیابان اصلی موجود نباشد، بناچار از راه‌های فرعی (کوچه‌ها و...) استفاده خواهد شد.

تبصره: طراحی مسیر باید به گونه ای باشد که مسیر در امتداد دکل‌های فشار قوی برق نباشد، همچنین در مسیر موانعی وجود نداشته باشد که ترازیبی را با مشکل مواجه کند.

۲-۲-۳) انتخاب محل ایستگاه‌های ترازیبی

با توجه به مسیر طراحی شده و در نظر گرفتن حداکثر فاصله ۱ کیلومتر بین دو ایستگاه، محل نقاط با رعایت موارد ذیل تعیین خواهد شد:

- خارج از حریم خطوط ریلی، املاک شخصی یا دسترس مردم باشد؛
- محل ایستگاه خارج از آبروها و مسیل باشد؛
- محل ایستگاه خارج از محل خاکبرداری یا معدن در حال استخراج باشد؛
- از انتخاب محل ایستگاه در زمین‌های زراعی، باغچه، باغ، چمن و روی خاکریزها که احتمال نشست در آن‌ها زیاد است و یا کنار لوله‌های آب، فاضلاب، کانال و عوارض مشابه اجتناب گردد؛
- سعی شود از محوطه ساختمان‌های دولتی مثل ادارات و یا مجاورت ساختمان‌های پایدار و ماندگار برای محل نقطه استفاده شود؛
- امکان دسترسی به ایستگاه برای کاربران وجود داشته باشد؛
- پایه بتنی پل‌های بزرگ و یا ساختمان‌های مشخص و مطمئن که امکان نصب دیسک (بنچ‌مارک دیواری) در آن‌ها وجود دارد نیز می‌توانند برای نقاط ترازیبی دقیق مورد استفاده قرار گیرند. دیسک طوری نصب شود که استقرار شاخص مخصوص روی آن امکان‌پذیر باشد. جزئیات ابعاد، جنس و نحوه نصب دیسک در (شکل ۴) ارائه شده است؛
- ایستگاه‌ها بیش از حد به تیرهای برق یا مخابرات نزدیک نباشد تا در صورت تعویض تیر، در معرض تخریب قرار گیرند؛
- پس از رعایت موارد فوق، یک شناسنامه تقریبی برای نقاط تهیه گردد که حاوی اطلاعاتی در مورد موقعیت تقریبی و نحوه دسترسی به آن باشد.

۳-۲-۳) ساختمان ایستگاه‌های ترازیبی (نقاط ارتفاعی)

پس از شناسایی مسیر ترازیبی و تعیین محل نهایی نقطه، جهت ساخت ایستگاه، با آماده‌سازی مصالح مورد نیاز (سیمان، مصالح سنگی و آب با مشخصات و خصوصیات ذکر شده در دستورالعمل ترازیبی درجه یک نشریه ۱۱۹ سازمان و مدیریت برنامه‌ریزی) برای ساخت بتن مناسب بترتیب زیر عمل می‌شود:

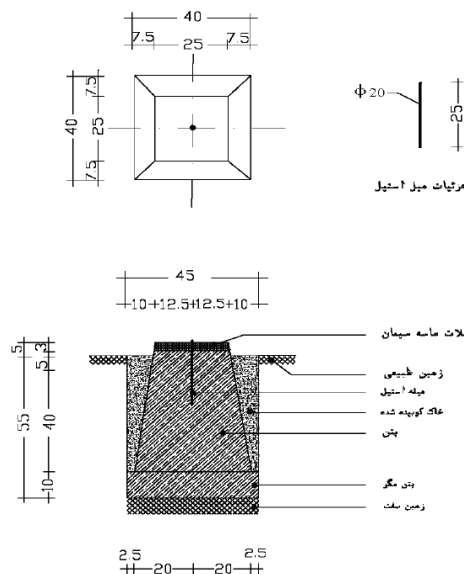
- چاله‌ای استوانه‌ای به قطر ۴۵ سانتیمتر و عمق ۵۵ سانتیمتر حفر می‌شود. حفاری در زمین سست و نرم باید تا رسیدن به زمین سفت و محکم ادامه یابد؛
 - انتهای چاله باید به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر با بتن مگر پر شود؛
 - قالب ژپر به شکل هرم ناقص، به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتیمتر در قاعده و ۲۵×۲۵ سانتیمتر در بالا و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر را در چاله بسمت شمال قرار داده و بتدریج ملات بتن را در آن ریخته و سپس کوبیده تا پر شود؛
 - میله وسط در مرکز بتن به شکل عمودی قرار داده شود که حدود ۵ میلیمتر از سطح فوقانی ژپر بالاتر قرار گیرد. به جهت استحکام بیشتر، دو میله آهنی بصورت + در دو جهت عمود برهم در انتهای میله جوش داده شود،
 - میله وسط که بعنوان BM (نقطه ترازیبی یا Benchmark) است باید دارای مشخصات زیر باشد:
 - ۱- جنس آن نرم نباشد؛
 - ۲- در اثر رطوبت زنگ نزنند؛
 - ۳- سطح بالای آن نیمکره باشد؛
 - ۴- قطر آن ۲ سانتیمتر باشد؛
 - ۵- طول میله ۲۵ سانتیمتر باشد.
- به منظور سهولت در حک نام ایستگاه حدود ۳ سانتیمتر از سطح بالای قالب ژپر با ملات سیمان و ماسه نرم پر شود (البته بصورت یکپارچه با بتن اصلی)؛
- پس از برداشتن بتن، اطراف آن با ماسه نرم پر شود و حدود ۵ سانتیمتر آخر آن تا سطح زمین با خاک، بتن یا آسفالت تسطیح شود. بتن ژپر برای رسیدن به مقاومت لازم تا حداقل دو روز آب داده شود. (شکل ۶) مقطع ایستگاه ترازیبی دقیق (BM) را نشان می‌دهد.

تبصره ۱: باید کنترل‌های لازم برای ساختن بتن مطابق با آیین‌نامه بتن ایران (آبا) صورت پذیرد.

تبصره ۲: برای هر ایستگاه ترازیبی (BM) باید شناسنامه‌ای شامل اطلاعات ذیل تهیه گردد:

نام ایستگاه - منطقه عملیات - مختصات تقریبی (X و Y) - محل ایستگاه - وضعیت BM نسبت به عوارض مجاور مثل محور خیابان، دیوار - راه دسترسی - ترمیم کروکی با درج جزئیات.

تبصره ۳: گاهی برحسب ضرورت در صورتیکه بجای ساخت بتن از دیسک مخصوص استفاده می‌شود، جنس دیسک‌ها آلومینیوم و به شکل استوانه و بطول تقریبی ۲۵ سانتیمتر می‌باشد. محل نصب دیسک‌ها، دیواره بتنی پل‌ها، دیوار ساختمان پست برق و ابنیه مشابه است.



شکل ۵- ترتیب صحیح پردازش طول‌های باز

۳-۲-۴) تجهیزات اندازه‌گیری

دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری مورد نیاز برای ترازبایی (عملیات ارتفاعی) و همچنین تنظیمات مربوطه مطابق با دستورالعمل همسان نقشه‌برداری در نشریه ۱۱۹ جلد اول سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی می‌باشد. تجهیزات ترازبایی درجه یک برای امور بنیادین و دقیق و تجهیزات ترازبایی درجه سه برای امور عملیاتی و کاربردهای اجرایی کارگاه‌ها بکار گرفته می‌شوند. تنظیمات و تصحیحات ضروری قبل از بکارگیری تجهیزات، برای اهداف این دستورالعمل بشرح ذیل می‌باشند:

- تست کالیبراسیون شاخص (پیش از اندازه‌گیری)؛
- کالیبراسیون شاخص‌های متریکی؛
- کالیبراسیون شاخص‌های با بارکد؛
- کنترل خط دیدگانی ترازبایی؛
- تنظیم تراز کروی ترازبایی؛
- کنترل و تنظیم تراز کروی شاخص (کنترل قائم بودن)؛
- تنظیم سه پایه.

۳-۲-۵) اندازه‌گیری شبکه ارتفاعی

اصول کلی اندازه‌گیری باید با دستورالعمل اجرایی قرائت طرح ترازبایی دقیق سراسری کشور برای ترازبایی درجه یک مطابقت داشته باشد که اهم این اصول عبارتند از:

- اختلاف مجاز رفت و برگشت $3\text{mm}\sqrt{K}$ است که K به کیلومتر و متوسط فاصله رفت و برگشت بین دو BM می‌باشد.
- اختلاف ارتفاع نهایی بین دو نقطه در هر Section متوسط اختلاف ارتفاع رفت و برگشت در آن Section است.
- روش اندازه‌گیری باید مطابق دستورالعمل همسان ترازبایی درجه یک ارائه شده در نشریه شماره ۱۱۹ (جلد اول) سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی اجرا شود.
- اعمال تصمیمات مربوط به انکسار و تصحیح اورتومتریک باید براساس وسعت پروژه در مطالعات اولیه توسط متخصصین ذیصلاح مورد بررسی قرار گیرد و در صورت نیاز، اطلاعات و داده‌های لازم تهیه گردد (از جمله داده‌های شتاب ثقل).
- تصحیح کالیبراسیون درجه‌بندی شاخص‌ها و همچنین تصحیح درجه حرارت بر روی شاخص باید در مرحله مطالعات اولیه بررسی شده و اعمال یا صرف نظر کردن از آن با استدلال لازم توسط متخصصین ذیصلاح نتیجه‌گیری شود.

۳-۲-۶) سرشکنی شبکه ارتفاعی

به منظور سرشکنی داده‌های ترازبایی استفاده از سرشکنی به روش کمترین مربعات توصیه می‌گردد. برای انجام سرشکنی باید نرم افزاری مناسب و تست شده مورد استفاده قرارگیرد و توجه به موارد ذیل ضروری است.

- مشاهدات یا اندازه‌گیری‌ها که از داده‌های ترازبایی (میانگین تکرارها و مشاهدات رفت و برگشت) نتیجه می‌شوند مورد آزمایش و تست‌های قبل از سرشکنی قرار گیرند؛
- دقت مشاهدات یا بعبارت دیگر ماتریس واریانس-کواریانس مشاهدات متناسب با طول مسیر ترازبایی تعیین، با اعمال واریانس وزن واحد (براساس خطای بست لوپ‌ها) به سرشکنی وارد شوند؛
- مدل ریاضی از نوع پارامتریک با در نظر گرفتن نقاط مبنا (پایه) بعنوان نقاط معلوم و ثابت انتخاب گردد؛
- پس از سرشکنی، ارتفاعات سرشکن شده، باقیمانده‌های مشاهدات سرشکن شده و فاکتور واریانس ثانویه باید محاسبه شوند؛
- باید تست‌های بعد از سرشکنی بشرح ذیل انجام شود:
 - ۱- تست نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها؛
 - ۲- تست فرم کوادراتیک خطای بست (تست فاکتور واریانس)؛
 - ۳- تست تعیین باقیمانده‌های اشتباه (Outliers)؛
 - ۴- تست پارامترها یا مجهولات برآورد شده از سرشکنی.

تبصره: محاسبات مربوط به سرشکنی و ارائه نتایج ذیربط باید توسط متخصصین و مهندسین نقشه‌بردار ذیصلاح و با تجربه انجام پذیرد.

۴) پارامترها و سنج‌های دقت در نقشه‌برداری

انجام نقشه‌برداری و بدست آوردن پارامترهای مجهول مثل مختصات، طول، ارتفاع و... بدون آگاهی از دقت و کیفیت کار، منطقی و اصولی نیست. این آگاهی ممکن است برای اپراتور یا عامل تجهیزات نقشه‌برداری اهمیت نداشته باشد ولی لزوم اجرای دستورالعمل‌های تعریف شده برای کار با لحاظ شدن مبحث دقت‌های لازم برای مشاهدات ضروری است. دو مفهوم کلی در سنجش دقت پارامترهای مورد مشاهده یا خروجی از محاسبات نقشه‌برداری مطرح است:

الف) Precision به مفهوم دقت داخلی است که معمولاً سنج یا معیار ارزیابی آن انحراف معیار یا واریانس داده‌ها است. در واقع از آنجائیکه این پارامتر میزان پراکندگی تجمع داده‌ها نسبت به مقدار میانگین (محتمل‌ترین مقدار داده‌ها) را نشان می‌دهد بنابراین کوچکتر بودن مقدار آن به مفهوم تجمع بیشتر داده‌ها حول میانگین و کیفیت بهتر آنها از نظر Precision است.

ذکر این نکته لازم است که طبق قانون گاوس (Gauss) در آمار و ریاضی خطاهای اتفاقی یا تصادفی در اندازه‌گیری و برآورد یک کمیت از تابع توزیع احتمال (PDF) نرمال تبعیت می‌کنند و فرض بر این است که مشاهدات و بطور کلی پارامترهای مربوط به نقشه‌برداری، متغیرهای تصادفی یا نرمال و عاری از هرگونه عامل برهم زننده این اصل مثل خطاهای سیستماتیک (Systematic Errors) می‌باشند.

ب) Accuracy به مفهوم دقت خارجی است و به میزان انحراف با اختلاف میانگین داده‌ها از مقدار واقعی وابسته است. عامل مزاحم برای رسیدن به Accuracy خوب، وجود خطاهای غیرنرمال یا سیستماتیک در مشاهدات و محاسبات است. بعنوان مثال دخالت شرایط جوی در اندازه‌گیری‌ها، خطاهای دستگاهی و... به انحاء مختلف موجب ورود خطاهای سیستماتیک در کار شده، نتایج را از مقادیر واقعی و صحیح دور می‌کنند لذا حتی المقدور باید مانع از بروز این نقص شد و بطور جدی نیازمند هوشیاری و دقت عمل نقشه‌بردار در ارتباط با این موضوع است.

با فرض انجام کنترل‌های لازم برای جلوگیری از ورود خطاهای غیر اتفاقی (از جمله کالیبره کردن دستگاه‌ها و تصحیح اثر عوامل جوی و...)، می‌توان با برآورد میزان انحراف معیار یا واریانس کمیت‌های مورد مشاهده و همچنین پارامترهای خروجی محاسبات، پی به میزان دقت و کیفیت نتایج برد. برای کسب نتایج بهینه، ضروری است تعداد مشاهدات نقشه‌برداری بیش از مقدار موردنیاز (حداقل مقدار) باشد بعبارت دیگر باید درجه آزادی (df.) یا Redundancy شبکه‌بندی نقاط نقشه‌برداری عددی بزرگتر از صفر باشد.

$$df. = n - u > 0$$

n = تعداد مشاهدات

u = تعداد مجهولات

df. = درجه آزادی شبکه (Degrees of Freedom)

در این صورت امکان تعدیل یا سرشکنی (Adjustment) خطاهای اتفاقی وجود خواهد داشت. با انجام سرشکنی که در بخش بعد مختصراً شرح داده خواهد شد پارامترها یا سنج‌های دقت از جمله انحراف معیار، واریانس، کواریانس (Covariance)، Correlation، اعداد آزادی، ابعاد بیضی‌های خطا (Error Ellipses) در سطوح اطمینان مشخص (۹۵٪ و ۹۹٪) قابل برآورد و ارزیابی خواهند بود.

۵) اصول سرشکنی (Adjustment) خطاها

در صورت فراهم سازی تعداد مشاهدات بیش از حداقل مقدار مورد نیاز، برای تعیین پارامترهای مجهول، امکان سرشکنی خطاها (از نوع اتفاقی) فراهم خواهد بود و اطمینان از عاری بودن مشاهدات از خطاهای سیستماتیک و نامکشوف مؤثر در Accuracy نتایج نیز شرط مهم دیگری است که در کیفیت عملکرد مدل‌های ریاضی ذیربط، مؤثر است. مدل ریاضی با شرط $df > 0$ مدل سرشکنی نیز نامیده می‌شود و شامل مجموعه معادلات ریاضی خاصی است که ارتباط ریاضی کمیت‌های مورد مشاهده را با پارامترهای مجهول برقرار می‌کند (رابطه کلی زیر).

$$F(X, L) = 0$$

F = دستگاه معادلات ریاضی

X = بردار پارامترهای مجهول که معمولاً مختصات یا ارتفاع نقاط می‌باشند

L = بردار کمیت‌های مشاهده شده (طول، زاویه، اختلاف ارتفاع و...)

در حل مدل سرشکنی (برآورد X و دقت‌های مربوطه) ضروری است از اصل «کمترین مربعات» (Least Squares) خطاهای اتفاقی استفاده شود و امروزه نرم‌افزارهای معتبر متعددی برای این منظور قابل استفاده‌اند، از جمله نرم‌افزارهای Geo lab، Colombus، Office Leica Geo و غیره را می‌توان نام برد که مورد استفاده در انواع عملیات نقشه‌برداری زمینی، ماهواره‌ای، ارتفاعی و... می‌باشند. طبق نمودار ارائه شده در مقدمه، برحسب نوع و تعداد پارامترهای معلوم بکار رفته در مدل و همچنین بسته به شرایط و نوع کار، می‌توان روش‌های ذیل را در حل مدل سرشکنی بکار برد:

۱- Minimum Constraint Adjustment یا سرشکنی با حداقل قیود یا شروط که در این حالت پارامترهای معلوم مختصات دو نقطه یا معادل آن مختصات یک نقطه، یک طول و یک ژیزمان می‌باشد. نتایج حاصل از این نوع سرشکنی تحت تأثیر کیفیت و دقت پارامترهای مبنا و معلوم از نظر دقت داخلی و خارجی (Accuracy و Precision) است.

۲- Over Constraint Adjustment یا سرشکنی با قیود بیشتر از مقدار مورد نیاز که در این حالت پارامترهای معلوم مختصات بیش از دو نقطه یا معادل آن است. با شرط اطمینان از دقت و صحت معلومات شبکه، استحکام شبکه نقاط، افزایش یافته و نتایج دقیق‌تری نسبت به روش قبل حاصل خواهد شد.

۳- Inner Constraint Adjustment یا سرشکنی با قیود داخلی که در این حالت هیچ پارامتر معلومی از نقاط شبکه و معادل آن از اجزاء شبکه (طول و ژیزمان اضلاع) در مدل سرشکنی دخالت نمی‌کند. در این سرشکنی مختصات مرکز ثقل شبکه نقاط (نقطه مجازی)، میانگین فواصل آن تا نقاط شبکه و میانگین ژیزمان امتدادهای مرکز ثقل به نقاط شبکه معلوم فرض می‌شود و مدل سرشکنی با اضافه شدن معادلات مربوط به این قیود (داخلی) حل می‌گردد. در این نوع سرشکنی دقت حاصل برای پارامترهای مجهول تقریباً یکنواخت است و به نسبت افزایش فاصله نقاط از مرکز ثقل دقت مختصات نهایی کاهش می‌یابد. اجرای این نوع سرشکنی در مواقعی که کیفیت و دقت نقاط مبنا، استحکام داخلی شبکه را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند توصیه می‌گردد. در پروژه‌های محلی دقیق مثل شبکه نقاط احداث و کنترل جابجایی‌های سازه‌های مهم از قبیل سد، تونل، پل و... معمولاً از این روش استفاده می‌گردد.

با حل هر یک از مدل‌های سرشکنی، نتایج ذیل قابل دستیابی و آنالیز خواهند بود:

- الف) پارامترهای مجهول سرشکن شده یا Adjusted/Estimated Unknowns که معمولاً مختصات یا ارتفاعات نقاط هستند.
- ب) ماتریس واریانس - کواریانس پارامترهای مجهول (Covariance Matrix) که حاوی واریانس مجهولات و همچنین کواریانس بین آن‌هاست.
- ج) فاکتور واریانس برآورد شده یا ثانویه (A-Posteriori Variance Factor) که فاکتور یا عددی است برای برآورد کل کارکرد مدل سرشکنی. موفقیت مدل سرشکنی به بسیاری پارامترها از جمله، دقت مشاهدات، کیفیت معلومات، هندسه شبکه سازگاری مشاهدات و مدل ریاضی بکار رفته و... وابسته است. معمولاً از طریق آزمون یا تست آماری این فاکتور می‌توان صحت و عملکرد مدل سرشکنی را ارزیابی کرد.
- د) مشاهدات سرشکن شده (Adjusted/Estimated Observations) به معنی مشاهداتی که خطاهای اتفاقی بر روی آن‌ها توزیع شده از نتایج حل مدل سرشکنی است. همچنین ماتریس حاوی واریانس‌ها و کواریانس‌های مربوطه موسوم به ماتریس واریانس-کواریانس مشاهدات سرشکن شده نیز قابل نتیجه‌گیری و ارزیابی است.
- ه) اعداد آزادی (Redundancy Numbers) مربوط به مشاهدات که اعداد نشان دهنده میزان دخالت هر مشاهده در درجه آزادی کل شبکه است. ماکزیمم آن عدد یک (بیشترین دخالت) و حداقل آن صفر (کمترین تأثیر) است. مشاهده‌ای که نقش بیشتری در عدد آزادی کل شبکه داشته باشد دقت و کیفیت بهتری در کل شبکه داشته است.
- و) باقیمانده‌های برآورد شده (Estimated Residuals) که میزان اختلاف مشاهدات اولیه از مشاهدات سرشکن شده را نشان می‌دهند و مقادیر آنها به ارزیابی دقت مشاهدات کمک زیادی می‌کند.
- ز) ابعاد بیضی خطای استاندارد نقاط:
- بر اساس ماتریس واریانس - کواریانس برآورد شده مجهولات، ابعاد و زاویه چرخش این بیضی‌ها با فرمول‌های موجود قابل محاسبه‌اند.

لازم به ذکر است بیضی‌های استاندارد محدوده خطای ۶۸٪ نقاط را نشان می‌دهند و برای محدوده خطای ۹۵٪ (درجه اطمینان ۹۵٪) بایستی ابعاد بیضی‌های استاندارد در عدد ۲/۴۴۷۷ ضرب شوند (جزئیات بیشتر در بخش ۶ این مجموعه ارائه شده است). در خصوص ارتفاعات به ارائه یک فاصله اطمینان ۹۵٪ برای ارتفاعات سرشکن شده اکتفا می‌گردد.

۶) نحوه کار با سیستم مختصات محلی (Local)

در پروژه‌های عمرانی با وسعت یا طول زیاد و لزوماً اهمیت دقت ارتباط اجزاء آن در کل پروژه، لحاظ نمودن انحناء یا کرویت سطح زمین و بعبارت دیگر مفاهیم ژئودزی اهمیت پیدا می‌کند. مسائل ژئودتیکی (وابسته به ژئودزی) کار با بکارگیری مختصات UTM در نقشه‌برداری کارها وارد عمل می‌شود، لذا استفاده از سیستم Local یا محلی باید با دقت و شرایط خاص و صحیح صورت پذیرد (مختصات Local در این دستورالعمل اصطلاحاً به مختصات در یک صفحه مستوی اطلاق می‌شود؛ بطوریکه صفحه مرجع این مختصات، بیشترین انطباق را از نظر هندسی با سطح واقعی زمین در کل یا بخشی از پروژه داشته باشد؛ مفهوم واقعی سیستم مختصات Local وابسته به یک بیضوی مرجع محلی در مبحث ژئودزی است که منظور نگارنده در این دستورالعمل نمی‌باشد).

بطور کلی بسته به روش Local کردن سیستم مختصات، بین مختصات UTM و Local اختلافاتی وجود دارد که در وسعت‌های کم و طول‌های کوتاه مشکل ساز نیستند ولی به دلیل تفاوت Scale Factor در نقاط یک شبکه نقشه‌برداری در طول پروژه‌های خطی مثل احداث مترو، بکارگیری مختصات در یک صفحه مستوی (مرجع اصلی سیستم مختصات Local) و عملیات زمینی نقشه‌برداری، امکان بروز مغایرت‌های غیر قابل قبولی با رواداری‌ها و توالرانس‌های ساخت پروژه فراهم می‌گردد. بنابراین از آنجاییکه در عملیات اجرای تونل در مترو یا نظایر آن باید لزوماً از سیستم UTM استفاده گردد و از طرفی استفاده از این نوع مختصات در عملیات زمینی نقشه‌برداری نیازمند آگاهی و تخصص کافی در محاسبات و تصحیحات مربوطه دارد، توصیه می‌شود برای Local کردن مختصات UTM بجای استفاده از یک نقطه مبنا در کل پروژه از نقاط مبنا متعدد استفاده شود. با اینکار اختلاف بین مختصات UTM و Local به مراتب کاهش یافته (زیرا میزان اعوجاجات طولی کاهش می‌یابد) و عملیات زمینی دچار مشکل مغایرت‌های محتمل جدی نمی‌شوند. نقاط مبنا متعدد می‌توانند در نواحی مختلف پروژه (مثلاً در موقعیت ایستگاه‌های یک پروژه مترو) انتخاب شوند.

مهم: توصیه می‌گردد طراحی موقعیت‌ها و نقشه‌های پروژه در سیستم مختصات UTM انجام شود و اگر امکان آن فراهم نبود، یعنی نقشه‌ها در سیستم Local وابسته به نقشه‌برداری‌های گذشته طراحی شده باشند، قبل از شروع عملیات اجرایی پروژه، تغییر یا اصلاح نقشه‌ها به سیستم UTM و یا سیستم Local با نقاط مبنا محلی (متعدد) پیشنهاد می‌گردد. در غیر اینصورت بروز مشکلات اجرایی غیرقابل اجتناب بوده و هوشیاری، تخصص و دقت تیم‌های مسئول نقشه‌برداری جهت کاهش یا جلوگیری از بروز آنها اهمیت بسیار زیادی خواهد یافت.

۱-۶) Local یا محلی نمودن مختصات UTM با استفاده از نقاط مبنا متعدد

برای تبدیل مختصات نقاط از سیستم UTM به Local، با تجزیه وسعت پروژه به مناطق کوچکتر، از نقاط مبنا و ارتفاعات متوسط مختلف و مربوط به هر جزء (منطقه) استفاده می‌گردد، بطوری که متناسب با پراکندگی نقاط برای هر منطقه یک نقطه مبنا و ارتفاع متوسط خاصی در نظر گرفته می‌شود. در این حالت مبناى سیستم مختصات محلی هر منطقه (بطور مستقل از مناطق دیگر) مختصات UTM یک نقطه در همان منطقه خواهد بود و گسترش مختصات در داخل آن منطقه بصورت Local (صفحه‌ای) است، بنابراین نیازی به اعمال Scale Factor نمی‌باشد. استفاده از سیستم مختصات Local فقط در حد انجام عملیات نقشه‌برداری کارگاهی در منطقه نقطه مبنا مربوطه مجاز است و برای عملیات دقیق پیاده سازی یا اندازه‌گیری‌هایی نظیر هدایت حفاری تونل مترو حتماً باید برای تبدیل طول‌های زمینی به UTM و به عکس، ضریب مقیاس هر طول محاسبه و به طول‌ها اعمال گردد.

۱-۱-۶) محاسبه طول‌های زمینی با استفاده از مختصات نقاط در سیستم مختصات کارتزین ژئوسنتریک (CT)

مختصات کارتزین (Conventional Terrestrial) CT نقاط شبکه اصلی که از GPS در دسترس است جهت محاسبه طول فضایی (سه بعدی یا مایل) بین دو نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این سیستم مختصات، مقادیر طول‌ها واقعی بوده و منطبق بر مشاهدات زمینی می‌باشد. با داشتن ارتفاع دو نقطه (ترجیحاً ارتفاع اورتومتريک) طول فضایی به طول افقی تبدیل می‌گردد. طول افقی بدست آمده باید با یک رابطه تالس به ارتفاع متوسطی که محاسبات در آن ارتفاع انجام می‌گیرد تصویر شود.

۲-۱-۶) محاسبه زوایای افقی با استفاده از مختصات نقاط در سیستم مختصات UTM

با توجه به ماهیت سیستم تصویر UTM (اصل تشابه) و برابر بودن اندازه زوایای افقی مشاهداتی زمینی و تصویر شده، می‌توان با استفاده از مختصات سراسری (UTM) ژیزمان یا آزیموت بین نقاط و در نتیجه هر زاویه افقی مورد نظر را محاسبه کرد.

۳-۱-۶ محاسبه مختصات محلی

بعد از محاسبه مقادیر طول ها و زوایای زمینی با استفاده از روش های مذکور، با طرح مسیر پیمایشی فرضی و با در نظر گرفتن مختصات یک نقطه به عنوان مبنا و انتخاب ژیزمان ثابت می توان مختصات محلی سایر نقاط را با محاسبه پیمایش به دست آورد.

۲-۶ روابط ریاضی ضریب مقیاس (Scale Factor) و مقادیر عددی آن در نقاط مختلف

همانطور که در قسمت قبل اشاره گردید در سیستم تصویر UTM اندازه زوایا ثابت و فقط مقادیر طول ها تغییر می کنند. لذا برای تبدیل مشاهدات از فضای فیزیکی روی زمین به فضای ریاضی UTM کافیتست فقط به مشاهدات طول ضرایبی اعمال گردد. این ضرایب برآیندی از تصویر طول ها بر روی بیضوی و اعمال سیستم تصویر بر روی آن ها می باشد. در تصویر اول اثر ارتفاع حذف و در تصویر دوم فضای منحنی الخط به فضای مسطحاتی تبدیل می گردد. روابط ریاضی این دو تصویر در ذیل ارائه شده است:

$$K_1 = \frac{1}{(1 + \frac{h}{R})}$$

$$K_2 = 0.9996 \left[1 + \frac{(E-500000)^2}{2R^2} + \frac{(E-500000)^4}{24R^4} \right]$$

$$K = K_1 \times K_2$$

$$R^2 = 0.9996^2 \times M \times N$$

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

$$N = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$L_{utm} = L_{local} \times K$$

K_1 : ضریب مقیاس تصویر طول افقی بر روی بیضوی

K_2 : ضریب مقیاس سیستم تصویر UTM

K : ضریب مقیاس کلی

h : ارتفاع نقطه از بیضوی

R : شعاع کره زمین (در صورت عدم استفاده از رابطه های فوق مقدار ۶۳۷۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شود)

E : مولفه اول مختصات تقریبی نقطه در سیستم UTM

M : شعاع انحناء نصف النهاری

N : شعاع انحناء قائم اولیه

φ : عرض جغرافیایی نقطه

a : نیم قطر اطول بیضوی مرجع ($a_{WGS84} = 6378137.00$)

f : فشردگی بیضوی ($f^{-1} = 298.257223563$)

L_{local} : طول افقی مشاهداتی در روی زمین

L_{utm} : طول در سیستم تصویر UTM

۱-۷) بیضی خطای مطلق ۹۵٪

بیضی خطای استاندارد مطلق (در سطح اطمینان ۳۹٪) برای موقعیت مسطحاتی سرشکن شده در هر نقطه، بوسیله نیم قطر بزرگ a ، نیم قطر کوچک b و جهت محور قطر بزرگ θ تعیین و تعریف می‌شود. با بکار بردن عناصر ماتریس کواریانس C_X ، این پارامترها از روابط زیر محاسبه می‌شوند (Cooper, 1980):

$$a = \left[(\sigma_E^2 + \sigma_N^2) / 2 + q \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$b = \left[(\sigma_E^2 + \sigma_N^2) / 2 - q \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$q = \left[(\sigma_E^2 - \sigma_N^2)^2 / 4 + \sigma_{EN}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

که در آن:

$$\sigma_E^2: \text{واریانس طول جغرافیایی (M}^2\text{)}$$

$$\sigma_N^2: \text{واریانس عرض جغرافیایی (M}^2\text{)}$$

$$\sigma_{EN}^2: \text{کواریانس طول و عرض جغرافیایی (M}^2\text{)}$$

جهت بیضی خطای استاندارد مطلق به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\tan 2\theta = 2\sigma_{EN} / (\sigma_N^2 - \sigma_E^2)$$

که در آن θ آزمون محور a است.

برای تبدیل بیضی خطای استاندارد به بیضی خطای ۹۵٪ باید نیم قطر بزرگ a و نیم قطر کوچک b در عدد ۲/۴۵ ضرب شوند.

۲-۷) بیضی خطای نسبی ۹۵٪

بیضی خطای استاندارد نسبی (در سطح اطمینان ۳۹٪) برای اختلاف مختصات‌های مسطحاتی سرشکن شده هر دو نقطه i و j بوسیله نیم قطر بزرگ a ، نیم قطر کوچک b و جهت محور قطر بزرگ θ تعیین و تعریف می‌شود. با استفاده از عناصر ماتریس کواریانس C_X ، این پارامترها از روابط زیر محاسبه می‌شوند (Cooper, 1980).

$$a = \left[(\sigma_{\Delta Eij}^2 + \sigma_{\Delta Nij}^2) / 2 + q \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$b = \left[(\sigma_{\Delta Eij}^2 + \sigma_{\Delta Nij}^2) / 2 - q \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$q = \left[(\sigma_{\Delta Eij}^2 - \sigma_{\Delta Nij}^2)^2 / 4 + \sigma_{\Delta Eij \Delta Nij}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

که در آن:

$$\sigma_{\Delta Eij}^2: \text{واریانس اختلاف طول جغرافیایی نقاط } i \text{ و } j \text{ (M}^2\text{)}$$

$$\sigma_{\Delta Nij}^2: \text{واریانس اختلاف عرض جغرافیایی نقاط } i \text{ و } j \text{ (M}^2\text{)}$$

$$\sigma_{\Delta Eij \Delta Nij}^2: \text{کواریانس اختلاف طول و اختلاف عرض جغرافیایی نقاط } i \text{ و } j \text{ (M}^2\text{)}$$

واریانس‌ها و کواریانس‌های اختلاف موقعیت‌ها از عناصر ماتریس کواریانس C_X به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_{\Delta Eij}^2 = \sigma_{Ei}^2 + \sigma_{Ej}^2 - 2\sigma_{EiEj}$$

$$\sigma_{\Delta Nij}^2 = \sigma_{Ni}^2 + \sigma_{Nj}^2 - 2\sigma_{NiNj}$$

$$\sigma_{\Delta Eij \Delta Nij}^2 = \sigma_{EiNi} + \sigma_{EjNj} - \sigma_{EiNj} + \sigma_{EjNi}$$

که در آن:

$$\begin{aligned} \sigma_{E,i}^2 &: \text{واریانس طول جغرافیایی نقطه } i (M^2) \\ \sigma_{E,j}^2 &: \text{واریانس طول جغرافیایی نقطه } j (M^2) \\ \sigma_{EiEj}^2 &: \text{کواریانس طول جغرافیایی نقاط } i \text{ و } j (M^2) \\ \sigma_{Ni}^2 &: \text{واریانس عرض جغرافیایی نقطه } i (M^2) \\ \sigma_{Nj}^2 &: \text{واریانس عرض جغرافیایی نقطه } j (M^2) \\ \sigma_{NiNj}^2 &: \text{کواریانس عرض جغرافیایی نقاط } i \text{ و } j (M^2) \\ \sigma_{EiNi}^2 &: \text{کواریانس طول و عرض جغرافیایی نقطه } i (M^2) \\ \sigma_{EjNj}^2 &: \text{کواریانس طول و عرض جغرافیایی نقطه } j (M^2) \\ \sigma_{EiNj}^2 &: \text{کواریانس طول نقطه } i \text{ و عرض نقطه } j (M^2) \\ \sigma_{EjNi}^2 &: \text{کواریانس طول نقطه } j \text{ و عرض نقطه } i (M^2) \end{aligned}$$

جهت بیضی خطای استاندارد نسبی به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan 2\theta = 2\sigma_{\Delta Eij \Delta Nij} / (\sigma_{\Delta Nij}^2 - \sigma_{\Delta Eij}^2)$$

که در آن θ آزمون محور a است.

برای تبدیل بیضی خطای استاندارد به بیضی خطای ۹۵٪ باید نیم قطر بزرگ a و نیم قطر کوچک b در عدد ۲/۴۵ ضرب شوند.

۳-۷) دایره خطای نسبی ۹۵٪

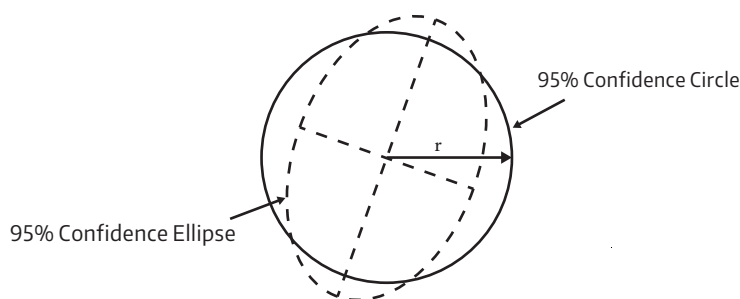
روش دیگر برای نمایش دقت اختلاف مختصات مسطحاتی استفاده از دایره خطای ۹۵٪ به جای بیضی خطای ۹۵٪ است (FGCC, 1995). دایره خطای ۹۵٪ با استفاده از نیم قطر بزرگ a و نیم قطر کوچک b بیضی خطای استاندارد نسبی و مجموعه‌ای از ضرائب محاسبه می‌شود. هنگامیکه a و b برابر باشند، دایره خطای بر بیضی خطای نسبی منطبق می‌شود. شعاع دایره خطای ۹۵٪ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r = K_p . a$$

که در آن:

$$K_p = 1.960\,790 + 0.00\,4071\,C + 0.1142\,76\,C^2 + 0.371625C^3$$

$$C = b / a$$



شکل ۶- بیضی خطا و دایره اطمینان ۹۵٪

۴-۷) فاصله اطمینان ۹۵٪

انحراف معیار استاندارد ارتفاعی σ_h نمایش دهنده دقت ارتفاع سرشکن شده یک نقطه در سطح اطمینان ۶۸٪ است که از ماتریس کواریانس C_x استخراج می‌شود. برای تبدیل انحراف معیار استاندارد به فاصله اطمینان ۹۵٪ باید آن را در عدد ۱/۹۶ ضرب کرد. برای تبدیل انحراف معیار استاندارد به فاصله اطمینان ۹۵٪ باید آن را در عدد ۱/۹۶ ضرب کرد.

جهت دسترسی به فرم‌های اشاره شده در مقاله، به سایت شرکت مهندسين مشاور پژوهش مراجعه شود.



چکیده

یکی از مهمترین مسایلی که همواره اجرای تونل‌ها را تحت‌الشعاع قرار داده، نوع روش اجرا می‌باشد. در این راستا، در تونل‌های مکانیزه نیز انتخاب نوع دستگاه حفار مکانیزه و مشخصات مرتبط با آن از مهم‌ترین عوامل موثر در موفقیت پروژه و هزینه‌های تمام شده آن می‌باشد. از این‌رو در مقاله حاضر به بررسی انواع TBM ها و تعیین نوع دستگاه TBM مناسب جهت حفاری در محیط‌های شهری پرداخته شده است.

۱) مقدمه

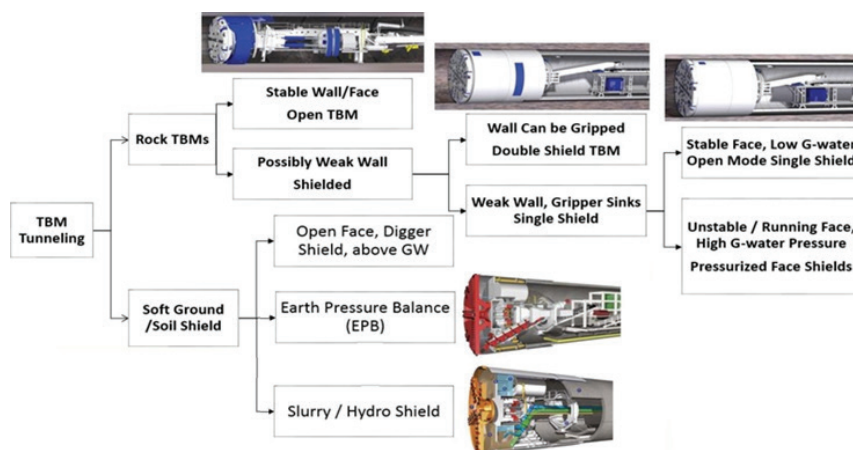
هم‌اکنون با توجه به نیاز به گسترش شبکه‌های مترو و راه‌های ارتباطی در شهرهای پرجمعیت و بزرگ، همچنین محدودیت‌های نواحی شهری، استفاده از روش‌های مکانیزه تونل‌سازی در نواحی شهری اجتناب‌ناپذیر است. استفاده از روش‌های مکانیزه حفاری تونل مستلزم انتخاب ماشین مناسب با در نظر گرفتن شرایط پروژه، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی طول مسیر، تجربه و دانش فنی موجود و الزامات پروژه به‌خصوص زمان‌بندی پروژه است. برای انتخاب ماشین مناسب باید توانایی‌های ماشین‌های حفاری، دامنه کاربرد و محدودیت‌های خاص هر یک با توجه به شرایط زمین مسیر تونل را در نظر گرفت.

۲) انواع ماشین‌های حفاری مکانیزه تونل

از آنجا که حفر تونل در محیط شهری انجام می‌شود، به‌طور خلاصه ماشین‌های حفاری سپردار (Shield Tunnel Boring Machine) که قابلیت احداث تونل در زمین‌های آب‌دار، خاکی و سنگی را دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. بطور کلی سپرهایی که امکان بکارگیری در پروژه‌های مترویی را دارند عبارتند از: سپرهای باز (Open face shield)، سپرهای دوغابی (Slurry Shield)، سپرهای توازنی با فشار زمین (Earth Pressure Balance) و سپرهای ترکیبی (Mixed or Combined Shield).

۲-۱) سپرهای باز

از این دستگاه‌ها زمانی استفاده می‌شود که جبهه‌کار تونل به دلیل استحکام مناسب زمین به طور طبیعی پایدار است. در صورتی که جبهه‌کار به طور طبیعی پایدار نباشد، امکان پایدارسازی به صورت موضعی و به طریقه مکانیکی وجود دارد. با این حال، سپرهای باز برای حفاری در زیر سطح ایستابی و در خاک‌های سست و ناپایدار مناسب نیستند. با این وجود، TBM های کفشک‌دار، TBM های سپری بدون نگهداری جبهه‌کار و TBM با سپر دو گانه از مهم‌ترین سپرهای باز هستند که در محیط‌های سنگی و خودپایدار استفاده می‌شوند. در (شکل ۱) انواع TBM های مورد استفاده در محیط‌های سنگی و خاکی ارائه شده است.



شکل ۱- طبقه‌بندی TBM در محیط‌های سنگی و خاکی

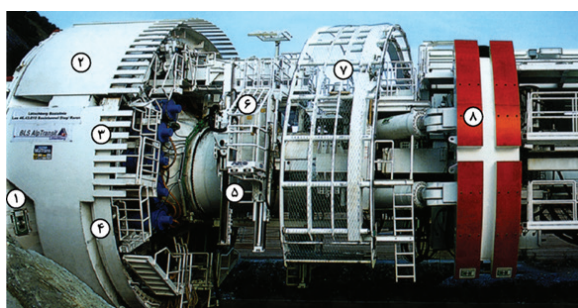
۱-۲) TBM کفشک‌دار

این ماشین‌ها برای توده‌سنگ‌هایی که نیازی به نگهداری مقطع تونل در ناحیه جبهه‌کار و اطراف ماشین نبوده و بتوان به کمک سیستم‌های نگهداری جزئی و موضعی همچون پیچ‌سنگ^۱، قاب فلزی و شاتکریت پایداری سقف تونل را تأمین نمود، بکار می‌روند.

یک TBM کفشک‌دار از چهار بخش زیر تشکیل می‌یابد:

- بخش حفاری؛
- سیستم کفشک، بخش پیشران ماشین و سیستم مهاربندی دستگاه؛
- سیستم نگهداری و پوشش بتنی؛
- سیستم نوار نقاله.

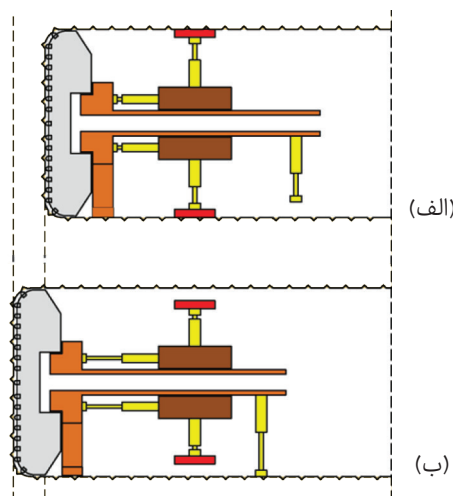
سیستم حفاری شامل کله‌حفار، ابزارهای برشی، یاتاقان و سیستم محرکه کله‌حفار می‌باشد (شکل ۲). نیروی محرکه کله‌حفار توسط موتورهای هیدرولیکی یا الکتریکی که بر روی یاتاقان اصلی یا شاسی داخلی^۲ ماشین نصب می‌شوند، تأمین می‌گردد. سیستم پیشران، کفشک و سیستم مهاربندی بترتیب شامل سیلندرهای پیشران، جک‌های مربوط به کفشک‌ها و صفحات کفشک، همچنین پایه‌های جلویی و عقبی می‌باشد.



بخش	نام
۱	کله‌حفار
۲	سپر کفشک‌دار
۳	سپر انگشتی
۴	نصاب سگمنت
۵	سیستم چالزنی
۶	فضای کاری پرسنل با سقف ایمن
۷	نصاب مش فولادی
۸	صفحات کفشک

شکل ۲- بخش‌های مختلف TBM کفشک‌دار با سپر موضعی (TBM-G-S) و سیستم تک‌کفشکه (اسناد فنی شرکت هرنگشت، آلمان)

سیکل حفاری یک TBM تک‌کفشکه در (شکل ۳) نشان داده شده است. سیلندرهای پیشران بین کفشک‌ها و کله‌حفار جانمایی شده‌اند و کله‌حفار را به سمت جبهه‌کار می‌فشارند. در این هنگام ماشین بر روی سپر کف یا پاشنه لغزنده پیش می‌رود (شکل ۳-الف). حین پیشروی، صفحات دوگانه کفشک توسط جک‌های هیدرولیکی به دیواره‌های تونل فشار داده و تکیه‌گاه لازم برای نیروی پیشران و گشتاور کله‌حفار را فراهم می‌کنند. در مرحله پیشروی ماشین، پایه عقبی بلند می‌شود (شکل ۳-الف). در پایان سیکل پیشروی، برای نگه داشتن شاسی ماشین، پایه عقبی باز شده و کفشک‌ها جمع می‌گردند (شکل ۳-ب).

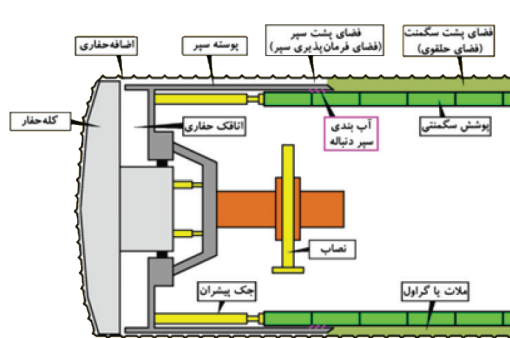


شکل ۳- سیکل حفاری TBM کفشک‌دار: الف) مرحله پیشروی؛ کفشک‌ها باز شده و پایه عقب جمع می‌شود، ب) تغییر موقعیت کفشک‌ها؛ پایه عقب باز شده و کفشک‌ها جمع می‌شوند

1- Rock Bolt
2- Interior Kelly

۲-۱-۲) TBM سپری بدون نگهداری جبهه‌کار^۳ (TBM-S)

ماشین‌های حفر تونل سپری در صورتی بکار برده می‌شوند که توده سنگ به دلیل مقاومت پایین، توانایی تحمل نیروهای مهاری وارده از کفشک‌های TBM را که برای اعمال نیروی پیشران لازم است، نداشته باشند. همچنین در مواردی که زمین پایدار نبوده و احتمال ریزش سنگ وجود داشته باشد، TBM‌های سپری فاقد تجهیزات نگهداری جبهه‌کار، بکار می‌روند (شکل ۴).



شکل ۴- TBM سپری (TBM-S)

در این نوع ماشین، سپر به عنوان سیستم نگهداری موقت عمل می‌کند. برای نگهداری نهایی معمولاً از سگمنت‌های پیش‌ساخته بتن مسلح استفاده می‌شود. سگمنت‌های بتنی^۴ تحت حفاظت بخش انتهایی سپر (سپر دنباله^۵) نصب می‌شوند. در این ماشین‌ها بر خلاف TBM‌های کفشک‌دار، رینگ کامل سگمنت به عنوان تکیه‌گاه نیروی پیشران عمل می‌کند. در (شکل ۵) نمونه‌ای از TBM‌های سپری بدون نگهداری جبهه‌کار در پروژه تونل ادلر سوئیس ارائه شده است.



شکل ۵- TBM سپری تونل ادلر^۶ در سوئیس (اسناد فنی شرکت هرنکنشت، آلمان)

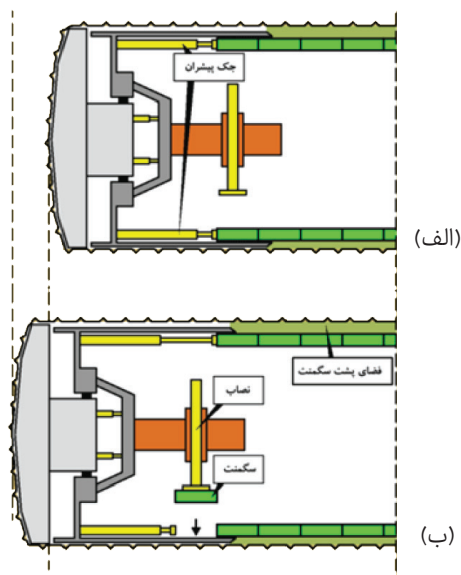
سیکل حفاری یک TBM سپری شامل پیشروی و نصب پوشش بتنی در (شکل ۶) نشان داده شده است. حین حفاری، سیلندرهای پیشران سپر را به سمت جلو می‌رانند (شکل ۶، الف). پس از پایان یک سیکل پیشروی، حفاری متوقف شده و سگمنت‌ها نصب می‌گردند (شکل ۶، ب). در هنگام نصب، جک متناظر سگمنت جمع شده و پس از قرار دادن سگمنت در محل مورد نظر مجدداً جک باز شده و سگمنت رانگه می‌دارد. بعد از قرار گرفتن آخرین سگمنت رینگ، سیکل جدید پیشروی آغاز می‌گردد.

3- Shielded TBM without face support (TBM-S)

4- pre-cast lining segments

5- Tail-skin

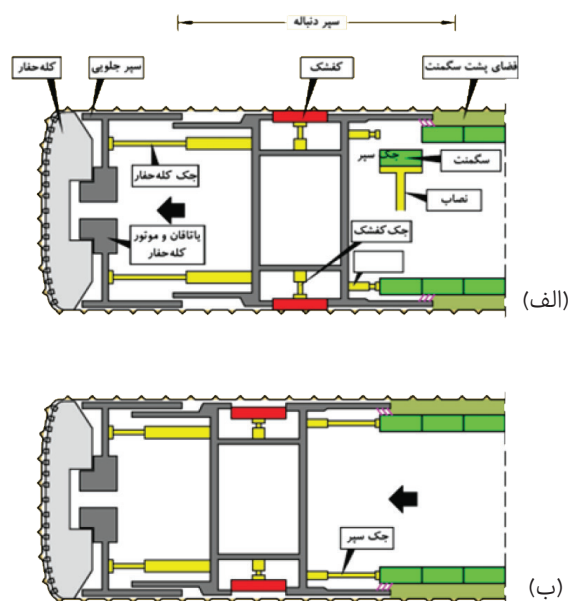
6- Adler



شکل ۶- TBM سیکل حفاری TBM سپری: (الف) مرحله پیشروی، (ب) نصب پوشش بتنی

۲-۳) TBM با سپر دو گانه

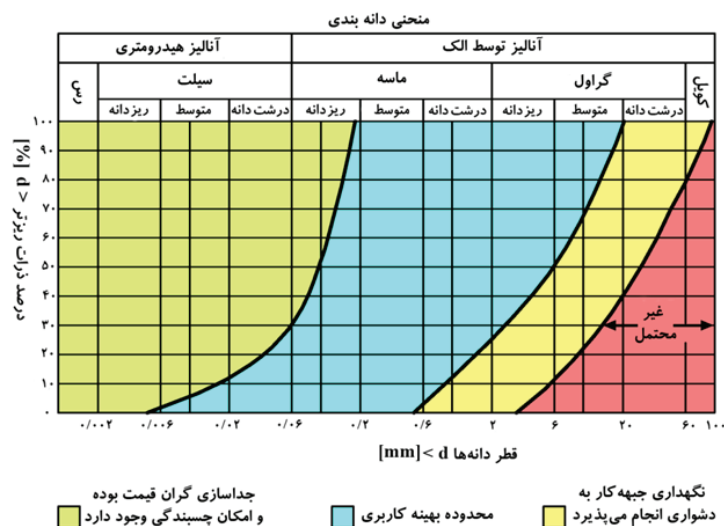
TBM با دو سپر دو گانه (شکل ۷) که به سپر تلسکوپی نیز معروفند، تلفیقی از TBM کفشک دار و سپری می باشد. این ماشین از دو بخش یکی سپر جلوپی شامل کله حفار، یاتاقان و سیستم محرکه اصلی و دیگری سپر دنباله شامل کفشک ها، چک های کفشک، چک های کله حفار و چک های سپر تشکیل شده است.



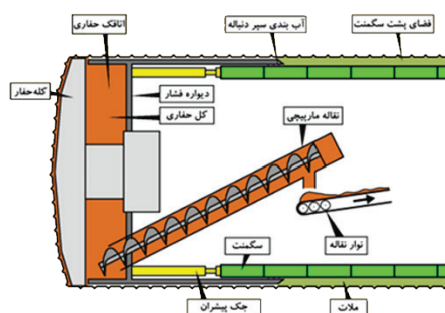
شکل ۷- سیکل حفاری TBM دابل شیلد: (الف) پیشروی و نصب پوشش بتنی، در این حالت کفشک ها باز شده اند، (ب) کفشک ها جمع شده و سپر دنباله به جلو هل داده می شود

در مقایسه با TBM سپری، TBM تلسکوپی دارای این مزیت است که امکان همزمان نصب پوشش بتنی و عملیات حفاری وجود دارد. حین حفاری، سپر دنباله به عنوان تکیه گاه سپر جلوپی و کله حفار عمل می کند. در این حالت سپر دنباله به دلیل اینکه توسط کفشک ها نگهداری می شود، ساکن باقی می ماند. چک های کله حفار که بین سپر جلوپی و دنباله قرار دارند، باز شده و کله حفار را به جلو می رانند. عملیات نصب سگمنت همانند روش TBM سپری انجام می شود. پس از تکمیل سیکل پیشروی و نصب سگمنت ها، کفشک ها جمع شده و سپر دنباله با تکیه بر چک های سپر که توسط آخرین رینگ پوشش بتنی نگهداری می شود، به جلو حرکت می کند. سپس سیکل جدید آغاز می شود. به منظور جلوگیری از نشت آب، لازم است مفاصل ماشین تلسکوپی آب بند شوند.

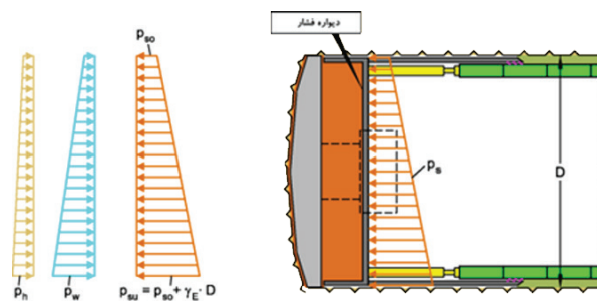
مطابق نظر کراوز (۱۹۸۷)، می‌توان محدوده کاربری سپرهای دوغابی را با توجه به توزیع دانه‌بندی خاک مشخص نمود. این محدوده به طور غالب حاوی ماسه و گراول‌های ریزدانه است. همچنین مقدار سیلت با دانه‌بندی متوسط تا درشت نباید از ۳٪ تجاوز کند. در خاک با چسبندگی زیاد، خطر چسبیدن مصالح به ابزارهای برشی یا درون اتاقک حفاری وجود دارد. بعلاوه خاک‌های چسبنده سبب افزایش انرژی لازم برای جدایش مخلوط بنتونیت و خاک می‌گردد. (شکل ۱۰) محدوده کاربری ماشین‌های دوغابی در خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- محدوده کاربری ماشین‌های دوغابی در خاک (کراوز، ۱۹۸۷)



شکل ۱۱- سپری از نوع EPB



شکل ۱۲- اجزای اصلی ماشین EPB

P_w : فشار آب
 P_h : فشار افقی توده سنگ
 P_s : فشار نگهداری در جبهه کار
 γ_E : وزن واحد گل حفاری

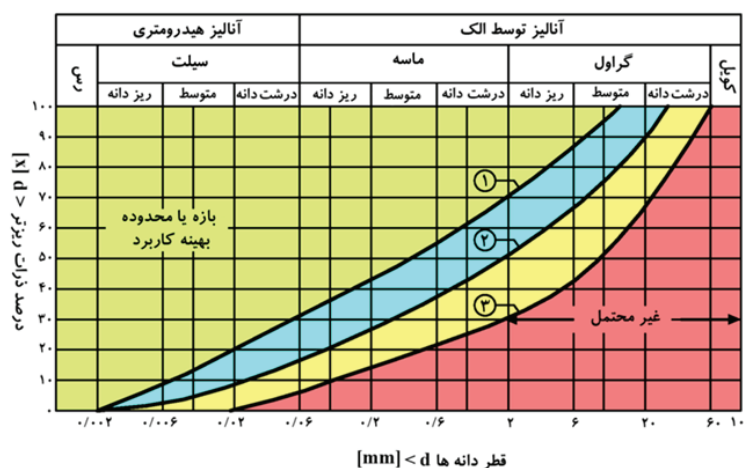
ماشین‌های EPB در انواع تونل‌های خاکی و سنگی بکار گرفته می‌شوند. این ماشین‌ها همچنین در سازندهایی با شرایط متغیر زمین (شرایط جبهه‌کار مختلف) یا در سنگ‌های به شدت هوازه استفاده می‌شوند. بنابراین علاوه بر دیسک‌های برشی، ناخن‌های خراشنده نیز به عنوان ابزار حفاری در کله‌حفار پیش‌بینی و بکار گرفته می‌شوند.

همچنین در این ماشین‌ها برای تبدیل خرده‌های حفاری به گل حفاری، می‌توان مواد عمل‌آور (ذرات معلق رس، محلول‌های پلیمری و فوم) را در اتاقک حفاری یا جبهه‌کار به مواد حفاری شده اضافه نمود.

مطابق نظر مایدل ۱۹۹۵، محدوده کاربری ماشین‌های EPB را می‌توان به شرح (جدول ۱) و (شکل ۱۳) خلاصه کرد. به دلیل تمایل زیادی که به استفاده از سپرهای EPB در شرایط مختلف زمین‌شناسی وجود دارد، در سال‌های اخیر از نظر فنی پیشرفت‌های زیادی در این نوع ماشین‌ها ایجاد شده است و دامنه کاربرد آن تا حد زیادی گسترش یافته است، به طوریکه در حال حاضر از این سپرها در انواع آبرفت‌ها با موفقیت استفاده شده است.

جدول ۱- محدوده کاربری پارامترهای مورد نیاز برای حفاری با ماشین EPB

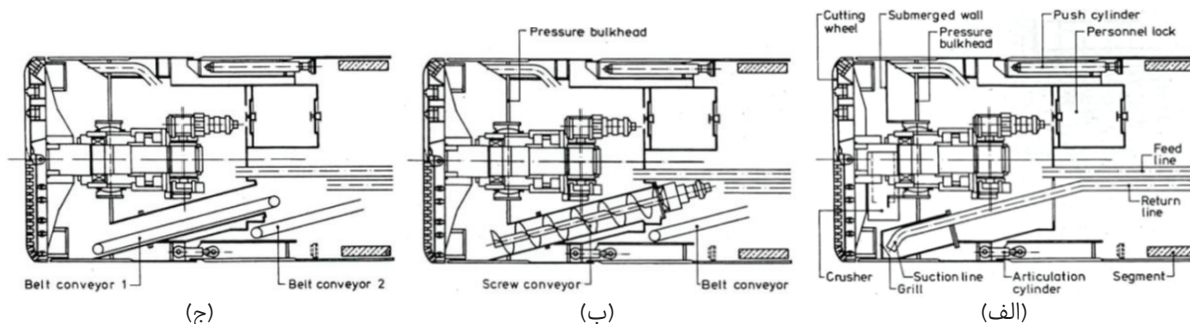
محدوده	ملزومات	مواد عمل‌آوری
۱	$IC = 0/4 - 0/75$	آب
	$IC > 0/75$	رس، محلول پلیمر، فوم
۲	$K < 10^{-5} \text{ m/s}$ فشار آب $> 2 \text{ bar}$	رس، محلول پلیمر، فوم
۳	$K < 10^{-4} \text{ m/s}$ فاقد فشار آب	اسلاری با دانسیته بالا محلول‌های مولکولی پلیمر با غلظت بالا فوم با افزودنی‌های پلیمری



شکل ۱۳- محدوده کاربری ماشین‌های EPB

۲-۳) سپرهای ترکیبی (Combined Shields)

برای آمادگی در برابر تغییرات زمین، ترکیبی از سپرهای مختلف ابداع شده و استفاده می‌شوند که قابلیت تغییر کاربرد و عکس العمل برحسب شرایط زمین را دارا هستند. ترکیب و طراحی کلی این سپرها، در کاربردهای مختلف تفاوتی نمی‌کند و به نحوی طراحی شده‌اند که قابلیت کار به صورت انواع متفاوت سپر را دارا می‌باشند. (شکل ۱۴) مکانیزم کار یک سپر ترکیبی به روش‌های دوغابی و باز را نشان می‌دهد. در نهایت اینکه عمده‌ترین مزیت سپرهای ترکیبی را می‌توان امکان کار در زمین‌هایی با سازندها و محیط‌های حفاری متغیر بیان نمود. همچنین از مهم‌ترین معایب آن نیز می‌توان به قیمت زیاد و نیاز به کارخانه جداسازی دوغاب از مواد حفاری شده، اشاره کرد.



شکل ۱۴- سپر ترکیبی برای کار در حالات مختلف: (الف) بصورت دوغابی، (ب) بصورت EPB، (ج) بصورت باز

۳) انتخاب دستگاه حفار مکانیزه

۱-۳) توصیه‌های انجمن بین‌المللی تونل (ITA)

۱-۱-۳) معیارهای ارزیابی و انتخاب دستگاه در کشورهای آلمان، سوئیس و اتریش

یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب نوع سپر، وجود یا عدم وجود آب است. به گونه‌ای که امکان استفاده و یا عدم استفاده از سپرهای باز و بسته با وجود آب تغییر می‌کند. نکته حائز اهمیت اینکه در صورتی که تراز تونل پایین‌تر از تراز سطح آب زیرزمینی باشد امکان استفاده از سپرهای باز در پروژه وجود نخواهد داشت.

پارامتر مهم دیگر، چسبندگی خاک و درصد ذرات ریز دانه است. با توجه به پارامترهای مؤثر، محدوده کاربرد سپرهای مختلف و نکات قابل توجه در مورد استفاده از هر نوع در ادامه ارائه شده است. اگرچه با افزودنی‌های مختلف و بهسازی، می‌توان دامنه استفاده از سپرهای مختلف را گسترش داد، این قسمت‌ها باید در طول تونل، محدود و موضعی باشد. قابل ذکر است، فاکتور اصلی برای تصمیم‌گیری در این موارد، هزینه‌های مربوطه و توجیه اقتصادی است.

• سپرهای باز بدون نگهداری جبهه‌کار

- در زمین‌های سنگی و خاک‌های رسی پایدار و پیش‌تحکیم‌یافته، بدون وجود آب‌های زیرزمینی قابل استفاده است؛
- به منظور اطمینان از عدم نشست زمین (در زمین‌های نرم) به ویژه در تونل‌های با روباره کم، حداقل مقاومت خاک باید ۱ مگاپاسکال باشد؛
- چسبندگی خاک باید در حدود ۳۰ کیلونیوتن بر مترمربع باشد.

• سپرهای باز با نگهداری مکانیکی جبهه‌کار

- در زمین‌های سنگی پایدار و نیمه‌پایدار، بدون حضور آب قابلیت استفاده دارند؛
- محدوده کاربرد گسترده‌تری در خاک‌های ناپایدار چسبنده و غیرچسبنده، نسبت به سپر بدون نگهداری جبهه‌کار دارد؛
- وجود قطعه سنگ‌های درشت دانه (بولدرها)، در مسیر باعث بروز مشکل و محدودیت می‌شود؛
- چسبندگی خاک باید بین ۵ تا ۳۰ کیلوپاسکال باشد؛
- عرض بازشوهای کاترهد با توجه به حداکثر ابعاد ذرات خاک و همچنین امکان کنترل نشست زمین، بهینه می‌شود.

• سپرهای دوغابی

- محدوده اصلی کاربرد این سپرها در زمین‌های غیر چسبنده آب‌دار است؛
- در هنگام حفاری، دوغاب تحت فشار (مانند بنتونیت)، جبهه‌کار را نگهداری می‌کند؛
- خاک‌های متداول برای این سپرها، لایه‌های شنی و ماسه‌های است؛
- غلظت و مقدار دوغاب باید با توجه به نفوذپذیری خاک بهینه شود؛
- درصد ذرات بسیار ریزدانه خاک (کوچکتر از ۰/۲ میلی‌متر) نباید از ۱۰ درصد بیشتر باشد؛
- درصد خیلی ریزدانه مشکلاتی را در حین جداسازی خاک از دوغاب ایجاد می‌کند.

• سپرهای EPB

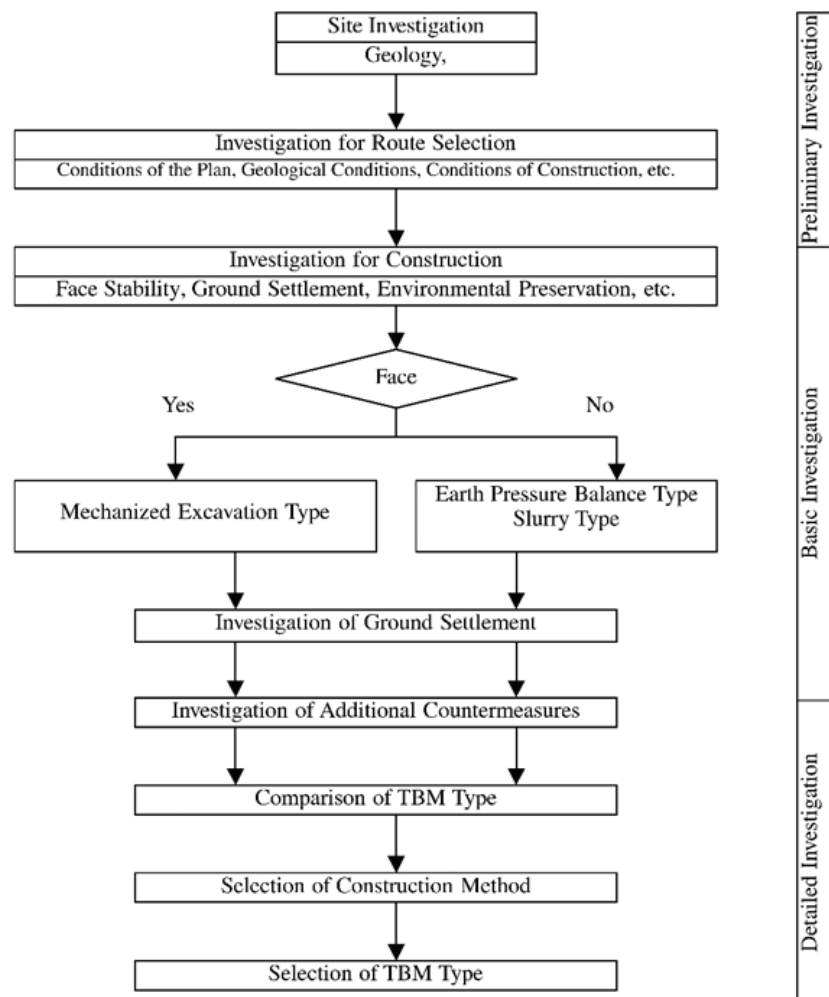
- به طور ویژه در خاک های چسبنده آب دار مناسب است؛
- ذرات ریزدانه خاک (کوچکتر از ۰/۶ میلی متر) نباید از ۳۰ درصد کمتر باشد؛
- برای اینکه امکان کنترل فشار جبهه کار وجود داشته باشد، باید زمین آبدار باشد یا آب افزوده شود؛
- استحکام خاک با افزودن موادی همچون بنتونیت و انواع پلیمرها تأمین می شود؛
- به منظور جلوگیری از گیر کردن مواد در چمبر و مارپیچ نیز، افزودنی های خاص نیاز است.

۳-۱-۲) معیارهای ارزیابی و انتخاب دستگاه در کشور ژاپن

بررسی های دقیق پیش از انتخاب نوع سپر با توجه به قابلیت کاربرد، ایمنی، هزینه ها، و شرایط کاری باید انجام گیرد. به طور ویژه فاکتورهای زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

- طول و راستای تونل؛
- تناسب با شرایط پیش بینی شده زمین شناسی؛
- قابلیت استفاده از روش های نگهداری تکمیلی در صورت نیاز؛
- در دسترس بودن فضاهای لازم برای تجهیزات جانبی مورد نیاز در کنار دستگاه و اطراف شفت یا تونل دسترسی؛
- ایمنی تونل سازی و سایر عملیات مرتبط.

(شکل ۱۵) فرآیند انتخاب سپر مناسب برای حفر تونل در زمین های نرم را نشان می دهد.



شکل ۱۵- فرآیند انتخاب سپرهای حفار تونل در زمین

اولین فاکتور انتخاب سپر، شرایط زمین در مسیر تونل است. به ویژه سطح آب زیرزمینی، پایداری جبهه کار و ابعاد قلوه سنگ ها و تخته سنگ های موجود در محیط خاک، در سرتاسر مسیر باید بررسی شود. جدول (۲) رابطه نوع سپر و شرایط خاک را برای سپرهای EPB و دوغابی نشان می دهد.

جدول ۲- رابطه نوع سپر و شرایط خاک را برای سپرهای EPB و دوغابی

Type of machine Soil condition		N-value	Earth pressure balance type				Slurry type	
			Earth pressure type		High-density slurry type		Suitability	
			Suitability	Check point	Suitability	Check point		
Alluvial clay	Mold	0	x	-	s	Settlement	s	Settlement
	Silt, Clay	0-2	l	-	l	-	l	-
	Sandy silt	0-5	l	-	l	-	l	-
	Sandy clay	5-10	l	-	l	-	l	-
Diluvial clay	Loam, Clay	10-20	s	Jamming by excavated soil	l	-	l	-
	Sandy loam	15-20	s	ditto	l	-	l	-
	Sandy clay	Over 25	s	ditto	l	-	l	-
Solid clay	Solid clay (muddy pan)	Over 50	s	ditto	s	Wear of bit	s	Wear of bit
Sand	Sand with silty clay	10-15	l	-	l	-	l	-
	Loose sand	10-30	s	Content of clayey soil	l	-	l	-
	Compact sand	Over 30	s	ditto	l	-	l	-
Gravel cobble stone	Loose gravel	10-40	s	ditto	l	-	l	-
	Compact gravel	Over 40	s	High water pressure	l	-	l	-
	Gravel with cobble stone	-	s	Jamming of screw conveyor	l	-	s	Wear of bit
	Large gravel Cobble stone	-	s	Wear of bit	s	Wear of bit	s	Crushing device

l : normally applicable

s : applicable with supplementary means

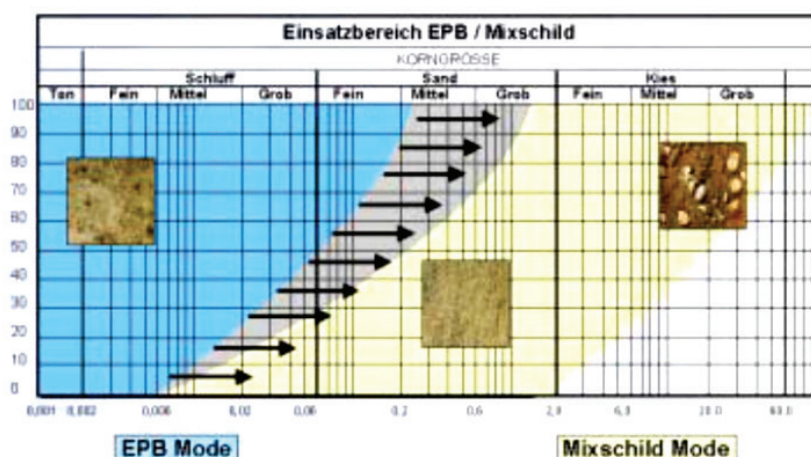
x : not suitable

۲-۳) انتخاب ماشین مناسب با توجه به جنس زمین و منحنی های دانه بندی

یکی از روش های متداول در انتخاب سپرهای حفاری در خاک ها و زمین های نرم، استفاده از منحنی های دانه بندی است. در این روش منحنی های دانه بندی خاک برای قسمت های مختلف در طول مسیر ترسیم شده و بر روی یک نمودار واحد رسم می گردد. در نتیجه محدوده ای از دانه بندی بدست می آید. محدوده ارائه شده در این نمودار، با محدوده کاری که برای هر یک از دستگاه ها ارائه شده است، مقایسه شده و ماشین یا ماشین های مناسب، تعیین می شوند. محدوده کاربرد سپرهای مختلف بر اساس منحنی دانه بندی، توسط مراجع مختلف از جمله سازندگان ماشین های حفاری ارائه شده است. البته با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی و همچنین استفاده از افزودنی های مختلف برای تغییر و مناسب سازی شرایط زمین، محدوده کاربرد ماشین ها مختلف گسترش یافته است. به طوریکه در حال حاضر در محدوده وسیعی از خاک ها و شرایط زمین شناسی، امکان کاربرد انواع سپرها وجود دارد.

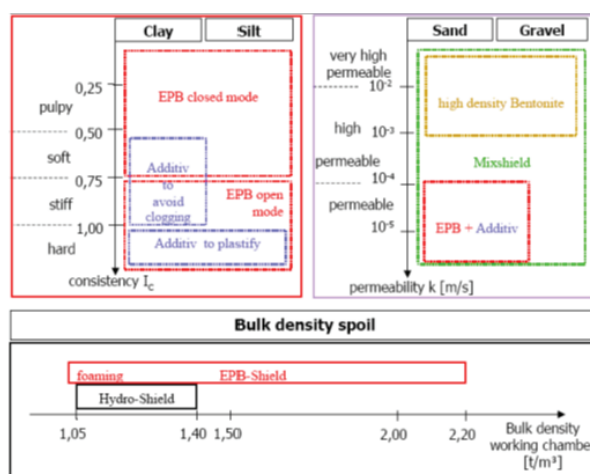
نسبت مواد افزودنی به مواد حفاری شده در سپرهای EPB به جنس خاک و ابعاد دانه‌ها بستگی دارد و به طور معمول بین ۲۰ تا ۴۰ درصد است. این نسبت برای خاک‌های دانه ریز کمتر و در زمین‌های شنی و خاک‌های درشت دانه بیشتر است. در صورتی که این نسبت بیش از ۴۰-۴۵ درصد باشد، مواد حفاری عمدتاً به صورت مایع است که حمل آن با نوار نقاله با مشکل مواجه می‌شود. در این شرایط سیستم دوغابی (با حمل هیدرولیکی) باید جایگزین شود. هرچند می‌توان محدوده کاربرد سپرهای EPB را تا محدوده کاربرد سپرهای دوغابی گسترش داد، با این حال خاک‌های ساینده نباید در محدوده سپرهای EPB قرار گیرند. در خاک‌های ساینده با درصد پایین مواد دانه ریز استفاده از سپرهای دوغابی (با در نظر گرفتن اندازه ذرات خاک) نسبت به سپرهای EPB ترجیح دارد.

به طوریکه در نمودار (شکل ۱۶) مشاهده می‌شود، محدوده کاربرد سپرهای EPB در حال حاضر در مدهای مختلف کاربرد آن، که در بخش قبل شرح داده شد، تا خاک‌های شنی و ماسه‌ای گسترش داده شده است و در این خاک‌ها نیز با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱۶- گسترش کاربرد سپرهای EPB با استفاده از مواد افزودنی

(شکل ۱۷) محدوده کاربرد سپرهای EPB را در خاک‌های مختلف با توجه به شاخص استحکام (I_c) و مقدار نفوذپذیری خاک، نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، در خاک‌های رسی و سیلتی، سپرهای EPB به طور کلی قابل استفاده‌اند. در این شرایط افزودنی‌ها به منظور افزایش حالت خمیری خاک استفاده می‌شوند. در این خاک‌ها در صورتی که I_c بزرگتر از ۷۵/۰ باشد، امکان استفاده از سپرهای EPB در حالت باز وجود دارد. در زمین‌های ماسه‌ای و شنی استفاده از سپرهای EPB با مقدار نفوذپذیری کمتر از ۴-۱۰ متر بر ثانیه (کمتر از ۲-۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه) باشد، سپرهای EPB قابل استفاده‌اند. در این شرایط، باید به منظور کاهش نفوذپذیری و زاویه اصطکاک داخلی خاک افزودنی‌های مناسب به کار رود. در خاک‌های با نفوذپذیری بالاتر، استفاده از سپرهای EPB محدود شده و نیاز به تزریق بنتونیت جهت کنترل ورود آب به تونل است.

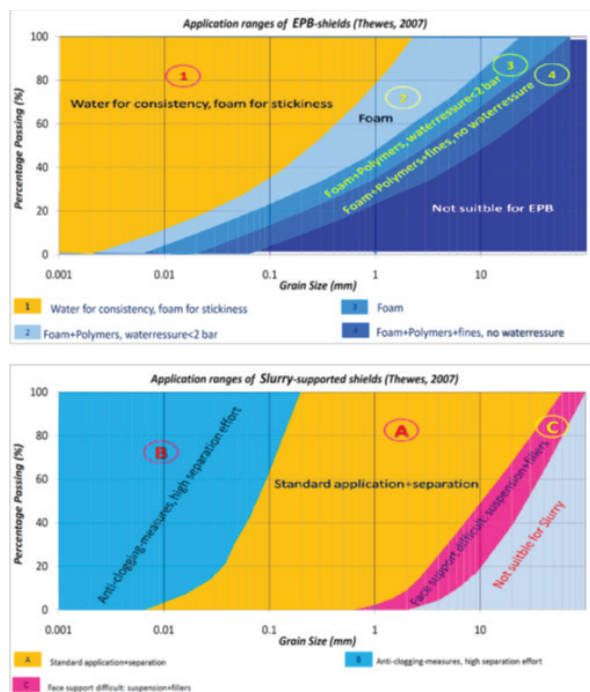


شکل ۱۷- کاربرد سپرهای EPB در خاک‌های مختلف با توجه به نفوذپذیری و شاخص استحکام

Thewes در سال ۲۰۰۷ محدوده کاربرد سپرهای EPB و دوغابی را با توجه به منحنی دانه‌بندی خاک مقایسه کرده است که در (شکل ۱۸) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در گستره وسیعی از خاک‌ها، امکان استفاده از هر دو نوع سپر وجود دارد.

خاک‌های مناسب برای کارگیری سپرهای EPB خاک‌هایی است که دانه‌بندی آن در ناحیه ۱ قرار گیرد. در این خاک‌ها، به منظور کاهش چسبندگی خاک در صورت نیاز از انواع فوم‌ها استفاده می‌شود. در ناحیه ۲ به دلیل کاهش مواد ریزدانه، نفوذپذیری افزایش یافته و برای کنترل آن از فوم استفاده می‌شود. در ناحیه ۳، استفاده از سپرهای EPB در شرایط فشار جبهه‌کار کمتر از ۲ بار، با افزودنی‌های مختلف شامل انواع پلیمرها و فوم‌ها استفاده می‌شود. در ناحیه ۴، این سپرها در صورت عدم وجود فشار آب در جبهه‌کار، قابل استفاده است.

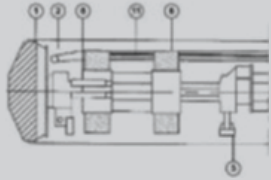
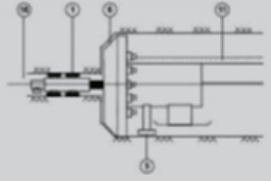
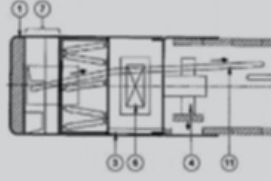
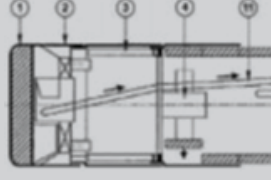
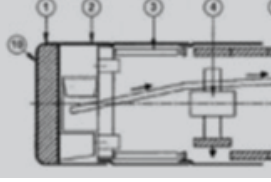
محدوده کاربرد سپرهای دوغابی نیز در (شکل ۱۸) نشان داده شده است. دامنه مناسب برای کاربرد این سپرها، محدوده A است. در این محدوده حفاری، نگهداری جبهه‌کار، تخلیه مواد و جداسازی آن‌ها با مشکلات کمتری مواجه است. در ناحیه B به دلیل درصد زیاد مصالح ریزدانه مشکلات زیادی در ترابری و جداسازی دوغاب از خاک وجود دارد. در صورت به کار بردن سپرهای دوغابی در این شرایط، باید افزودنی‌هایی برای جلوگیری از چسبندگی و گل گرفتگی ذرات رسی و سیلتی استفاده کرد. در ناحیه C نیز به دلیل نفوذپذیری خیلی زیاد خاک و هرز رفتن دوغاب مشکلاتی برای نگهداری جبهه‌کار وجود دارد.



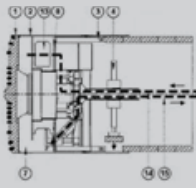
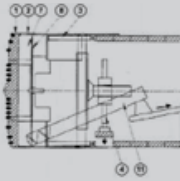
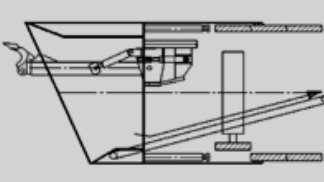
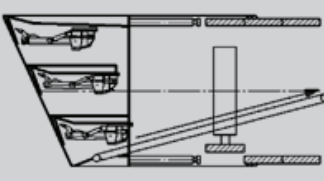
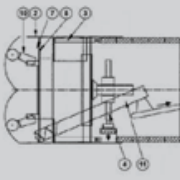
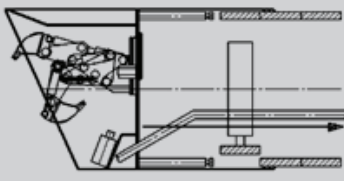
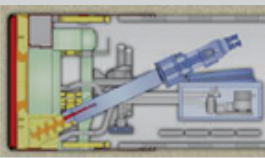
شکل ۱۸- محدوده به کارگیری سپرهای EPB و دوغابی با توجه به منحنی دانه‌بندی خاک

۳-۳) توصیه‌های انجمن سازه‌های زیرزمینی آلمان (DAUB)

در (اشکال ۱۹ و ۲۰) انواع TBM بر اساس توصیه‌های انجمن سازه‌های زیرزمینی آلمان- ۲۰۱۰ ارائه شده است. دامنه کاربرد ماشین‌های مختلف حفر تونل با توجه به شرایط زمین، توسط مراجع مختلف مانند شرکت‌های طراح و سازنده ماشین، انجمن‌ها و کمیته‌های بین‌المللی تونل با توجه به مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد انواع ماشین‌ها ارائه شده است. در همین راستا انجمن سازه‌های زیرزمینی آلمان پارامترهای ژئوتکنیکی مرتبط با انواع دستگاه حفار در محیط‌های نرم را طبقه‌بندی و ارائه نموده است (جدول ۵ تا ۷).

Brief description	illustration (example)
Tunnel boring machines (TBM)	
TBM Tunnelbohrmaschine ohne Schild Tunnel boring machine	 
ETBM Erweiterungstunnelbohrmaschine Extension tunnel boring machine	 
Double shield machines (DSM)	
DSM Doppelschildmaschine Double shield machine	 
Shield machines (SM)	
SM-V1 ohne Stützung Without support	 
SM-V2 mechanische Stützung Mechanical support	 
SM-V3 Druckluftbeaufschlagung Full-face and compressed air application	 

جدول ۴- انواع ماشین حفار بر اساس طبقه بندی DAUB ۲۰۱۰- بخش دوم

Brief description	illustration (example)	
SM-V4 Flüssigkeitsstützung Full-face and slurry support		
SM-V5 Erddruckstützung Full-face and earth pressure balance support		
SM-T1 ohne Stützung Partial excavation and without support		
SM-T2 Teilstützung Partial excavation and partial support		
SM-T3 Druckluftbeaufschlagung Partial excavation and compressed air application		
SM-T4 Flüssigkeitsstützung Partial excavation and slurry support		
Convertible shield machines (KSM)		
KSM Kombinationsschildmaschinen Convertible shield machines		

Legend:

- | | | | |
|------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 1. cutting wheel | 2. shield skin | 3. cylinders | 4. erector |
| 5. support foot | 6. gripper | 7. excavation chamber | 8. pressure bulkhead |
| 9. openings | 10. excavation tool | 11. muck clearance | 12. carriage |
| 13. air bubble | 14. suspension feed | 15. suspension return | 16. pilot tunnel |

جدول ۵- پارامترهای ژئوتکنیکی مرتبط با انواع دستگاه حفار در محیط‌های نرم - بخش اول

Process-related geotechnical parameters for soft ground													
	Brif description	Unit	TBM*	DSM*	SM-V1	SM-V2	SM-V3	SM-V4	SM-V5	SM-T1	SM-T2	SM-T3	SM-T4
Ortsbruststützung + Setzungsanalyse Face support + settlement analysis													
Kornverteilung Grain size distribution		%			X		X	X	X	X	X	X	
Wichte/Wichte unter Auftrieb Unit weight/submerged unit weight	γ / γ'	kN/m^3						X	X		X	X	
Lagerungsdichte Relative density	D	—			X		X	X	X	X	X	X	
Reibungswinkel Friction angle	ϕ'	°			X		X	X	X	X	X	X	
Kohäsion Cohesion	c'	kN/m^2			X		X	X	X	X	X	X	
E-Modul Young's modulus	E	MN/m^2			X		X	X	X	X	X	X	
Dilatationswinkel Dilatancy angle	Ψ	°			X		X	X	X	X	X	X	
Porenanteil Pore content	n	—			X		X	X	X	X	X	X	
Porenzahl Void ratio	e	—			X		X	X	X	X	X	X	
Durchlässigkeit Permeability	k	m/s			X		X	X	X	X	X	X	
Erddruckbeiwert (horizontal) Coefficient of lateral earth pressure	k_h	—			X		X	X	X	X	X	X	
Grundwasserdruck Water pressure	p_{GW}	kN/m^2			X		X	X	X	X	X	X	
Bodenabbau Soil excavation													
Verklebung Stickiness													
Plastizitätszahl ($I_p = W_L - W_P$) Plasticity index	I_p	%			X		X	X	X	X	X	X	
Konsistenzzahl Consistency index	I_c	—			X		X	X	X	X	X	X	
Fließgrenze Liquid limit	W_L	%			X		X	X	X	X	X	X	
Ausrollgrenze Rolling limit	W_P	%			X		X	X	X	X	X	X	
Wassergehalt Water content	W	%			X		X	X	X	X	X	X	
Mineralogie Mineral composition					X		X	X	X	X	X	X	
Tonanteil (Siebrückstand < 0,002 mm) Percentage of clay		%			X		X	X	X	X	X	X	

جدول ۶- پارامترهای ژئوتکنیکی مرتبط با انواع دستگاه حفار در محیط‌های نرم - بخش دوم

Process-related geotechnical parameters for soft ground		Brif description	Unit	TBM*	DSM*	SM-V1	SM-V2	SM-V3	SM-V4	SM-V5	SM-T1	SM-T2	SM-T3	SM-T4
Verschleiß Wear														
Abrasivität LCPC-Index Abrasive ness LCPC-index	ABR	g/t			X	not recommended		X	X	X	X	X	X	not recommended
Brechbarkeit LCPC-Index Breakability LCPC-index	BR	%			X			X	X	X	X	X	X	
Quarzanteil Equivalent quarz index	äQu	%			X			X	X	X	X	X	X	
Steinanteil Stone proportion		%			X			X	X	X	X	X	X	
Blockanteil Boulder proportion		%			X			X	X	X	X	X	X	
Druckfestigkeit Uniaxial compression	σ_c	kN/m ²			X			X	X	X	X	X	X	
Scherfestigkeit Shear strength					X			X	X	X	X	X	X	
Lagerungsdichte Compactness of the packing	D	—			X			X	X	X	X	X	X	
Bodenkonditionierung Soil conditioning														
Kornverteilung Grain size distribution		%				not recommended			X	X				not recommended
Tonanteil (Siebrückstand < 0,002 mm) Percentage of clay		%							X	X				
Schluffanteil (Siebrückstand < 0,06 mm) Percentage of silt		%							X	X				
Plastizitätszahl ($I_p = W_L - W_p$) Plasticity index	I_p	%							X	X				
Konsistenzzahl Consistency index	I_c	—							X	X				
Stützdruck Confinment pressure	p_s	bar							X	X				
Porenanteil Pore content	n	—							X	X				
Durchlässigkeit Permeability	k	m/s							X	X				
chemische Grundwasseranalyse Chemical analysis of groundwater									X	X				
Anteil an organischen Substanzen (Kationen) Portion of organic substances (cations)		%							X	X				

جدول ۷- پارامترهای ژئوتکنیکی مرتبط با انواع دستگاه حفار در محیط‌های نرم - بخش سوم

Process-related geotechnical parameters for soft ground			Brif description	Unit	TBM*	DSM*	SM-V1	SM-V2	SM-V3	SM-V4	SM-V5	SM-T1	SM-T2	SM-T3	SM-T4
Bodenseparierung Soil separation															
Restbentonitgehalt Residual content of bentonite		%				not recommended				X	X				not recommended
Restgehalt an chemischen Additiven Residual content of chemical additives		%								X	X				
Tonanteil (Siebrückstand < 0,002 mm) Percentage of clay		%								X	X				
Schluffanteil (Siebrückstand < 0,06 mm) Percentage of silt		%								X	X				
Konsistenzzahl Consistency index	I_c	—								X	X				
undrainierte Kohäsion Undrained cohesion	C_u	kN/m ²								X	X				
Bodentransport und -deponierung Soil transport and landfill															
Kornverteilung Grain size distribution		%				not recommended				X	X				not recommended
Schluffanteil (Siebrückstand < 0,06 mm) Percentage of silt		%								X	X				
Tonanteil (Siebrückstand < 0,002 mm) Percentage of clay		%								X	X				
Reibungswinkel Friction angle	ϕ'	°			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Kohäsion Cohesion	c'	kN/m ²			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Plastizitätszahl Plasticity index	I_p	%								X	X				
Konsistenzzahl Consistency index	I_c	—								X	X				
E-Modul Elasticity modulus	E	kN/m ²			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Restbentonitgehalt Residual content of bentonite		%								X	X				
Restgehalt an chemischen Additiven Residual content of chemical additives		%								X	X				
Wassergehalt Water content	W	%								X	X				
Druckfestigkeit Uniaxial compression	σ_c	kN/m ²			X		X	X	X	X	X	X	X	X	
max. Kantenlänge Max. block size		mm								X	X				

به منظور انتخاب ماشین حفر تونل، توصیه‌های انجمن سازه‌های زیرزمینی آلمان در (جدول ۳) به دو زبان آلمانی و انگلیسی ارائه شده است. به منظور درک بهتر جدول مذکور به طور مثال می‌توان بیان کرد که دامنه کاربرد اصلی ماشین‌های EPB شامل خاک‌هایی است که مقدار ذرات ریزدانه خاک (کمتر از ۰/۰۶ میلی‌متر) آنها بیشتر از ۳۰ درصد می‌باشد. همچنین برای زمین‌هایی که مقدار درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۲ میلی‌متر نباید کمتر از ۱۰ درصد باشد.

شایان ذکر است مستطیل‌های سیاه رنگ به معنای محدوده اصلی کاربرد و مستطیل‌های طوسی رنگ به معنای وجود امکان استفاده با در نظر گرفتن شرایط خاص می‌باشد. در (جداول ۴ و ۵) نیز محدوده به کارگیری ماشین‌های Slurry و EPB به طور خاص و مجزا ارائه شده است.

جدول ۸- محدوده به کارگیری ماشین‌های حفر تونل بر اساس توصیه انجمن DAUB-2005

Geotechnische Kennwerte Geotechnical Parameters	Baugrund Subsoil	Fels/Festgestein/Hard rock/soil		Boden/Lockergestein/Soft rock/soil			
		standfest bis nachbrüchig competent to caving in	nachbrüchig bis gebräch caving in to unstable	bindig standfest cohesive stable	bindig nicht standfest cohesive not stable	Wechsellagerung mixed conditions	nicht bindig non-cohesive
Gesteinsfestigkeit Rock Compressive strength	σ_D [MN/m ²]	300 bis 50	50 bis 5	1.0	0.1		
Zugfestigkeit Tensile strength	σ_z [MN/m ²]	25 bis 5	5 bis 0.5				
RQD-Wert RQD value	RQD [%]	100 bis 50	50 bis 10				
Kluftabstand Fissure spacing	[m]	>2.0 bis 0.6	0.6 bis 0.06				
Kohäsion Cohesion	C_u [kN/m ²]			≥ 30	30 bis 5	30 bis 5	
Kornverteilung Grain distribution	< 0,02 [%] < 0,06 [5]			30 ≥ 30	30 ≥ 30		10
TBM	.W.0						
TBM	.m.W						
TBM-S mit Schild	.o.W						
TBM-S with shield	.m.W						
SM-V1 ohne Stützung	.o.W						
SM-V1 without support	.m.W						
SM-V2 mechan. Stützung	.o.W						
SM-V2 mech. support	.m.W						
SM-V3 mit Druckluft	.o.W						
SM-V3 with compressed air	.m.W						
SM-V4 Flüssigkeitsstützung	.o.W						
SM-V4 fluid support	.m.W						
SM-V5 Erddruck-Stützung	.o.W						
SM-V5 earth pressure balance support	.m.W						
SM-T1 ohne Stützung	.o.W						
SM-T1 without support	.m.W						
SM-T2 Teilstützung	.o.W						
SM-T2 partial support	.m.W						
SM-T3 mit Druckluft	.o.W						
SM-T3 with compressed air	.m.W						
SM-T4 Flüssigkeitsstützung	.o.W						
SM-T4 fluid support	.m.W						
Abbauwerkzeug Extraction tool	V	rollend (Diskenmeißel) rolling (cutter disc)	rollend (Diskenmeißel) rolling (disc bit)	schälend (Flachmeißel) stripping (flat bit)	schälend (Flachmeißel) stripping (chisel)	lösend/schälend (Stichel/Flachmeißel) loosening/stripping (cutter/flat bit)	lösend (Stichel) loosening (pick)
	T	ritzend (Spitzmeißel) notching (pick)	ritzend (Spitzmeißel) notching (poin bit)	ritzend (Spitzmeißel) notching (poin bit)	schälend (Flachmeißel) stripping (flat bit)	schälend (Flachmeißel) stripping (flat bit)	lösend (Stichel) loosening (pick)

.o.W. = ohne Grund- bzw. Schichtwasser/without groundwater or underground water
.m.W. = mit Grund- bzw. Schichtwasser /with groundwater or underground water

Hauptinsatzbereich/Main field of application
Einsatz möglich/application possible

جدول ۹- محدوده به کارگیری ماشین‌های Slurry بر اساس توصیه انجمن DAUB-2022

Geotechnische Kennwerte Geotechnical parameters	Slurryschild (Flüssigkeitsschild) (SLS) Slurry Shield (SLS)		+	Haupt Einsatzbereich/main field of application					
			o	erweiterter Einsatzbereich/extended application					
			-	Einsatz eingeschränkt/application limited					
Lockergestein (Soil)									
Feinkornanteil (< 0,06 mm) DIN 18196 Fines content (< 0,06 mm)	< 5 %		5 – 15 %		15 – 40 %		> 40 %		
	+		+		+		o		
Durchlässigkeit k nach DIN EN ISO 11-17892 [m/s] Permeability k [m/s]	sehr stark very high > 10 ⁻²		stark high 10 ⁻² – 10 ⁻⁴		durchlässig permeable 10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶		schwach low < 10 ⁻⁶		
	-		o		+		o		
Konsistenz (Ic) nach DIN EN ISO 12-17892 Consistency (Ic)	breiig very soft 0 – 0,5		weich soft 0,5 – 0,75		steif stiff 0,75 – 1,0		halbfest very stiff 1,0 – 1,25		fest hard 1,25 – 1,5
	-	o	o		o		o		o
Lagerungsdichte nach DIN 18126 Relative density	dicht dense		mitteldicht medium dense		locker loose				
	+		+		o				
Stützdruck [bar] Confinement pressure[bar]	0		1-4		4-7		7-15		
	o		+		+		+		
Quellpotential Swelling potential	kein none		gering little		mittel fair		hoch high		
	+		+		o		-		
Abrasivität (äquivalenter Quarzanteil) äQu [%] Abrasivity (equivalent quartz content) [%]	0-5		5-15		15-35		35-75		75-100
	+		+		+		o		o
Festgestein (Rock)									
Gesteinsfestigkeit [MPa] Unconfined compressive strength [MPa]	0-5	5-25	25-50		50-100		100-250		> 250
	o	o	o		o		o		o
Bohrkern – Gebirgsqualität [RQD] Core sample – rock quality designation [RQD]	sehr gering very poor 0 – 25		gering poor 25 – 50		mittel fair 50 – 75		gut good 75 – 90		ausgezeichnet excellent 90 – 100
	o		o		o		o		o
Rock Mass Ratio [RMR] Rock Mass Ratio [RMR]	sehr schlecht very poor < 20		schlecht poor 21 – 40		mäßig fair 41 – 60		gut good 61 – 80		sehr gut very good 81 – 100
	o		o		o		o		o
Wasserzufluss je 10 m Tunnel [l/min] Waterinflow per 10 m tunnel [l/min]	0		0-10		10-25		25-125		> 125
	o		o		o		o		o
Abrasivität (CAI) Abrasivity (CAI)	extrem niedrig extremely low 0,1 – 0,5		sehr niedrig very low 0,5 – 1		niedrig low 1 – 2		mittel – hoch medium – high 2 – 4		sehr hoch – extrem hoch very high – extremely high 4 – 6
	+		+		o		o		o
Quellpotential Swelling potential	kein none		gering little		mittel fair		hoch high		
	+		+		o		-		
Stützdruck [bar] Confinement pressure [bar]	0		1-4		4-7		7-15		
	o		+		+		+		

جدول ۱۰- محدوده به کارگیری ماشین‌های EPB بر اساس توصیه انجمن DAUB-2022

Geotechnische Kennwerte Geotechnical parameters	Slurryschild (Flüssigkeitsschild) (SLS) Slurry Shield (SLS)	+ o - Haupt Einsatzbereich/main field of application erweiterter Einsatzbereich/extended application Einsatz eingeschränkt/application limited				
		Lockergestein (Soil)				
Feinkornanteil (< 0,06 mm) DIN 18196 Fines content (< 0,06 mm)		< 5 %	5 – 15 %	15 – 40 %	> 40 %	
		-	o	o +	+	
Durchlässigkeit k nach DIN EN ISO 11-17892 [m/s] Permeability k [m/s]		sehr stark very high > 10 ⁻²	stark high 10 ⁻² – 10 ⁻⁴	durchlässig permeable 10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	schwach low < 10 ⁻⁶	
		-	-	o	+	
Konsistenz (Ic) nach DIN EN ISO 12-17892 Consistency (Ic)		breiig very soft 0 – 0,5	weich soft 0,5 – 0,75	steif stiff 0,75 – 1,0	halbfest very stiff 1,0 – 1,25	fest hard 1,25 – 1,5
		o	+	+	o	o
Lagerungsdichte nach DIN 18126 Relative density		dicht dense	mitteldicht medium dense	locker loose		
		+	+	+		
Stützdruck [bar] Confinement pressure[bar]		0	1-4	4-7	7-15	
		+	+	o	-	
Quellpotential Swelling potential		kein none	gering little	mittel fair	hoch high	
		+	+	o	-	
Abrasivität (äquivalenter Quarzanteil) äQu [%] Abrasive (equivalent quartz content) [%]		0-5	5-15	15-35	35-75	75-100
		+	+	o	o	-
Festgestein (Rock)						
Gesteinsfestigkeit [MPa] Unconfined compressive strength [MPa]		0-5	5-25	25-50	50-100	100-250
		o	o	o	-	-
Bohrkern – Gebirgsqualität [RQD] Core sample – rock quality designation [RQD]		sehr gering very poor 0 – 25	gering poor 25 – 50	mittel fair 50 – 75	gut good 75 – 90	ausgezeichnet excellent 90 – 100
		+	o	o	o	o
Rock Mass Ratio [RMR] Rock Mass Ratio [RMR]		sehr schlecht very poor < 20	schlecht poor 21 – 40	mäßig fair 41 – 60	gut good 61 – 80	sehr gut very good 81 – 100
		+	o	o	-	-
Wasserzufluss je 10 m Tunnel [l/min] Waterinflow per 10 m tunnel [l/min]		0	0-10	10-25	25-125	> 125
		o	o	o	-	-
Abrasivität (CAI) Abrasive (CAI)		extrem niedrig extremely low 0,1 – 0,5	sehr niedrig very low 0,5 – 1	niedrig low 1 – 2	mittel – hoch medium – high 2 – 4	sehr hoch – extrem hoch very high – extremely high 4 – 6
		+	+	o	o	-
Quellpotential Swelling potential		kein none	gering little	mittel fair	hoch high	
		+	+	o	-	
Stützdruck [bar] Confinement pressure [bar]		0	1-4	4-7	7-15	
		o	+	o	-	

۴) جمع‌بندی مطالب

استفاده از روش‌های مکانیزه حفاری تونل مستلزم انتخاب ماشین مناسب با در نظر گرفتن شرایط پروژه، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی طول مسیر، تجربه و دانش فنی موجود و الزامات پروژه به خصوص زمان‌بندی پروژه است. برای انتخاب ماشین مناسب باید توانایی‌های ماشین‌های حفاری، دامنه کاربرد و محدودیت‌های خاص هر یک با توجه به شرایط زمین مسیر تونل را در نظر گرفت. اگرچه با پیشرفت تکنولوژی ماشین‌های حفاری و با استفاده از روش‌های بهسازی و افزودنی مختلف، محدوده کاربرد ماشین‌های مختلف تا حد زیادی به هم نزدیک شده است، به گونه‌ای که انواع سپرهای بسته در بازه گسترده‌ای از خاک‌های مختلف با موفقیت استفاده می‌شود. حفاری تونل با راندمان مورد نظر و کمترین هزینه و مشکلات اجرایی به انتخاب مناسب‌ترین ماشین بستگی دارد. بنابراین علاوه بر شرایط زمین و قابلیت بکارگیری دستگاه، دیگر عوامل به‌ویژه راندمان حفاری و هزینه‌های مربوط نیز مدنظر قرار خواهد گرفت.

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 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. شایان ذکر است با شناسایی مخاطرات زمین‌شناسی قبل از طراحی دستگاه حفار، می‌توان مشخصات و قابلیت‌های دستگاه TBM را به نحوی انتخاب و طراحی نمود که در حین اجرا مشکل اساسی ایجاد نشود.

۵) مراجع

- [1]-EFNARC, 2005. Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanized Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock, EFNARC recommendations.
- [2]-Langmaack, L., 2008. Chances & limits of soil conditioning, BASF construction chemical, UGC underground construction group.
- [3]-Maidl, B., Herrenknecht, M., Anheuser, L., 1996. Mechanised Shield Tunneling, Ernst & Sohn, Berlin.
- [4]-Thewes, M., 2007. TBM tunnelling challenges-redefining the state of the art, ITA-AITES WTC 2007, PRAGUE.
- [5]-Rheological Foam Shield Tunneling Method Association, 1993. Rheological Foam Shield Tunneling Method, Obayashi Corporation, Planning Department, Civil Engineering Technology Division, Tokyo.
- [6]-Quebaud, S., 1996. Contribution a l'Etude du Percement de Galeries par Boucliers a Pression de Terre: Ame'lioration du Creusement par l'Utilisation des Produits Moussants: Ph.D. Thesis, Universite' des Sciences et Technologies de Lille, Lille, France [in French].
- [7]-Quebaud, S., Sibai, M., Henry, J. P., 1998. Use of chemical foam for improvements in drilling by earth pressure balanced shields in granular soils: Tunnelling Underground Space Technology, Vol. 13, pp. 73-180.
- [8]-Jancsecz, S., Krause, R., Langmaack, L., 1999. Advantages of soil conditioning in shield tunnelling: Experiences of LRTS Izmir. In Alten, T. and Broch, E. (Editors), ITA-AITES World Tunnel Congress '99: Challenges for the 21st Century: Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- [9]-Peila, D., Oggeri, C., Vinai, R., 2007. Screw conveyor device for laboratory tests on conditioned soil for EPB tunneling operations: Journal Geotechnical Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, pp. 1622-1625



چکیده

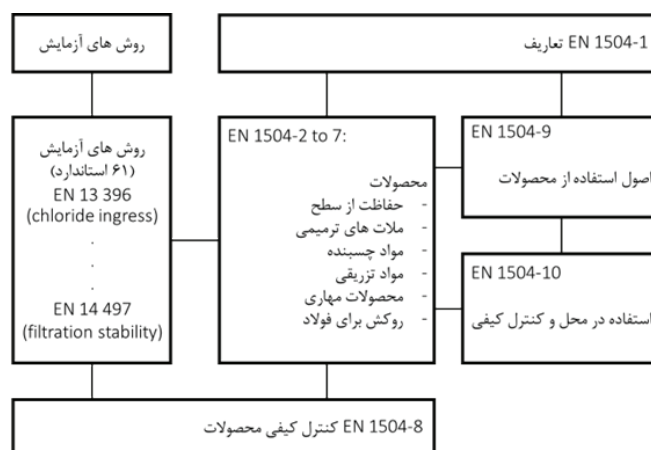
نگهداری صحیح سازه های بتنی به منظور تضمین طول عمر طراحی شده تونل ضروری می باشد. از آنجایی که عوامل زیادی در تخریب و زوال بتن می تواند وجود داشته باشند، بنابراین ترمیم بتن یک فعالیت تخصصی است که نیازمند پرسنل آموزش دیده و دارای صلاحیت در تمام مراحل این فرآیند است. آشنایی ناکافی و تشخیص خرابی و زوال بتن، انتخاب ناصحیح محصولات، جزئیات و تکنیک های ترمیم و راه حل های کوتاه مدت منجر به نارضایتی کارفرما خواهد شد. به طوری که تحقیقات پژوهشی در این زمینه نشان دهنده این موضوع است که ۲۵٪ صاحبان سازه در مورد عملکرد و کارایی ترمیم و مواد محافظتی بعد از گذشت ۵ سال و ۷۵٪ بعد از گذشت ۱۰ سال از ترمیم، نارضاضی هستند. پیروی از یک استاندارد جامع در این زمینه می تواند موجب ترمیم با کیفیت بتن و در نتیجه کاهش مناقشات بین کارفرما و پیمانکار شود. از این رو در این پژوهش سعی شده است تا دستورالعملی جامع بر اساس مراجع معتبر جهت ترمیم بتن سگمنت در تونل های مکانیزه ارائه شود.

۱) مقدمه

پیروی از یک استاندارد جامع و پیچیده کار ترمیم و محافظت از بتن را تضمین خواهد کرد که منجر به افزایش رضایت صاحبان کار خواهد شد. استاندارد اروپایی EN 1504 فعالیت های مربوط ترمیم را به صورت استاندارد درآورده است و یک چارچوب مشخص و مناسبی برای دستیابی به ترمیم موفق و با دوام را در اختیار قرار داده است. استاندارد EN 1504 با عنوان Products and systems for the protection and repair of concrete structures برای اولین بار تمام جنبه های فرآیند ترمیم و محافظت را مورد بررسی قرار داده که شامل موارد زیر است:

- تعاریف و اصول ترمیم؛
- لزوم تشخیص دقیق علل خرابی قبل از مشخص کردن روش ترمیم؛
- درک کامل نیازهای مشتری؛
- الزامات عملکردی محصولات و روش های آزمایش؛
- کنترل تولید کارخانه و ارزیابی تطبیق شامل نشان CE؛
- روش های استفاده در محل و کنترل کیفی کار.

این استاندارد از ۱۰ قسمت تشکیل شده است که ساختار بخش های مختلف آن در (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار سری استاندارد EN 1504-1 تا EN 1504-10

استاندارد EN 1504-9 مراحل پروژه ترمیم را پیرو یک توالی منطقی و تحت الشعاع جنبه‌های مهندسی نشان می‌دهد. در این پژوهش سعی شده تا از همین رویه در انجام ترمیم استفاده گردد. (شکل ۲) نمونه‌ای از مراحل پروژه‌های ترمیم را بر اساس استاندارد EN 1504 نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمونه‌ای از مراحل پروژه‌های ترمیم طبق EN 1504

۲) ارزیابی انواع آسیب‌های سگمنت

باید یک ارزیابی از آسیب‌ها و عیب‌های موجود، دلایل آن‌ها و توانایی سازه در ایفای کارکرد خود انجام شود. فرایند ارزیابی سازه باید شامل موارد زیر باشد (لزومی نیست که فقط به این موارد محدود شد):

- وضعیت قابل رویت سازه موجود؛
- آزمایش برای تعیین وضعیت بتن و آرماتور؛
- رویکرد طراحی اولیه؛
- محیط، شامل در معرض آلودگی بودن؛
- تاریخچه سازه، شامل قرار گرفتن در شرایط محیطی مختلف؛
- وضعیت بکارگیری (مثلاً بارگذاری یا عوامل دیگر)؛
- الزامات برای استفاده در آینده.

ماهیت و دلایل آسیب‌ها، شامل ترکیبی از عوامل، باید شناسایی و ثبت شوند. اندازه تقریبی و نرخ احتمالی افزایش آسیب‌ها باید مورد ارزیابی قرار گیرد. زمانی که عضو یا سازه بدون اعمال اقدامات ترمیم و محافظت آنگونه که در نظر داریم عمل نکنند، برآورد باید انجام گیرد. نتایج ارزیابی تکمیل شده باید تا زمانی که کارهای ترمیم و محافظت، طراحی و اجرا می‌شوند معتبر باشند، اگر در اثر گذر زمان یا هر دلیل دیگر شکلی در مورد اعتبار ارزیابی وجود داشته باشد باید ارزیابی جدیدی انجام گیرد.

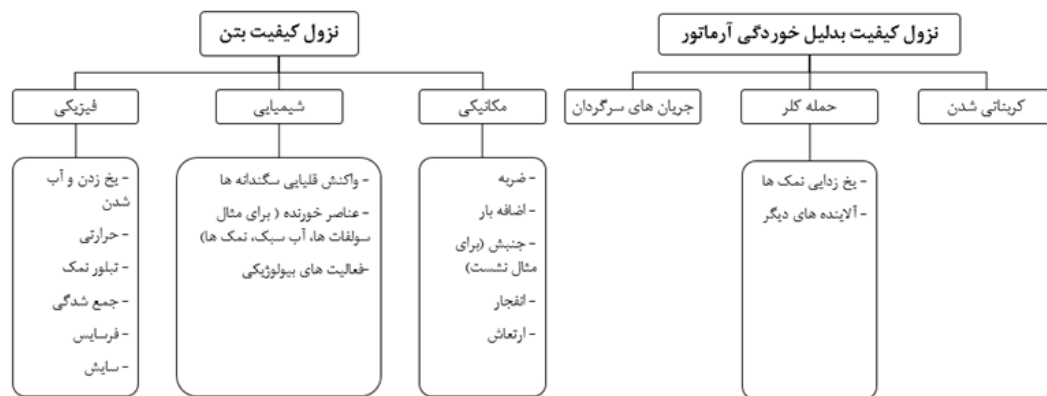
آسیب‌ها در سازه بتنی تونل می‌تواند ناشی از طراحی، مشخصات، نظارت، اجرا و مصالح باشد، شامل:

- طرح هندسی پوشش تونل؛
- نصب نامناسب و بی دقت؛
- طراحی سازه نامناسب؛
- طرح اختلاط نامناسب، تراکم و اختلاط ناکافی؛
- پوشش ناکافی؛
- آببندی ناکافی یا ناقص؛
- آلودگی، مصالح دانه‌ای ضعیف یا واکنش پذیر؛
- عمل‌آوری ناکافی.

آسیب‌های دیگر ممکن است در دوره سرویس ظاهر شوند، شامل اثرات:

- خوردگی آرماتور؛
- شرایط آب و هوایی، آلودگی جو، کلرید، کربن دی اکسید، مواد شیمیایی خورنده؛
- حرکت اتصالات بهم چسبیده، اضافه بار؛
- آسیب ضربه، نیروهای ناشی از حریق؛
- فرسایش، آب زیرزمینی خورنده، اثر زلزله؛
- جریان‌های سرگردان الکتریکی.

دلایل عمده و رایج این آسیب‌ها در بتن و خوردگی آرماتور در (شکل ۳) خلاصه شده‌اند.



شکل ۳- دلایل رایج آسیب بتن و آرماتور

آسیب‌های وارده به قطعات سگمنت دلایل مختلفی دارند که فارغ از علت وقوع، انواع آسیب را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود و سپس طبق روش توضیح داده شده با محصولات ترمیمی منایب، ترمیم یا آب‌بند نمود. خرابی سگمنت‌ها در طی ساخت، با توجه به راهنمای بازدید بزرگراه‌ها و حمل و نقل ریلی کشور آمریکا^۱ و استاندارد ACI-201-1R-08 مربوط به بازدید چشمی بتن^۲ و پروژه‌های مشابه و تجارب کارگاهی ثبت شده از تونل‌های مختلف، طبقه‌بندی شده است. (جدول ۱) و (شکل ۴) طبقه‌بندی فوق‌الذکر را نشان می‌دهد.

1- Highway and Rail Transit Tunnel Inspection Manual (2005)

2- Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service

جدول ۱- دسته‌بندی انواع آسیب‌ها

ردیف	نوع آسیب	نماد	توضیحات
۱	ترک خوردگی (Cracking)	CR	شکاف طولی در بتن بدلیل تجاوز نیروهای کششی از مقاومت کششی بتن برداشت موقعیت و طول و نوع ترک درجه بندی: CR1- غیر سازه‌ای: بازشدگی ترک کمتر از ۰٫۳ mm CR2- سازه‌ای: بازشدگی ترک بیشتر از ۰٫۳ mm
۲	پوسته شدگی (Scaling)	SC	از بین رفتن تدریجی و مداوم ملات و دانه‌های سطحی، برداشت موقعیت و ابعاد درجه بندی: SC1- جزئی: تا عمق ۶ mm SC2- متوسط: از عمق ۶ تا ۲۵ mm SC3- شدید: عمق بیشتر از ۲۵ mm
۳	قلوه کن شدن (Spalling)	SP	جداشدگی و از بین رفتن قسمتی از بتن برداشت موقعیت و ابعاد درجه بندی: SP1- غیر سازه‌ای: کمتر از ۵۰ mm و نمایان نبودن آرماتور SP2- سازه‌ای: عمق بیشتر از ۵۰ mm یا نمایان بودن آرماتور
۴	خوردگی (Corrosion)	C	نمایان بودن آرماتور در اثر قلوه کن شدن بتن یا سایر عوامل خرابی. برداشت میزان زنگ زدگی درجه بندی: C1- زنگ زدگی کم رنگ بدون کرم خوردگی C2- زنگ زدگی با پوسته شدن، کاهش سطح آرماتور تا ۱۵٪ C3- زنگ زدگی زیاد، کاهش سطح آرماتور بیش از ۱۵٪
۵	ناحیه تو خالی (Hollow Area)	HA	ناحیه‌ای از بتن که در اثر ضربه چکش صدای ناحیه تو خالی ایجاد می‌کند. برداشت موقعیت و ابعاد
۶	تراوش آب از درز بین سگمنت‌ها (Leakage from joints)	LJ	نشت آب از درز بین قطعات سگمنت برداشت موقعیت و ابعاد درجه بندی: LJ1- مرطوب بودن سطح بتن بدون چکه LJ2- جریان فعال کمتر از ۳۰ چکه در دقیقه LJ3- جریان فعال بیشتر از ۳۰ چکه در دقیقه
۷	تراوش آب از محل ترک‌ها (Leakage from cracks)	LC	ناحیه‌ای از سطح بتن که آب از داخل آن نفوذ می‌کند. برداشت موقعیت و ابعاد درجه بندی: LC1- مرطوب بودن سطح بتن بدون چکه LC2- جریان فعال کمتر از ۳۰ چکه در دقیقه LC3- جریان فعال بیشتر از ۳۰ چکه در دقیقه
۸	کرمو شدن (Honeycomb)	HO	ناحیه‌ای از بتن که در ساخت به طور کامل پر نشده است. برداشت موقعیت و ابعاد
۹	شوره زدگی (Efflorescence)	EF	رسوب کلسیم هیدروکسید محلول در آب، معمولاً به رنگ سفید، زرد و قهوه‌ای و از داخل ترک‌ها به شکل استالاکتیک و استالاگمیت‌ها برداشت موقعیت، وسعت و رنگ درجه بندی: EF1- تا حد ضخامت ۶ mm EF2- ضخامت بین ۶ تا ۲۵ mm EF3- ضخامت بالای ۲۵ mm
۱۰	شکست قطعه (Patch Failure)	PF	قطعه بتن قبلاً نصب شده که نشانه‌های جداشدگی، ترک خوردگی و ضعف‌های دیگری را نشان می‌دهد.
۱۱	لکه دار شدن (Staining)	ST	تغییر رنگ سطح بتن بدلیل مواد منحل که از داخل ترک‌ها عبور کرده و با تبخیر آب رسوب می‌کنند. برداشت موقعیت، ابعاد و رنگ

ردیف	نوع آسیب ایجاد شده	تصویر
۷	باز خوردگی در سطح پیوسته سگمنت	
۸	ترک‌های مویی در سطح داخلی سگمنت	
۹	ظاهر شدن ترک‌های غیر قابل دید	
۱۰	کمانش در تپه طولی (سگمنت‌های فولادی)	
۱۱	تغییر شکل در تپه‌های فولادی	
۱۲	شکست بولت‌های سگمنتی	
۱۳	سایر	

ردیف	نوع آسیب ایجاد شده	تصویر
۱	ترک در جهت محور تونل	
۲	ترک در جهت محیط تونل	
۳	لب پریزدگی در گوشه سگمنت	
۴	باز خوردگی در اتصالات سگمنتی	
۵	باز خوردگی در اتصالات رینگ	
۶	ترک‌باز خوردگی اطراف جعبه اتصالات بولتی	

شکل ۴- انواع آسیب سگمنت در تونل‌های مکانیزه

۳) اصول و روش‌های ترمیم و محافظت

اصول ترمیم و محافظت بر اساس اصول شیمیایی، الکتروشیمیایی و یا فیزیکی هستند که برای جلوگیری یا پایداری خرابی بتن یا خوردگی الکتروشیمیایی سطح آرماتور یا برای تقویت سازه بتنی استفاده می‌شوند. (جدول ۲) شامل مثال‌هایی از روش‌های ترمیم و محافظت مربوط به اصول هستند. تنها باید روش‌هایی که مطابق با اصول هستند با در نظر گرفتن هر پیامد نامطلوب ممکن، بکارگیری روش یا ترکیبی از روش‌ها تحت شرایط خاص ترمیم انتخاب گردند. سایر روش‌هایی که در استاندارد EN 1504 شرح داده نشده اگر شواهد مستندی که نشان دهنده تطابق آن با یک یا چند اصل هستند وجود داشته باشد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. مشخصات محصولات برای اجرای روش خاص در بخش ۲ تا ۷ استاندارد EN 1504 ارائه شده است. ناحیه ترمیم شده باید واجد شرایط ذیل باشد:

- داشتن مقاومت فشاری ناحیه‌ی ترمیم شده برابر یا بیش‌تر از مقاومت فشاری بتن اصلی؛
- پیوستگی سراسری و دائمی با بتن مجاور؛
- نفوذناپذیری کافی جهت حفاظت بتن اصلی؛
- عاری بودن از ترک‌های انقباضی و مویی؛
- داشتن مقاومت کافی در مقابل یخبندان و آب شدن متناوب.

جدول ۲- انواع روش‌های ترمیم و محافظت مربوط به اصول

نوع آسیب	اصول و روش پیشنهادی جهت ترمیم طبق استاندارد EN 1504
آسیب سازه‌ای	اصل ۴ روش ۴
پوسته شدن جزیی یا آسیب غیر سازه‌ای	اصل ۳ روش ۱
آسیب سازه‌ای دارای نشئت آب	اصل ۴ روش ۴ و اصل ۳ روش ۱
ترک سازه‌ای قابل توجه (عرض بالاتر از 0.3 mm)	اصل ۱ روش ۵
ترک‌های مویی دارای نشئت آب	اصل ۱ روش ۶
نشئت آب از محل حفره تزریق دوغاب	اصل ۴ روش ۴ و اصل ۱ روش ۵
نشئت آب از مرز اتصال سگمنت‌ها	اصل ۴ روش ۴ و اصل ۱ روش ۵
خوردگی میلگرد	اصل ۷ روش ۲ و اصل ۴ روش ۱

اصول ۱ تا ۶ عنوان شده در (جدول ۳)، روش رفع نواقص بتن یا سازه بتنی به علت عوامل زیر را پوشش می‌دهند که می‌تواند بصورت تک یا ترکیبی عمل کنند:

- مکانیکی: برای مثال ضربه، اضافه بار، حرکت بدلیل نشست و انفجار؛
- شیمیایی و بیولوژیکی: برای مثال حمله سولفات، واکنش قلیایی سنگدانه‌ها؛
- فیزیکی: برای مثال اثر یخ زدن و ذوب شدن، ترک حرارتی، حرکت رطوبت، تبلور نمک و فرسایش؛
- آتش.

در (جدول ۳) اصول ۷ تا ۱۱ خوردگی آرماتور را پوشش می‌دهند که به علل زیر است:

- از بین رفتن فیزیکی پوشش محافظ بتن؛
- از بین رفتن شیمیایی خصلت قلیایی در پوشش بتنی محافظ در اثر واکنش با کربن دی اکسید اتمسفر (کربناسیون)؛
- آلودگی پوشش بتنی محافظ با عناصر خورنده (معمولا یون‌های کلر) زمانیکه بتن مخلوط می‌شود در آن تشکیل می‌شود یا از محیط به داخل بتن نفوذ می‌کند؛
- جریان‌های الکتریکی سرگردان القاء شده و هدایت شده در آرماتور از تاسیسات الکتریکی مجاور.

هر کجا خوردگی موجود در آرماتور یا خطر بوجود آمدن خوردگی در آینده وجود داشته باشد، یک یا چند اصل از ترمیم و محافظت خوردگی (اصول ۷ تا ۱۱) باید انتخاب شود. بعلاوه خود بتن باید در صورت لزوم طبق اصول ۱ تا ۶ ترمیم شود.

جدول ۳- اصول و روش‌ها برای ترمیم و محافظت از سازه بتنی

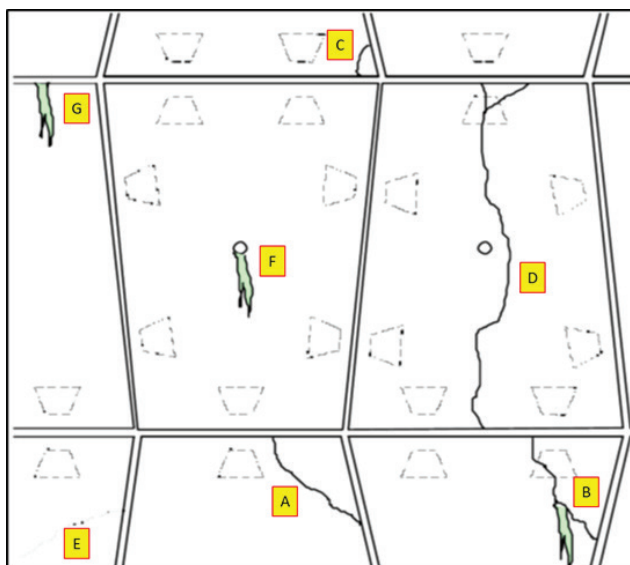
بخش مربوطه در استاندارد EN 1504	نمونه‌ای از روش‌های مبتنی بر اصول	اصول
اصول و روش‌های مربوط به رفع عیوب و نقص‌های بتن		
۲	۱-۱ آغشته‌سازی دافع آب	۱- محافظت در برابر نفوذ
۲	۲-۱ آغشته‌سازی	
۲	۳-۱ روکش	
	۴-۱ نواربندی سطح ترک‌ها	
۵	۵-۱ پرکردن ترک‌ها	
	۶-۱ تبدیل ترک‌ها به درزها	
	۷-۱ نصب صفحات خارجی	
	۸-۱ بکاربردن غشاء	
۲	۱-۲ آغشته‌سازی دافع آب	۲- کنترل رطوبت
۲	۲-۲ آغشته‌سازی	
۲	۳-۲ روکش	
	۴-۲ نصب صفحات خارجی	
	۵-۲ عملیات الکتروشیمیایی	
۳	۱-۳ بکار بردن ملات بصورت دستی	۳- بازسازی بتن
۳	۲-۳ قالب‌گیری مجدد با بتن یا ملات	
۳	۳-۳ پاشیدن بتن یا ملات	
	۳-۴ جایگزین کردن المان‌ها	

۴- تقویت سازه	۱-۴ افزودن یا تعویض آرماتورهای خارجی یا جاسازی شده	
	۲-۴ افزودن آرماتور مهار شده در حفره های سوراخ شده یا تعبیه شده از قبل	۶
	۳-۴ چسباندن ورق تقویتی	۴
	۴-۴ افزودن ملات یا بتن	۴، ۳
	۵-۴ تزریق کردن ترک ها، حفرات و خلل و فرج	۵
	۶-۴ پرکردن ترک ها، حفرات و خلل و فرج	۵
	۷-۴ پیش تنیدگی - (پس کشیدگی)	
۵- افزایش مقاومت فیزیکی	۱-۵ روکش	۲
	۲-۵ آغشته سازی	۲
	۳-۵ افزودن ملات یا بتن	۳
۶- مقاومت در برابر مواد شیمیایی	۱-۶ روکش	۲
	۲-۶ آغشته سازی	۲
	۳-۶ افزودن ملات یا بتن	۳
اصول و روش های مربوط به خوردگی آرماتور		
۷- محافظت و ترمیم در برابر خوردگی	۱-۷ افزودن پوشش با بتن یا ملات اضافی	۳
	۲-۷ تعویض بتن آلوده یا کربناته شده	۳
	۳-۷ باز قلیایی شدن الکتروشیمیایی بتن کربناته شده	
	۴-۷ باز قلیایی شدن بتن کربناته شده بوسیله پراکندگی	
	۵-۷ برون کشی کلرید الکتروشیمیایی	
۸- افزایش مقاومت ویژه	۱-۸ آغشته سازی دافع آب	۲
	۲-۸ آغشته سازی	۲
	۳-۸ روکش	۲
۹- کنترل کاتدی	۱-۹ محدود کردن درصد اکسیژن بوسیله اشباع یا پوشش سطح	
۱۰- محافظت کاتدی	۱-۱۰ اعمال پتانسیل الکتریکی	
۱۱- کنترل نواحی اندی	۱-۱۱ پوشش فعال برای آرماتور	۷
	۲-۱۱ پوشش مانع برای آرماتور	۷
	۳-۱۱ بکاربردن بازدارنده های خوردگی در بتن	

۴) ترمیم سگمنت های تونل مکانیزه

یکی از نکات کلیدی و مهم در ساخت تونل به خصوص در فضاهای شهری، شکل ظاهری و کیفیت نصب قطعات پیش ساخته یا سگمنت نصب شده در درون تونل است. عدم توجه به این امر سبب می شود که شکل ظاهری تونل از کیفیت مناسبی برخوردار نشود. شکستگی های ایجاد شده در سگمنت ها، شکل ظاهری تونل را تحت تاثیر قرار داده و کیفیت اجرا را به صورت پائین نشان می دهد. شکستگی های ایجاد شده در سگمنت ها می تواند در هنگام حفاری تونل سبب ورود آب زیرزمینی و یا حتی دوغاب تزریقی به درون تونل شود. همچنین ممکن است به دلیل شکستگی سگمنت و نشت آب، در شرایط بهره برداری مشکلاتی را برای خدمت پذیری تونل به وجود آورد. لذا با توجه به مطالب عنوان شده، باید این آسیب ها مطابق روال مشخص شده در استاندارد شناسایی شده و پس از ارزیابی شدت اثر آن ها مطابق اصول مشخص شده در استاندارد با روش های تعیین شده منطبق بر استاندارد EN1504 با مواد منطبق بر این اصول مطابق استاندارد ترمیم شوند.

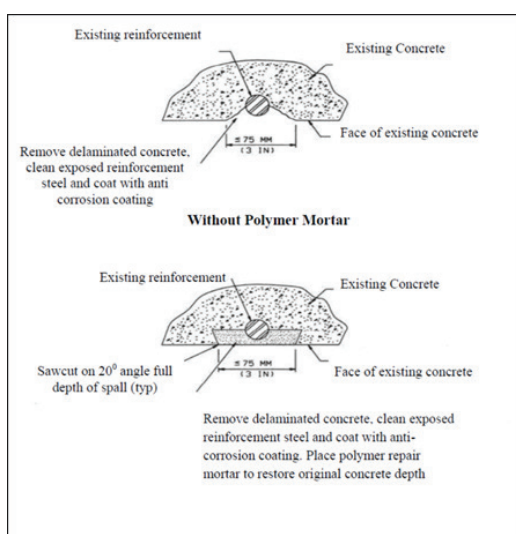
هریک از آسیب های رخ داده به صورت تصویری در (شکل ۵) نمایش داده شده و دستورالعمل اصلاحی آن در ادامه تشریح شده است.



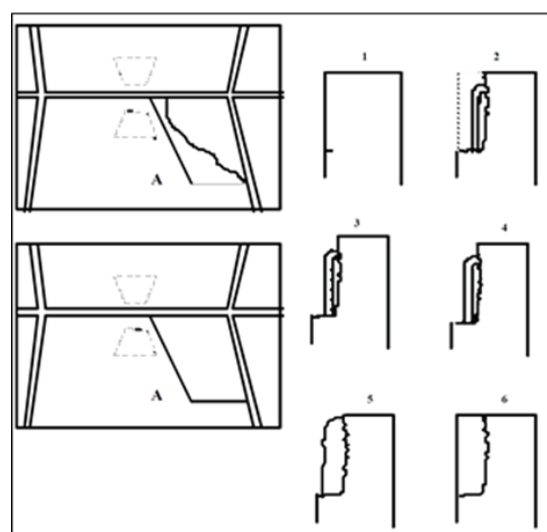
شکل ۵- انواع آسیب معمول رخ داده در سگمنت‌های تونل

۴-۱) ترمیم آسیب نوع A - آسیب سازه‌ای

در مرحله اول با روش برش اژه‌ای بتن، ناحیه اطراف ترک برش زده می‌شود (شکل ۶). سپس بتن آسیب دیده واقع در این ناحیه زدوده می‌شود. اگر آرماتورهای موجود نمایان باشند ولی صدمه ندیده باشند به صورتی که در (شکل ۷) نمایش داده شده است اطراف و زیر آرماتور با هندسه مناسب تخلیه می‌گردد. سپس ناحیه تحت ترمیم به طور کامل با آب تمیز غرقاب می‌شود. در صورتی که بارگذاری مجدد روی بتن با جک دستگاه انجام خواهد گرفت می‌توان طبق از محصولی جهت ایجاد استحکام بیشتر بین سطح بتن جدید و قدیم استفاده نمود. در مواردی که شکستگی در قوس بیرونی سگمنت در بیرون از تونل در پرتال و حین حمل رخ می‌دهد لازم است بر روی شبکه آرماتور نمایان شده از مواد ضد خوردگی (anti-corrosion) استفاده نمود. پس از آماده‌سازی بستر مطابق (شکل ۷) با هر ماده ترمیمی تایید شده ضخامت موجود تا سطح نهایی طی یک یا دو مرحله به تناسب نوع ماده ترمیمی و بسته به عمق ترمیم با رعایت طرح اختلاط آن ماده پر می‌گردد. تا حد امکان لازم است شکل ظاهری ترمیمات نیز هم سطح یکنواخت و هم رنگ یکنواختی با سطح و رنگ بتن سگمنت را داشته باشند. در صورتی که در آسیب سازه‌ای وارد شده آرماتورهای موجود نیز صدمه دیده باشند لازم است جایگزینی آرماتور مطابق به روشی که در ادامه توضیح داده شده است انجام پذیرد.



شکل ۷- نحوه آماده‌سازی و ترمیم سگمنت در محدوده‌هایی که آرماتور نمایان شده (ولی قطع نگردیده است)

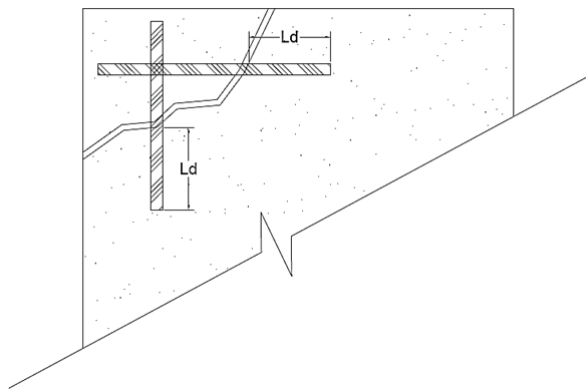


شکل ۶- مراحل آماده‌سازی و رفع آسیب سازه‌ای در سگمنت‌ها

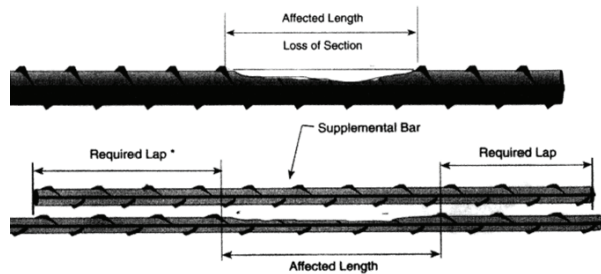
۲-۴) آرماتورگذاری برای میلگردهای آسیب دیده

در حالتی که آرماتور داخل بتن قطع شده یا به دلیل خوردگی دچار کاهش سطح مقطع شده باشد می‌توان با اضافه کردن آرماتور به تقویت ناحیه آسیب دیده پرداخت. در صورت قطع میلگرد آرماتور آسیب دیده آرماتور اضافه جدید توسط وصله مکانیکی به آرماتور قدیم متصل می‌شود یا می‌تواند با جایگذاری هم تراز با فاصله تقریبی $\frac{3}{4}$ inch از آرماتور قدیمی با طول وصله مناسب در کنار آن قرار داد (اشکال ۸ و ۹).

برای آرماتورهای آسیب دیده، باید معادل همین آرماتورها (به لحاظ قطر، تعداد و طول میلگرد) در مقطع در تراز قرارگیری آنها جایگذاری شود. برای جایگذاری باید طول مهاری میلگرد در بتن سخت شده تامین شود. بتن سخت شده به مثابه تکیه‌گاه این آرماتور محسوب می‌شود. با توجه به عملکرد سگمنت بتن که به صورت دال دو طرفه است، برخی از میلگردها تحت بار سرویس در حالت کشش و برخی در حالت فشار هستند. از آن جایی که طول مهاری در حالت کشش بیش‌تر از حالت فشاری است، بنابراین در جهت اطمینان و برای سهولت اجرا از طول مهاری کششی استفاده می‌شود.



شکل ۹- نمایش طول مهاری (Ld) میلگردهای قطع شده در بتن سخت شده



شکل ۸- نمایش طول مهاری (Ld) میلگردهای آسیب دیده در بتن سخت شده

طبق ACI-318-05 طول مهاری در حالت کشش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_d = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{(C_b + K_{tr})} d_b \geq 300 \text{ mm}, \left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right) \leq 2.5$$

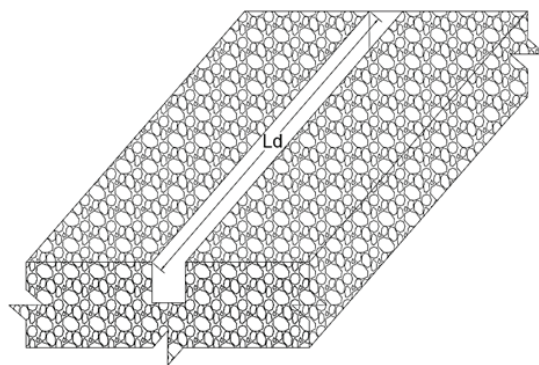
که در این رابطه:

- L_d : طول مهاری میلگرد تحت کشش
- f_y : تنش تسلیم آرماتور
- f'_c : مقاومت مشخصه بتن
- ψ_t : ضریب موقعیت میلگرد
- ψ_e : ضریب پوشش میلگرد
- ψ_s : ضریب اندازه‌ی میلگرد
- λ : ضریب بتن با دانه‌ای سبک
- C_b : بعد پوشش بتن یا فاصله‌ی بین میلگردها
- K_{tr} : شاخص فولاد عرضی

به عنوان یک ساده‌سازی در طراحی، می‌توان حتی در صورت وجود فولادهای عرضی، به صورت محافظه‌کارانه فرض نمود که K_{tr} برابر صفر است.

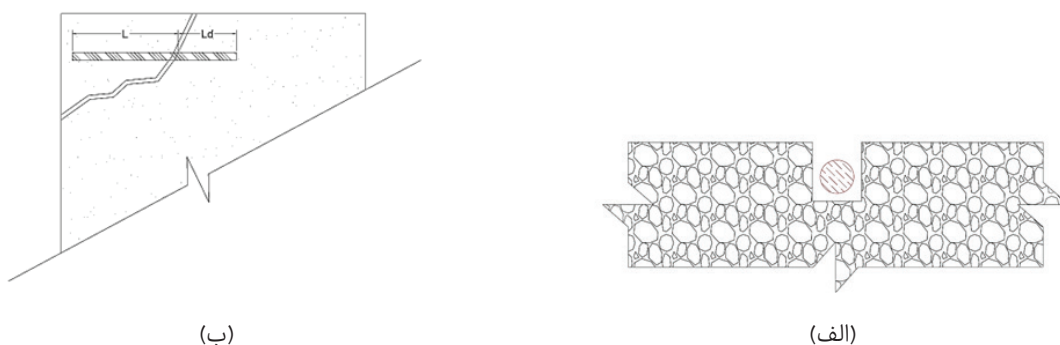
گام‌هایی که برای جاگذاری میلگردهای آسیب دیده باید طی کرد به شرح زیر است:

- ۱- ایجاد شیار به طول L_d (۳۰۰ میلی‌متر)، به عرض اندکی بیش‌تر از قطر میلگرد و به عمق اندکی بیش‌تر از تراز قرارگیری میلگرد قطع شده (شکل ۱۰).



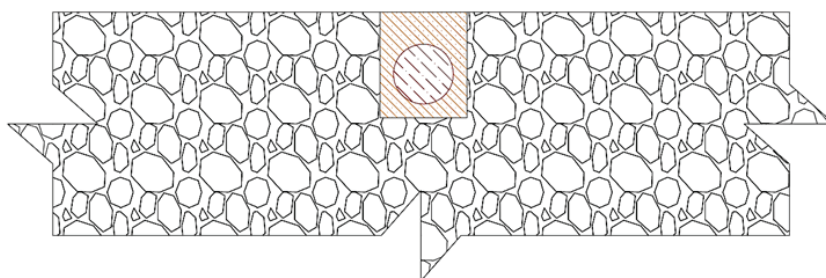
شکل ۱۰- ایجاد شیار به طول L_d (300 میلی‌متر)، به عرض اندکی بیش‌تر از قطر میلگرد و به عمق اندکی بیش‌تر از تراز قرارگیری میلگرد قطع شده

- ۲- قراردادن میلگرد مشابه میلگرد قطع شده (به لحاظ قطر و نوع میلگرد) به نحوی که طول کل میلگرد جاگذاری برابر طول میلگرد قطع شده بعلاوه طول مهاري آن (۳۰۰ میلی‌متر) $(L+L_d)$ باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- ایجاد شیار قرار دادن میلگرد داخل شیار در تراز میلگرد قطع شده (الف) پروفیل و (ب) پلان

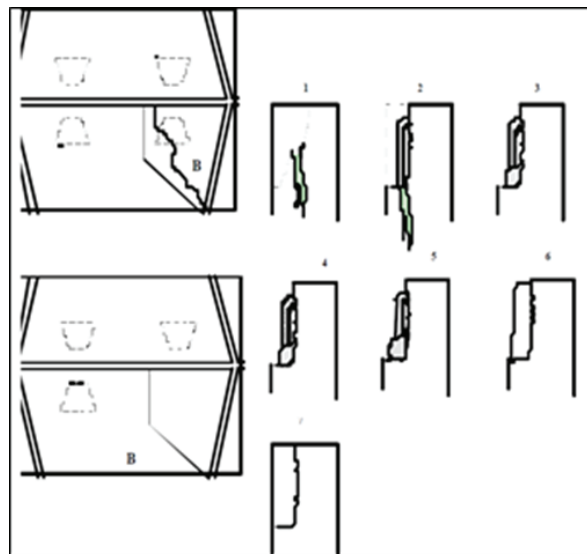
- ۳- آماده کردن شیار برای پر شدن با ماده ترمیم مطابق دستورالعمل عنوان شده برای ترمیم سگمنت.
- ۴- پر کردن شیار با ماده ترمیم (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- ایجاد پر کردن شیار با ماده ترمیم

۳-۴) ترمیم ترک نوع B - آسیب سازه‌ای دارای نشست آب

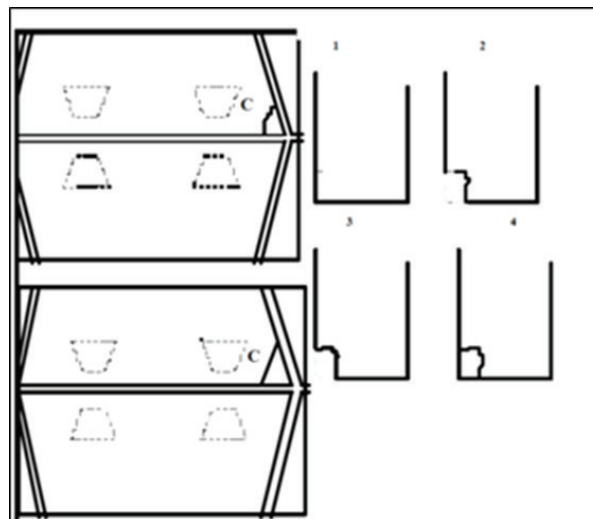
در مرحله اول با روش برش اره‌ای بتن ناحیه اطراف ترک برش زده می‌شود. سپس بتن آسیب دیده واقع در این ناحیه زدوده می‌شود. جهت جلوگیری از نشست آب از فرآورده آبی‌گیر استفاده می‌شود. ناحیه تحت ترمیم به طور کامل با آب تمیز غرقاب شده و جهت ایجاد استحکام بیشتر بین دو بتن در مواقعی که قرار بر اعمال نیروی مجدد روی بتن توسط جک‌های دستگاه باشد سطح بتن قدیمی مواد استحکام دهنده پوشانده می‌شود. مطابق (شکل ۱۳) با ملات ترمیمی با قابلیت جمع‌شدگی کنترل شده با ضخامت مجاز در طی یک یا چند مرحله ترمیم انجام می‌گیرد. در نهایت بایستی پرداخت مناسب بر روی سطح جهت یکنواختی سطح تمام شده انجام پذیرد تا یکنواختی سطح و رنگ تا حد امکان حفظ گردد. در صورت مشاهده قطعی آرماتور در گوشه‌ها آرماتور مزبور بایستی مطابق دستورالعمل ارائه شده در بخش پیشین جایگذاری گردد. عمل‌آوری محدوده ترمیم شده مطابق دستورالعمل ماده ترمیمی مصرفی در شرایط دمایی پیشنهادی مواد ترمیمی بایستی انجام پذیرد.



شکل ۱۳- مراحل ترمیم ترک سازه‌ای دارای نشست آب

۴-۴) ترمیم آسیب نوع C - لب پریدگی سگمنت

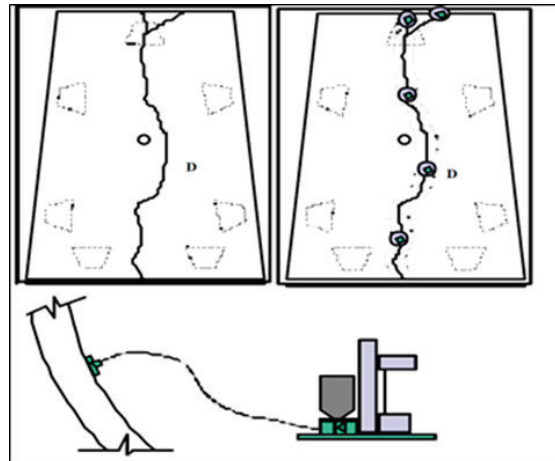
در این حالت صرفاً بتن کاور آرماتور از بین رفته و آسیبی به آرماتور وارد نشده است بنابراین در مرحله اول با روش برش اره‌ای یا قلم و جکش بتن ناحیه اطراف ترک برش زده می‌شود. سپس بتن آسیب دیده واقع در این ناحیه زدوده می‌شود. ناحیه تحت ترمیم به طور کامل با آب تمیز غرقاب می‌شود. مطابق (شکل ۱۴) با هر ماده ترمیمی تایید شده ترمیم انجام می‌گیرد.



شکل ۱۴- ترمیم لب پریدگی سگمنت

۴-۵) ترمیم ترک نوع D- ترک سازه‌ای بزرگ

در صورت وجود هرگونه نشت از داخل ترک به بیرون ابتدا با تزریق فرآورده رزین اپوکسی در ترک جلوی نشت آب گرفته می‌شود (شکل ۱۵). با توجه به نوع ترک از لحاظ حرکت از فرآورده‌های رزین اپوکسی برای ترک‌های پویا و ایستا جهت جبران کاهش مقاومت بتن استفاده می‌شود. این فرآورده‌ها به ترتیب بر پایه‌های رزین پلی‌اورتان و اپوکسی می‌باشند و پس از آموزش پرسنل یا از طریق پیمانکاران دارای تجهیزات تزریق قابل انجام می‌باشند.

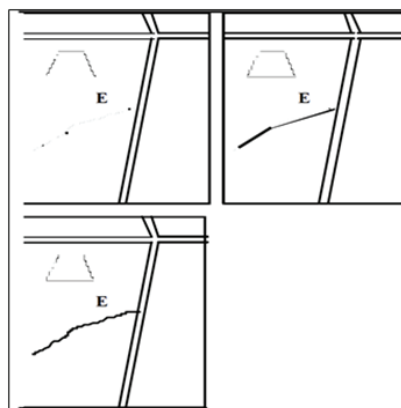


شکل ۱۵- روش آببندی و ترمیم ترک‌های سازه‌ای بزرگ در سگمنت‌ها

خصوص اطمینان از نفوذ کامل ماده ترمیمی به داخل ترک، برای این منظور می‌توان از روش مخرب (برای مثال مغزه‌گیری) یا روش‌های غیرمخرب (مثلاً impact echo یا اندازه‌گیری‌های التراسونیک) استفاده کرد. با توجه به زمان‌بر بودن روش‌های بازرسی این روش‌ها معمولاً به بررسی‌های موضعی محدود می‌شوند. در نتیجه بطور موردی بعد از انجام عمل تزریق و سخت شدن ماده ترمیمی عمل کرگیری از محل ترک جهت بررسی انجام می‌گیرد.

۴-۶) ترمیم ترک نوع E- ترک مویی (تا عرض ۰/۳ میلی‌متر) دارای نشت آب

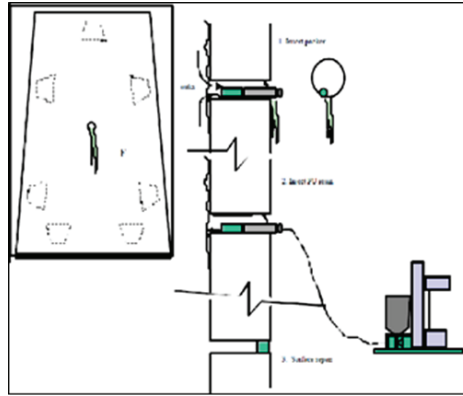
در صورتی که ترک مویی دارای نشت آب باشد با استفاده از دستگاه برش‌زن روی ترک شیار به عرض و عمق ۱۵ میلیمتر به شکل V ایجاد می‌گردد (شکل ۱۶). سطح بتن در ناحیه برش با محصولی استحکام دهنده پوشانده می‌شود. سپس برش را با استفاده از فرآورده‌های پرکننده آببند یا محصولات مشابه مورد تایید پر می‌شود.



شکل ۱۶- شیوه ترمیم ترک‌های مویی

۴-۷) ترمیم ترک نوع F- نشت آب از محل تزریق دوغاب

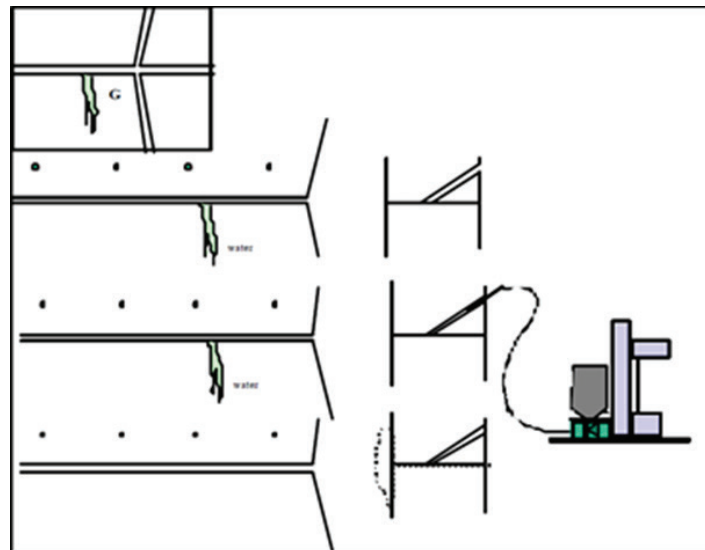
در صورت وجود هرگونه نشت از داخل حفره به بیرون ابتدا با تزریق فرآورده‌ای رزین اپوکسی در حفره جلوی نشت آب گرفته می‌شود (شکل ۱۷). حفره با فرآورده‌ای خود ترکمی کنترل شده با ضخامت مناسب طی یک یا دو مرحله پر می‌گردد. هم‌رنگی و کیفیت زبری سطح بایستی تا حد ممکن با سایر قسمت‌های سگمنت حفظ گردد.



شکل ۱۷- نحوه آب‌بندی نشت آب از سوراخ‌های تزریق در سگمنت‌ها

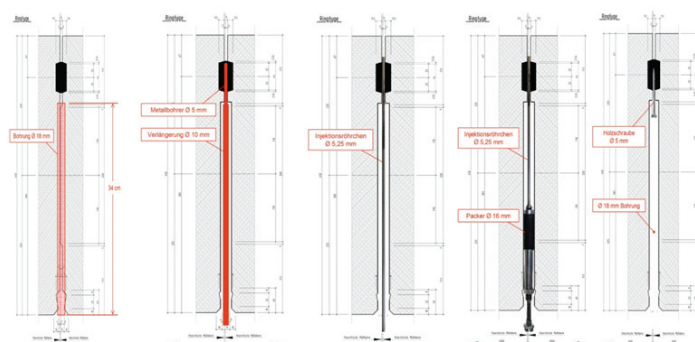
۴-۸) ترمیم آسیب نوع G- نشت آب از نقاط اتصال

طبق بررسی‌های انجام گرفته بر روی پروژه‌های داخلی و خارجی انواع روش‌های اجرایی برای اینکار قابل اجرا می‌باشد که به تناسب موقعیت نشت و تشخیص کارشناسان می‌توان یک یا چندین روش را به صورت ترکیبی برای آب‌بندی بکار برد. یکی از روش‌های آب‌بندی نقاط اتصال سگمنت‌ها به یکدیگر استفاده از تزریق فرآورده‌ای رزین اپوکسی با سوراخکاری تا محل اتصال بین دو سگمنت می‌باشد. در نهایت حفره تزریق با فرآورده‌ای پرکننده و آب‌بند پر می‌شود (شکل ۱۸).

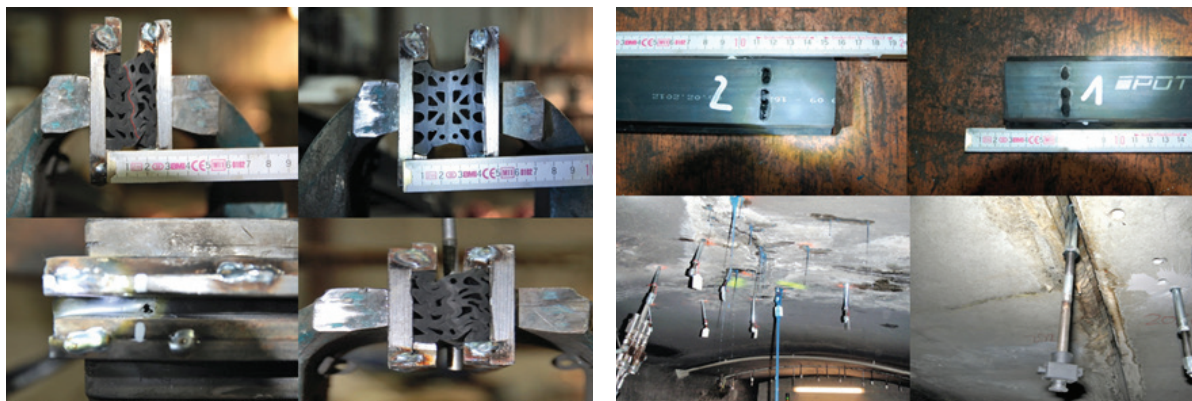


شکل ۱۸- تزریق ماده آب‌بند به درز بین دو سگمنت جهت آب‌بندی

روش دوم برای تزریق و آب‌بندی که در تونل fine کشور آلمان نیز به کار گرفته شده است تزریق فوم پلی اورتان از محل سوراخ ایجاد شده با قطر کم از محل گسکت در درز بین سگمنت‌ها می‌باشد. طرح اجرای این روش در ادامه آورده شده است. در (اشکال ۱۹ و ۲۰) مراحل اجرای این روش به صورت تصویری تشریح گردیده است.



شکل ۱۹- مراحل تزریق فوم پلی اورتان از طریق گسکت



شکل ۲۰- مراحل تزریق فوم پلی‌اورتان از طریق گسکت

۵) جمع‌بندی

همه ترک‌هایی که ممکن است در یک سازه بتنی ایجاد شوند در یک زمان و به یک شکل ایجاد نمی‌شوند. برخی از ترک‌ها به پایداری و دوام سازه آسیب می‌رسانند و برخی دیگر تنها شکل ظاهری نامطلوبی را به وجود می‌آورند. شناخت این ترک‌ها و علل و عوامل ایجاد کننده آن‌ها و میزان آسیبی که به سازه وارد می‌نمایند اهمیت بسیار زیادی در تصمیم‌گیری برای روش ساخت یا ترمیم یک سازه بتنی دارند.

این دستورالعمل ترمیم سگمنت تا حد ممکن مطابق با الگوریتم تعیین شده در استاندارد EN 1504، به ترتیب شامل مراحل شناسایی انواع عیوب، ارزیابی عیوب جهت اولویت‌بندی سطح اصلاحات مورد نیاز، انتخاب روشی از روش‌های اصلاحی ممکن، انتخاب مواد ترمیمی بر اساس روش منتخب، روش اجرای ترمیم، کنترل کیفیت پذیرش مواد ترمیمی، نظارت بر کیفیت اجرای ترمیم را در محل تولید کارخانه سگمنت، محل دپو و پس از نصب در تونل را شامل می‌شود.

۶) مراجع

- [1]-ITA Working Group 2- Research, "Guidelines for the design of segmental tunnel linings", April, 2019.
- [2]-ACI, "Report on design and construction of fiber reinforced precast concrete tunnel segments", 2016.
- [3]-OVBB, "Guideline for concrete segmental lining systems", British standards institute (BSI), 2011.
- [4]-BTS, "tunnel design, design of concrete segmental tunnel linings", code of practice, 2016.
- [5]-DAUB, "Lining segment design: Recommendations for the design, production, and installation of segmental rings, 2013.
- [6]-EN 1504, "A guide for renovation of concrete structures- repair materials and systems according to the EN 1504 series", Elsevier, 2004.



هزینه‌های ساخت خطوط مترو در عمق‌های مختلف (مقایسه دو روش NATM و ترانشه‌باز/بسته) مهندس فرنام بهنام

(۱) مقدمه

امکان‌سنجی و مقایسه گزینه‌های مختلف ساخت پروژه‌های قطار شهری، مرحله‌ای بسیار کلیدی در چرخه حیات پروژه می‌باشد. چرا که در صورت انتخاب گزینه نامناسب، علاوه بر ایجاد مشکلات شهری و ترافیکی، هزینه‌های اقتصادی فراوانی را به جامعه متحمل می‌نماید که قابل اعتنا می‌باشد. لذا با توجه به اینکه بخش بسیار مهمی از مطالعات امکان‌سنجی مربوط به تحلیل هزینه-فایده می‌باشد، در اختیار داشتن برآوردی کلی، کمک شایانی به تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری جهت تعریف و برنامه‌ریزی فازهای بعدی پروژه می‌نماید. یک برآورد کلان در حد Rough Order of Magnitude (ROM) می‌تواند نه تنها در فرآیند امکان‌سنجی، بلکه در بررسی گزینه‌های مختلف روش اجرایی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

از سویی برای اجرای زیرزمینی خطوط قطار شهری، بصورت رایج دو گزینه NATM و ترانشه‌باز (یا ترانشه‌بسته) برای تونل و روش‌های شمع و ریب و ترانشه‌باز/بسته برای ایستگاه‌ها مطرح بوده که با توجه به شرایط مختلف یکی از این دو گزینه برای اجرای خطوط انتخاب می‌گردند. بدین صورت که در عمق‌های کمتر، روش‌های ترانشه‌باز یا ترانشه‌بسته برای تونل و ایستگاه‌ها و در عمق‌های بیشتر معمولاً روش NATM و شمع و ریب به ترتیب برای تونل و ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته در یک دهه اخیر، اجرای مکانیزه تونل نیز در کشورمان بسیار مورد استقبال واقع شده است و در عمق‌های بیشتر می‌تواند جایگزین روش NATM برای تونل گردد که با توجه به نزدیکی هزینه اجرای این روش نسبت به روش NATM از بررسی هزینه این روش اجرا در این مقاله صرف نظر گردیده است. خاطر نشان می‌سازد در هر دو حالت، ایستگاه‌های مربوطه روش اجرای یکسانی خواهند داشت. در این مقاله کوتاه سعی شده است تا برآورد هزینه ساخت خطوط مترو در هر سه حالت عمق کم، عمق متوسط و عمق زیاد ارائه گردد و با مقایسه این هزینه‌ها، سنجه‌ای در اختیار تصمیم‌گیران در حوزه حمل و نقل و ذینفعان و ذی‌اثران حوزه قطار شهری قرار دهد تا در انتخاب بین گزینه‌ها و همچنین ارزیابی منابع مالی مورد نیاز، مورد استفاده قرار گیرد.

(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 تأثیرگذار و تعیین‌کننده می‌باشد. لذا به منظور ایجاد امکان مقایسه بین دو روش اجرا یا دو حالت، برخی از فاکتورها ثابت فرض شده‌اند و موارد محتمل و ناشناخته در برآورد لحاظ نگردیده است. مفروضات در نظر گرفته شده برای برآورد دو روش اجرا به شرح زیر می‌باشد:

- با توجه به اینکه در هر سه حالت اجرای کم عمق، عمق متوسط و عمیق، هزینه تجهیزات ویژه (شامل ناوگان، تامین توان، سیگنالینگ، مخازرات، OCC، تهویه، پله برقی، آسانسور، اطفاء حریق و ...) تقریباً یکسان می‌باشد، هزینه تجهیزات در هر دو حالت ثابت در نظر گرفته است.
- دو روش اجرای ترانشه باز و ترانشه بسته در اجرای تونل یا ایستگاه، اختلاف هزینه معناداری ندارند و این اختلاف هزینه (که معمولاً هزینه ترانشه بسته اندکی بیشتر است) به نسبت هزینه کل ایستگاه چندان قابل توجه نیست. لذا از این اختلاف هزینه صرف نظر شده و هر دو روش در قالب یک روش یکسان برآورد شده‌اند.
- هزینه‌های احتمالی مربوط به تملک موقت در زمان اجرا و هزینه‌های انحراف ترافیک در روش‌های ترانشه‌باز و ترانشه بسته در برآورد منظور نگردیده است. چرا که نیاز یا عدم نیاز به فعالیت‌های فوق و مقدار آنها بسته به شرایط پروژه‌ها متفاوت می‌باشد؛
- عمق تونل از روی ریل (T.O.R) در روش ترانشه‌باز/بسته حداکثر تا ۱۵ متر و در روش NATM، حداقل ۱۵ متر لحاظ شده است. توضیح اینکه به نسبت افزایش عمق، هزینه اجرا نیز افزایش می‌یابد که این افزایش هزینه متناسب با افزایش عمق نیست، به طور مثال اگر عمق دو برابر گردد، هزینه اجرایی دو برابر نخواهد شد.
- در عمق زیاد، روش اجرای ایستگاه، شمع و ریب با عمق ۲۴ تا ۲۶ متر، در عمق متوسط روش اجرای ایستگاه، کند و پوش^۱ یا پوش و کند^۲ (ترانشه‌باز/بسته) با عمق ۱۵ تا ۱۸ متر و در عمق کم نیز، روش اجرای ایستگاه، ترانشه‌باز/بسته با عمق ۱۰ تا ۱۲ متر لحاظ گردیده است.

جدول ۱- مفروضات برآورد در بخش سیویل

ردیف	موضوع	روش اجرا	عمق (متر)	طول سکو (متر)
۱	ایستگاه زیرزمینی دوطبقه	شمع و ریب	۲۴ تا ۲۶ متر	۱۶۰
				۱۴۰
				۱۲۰
				۱۰۵
۲	ایستگاه کند و پوش/پوش و کند (خطوط کم عمق)	ترانشه باز/بسته	۱۰ تا ۱۲ متر	۱۶۰
				۱۴۰
				۱۲۰
				۱۰۵
۳	ایستگاه کند و پوش/پوش و کند (خطوط با عمق متوسط)	ترانشه باز/بسته	۱۵ تا ۱۸ متر	۱۶۰
				۱۴۰
				۱۲۰
				۱۰۵
۴	تونل NATM	اتریشی (NATM)	۱۵ تا ۲۰ متر	-
۵	تونل ترانشه باز/بسته	کند و پوش یا پوشش و حفر	۱۰ تا ۱۵ متر	-

- هزینه ریل گذاری و روسازی با توجه به عدم حساسیت نسبت به عمق تونل، در هر دو حالت یکسان در نظر گرفته شده است.
- سایر موارد تاثیرگذار بر هزینه که وجود یا عدم وجود آنها در هر پروژه احتمالی است در برآورد لحاظ نگردیده است (مثلاً آب های زیرزمینی، عبور از محدوده ابنیه شهری مانند پل ها و کانال ها، برخورد با تاسیسات شهری، معارضات و غیره).
- ملاک انجام برآورد صرفاً فهرست بهای سال ۱۴۰۱ برای رشته های راه و باند، ابنیه، تاسیسات برقی و تاسیسات الکتریکی بوده و هیچگونه پلوس یا مینوسی در محاسبات لحاظ نشده است. ضریب بالاسری در این محاسبات ۷/۳ منظور گردیده است.

۳) برآورد هزینه بخش ساختمانی در خطوط با عمق های مختلف

بر اساس مفروضات فوق الذکر، برآورد تقریبی هزینه ساختمانی یک کیلومتر خط مترو که شامل یک کیلومتر مسیر، یک ایستگاه، یک هواکش میان تونلی، پست برق، دیو/پایانه و غیر می باشد، برای هر حالت به شرح خلاصه (جدول ۲) محاسبه گردیده است (توضیح اینکه نرخ تسعیر یورو معادل ۴۰ هزار تومان لحاظ شده است).

جدول ۲- خلاصه برآورد یک کیلومتر خط مترو برای سه حالت «عمق کم»، «عمق متوسط» و «عمق زیاد»

ردیف	روش اجرا	موضوع	ساختمانی (میلیارد تومان)	تجهیزات (میلیون یورو)	معادل ریالی کل (میلیارد تومان)
۱	عمق زیاد تونل: NATM ایستگاه: شمع و ریب	خط با ایستگاه ۱۶۰ متری	۶۷۰	۲۸	۱,۷۹۰
۲		خط با ایستگاه ۱۴۰ متری	۶۴۰	۲۷	۱,۷۲۰
۳		خط با ایستگاه ۱۲۰ متری	۶۲۰	۲۶	۱,۶۶۰
۴		خط با ایستگاه ۱۰۵ متری	۶۰۰	۲۵	۱,۶۰۰
۵	عمق متوسط تونل: NATM ایستگاه: ترانشه باز/بسته	خط با ایستگاه ۱۶۰ متری	۶۰۰	۲۸	۱,۷۲۰
۶		خط با ایستگاه ۱۴۰ متری	۵۸۰	۲۷	۱,۶۶۰
۷		خط با ایستگاه ۱۲۰ متری	۵۶۰	۲۶	۱,۶۰۰
۸		خط با ایستگاه ۱۰۵ متری	۵۵۰	۲۵	۱,۵۵۰
۹	عمق کم تونل: ترانشه باز/بسته ایستگاه: ترانشه باز/بسته	خط با ایستگاه ۱۶۰ متری	۵۰۰	۲۸	۱,۶۲۰
۱۰		خط با ایستگاه ۱۴۰ متری	۴۹۰	۲۷	۱,۵۷۰
۱۱		خط با ایستگاه ۱۲۰ متری	۴۷۰	۲۶	۱,۵۱۰
۱۲		خط با ایستگاه ۱۰۵ متری	۴۶۰	۲۵	۱,۴۶۰

(جدول ۳) برآورد اجزای مختلف در سطوح کلان را برای روش پرمقی نمایش می‌دهد.

جدول ۳- برآورد کلان اجزای یک کیلومتر خط با عمق زیاد

ردیف	موضوع	برآورد بر اساس فهرس بهای سال ۱۴۰۱ (میلیارد تومان)
۱	تونل (یک کیلومتر)	۱۸۰
۲	یک ایستگاه	۱۶۰ متری
		۱۴۰ متری
		۱۲۰ متری
		۱۰۵ متری
۳	یک هواکش میان‌تونلی	۳۲
۴	روسازی و بتن پرکننده (یک کیلومتر)	۲۷
۵	تأمین ریل و سوزن (یک کیلومتر)	۱۱
۶	یک مجموعه پایانه به ازای هر کیلومتر	۳۰
۷		۲
۸	جمع سیویل (میلیارد تومان)	ایستگاه ۱۶۰ متری ~۶۷۰
		ایستگاه ۱۴۰ متری ~۶۴۰
		ایستگاه ۱۲۰ متری ~۶۲۰
		ایستگاه ۱۰۵ متری ~۶۰۰
۹	تجهیزات ویژه ثابت (میلیون یورو)	ثابت (ایستگاه)
۱۰		پست برق
۱۱		پایانه و پارکینگ
۱۲		مجموع
۱۳	تجهیزات ویژه متحرک (میلیون یورو)	یک رام قطار ۱۶۰ متری
۱۴		یک رام قطار ۱۴۰ متری
۱۵		یک رام قطار ۱۲۰ متری
۱۶		یک رام قطار ۱۰۵ متری
۱۷	جمع تجهیزات ویژه (میلیون یورو)	ایستگاه ۱۶۰ متری ۲۸
		ایستگاه ۱۴۰ متری ۲۷
		ایستگاه ۱۲۰ متری ۲۶
		ایستگاه ۱۰۵ متری ۲۵
۱۸	کل	۶۷۰ میلیارد تومان + ۲۸ میلیون یورو
		۶۴۰ میلیارد تومان + ۲۷ میلیون یورو
		۶۲۰ میلیارد تومان + ۲۶ میلیون یورو
		۶۰۰ میلیارد تومان + ۲۵ میلیون یورو

(جدول ۴) برآورد اجزای مختلف در سطوح کلان را برای روش عمق متوسط نمایش می‌دهد.

جدول ۴- برآورد کلان اجزای یک کیلومتر خط با عمق متوسط

ردیف	موضوع	برآورد بر اساس فهرس بهای سال ۱۴۰۱ (میلیارد تومان)
۱	تونل (یک کیلومتر)	۱۸۰
۲	یک ایستگاه	۱۶۰ متری
		۱۴۰ متری
		۱۲۰ متری
		۱۰۵ متری
۳	یک هواکش میان‌تونلی	۳۰
۴	روسازی و بتن پرکننده (یک کیلومتر)	۲۷
۵	تأمین ریل و سوزن (یک کیلومتر)	۱۱
۶	یک مجموعه پایانه به ازای هر کیلومتر	۳۰
۷	پُست برق	۲
۸	جمع سیویل (میلیارد تومان)	ایستگاه ۱۶۰ متری ~۶۰۰
		ایستگاه ۱۴۰ متری ~۵۸۰
		ایستگاه ۱۲۰ متری ~۵۶۰
		ایستگاه ۱۰۵ متری ~۵۵۰
۹	تجهیزات ویژه ثابت (میلیون یورو)	ثابت (ایستگاه)
۱۰		پُست برق
۱۱		پایانه و پارکینگ
۱۲		مجموع
۱۳	تجهیزات ویژه متحرک (میلیون یورو)	یک رام قطار ۱۶۰ متری
۱۴		یک رام قطار ۱۴۰ متری
۱۵		یک رام قطار ۱۲۰ متری
۱۶		یک رام قطار ۱۰۵ متری
۱۷	جمع تجهیزات ویژه (میلیون یورو)	ایستگاه ۱۶۰ متری ۲۸
		ایستگاه ۱۴۰ متری ۲۷
		ایستگاه ۱۲۰ متری ۲۶
		ایستگاه ۱۰۵ متری ۲۵
۱۸	کل	۶۰۰ میلیارد تومان + ۲۸ میلیون یورو
		۵۸۰ میلیارد تومان + ۲۷ میلیون یورو
		۵۶۰ میلیارد تومان + ۲۶ میلیون یورو
		۵۵۰ میلیارد تومان + ۲۵ میلیون یورو

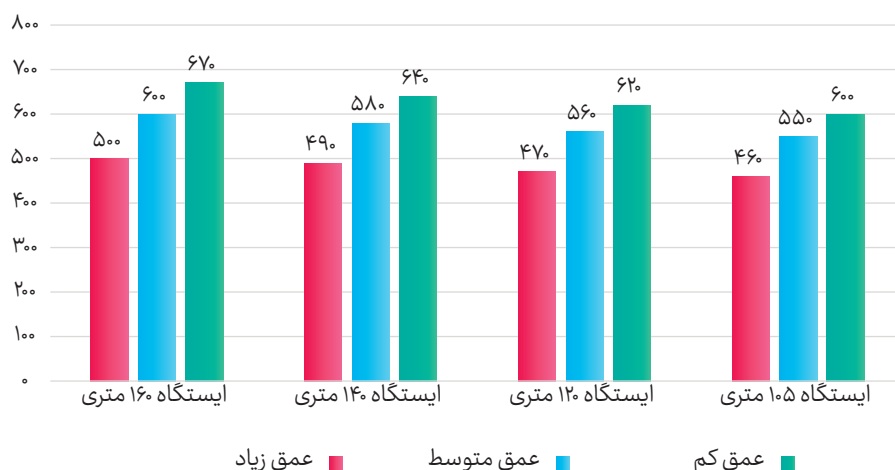
(جدول ۵) برآورد اجزای مختلف در سطوح کلان را برای روش کم عمق نمایش می دهد.

جدول ۵- برآورد کلان اجزای یک کیلومتر خط با عمق کم

ردیف	موضوع	برآورد بر اساس فهرس بهای سال ۱۴۰۱ (میلیارد تومان)
۱	تونل (یک کیلومتر)	۱۳۰
۲	یک ایستگاه	۱۶۰ متری
		۱۴۰ متری
		۱۲۰ متری
		۱۰۵ متری
۳	یک هواکش میان تونلی	۲۶
۴	روسازی و بتن پرکننده (یک کیلومتر)	۲۷
۵	تأمین ریل و سوزن (یک کیلومتر)	۱۱
۶	یک مجموعه پایانه به ازای هر کیلومتر	۳۰
۷	پُست برق	۲
۸	جمع سیویل (میلیارد تومان)	ایستگاه ۱۶۰ متری ~۵۰۰
		ایستگاه ۱۴۰ متری ~۴۹۰
		ایستگاه ۱۲۰ متری ~۴۷۰
		ایستگاه ۱۰۵ متری ~۴۶۰
۹	تجهیزات ویژه ثابت (میلیون یورو)	ثابت (ایستگاه)
۱۰		پُست برق
۱۱		پایانه و پارکینگ
۱۲		مجموع
۱۳	تجهیزات ویژه متحرک (میلیون یورو)	یک رام قطار ۱۶۰ متری
۱۴		یک رام قطار ۱۴۰ متری
۱۵		یک رام قطار ۱۲۰ متری
۱۶		یک رام ق طار ۱۰۵ متری
۱۷	جمع تجهیزات ویژه (میلیون یورو)	ایستگاه ۱۶۰ متری ۲۸
		ایستگاه ۱۴۰ متری ۲۷
		ایستگاه ۱۲۰ متری ۲۶
		ایستگاه ۱۰۵ متری ۲۵
۱۸	کل	۵۰۰ میلیارد تومان + ۲۸ میلیون یورو
		۴۹۰ میلیارد تومان + ۲۷ میلیون یورو
		۴۷۰ میلیارد تومان + ۲۶ میلیون یورو
		۴۶۰ میلیارد تومان + ۲۵ میلیون یورو

۴) خلاصه و نتیجه‌گیری

همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید، شرایط متفاوتی ممکن است در پروژه‌های ساخت قطار شهری حاکم باشد که سبب تاثیر بر میزان هزینه مورد نیاز این پروژه‌ها گردد. لیکن جهت ایجاد امکان برآورد و مقایسه هزینه‌ها در شرایطی یکسان، مفروضاتی در بخش ۲ مقاله ارائه گردید. با لحاظ این مفروضات برآوردی کلان بر مبنای فهارس بهای سال ۱۴۰۱ با لحاظ ضریب بالاسری ۱/۳ و بدون لحاظ هیچ ضریب دیگری (اعم از تعدیل، ضریب پلوس/مینوس و...) با تلورانس خطای $\pm 10\%$ انجام شد که حاصل آن در (جدول ۲) قابل مشاهده است. هزینه ساخت بخش سیویل برای عمق‌های مختلف در (شکل ۱) خلاصه شده است.



شکل ۱- نمودار مقایسه هزینه ساخت سیویل خطوط مترو در عمق‌های مختلف

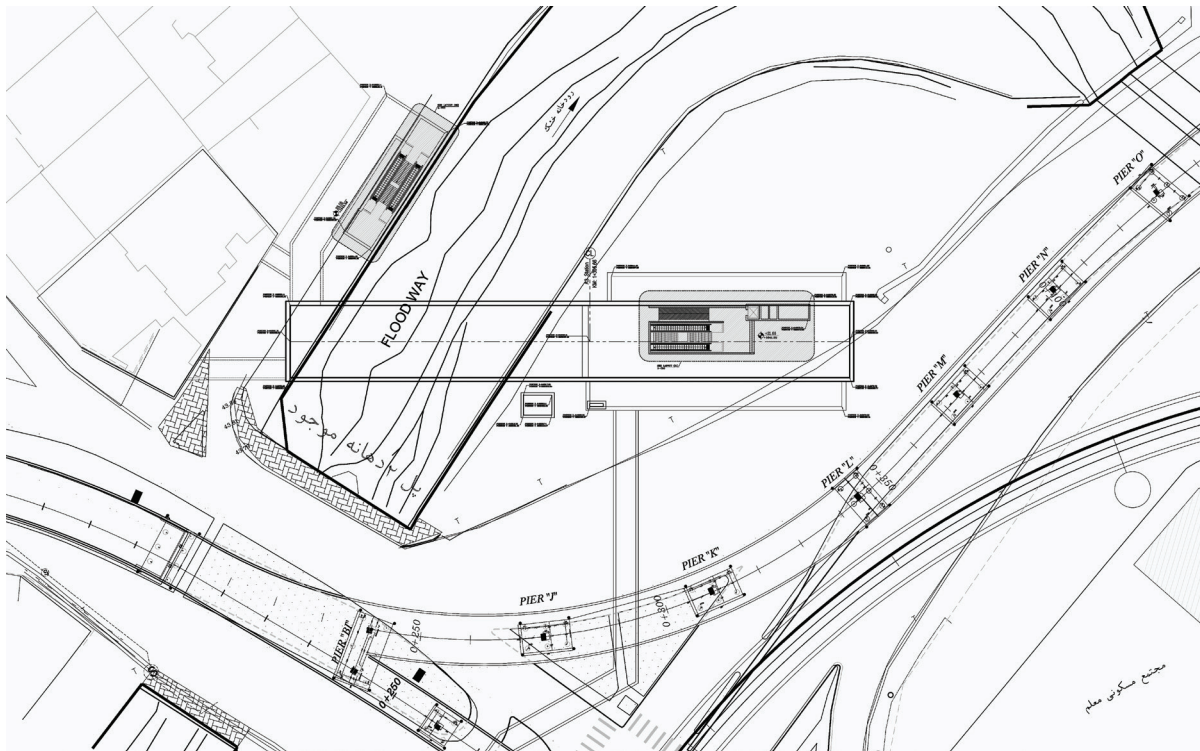
در انتها شایان ذکر است که انتخاب یک روش اجرایی صرفاً بر اساس هزینه اجرایی انجام نمی‌گیرد و معیارهای دیگری نیز در این تصمیم‌گیری تاثیرگذار خواهد بود. جهت اطلاع از برآورد روش‌های اجرایی دیگر با شرایط متفاوت، می‌توانید از طرق مختلف با مهندسین مشاور پژوهش تماس حاصل فرمایید.

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.

طراحی ایستگاه A3 در توسعه شمالی خط یک شیراز

بخش شمالی خط یک قطار شهری شیراز در منطقه معالی آباد واقع شده است. در این محدوده، خط در شمال ایستگاه شاهد بصورت همسطح و در مجاورت رودخانه خشک اجرا شده و در میدان میرزای شیرازی مجدداً به تراز زیرزمین انتقال یافته و ایستگاه میرزای شیرازی در ضلع جنوبی این میدان با عمق سکوی ۱۰ متر احداث شده است و در حال بهره‌برداری می‌باشد. ادامه این خط نیز در امتداد خیابان شریعتی تا میدان احسان امتداد می‌یابد. در مطالعات ترافیک فرادست، کریدور توسعه شمالی خط یک از میدان میرزای شیرازی از خط یک منشعب شده و در امتداد خیابان دکتر حسابی در حدود ۱۰ کیلومتر تا ایستگاه راه آهن بین شهری شیراز امتداد می‌یابد. این خط ضمن ارتباط با شهر جدید صدرا (بواسطه سایر مدهای حمل و نقل) از مجاورت مجتمع‌های زیستی واقع در این محدوده نظیر شهرک گلستان، شهرک شهید بهشتی، شهرک استقلال و شهرک آرین نیز عبور می‌کند.

در مطالعات فاز یک توسعه شمالی خط یک که توسط گروه مشارکت (پژوهش - مترا و شرکت ایتالیایی Team) در سال ۱۳۹۶ انجام شد برای ایجاد ارتباط بین خط یک در حال بهره‌برداری و کریدور توسعه آن گزینه‌های مختلف طرح‌ریزی شد و در نهایت با سنجش میان گزینه‌ها و نوع اتصال به خط در حال بهره‌برداری و محدودیت‌های طرح‌ریزی هندسه مسیر گزینه برتر انتخاب شد که منجر به جانمایی ایستگاه A3 (اولین ایستگاه توسعه شمالی کریدور خط یک) در ضلع شمال غربی میدان میرزای شیرازی گردید به گونه‌ای که در حدود ۳۵ متر از سکوی ۱۰۵ متری ایستگاه در زیر رودخانه خشک قرار می‌گیرد. این ایستگاه بوسیله یک گالری به ایستگاه در حال بهره‌برداری میرزای شیرازی از خط یک وصل می‌شود. گالری مذکور اتصال فضاهای کنترل نشده دو ایستگاه را ممکن خواهد ساخت.



شکل ۱- نقشه سایت پلان معرف طول ایستگاه و مسیر رودخانه

مشخصات ایستگاه A3

طول سکوی: ۱۰۵ متر

عمق ریل: ۲۲ متر

نوع سکوی: کناری

نوع ایستگاه: ایستگاه تبادل مسافر با ایستگاه در حال بهره‌برداری میرزای شیرازی

تعداد طبقات: دو طبقه (در زیر بستر رودخانه) و سه طبقه خارج از بستر رودخانه

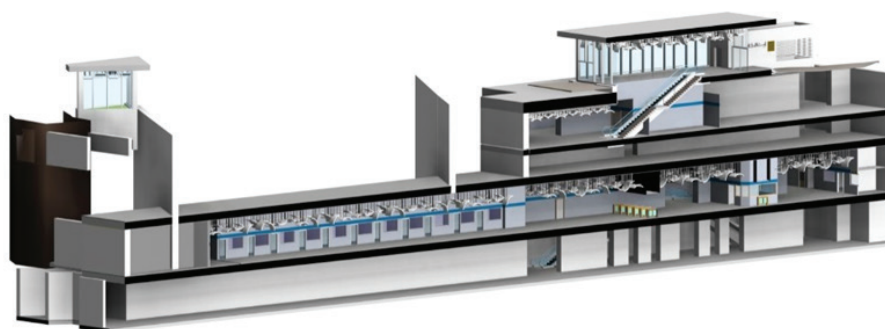
عرض هر سکوی: ۴/۲۰ متر

شرح پروژه

مطالعات فاز ۲ و تهیه نقشه‌های تفصیلی ایستگاه A۳ توسط مهندسين مشاور پژوهش در سال ۱۳۹۸ انجام شده است و پس از طی فرآیند تصویب نقشه‌های مرحله دوم در حال حاضر پروژه در دست اجرا می‌باشد. در ابتدای مرحله طراحی فاز ۲ ایستگاه، با اضافه شدن مشاور مطالعات هیدرولوژی به تیم طراحی، تمهیدات و جزئیات اجرایی لازم در بخشی از ایستگاه که در زیر بستر رودخانه قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعات که توسط مهندسين مشاور آبسار فارس به انجام رسیده است بصورت خلاصه مشخصات زیر را به طرح اضافه نمود:

- نحوه بهسازی بستر رودخانه و موقعیت شیب شکن (Drop) رودخانه در محدوده‌ای که ایستگاه در آن واقع است
- عمق لازم و فاصله سقف ایستگاه تا بستر رودخانه
- جزئیات لایه‌بندی خاک‌ریزی روی سازه ایستگاه

با مشخص شدن نحوه مواجهه طرح با ویژگی اصلی آن که قرارگیری در زیر بستر رودخانه می‌باشد، مطالعات معماری و سازه ایستگاه براساس نتایج مطالعات هیدرولوژی پیگیری شد. ساختار معماری ایستگاه با حفظ فاصله لازم از بستر رودخانه بصورت ترکیبی از ایستگاه دو و سه طبقه طرح‌ریزی گردید. بخشی از ایستگاه که در زیر بستر رودخانه قرار گرفته بصورت دو طبقه شامل ترازهای سکو و سالن بلیت و بخش دیگر ایستگاه در خارج از محدوده رودخانه با یک طبقه اضافه با کاربری فضای ورودی و تاسیسات طراحی شده است. طبقه سوم ایستگاه با یک کریدور به بخش کنترل نشده ایستگاه در حال بهره‌برداری در جنوب میدان میرزای شیرازی متصل می‌گردد. به این ترتیب هر دو ایستگاه می‌توانند به ورودی‌های واقع در جنوب و شمال میدان مرتبط شوند. همچنین ایستگاه در تراز میانی (سالن بلیت) یک ورودی مستقل به ضلع غربی رودخانه (ابتدای خیابان دکتر حسینی) دارد. خارج کردن تمامی بخش‌های جنبی ایستگاه از زیر رودخانه و عدم امکان ایجاد بازشو در دیوارهای این بخش بدلیل حفظ آب‌بندی ایستگاه از دیگر ویژگی‌های خاص این ایستگاه است.



شکل ۲- 3D مقطع طولی ایستگاه A3

روش اجرای ایستگاه در بخش دو طبقه آن که در زیر رودخانه قرار دارد بصورت پوشش و حفر می‌باشد. بعد از اجرای شمع‌های پلاستیک و شمع‌های سازه‌ای پیرامونی در کف بستر رودخانه سقف نهایی ایستگاه اجرا و حفاری از طریق بخش سه طبقه در زیر این دال بتنی انجام می‌گردد. محدودیت‌های زمانی در اجرای این بخش اصلی‌ترین ویژگی آن است. برنامه زمانی باید به گونه‌ای باشد که مراحل عملیات اجرایی اجرای شمع و سقف در رودخانه همچنین بسترسازی کف رودخانه مطابق با نظر مشاور هیدرولوژی در فصولی که بارندگی رخ نمی‌دهد، پایان یابد. این محدوده زمانی، که از نیمه اردیبهشت تا پایان مهر ماه است، اجرای شمع‌ها و دال سقف این بخش را در دو سال متوالی امکان‌پذیر می‌سازد. در حال حاضر شمع‌های پیرامونی اجرا شده است و اجرای دال سقف در سال آینده پیش‌بینی شده است.



شکل ۳- اجرای شمع در بستر رودخانه

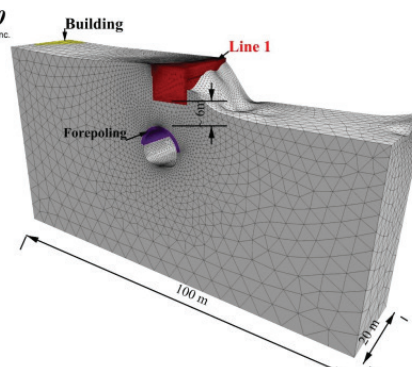
بخش سه طبقه ایستگاه که در خارج از محدوده رودخانه قرار دارد بصورت ترانشه باز جدار قائم اجرا می‌گردد. محدوده‌ای از این بخش که با خیابان تداخل دارد بصورت ترانشه بسته طراحی شده است که در حال حاضر اجرای دال سقف به پایان رسیده و ترافیک خیابان برقرار شده است. در خارج از این محدوده نیز ایستگاه بصورت ترانشه باز در سه طبقه اجرا می‌گردد. در این بخش در حال حاضر اجرای شمع‌های پیرامونی به پایان رسیده است.

جهت تامین آب‌بندی ایستگاه تمهیداتی از قبیل استفاده از طرح اختلاط بتن آب‌بندی، بتن ریزی با حداقل درزهای اجرایی و همچنین استفاده همزمان از نوارهای آب‌بند PVC و هیدروفیلی در درزهای اجرایی مدنظر قرار گرفته است.

به منظور جانمایی صحیح ایستگاه هماهنگی بین بخش های مختلف طراحی از جمله مسیر، معماری، شهرسازی، هیدرولوژی، ترافیک و سازه انجام شده است. در بخش مسیر، ایستگاه می بایست طوری جانمایی می گردید تا محدودیت عبور مسیر از بین پایه های پل بصیرت و فاصله مناسب از زیر خط یک تامین گردد.



FLAC3D 6.00
©2019 Itasca Consulting Group, Inc.

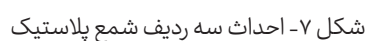


شکل ۴- محدودیت های سازه ای و پلان پروفیل مسیر قبل از ایستگاه A3

از طرفی مطالعات ترافیک، محدودیت ترافیکی حین اجرا در بلوار چمران را مجاز نمی دانست. لذا ایستگاه می بایست به سمت رودخانه (غرب) منتقل شده و قسمت کم باقی مانده در بلوار چمران نیز در کوتاه ترین زمان به ترافیک شهر تحویل داده شود. به همین دلیل این بخش از سازه بصورت پوش و کند اجرا گردید. در بخش هیدرولوژی مطالعات منجر به جابجایی شیب شکن (Drop) زیر پل و بسترسازی بتنی و زهکشی کف رودخانه شده است. همچنین دلیل جابجایی شیب شکن، خاکریزی روی سقف ایستگاه (زیر بتن بستر جدید) می بایست کوبیده و با خاک نفوذناپذیر اجرا شود.

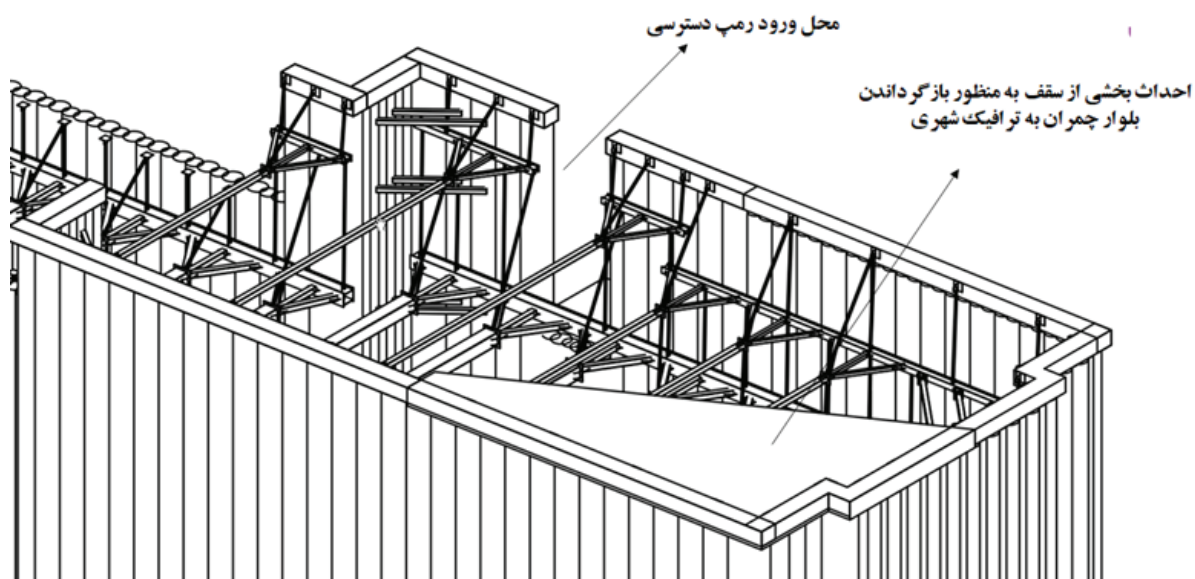


شکل ۶- احداث شمع و نگهداری آن از پشت بصورت مکانیکی (DEADMAN)



شکل ۸- پایداری سازی بوسیله نیل

به منظور اجرای رمپ در زمین مجاور رودخانه استرات‌ها در ایستگاه باید طوری تنظیم می‌شدند که با عبور و مرور ماشین‌آلات تداخل نداشته باشند. لذا استرات‌های بخش سه طبقه در ارتفاع‌های مختلفی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در چینش استرات‌ها محدودیت ایجاد شده توسط شمع‌های زیر سقف (بخش مثلی) نیز در نظر گرفته شده است.



شکل ۹- جانمایی استرات‌ها و بخش اجرا شده با دال نهایی

به دلیل نگهداری شمع‌های سازه نگهبان (عدم ایجاد هرگونه ترک احتمالی و احتمال نشت آب) کلیه استرات‌ها از سر شمع و یا سقف آویزان شده‌اند.



تاریخچه

دستگاه حفار تونل خط ۲ مترو اصفهان از نوع ماشین‌های فشار تعادلی زمین (TBM-EPB) می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ توسط شرکت هرکنکشت (Herrenknecht) آلمان با نام تجاری S525 ساخته شده است. دستگاه مذکور جهت حفاری مسیر حدوداً ۷ کیلومتری خط ۲ مترو اصفهان به این شهر منتقل شده است.



شکل ۱- کاترهد دستگاه S525

مشخصات فنی

قطر حفاری دستگاه S525 برابر ۹/۳۹ متر می‌باشد. این دستگاه با ظرفیت اعمال ۸۷۸۲۴ کیلو نیوتن نیروی تراست و تحمل ۲۰۵۳۳ کیلو نیوتن متر گشتاور یکی از قدرتمندترین TBM های موجود در کشور می‌باشد. سایر مشخصات اصلی دستگاه حفار خط ۲ مترو اصفهان به شرح زیر می‌باشد:

- سرعت چرخش کاترهد: ۲/۸ دور در دقیقه؛
- وزن کل (سپر و بک‌آپ): ۱۲۵۰ تن؛
- ماکزیمم فشار کاری: ۴ بار؛
- کمترین شعاع قوس قابل حفاری: ۲۰۰ متر؛
- تعداد قطعات سپر: ۳ عدد (سپر جلویی، میانی و انتهایی)؛
- نوع و تعداد ابزارهای برشی: ۸ عدد دیسک کاتر، ۱۷۲ عدد نایف، ۱۳ عدد ریپر و ۱۶ عدد باکت؛
- اختلاف قطر حفاری و سپر انتهایی: ۵ سانتی‌متر؛
- نوع تامین کننده درایو: ۱۸ عدد موتور هیدرولیکی با توان ۳۲۰۰ کیلووات؛
- تعداد جک‌های پیشران: ۱۳ جفت؛
- نوع سیستم تزریق گروت: تک جزئی؛

- تعداد ردیف برایش های آب بند: ۳ ردیف؛
- سیستم تخلیه مصالح: نوار نقاله با ظرفیت ۶۰۰ مترمکعب بر ساعت؛
- تعداد سگمنت: ۶+۱؛
- ضخامت سگمنت: ۳۲ سانتی متر.



شکل ۲- سیستم پشتیبان دستگاه S525



شکل ۳- تصویری از تونل ساخته شده

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 سازمان برنامه و بودجه (ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه) مهندس نیما سلحشور

ضابطه طراحی ایستگاه‌های قطار شهری با شماره ۸۰۴ از طرف سازمان برنامه و بودجه کشور در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ ابلاغ گردیده است. این ضابطه در سه جلد معماری، سازه و تأسیسات ایستگاه‌های قطار شهری و حومه‌ای طی قراردادی با سازمان برنامه و بودجه کشور و توسط مهندسین مشاور پژوهش تدوین شده است. در این بخش اهداف و مبانی شکل دهنده به این ضابطه تشریح می‌گردد و در شماره‌های بعدی بصورت خاص ضوابط معماری، سازه و تأسیسات معرفی خواهد شد.



باسمه تعالی

سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

شماره:	۱۴۰۰/ ۴۲۲۷۷۵
تاریخ:	۱۴۰۰/ ۰۸/ ۳۰
بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع: ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه	
در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استاندارد‌های اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۸۰۴ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران، با عنوان «ضوابط طراحی ایستگاه‌های قطار شهری و حومه» در قالب ۳ جلد زیر و از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود: جلد اول : ضوابط معماری جلد دوم : ضوابط سازه جلد سوم: ضوابط تأسیسات عمومی رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۰۱ الزامی است. امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.	
نسیب مسعود میرکاظمی	

شماره: ۵۲۴۲۲۴۲

ضوابط طراحی ایستگاه برگرفته و متأثر از اهدافی می‌باشد که در مقیاس کلان راهبردها و سیاست‌های کشور را در شکل‌گیری ایستگاه‌های قطار شهری تبیین می‌نماید این اهداف که بر اساس امکانات و محدودیت‌های هر کشور تدوین می‌گردد مشخص می‌نماید که کشور مورد نظر در ساخت خطوط و ایستگاه‌های قطار شهری چه اولویت‌هایی را دنبال می‌کند. کارکرد اصلی ضوابط طراحی نیز پدید آوردن ساختارهای است که بواسطه قوانین و الزامات آن، محصول فرایند طراحی را به سمت تحقق اهداف بالادست راهبری نماید آنچه در این میان اهمیت دارد تابعیت ضوابط طراحی بخش‌های گوناگون یک پروژه از اهدافی مشخص و شفاف است لذا گام آغازین برای تدوین ضوابطی که منجر به شکل‌گیری کالبدی و عملکردی اهداف و سیاست‌های کلان کشور در پروژه‌ای خاص باشد ترسیم اهداف و اولویت‌ها در آن پروژه است.

در بررسی انجام گرفته و مباحث مطرح شده در جلسات با متولیان خطوط قطار شهری کشور، با اهداف گوناگون و تعاریف متفاوتی از احداث خطوط قطار شهری روبرو هستیم و به نظر می‌رسد مجموعه‌ای منسجم از اولویتهای کشور در احداث و بهره‌برداری از خطوط وجود ندارد و لذا در شهرهای مختلف بنا بر نگرش حاکم بر سازمان متولی امر، خواسته‌ها و اولویتهای متفاوتی در خطوط قطار شهری وجود دارد و مشکلات زیر از جمله مواردی است که حاصل این تشتت آرا است:

- اهداف طراحی ایستگاه‌ها و خطوط قطار شهری مشخص و شفاف نیست و اولویتهای کشور در این ارتباط از رویه واحدی پیروی نمی‌نماید؛
- در شهرهای مختلف و یا در خطوط مختلف یک شهر اهداف و ضوابط طراحی منتج از آن متفاوت است؛
- ضوابط طراحی ارائه شده از سوی سازمان‌های متولی قطار شهری در بخش‌های مختلف همگن نیستند و اهداف مشترکی را پیگیری نمی‌کنند بعنوان مثال در یک بخش از ضوابط معماری الزاماتی مطرح می‌گردد که اولویت آن تقدم آسایش مسافران بر هزینه‌های اجرایی می‌باشد و در بخش‌های دیگر همان مجموعه ضوابط و الزاماتی مطرح می‌گردد که اولویت را بر تقدم هزینه‌های اجرایی نسبت به آسایش مسافران میداند؛
- یک خط قطار شهری از ایستگاه‌ها، مسیر، مرکز فرمان، دیو و پارکینگ شکل می‌گیرد و لازم است ضوابط تدوین شده برای تمامی این اجزا از اهدافی واحد تبعیت نمایند در این مورد نیز اغلب نگرش ثابتی در ضوابط طراحی اجزای یک خط وجود ندارد.

بنابر موارد اشاره شده در ابتدای مطالعات تدوین ضابطه ۸۰۴، اهداف طراحی ایستگاه‌ها به ترتیب اولویت زیر مشخص گردید:

- ۱) حفظ ایمنی کاربران؛
- ۲) حفظ محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار؛
- ۳) حفظ آسایش کاربران؛
- ۴) حفظ یکپارچگی با سایر سیستم‌های حمل و نقل؛
- ۵) حفظ یکپارچگی با ساختار شهر؛
- ۶) مقرون به صرفه بودن طرح و کاهش هزینه‌ها؛

اهداف شش گانه بالا که هر کدام از مجموعه اهداف خردتر تشکیل می‌گردند به ترتیب اولویت مطرح شده‌اند. صرف طرح هر یکی از اهداف بالا به معنی تبعیت الزامات و ضوابط از اهداف مورد اشاره می‌باشد اما در پاره‌ای از موارد یک الزام یا ضابطه می‌تواند موجب تقویت یک هدف و تضعیف تحقق هدفی دیگر گردد در این موارد تحقق هدف با اولویت بالاتر مورد نظر خواهد بود بعنوان مثال بدلیل وجود سیاست کاهش هزینه‌ها در مجموعه اهداف ذکر شده از لوکس‌گرایی و استفاده از مصالح گران پرهیز می‌گردد اما کاهش هزینه‌ها نمی‌تواند اهداف با اولویت بالاتر نظیر حفظ ایمنی یا آسایش را تحت تأثیر قرار دهد در ادامه به شرح هریک از اهداف اصلی و زیر مجموعه‌های آن پرداخته می‌شود.

حفظ ایمنی کاربران

در ضابطه ۸۰۴ صرفاً حفظ ایمنی مسافران در مرحله بهره‌برداری از ایستگاه‌ها مورد نظر قرار گرفته است و مواردی نظیر ایمنی در دوره ساخت ایستگاه‌ها موضوع ضابطه ۸۰۴ نیست. موارد زیر از جمله مباحثی است که در این بخش پردازش می‌گردد:

- تعریف انتظار از مقاومت سازه‌های اصلی و موقت در شرایط خاص نظیر وقوع زلزله؛
- تعریف میزان مقاومت ایستگاه در برابر حریق؛
- تدابیر لازم جهت پیشگیری از حریق؛
- تدابیر لازم جهت حفظ ایمنی مسافران در شرایط بهره‌برداری نرمال (سقوط از پله‌ها یا سکو...) و اضطراری (وقوع حریق و...).

حفظ محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار

بیشتر مبانی و اصول طراحی که تحت دو موضوع ذکر شده در این عنوان مطرح می‌شوند مشابه می‌باشند و تحقق هر دو موضوع را حمایت می‌کنند چرا که حفظ محیط زیست خود اصلی‌ترین معیار در تحقق توسعه پایدار است به همین دلیل این دو موضوع بصورت مشترک به عنوان اولویت دوم از اهداف طراحی ایستگاه مطرح شده است و چالش‌هایی نظیر موارد زیر را راهبری می‌کنند:

- پرهیز از آلودگی یا آسیب رساندن به رژیم آب‌های زیرزمینی در حین ساخت یا بهره‌برداری از ایستگاه؛
- پرهیز از آسیب فضای سبز؛
- اولویت استفاده از مصالح بومی (جهت دستیابی به توسعه پایدار)؛
- کاهش مصرف انرژی در زمان ساخت و بهره‌برداری؛
- تعریف عمر مفید و پایایی مصالح ایستگاه؛
- حفظ عناصر تاریخی و میراث فرهنگی مرتبط با حوزه ایستگاه‌ها.

حفظ آسایش کاربران و شهروندان

اصلی‌ترین عاملی که تامین آسایش مسافران را به عنوان اولویت سوم از اهداف طراحی ایستگاه مطرح می‌سازد ایجاد زمینه برای افزایش تمایل سفر با سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی می‌باشد. بسیاری از ضوابط و مبانی مطرح در این موضوع سبب افزایش هزینه خواهند شد اما به جهت ترغیب شهروندان در بکارگیری سیستم قطار شهری، حفظ آسایش کاربران نسبت به کاهش هزینه‌ها اولویت بیشتری یافته است. موارد زیر از جمله چالش‌های اصلی در موضوع حفظ آسایش کاربران ایستگاه‌ها می‌باشد:

- تعریف سطح سرویس، تراکم و سرعت حرکت مسافران در اجزای مختلف ایستگاه با توجه به ویژگی‌های هر فضا؛
- تعریف سطح انتظار از ایستگاه در سرویس‌دهی به کم‌توانان حسی و حرکتی؛
- تعریف شرایط بکارگیری عناصر مکانیزه در حرکت‌های افقی و عمودی و ویژگی‌های هر یک از آن‌ها؛
- تعریف دمای محیطی در فضاهای عمومی ایستگاه (برای مسافران) و فضاهای غیر عمومی (کارمندان)؛
- الزامات طرح‌ریزی معماری هر یک از اجزای ایستگاه نظیر پله‌ها، رامپ، راهرو، ارتفاع‌سرگیری، سایبان، نرده‌ها، درها و ...؛
- تعریف نور محیطی در فضاهای عمومی ایستگاه (برای مسافران) و فضاهای غیر عمومی (کارمندان).

حفظ یکپارچگی با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل

موضوع یکپارچگی با سایر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی شهر می‌تواند به عنوان یکی از زیر مجموعه‌های حفظ آسایش مسافران نیز در نظر گرفته شود اما بدلیل اهمیت بسیار زیاد این موضوع و جهت تاکید بر آن به عنوان موضوعی مستقل مطرح شده است مجموعه ضوابطی که تحقق این هدف را پشتیبانی می‌کنند فراتر از ابنیه ایستگاه بوده و حوزه پیرامون ایستگاه را در برمی‌گیرند مواردی نظیر:

- نحوه جانمایی ورودی‌ها؛
- الزامات طرح‌ریزی نظام حرکت سواره و پیاده در پیرامون ایستگاه؛
- الزامات ارتقاء کیفیت مسیرهای دسترسی بین ایستگاه‌های مختلف؛
- نوع ارتباط ایستگاه با پارکینگ و پایانه‌های حمل‌ونقل مسافری.

از جمله مسائل مطرح در این حوزه می‌باشد.

حفظ یکپارچگی با ساختار شهر

موضوع هماهنگی ساختاری طرح با محیط پیرامون آن به عنوان یکی از معیارهای توسعه پایدار نیز قابل طرح است اما به جهت اهمیت این موضوع در طراحی ایستگاه قطار شهری عنوانی مستقل به آن اختصاص یافته است حفظ یکپارچگی با محیط، اصلی ترین عامل در افزایش کارایی ایستگاه در مرحله بهره برداری می باشد و عدم رعایت ضوابط مرتبط با آن می تواند سبب ایجاد یا افزایش مشکلات شهر در موقعیت ایستگاه گردد ضوابط این حوزه طیفی گسترده از نحوه جانمایی ایستگاه و اجزای آن تا فرم و طراحی داخلی را در بر می گیرد و در یک نگاه کلی در پی هماهنگی طراحی با امکانات، ویژگی ها و محدودیت های شهر در موقعیت ایستگاه می باشند.

مقرون به صرفه بودن طرح و کاهش هزینه ها

موضوع کاهش هزینه ها در دو مرحله طراحی و بهره برداری از ایستگاه مطرح می باشد و به عنوان آخرین هدف در طرح ریزی خطوط و ایستگاه های قطار شهری عنوان شده است. در مورد جایگاه این هدف نسبت به سایر اهداف طرح، این نکته حائز اهمیت است که کاهش هزینه ها نمی تواند موجب نقصان در تحقق سایر اهداف طراحی و ساخت ایستگاه گردد و موضوع کاهش هزینه در ضمن تحقق سایر اهداف ذکر شده در طرح مورد نظر خواهد بود. توجه به هزینه های طرح و کاهش آن همواره یکی از ارکان طراحی مهندسی است اما آنچه در طراحی ایستگاه های قطار شهری آن را به عنوان هدفی متمایز مطرح می سازد لزوم حذف بخش ها و زوائدی است که بدون داشتن کارایی خاص در طراحی ایستگاه ها تکرار می شوند. همواره قضاوت درباره ضرورت صرف هزینه در بخش های مختلف یک ایستگاه تابع شرایط و تاثیرات متفاوتی است که هر ایستگاه از عوامل محیطی یا کارکردی ویژه خود می پذیرد بر این اساس امری ضروری و مستلزم هزینه در یک ایستگاه می تواند در ایستگاهی دیگر موضوعی کاملاً فرعی و غیر ضروری باشد لذا ضوابطی که در این حوزه مطرح می گردد در پی پایش ضرورت صرف هزینه در بخش های مختلف یک ایستگاه منطبق با انتظارات و ویژگی های خاص هر ایستگاه و بصورت مستقل از سایر ایستگاه ها خواهد بود.

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 کارفرما ارائه می‌دهد.
- ۱- ادامه اجرای سازه اصلی طبقه تیکت هال ایستگاه سلامت
- ۲- ادامه نازک کاری تیکت هال کناری ایستگاه الوندشت
- ۳- ترخیص دستگاه پرس چرخ دیوی طبرسی از گمرک

(۲) خط ۴ قطار شهری مشهد

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات مشاور کارفرما ارائه می‌دهد.
- ۱- اخذ تصویب مطالعات امکان‌سنجی براساس ضابطه ۷۷۷ از شورای عالی هماهنگی ترافیک شهرهای کشور
- ۲- اخذ تصویب مطالعات پدافند غیرعامل از سازمان پدافند غیرعامل در مرحله امکان‌سنجی
- ۳- استانداردسازی، تولید و جاری‌سازی داشبورد مدیریتی پیشرفت پروژه و ارائه به مدیریت شهری

(۳) خط ۳ متروی تهران

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات نظارت ارائه می‌دهد.
- ۱- اتمام ساخت و افتتاح هواکش‌های میان تونلی باقیمانده از خط ۳ متروی تهران شامل هواکش S3T3، T3U3، Q3R3 در امتداد بزرگراه صیاد شیرازی
- ۲- اتمام ساخت و راه‌اندازی بخش‌های تجهیزاتی باقیمانده در ایستگاه میدان جهاد شامل هواساز نیم تونل شمالی و RIC
- ۳- اتمام ساخت و راه‌اندازی LPS شمالی ایستگاه میرزای شیرازی
- ۴- برگزاری مناقصه ساخت کارهای تکمیلی بخش میانی خط ۳ (از ایستگاه میدان جهاد تا ایستگاه هروی)
- ۵- برگزاری جلسات و بازدیدهای میدانی با شهرداری مناطق ۷، ۱۱ و ۱۸ جهت استملاک زمین‌های مورد نیاز برای تکمیل و احداث سازه‌های جانبی ایستگاه‌های خط ۳

(۴) خط یک متروی تهران

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات نظارت ارائه می‌دهد.
- ۱- اتمام سازه نگهبان گالری دسترسی آسانسور با ظرفیت ۵۰ نفر به سالن بلیت ایستگاه تجریش

(۵) توسعه جنوبی خط ۶ متروی تهران

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات طراحی در بخش پیمانکار طرح و ساخت ارائه می‌دهد.
- ۱- ابلاغ ادامه عملیات اجرایی توسعه جنوبی خط ۶ تا محل ایستگاه راه آهن و ایستگاه مترو شهری از خط ۱ متروی تهران به پیمانکار طرح و ساخت (این محدوده به طول حدود ۲ کیلومتر با استفاده از TBM فعال در توسعه جنوبی خط ۶ اجرا خواهد شد).

(۶) خط ۳ قطار شهری شیراز (توسعه شمالی خط یک)

- مهندسين مشاور پژوهش در اين پروژه خدمات طراحی و نظارت تونل و چهار ایستگاه خط را ارائه می‌دهد.
- ۱- کلنگ‌زنی و آغاز عملیات اجرایی ایستگاه‌های E3 و B3 در زمستان سال ۱۴۰۱ صورت می‌پذیرد. لازم به ذکر است خط ۳ قطار شهری شیراز به طول ۱۰ کیلومتر و ۹ ایستگاه از پل معالی آباد شروع و تا ایستگاه راه آهن شیراز ادامه می‌یابد و شهرک‌های گلستان و شهید بهشتی و دیگر شهرک‌های شمال غرب شیراز را به شبکه خطوط مترو متصل می‌نماید.

(۷) خط ۲ قطار شهری شیراز

- مهندسین مشاور پژوهش در این بخش از خط ۲ خدمات مشاور کارفرما ارائه می‌دهد.
- ۱- بهره‌برداری از فاز نخست خط ۲ قطار شهری شیراز به طول ۷/۵ کیلومتر و با راه‌اندازی ۳ ایستگاه قهرمانان، امیرکبیر و امام حسین (ع) با حضور وزیر کشور، استاندار، نمایندگان مجلس، اعضای شورای شهر و شهردار شیراز صورت پذیرفت. با بهره‌برداری از این محدوده اتصال خطوط ۱ و ۲ قطار شهری شیراز در ایستگاه امام حسین (ع) برقرار می‌شود.
- ۲- عملیات اجرایی طرح توسعه شمالی خط ۲ قطار شهری شیراز از بوستان آزادی تا پل فضیلت در تاریخ ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ با حضور استاندار، نمایندگان مجلس، اعضای شورای شهر و شهردار شیراز آغاز گردید. توسعه شمالی خط ۲ دارای ۵ کیلومتر طول و ۵ ایستگاه می‌باشد.

(۸) قطار حومه‌ای اصفهان-بهارستان

- مهندسین مشاور پژوهش در این پروژه خدمات مشاور کارفرما ارائه می‌دهد.
- ۱- برگزاری مناقصه انتخاب مشاور در بخش تجهیزات و اینترفیس.
- ۲- فرآیند اخذ تاییدیه پابند Fast Clip (پاندربول تولید داخل) از مرکز تحقیقات راه و شهرسازی: در این خصوص با توجه به اعمال تحریم و عدم تحویل پابندهای پاندربول از کشور فرانسه، شرکت‌های داخلی، نسبت به بومی‌سازی پابند مذکور اقدام نموده‌اند. این موضوع پس از برگزاری جلسات متعدد مشاورین با تولیدکننده و مرکز تحقیقات راه و شهرسازی به صورت کلی و از لحاظ تست‌های عملکردی به نتیجه رسیده و اکنون در مراحل اخذ تایید قطعه به قطعه می‌باشد.

(۹) خط ۲ قطار شهری اصفهان

- ۱- مهندسین مشاور پژوهش در این پروژه خدمات طراحی و نظارت بر مسیر در قطعه غربی خط ۲ (در حفاصل ایستگاه‌های کهن‌ژر تا ابن سینا H2-02) - لینک خطوط یک و دو- هواکش‌های میان تونلی و سایر ابنیه فنی مجاور مسیر را ارائه می‌دهد.
- ۲- اتمام عبور دستگاه حفار مکانیزه از زیر ساختمان‌های مسکونی و بافت قدیمی شهر به طول ۳۸۰ متر از کیلومتر ۱۱+۴۷۰ تا کیلومتر ۱۱+۸۵۰ (حفاصل بین ایستگاه چهارسو تا ایستگاه خلجا).
- ۳- شروع طراحی هواکش‌های میان تونلی و پله‌های فرار اضطراری K2-L2 (مابین ایستگاه خلجا و امام حسین) و L2-L2-1 (مابین ایستگاه امام حسین و آمادگاه) و L2-M2 (مابین ایستگاه آمادگاه و نقش جهان).



شکل ۱- ورود دستگاه حفار مکانیزه (TBM) به ایستگاه خلجا
(ایستگاه خلجا سومین ایستگاه مسیر در بخش غربی خط ۲ قطار شهری اصفهان می‌باشد)



شکل ۲- اتمام حفاری فوقانی و شروع حفاری تحتانی سازه نگهدارنده ادیت شفت ۱ لینگ ارتباطی خط ۱ به ۲ قطار شهری اصفهان



شکل ۳- شروع حفاری شفت دسترسی دوم به تونل ارتباطی خط ۱ به ۲ قطار شهری اصفهان



شکل ۵- نمایی از محدوده شفت ورودی



شکل ۴- دیو سگمنت در شفت ورودی



شکل ۷- نمایی از دیو کارخانه سگمنت



شکل ۶- شارژ سگمنت به داخل تونل



شکل ۹- نمایی از عملیات تولید سگمنت



شکل ۸- عملیات اجرایی تونل ادیت در شفت لینک ارتباطی



شکل ۱۱- نمایی از شفت ۲ لینک ارتباطی



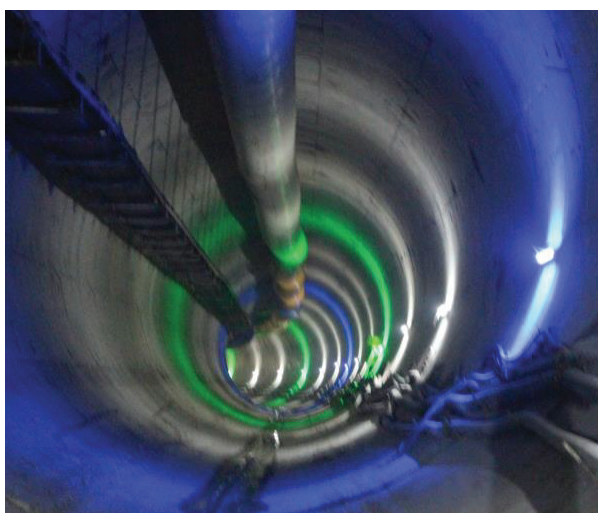
شکل ۱۰- عملیات اجرایی در شفت ۱ لینک ارتباطی



شکل ۱۳- عملیات حمل گل از چال گل حفاری



شکل ۱۲- نمایی از تونل ادیت شفت ۱ لینک ارتباطی



شکل ۱۴- نمایی از تونل اجرا شده



شکل ۱۶- ورود دستگاه به ایستگاه خلجا



شکل ۱۵- عملیات اجرایی شفت ۲ لینگ ارتباطی

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



پ
مهندسین
مشاور پژوهش



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

☎ ۰۲۱-۲۲۹۰۱۸۵۱-۴

📠 ۰۲۱-۲۲۹۰۱۹۳۴

@ info@pajooresh.ir