مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری

دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

صفحات ۱۶۶- ۱۵۱

Online ISSN: ۲۴۷۶-۴۸۶۸

Print ISSN: ۲۵۳۸-۲۱۱X

www.irijournals.com

روش‌های حفاری تونلهای متروی تهران

محمد خیرخواه صادق[۱]، علی پرهیزکار میاندهی[۲]

[۱]مهندسی معدن، گرایش استخراج، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان

[۱]استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، گرایش استخراج معدن

چکیده

یکی از مهمترین اموری که در کلان شهرها مطرح می باشد، ایجاد شبکه‌های ارتباطی شهری و بین شهری است. متخصصان امر در این زمینه تلاشهای بسیاری کرده‌اند تا راهکارهای عملی این اهداف شناسایی و اجرا شوند. از مهمترین کارهای توسعه شهری ایجاد و گسترش شبکه‌های حمل و نقل و داشتن سیستم ترافیکی کارآمد است که نقش شریانهای ارتباطی شهرها را ایفا می‌کنند.

توجه به مسائل حمل و نقل و داشتن سیستم ترافیکی کارامد است که نقش شریانهای ارتباطی شهرها را ایفا می کنند. توجه به مسائل حمل و نقل شهری، ایجاد ترافیکی روان در سطح شهرها (خصوصاً تهران) و سامان بخشیدن به این امور اهمیتی فوق العاده دارد. گسترش سریع و بی رویه زیربنای شهرها از یک طرف و از طرف دیگر مسئله سنگینی ترافیک و اتلاف وقت شهروندان را سبب می‌شود. برای کاهش مشکلاتی که در بین این مسائل وجود دارد راه حلهای مختلفی پیشنهاد گردیده است. پراکنده کردن مراکز مختلف جذب جمعیت مثل وزارتخانه‌ها، شرکتها، مراکز تجاری و غیره خود جهت کاهش تمرکز جمعیت در یک نقطه شهر کمک شایان می کند. علاوه بر آن برای سرعت بخشیدن به امر حمل و نقل و نظر گرفتن راحتی مسافران می‌توان سطح خیابان‌ها و بخصوص بزرگراهها را افزایش داد و با توجه به محدودیت زمین می توان از زیرزمین برای حرکت وسایل نقلیه استفاده نمود. ایجاد راههای مخصوص حرکت اتوبوسها، استفاده از تراموا، ترن هوایی و مترو از راههای عملی کاهش سنگین ترافیک در شهر می‌باشد که در بسیاری از نقاط دنیا اجرا شده است.

کلید واژه‌ها: تونل های مترو، متروی تهران، حفاری، روشهای حفاری.

۱-مقدمه

رشد بسیار سریع صنایع خصوصا در دو دهه گذشته و نیاز به نیروی انسانی زمینه بسیار مناسبی برای جذب مردم به سوی شهر تهران فراهم آورد. افزایش جمعیت و توسعه شهر همراه با ازدیاد نقل و انتقال در سطح شهر دلائل اصلی افزایش تقاضای ایاب و ذهاب گردید. با توجه به غیرهمگون بودن بافت شهر و خیابانهای کافی در نقاط حیاتی با وجود احداث شاهراه‌ها و خیابانهای عریض در نقاط مختلف شهر مورد فوق جوابگوی نیارهای ترافیکی شهر تهران نبود. با بررسیهای صورت گرفته به علت محدودیت عرض خیابانها در اکثر نقاط شهر امکان احداث منوریل و تراموا میسر نگردید. نظر به اینکه سیستم موجود با توجه به روند افزون نقل و انتقالات به هیچ وجه جوابگوی شکل نبوده و امکان ارائه وسیله‌ای که جهت حمل و نقل نفر در سطح و یا در هوا ممکن نبود با ایجاد سیستم جدید و پیشرفته‌ای مانند متروی زیرزمینی هم از لحاظ فضا صرفه‌جویی صورت می‌گرفت و هم از لحاظ وقت تلف شدن افراد در شهر برای عبور و مرور چون به علت عدم تقاطع بین خطوط مترو سرعت حرکت این وسائط نقلیه نا حد امکان افزایش می‌یافت. با بررسیهای صورت گرفته توسط کارشناسان در صورت راه‌اندازی این سیستم برای حال حاضر از هدر رفتن ۳/۵ میلیون ساعت در روز وقت تلف شده مسافران جلوگیری خواهد شد که نشانگر بعد اتلاف زمانی می‌باشد. تراکم فعلی شه در حدود ۱۰۰ نفر در هر هکتار می‌باشد که با مقایسه دیگر شهرهای ایران و کشورهای دیگر تراکم تراکم بیش از حدی را داراست. افزایش قابل ملاحظه جمعیت تهران و تعداد زیاد نقل و انتقال از دلایل اصلی افزایش سریع ایاب و ذهاب می‌باشد. برای اینکه به شهر تهران امکان داده شود نقش خود را به عنوان پایتخت و مرکز داد و ستد بخوبی اجرا کند و گسترش یابد می‌بایست تسهیلات لازم جهت ایاب و ذهابهای خزانه‌ای از طریق تامین ارتباطات بوجود آید. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اتخاذ راه‌حلهایی مانند ایجاد مونوریل و تراموا بدلایل فنی و محدودیتهای موجود نظیر کمبود عرض خیابانها در اکثر نقاط شهر مخصوصا جنوب شهر نمی‌تواند مشکل ایاب و ذهاب مربوط به جمعیت را حل نماید.

۲-زمین شناسی تهران

تهران در محل تلاقی دو مجموعه زمین ساختی عمده زیر قرار گرفته است:

رشته کوه جوان البرز متشکل از سنگهای پالئوزوئیک، مزوزوئیک که در دوره کوهزائی آلپ ظاهر شده و حرکت بالارونده آن تا کنون ادامه دارد. فلات ایران مرکزی که ناحیه قاره‌ای نسبتا آرامی می‌باشد. منطقه تهران از شمال به کوههای البرز مرکزی و از شرق به کوههای بی‌بی‌شهربانو و از جنوب به دشت ری و از غرب به دشت کرج محدود می‌شود. ارتفاع زمین از جنوب به شمال شهر تهران از ۱۱۰۰ تا ۱۷۰۰ متر تغییر می‌کند. شیب زمین یکنواخت نبوده و در بخش شمالی شهر شیب متوسط زمین تندتر است. در این بخش بطور کلی سه رشته بلندی با محور شرقی-غربی دیده می‌شوند که توسط دو فرونشست از یکدیگر جدا شده‌اند، این بلندی‌ها و فرونشست‌ها از شمال به جنوب عبارتند از:

- بلندی‌های سعادت آباد شمیران.
- فرونشت اوین- تجریش- نیاوران
- بلندی‌های ارامنه (تپه‌های محمودیه، الهیه، قیطریه، فرمانیه و شیان کوثر)
- فرونشست داوودیه
- بلندی‌های طرشت، عباس آباد.

این بخش از تهران تا ارتفاع ۱۲۰۰ متر به نام کوهپایه‌های تهران موسوم است.

از این ارتفاع به پایین شیب زمین کم و یکنواخت بوده و به نام دشت تهران خوانده می‌شود. این دشت در شمال فرونشست قرار دارد و خود بخشی از حاشیه شمالی فلات ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد. کوهپایه و دشت تهران از رسوبات رودخانه‌ای و سیلابی ناشی از فرسایش کوه‌های البرز تشکیل شده‌اند. این رسوبات غالبا دانه‌بندی نشده‌ای داشته و ابعاد دانه‌ها از شمال و جنوب ریزتر می‌گردد (کامبیز و ابوالحسن،۱۳۷۳).

۲-۱- تکتونیک تهران

کوهپایه تهران بسیار تکتونیزه شده، تپه‌ها و فرونشست‌ها بر طاقدیس‌ها و ناودیس‌ها که خود موازی با امتداد رشته کوه البرز می‌باشند منطبق و یا با آنها موازیند. وضعیت فوق حاکی از قرار گرفتن یک تکتونیک نرم (رسوبات دوران چهارم) بر روی تکنوکیت شکننده سنگی بستر زیرین است و هر طاقدیس و ناودیس در سطح بر روی یک گسل قائم در عمق قرار دارد. گسل‌های موجود در سطح شهر تهران معمولاً شکستگی‌هایی با بالاآمدگی کم می باشند که سازنده‌های مختلف را در تماس با یکدیگر قرار نمی‌دهند.

گسل‌های تهران از نقطه نظر خطر زمین لرزه به گروه‌های زیر تقسیم شده‌اند:

-گسل‌های اصلی و لرزه با درازای بیش از ۱۰ km

-گسل‌های متوسط با درازای ۲km تا ۱۰km

-گسل‌های کوتاهتر از ۲km

گسل‌های اصلی ولرزه‌زا با درازای بیش از ۱۰km در آبرفتهای منطقه تهران بزرگ دیده می‌شود. با بررسی کلیه گسلهای شناخته شده منطقه و مطالعه زمین لرزه‌های تاریخی و قرن بیستم تهران و اطراف آن چنین نتیجه گیری می‌شود که زمین لرزه قوی تهران را تهدید می‌نماید. زمین لرزه‌هایی هستند که سبب جنبش دوباره و حرکت احتمالی گسل‌های شناخته شده منشاء، راندگی شمال تهران، راندگی نیاوران، گسل ری، جنوب ری، کهریزک، گرمسار، پیشوا و پارچین بوجود می‌آیند. بخش مرکزی تهران و از جمله خطوط ۱ تا ۴ مترو در پهنه تکان‌های شدید یا ویرانی گسترده قرار می‌گیرد. چکیده نتایج بررسی‌های زمین شناسی تهران در ارتباط با خطوط مترو مهمترین نتیجه‌ای که از مطالعات ارائه شده زمین شناسی تهران در ارتباط با خطوط شماره ۱ تا ۴ مترو بدست می‌آید چنین است:

-بخش اعظم این خطوط و تمام خط شماره ۲ در سازند آبرفتی کوارترنر جدید قرار می‌گیرد، ضخامت متوسط این سازند در این محدوده تقریبا ۳۰ متر بوده و بر روی آن سازند کوارترنر کنونی به ضخامت متوسط حدود ۴۴ متر قرار دارد.

- سازند کواترنز جدید از رسوبات رودخانه‌ای و سیلابی ناشی از فرسایش کوه‌های البرز تشکیل یافته و تحت تاثیر حرکت تکتونیکی قرار نگرفته است.

-ضخامت رسوبات دوران چهارم در تهران از حدود ۳۰۰ متر بیشتر بوده و تا حدود ۱۰۰ متر می‌رسد.

-سازند کوارترنر جدید از دو رخساره خرده سنگی در شمال و مرکز شهر و رخساره لای دشت در جنوب (از حدود خیابان شوش به سمت جنوب) تشکیل شده است.

خط شماره ۲ در رخساره نخست واقع شده است. این رخساره عمدتا از لایه‌های شن و ماسه همراه با قلوه سنگ و لای تشکیل یافته سات. در مقیاس زمین شناسی سازند کواترنز جدید سازندی است. همگی این سازه رسوبات کوارترنر میانی (آبرفتهای ناهمگن شمال تهران) قرار گرفته است به ضخامت سازند کواترنز میانی تا حدود ۲۰۰ متر می‌رسد و بارزترین ویژگی‌اش ناهمگنی آنست.

۲-۲- سازندهای مختلف رسوبات آبرفتی تهران

سازندهای مختلف رسوبات آبرفتی تهران اولین بار توسط "Riben" در سال ۱۹۵۳ تا ۱۹۶۶ از قدیم به جدید به شرح زیر دسته بندی شده است:

-سازنده آبرفتی هزار دره و کنگلومرای همگن با قلوه سنگ شن و ریگ ماسه و سیلت در فضای بین دانه‌ها.

-سازند کهریزک و سیلتهای رسی (سازند کهریزک را به نامهای سازند آبرفتی نا همگن شمال تهران و «سیلتهای رسی کهریزک» نامیده‌اند).

- سازند آبرفتی تهران.

- آبرفتهای کنونی.

خطوط چهارگانه مترو و ۲ خط جدیدالاحداث همگی در سازند کوارترنر جدید واقع شده‌اند. از ویژگیهای سازند هزار دره می‌توان موارد زیر را ذکر نمود:

-در مناطق قیطریه، عباس آباد و گردنه قوچک تپه‌های بلند با دره‌های ژرف فراوان گسترش دارد.

-ارتفاع زیر ۱۲۰ m و همگنی سازند.

-لایه بندی منظم و دارای لایه‌ها و عدسیهایی از رس و ماسه.

-سیمان خوب و سخت شده.

-اندازه متوسط قلوه سنگ ۱۰cm تا ۲۵ cm و دگرسانی پیشرفته.

-رنگ خاکستری روشن.

-شیب زیاد سازند تا ۹۰ درجه (کامبیز و ابوالحسن، ۱۳۷۳).

۳- روشهای حفاری و ساخت تونلهای مترو تهران

۳-۱- احداث تونل به روش کند و پوش

حفر تونل در زیرزمین، مشکلات ویژه خود را دارد. از جمله مشکلات می توان به مسائل ایمنی، تهویه، ضرورت تامین روشنایی در تمام مدت کار، محدودیت فضا، محدودیت استفاده از ماشین آلات در مورد تونلهایی که احتمال تمرکز گاز متان وجود دارد و هزینه های زیاد اشاره کرد. بنابراین هر وقت که امکان داشته باشد، تراشه ای از سطح زمین با عمق و عرض موردنظر حفر می کنند به گونه ای که کف تراشه در ترازو کف تونل قرار گیرد. سپس تاسیسات موردنظر را در تونل نصب و آن را با وسایل نگهداری، دیوارسازی کرده و روی آن را تا سطح اولیه زمین، خاکریزی می کنند. در تونلهای مترو، این بحث پایان نیافتنی همچنان وجود دارد که کدامیک از دو روش کند و پوش و زیرزمینی مناسب تر است. مسلم است که یک جواب ثابت برای این سوال وجود ندارد و در واقع هر شهر دنیا و به عبارت صحیح تر، هر یک از خطوط مترو در هر یک از شهرهای دنیا، مسئله جدیدی است و مشکلات ویژه خود را دارد که با توجه به آنها، باید مناسب ترین روش انتخاب شود. با توجه به تجربیات انجام شده در شهرهای مختلف دنیا به طور کلی می توان گفت که در مورد تونلهایی به عمق ۱۰ تا ۱۴ متر روش کندوپوش ارزانتر و آسانتر از روشهای زیرزمینی است و احداث تونلهای مترو تا عمق ۱۸ متر نیز کاملا عملی و مقرون به صرفه است.

یکی از مهمترین موارد کاربرد روش احداث تونل به روش کندوپوش، احداث تونلها و ایستگاههای مترو است. همچنین برای احداث گذرگاهی زیرزمینی، کانالهای لوله های آب، فاضلاب و کابلهای برق نیز از این شیوه استفاده می شود. در بخشهای مرکزی شهرهای بزرگ، زمین ارزش زیادی دارد و بدین ترتیب اجرای تونل با این روش، سطح زمین در بالای تونل برای مقاصد مختلف شهری آزاد باقی می ماند.

از آغاز پیدایش سیستم حمل و نقل مترو، همواره سعی بر این بوده است که تا حدامکان تونلهای مترو در عمق کمتری احداث شود تا دسترسی به آن از خیابان آسان و سریع باشد. با توجه به این خواسته، بلافاصله ذهن به سمت روش کندوپوش متوجه می شود. البته در بعضی موارد، با وجود امتیازات روش کندوپوش، به علت محدودیت های موجود در امر حفاری سطحی باید از سیستم حفاری زیرزمینی به کمک ماشین های تونل کنی کمک گرفت (فارسی علی آبادی، ۱۳۷۰).

۳-۲- روش های اجرا

بسته به وضعیت های زمین و شرایط موجود در محل، برای نگهداری دیواره تراشه از روشهای مختلفی استفاده می شود که مهمترین آنها عبارتند از:

الف) روش گودبرداری با دیواره شیروانی

ب) روش میخ کوبی دیواره

ج) روش نگهداری دیواره با سپر فولادی
د) روش استفاده از پایه های فولادی
هـ) روش دیوارسازی بتنی
و) روش استفاده ای دیوار پیش ساخته
سیستم تهویه تونلها در مرحله حفاری
در مرحله حفاری، در جبهه کار پیشروی تونل آلودگیهای مختلف از جمله گازهای حاصل از آتشباری و گردوغبار وجود دارد. بنابراین برای اینکه بتوان پیشروی تونل را ادامه داد، باید جبهه کار را تهویه کرد.
در حالت کلی تهویه تونلها درمرحله حفاری تحت عنوان تهویه فرعی انجام می‌گیرد. بدین منظور در دهانه تونل، بادبزنی نصب می‌شود و به کمک لوله ای که از دهانه تونل تا جبهه کار ادامه دارد هوا را به داخل تونل می فرستند و یا هوای آلوده را از طریق آن بیرون می کشند.

۳-۳- روش ترانشه باز

این روش به دو صورت قابل اجراست:
- روش O.T (OPEN TRENCH)
این روش در مواردی عملی است که عمقی تونل بایستی در آن قرار بگیرد زیاد نباشد و در روی زمین هم ساختمانها زیاد نباشد و یا قابل تخریب باشند. به منظور اطمینان از متراکم کردن تمامی قطعه بتن‌ریزی شده لازم است که هنگام اجرای عملیات ویبره کردن از یک روند سیستماتیک استفاده کنیم. برای متراکم کردن بتن از امکانات دستی و یا حرکات ارتعاشی استفاده می‌کنیم.
مراحل مختلف عملیات در این روش عبارتند از:
-مطالعات
-خاکبرداری و در صورت لزوم تحکیم خاک
-ریختن بتن در کف
-آرماتوربندی کف تونل و بستن قالبهای آن
-ریختن بتن کف تونل و مراقبت از آن
-قالب بندی قوس و دایره
-آرماتوربندی قوس و دایره
-ریختن بتن قوس و دایره و مراقبت از آن
-عایقکاری قوس و کارهای مربوط به آن
-خاکریزی روی بتن
در این روش ارتفاع تا سطح زمین کم است، ابتدا باید در وسط و یا ثلث طول تونل نقطه مناسبی برای شروع کار در نظر گرفته و چاله‌ای به ابعاد مناسب (متناسب با ابعاد ماشین آلات) احداث و اطراف آنرا به منظور حصول اطمینان بیشتر برای جلوگیری از ریزش دیوارهای چاله کنده شده توسط کوبیدن پروفیلهای آهنی و یا با تخته‌بندی مهار شود. در اوایل که ابتدا شمع‌کوبی فولادی می‌کردند ارتعاشات را زیاد می‌کرد. به همین دلیل در حال حاضر به جای آن چاههایی حفر و شمع فولادی یا بتنی را در آن قرار داده تا از سطح ارتعاشات کاسته گردد. شمعهای بتنی و دیواره‌های حائل از طریق مقاومت نقطه‌ای و اصطکاک دیواره قادرند تا بارهای عمودی سنگینی را به زمین منتقل سازند. علاوه بر این بخاطر صلبیت زیاد آنها، شکم دادگی افقی در آنها کم و در نتیجه نشت زیر پی اطراف ناچیز خواهد بود. در این روش اگر زمین مقاومت کافی داشته باشد فقط با شیب مناسب عمل خاکبرداری انجام می‌شود، ولی اگر خاک مناسب نباشد و عمق هم زیاد باشد به دلیل حجم زیاد خاکبرداری برای

بهتر ماندن خاک به جای شیبدار حفر کردن دیواره‌های ترانشه از پل استفاده می‌شود. وقتی حفاری به کف ترانشه رسید در ارتفاع ۳ متری از کف ترانشه بتن‌ریزی می‌شود و پس از چند روز که بتن سخت شد تیرآهنهای طولی و عرضی به دیواره تکیه داده می‌شوند و روی تمام کف ترانشه را میخ هایی نصب می‌کنند تا نقشه برادران از صاف بودن مسیر اطمینان حاصل کنند و در غیر اینصورت باید بتن تخریب شده و دوباره ساخته و ریخته شود.

- روش C.C(CUT AND COVER)

. در این روش بعد از مشخص شدن محل تونل شمعهای عمودی (Pile) ریخته می‌شود، سپس محل بسته شده و قیدهای افقی و عمودی (Strut) اجرا می‌شود در ادامه Deck به چند حالت دال، تیرودال و اچ فایل و صفحات فولادی اجرا می‌شود. روی دال خاک ریزی انجام شده و محل باز می‌شود، دال را بصورت موقف یا دائمی می‌توان اجرا کرد. خاکبرداری از زیر دال شروع شده و تا عمق مورد نظر ادامه می‌یابد. سپس از پایین به بالا سازه اصلی تونل اجرا می‌شود، در پایان اگر دال بصورت موقت اجرا شده باشد محل بسته شده و سقف تونل بصورت دائم اجرا می‌شود. در این روش مقطع تونل بصورت جعبه‌ای می‌باشد.

۳-۳-۱-آب بندی در روش ترانشه باز

آب بندی در این روش با بکارگیری یک غشاء ضد آب در داخل سازه (قیر یا ورقه‌های P.V.C یا صفحات سبک آلومینیومی) انجام می‌شود که آنرا نفوذناپذیر ساخته و در نتیجه نیازی به خشک اندازیهای بزرگ مقیاس که باعث اخلال در وضعیت آب زیرزمینی و تاثیرگذاری نامطلوب بر وضعیت محیط می‌گردد نمی‌باشد. البته باید با ایجاد چاه و آبروهایی از ایجاد آب راکد در پشت دیواره‌ها جلوگیری کرد.

۳-۳-۲-مزایا و معایب روش ترانشه باز

مزایا: ساختمان تونل بصورت باز دارای این مزیت است که می‌توان تونل را بطور کامل از خارج آب بندی کرد (بر خلاف روش زیر زمینی).

معایب: گودبرداری از روی سطح زمین شروع می‌شود و بعد از مسافت تونل با انجام عملیات خاکریزی تا سطح زمین عملیات اتمام می‌یابد؛ و در نتیجه با ایجاد تخریب سطحی به ترافیک شهری لطمه وارد می‌کند.

۳-۴- روش ترانشه بسته

این روش به دو صورت انجام می‌گیرد:

- روش N.A.T.M (NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD)

برای اولین بار در سال ۱۹۲۴ میلادی یک مهندس سوئیسی چنین نوشت: مهندسین تونل از روی تجربه می‌دانند که می‌توان حرکات خاک را در طول مدت حفاری تونل توسط پوشش نسبتاً نازکی متوقف کرد. بشرطی که پوشش خوب به زمین تکی بوده و با سرعت هم اجرا شده باشد و این پوشش نازک باعث می‌شود که از یک پوشش ضخیم که نیاز خاکبرداری بیشتر و در نتیجه اتلاف وقت بیشتر و رانشهای بزرگتر نیز جلوگیری شود که این نحوه پوشش (آسترکشی) بطور نسبی مانع از حرکت زمین اطراف تونل می‌شود. طبق تعاریف دیگر از این زوش می‌توان نوشت: هنگام اجرای فضاهای بزرگ مقطع به روش جبهه کارهای موازی، پایداری با جداربندی سریع حاصل می‌گردد. بدین طریق امکان بهینه سازی ایمنی در زمان حفاری و کنترل تغییر شکلهای زمین وجود دارد. این روش علاوه بر قابلیت اعتماد و ایمنی کافی، انعطاف پذیری و صرفه اقتصادی خود را نیز در تونلهای داخل شهری به اثبات رسانده بطوری که در صورت اجرای صحیح، هزینه آن تقریبا مشابه روش ترانشه باز می‌باشد. حفاری بخش تحتانی (برای برقراری پایداری دیواره‌ها) در ۳ مرحله انجام می‌شود. ابتدا بخش میانی بعد ۲ بخش کناری خاکبرداری می‌شود.

- روش T.B.M (TUNNELING BORING METHOD)

این نوع تونل در قسمتهایی که عمق تونل تا سطح زمین بیش از ۱۰ متر باشد کارایی دارد. در این روش جهت حفاری و اجرا از ماشینهای حفار استفاده می‌شود. ماشینهایی که تمام مقطع را حفر می‌کنند تی. بی. ام نامیده می‌شوند. معمولا ماشینهای تمام مقطع در جلو یک صفحه دایره‌ای شکل دارند که قطر آن به طور محسوس مساوی قطر تونل است و حول محوری که منطبق بر محول تونل است می‌چرخد. روی این صفحه که صفحه حفاری نامیده می‌شود ابزارهای سنگ کنی کارگزارده شده است. برای خرد کردن زمین و پیش بردن ماشین حفاری، باید فشارهای زیادی به ابزارهای کار وارد شود. اگر زمین سخت باشد و تونل نیاز به پوشش گذاری در حال پیشرفت نداشته باشد، ماشینهای حفاری مستقیما به وسیله کفکشهای خود به جدار قسمت حفاری متکی می‌گردد. اگر زمین سست باشد لازم است یک حلقه واکنشی که در تمام سطح جدار خود به زمین اتکا داشته باشد به کاربرد تا جکهای طولی که صفحه گردان را به جلو می‌راند به آن متکی گردند. این حلقه معمولا پوشش پیش ساخته‌ای هستند متشکل از قطاعهای بتنی یا فلزی که به آنها سگمنت گفته می‌شود که با پیشروی ماشین به تدریج نصب می‌شود. جدود ۷۳۴۳/۱۷ متر در خط ۲ متروی تهران به این روش و توسط دستگاهی که به نام شرکت سازنده آن زوکور خوانده می‌شود ساخته شده است.

۳-۴-۱-مزایا و معایب این روش

مزایا: سرعت پیشروی جالب توجه بوده و از نظر اقتصادی با صرفه می‌باشد. عدم نیاز به مواد منفجره و عدم ریسک نگهداری انبار مواد منفجره. حفاظت طبقات سنگها و جلوگیری ار ارتعاشات. ایجاد سطح مقطع کامل و یکنواخت.

معایب: نیار به زمان طولانی جهت نصب و راه اندازی دستگاه حفاری. نیاز به تهویه موثر و دستگاههای خنک کننده هوای زیرزمینی. نیاز به خرید و نصب دستگاه گرد و خاک و غبار گیر. نیاز به افراد متخصص و تعمیر کار ماهر. نیاز به انرژی کافی. نیاز به سرمایه گذاری هنگفت اولیه. طبقات تشکیل دهنده کوه حتی المقدور باید از یکنواختی برخوردار باشد، در صورت وجود گسل و شکستگی مسائل مختلفی به وجود می‌آید. قابلیت انعطاف اندک در شیب لایه و سربالایی و پیچ زیاد. فرسایش زیاد سر مته‌ها. نیاز به دستگاه هموار کننده کف تونل. نیاز به نصب پروفیلهای فولادی جهت پوشش دیوارهای تونل.

به هر حال مرز اقتصادی برای بکار گیری این ماشین در تونل سازی باید حداقل ۳۰۰۰ متر طول تونل باشد و در کمتر از این طول بکارگیری این ماشین مقرون بصرفه و اقتصادی نخواهد بود. بعبارت دیگر کاربرد اقتصادی ماشین حفاری با مقطع کامل ۳۰۰۰ متر به بالا قرار دارد و از سوی دیگر باید روشهای موثر و پیش‌بینی شده‌ای در برخورد با گسل، شکستگیهای طبقات زمین شناسی جهت عبور هرچه سریع از طبقات بکار گرفته شود.

۴- عوامل مؤثر در نگهداری تونل های مترو

۴-۱-سیستم نگهداری اولیه

در تمام تونلهایی که با استفاده از ماشین حفار حفر می‌شوند نصب وسائل نگهداری اولیه قطعات پیش ساخته (سگمنت) ضروری است تا ضمن اینکه از ریزش دیواره‌ها جلوگیری کند تکیه گاهی نیز برای اتکای جکهای جابجا کننده دستگاه نیز باشد که نصب این قطعات پیش ساخته در مقایسه با بتن ریزی در جا (روش ناتم) نیاز به زمان کمتری دارد. دیگر مزایای آن عبارتند از:

- سهولت تولید قطعات
- کنترل کیفیت بهتر

برای این منظور ۳ روش وجود دارد:

۱- استفاده از قطعات چدنی

۲- استفاده از قطعات فولادی

۳- استفاده از قطعات بتنی

در متروی تهران از نوع سوم استفاده می‌شود.

نکته حائز اهمیت در مورد ماشین‌های حفار این است که در این روش هم نگهداری اولیه و هم نگهداری ثانویه و دائمی برقرار می‌گردد (فخیمی و ناصری، ۱۳۷۷).

۴-۲- نیروهای وارد بر پوشش تونل

بطور کلی می‌توان نیروهای وارد بر پوشش تونل و سازه‌های زیرزمینی را ه دو نوع عمده تقسیم نمود:

۱- نیروهای ناشی از بارهای مرده (استاتیک)

۲- نیروهای ناشی از بارهای زنده

از جمله مهمترین بارهای مرده وارد بر تونل، فشار زمین و فشار آبهای زیرزمینی است. سنگها و خاکهای درون زمین تحت تاثیر وزن طبقات رویی می‌باشند و بخش قابل ملاحظه‌ای از تنشهای موجود در آنها ناشی از همین امر است. عموما هر تنشی ایجاد یک کرنش می‌نماید که تمایل به جابجا کردن اجزا رمین دارد، ولی از آنجائیکه این اجزا (سنگها و خاکها) از اطراف محصور می‌باشند از این کرنشها جلوگیری به عمل می‌آید و نتیجه این امر محبوس شدن تنشها در این سنگها و خاکهاست.

در مورد تونلهای عمیق فقط با بارهای مرده سر و کار داریم و بارهای نظیر وزن وسائل نقلیه‌ای که احتمالا در روی این سطح در حرکت است تاثیر چندانی بر روی تونل ندارد. در مورد تونلهای کم عمق که یا به روش زیرزمینی و یا به روش ترانشه باز اجرا می‌شوند علاوه بر بارهای مرده با بارهای زنده سروکار خواهیم داشت. می‌دانیم با حفر فضا به زمین اجازه حرکت داده می‌شود. برای پایدار ماندن فضا باید از این حرکت جلوگیری به عمل آید که این کار با نصب وسایل نگهداری صورت می‌گیرد. باری که توسط وسایل نگهداری بایستی تحمل گردد اصطلاحا فشار زمین گفته می‌شود. تعیین این فشار یکی از بغرنجترین مشکلات در مهندسی تونل است.

۴-۳- تحول در تونل

در بررسی تحول تونلها باید تحول زمین و تحول جداره و پوشش را از هم تفکیک کرد: تحول زمینی که تونل در آن ساخته شده از چندین عامل مختلف ناشی می‌شود: اثر آب زیرزمینی که از تغییر رژیمهای آبهای زیرزمینی حاصل می‌شود که ممکن است مثلا دانه‌های ریز خاک را حرکت داده و از پایداری زمین بکاهد. در رسها در اثر بالارفتن میزان آب در آنها و یا سبب بادکردن و زیاد شدن حجم آنها شود (مانند خاک حاوی مونتمورنویت) و یا قسمتی را آب در خود حل کند (سنگهای کربنات دار و سنگ گچ) و یا سبب فاسد شدن خاک و یا فرسایش آن گردد و یا اثر شیمیایی داشته باشد و ....

علاوه بر سطح آب زیرزمینی ساختار خود زمین نیز عامل موثری در تحول رمین می‌باشد؛ مثلا خزش زمین تحت تنشهای قوی و فشردگی آن، وجود فضاهای خالی اطراف تونل و ناپایداری عمومی زمین در اثر دامنه‌های ناپایدار، واریزه‌ها و گسله فعال و ... را می‌توان نام برد؛ و نیز عوامل خارجی نسبت به بنا و سازه و سازه زیرزمینی ممکن است در تحول خاک و زمین موثر باشد. از قبیل اجرای کارهای ساختمانی در همسایگی و رفت و آمد وسایل سنگین و راه آهن که تولید لرزش می‌کنند، حفاری تونل دیگر و سنگبرداری و خاکبرداریها و سطح بالای تونل باعث اعمال فشار و نیروی زیاد بر خاک می‌گردد.

۴-۴- علل تحول جداره و پوشش تونل

علل تحول پوشش متعدد است و ممکن است ناشی از طرح تونل یا ناشی از اثرات بهره برداری

باشد، طرح اگر اساسا برای شرایط محل مناسب نباشد یا روشهای ساختمانی قدیمی بکار رفته باشد باعث تحول پوشش می‌شود؛ مانند: حفاری چند قسمتی پوشش با مصالح بنایی و یا اینکه مصالح مصرف شده از جنس خوب نباشد، مشخصات پوشش تونل نیز در اثر عوامل زیر می‌تواند تغییر کند:

- تغییر در شرایط بهره برداری از تونلها.
- صنایع شدن ملاتها و بتنها ناشی از گذشت زمان بدتر شدن معایب ساختمانی.
- اثرات یخبندان و تغییرات حرارت هوا و رطوبت.

اثرات آبها: آبهایی که سیمان را فاسد می‌کنند و تغییرات فشاشر آب (فخیمی و ناصری، ۱۳۷۷).

۵- تأثیر آبهای زیرزمینی بر ساخت تونل های مترو

۵-۱- سفره آب زیرزمینی

سفره آب زیرزمینی در رسوبات آبرفتی دشتهای جنوب کوههای البرز می‌باشد. وسعت دشتهای مزبور ۴۸۰۰ کیلومتر مربع است که ۴۴۰۰ کیلومتر مربع آن از رسوبات آبرفتی پوشیده شده است. سفره آب زیرزمینی معمولا روی لایه‌های غیرقابل نفوذ قرار دارند. در بین رودخانه که از البرز نشات می‌گیرند. رودخانه‌های کرج، کن و جاجرود تغذیه یه آبهای زیرزمینی را موجب می‌شوند. مخروطه افکنه‌های واقع در کوهپایه‌های شمالی با لیتولوژی مناسب باعث هدایت آب به داخل زمین می‌شوند. رودخانه‌های کن، جاجرود و کرج در راههای حوضه بهم پیوسته و تشکیل یک خروجی را می‌دهند.

خروجی اصلی آب زیرزمینی از حوضه تهران از طریق گذرگاه بین کوههای سرخ و ماره بطرف جنوب شرقی است. خروجی دیگر از طریق منتهی الیه جنوب غربی حوضه در گذرگاهی به عرض ۷/۵cm است که به رودخانه شور می‌ریزد. کل آب زیرزمینی خروجی سالیانه بالغ بر ۰/۵ میلیون متر مکعب است. یکی از عوامل بهره برداری از کوههای زیرزمینی، چاهها می‌باشند که تعدادی از آنها در یافت آباد، سلیمانه، جنوب غربی و شرق تهران وجود دارند.

۵-۲- طرح زهکشی تونلها و ایستگاههای توسعه شمال خط یک متروی تهران

احداث سازه‌های زیرزمینی در تهران همواره با مشکل آبهای زیرزمینی مواجه بوده و در بسیاری از نقاط شهر تهران مشکل دائمی بر سر راه عملیات اجرایی سازه‌های زیرزمینی می‌باشند. آبهای موجود و نفوذی به سازه‌های زیرزمینی مترو تهران دارای منشاء واحد نبوده و به طور کلی می‌توان آنها را به صورت زیر طبقه بندی نمود:

- بالابودن تراز آب زیرزمینی نسبت به خط پروژه مترو و نفوذ آب به داخل سازه‌ها.
- نفوذ آبهای سطحی به داخل زمین و سپس نفوذ به داخل سازه‌ها.
- نفوذ پساب فاضلاب‌ها و آبیاری فضای سبز.
- نفوذ از طریق قنوات و مجاری قدیمی آب در مجاورت سازه‌های مترو.
- نفوذ آب از طریق شکستن و پوسیدگی لوله‌های انتقال آب شبکه شهری.
- هجوم سیلابها و آبهای سطحی و ورود آنها به داخل سازه‌های زیرزمینی.

به منظور جلوگیری از نفوذ آب به داخل سازه‌های زیرزمینی باید آنها را با روش‌های گوناگون آب بندی نموده و یا با زهکشی مانع ورود آب شد. طرح‌های زهکشی به صورت بسیار موثر آبهای زیرزمینی را از محدوده سازه‌ها جمع آوری می‌نماید اما نمی‌تواند خاک را کاملا خشک نماید و رطوبت خاک را بگیرد مگر آنکه عامل تغذیه از بین برود. از بین بردن عامل تغذیه همیشه امکان پذیر نمی‌باشد. مثلاً پارکها و فضاهای سبز که نیاز به آبیاری دارند و یا نشت از لوله‌های شبکه آب و فاضلاب همیشه وجود دارد.

با توجه به شرایط و مشکل تعمیرات، نگهداری و هزینه‌های زیاد اجرائی در تخلیه به روش پمپاژ از یکسو وجود افراد با تجربه در امر اجرای گالری‌ها افقی (قنات) از سوی دیگر، روش ثقلی برای تخلیه آبهای زیرزمینی و پایین آوردن سطح آب زیرزمینی

تا رقوم مورد نیاز پیشنهاد شده است. به این ترتیب می‌توان امیدوار بود که با احداث گالری‌های زهکش بدون نیاز به احداث و تجهیز ایستگاه‌های پمپاژ از نفوذ و ورود آب به سازه‌های زیرزمینی جلوگیری نمود.

۵-۳- طرحهای اجرا شده قبلی در مسیر خط یک متروی تهران

شرکت متروی تهران در برخورد با مسائل آب زیرزمینی و به منظور حل مشکلات اجرائی، پاره‌ایی از طرحها را به اجرا در آورده است. مهمترین این طرحها اجرا شده به شرح زیر است:

- احداث زهکشهای عباس آباد در ۳ بخش: الف- زهکش حدفاصل بین ایستگاههای $R_1 - Q_1$، ب- زهکش Q_1، ج- زهکش حدفاصل بین ایستگاههای Q_1- P_1

- احداث زهکش شماره ۹،۱۰ و ۱۱ در تکمیل زهکشهای عباس آباد در شمال بزرگراه همت برای ارائه طرح جامع زهکشی و پایین انداختن سطح آب زیرزمینی نیاز به اندازه گیری پارامترهای زیادی در سنگ مخزن می‌باشد. با وجود تعداد زیاد طرحهای اجرا شده (توسط سازمانهای مختلف و شرکت مترو) اطلاعات دقیقی در مورد پارامترهای هیدرودینامیکی، هیدرولیکی و هیدروژئولوژیکی سنگ مخزن موجود نمی‌باشد. خط یک متروی (شمالی و جنوبی) در مسیر خود از چندین نوع خاک عبور می‌نماید. هر یک از این نوع خاکها دارای ویژگیها و پارامترهای هیدروژئولوژیک متفاوت هستند. از طرف دیگر در محاسبات و طراحی نمی‌توان پارامترهای اندازه‌گیری شده در یک محل را برای قسمتهای دیگر به کار برد و یا آنرا تعمیم داد زیرا بافت و خواص خاک در طول مسیر متفاوت است (فخیمی و ناصری، ۱۳۷۷).

۵-۳-۱- آبهای سطحی و هیدرولوژی

نزولات جوی که قبلا مورد بحث قرار گرفت با توجه به شیب عمومی دشت تهران بطرف جنوب جریان می‌یابد. برای مطالعه آبهای سطحی و دفع سیلابها سطح شهر تهران به مساحت تقریبی ۷۰۰ کیلومتر مربع مورد مطالعه قرار گرفته است. اگر متوسط بارندگی را ۲۵۰ میلیمتر در نظر بگیریم، میزان روان آبها به ۱۷۵ میلیون متر مکعب در سال بالغ خواهد شد. اگر میزان بارندگی را در یک مدت ۶۰ دقیقه‌ای در ارتفاع ۱۴۰۰ متر با دوره برگشت ۲۵ ساله معادل ۲۰ میلیمتر در نظر بگیریم میران روان آبهای سطحی معادل ۱۴ میلیون متر مکعب خواهد شد.

تخلیه آبهای سطحی از طریق رودخانه‌ها، مسیل‌ها، کانالها و جوی‌های موجود در شهر می‌باشد. با توسعه شهر و افزایش جمعیت اکثر مسیل‌ها و آبروها و دره‌ها تبدیل به خیابان، بزرگراه و سایتهای ساختمانی مسکونی شده بدون آنکه به عواقب دخل و تصرف در حریم مسیلها اندیشیده شود.

۵-۳-۲- مخازن آبهای زیرزمینی تهران

دشت تهران را رسوبات سری D.C.B.A پوشانده است. رسوبات سری A اساسا ناتراوا می‌باشند و می‌توان آنرا بعنوان سنگ کف در نظر گرفت. رسوبات سری D.C.B روی سری A را پوشانده است. مصالح پوشاننده سنگ کف بصورت مخروطه افکنه‌ها و دشت آبرفتی در شمال متشکل از مصالح درشت دانه و در جنوب تهران شامل مصالح ریز دانه (رسی و سیلت) می‌باشد. این مصالح جوان سنگ مخرن آب زیرزمینی تهران هستند. میزان تراوایی و نفوذپذیری آنها خوب و به همین دلیل چاههای فاضلاب جذبی در آنها بخوبی عمل می‌نماید. با توجه به شیب عمومی که بطرف جنوب است، آبهای مصرفی تهران از طریق چاههای جذبی و بخش نفوذی از نزولات به آبهای زیرزمینی پیوسته و به طرف جنوب حرکت نماید. در جنوب تهران جنس مصالح سری‌های D.C.B بصورت مصالح ریزدانه در آمده که قاعدتا میزان نفوذپذیری و تراوایی به مراتب کمتری را نسبت به مصالح درشت دانه شمال دارد. سرعت جریان آبهای زیرزمینی در برخورد با این مصالح دچار اختلال شده و باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و کاهش سرعت جریان می‌شود.

در محدوده تپه‌های عباس لاباد که رسوبات سری A بیرون زدگی دارد، مشاهده می‌شود که معدودی از لایه‌ها دارای تراوایی و قابلیت انتقال آب هستند. در این محل سری A چین خورده و تاقدیسی را بوجود آورده که در آن امتداد لایه‌ها شرقی- غربی است. آبهای نفوذی از نواحی غربی از طریق این لایه‌های تراوا جریان یافته و از آنجا که گودبرداری برای احداث مترو پایین‌ترین زهکش را به وجود آورده، آب در داخل گود ظاهر می‌شود.

دز زمان احداث می‌بایستی با احداث زهکش و عایق کاری به نحو مناسب از نفوذ آب به داحل تونل جلوگیری می‌شد که بعدها با احداث گالری‌های زهکش این مشکل تا حد قابل قبولی رفع گردید (مدنی، ۱۳۸۵).

۵-۳-۳- قناتها

قناتها نیز در تهران پراکنده‌اند که طویل‌ترین قنات تهران فرح آباد در جنوب شرقی به طول ۱۴۰۰۰m و کوتاهترین آنها قنات فولادی حصارک بطول ۵۰m است. کم عمقترین چاه قنات، قنات واقع در جنوب شهر ری و عمق ۶m و کم عمقترین آنها در سلیمانیه واقع در شرق تهران است به عمق ۱۷۰ متر. سطح آب زیرزمینی در منطقه مرکزی تهران بالاتر از سایر مناطق است. علت بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در این منطقه یک لایه با قابلیت نفوذپذیری بسیار کم است و نیز تداخل و تلاقی ۲ جریان آب زیرزمینی است، یکی از شمال غرب به جنوب شرق و دیگری از شمال به جنوب.

در مسیر خیابان خیام با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در رابطه با احداث تونل مترو در زمانهای مختلف تراموا شرکت مترو (واحد ژئوتکنیک) تعداد ۲۳ حلقه گمانه نصب شده در سطح آب مرتبا اندازه گیری می‌شود. عملکرد تکتونیک بصورت تاقدیس، ناودیس و گسل می‌تواند رسوبات آبدار را تحت تاثیر قرار داده و تغییراتی در سطح آب پدید آمده همچنین عملکرد سطوح لایه‌ها می‌تواند عمل زهکشها را انجام داده و تغییراتی ناگهانی در سطح آب زیرزمینی پدید آورد (مدنی، ۱۳۸۵).

۶- روشهای عایق بندی (ایزولاسیون) تونلهای مترو در برابر نفوذ آب

۶-۱- روش سگمنت گذاری و تزریق پشت سگمنت (Grouting)

به طور کلی عمل تزریق با دو هدف اساسی انجام میشود. **الف**) محکم کاری و ایجاد اطمینان از نظر ایمنی برای مثال در سدهایی که برای کنترل آب زده میشود فشار قائم بسیار بالایی از طرف آب موجود در پشت سد به دیواره سد وارد میشود و یا در تونلهای معادن زیرزمینی و نیز در تونلهای مترو فشار لایه های بالایی زمین به قسمتهای سقف و دیواره تونل وارد میشود که در صورت عدم محکم کاری و تامین ایمنی ممکن است خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری به بار آورد.

با انجام عمل تزریق هم فضای خالی پشت سگمنتها پر میشود و هم با نفوذ دوغاب در لایه های آبرفتی که در اثر حفاری دچار به هم خوردگی در ساختارشان شده اند باعث استحکام لایه های آبرفتی پشت سگمنتها میشود.

ب) عایق بندی تونل در برابر نفوذ آب حاصل از برف و باران. وقتی دوغاب از گمانه ها تزریق میشود و در فضاهای خالی پخش شود به صورت عایقی از ورود آب به داخل تونل جلوگیری میشود. موارد استفاده از تزریق در سدها و تونلهای مترو و در برخی از تونلهای معادن زیرزمینی است.

۶-۲- انواع تزریق از نظر ساختار دیواره داخلی تونل

پوشش نگهدارنده داخلی تونل مترو ممکن است سگمنتی باشد و یا به صورت Lining اجراء شود در روش دوم دیواره داخلی تونل بعد از حفاری، آرماتوربندی و قالب بندی میشود و سپس با بتن پر میشود و لیکن اجرای این روش مستلزم صرف زمان زیادی میباشد. در نهایت برای کار تزریق، ساختار سگمنتی یا آرماتوری دیواره تونل فرق چندانی نمی کند.

سگمنت در واقع قطعات بتن پیش ساخته ای است که به دلیل سهولت کار از آن استفاده میشود به این صورت که بتون را در قالبهای مخصوص میریزند و پس از خشک شدن و سفت شدن آنها را در داخل تونلها با بولتهایی به هم وصل می کنند و به این طریق دیواره یا در واقع پوشش نگهدارنده داخلی تونل ساخته میشود. طرز وصل کردن این سگمنتها به یکدیگر در داخل

تونل به این شکل است که در قسمتهای انتهایی این سگمنتها سوراخهایی تعبیه شده است که پیچهایی با ضخامت بالا داخلی انها قرار می گیرد و توسط مهره هایی سفت و محکم بسته میشوند.
این سگمنتها پس از بستـه شـدن کامل به شکل قوسی در می آیند و هنگامی که در تونل در کنار هم قرار می گیرند یک دایره را تشکیل میدهند د رهر حلقه یا رینگ از یک عدد کلید نیز در کنار سگمنتها استفاده میشود که ممکن است نسبت کلید سگمنت در یک رینگ ۱ به ۵ باشد و یا در مواردی ممکن است ۱ به ۸ هم باشد که دلیل این امر این است که در نسبت ۱ به ۵ اندازه سگمنتها بزرگتر است بنابراین تعداد آن در رینگ کمتر است و در مورد دوم اندازه سگمنتها کوچکتر است پس تعدادشان باید بیشتر باشد زیرا اندازه رینگ تونل همواره یکسان می ماند.

۶-۳- ترتیب قرارگیری رینگها در داخل تونل مترو

اگر تمام رینگهای یک تونل را به دسته های ۴ تایی تقسیم کنیم، حال در این دسته های ۴ تایی رینگها به ترتیب اولیه، ثالثیه، ثانویه و ثالثیه نام گذاری میشوند.
و همین طور این نام گذاری و شماره گذاری رینگها ادامه پیدا می کند تا انتهای تونل و این ترتیب رینگهای اولیـه تا ثالثیه (۴ تایی) تکرار میشود. نکته مهمی که در این بخش قابل ذکر است این است که در کار تزریق، انجام عمل تزریق بر روی رینگهای اولیه و ثانویه اجباری است ولی تزریق رینگهای ثالثیه در صورت تشخیص لزوم آن انجام میشود.

۶-۴- طرز بندکشی و پرکردن شکافهای بین رینگها و سگمنتها

تمام درزها و شکافهایی که در هنگام وصل کردن سگمنتها به هم در یک رینگ در بین آنها به وجـــود می آید توسط ترکیب آب و سیمان و سیلیکات سدیم گرفته و از بین می روند و همین طور تمام فضاهای خالی که بین رینگها در تونل به وجود می آید و باعث ایجاد درز یا شکاف می کند باید توسط ترکیب مذکور در بالا گرفته شود. در غیر این صورت تونل ما از عایق بندی درست و کاملی برخوردار نخواهد بود و نیز ثانیا" در هنگام تزریق دوغاب، دوغاب که به حالت یک سیال است از داخل این فضاهای خالی شکافها بیرون می زند و در واقع عمل تزریق بی نتیجه و بی حاصل خواهد بود. پس انجام عمل بندکشی شکافها و فضاهای خالی ایجاد شده در تونل از اهمیت بالایی برخوردار است که باید با دقت بالایی انجام شود (مدنی، ۱۳۸۵).

۶-۵-گمانه زدن – ترتیب گمانه ها در یک حلقه - طرز گمانه زنی – مراحل گمانه زنی

گمانه زدن به معنی ایجاد یک حفره در داخل دیواره تونل است که این عمل توسط یک دستگاه حفاری انجام میشود یک دستگاه حفاری ممکن است از نوع core -barel یا D.T.H یا TOP.HAMRE باشد در تونلهای متروی تهران جهت انجام عملیات تزریق از دستگاه حفاری TOP.HAMRE استفاده میشود. D.T.H از یک الکترو موتور تشکیل شده که یک rode به طول تقریبی ۲/۵ متر به آن متصل است و در انتها این rodeیک سر مته وجود دارد. در TOPHAMER نیروی محرک توسط یک تراکتور تامین میشود؛ و rode حفاری به یک بازوی بزرگ و چندین جک هیدرولیک متصل است TOPHAMER از قابلیت جابه جایی بالایی برخوردار است و نسبت به D.T.H سرعت خیلی بیشتری دارد. دراین جا لازم به ذکر است که سیستم کار ماشین حفاری مذکور سیستم حفاری ضربه ای – چرخشی است که استفاده آن در معادن مرسوم است. بر روی هر رینگ از تونل ۱۱ گمانه برای تزریق زده میشود و بنابر این در رینگهایی که دارای ۱ کلید و ۵ سگمنت است بر روی هر سگمنت باید دو گمانه زده شود. شماره گذاری این گمانه ها از یک طرف آغاز میشود و تا انتهای تونل بر روی تمام رینگها از همان طرف شماره گذاری شروع میشود. گمانه ها به ترتیب از ۱ تا ۱۱ روی تونل زده میشود به طوری که گمانه شماره ۶ در وسط تونل و در بالاترین نقطه تونل (تاج تونل) قرار دارد. گمانه ۱ مقابل ۱۱ و ۲ مقابل ۱۰ و ۳ مقابل ۹ و همینطور ادامه میابد تا به ۶ برسد.

چون کار تزریق در ۳ مرحله انجام میشود یعنی در هر نقطه از ۱۱ نقاط مشخص شده روی هر رینگ باید ۳ بار و ۳ مرحله تزریق دوغاب انجام شود بنابراین لزوما" باید ۳ مرحله کار گمانه زنی داشته باشیم که از مرحله اول تا مرحله سوم عمق گمانه افزایش پیدا می کند. به این ترتیب که عمق گمانه اول تا ۵ سانتیمتر پشت سگمنت است و در مرحله دوم گمانه زنی تا عمق ۴۰ سانتی متر بعد از مواد تزریقی مرحله اول پیش می رویم که چون تزریق اول معمولا" ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر از فضای بعد از سگمنت را پرکرده است بنابر این عمق گمانه دوم، چیزی در حدود ۶۰ سانتیمتر خواهد شد؛ و اما عمق گمانه سوم ۱/۵ مترپشت از سگمنت است. هر یک از این گمانه ها برای هدف خاصی زده میشود (بیکل و کوسل، ۱۹۷۷).

۶-۶-خالی کردن داخل گمانه و آماده سازی گمانه برای شروع کار تزریق

پس از انجام کار گمانه زنی در مرحله بعد باید داخل گمانه را تمیز کرد و خاک و سنگ و هر چیزی که احتمالا" در اثر حفاری گمانه و یا در اثر ریزش سنگ و خاک دیواره به داخل گمانه ریخته است از آن خارج کرد. این کار توسط یک میله بلند که شیارهایی بر روی آن وجود دارد انجام شود به طوری که فردی این میله را آنقدر به طرف داخل و خارج گمانه حرکت میدهد تاتمام محتویات داخل گمانه خالی میشود و عمق مورد نظر طرح بدست آید وگمانه برای انجام کار تزریق آماده شود.

۶-۷-توضیح میکسرها و همزنها و کارشان

برای آماده سازی و تهیه دوغاب از دستگاهای میکسر و همزن استفاده میشود. روش کار چنین است که ابتدا آب و سیمان و روان کننده با نسبتهای تعیین شده در طرح داخل میکسر ریخته میشود و احیانا" در صورت نیاز مقداری هم ماسه همراه با آنها داخل میکسر ریخته میشود. در انتهای میکسر در قسمت پائین آن پره ای وجود دارد که در حال چرخش است و باعث مخلوط شدن آب و مصالح خشک میشود. بعد این مخلوط وارد دستگاه همزن میشود که در آنجا یک میله همراه با پره هایش از بالا نصب شده است که در داخل ظرف همزن می چرخد و باعث میشود که سیمان و احیانا" ماسه به طور کامل در آب مخلوط شوند و یک مخلوط یک دست که غلظت درتمام نقاط آن یکسان است بدست آید که دوغاب نامیده میشود، ضمن اینکه اینکار از ته نشین شدن سیمـان و مصـالـح در داخـل ظرف همزن جلوگیری می کند. سپس دوغاب از همزن خارج می شودو مراحل بعدی را تا تزریق به داخل گمانه طی می کند (بیکل و کوسل، ۱۹۷۷).

۶-۸- پمپهای تولید فشار و پمپهای فشار شکن و توضیح کار آنها

پمپهای ایجاد فشار یکی از اعضای سیستم انتقال دوغاب به گمانه است که توسط آن دوغاب از دستگاه همزن بیرون کشیده میشود و پس از عبور از خود پمپ با فشار معینی در مسیر شلنگهای انتقال، پمپاژ میشود. اساس کار این پمپ سلیندرهایی است که در آن قرار دارند و با حرکت مداوم پیستون در داخل این سلیندرها فشار لازم به دوغاب وارد میشود. تعداد این سلیندرها معمولا" ۲ یا ۳ عدد است. چون کار پمپاژ دوغاب به وسیله این پمپها (بعضی از این پمپها) مدام قطع و وصل میشود و تناوبی است لازم است که یک کپسول فشار شکن در سر راه، بعد از پمپ تولید فشار قرار گیرد تا این فشار را یکنواخت نماید و در واقع دوغاب با یک فشار ثابت انتقال پیدا کند. البته در مورد پمپهای ایجاد فشار قدیمی این موضوع صدق می کند ولی پمپ های جدیدتر که در حال حاضر تولید میشوند هر دو این کارها را با هم انجام می دهند و نیازی به پمپ فشارشکن نیست و خود پمپ تولید فشار دوغاب را با فشار ثابتی پمپاژ می کند (آداچی و همکاران، ۱۹۸۸).

۶-۹- فشار تزریق و روش اندازه گیری و کنترل آن

همـان طـور در بخشهای قبلی بیان شد فشار تزریق همان فشار وارده به دوغاب است و این فشار را پمپ های تزریق تولید می کنند بحث فشار و اندازه گیری و تنظیم آن یکی از بحثهای مهم در بخش تزریق است که از این رو توجه فراوانی را می طلبد. لذا امکاناتی برای اندازه گیری و تنظیم آن در نظر گرفته شده است که به توضیح و شرح آنها می پردازیم.

بعد از اینکه دوغاب با فشار از پمپها خارج میشود در سر راه از یک دستگاه نسبتا" کوچک فشار سنج به نام گیج (gage) عبور داده میشود نقش دستگاه Gage همان اندازه گیری و نشان دادن فشار دوغاب یا همان فشار تزریق است. در کنار این Gage و بلافاصله بعد از آن شیر برگشت دوغاب وجود دارد که توسط این شیر مسیر دوغاب دو راه میشود یکی راه اصلی عبور دوغاب به طرف گمانه و دیگری راه برگشت دوغاب به طرف ظرف اولیه آن یعنی همزن است. فردی باید به طور ثابت و Time FULLدر جلوی این Gage و شیر کنترل بنشیند و به عقربه Gag توجه داشته باشد وهر گاه دید که فشار تزریق تغییر می کند او نیز با تغییر وضعیت و چرخاندن شیر کنترل فشار را در مقدار ثابت تعیین شده نگاه دارد. هر گاه فشار دوغاب در حال کاهش است شیر را در جهتی بچرخاند که مسیر اصلی عبور دفع دوغاب بازتر شود و زمانی که فشار دوغاب در حال افزایش است شیر را در جهتی بچرخاند که سطح مقطع عبور دوغاب در مسیر اصلی (شار عبوری در مسیر اصلی) کاهش یابد و برعکس سطح مقطع و شار عبور دوغاب در مسیر فرعی (برگشت) بیشتر شود.

۶-۱۰- اندازه گیری و چک کردن غلظت دوغاب

هر چند وقت یکبار توسط یکی از افراد انجام میشود. در این اندازه گیری از وسایلی به نام پارچ و قیف مارش استفاده میشود. به این صورت که ابتدا توسط پارچ مخصوص مقداری دوغاب را از داخل همزن گرفته و درحالی که با یک انگشت سوراخ سر باریک قیف را گرفته اند دوغاب را از قسمتی از طرف گشاد قیف که دارای صافی (صافی به صورت توری فلزی است) میباشد به داخل قیف مارش می ریزند. مقدار دوغاب ریخته شده به داخل قیف مارش باید به قدری باشد که دوغاب به صفحه صافی بالای قیف برسد و تا آنجا پر شود. حال سر باریک قیف را که با انگشت گرفته اید را داخل پارچ می گیریم فرد دیگری بایک تایمر (Timer) در کنار این قیف و پارچ ایستاده و زمانی که فرد اول انگشت خود را از روی سوراخ قیف بر میدارد فرد دوم به طور کاملا" همزمان دکمه تایمر را می زند و تایمر شروع به کار می کند. پارچ مارش دارای درجه بندی از داخل و برحسب میلی لیتر میباشد و تا ۱ لیتر مدرج شده است. زمانی که دوغاب داخل پارچ به ۱ لیتر رسی آنگاه بلافاصله دکمه تایمر زده می شود تا مدت زمان انجام این آزمایش را بر حسب ثانیه ثبت کند.

۶-۱۱- استفاده از ماده شیمیایی به نام Penetron کار در عایق بندی تونل

ماده شیمیایی جدید به نام Penetron تولید شده است، که برای اطمینان از کار عایق بندی تونل مترو در برابر آب از آن استفاده می شود. روش استفاده از Penetron به این صورت است که آن را با آب مخلوط می کنند و نسبت این ترکیب ۲/۵ است، که خوانده میشود ۲ به ۵ و معنی آن این است که باید، ۲ کیلوگرم آب را با ۵ کیلوگرم Penetron ترکیب کنیم، سپس این ترکیب را بر روی پوشش سگمنتی می مالیم تا تمام قسمتها به این ترکیب آغشته شود (آداچی و همکاران، ۱۹۸۸).

۶-۱۲- انجام تست آب در انتهای کار برای اطمینان از عایق بندی تونل

در انتها، که همه کارهای لازم جهت عایق بندی تونل در برابر نفوذ آب به داخل آن بر روی آن انجام شد، یعنی بعد از تزریق در سه مرحله و نیز استفاده از Penetron برای اطمینان کامل از صحت عایق بندی تونل، روی آن یک تست آب انجام می دهند که به این تست آب آزمایشهای **لوژن و لوفران** نیز گفته میشود. برای انجام این تست، روش کار چنین است که ابتدا یک گمانه در قسمت تاج تونل و در فواصل مشخص شده در طرح و با عمق معین شده در طرح، حفاری می کنند (مانند گمانه زنی در مراحل سه گانه تزریق) و سپس همانند انجام کار تزریق عمل می کنند، فقط با این تفاوت که در اینجا به جای تزریق دوغاب، آب را به داخل گمانه های حفاری شده تزریق می کنند. وقتی آب با فشار به داخل گمانه پمپاژ میشود، در صورتی که در قسمتی از دیواره تونل عایق بندی کامل نباشد و حفره یا درز کوچکی وجود داشته باشد، آب از آن قسمت شروع به نشت کردن و بیرون زدن می کند. به این شکل ایرادات کار عایق بندی تونل نمایان میگردد؛ و مهندسین ناظر مستقر در داخل تونل

مترو به دقت این محلهای بیرون زدگی آب را تشخیص داده و نشتی موجود در آن قسمت از دیواره تونل را با استفاده از روشهایی که گفته شد بر طرف می کنند.

۷- نتیجه گیری

با توجه به تجربیات بدست آمده در حفر تونل ها، مخصوصاً تونل های مترو و اینکه جهان به سمت مکانیزه شدن پیش می رود و در همین راستا کشور ما و نیز شرکتها به این سمت حرکت می کنند همچنین در روش مکانیزه خطا، گسیختگی خاک و ریزش کمتر است بهتر و اقتصادی تر این است که از روش مکانیزه مثل TBM تونل ها حفاری شوند چون هم سرعت حفاری و هم ضریب اطمینان بالاتر است اما بدلایل مختلفی مثل هزینه گمرکات، تحریم ایران و ... هنوز خیلی از شرکت ها از روش های سنتی برای حفر تونل استفاده می کنند که این باعث کندی سرعت حفاری و پایین بودن ضریب اطمینان می شود.

منابع:

۱. بهنیا کامبیز، بهنیا ابوالحسن، (۱۳۷۳)، بناهای زیرزمینی، چاپ اول، دانشگاه تهران.
۲. فارسی علی آبادی، ناصر، (۱۳۷۰)، اندرکنش زمین–سازه در تونل متروی تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
۳. فخیمی، احمدعلی، ناصری محمدعلی، (۱۳۷۷)، تحلیل غیر خطی اندرکنش خاک و پوشش تونل، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس تونل، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۴. مدنی، علی، (۱۳۸۵)، متروی تهران، تهران: انتشارات شهرداری تهران.
5. Adachi T,kikuchi T, Kimara H. Behavior And Simulation of soil Tunnel With Thin Cover, Numerical Mcihonds in Geomech. Swoboda (ed),1988 Balkema, Rotterdam.
6. Bickel John O, Kuesel Thomas R, king Elwyn H.Tunnel Engineering Handbook, 1997.

مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری

دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۱۶۶- ۱۵۱

Tunneling Boring Methods in Tehran Subway

Mohammad Kheirkhah Sadegh, Ali Parhizkar Miandehi

Mining Engineering, Mining Trend, Islamic Azad University, Lahijan Branch

Assistant Professor, Islamic Azad University, Lahijan Branch

Abstract

One of the most important topics in metropolitans is urban and inter-urban communication networks. Experts in this field have tried to identify and implement practical solutions to achieve these goals. The most important developmental tasks are expanding urban transport networks and an efficient traffic system as communication arteries in the cities.

Attention to urban transportation problems, create light traffic in urban areas (especially Tehran) and organize these matters are incredibly important.

Rapid and uncontrolled expansion of urban infrastructures in one hand causes heavy traffic, and waste the time of citizens in other hand. Various solutions have been presented to reduce the problems in this field.

Scattering different centers of population such as ministries, companies, business centers, etc. contribute to reduce the concentration of population in the city. To speed up the transportation and increasing the convenience of passengers, the streets especially highways should be widening and due to street's limitation, underground can be used for moving the vehicles.

Finding path for bus, tramway, Rollercoaster and subwaypractical are practical solutions for reducing congestion in the city that has been implemented in many parts of the world.

Keywords: Tunnels of Subway, Tehran Subway, Boring, Boring Methods