اولین کنفرانس ملی تصادفات وسوانح جاده ای و ریلی
ایران- زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی –واحد زنجان، آذر ۱۳۸۸

تعریض تونلهای ریلی حفر شده در سنگ همزمان با استمرار جریان ترافیک به منظور کاهش تصادفات

مرتضی قارونی نیک [۱]، میثم نعیمی [۲]

[۱] عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران – گروه خط و سازه های ریلی (gharouni@doctor.com)
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی خطوط راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران (naeimi_msc@rail.iust.ac.ir)

چکیده

بسیاری از سازه های احداث شده در مسیر به دلیل کمبود ظرفیت و ترافیک زیاد، ایمنی عبور کم و ... جوابگوی نیازهای فعلی نبوده و در بسیاری از مواقع باعث تصادفاتی در راهها می شوند. یکی از راههای افزایش ظرفیت و ایمنی عبور در این سازه ها این است که تعداد خطوط ترافیکی عبوری از آنها افزایش یابد. این امر مستلزم این است که عرض عبورگاه این سازه ها بیشتر شود. اینجا است که بحث تعریض در آنها مطرح می شود.

مقاله حاضر به موضوع افزایش ایمنی تونلهای ترابری با تعریض آنها همزمان با استمرار جریان ترافیک حین اجرای عملیات به منظور کاهش تصادفات می پردازد. در این مقاله ابتدا به معرفی فرآیند تعریض تونل پرداخته می شود و علل و ضرورت این موضوع عنوان میشود. مهمترین علت توجه به تعریض تونلها، افزایش ظرفیت ترافیک، ایمنی تردد وسایل نقلیه و کاهش تصادفات است.

افزایش ایمنی جاده ها و خطوط ریلی کشور بدون قطع جریان ترافیک آنها و ایجاد تمهیدات مناسب برای جلوگیری از انسداد ترافیک موضوع مهمی است که باید در طرحهای اصلاحی و ارتقای امنیت عبور مورد توجه قرار گیرد. این است که در ادامه اهمیت مسئله عبور ترافیک همزمان با تعریض تونلها ارائه شده و به راه حلهای ارضای چنین شرایطی پرداخته می شود. قرار دادن سپری محافظ ترافیک و استفاده مناسب از پوشش قبلی تونل، بهترین راه برای رسیدن به این منظور می باشد. روش تعریض تونل با سپری محافظ اولین بار در چندین کشور دنیا تجربه شده و ایده بسیار مناسبی برای تعریض تونلهای راه و راه آهن موجود در کشور می باشد.

پس از آن انواع روشهای مناسب برای تعریض تونلهای کشور، همزمان با استمرار جریان ترافیک معرفی شده و خصوصیات و امکان کاربرد هر یک در کشور بررسی می شود.

کلمات کلیدی : افزایش ایمنی عبور- تعریض تونلهای ترابری- کاهش تصادفات- روشهای تعریض- عبور ترافیک

۱- مقدمه

شبکه های حمل و نقل ریلی و جاده ای از حیاتی ترین زیرساختهای کشورها محسوب می شود و طراحی آنها برای طول عمر بالایی انجام می شود . قدمت زیاد و ضعف سیستمهای حمل و نقل، به معنی ضرورت توسعه روشهای نوسازی آنها می باشد. به طوریکه امروزه در بسیاری از کشورها توجه به بحث نوسازی، بیشتر از ساخت سازه های جدید است. پلها و تونلها اصلی ترین سازه هایی هستند که در طول مسیر احداث می شوند و توجه به بحث نوسازی آنها مبحث مهمی می باشد.

تعریض تونلها به معنی افزایش عرض عبورگاه تونل به صورت افقی (Tunnel Widening) و یا بزرگ نمودن ابعاد تونل از جهات پیرامونی آن(Tunnel Enlargement) می باشد. هر دو حالت یاد شده در طبقه بندی فعالیتهای نوسازی تونلها، قرار می گیرند.

مقاله حاضر به موضوع افزایش ایمنی عبور تونلها با تعریض آنها با استمرار جریان ترافیک حین اجرای عملیات، میپردازد. در این مقاله ابتدا به معرفی فرآیند تعریض تونلها پرداخته می شود و علل و ضرورت این موضوع عنوان میشود. در ادامه اهمیت مسئله عبور ترافیک همزمان با تعریض تونلها ارائه شده و به راه کارهای ارضای چنین خواسته ای پرداخته می شود. سپس انواع روشهای مختلف تعریض تونلها، همزمان با استمرار جریان ترافیک معرفی شده و امکان کاربرد آنها برای تونلهای کشور بررسی می شود.

۲- ضرورت تعریض تونل

علل متعددی باعث توجه به مبحث تعریض تونلها می شود، که از جمله مهمترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- افزایش حجم ترافیک و نیاز به تامین خطوط ترافیکی بیشتر(افزایش ظرفیت)
- هماهنگی با مسیرهای ترانزیتی و ایجاد تسهیلات عبور برای وسایل نقلیه سایر کشورها

Archive of SID
www.SID.ir

- ایمنی کم برخی از تونلهای موجود بـه دلیـل عـرض نـاکـافی و خطرات ناشی از عبور وسایل نقلیه با سطح مقطع بزرگ
- تامین فضای لازم برای نصب کانالهای زهکـشی و تهویـه، تـردد دوچرخه ، عابرین پیاده و ...
- تبدیل کردن تونل از نوعی به نوع دیگر یـا اسـتفاده تـوأم تونـل برای چند سیستم حمل و نقل به صورت ترکیبی

در کشور ما تونلهای راه و راه آهن و به ویژه دسته دوم از ایمنی عبور کافی برخوردار نبوده و تاکنون حوادث زیادی ناشی از کم بودن عرض تونلها چه در جاده ها و چه در تونلهای راه آهن اتفاق افتاده است. بنابراین توجه به بحث تعریض آنها به منظور افزایش ایمنی دارای اهمیت ویژه ای می باشد.

۳- مروری بر کارهای قبلی

نوسازی زیرساختهای ریلی و جاده ای بـه ویـژه تونلهـا، از دیربـاز بـه خاطر محدودیت در قطع حرکت و سیر قطارها ، چالشی بزرگ پـیش روی مهندسان و مدیران بوده است. به همـین خـاطر امـروزه یکـی از پرطرفدارترین موضـوعات مطالعـاتی در زمینـه حمـل و نقـل ، بحـث نوسازی زیرساختهای مسیر بدون تداخل با ترافیک عبوری می باشـد و برخی پژوهشگران بر روی این موضوعات فعالیت می کنند.

آقای تانون[1] از دانشگاه آستون[2] آمریکا انواع روشهای تعریض تونلهـای را بدون قطع جریان ترافیک[2] در سال ۲۰۰۷ به صورت کلـی ارائـه کرده است، لیکن کمتر به نکات فنی و اجرایی موضوع پرداخته است. همین محقق در سال ۲۰۰۵ نیز به ارائـه سیاسـتهای کـاری مختلـف برای حفظ جریـان ترافیـک در تونلهـای راه و راه آهـن[3] پرداختـه است. آقای نیتل و اسکربر[3] نیز بر روی همین موضـوع تعـریض تونـل حین ترافیک [4] فعالیت داشته اند.

تنها تجربه تعریض تونلها در کشور ما، تعریض تونل کنـدوان در سـال ۱۳۷۴ است که دارای طول ۱۸۸۶ متر، پهنای مفید ۳/۵ متر و ارتفاع ۷/۵ متر بود و پس از حدود ۶۰ سال بهره برداری مورد تعـریض قـرار گرفت. این تونل برای مدتها به صورت یک طرفه مـورد اسـتفاده قـرار می گرفت. اما با گذشت زمان و ازدیاد تـردد وسـایط نقلیـه سـبک و سنگین، دیگر پاسخگوی بار ترافیکی موجود نبود. تعریض این تونل با قطع جریان ترافیک و به واسطه روشهای ابتدایی و بـا صـرف زمـان و هزینه زیادی انجام شد.

همچنین آقایـان ماشـیمو و ایـشیمورا [5] کلیـه اطلاعـات و سـوابق مرتبط با عملیات تعریض تونل را که در آنهـا جریـان ترافیکـی قطـع نمی شد، جمع آوری و پردازش کردند.

۴- روشهای بهبود مشخصات ایمنی در تونلها

میزان تصادفها[4] و حوادث مختلفی که در یک جاده و در محل تونل رخ می دهد، می تواند ناشی از شرایط هندسی نامناسب و ایمنی کم مسیر باشد. برای شناسایی این مسیرها، باید نرخ حوادث مسیر را با میزان متوسط آن با توجه به میزان ترافیک عبوری مقایسه نموده و با مسیرهای مشابه با ترافیک یکسان چک کرد. اگر آمار حوادث بیشتر از حد عادی باشد، ممکن است بتوان با روشهای زیر ایمنی مسیر را بهبود بخشید :

۱. اعمال محدودیتهای سرعت برای استفاده کنندگان، نظیر پایین آوردن سرعت مجاز ، نصب تابلو و علایم ترافیکی و ...

۲. ایجاد مسیرهای انحرافی و جداشونده از راه اصلی برای روان کردن ترافیک و کم کردن بار ترافیکی مسیرهای با ایمنی پایین

۳. تعریض مسیر و افزایش تعداد خطوط عبور برای افزایش ظرفیت عبور وسایل نقلیه و جلوگیری از برخورد وسایل نقلیه به ویژه در مسیرهای دو خطه که احتمال برخورد و تصادفهای خطرناک از روبرو وجود دارد.(در مسیرهای باریک خطر تصادف از پشت[5] و در مسیرهای دو خطه خطر تصادف از روبرو[6] وجود دارد)

۴. تصحیح مشخصات هندسی مسیر نظیر حذف قوسهای تند و بهبود وضعیت شیب و فراز

داده ها و آمارهای تصادفات در دوره های زمانی خاصی به دست می آیند و بر اساس میزان خسارات وارده، به صورت تصادفات مرگبار ، منجر به صدمات بدنی غیر از فوت و تصادفات منجر به صدمات مالی طبقه بندی می شوند. با به دست آوردن تعداد هر یک از این تصادفات می توان تخمین مناسبی از میزان ایمنی راه و تونل موجود در آن به دست آورده و به ضرورت انجام عملیات نوسازی پی برد.

۵- اهمیت موضوع در تونلهای ریلی

وسایل نقلیه راه آهن برخلاف راهها غالباً دارای فرم هندسی تیپ بوده و تنوع وسایل نقلیه جاده ای را ندارد. بنابراین معمولاً برای سالهای طولانی از یک نوع تیپ در یک محور استفاده می شود. اما لوکوموتیو و واگنهای راه آهن به دلایل مختلف نیاز به تعویض و تجدید پیدا می کنند. برای مثال به توسعه تکنولوژی قطارها بسیاری از راه آهنها روی به استفاده از قطارهای با سرعت بیشتر و وزن کمتر آورده اند. هرچند ابعاد این قطارها نیز خیلی با ابعاد قطارهای قدیمی فرق ندارد و به مراتب از آنها کوچکتر است، اما دستیابی به سرعت های بالا به ویژه در قوسها، نیازمند فراهم کردن گاباری کافی برای عبور قطارها است. فضاهای تنگ و باریک ممکن است خطراتی را برای عبور قطار از تونل ایجاد کند. گاباری آزاد تونل باید به نحوی باشد که :

۱. در قوسها فضای کافی در کنار قطار وجود داشته باشد.

۲. اگر مسافران دست یا سر خود را از شیشه بیرون ببرند، آسیبی به آنها نرسد.

۳. فشار پیستونی وارد بر وسیله نقلیه در حد مجاز باشد.

---

[1] Tonon, F
[2] texas Austin
[3] Stefan Knittel, Christian Schreiber

[4] accident rate
[5] rear-end collision
[6] head-on collision

Archive of SID

www.SID.ir

۴. امکان عبور همزمان قطار و پرسنل نگهداری خط از داخل تونل فراهم باشد.

۵. به واگنهای باری با وضعیت بارگیری خارج از گاباری آسیبی نرسد.

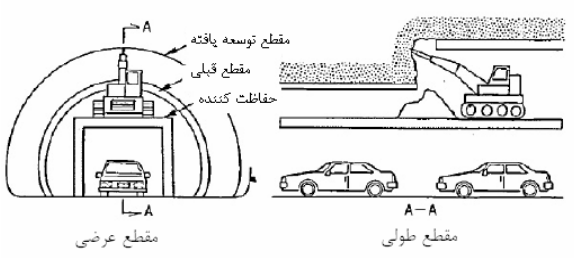
متاسفانه در برخی تونلهای راه آهن کشور فضای کافی در اطراف تونل به میزان گاباری استاندارد وجود ندارد و حتی پرسنل نگهداری خط و ابنیه فنی هم نمی توانند از آنها عبور نمایند.

۶- تعریض تونل همزمان با استمرار ترافیک

در متون فنی مهندسی فعلی، با عباراتی نظیر «نوسازی در حین بهره برداری[1] » زیاد روبرو می شویم. هدف اصلی محققان از کاربرد چنین واژه هایی بحث نوسازی در حین عملکرد می باشد که دغدغه بسیاری از دولتها و مسئولین حمل و نقل است. تعریض تونل نیز به عنوان یکی از گونه های نوسازی تونلها، حین عبور ترافیک مبحث مهمی است که در این مقاله به آن پرداخته می شود.

جدای از خطوط و مسیرهای بین شهری، نوسازی ارتباطات درون شهری که روزانه چندین میلیون نفر را جابجا می کنند، از این هم حادتر است. در حال حاضر در بسیاری از کشورها عمر خطوط مترو یا قطارهای شهری از صد سال گذشته است و این خطوط بدون شک نیازمند نوسازی هستند . مسدود شدن این خطوط به معنی سرازیر شدن خیل عظیم مسافرین به سوی سایر سیستمهای حمل و نقل و هرج و مرج بسیار زیاد در ترافیک خواهد بود. بنابراین بستن این خطوط به جز برای مدت محدود ممکن نیست و حتما باید راهکاری اندیشیده شود تا با کمترین آسیب به حرکت مداوم قطارها، تونلها مورد نوسازی یا تعریض قرار گیرند.

بستن مسیر جهت انجام این امور، علاوه بر ایجاد مشکل برای استفاده کنندگان از راه، موجب تحمیل ضررهای اقتصادی شده و هزینه های پنهان زیادی را نیز در بر خواهد داشت. بنابراین از میان روش های مطروحه برای تعریض تونلها، روشهایی که نیاز به بستن مسیر نباشد در اولویت قرار دارند. برای مثال، شکل (۱) حالتی از اجرای طرح تعریض تونل را، بدون بسته شدن تونل و همزمان با وجود جریان ترافیک در آن نشان می دهد. در این حالت مطابق شکل، یک سپری محافظ فولادی با مقطع مستطیلی، برای عبور ترافیک اختصاص می یابد. در این حالت تجهیزات استفاده شده برای عملیات تعریض، در بین سپری فولادی و تاج تونل، انجام وظیفه می کنند و دارای اندازه کوچکی می باشند.



شکل۱- نمونه ای از انجام عملیات تعریض بدون تداخل با تونلهای ترافیکی

۷- روشهای حفاظت از ترافیک عبوری حین عملیات

برای حفظ جریان ترافیک حین انجام عملیات تعریض تونل، از دو روش و یا ترکیب آنها می توان استفاده کرد. در این بخش این دو روش معرفی می شوند.

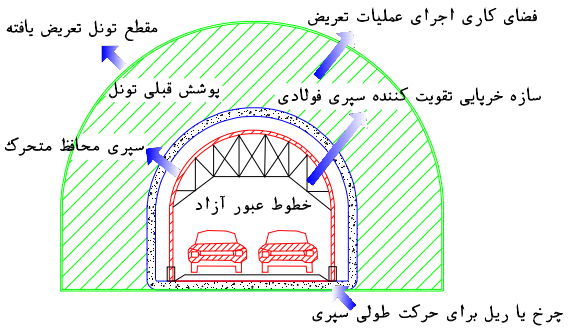
۷-۱- سپری محافظ متحرک

راه حل مطمئن این است که پوششی تحت عنوان سپری یا پوسته محافظ دور فضای عبور ترافیک را بپوشاند تا اگر احتمالا ریزشهایی از بدنه تونل رخ داد، بر روی سپری بریزد و فضای عبور وسایل نقلیه همیشه آزاد و مطمئن باشد. معیارهای مورد نیاز برای این سپریها به شرح زیر است :

- به منظور داشتن مقاومت کافی در برابر ریزشهای احتمالی بهتر است این سپری از جنس ورق فولادی باشد.
- برای راحتی کار و صرفه جویی در هزینه سپری استفاده شده بهتر است این سپری بر روی چرخهای مناسبی سوار شده و به صورت متحرک باشد تا کار به شکل مقطعی انجام شود و پس از اتمام هر بخش، سپری به جلو رانده شود و در نهایت از طرف دیگر تونل بیرون بیاید.
- برای حرکت بهتر سپری در جهت طول تونل می توان از ریلهای هادی موقت استفاده نمود. این ریلها نیز می توانند در پایان هر دور عملیات جابجا شده و به جلو انتقال داده شوند. شکل (۲)، مقطع عرضی تونل و ناحیه قرار گرفتن این سپری را در داخل آن نشان می دهد. همانطور که در شکل هم مشاهده می شود، سپری مورد نظر بر روی چرخهایی قرار دارد که به راحتی روی کف تونل یا ریلهای هادی حرکت می کنند.
- در پورتالهای ورودی و خروجی تونل برای جلوگیری از ریزشهای احتمالی از سنگهای اطراف تونل بهتر است سپری های ثابتی تعبیه شود و این سپری ها تا چندین متر بیرون تونل هم ادامه داشته باشند تا خطری پیش نیاید.

[1] Renovation under operation

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- ناحیه قرار گرفتن سپری متحرک در مقطع عرضی تونل

جدول ۱- جزئیات و ابعاد تقریبی سپری محافظ(تعریض تونل شیکیشیما[1])

پارامتر	مشخصات
طول سپری	بخش ابتدایی : ۱۰ متر بخش میانی : ۲۰ متر بخش انتهایی : ۲۰ متر
ابعاد سپری	عرض : ۷ متر و ارتفاع : ۴ متر
ضخامت پشت بندهای فولادی	۶۰ سانتیمتر
وزن تقریبی سپری با همه اجرا	۳۵۰ تن

- ابعاد سپری مورد استفاده باید مقداری کمتر از اندازه فضای داخلی خود تونل باشد تا بتواند به راحتی در طول تونل حرکت کند. از آنجایی که این سپری فقط نقش تأمین عبورگاه را برای وسایل نقلیه به عهده دارد، لزومی ندارد که مقطع آن از مقطع تونل تبعیت کند. بنابراین می تواند به صورت مستطیلی یا به شکل عدد πنیز باشد.
- گاهی اوقات استفاده از سپری در تونلهای با مقطع کوچک باعث می شود که لاینهای عبوری از تونل محدود شود و برخی از آنها مسدود شود. یعنی استفاده از سپری در برخی شرایط موجب می شود تعداد لاینهای آزاد کاهش یابد.
- برای افزایش مقاومت سپری می توان از برخی سازه های خرپایی سبک در فضای داخلی سپری استفاده کرد. این سازه ها به ورق فولادی چسبیده هستند و مقاومت بسیار بالایی برای آن فراهم می کنند.
- ضخامت ورق فولادی استفاده شده و یا اجزای تقویتی به کار رفته در سپری بر اساس میزان ریزشهای احتمالی بر روی آن طرح می گردد. مسلما هر چه مقدار تعریض تونل بیشتر باشد باید سپری مقاومتری استفاده شود تا تحمل وزن مصالح کنده شده از دیواره تونل را داشته باشد. جدول(۱) نشان دهنده جزئیات و ابعاد نمونه ای از این سپریها می باشد که برای تعریض تونل شیکیشیما به کار رفته است.

۷-۲- استفاده از پوشش موجود تونل

اگر تونل موجود دارای پوشش مناسب، مقاوم و سالمی باشد، همان پوشش می تواند نقش سپری را ایفا کند. یعنی این پوشش تا اتمام عملیات تعریض تونل همچنان پابرجا باقی بماند و عملیات حفاری در پشت آن انجام شود و در نهایت پس از اتمام عملیات تعریض، برداشته شود.

این روش باعث می شود که از پوشش قبلی تونل استفاده بهینه شده و عملیات به نحو مطلوبی انجام پذیرد. با استفاده از این روش در واقع هیچ تغییری در فضای داخلی تونل به وجود نمی آید و کلیه لاینهای ترافیکی عبوری از تونل کاملا باز خواهند بود. البته جهت افزایش ایمنی عبور بهتر است در این حالت از یک سپری فولادی سبک هم در زیر پوشش تونل موجود استفاده شود. این پوشش سبب می شود تا اگر احتمالا خرابی در پوشش موجود به وجود آمد مشکلی برای ترافیک عبوری از تونل پیش نیاید. بهترین راه این است که برای محافظت از ترافیک عبوری از تونل حین انجام عملیات تعریض، از ترکیب پوشش موجود و یک سپری نازک استفاده شود. کلیه عملیات حفاری در بیرون پوشش موجود انجام می شود و با پایان یافتن عملیات تعریض، پوشش موجود تونل هم برداشته می شود.

۸- بررسی روشهای تعریض تونلها حین ترافیک

تعریض تونلها با روشها و ابزارهای مختلفی صورت می پذیرد. اگر مشکل بهره برداری از تونل حین نوسازی وجود نداشته باشد، دست طراحان و مجریان کار بازتر است و می توانند از روشهای رایج تونلسازی ماشینی نظیر ماشینهای جامبوی معمولی، Road Header و ... نیز استفاده کنند. یعنی همان تکنیکهای ساخت اولیه تونل می تواند برای تعریض آن هم به کار رود. تفاوتهایی نیز در نحوه عملیات و مهاربندیهای لازم برای بدنه تونل وجود دارد که در همین مقاله به این موضوعات پرداخته خواهد شد. اما تعریض تونل همزمان با عبور ترافیک دارای پیچیدگیها و نکات فنی مهمی است که موضوع اصلی مقاله حاضر می باشد.

همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، روشهای تعریض تونل در خاک شباهت زیادی با سنگ دارد، لیکن در این مقاله تونلهای حفر شده در سنگ مد نظر هستند. مهمترین تفاوتهای بین مبحث تعریض تونلهای سنگی و خاکی شامل موارد زیر است :

۱- انجام حفاری در سنگ و به خصوص سنگهای سخت، از نظر ابزار حفاری، بسیار مشکلتر از حفاری در خاک است و گاهی اوقات نیاز به حفاری انفجاری خواهد بود.

۲- پس از انجام حفاری در سنگ، نگهداری تونل ساده تر است. زیرا بدنه تونل پایداری نسبی داشته و می توان تا مدتی آن را بدون پوشش رها کرد. اما بلافاصله پس از حفاری در خاک، باید بدنه تونل را با سیستمهای نگهداری اولیه و ثانویه مقاومسازی کرد تا ریزشی صورت نگیرد.

در ادامه مقاله منظور از تونل، همان تونلهای سنگی است. جدول (۲) پیوست مقاله، روشهای اجرایی مختلفی را که برای انجام عملیات تعریض تونلهای حفر شده در سنگ می تواند مورد استفاده قرار گیرد،

[1] در ادامه مقاله معرفی خواهد شد.

Archive of SID
www.SID.ir

نشان می دهد. همه این روشها مبتنی بر حفظ جریان ترافیک حین عملیات هستند. شکل (۳) پیوست مقاله، دامنه کاربرد انواع روشهای اشاره شده را نمایش می دهد. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود، هرچه سختی زمین (محور قائم) بیشتر باشد نیاز به ابزارهای قویتری برای تعریض و حفاری می باشد. به طوریکه در سنگهای خیلی سخت استفاده از حفاری انفجاری اجتناب ناپذیر است. همچنین هر چه طول تونل(محور افقی) یا به عبارتی میزان پیشروی عملیات تعریض از نقطه ابتدایی بیشتر باشد، نیاز به حفارهای مکانیکی خاصی است که دارای تسمه نقاله بلند بوده و حمل زباله ها به راحتی انجام شود. در ادامه، روشهای نامبرده در این جدول به طور خلاصه تشریح می شوند:

۸-۱- روش ایستگاه حفاری زیرزمینی

در روش ایستگاه حفاری زیرزمینی[1](TWS) برای تعریض تونل، یک مجموعه منظم شبیه به یک ایستگاه عملیاتی زیرزمینی، متشکل از بخشها و سیستمهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. این روش در حقیقت از ترکیب چندین سیستم حفاری دروازه ای و یک سپری متحرک برای تعریض تونل استفاده می کند. ایمنی و سرعت بالای اجرای عملیات از مشخصات این روش بوده و این روش برای تعریض تونل هایی متوسط تا طویل مورد استفاده قرار می گیرد. نکات مهم مرتبط با این روش عبارتند از:

- زمین حفاری ممکن است از سنگهای نرم تا متوسط تشکیل شده باشد. برای حفاری در سنگهای متوسط و تقریبا سخت ، مته هایی را به حفار دروازه ای متصل می کنند تا برای شکستن سنگها مورد استفاده قرار گیرد.
- این روش برای حفاری تونلهای متوسط تا طویل به کار می رود.
- برای محافظت از ترافیک عبوری از سپری فولادی متحرک استفاده می شود. بنابراین احتمال دارد یک لاین ترافیکی تونل کم شود. در این شرایط در روش TWS از یک لاین ترافیکی محافظت می شود و خودروها در یک لاین می توانند حرکت کنند.
- حفاری و تعریض تونل با سیستم حفار دروازه ای انجام می شود. منظور از سیستم حفار دروازه ای این است که حفاری در جبهه کار با استفاده از یک سازه دروازه ای متحرک انجام می شود. این سازه در مقطع تونل و بر روی سپر فولادی قرار می گیرد و یک بوم حفاری بر روی آن سوار می شود. این بوم به شکل افقی حرکت می کند و حین حرکت خود در جبهه کار حفاری انجام می دهد.
- پس از کنده شدن خاک و سنگها از جبهه کار، این مواد به صورت خودکار بر روی تسمه نقاله ریخته می شوند و به این طریق از جبهه کار دور شده و به فاصله دور منتقل می شود. تسمه نقاله ها به صورت افقی در دو وجه جانبی تونل قرار دارند و خاکها از بالا روی آنها ریخته می شود. بعد از این مرحله لودر مواد کنده شده راجمع آوری کرده و به بیرون از تونل منتقل می کند.
- تسمه نقاله مورد استفاده در این سیستم خودکار دارای شیب مناشبی به بیرون است تا مواد روی آن به راحتی حرکت کند و از جبهه کار دور شود.
- تعریض تونل از هر دو جهت (چپ و راست) انجام می شود و هر دو سمت دست می خورد.
- پس از اتمام هر دور از عملیات حفاری و پیشروی معین، پوششهای جدید که شامل قطعات بتنی بند بند می باشد به روی بدنه تونل نصب می شوند. عملیات حفاری و نصب پوشش تونل نبایستی با یکدیگر تداخل یابند.
- به منظور انجام عملیات حفاری ، تخلیه نخاله ها و نصب سیستم های محافظ (پوشش جدید تونل) از ماشینی چند منظوره استفاده می گردد که به حفار دروازه ای متصل است. این ماشین به صورت عرضی در مقطع تونل حرکت می کند و کل مقطع تونل را پوشش می دهد.
- چرخش، حرکت و آماده سازی تجهیزات همه به صورت اتوماتیک صورت می گیرد. بنابراین اتلاف زمان حین عملیات بسیار اندک خواهد بود.
- فن‌های تعبیه شده گرد و خاک حاصل از کارکرد ماشین آلات و کنده کاری را خارج می سازند تا افراد بتوانند در فضای اندک موجود فعالیت کنند. تسمه نقاله ها نیز مواد حاصل از حفاری را تخلیه می کنند بنابراین آلودگی ها، مواد کنده شده و گازهای مضر حذف شده و در نتیجه محیط تونل تمیز باقی می ماند.

در شکل (۴) پیوست مقاله، نمایی از روش ایستگاه حفاری زیرزمینی(TWS) برای تعریض تونل ، به نمایش در آمده است.

۸-۲- روش کلاه ناپلئونی[2]

این روش با استفاده از حفاری انفجاری و مته زدن و بکمک یک عرشه متحرک (سازه ای به شکل کلاه ناپلئون) صورت می پذیرد، همانگونه که در شکل (۶) نیز مشاهده می شود، این سازه خاص فضای کاری بزرگی را برای عملیات تعریض تونل فراهم می کند. نکات مهم مرتبط با این روش عبارتند از:

این روش قابلیت اجرا در زمینهای گوناگونی (همچون سنگهای سخت) را دارد، چرا که از حفاری انفجاری نیز در این روش می تواند استفاده شود. در صورتی که سطح مقطع اولیه تونل به قدر کافی بزرگ باشد، این روش ۲ باند از مسیر را باز می گذارد.

با استفاده از ماشین ویژه ای که بر روی عرشه عریض کاری سوار می شود، مراحل حفاری تا نصب نگهدارنده ها انجام می شوند. در نتیجه برای تونلهایی با طول بیش از ۱۰۰۰ متر ، بعلت وجود این ماشین،

[1] Hybrid Tunnel Work Station

[2] Napoleon Hat

Archive of SID

www.SID.ir

زمان اجرا و متعاقبا هزینه آن کاهش می یابد. شکل () نمایی از روش تعریض تونل به روش کلاه ناپلئونی را نمایش می دهد.
شکل (۵) پیوست مقاله، نشان دهنده نمایی از روش تعریض تونل به روش کلاه ناپلئونی می باشد.

۸-۳- تونلی با مقطع هلالی شکل[1]

در این روش تعریض تونل تنها از یک سمت آن و در پشت سپری محافظ فولادی انجام می شود و طرف دیگر تونل دست نمی خورد. برای راحتی انجام کار و عملیات تعریض تونل لازم است تا حفاری نسبتا زیادی در آن سمت انجام شود که کلیه فرآیندها (از مرحله حفاری تا نصب نگهدارنده ها) به کمک حفار بزرگ چند منظوره و در این فضا صورت می گیرد، نکات فنی و اجرایی این روش به شرح زیر است :
حفار چند منظوره می تواند پوشش قدیمی را حذف کرده، شاتکریت را اجرا کند، راک بولتها را نصب کند، نگهدارنده ها را جایگذاری کند، و مواد کنده شده را خارج سازد. این حفار چند منظوره می تواند به میزان قابل توجهی زمان اجرای عملیات را کاهش دهد.
در این روش نیازی به حذف کل پوشش قبلی نبوده و بنابراین به سازه نگهدارنده اقتصادی تری جهت نگهداری حین اجرا لازم می باشد. زیرا در این روش پوشش قدیمی تونل نقش نگهدارنده را برای تونل تعریض یافته ایفا می کند. از آنجا که سختی و مقاومت سپری نسبت به عنواع دیگر کمتر است، هزینه مربوط به ساخت آن نسبت به روشهای پیشین کمتر می باشد. طول این سپری ها نیز می تواند بیشتر انتخاب شود. (تا حدود ۱۳۰ متر). چون سبکتر بوده و راحت حمل می شوند. در شکل (۶) پیوست مقاله، نمایی از روش هلالی برای تعریض تونل، به نمایش در آمده است.

۸-۴- روش برش کمانی[2]

مطابق شکل (۷) پیوست مقاله، ، این روش نیاز به حفر دو تونل دسترسی جدید دارد. در این روش عملیات تعریض با حفر تونلهای دسترسی[3] که در هر دو طرف تونل اجرا می شوند، صورت گرفته و از پوشش قبلی به عنوان سپری استفاده می شود. با استفاده از این سپری (پوشش قبلی تونل)، عملیات تعریض به واسطه ماشینی کمانی شکل صورت می گیرد که وظایف مختلفی چون حفاری و نصب سیستم نگهداری (شاتکریت، راک بولت و سگمنتهای بتنی) را انجام می دهد. سایر نکات مربوط به این روش به شرح زیر است :
این روش اکثرا در زمینهای نرم استفاده می شود.
ماشین کمانی شکل سبب می شود تا نیازی به چرخش تجهیزات در حین عملیات نباشد و کلیه مراحل حفاری، اجرای شاتکریت، نصب راک بولت و نصب نگهدارنده ها به صورت خودکار انجام گردد. همچنین فضای کاری وسیعی برای فعالیت وجود دارد.
در حین عملیات تعریض دو باند مسیر باز هستند، چرا که از پوشش قبلی به عنوان سپر محافظ ترافیک استفاده می شود.
این روش، روش مناسبی می باشد، چرا که مواد کنده شده سطح کار، از طریق تونلهای دسترسی حفر شده و در جهت حفاری از تونل خارج می شوند.
در هنگام حذف پوشش قبلی، یک سپر متحرک ساده برای حفظ ایمنی ترافیک نصب می شود.

۸-۵- روش تعریض دو وجهی با دو دیوار جانبی[4]

همانگونه که در شکل (۸) پیوست مقاله، نیز مشاهده می شود، در این روش هم نیاز به حفر دو تونل دسترسی جدید می باشد. تونلهای دسترسی در کناره های تونل اصلی حفر می شوند. پوشش قدیمی به عنوان سپر محافظ عمل کرده و عرشه ای برای نگهداری تجهیزات محسوب می شود. نکات مربوط به این روش به شرح زیر است :
حفر تونلهای دسترسی و نیز عملیات تعریض تونل، با حفار یکسانی انجام می شوند. این روش در زمینهای نرم تا متوسط کاربرد دارد.
در حین عملیات تعریض دو باند مسیر باز هستند، چرا که از پوشش قبلی به عنوان سپر محافظ ترافیک استفاده می شود.
این روش، روش مناسبی می باشد، چرا که مصالح ناشی از حفاری بوسیله تونلهای دسترسی حفر شده در کناره های تونل اصلی و در همان جهت عملیات حفاری، از تونل خارج می شوند.
در هنگام حذف پوشش قبلی، یک سپر متحرک ساده برای حفظ ایمنی ترافیک نصب می شود.

۸-۶- روش تعریض بدون سپر بکمک پوشش موجود[5]

همانگونه که در شکل (۹) پیوست مقاله، مشاهده می شود، این روش فضای کاری ایمنی را فراهم می کند. در این روش یک تونل دسترسی تنها در یک سمت تونل اصلی حفر شده و سپس پوشش قدیمی در طی عملیات اجرایی به صورت یک سپر محافظ در همان طرف عمل می کند. در این روش تعریض تونل تنها از یک سمت آن انجام می شود. نکات مربوط به این روش به شرح زیر است :
این روش با استفاده از ماشین های چند منظوره در زمینهای نیمه سخت نیز اجرا می شود.
در حین عملیات تعریض دو باند مسیر باز هستند، چرا که از پوشش قبلی به عنوان سپر محافظ ترافیک استفاده می شود.
ایمنی جریان ترافیکی در تونل با اجرای دیواره ای که بین تونل قدیمی و تونل جدید قرار دارد، افزایش می یابد.

۸-۷- روش پی(π)[6]

این روش بر روی عرشه متحرکی به شکل عدد پی صورت می گیرد که وظیفه حفاظت از وسایل نقلیه را بر عهده دارد. تعریض تونل

[1] Crescent type tunnel cross-section
[2] Arch-cut method
[3] Drifts
[4] Two-sided enlargement method with two sidewall
[5] Non-shield enlargement method using the existing lining
[6] π Method

Archive of SID
www.SID.ir

بکمک ماشین چند منظوره ای که بر روی عرشه کاری سوار می شود صورت می پذیرد. شکل (۱۰) پیوست مقاله، این روش را به صورت شماتیک نمایش می دهد. نکات مربوط به این روش به شرح زیر است:

این روش در زمینهای نرم کاربرد داشته و استفاده آن بستگی به شرایط درز و شکستگی ها دارد.

با پیش بینی تمهیدات لازم بر روی عرشه کاری می توان ماشین آلات را سوار یا تفکیک کرده و در نتیجه زمانی برای چرخش تجهیزات تلف نمی شود.

در این روش عابران پیاده احساس خطر نمی کنند، چرا که سپر محافظ تنها فضای لازم برای نصب عرشه متحرک را فراهم می آورد.

از آنجا که مراحل اجرایی و سازه عرشه ساده هستند، می توان به راحتی نحوه اجرا را بر شرایط اجرایی منطبق ساخت.

۶-۸- روش مسطح[1]

همانگونه که در شکل (۱۰) پیوست مقاله، نیز نشان داده شده است، در این روش از یک سپر ساده استفاده می شود تا وسایل نقلیه از تجهیزات جدا شوند. این جداسازی ممکن است بکمک یک عرشه متحرک (یک قاب مسطح که می تواند به عنوان یک سکوی کاری برای حفار استفاده شود)، صورت پذیرد. نکات مربوط به این روش به شرح زیر است :

استفاده از این روش به میزان خردشدگی و میزان درز و شکستگی های سنگ بستگی دارد، اما معمولا در زمینهای نرم استفاده می شود.

در صورتی که طول تونل زیاد باشد، دو باند مسیر دارای جریان ترافیکی هستند، چرا که باندهای مسیر و فضای کاری می توانند با قرار دادن ماشین آلات روی سکوی مسطح (عرشه کاری) جدا شوند.

عرشه متحرک و سپر محافظ می توانند جدا شوند و اتصالی با هم نداشته باشند. یعنی وزن عرشه به دیواره های کنار آن وارد می شود، نه سپری فولادی. بنابراین سیستم سازه سپری دارای پیچیدگی نمی باشد.

با توجه به اینکه فرآیندهای اجرایی به طور جداگانه انجام می شوند، این روش، روش مناسبی برای عملیات تعریض می باشد.

با نصب پشت بندهای افقی در سپر محافظ، ایمنی دیواره ها و پوشش افزایش می یابند.

۹- اولویت بندی روشهای تعریض برای تونلهای کشور

همانطور که در بخشهای قبل ملاحظه شد، انتخاب و اولویت بندی روشهای تعریض تونلها به شدت تابع شرایط کار و امکانات و محدودیتهای موجود می باشد. این انتخاب به تجربه و مهارت تیم مسئول تعریض تونل ، محیط کار و خیلی عوامل دیگر هم بستگی دارد. جدول (۲) و شکل شماره (۳) پیوست مقاله روشهای تعریض همزمان با استمرار جریان ترافیک را به همراه دامنه کاربرشان ارائه می دهد. شکلها و تصاویر پیوست در این رابطه بسیار سودمند میباشند.

۱۰- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی اهمیت و روشهای تعریض تونلهای ترابری پرداخته شد و با توجه به اهمیت مسئله حفظ جریان ترافیک و افزایش ایمنی عبور از داخل تونلها و به ویژه تونلهای ریلی، حین بازسازی تونل، روشهایی معرفی شد که این خواسته را تآمین کنند. در این مقاله انواع روشهای تعریض تونلها و ساز و کار هر یک معرفی شد و تجهیرات مور نیاز برای تعریض مشخص گردید با رعایت اصول اشاره شده در این مقاله، تعریض تونلهای حفر شده در سنگ با ایمنی بسیار بالا قابل انحام است. در ادامه هر یک از روشها بر اساس عوامل و معیارهای مختلف بررسی گردید و دامنه کاربردشان مشخص شد. روشهای تعریض تونلها می توانند به راحتی در کشور ما قابل اجرا باشند. بدین ترتیب می توان به راحتی به تعریض انواع تونلهای ترابری در کشور پرداخت.

۱۱- مراجع

[۱] مرتضی قارونی نیک، میثم نعیمی، «تعریض تونلهای ترابری همزمان با استمرار جریان ترافیک» دانشگاه علم و صنعت ایران، سمینار کارشناسی ارشد رشته مهندسی خطوط راه آهن.

[۲] Tonon, F., «A review of methods for enlarging transportation tunnels while maintaining current traffic capacity during construction» , University of texas Austin, Usa, May 2007.

[۳] Tanon, F., "Widening of Railway and Road tunnels without interrupting traffics". August 2005

[۴] Stefan Knittel, Christian Schreiber, «Renovation of Railway Tunnels under Operation» , Rhomberg Bahntechnik Group, Bregenz/Austria, May 2007.

[۵] Mashimo, H. and ,Ishimora,T. «Technical Development of Section Enlargement for Existing Tunnels » , Tunnels and Underground, 2003.34(9): p. 729-736.

[۶] Lunardi, P., Focaracci, A., Merio, S., "Mechanical pre-cutting for the construction of the 21.5 m span arch of the Baldo station ", Gallerie e grandi opera sotteranee, No.53,1997.

[۷] Kyle R. Ott, Leon J. Jacobs, « Design And Construction Of The Weehawken Tunnel And Bergenline Avenue Station», Rapid Excavation and Tunneling Conference 2003, Society of Mining, Metallurgy and Exploration, chapter 80,page936-946

[۸] Frontier-Kemper Constructors, Volume 12, Issue 1, «Weehawken Tunnel- Bergenline Avenue Station Project», First Quarter 2003.

[۹] Harvey Parker, Paul Godlewski & Roberto Guardia, University of Illinois «The art of tunnel rehabilitation with shotcrete» , International Tunnelling Association, Autumn 2oo2.

[1] Flat Method

Archive of SID

www.SID.ir

[۱۰] James Galvin, Senior Construction Manager, New Jersey Transit, «The Rehabilitation of the New Jersey Transit -Bergen Tunnel North» , Direct Fixation Systems, The Journal of Pandrol Rail Fastenings, June 2003/4.

[۱۱] David Weber, Khalid T. Mohamed, P.E., and Great Matthew DeMarco, «Tunneling in the Park» Smoky Mountains National Park Tunnels, Zion National Park Tunnels, Published in Geo-Strata Magazine, American Society of Civil Engineers, July/August 2005

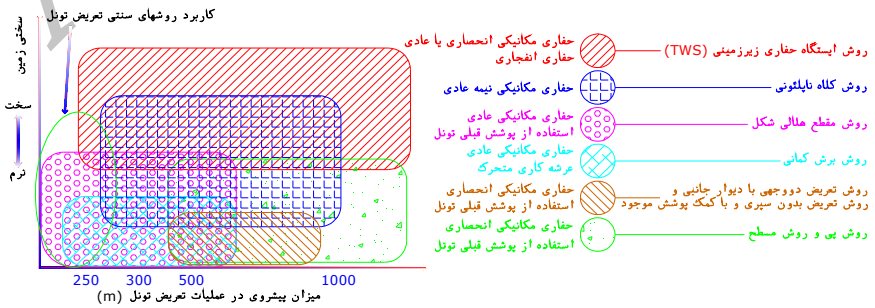
[۱۲] Toru Terayama, Yasumiki Yamamoto, Manabu Taya, «Development of non-cut-and-cover widening of urban-road shield tunnels for on- and off-ramps» , Tunnelling and Underground Space Technology 21 (2006) 458, Tokyo Metropolitan Expressway Company Limited, 160-0023, Japan, 2006.

۱۲- پیوست مقاله

جدول ۲- روشهای تعریض همزمان با استمرار جریان ترافیک[۱۳]

نام روش	طبقه بندی	تعداد لاینهای ترافیکی تحت کنترل	نوع سپری محافظ	جهت تعریض	دامنه کاربرد	
					برحسب نوع زمین[1]	برحسب طول تونل[2]
۱- روش **TWS**	با استفاده از حفار مکانیکی خودکار دروازه ای	از یک لاین محافظت می شود	سپری متحرک	در هر دو جهت	زمینهای نرم تا زمینهای متوسط	متوسط تا طویل
۲- روش **Napoleon Hat**	با استفاده از حفار مکانیکی خودکار دروازه ای یا حفاری انفجاری	از دو لاین محافظت می شود	سپری متحرک	در هر دو جهت	زمینهای متوسط تا زمینهای سخت	کوتاه تا طویل
۳- روش تعریض **Crescent**	با استفاده از حفار مکانیکی نیمه خودکار	از یک لاین محافظت می شود	سپری متحرک	در یک جهت	زمینهای نرم تا زمینهای متوسط	کوتاه تا طویل
۴- روش **Arch**	با استفاده از حفار مکانیکی خودکار و پوششهای آماده شده	از دو لاین محافظت می شود	پوشش قبلی تونل	در هر دو جهت	در زمینهای نرم	متوسط تا طویل
۵- روش **Double side**	با استفاده از حفار مکانیکی خودکار و پوششهای آماده شده	از دو لاین محافظت می شود	پوشش قبلی تونل	در هر دو جهت	زمینهای نرم تا زمینهای متوسط	کوتاه تا متوسط
۶- روش بدون سپر		از دو لاین محافظت می شود	پوشش قبلی تونل	در یک جهت	زمینهای نرم تا زمینهای متوسط	کوتاه تا متوسط
۷- روش پی	با استفاده از حفار مکانیکی با عرشه متحرک	از یک لاین محافظت می شود	سپری متحرک	در هر دو جهت	زمینهای نرم	کوتاه تا متوسط
۸- روش **Flat**		از دو لاین محافظت می شود	ترکیب پوشش قبلی تونل و سازه محافظ	در هر دو جهت	زمینهای نرم	کوتاه تا متوسط

شکلهای مربوط به روشهای مختلف تعریض تونلها

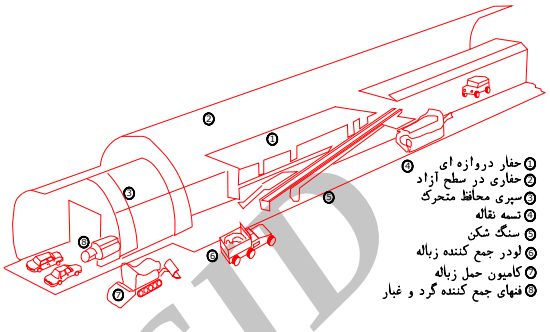


شکل ۳- دامنه کاربرد انواع روشهای تعریض تونل

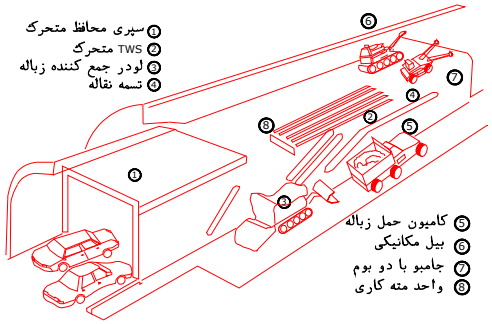
[1] در این مقاله منظور از زمینهای نرم(soft ground)، زمینهای خاکی است. منظور از زمینهای متوسط خاکهای فشرده و سنگهای کم مقاومت است. منظور از زمینهای سخت(hard rock) سنگهای محکم و مقاوم و کم درزه است.

[2] در این مقاله منظور از تونل کوتاه طول کمتر از ۵۰۰ متر، تونل متوسط، طول بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و تونل طویل، طول بیش از ۱۰۰۰ متر می باشد.

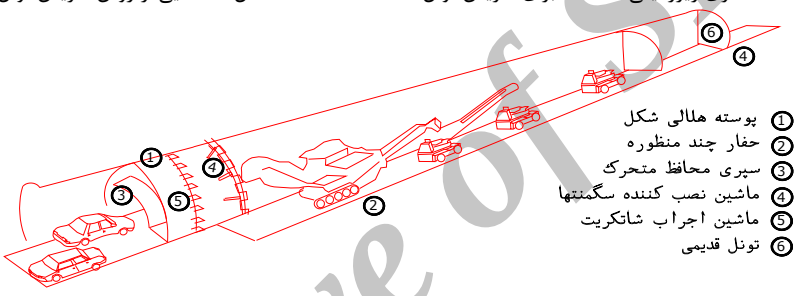
Archive of SID
www.SID.ir



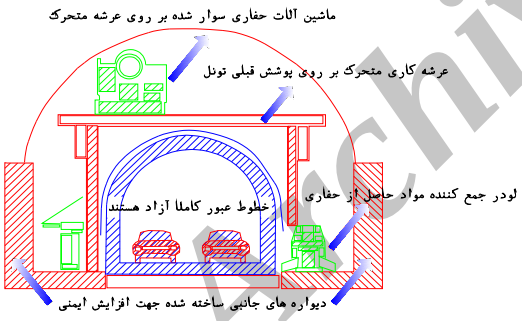
شکل ۴- نمایی از روش ایستگاه حفاری زیرزمینی(TWS) برای تعریض تونل



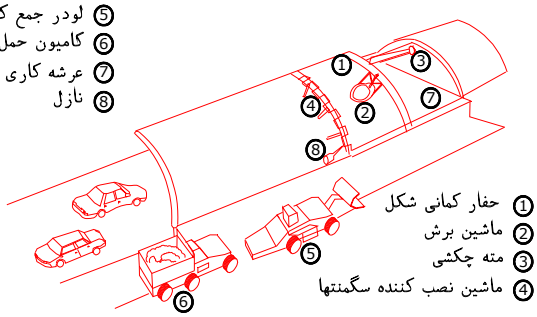
شکل ۵- نمایی از روش تعریض تونل به روش کلاه ناپلئونی



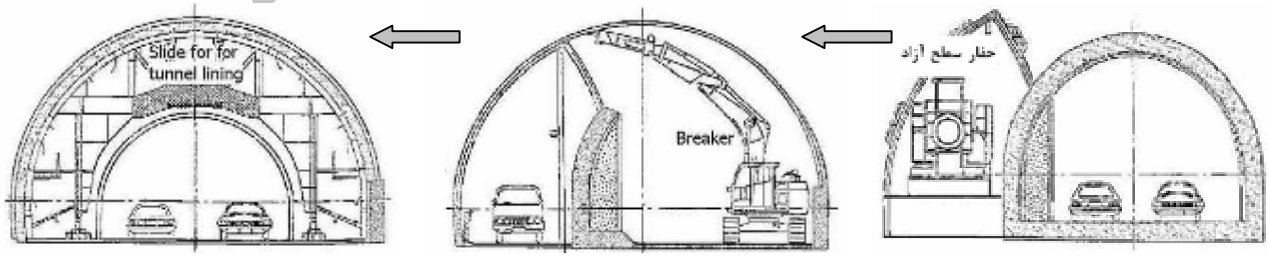
شکل ۶- نمایی از روش هلالی برای تعریض تونل



شکل ۸- تعریض تونل به روش دو وجهی با دیواره جانبی



شکل ۷- نمایی از تعریض تونل به روش برش کمانی



۳- نصب سپری محافظ ترافیک جهت اجرای عایقکاری و پوششهای جدید

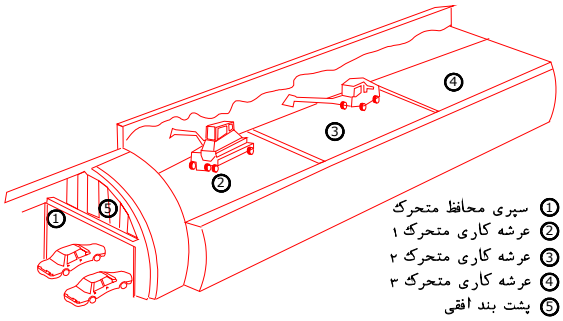
۲- حذف پوشش قدیمی تونل با انجام عملیات در داخل تونل، نیمه حفر شده جدید به ترافیک اختصاص می یابد.

۱- حفاری تونل دسترسی در یک طرف ادامه دادن آن به سمت بالای تونل

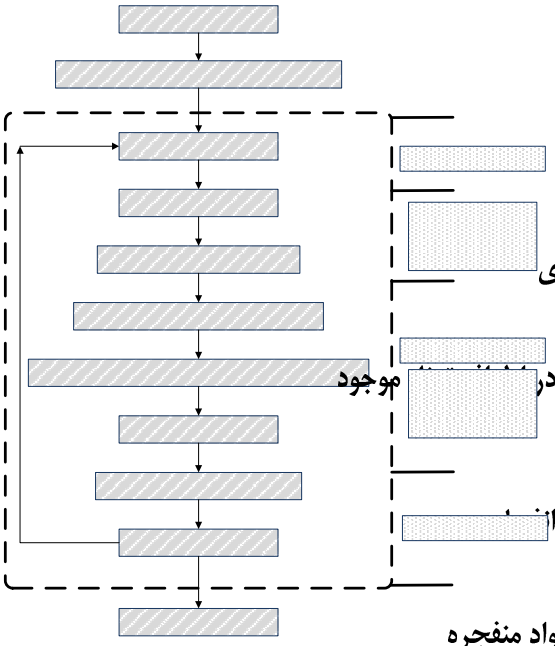
شکل ۹- نمایی از روش تعریض بدون سپر از یک وجه

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۰- روش مسطح و روش پی



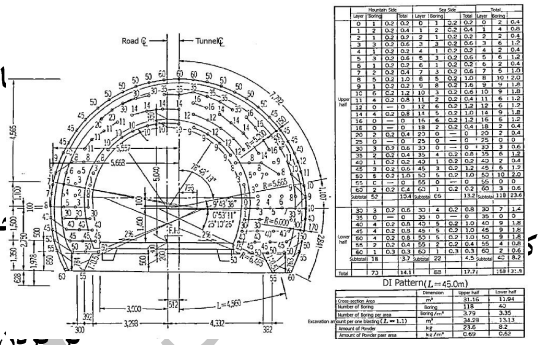
آماده سازی

ای محافظ در موجود

باد چالهای ا

انجام ک

پر کردن چالها با مواد منفجره



شکل ۱۳- الگوی چالزنی و انفجار تونل شیکیشیما

شکل ۱۴- فلوچارت عملیات تعریض تونل

ترافیک به مدت ۲۰ دقیقه قطع می گردد

انفجار چالها و تخلیه دود و تهویه

مهاربندی و نصب سیستمهای نگهدارنده

انجام کارها در طول شب

انتقال سنگهای کنده شده به بیرون و صاف کردن سطح کار

ترافیک در طول شب کاملاً قطع می گردد

بتن پاشی- شاتکریت

حرکت دادن سپریهای محافظ به جلو

انجام کارها در طول روز

نصب پیچ سنگها

باز کردن سپریهای محافظ

Archive of SID

www.SID.ir