

تونل

نشریه انجمن تونل ایران

Tunnel

شماره ۱۰ ، بهار ۸۹ | Iranian Tunnelling Association Magazine



www.irta.ir

www.irta.ir www.irta.ir www.irta.ir

بسمه عالی



۲	..... سرمقاله
۳	..... اخبار
۸	..... مروری بر روش‌های مدل‌سازی عددی و طراحی نگهداری محل تقاطع تونل‌ها
۱۸	..... سیستم‌های نگهداری اولیه تونل‌های شهری: دائمی یا موقت؟
۲۶	..... تکنولوژی‌های ابتکاری برای ساخت تونل‌های جاده‌ای - استفاده از سپر دوغانی در شرایط زمین شناسی پیچیده
۳۶	..... ارزیابی پایداری تونل با بهره‌گیری از ترکیب روش‌های ژئوفیزیکی
۴۳	..... چکیده پایان نامه
۴۴	..... چکیده مقالات منتخب نشریات
۴۶	..... معرفی کتاب
۴۷	..... رویدادهای تونلی

شرح روی جلد: گالری آزمایش ساختمان سد بهشت آباد



انجمن تونل ایران

دکتر مرتضی قارونی‌نیک

دکتر سیامک‌هاشمی

هیئت مدیره انجمن تونل ایران

مهندس مرتضی همزه ابیازنی

دکتر محمد جواد جعفری، دکتر حسین سالاری‌راد، دکتر مصطفی شریف‌زاده،

دکتر محمد حسین صدقیانی، دکتر اورنگ فرزانه، دکتر احمد فهیمی‌فر،

دکتر مرتضی قارونی‌نیک، دکتر حسین کنعانی‌مقدم،

مهندس ابوالقاسم مظفری شمس، دکتر سیامک‌هاشمی، دکتر علی یساقی

مهندس امیر عبدالله ایران‌زاده، مهندس محمد خسرو‌تاش

همکاران این شماره

نشرف

مصطفومه قره داغی

الله لطفی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دیر

زیر نظر

مدیر داخلی

هیئت تحریریه

امور اجرایی

تبليغات

صفحه آرایی و طراحی جلد

ضمん استقبال و تشکر از علاقمندان محترمی که مایل به ارسال مقاله برای این نشریه می‌باشند، خواهشمند است به نکات زیر توجه شود:

- مسؤولیت صحت علمی و محتوای مطالب بر عهده نویسنده‌گان یا مترجمان است.
- موضوع مقاله در ارتباط با اهداف نشریه باشد.
- مطالب و مقاله‌های دریافتی بازگردانده نمی‌شود.
- نظرات نویسنده‌گان به منزله دیدگاه و نظریه‌های نشریه نیست.
- نشریه در تحلیص، تکمیل، اصلاح یا ویرایش مطالب آزاد است.
- مقاله تأثیفی یا تحقیقی مستند به منابع علمی معتبر باشد.
- نقل مطالب نشریه با ذکر مأخذ بلامانع است.
- ارسال اصل مطالب ترجمه شده الزامی است.

• نشانی: خیابان کارگر شمالی - بالاتر از بیمارستان قلب - بعد از خیابان دوم - ۴۶۷ - طبقه ۵ - واحد ۴۱۴ - انجمن تونل ایران

تلفن: ۰۶-۸۸۶۳۰۴۹۵ - نمبر: ۸۸۰۰۸۷۵۴

Website:www.irta.ir

Email:info@irta.ir



تغییر، لازمه رشد و پیشرفت

تغییر فصل یکی از ملموس‌ترین نشانه‌های قدرت خداوند بر روی زمین است. بهار، دمیدن روح حیات در کالبد طبیعت و داستان نو شدن‌ها و تازه شدن‌های مکرر طبیعت است، تکراری که هرگز رنگ کهنه‌گی به خود نمی‌گیرد. ویژگی نوروز در این است که طبیعت، انسان و احساس را بایکدیگر پیوند می‌دهد. بنابراین، اگر آغاز سال نو سرآغاز تغییر و تحول در طبیعت به زیباترین صورت ممکن باشد، انسان نیز می‌تواند در سر فصل زندگی و حیات خوبیش تازه شود و روزنه‌ی جدیدی را بگشاید تا به بهترین شکل ممکن کمال یابد.

جهان همواره در حال تغییر و تحول است و ادامه حیات ذرات هستی در گروه‌های تغییرات می‌باشد. تغییر در همه پدیده‌های جهان جریان دارد و به طیف خاصی محدود نیست. تغییر بیش از پیدایش بشر وجود داشته و همیشه نیز وجود خواهد داشت. چه در غیر این صورت، در هر موقعیت و لحظه از زمان، انتقال به زمان و شرایط بعدی ممکن نخواهد بود. بشر همیشه در صدد ایجاد تغییرات ثابت، مهار تغییرات منفی و مبارزه با آثار آن بوده است، و سعی نموده که تغییرات را مدیریت نماید تا از آثار زیانبار آن در امان بماند.

یکی از بارزترین خصوصیات عصر حاضر، تغییرات و تحولات شکرف و مداومی می‌باشد که در بسیاری از پدیده‌های زندگی به چشم می‌خورد. تغییر و دگرگونی که امروزه در زندگی ما پدید می‌آید، بیش از مجموعه تغییراتی است که گذشتگان ما در طی چند دهه تحریه می‌کردند. علوم مختلف در چند دهه اخیر بیش از هر دوران دیگر در طول تاریخ بشر پیشرفت کرده است. تکنولوژی به طور مداوم و با شتابی بی‌مانند در حال تحول و پیشرفت است. سرعت تغییرات و دگرگونی به حدی است، که هیچ یک از افراد بشر، حتی در طول قرن گذشته، پیش‌بینی چنین تغییراتی را نمی‌کرد.

از جمله مهم‌ترین موانع پیشرفت و عدم موفقیت در این نکته نهفته است که انسان‌ها بالگوهای ذهنی قدیمی با مشکلات امروز خود روپرور می‌شوند. موفق بودن روش‌های قدیمی در زمان خود باعث می‌شود تا فکر کنیم در زمان حال نیز قابل استفاده‌اند. ولی چنین نیست و آچهه دیروز مؤثر بوده شاید امروز کارایی نداشته باشد. تغییر در جهت صحیح برای بقا و پیشرفت ضروری است. توانایی یادگیری و کشف تغییرات مناسب و پیاده‌سازی آن قابلیت مهمی است که برای سرآمدی در دنیای متحول امروزی بسیار کلیدی است. در واقع قابلیت یادگیری و ایجاد تغییر مناسب، کلیدی‌ترین قابلیتی است که یک مجموعه می‌تواند در دنیای رقابتی امروز داشته باشد.

در عصر حاضر، روند تغییرات و تنوع ابزار مورد استفاده در جریان فعالیت‌های فنی و مهندسی هر روز بیشتر می‌شود، و صنعت تولن نیز از این امر مستثنی نیست. استفاده از تجربیات بین‌المللی و به کارگیری روش‌ها و فن‌آوری‌های نوین در مراحل طراحی و اجرای سازه‌های زیرزمینی همچون تولن‌های شهری، مترو و غیره، می‌تواند از جمله اقدامات اساسی در جهت تحول و پیشرفت تولنسازی در ایران باشد. به طور مثال طراحی سیستم‌های نگهداری موقت در تولن‌های شهری با استفاده از تکنولوژی‌های جدید همچون شاتکریت الیافی، پانل‌های سه بعدی، یا روش‌های دیگر به گونه‌ای که بتوان آن را به عنوان بخشی از سیستم نگهداری دائمی سازه در نظر گرفت، یا اصلاح روش‌های اجرا در سایه تعامل و همکاری بیش از پیش متخصصان ژئوتکنیک و سازه، می‌تواند منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های تمام شده پروژه‌ها و افزایش کیفیت اجرا شود. در این ارتباط انجمن تولن ایران آمادگی خود جهت تعامل حداکثر با متخصصان و دست‌اندرکاران این صنعت در زمینه مذکور را اعلام داشته و از نظرات، پیشنهادات و مقالات متخصصان و پژوهشگران این رشته استقبال می‌نماید.

سازمان‌ها و انجمن‌ها نیز با ضرورت تغییر مواجه هستند. گاهی به منظور توسعه شایستگی‌های سازمانی به دنبال تغییر هستند. گاهی نیز می‌خواهند محیط کاری خلاق و با نشاطی ایجاد نموده یا حفظ نمایند. برخی مواقع نیز، تغییر برای بقا لازم است. در بسیاری موارد نیز هر سه موضوع مطرح هستند. در همین راستا به آگاهی می‌رساند که ششمین مجمع عمومی و فوق العاده انجمن تولن ایران در روز چهارشنبه ۹ تیر ماه ۱۳۸۹ به منظور بررسی پیشنهادات و تصمیم‌گیری در مورد اصلاحات و تغییرات در اساسنامه انجمن، و انتخاب هیات مدیره و بازرس برای دوره ششم، راس ساعت ۱۸:۰۰ در سالن همایش شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران برگزار خواهد شد. بدین‌وسیله از تمامی اعضای حقیقی و حقوقی انجمن تولن ایران دعوت می‌شود تا با حضور خود در این جلسه، انجمن را جهت نیل به اهداف انجمن و بهبود عملکرد آن یاری نمایند.

انجمن تولن ایران



قول تسويه طلب ۱۸۰ ميليارد رiali پيمانکاران اين طرح همزمان با اولين تخصيص دريافتی از خزانه، اظهار داشت: علی رغم وجود مشكلات مالی اين پروژه در سال ۸۸ با توجه به نگاه ويزه ريسجمهور و مسؤولان به اين طرح، در سال جاري هيچ گونه مشكل مالي وجود نخواهد داشت و هر چه پيمانکاران بتوانند انجام دهنده تامين اعتبار خواهند شد.

خبرگزاری مهر
۲۰ فروردین ۱۳۸۹

تونل گلستان در کرمان افتتاح میشود

فرماندار سيرجان از افتتاح تونل گلستان در کرمان تا خردادماه سال جاري خبر داد. به گزارش خبرگزاری فارس از کرمان، محمدعلی توحیدی در جلسه شورای اداری شهرستان سيرجان اظهار داشت: با افتتاح اين تونل، دوپانده شدن اين محور پرترافيك به اتمام میرسد. وي افزود: در سال گذشته ۲۳۰ ميليارد رiali از اعتبارات استانی و بيش از سه برابر اين مبلغ از اعتبارات ملي در سيرجان جذب شده و در سال جاري نيز اين اعتبارات با افزيش ۱۰درصدی برنامهريزي شده است. فرماندار سيرجان خاطرنشان كرد: کار روشنايي دو كيلومتر از محور سيرجان به زيدآباد به زودی به بهرهبرداری مiresد و در سال جاري بستر کار در محورها و جادههای شهری و روستایی شهرستان فراهم است.

توحیدی تصريح كرد: بيش از يك ميليون نفر مسافر توروزی در تعطیلات وارد سيرجان شدند که قریب ۶۰ هزار نفر اسكان و بيش از ۲۰۰ هزار نفر از جاذبههای دیدنی اين شهرستان بازدید كردند.

خبرگزاری فارس
۲۶ فروردین ۱۳۸۹

احتساب رمپهای ورودی و خروجی، ۸۰۸ متر است که برآورد هزینه آن ۹۵۰ ميليارد رiali بوده و زمان تحويل آن تا اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۰ اعلام شده بود.

این مقام مسؤول با اعلام اينکه اين پروژه در پایان سال ۱۳۹۰ به بهرهبرداری مiresد، در خصوص فاز ۲ طرح گفت: در اين فاز برای حل مشكلات ساکنین مناطق ۱۷ و ۱۸، طول تونل با احتساب رمپهای ورودی و خروجی به ۱۰ کيلومتر افزایش يافت که هزینه اجرای آن ۲ هزار و ۶۰۰ ميليارد رiali برآورد شده است.



صاحب محمدي در خصوص زمان اتمام پروژه اظهار داشت: با توجه به مشكلات مردم ساكن در حومه اين منطقه، تلاش راه آهن بر اتمام بدون تأخير است و حتى اميدواريم اين طرح را از زمان اعلام شده نيز سريع تر افتتاح كنيم. اين مقام مسؤول در ادامه اظهار داشت: پيش بنيه هاي لازم برای رفع آلودگي هوا و آلودگي شديد صوتی ناشی از عبور قطارها در تونل نيز انجام شده است. وي يكی از مهمترین مشكلات موجود بر سر راه اين طرح را معارضينی از جنس تأسیسات شهری اعلام كرد و اظهار داشت: تا کنون اکثر قریب به اتفاق این موافع برطرف شده است. معاون وزیر راه و ترابری با بيان اينکه تا کنون در حدود ۴۵ درصد از اعتبار

بيان يكينه تا کنون در حدود ۴۵ درصد از اعتبار مسافر توروزی در تعطیلات وارد سيرجان شدند، تصريح كرد: اين پروژه در ۲۶۰۰ ميليارد رiali اين پروژه تامين شده است، تصريح كرد: در سال ۸۸ در حدود ۵۳۰ ميليارد رiali از اعتبار مورد نياز اين پروژه و در سال جاري نيز ۶۱۰ ميليارد رiali ديگر از اعتبار پروژه تامين شد که در مجموع ۱۰۱۴ ميليارد رiali از سوی دولت تامين اعتبار شده است. مدير عام راه آهن جمهوري اسلامي ايران با

بهرهبرداری از بزرگترین تونل ریلی - شهری تا پایان سال ۹۱

مديرعام راه آهن جمهوري اسلامي ايران از برنامه انتقال بخشی از خط آهن تهران- تبريز به زيرزمین خبر داد و اعلام كرد بزرگترین تونل ریلی - شهری ايران تا پایان سال ۱۳۹۱ افتتاح میشود. به گزارش خبرنگار مهر، عبدالعالی صاحب محمدي در جريان بازدید از پروژه انتقال خط آهن تهران تبريز در محدوده تهران به زير زمين، گفت: اين تونل با ۸ کيلومتر طول و ۲ کيلومتر ورودی و خروجي بزرگترین تونل کشور به لحاظ جاده‌اي، شهری و يا ریلی است که تاکنون در کشور اجرا شده است.

معاون وزیر راه و ترابری با بيان اينکه يكی دیگر از ويزگی‌های منحصر به فرد اين تونل ۴ خطه بودن آن است، اظهار داشت: اجرای اين طرح کشور را به تواني خوبی در احداث تونل خواهد رساند. مديرعام راه آهن جمهوري اسلامي ايران به مشكلات ايجاد شده در مناطق جنوب شهر تهران به ويزه مناطق ۱۷ و ۱۸ به لحاظ عبور خط آهن از ميان محل زندگي آنها اشاره كرد و گفت: در ابتدا طول اين تونل ۴۱۵۰ متر بود که با دستور ريسجمهور برای حل مشكلات مردم طول اين تونل به ۸ کيلومتر افزایش يافت.

صاحب محمدي با بيان اين که هم اکنون قطارها در اين مسیر از يك خط فرعی ايجاد شده عبور می‌کنند، تصريح كرد: اين پروژه در ۲ فاز اجرا می‌شود که تاکنون فاز يك داراي ۴۱ درصد پيشرفت فيزييکي و با احتساب مسیر فرعی ايجادي ۶۰ درصد پيشرفت فيزييکي بوده است؛ همچنین با اضافه شدن فاز ۲ به اين طرح، كل پروژه پيشرفتی در حدود ۲۵ درصد داشته است. وي در خصوص فازهای اين طرح تصريح كرد: طول فاز اول اين طرح در حدود ۵ هزار و با

است. داریوش قنبری بیان کرد: با بهره‌برداری از این طرح زمینه لازم برای تسهیل در تردد غرب کشور و استان ایلام فراهم می‌شود. احداث این تونل سبب حذف نقاط حادثه‌خیز محور ارتباطی شمالی استان ایلام به استان کرمانشاه می‌شود.

وی اظهار داشت: ۴۲۰ میلیارد ریال اعتبار اولیه برای اجرای این طرح ملی اختصاص یافته است. خبرگزاری مهر ۱۵ اردیبهشت ۱۳۸۹

بازدید سفیران ۱۵ کشور از تونل انتقال آب کرج به تهران



به گزارش خبرگزاری فارس به نقل از روابط عمومی شرکت آب منطقه‌ای تهران، سفرای ۱۵ کشور از تونل انتقال آب کرج به تهران بازدید کردند. در این بازدید که به منظور معرفی دستاوردها و توانمندی‌های مهندسان ایرانی در صنعت آب و انرژی برگزار شد، مquamات عالیرتبه سفارتخانه‌های گامبیا، نیجریه، اوگاندا، بلژیک، یمن، اروگوئه، ساحل عاج، کویت، غنا، اردن، اکوادور، بنگلادش، ژاپن، آفریقای جنوبی و روسیه حضور داشتند.

در این مراسم شفیعی، مجری طرح ضمن اشاره به آغاز مطالعات این طرح از سال ۸۰ گفت: از سال ۸۴ عملیات اجرایی طرح تونل انتقال آب از کرج به تهران شروع شد و قطعه اول این تونل به طول ۱۶ کیلومتر پایان یافته است.

شفیعی افزود: هدف از اجرای این طرح، جایگزینی سیستم‌های موجود انتقال و تصفیه آب شهر تهران، فراهم کردن امکان بررسی، بازسازی و اصلاح سیستم‌های موجود انتقال و تصفیه آب در تهران و آبرسانی به مناطق

طول ۳۸۲ متر در دست ساخت است. حقیقی آبی بیان داشت: برای اجرای این طرح تاکنون ۶۱ میلیارد و ۷۱۲ میلیون ریال اعتبار هزینه شده و تکمیل نهایی و بهره‌برداری کامل طرح، نیازمند اعتباری بالغ بر ۱۲۰ میلیارد ریال است. وی گفت: طرح بند انحرافی کانال و تونل انتقال آب کاکارضا علاوه بر تأمین بلند مدت آب شرب شهر خرم‌آباد حدود ۱۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی شمال شهرستان خرم‌آباد را نیز سیراب می‌کند.

خبرگزاری فارس
۱۳۸۹ ۷ اردیبهشت

عملیات اجرایی تونل گردنه قلاچه ایلام کلنگ زنی شد



کلنگ تونل محور ارتباطی ایلام - کرمانشاه در "گردنه قلاچه" با حضور معاون وزیر راه و ترابری و مسوولان استانی به زمین زده شد. به گزارش خبرنگار مهر در ایلام، معاون وزیر و رییس سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور صبح چهارشنبه، ۱۵ اردیبهشت ماه، گفت: اکنون کار مطالعاتی نهایی این تونل به طول ۲۲۰۰ متر توسط کارشناسان در دست اقدام است. وی ادامه داد: عملیات اجرای این طرح پس از تکمیل نهایی طرح مطالعاتی طرف سه ماه آینده آغاز می‌شود. یکی از نمایندگان استان ایلام در مجلس نیز گفت: اجرای این طرح در کوتاهی مسیر استان‌های غرب کشور به ویژه ایلام - کرمانشاه بسیار حائز اهمیت

تونل انتقال آب کاکارضا به خرم‌آباد با ۱۲۰ میلیارد ریال اعتبار تکمیل می‌شود

مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای لرستان گفت: برای تکمیل نهایی و بهره‌برداری از طرح تونل انتقال آب کاکارضا به خرم‌آباد ۱۲۰ میلیارد ریال اعتبار نیاز است. امیر حمزه حقی آبی در گفتگو با خبرنگار فارس در خرم‌آباد اظهار داشت: عملیات اجرایی طرح تونل انتقال آب کاکارضا به خرم‌آباد با اعتبار اولیه ۶۷ میلیارد و ۶۱۲ میلیون ریال در سال ۱۳۸۳، توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان و از طریق شرکت مجری طرح آغاز شده است. وی افزود: با بهره‌برداری کامل از خط انتقال آب رودخانه کاکارضا، ۵۵ میلیون متر مکعب آب مصرفی و شرب مورد نیاز شهر خرم‌آباد تأمین می‌شود.

مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای لرستان گفت: مهم‌ترین هدف از اجرای طرح انتقال آب رودخانه کاکارضا به منطقه خرم‌آباد، تأمین آب زراعی برای اراضی دیم اطراف شهر خرم‌آباد است که بر اساس طرح تهیه شده در مرحله نخست اجرایی حدود ۳۶۰۰ هکتار از اراضی این منطقه سیراب می‌شود.

حقی آبی خاطرنشان کرد: همچنین با اجرای مرحله دوم این طرح و آبگیری سدهای سراب تلخ و محمل کوه، سطح اراضی آبخور این طرح به بیش از ۹۸۰۰ هکتار افزایش می‌یابد. وی اجرای طرح انتقال آب کاکارضا را از جمله طرح‌های آبرسانی مهم استان دانست و افزود: با اجرای کامل این طرح، علاوه بر تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی منطقه، می‌توان برای تأمین آب آسامیدنی مورد نیاز شهر خرم‌آباد نیز برنامه‌ریزی کرد.

مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای لرستان تصریح کرد: عملیات اجرای طرح تونل انتقال آب به طول ۳۱۰۷ متر اجرا شده و حوضچه ترتیب این تونل نیز به طول ۵۰ متر احداث شده است. حقی آبی افزود: کانال انتقال این طرح نیز با ظرفیت ۱۵ متر مکعب در ثانیه با

اجمن تونل ایران

عملیات اجرایی ساخت طرح تونل کبیر کوه در ایلام آغاز شد

عملیات اجرایی ساخت طرح تونل کبیر کوه با حضور وزیر راه و ترابری و شماری از مسوولان محلی در ایلام آغاز شد. به گزارش خبرگزاری فارس از ایلام، وزیر راه و ترابری در آغاز این عملیات اظهار داشت: ساخت طرح تونل کبیر کوه در حد فاصل شهرستان‌های درم شهر و آبدانان در تاریخ ۳۰ اردیبهشت سال جاری آغاز می‌شود.



حمدی بجهانی اظهار داشت: کل مسیر محور ارتباطی فعلی شهرستان‌های آبدانان و در شهر در مجموع ۱۵۰ کیلومتر است. وی ادامه داد: با پهنه‌برداری از این طرح راهسازی در جنوب استان ایلام در مجموع ۵۰ کیلومتر از کل مسیر کوتاه می‌شود. این مسؤول اضافه کرد: امیدواریم ظرف ۴ تا ۵ سال آینده این طرح راهسازی در استان ایلام به اتمام برسد و مردم از مزایای آن بهره‌مند شوند.

وزیر راه و ترابری گفت: مسوولان دستگاه‌های اجرایی مرتبط با موضوع باید در این راستا و تسريع در روند ساخت این پروژه بزرگ به کمک اداره کل راه و ترابری بستابند. نماینده مردم آبدانان، دهلران و در شهر در مجلس شورای اسلامی در مراسم کلنگ زنی از این طرح نیز گفت: ساخت تونل کبیر کوه از خواسته‌های دیرینه مردم شهرهای جنوبی استان به ویژه در شهر و آبدانان در جنوب استان ایلام است.

علی عزتی اظهار داشت: این مهم نیز با تلاش و پیگیری مسوولان در استان ایلام به ثمر نشست و کلنگ این طرح به زمین زده شد.

خبرگزاری فارس
۱۳۸۹ اردیبهشت

می‌شود، افزود: در چنین شرایطی رفت و آمد در دسترسی‌های محلی به سهولت انجام می‌شود که مهمترین هدف از احداث تونل امیرکبیر نیز به همین منظور برای خارج کردن بار سنگین ترافیک در ساعت‌های اوج رفت و آمد شبانه روز این



محدوده است. معاون شهردار تهران تصریح کرد: تامین دسترسی‌های خروجی از مناطق تجاری بازار در هنگام حجم ترافیک و خروجی‌های اضطراری نیز از دیگر ویژگی‌های این تونل است و با ساخت این تونل، هیچ پار اضافی ترافیکی به این منطقه تحمیل نمی‌شود.

به گفته وی، ابتدای این طرح سه راه امین حضور در بخش غربی و اتصال آن به بزرگراه امام علی (ع) در بخش شرقی است که در مسیر دو جنac گذرهای شهید درودیان و خیابان کرمان ایجاد می‌شود و از قسمت زیرین نیز از خیابان‌های ۱۷ شهریور - شکوفه و کرمان به سمت بزرگراه می‌رود.

معاون شهردار تهران طول تونل امیرکبیر را در مسیر تک لاین ۸۰۰ متر و در مسیر این دو جنac، هر کدام ۷۰۰ متر اعلام کرد که در مجموع با دسترسی‌های در نظر گرفته شده، بیش از ۲۲۰۰ متر است. حسینی بخشی از روش ساخت تونل را به شیوه اتریشی با حفاری و پاشیدن بتون در محل عملیات دانست و افزود: پس از افزایش مقاومت و تثبیت موقت آن بتون ریزی در جداره اصلی تونل انجام می‌شود.

خبرگزاری مهر
۱۳۸۹ اردیبهشت ۲۸

گسترش یافته در محدوده شمال و شمال غرب تهران بزرگ است.

وی ادامه داد: قرار است به وسیله این تونل، آب رودخانه کرج از سد تنظیمی امیرکبیر به وسیله تونل به تصفیه خانه تهران منتقل و به این شکل آب این رودخانه بدون پیمودن مسیر ۳۰ کیلومتری سد تا آبگیر بیلقان به طور مستقیم به تهران سرازیر شود و هدف از احداث آن، سوار شدن آب به تراز بالا است و امیدواریم که در شرایط بحرانی بتوانیم آب سدهای طالقان و کرج را هم‌زمان به تهران منتقل کنیم. بر اساس این گزارش، رکورد حفاری و لایینگ ۱۶ هزار متر تونل بلند از یک دهانه در مدت ۱۰۰۰ روز با استفاده از سگمنت‌های تتراگونال یونیورسال، رکورد حفاری روزانه ۳۹ متر در خردادماه سال ۸۶، رکود حفاری ماهانه ۸۰۵ متر در شهریور همان سال از موارد نادر در پروژه‌های تونل سازی در کشور و قبل طرح در سطح پروژه‌های جاری در جهان است.

خبرگزاری فارس
۲۱ اردیبهشت ۱۳۸۹

ساخت تونل امیرکبیر ۵/۷ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است

معاون فنی و عمرانی شهرداری تهران از پیشرفت فیزیکی ۵/۷ درصدی تونل امیرکبیر خبر داد و گفت: عملیات اجرایی این تونل از فوروردین ماه سال جاری آغاز شده است و حدود ۲۴ ماه به طول می‌انجامد.

به گزارش خبرگزاری مهر، دکتر مازیار حسینی با اعلام این خبر گفت: حجم زیاد وسایل نقلیه در ساعت‌های اوج تخلیه و بارگیری در خیابان‌های منتهی به بازار تهران، موجب طراحی این تونل شد که ارتباط زیرزمینی از سه راه امین حضور به بزرگراه امام علی (ع) را برقرار می‌کند.

حسینی با بیان اینکه در شبکه‌های زیر گذر به طور معمول تقاضای رفت و آمد تغییر نمی‌کند بلکه بخشی از ترافیک اصلی به زیرزمین منتقل

زمان لازم برای تولد دوباره این دستگاه را حدود یک ماه ذکر کرد و افزود: یک هیئت چینی به منظور بررسی مکان و رفع اشکال فنی احتمالی آغاز کار دستگاه TBM وارد اهواز شدند. وی با تأکید بر اینکه برای آغاز هر چه سریع تر کار نهایت تلاش صورت می‌گیرد، اظهار امیدواری کرد: بزرگترین عملیات اجرایی پروژه قطار شهری اهواز یعنی حفاری تونل، در صورت عدم بروز مشکل خاص تا سه ماه آینده آغاز شود؛ این در حالی است که پیش از این قرار بود دستگاه TBM ارديبهشت ماه وارد اهواز شود. به گفته وی، یک اکیپ چینی به همراه دستگاه به اهواز می‌آید و تا ۵۰۰ متر نخست، حفاری تونل را تضمین می‌کند.



این مسؤول با اشاره به اینکه برای اتمام کار مترو در موعده مقرر در سال ۹۲ به چهار دستگاه TBM نیاز است و با این تعداد دستگاه، روند اجرای پروژه قطار شهری اهواز متوجه می‌شود، اظهار داشت: علاوه بر دو دستگاه یاد شده سفارش خرید دو دستگاه دیگر نیز به کشور آلمان داده شده که مراحل نهایی عقد قرارداد را می‌گذراند. وی موضع موجود در خرید دو دستگاه تونل زن جدید را عدم تامین اعتبار یا تحریم اقتصادی کشور عنوان کرد و گفت: در صورت بروز این مشکلات برای استفاده هر چه سریعتر شهرمندان اهوازی از این پروژه، بهره‌برداری از فاز نخست قطار شهری اهواز از سه راه فرودگاه تا پارک حجاب با دو دستگاه موجود در اولویت قرار می‌گیرد، که در صورت عدم دستیابی به دو دستگاه دیگر، فاز نخست پروژه تا سال ۹۲ قابل بهره‌برداری خواهد بود. هلاکوئی خاطرنشان کرد: همزمان با تامین

بر اساس این گزارش، صبح روز اول خرداد سال جاری عملیات ریل گذاری خط ۴ مترو از ایستگاه میدان انقلاب و میدان آزادی به طول شش کیلومتر و با استفاده از ۲۴ کیلومتر ریل آغاز شد که عملیات این بخش تا نیمه شهریور سال جاری تمام می‌شود. همچنین خط ۴ متروی تهران به صورت زیر زمینی به طول ۲۱ کیلومتر یکی از مهمترین کریدورهای شرق به غرب مترو است که از اکباتان تا میدان شهید کلاهوز ادامه دارد. بر اساس این گزارش همچنین کارخانه قطعات پیش ساخته بتمنی (سگمنت) خط ۳ متروی تهران نیز با حضور شهردار تهران افتتاح شد. این کارخانه در منطقه قلعه مرغی محدوده بزرگراه جوانه بنا شده است و ظرفیت تولید سگمنت ۱۲۰ قطعه در روز را دارد.

خبرگزاری مهر
۱۳۸۹

حفاری تونل مترو اهواز تا ۳ ماه آینده آغاز می‌شود

مدیر عامل سازمان قطار شهری اهواز از آغاز عملیات حفاری تونل قطار شهری تا سه ماه آینده خبر داد. عباس هلاکوئی در گفت و گو با خبرنگار فارس در اهواز با اشاره به سفر استاندار خوزستان به همراه وزیر راه و ترابری به چین در هفته گذشته به منظور رفع مشکلات قطار شهری اظهار داشت: بر اساس گزارشات دریافتی، عملیات باز و بسته‌بندی دستگاه تونل زنی TBM آغاز شده است و تا سه هفته به طول می‌انجامد.

وی زمان لازم برای انتقال دستگاه TBM از دالیان چین به بندر امام را حدود یک ماه عنوان و اظهار امیدواری کرد: با احتساب زمان لازم برای بسته‌بندی تا حدود دو ماه دیگر این دستگاه به اهواز برسد. هلاکوئی با بیان اینکه دستگاه تونل زنی پس از انتقال به محل مورد نظر مونتاژ و اصطلاحاً دوباره متولد می‌شود،

ریل گذاری خط ۴ مترو با حضور شهردار تهران شروع شد



مراسم بهره‌برداری از ماشین حفار (TBM) خط ۷ متروی تهران و عملیات ریل گذاری خط ۴ مترو از ایستگاه میدان انقلاب تا آزادی با حضور شهردار تهران برگزار شد. به گزارش خبرگزاری مهر، دستگاه حفار اتوماتیک "TBM" قابلیت حفر ۱۰ متر تونل در یک جبهه کاری در یک روز را دارد و با به کارگیری همزمان چهار دستگاه حفار اتوماتیک در تونل‌های متروی تهران (خط ۷ دو دستگاه، خط ۳ یک دستگاه، خط ۴ یک دستگاه) در مدت سه سال حفر تونل‌ها تکمیل می‌شود و استفاده از این نوع دستگاه‌ها علاوه بر افزایش سوخت ساخته ایمنی و کیفیت رانیز بالا می‌برد.

بر اساس این گزارش، محل ورود دستگاه حفار پروژه خط ۷ مترو تقاطع بزرگراه شهید نواب صفوی و خیابان قزوین در نظر گرفته شده است که این دستگاه پس از حمل به تهران در محل شفت در عمق ۲۳ متری از سطح زمین مونتاژ شده است. خط ۷ متروی تهران به طول ۲۷ کیلومتر دارای ۲۵ ایستگاه است و این خط از شهرک امیرالمؤمنین (ع) واقع در منطقه جنوب شرق تهران شروع و پس از عبور از تقاطع محلاتی، ۱۷ شهریور و میدان محمدیه در تقاطع نواب - قزوین تغییر جهت داده و در ادامه بزرگراه نواب مسیر آن ادامه یافته و به موازات تونل زنی پس از انتقال به محل می‌لاد در منطقه سعادت آباد در شمال غرب تهران پایان می‌یابد.

انجمن تونل ایران

اجرای پروژه قطار شهری شیراز را نسبت به سایر پروژه‌های شهری مناسب توصیف کرد.

دیهیمی اضافه کرد: نخستین دستگاه حدود ۴۰ روز پیش به میدان نمازی رسیده و به دلیل مسایل فنی امکان هم‌زمانی حرکت هر دو دستگاه حفار TBM نبوده است و سعی و تلاش شبانه‌روزی همکاران بر این است که هر چه زودتر مشکلات و موانع عبور و مرور همشهریانی که در مجاورت پروژه هستند برداشته و یا محدودتر شود.

خبرگزاری فارس
۲۷ خرداد ۱۳۸۹

دعوت به ششمین مجمع عمومی و فوق العاده انجمن تونل ایران

ششمین مجمع عمومی و فوق العاده انجمن تونل ایران در روز چهارشنبه مورخ ۱۳۸۹/۰۴/۰۹ ساعت ۱۸:۰۰ در سالن همایش شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران برگزار می‌شود. نظر به اهمیت این نشست، از اعضای پیوسته انجمن دعوت می‌شود تا در این گردهمایی حضور یابند. خواهشمند است در صورت عدم امکان حضور، برگه و کالت خود را از طریق شخص دیگری که مورد نظرتان بوده و در جلسه شرکت خواهد نمود، به جلسه ارائه نمایید (دعوتنامه رسمی و برگه و کالت از طریق پست و پست الکترونیک برای اعضا ارسال شده است. در صورت عدم دریافت با دفتر انجمن تونل تماس حاصل نمایید). لازم به ذکر است که هر یک از نمایندگان، وکالت تنها یک شخص را دارا می‌باشد.

- ۱) گزارش عملکرد انجمن در دوره پنجم (شامل گزارش فعالیت‌های انجمن و گزارش مالی انجمن)،
- ۲) گزارش بازرس انجمن،
- ۳) بررسی پیشنهادات و تصمیم‌گیری در مورد اصلاحات و تغییرات در اساسنامه انجمن،
- ۴) تعیین میزان حق عضویت و تصویب ترازنامه و بودجه انجمن،
- ۵) انتخاب هیئت مدیره و بازرس برای دوره ششم

ورود دومین دستگاه حفار مکانیزه تونل‌های قطار شهری به شیراز



اعتبارات لازم، توافق برای تحويل دو دستگاه TBM دیگر و آماده‌سازی ایستگاه‌های فاز دوم نیز پیگیری می‌شود. وی تاکید کرد: از ۱۰ ایستگاه فاز نخست، در حال حاضر، آماده‌سازی هشت ایستگاه مراحل نهایی را طی می‌کنند که تا رسیدن TBM کاملاً آماده می‌شوند. مدیرعامل قطارشهری اهواز قیمت دو دستگاه TBM را حدود ۲۰۰ میلیون دلار و تجهیزات مورد نیاز کار با این دستگاه‌ها را حدود ۱۸ میلیون دلار عنوان کرد و اذعان داشت: تمام اعتبارات هزینه شده از متابع داخلی کشور بوده و فاینانسور چینی این پروژه تاکنون هیچگونه سرمایه‌گذاری انجام نداده که با توجه به نیاز این پروژه به اعتبار بیشتر، تا زمان رسیدن به مرحله الکتریکی و تکنیکال پروژه به فاینانسور فرست آوردن سهم خود داده خواهد شد، در غیر این صورت از آنها خلع ید می‌شود.

وی همچنین از آغاز آماده‌سازی سه ایستگاه دانشگاه، صدا و سیما و سازمان آب و برق خبر داد. هلاکوبی در ادامه با اشاره به اینکه هنوز سهم قطارشهری در بودجه ابلاغ نشده است، پیش‌بینی کرد: اعتبارات سال جاری حدود ۲۰ میلیارد تومان باشد. به گفته وی، سال گذشته از ۸۰ میلیارد تومان اعتبار ابلاغ شده، ۷۰ درصد تخصیص و همه آن جذب شد. وی افزود: مقرر شده از محل ذخیره ارزی نیز به متروی اهواز ۱۱۰ میلیون دلار پرداخت شود که تا پایان خرداد این مصوبه باید ابلاغ گردد. هلاکوبی در مورد اعتبارات امسال متروی دیگر کلانشهرها اظهار داشت: به جز تهران که همیشه بودجه خاص می‌گیرد، از پنج شهر اهواز، مشهد، اصفهان، شیراز، تبریز و کرج، مشهد که در مرحله خرید واگن است اعتبارات به مرتب بیشتری دریافت می‌کند، اما باقی شهرها اعتبار تقریباً یکسانی می‌گیرند.

خبرگزاری فارس
۲۲ خرداد ۱۳۸۹

مروزی بر روش‌های مدل‌سازی عددی و طراحی نگهداری محل تقاطع تونل‌ها

مهندیار خراسانی قمری

کارشناس ارشد استخراج معدن - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده:

تحلیل میدان تنش سه‌بعدی پیچیده و رفتار خاص مکانیکی تونه سنگ در محل تقاطع تونل‌ها، از جمله مسائل مطرح در صنعت تونل‌سازی است. به‌دلیل اهمیت چگونگی طراحی نگهداری این نقاط در تونل‌ها و با توجه به نیازهای روزافزون برای ساخت تونل‌های جدید و فضاهای زیرزمینی مقاطعه، موضوع تقاطع تونل‌ها بیش از پیش مورد توجه مهندسان و محققان قرار گرفته است. کثیر عوامل مؤثر در طراحی مهندسی این نقاط، از جمله خصوصیات فیزیکی تونه سنگ، روش حفاری، زاویه‌ی تقاطع و سایر جنبه‌های مرتبط با موضوع تقاطع، هم‌چنین افزایش هزینه‌ها در صورت به کار گیری بیش از حد نگهداری‌های محافظه‌کارانه، بر پیچیدگی مسأله می‌افزاید. در این تحقیق، ضمن مرور و معرفی برخی از تحقیقات صورت گرفته و روش‌های مدل‌سازی عددی در زمینه‌ی طراحی محل تقاطع تونل‌ها و بررسی تعدادی از مطالعات پیشین، روش مورد استفاده در یکی از تحقیقات اخیر که با استفاده از مدل‌سازی عددی سه‌بعدی به‌وسیله نرم‌افزار FLAC ۳D صورت پذیرفت، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این تحقیق، ضریب مقاومت بر فشار تونه سنگ ($\sigma_{\text{cm}}/\rho_0$) نقش اصلی را در چگونگی رفتار تقاطع بازی می‌کند؛ در این پژوهش، خطوط راهنمای طراحی نگهداری در محل تقاطع تونل، بر اساس شرایط فشارندگی سنگ، طرح و پیشنهاد شده است و در نهایت، سه طبقه‌بندی برای طراحی نگهداری بر اساس شرایط متفاوت زمین‌شناختی مطرح می‌گردد.

کلمات کلیدی: تقاطع تونل‌ها، مدل‌سازی عددی سه‌بعدی، طراحی نگهداری، FLAC ۳D

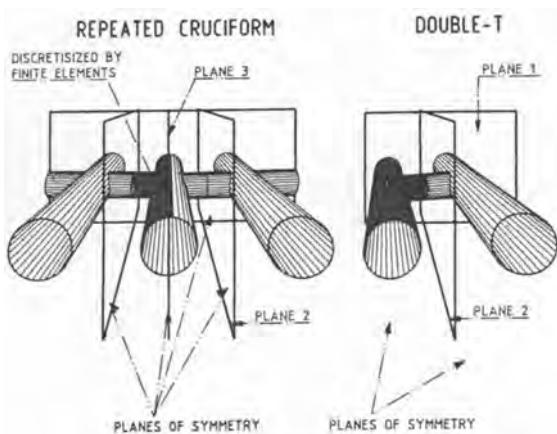
با ارتقاء سرعت و امکانات رایانه‌ها و توسعه‌ی سریع روش‌های مدل‌سازی در چند سال اخیر، بهترین روش برای تحلیل میدان تنش سه‌بعدی و پیچیده تقاطع تونل‌ها و بررسی رفتار مکانیکی تونه سنگ در این نقاط، استفاده از روش‌های عددی و مدل‌سازی سه‌بعدی هندسه تقاطع و سپس آنالیز حساسیت پارامترهای مؤثر در پایداری و طراحی سیستم نگهداری آن است [۱]۔

۲ - نظری اجمالی بر روش‌های مورد استفاده و مطالعات پیشین بسیاری از مطالعات پیشین در زمینه‌ی رفتار تونل در محل تقاطع، بر اساس مطالعه بر روی عامل تمرکز تنش و استفاده از تئوری الاستیسیته شکل گرفته است. آزمایشات فتوالاستیسیته توسط رایلی^۱ و پنت^۲ بر روی فشارهای در برگیرنده محل تقاطع تونل صورت گرفته است. به‌دنبال توسعه‌ی سریع تکنیک‌های مدل‌سازی، تحلیل‌های سه‌بعدی به‌طور گسترده مورد استفاده محققین قرار گرفت. تارجا^۳ و تاکینو^۴ و همکارانشان از این قبیل محققانی بودند که بر روی بحث جابجایی و فشارهای خطی در محل تقاطع با توجه به خصوصیات سنگ‌ها و زاویه‌های مختلف تقاطع، به تحقیق و بررسی پرداختند [۳]۔

۱ - مقدمه

اگر دو تونل با مقاطع بزرگ با هم تقاطع یابند؛ شکل خاص آن‌ها و ساختارهای موجود، میدان تنش سه‌بعدی پیچیده‌ای را به وجود می‌آورد. بدین ترتیب، رفتار مکانیکی تونه سنگ در محل تقاطع تونل‌ها، توسط خصوصیات فیزیکی آن‌ها، روش حفاری، زاویه‌ی تقاطع و سایر جنبه‌های مرتبط با موضوع تقاطع، تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به یک مسأله‌ی سه‌بعدی بسیار پیچیده تبدیل می‌شود. افزایش بار نگهداری و تغییر شکل اضافی تونل‌ها، غالباً در زمان اجراء، آشفتگی در تونه سنگ‌های در برگیرنده محل تقاطع را در پی دارد. به‌طور معمول یک سیستم نگهداری سنگین‌تر از مقاطع معمولی تونل، در مقابل تأثیرات نامطلوب پدید آمده در نتیجه‌ی یک فشار پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم نگهداری سنگین به کار گرفته شده در این پروژه‌ها، عامل اصلی هزینه‌های اجرای تونل می‌باشد؛ بنابراین به‌دست آوردن یک روش و رویه‌ی معقول در طراحی نگهداری در محل تقاطع و هم‌چنین منطقه‌ی تأثیر تقاطع، بسیار پراهمیت است.

انجمن تونل ایران



شکل ۲- مدل سازی عددی تقاطع با استفاده از صفحات تقارن [۴].

با توجه به محاسبات صورت گرفته توسط پوتلر، اختلاف تنش به دست آمده توسط این دو مدل، در پوشش شاتکریت، در سقف و دیواره، در آنالیز تونل ناچیز می‌باشد. در ارتباط با تنش‌های فشاری، نتایج نشان می‌دهند که مقادیر تنش‌ها و کرنش‌ها در محل تقاطع‌ها، ۱/۵ برابر مقادیر آن‌ها در سایر بخش‌های تونل می‌باشند و در مورد تنش‌های کششی، معمولاً تنش‌های غالب در شاتکریت و پوشش بتنی، تنش‌های نرمال می‌باشند؛ تنها در فاصله حدود نصف قطر تونل از محل تقاطع، تنش در پوشش بتنی دچار اغتشاش می‌شود [۴].

بررسی‌های صورت گرفته توسط مؤسسه‌ی توسعه‌ی انرژی اتمی ژاپن منجر به کارگیری نگهداری اضافی و نصب آن در محل تقاطع در فاصله‌ای به میزان چهار برابر قطر تونل در جهتی که با تقاطع زاویه‌ی حاده می‌سازد و به همین مقدار در اطراف منطقه‌ای که با تقاطع زاویه‌ی منفرجه تشکیل می‌دهد، شد [۳]. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد، در شرایط تنش تک محوره، مقدار تمرکز تنش در تقاطع T شکل، از ۱ تا ۶ تغییر می‌کند.

هوک و براون اظهار داشتند که در محل تقاطع Y شکل، تحت تأثیر شرایط تنش تک محوره (نانسور تنش تک محوره)، فاکتور تمرکز تنش به بیش از ۳۵ خواهد رسید [۲].

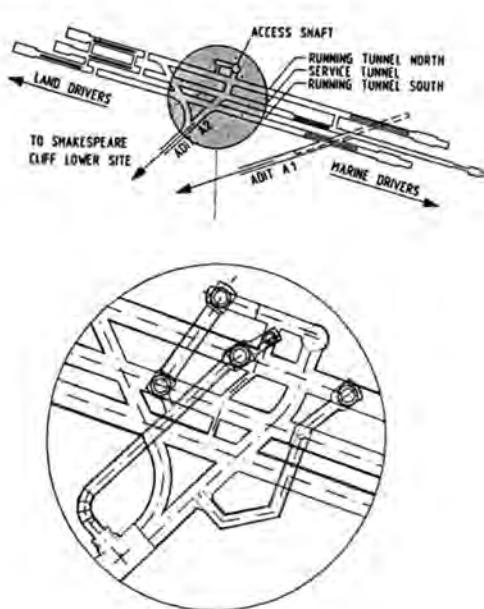
تحقیقات اخیر که توسط نونومورا و همکارانش^۱ صورت پذیرفت؛ به کارگیری نگهداری تقویت شده در این مناطق را با یک تخمین حدودی و کلی در ارتباط با نگهداری موردنیاز این مناطق شامل می‌شد. چن و هوسایو و همکارانش تحقیقات بر اساس تحلیل الاستوپلاستیک سه‌بعدی در ارتباط با رفتار تونل در محل تقاطع را سرپرستی کردند؛ هر چند این تحقیقات و بررسی‌ها، محدود به موارد مطالعاتی و پروژه‌های خاص می‌شدند [۳].

هم‌چنین هوسایو در پروژه‌ی دیگری که شامل هفت تونل (پنج تونل و دو شفت تهويه متقطع) بود؛ از مدل سازی سه‌بعدی با نرم‌افزار FLAC ۳D و در بررسی نتایج از تحلیل برگشتی بهره برد [۶].

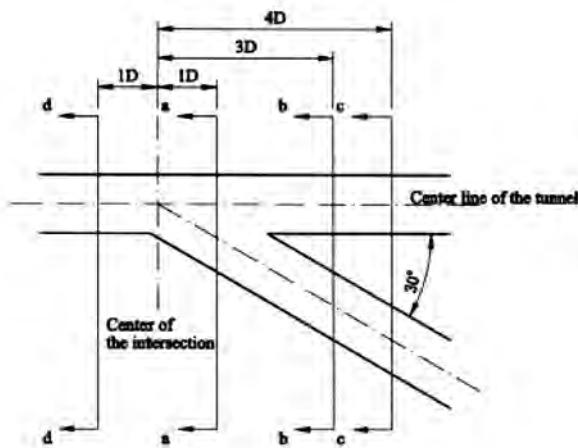
برای طراحی سیستم نگهداری، تیساسیاما و همکارانش^۵ حفر یک تونل دسترسی با زاویه‌ی حاده‌ی ۴۵ درجه به یک تونل اصلی را از طریق تحلیل عددی سه‌بعدی صورت دادند. او برایه‌ی این تحقیقات دریافت، منطقه‌ی تأثیر در طول تونل اصلی که احتیاج به کار نگهداری بیشتری دارد، برابر قطر تونل در جهتی که با تقاطع، زاویه‌ی منفرجه می‌سازد و سه برابر قطر تونل در جهتی که با نقطه‌ی تقاطع، زاویه‌ی حاده تشکیل می‌دهد است [۲].

پوتلر^۶ بررسی‌های خود را بر روی شبکه‌ای از فضاهای زیرزمینی در کشور انگلیس که در مجموع تقریباً ۹۰ تقاطع دارد و در سنگ‌های ناحیه‌ی مارشالینگ^۷ حفر شده است معطوف ساخت. هدف از حفر این فضاهای تأمین فضاهای زیرزمینی نظامی است. این شبکه در عمق ۱۰۰ متری زمین قرار گرفته است. بخشی از این پروژه در شکل (۱) آورده شده است. تمام تونل‌های اصلی و سرویس این شبکه، چه در خشکی و چه در دریا توسط TBM حفاری شده است. روش حفاری، مبتنی بر اصول روش تونل سازی اتریشی بوده است. به نظر می‌رسد که در شرایط این پروژه، روش NATM، بدليل انعطاف‌پذیری در مراحل حفاری و نگهداری موجود در این روش، موققیت آمیزتر از هر روش دیگری باشد.

او از دو نوع مدل تقاطع، تقاطع T شکل و تقاطع صلیبی، استفاده کرد (شکل ۲). با توجه به شکل، زمانی که از مدل T شکل استفاده می‌شود؛ تنها از خاصیت تقارنی صفحات ۱ و ۲ می‌توان استفاده نمود؛ اما در مدل صلیبی شکل، علاوه بر این دو صفحه، صفحه ۳ رانیز می‌توان به عنوان یک صفحه تقارن در نظر گرفت. در نتیجه به هنگام استفاده از مدل صلیبی، حدود ۴ درصد از المان‌ها کاسته می‌شود (در مقایسه با مدل T شکل) [۴].



شکل ۱- بخشی از شبکه‌ی تونل‌های متقطع شکسپیر [۴].



شکل ۴- موقعیت تقاطع بررسی شده [۵].

هیچ تنش کششی در مقطع واقع در فاصله D از مرکز تقاطع در جهت زاویه منفرجه مشاهده نشد. در صورتی که در جهت زاویه حاده، این تنش‌ها در سقف تونل‌ها مشاهده شد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که در جهت زاویه منفرجه، حداکثر تا فاصله D از مرکز تقاطع، نیاز به نگهداری داشته باشد [۵].

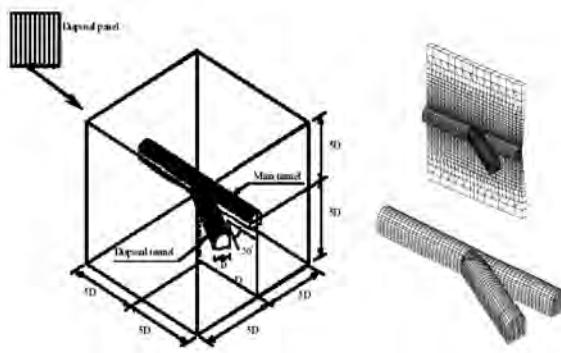
بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در محدوده‌ی تقاطع تا فاصله D از مرکز تقاطع در سمت زاویه حاده (واقعی) و تا فاصله‌ی D در سمت زاویه منفرجه، نگهداری (نگهداری اضافی) نیاز است. در جدول (۱) محدوده‌ی تأثیر تقاطع در زاویه تقاطع‌های مختلف آورده شده است [۲].

جدول ۱- محدوده‌ی تأثیر تقاطع در زاویه‌ی تقاطع‌های مختلف [۲و۵].

زاویه‌ی تقاطع	محدوده‌ی تأثیر	
	در جهت زاویه‌ی واقعی	در جهت زاویه‌ی منفرجه
۹۰°	1D	1D
۶۰°	2D	1D
۳۰°	4D	1D

به هر حال این غیرممکن است که حالت‌های پیشنهادی مختلف و کامل برای طراحی تقاطع تونل‌ها تحت وضعیت‌های مختلف زمین‌شناسی و ابعاد مختلف تونل‌ها و ضرایب مربوط به توده سنگ و سیستم نگهداری محل تقاطع در یک تقاطع مورد مطالعه، برای مورد دیگر، کارآیی کامل و بی‌نقص داشته باشد؛ که اگر این مسأله مورد توجه قرار نگیرد، مسدود شدن تونل در اثر طراحی اشتباه سیستم نگهداری، غیرمنتظره

تحقیقات مؤسسه‌ی توسعه‌ی انرژی اتمی زاپن که در قالب یکی از طرح‌های بزرگ عمرانی این کشور تدوین شده؛ به عنوان یکی از پژوهش‌های تحقیقاتی مطرح در زمینه‌ی طراحی تقاطع تونل‌ها، بر بررسی مدلی از تقاطع تونل اصلی و تونل دسترسی با زاویه تقاطع ۳۰ درجه صورت گرفته است. ابعاد مدل ۳D در هر طرف مرکز تقاطع می‌باشد. تحلیل برای مدل نشان داده شده در شکل (۳) انجام شد. (برای سیستم سنگ سخت با مقطع نعل اسی) [۵].



شکل ۳- مدل تقاطع تونل استفاده شده در تحلیل پایداری [۵].

- مراحل تحلیل در زیر آمده است:
- مرحله ۱: بخش تونل اصلی به طور کامل حفاری می‌شود.
 - مرحله ۲: بخش تونل فرعی به طور کامل حفاری می‌شود.

تقاطع آنالیز در شکل (۴) نشان داده شده است. در این تقاطع، نگهداری مورد نیاز نیز بررسی شده است. نواحی با فاکتور ایمنی کمتر از ۱ در فاصله D از مرکز تقاطع در جهت زاویه تقاطع واقعی (منظور زاویه تقاطع در سمت زاویه حاده است) مشاهده شدند. ضرایب ایمنی کمتر از ۱/۵ در فاصله ۴D از مرکز تقاطع مشاهده شدند.

نواحی که کرنش برشی حداکثر آن‌ها کمتر از مقدار حدی ۰/۳ درصد باشد؛ در مقطع واقع در فاصله ۳D از مرکز تقاطع در جهت زاویه واقعی مشاهده شدند. نواحی دارای مقادیر کرنش برشی حداکثر بیشتر از ۰/۱۳ درصد در مقطع واقع در فاصله ۳D از مرکز تقاطع مشاهده شدند.

مقادیر کمتر از ۰/۱۳ درصد در مقطع ۴D مشاهده شدند. با توجه به این اطلاعات، می‌بایست در فاصله ۴D از مرکز تقاطع در جهت زاویه واقعی، نگهداری نصب نمود. (مقادیر ۰/۳ و ۰/۱۳، مقادیر کرنش بحرانی حاصل از معیار ساکورایی می‌باشند).

انجمن تونل ایران

عددی در نظر گرفته شد. ۷۵ حالت عددی مختلف از وضعیت تونل‌ها، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت که در جدول شماره (۳) نمایش داده شده است. روش عملیات حفاری و طراحی نگهداری نیز در جدول شماره (۴) نمایش داده شده است.

جدول ۲- وضعیت پارامترهای ژئومکانیکی محل‌های تقاطع [۳].

مقاومت سنگ	سنگ نرم ($\sigma_c = 100 \text{ kg/cm}^2$) سنگ با مقاومت متوسط ($\sigma_c = 500 \text{ kg/cm}^2$) سنگ سخت ($\sigma_c = 1000 \text{ kg/cm}^2$)
ضریب توده سنگ	RMR = 30, 50, 70
ضخامت رویاره سنگی	100, 400, 700 (m)
ضریب فشار جانبی (K)	0.5, 1.0, 1.5
زاویه تقاطع	30°, 60°, 90°

نیست؛ بنابراین، یک روش طراحی دقیق مورد نیاز است.

۳- جدیدترین مطالعات عددی

در یکی از جدیدترین مطالعات عددی، هوسایو و همکارانش [۳]، پروژه تونل‌های بلند با تقاطع‌های زیاد را برای بررسی برگزیده‌اند. تونل ۱۲/۹ کیلومتری هوسیشن ۱۳ در تایوان، ۴۲ تقاطع به عنوان تونل‌های عبور عابر و وسایل نقلیه و تهویه را داراست. در ادامه به بررسی روش مورد استفاده این

تیم تحقیقاتی برای طراحی محل تقاطع تونل‌ها می‌پردازیم. برای کسب درک جامعی از رفتار سنگ در محل تقاطع تونل، هوسایو و همکارانش یک سری تحلیل‌های عددی سه‌بعدی را صورت دادند. این مطالعات در حالت‌ها و وضعیت‌های مختلف تونل‌ها برنامه‌ریزی شده بود که شامل مقاومت فشاری سنگ، ضریب توده سنگ، سنگ دربرگیرنده و زاویه‌ی تقاطع بود که در جدول (۲) نمایش داده شده است. دهانه‌ی تونل مورد بررسی ۱۲ متر در تونل اصلی و ۸ متر در تونل فرعی در شبیه‌سازی

جدول ۳- اعداد و ارقام مربوط به وضعیت تونل‌ها [۳].

مقاومت سنگ	RMR	$K = 1$			$k = 0.5$		$k = 1.5$	
		$H = 100 \text{ m}$	$H = 400 \text{ m}$	$H = 700 \text{ m}$	$H = 100 \text{ m}$	$H = 400 \text{ m}$	$H = 400 \text{ m}$	$H = 700 \text{ m}$
سنگ سخت	50	#1 △22 ♦38	#2 △23 ♦39	#3 △24 ♦40	-	-	#66	#67
	70	#4 △25 ♦41	#5 △26 ♦42	#6 △27 ♦43	-	-	#68	#69
	30	#7	#8	#9	#54	#55	#70	#71
	50	#10 △28 ♦44	#11 △29 ♦45	#12 △30 ♦46	#56	#57	#72	#73
سنگ با مقاومت متوسط	50	#13 △31 ♦47	#14 △32 ♦48	#15 △33 ♦49	#58	#59	#74	#75
	70	#16	#17	-	#60	#61	-	-
	30	#18 △34 ♦50	#19 △35 ♦51	-	#62	#63	-	-
	50	#20 △36 ♦52	#21 △37 ♦53	-	#64	#65	-	-
سنگ نرم	70							

#: مورد با زاویه‌ی تقاطع ۹۰°. Δ: مورد با زاویه‌ی تقاطع ۶۰°. ♦: مورد با زاویه‌ی تقاطع ۳۰°.

۱- نتایج تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها

نتایج جابجایی‌های تونل و مناطق پلاستیک در محل‌های مختلف و مراحل اجرا به دست آمدند. شاخص‌های جابجایی تونل در محل‌های مختلف و مراحل اجرا در جدول (۴) توصیف شده است.

نسبت مقاومت فشاری به فشار (σ_{cm}/P_0) توده سنگ، که σ_{cm} مقاومت فشاری تکمحوره توده سنگ و P_0 محدوده فشار است؛ فاکتور مهمی در بررسی رفتار تونل را مشخص می‌سازد. ۱۷ بطبق نتایج تحلیل‌ها، جابجایی سقف تونل (تاج تونل) در محل تقاطع با کاهش نسبت σ_{cm}/P_0 توده سنگ افزایش می‌یابد؛ که این نتیجه در شکل (۶) نمایش داده شده است.

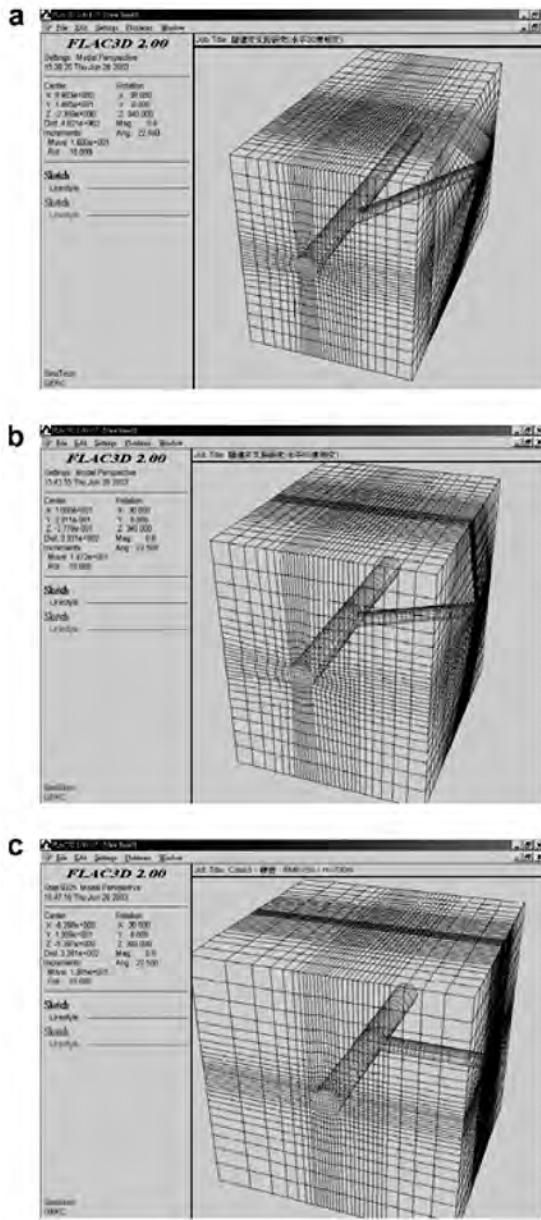
جابجایی سقف، زمانی که ضریب σ_{cm}/P_0 کمتر از $1/5$ است به صورت فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. این ضریب به عنوان یک شاخص برای وضعیت سنگ در ادامه بحث مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برنامه‌ی نرم‌افزاری FLAC ۳D برای شبیه‌سازی ساختمان و اجرای تونل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مش‌بندی تونل برای زوایای مختلف تقاطع در شکل (۵) نمایش داده شده است.

محدوده‌ی مش برای تونل اصلی $4/8$ برابر قطر تونل در جهت افقی و $5/2$ برابر قطر تونل در جهت عمودی می‌باشد. طول تونل اصلی 12 تا 15 متر قطر تونل به صورت متفاوت برای زوایای تقاطع مختلف در نظر گرفته شده است. مدل الاستیپلاستیک از معیار موهر- کلمب برای شبیه‌سازی عددی مورد استفاده قرار گرفته است.

مقاآمت فشاری و تغییرشکل توده سنگ بر اساس روش‌های تجربی که توسط هوک و همکارانش^{۱۴} و هوک- براؤن^{۱۵} پیشنهاد شده است منظور گردیده است. این روش‌های تجربی کاربرد وسیعی در جریان طراحی‌ها و بررسی صحبت پاسخ‌ها در تحلیل‌های برگشتی که در تایوان صورت گرفته است دارد.^{۱۶} [۷۳].

انجمن تونل ایران



شکل ۵-مشبندی‌های عددی برای زوایای مختلف تقاطع: (الف) زاویهٔ تقاطع ۳۰ درجه و (ب) زاویهٔ تقاطع ۶۰ درجه و (ج) زاویهٔ تقاطع ۹۰ درجه [۲].

برای تخمین تأثیر زاویه‌های تقاطع در تغییر شکل تونل، رابطه‌های بین جابجاگی اضافی سقف و زاویه‌های تقاطع در $(\Delta\sigma_m/\sigma_{m0})/\Delta\alpha$ شکل (۷) نمایش داده شده است. جابجاگی سقف در مواردی که زاویهٔ تقاطع ۳۰ درجه است به صورت عمده بیشتر از حالت‌هایی است که زاویه ۶۰ و ۹۰ درجه است؛ به علاوه این جابجاگی در تمامی زوایای تقاطع، وقتی که ضریب σ_{cm}/P_g کمتر از ۵/۰ باشد افزایش می‌یابد. نقاط شاخص در منحنی‌های نزولی در شکل (۷) نمایش داده شده‌اند. یک منحنی که نمایانگر مناطق مختلف تأثیرگذار از مناطقی که پتانسیل تأثیرگذار به علت حفر تونل دسترسی را شامل می‌گردد در شکل (۸) نمایش داده شده است. این معیار خوبی برای قضاوت در مورد مناطقی که پتانسیل تأثیرگذاری بیشتری را در اجرای تونل دسترسی دارا هستند مهیا می‌کند. در نقاط هاشورخورده در شکل (۸)، مناطق تحت تأثیر در اجرای تونل دسترسی که انتظار می‌رود مشکل داشته باشند نمایش داده شده است. در نقاط بالای آن منطقه‌ی هاشورخورده، تأثیرات مهمی در زمان اجرای تونل دسترسی مورد انتظار نیست. در این پروژه، تونل دسترسی در منطقه‌ای قرار دارد که دارای کیفیت سنگ بهتری است. بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد زاویهٔ تقاطع ۹۰ درجه، بهترین حالت برای تونل‌های دسترسی باشد. فقط زمانی که توده سنگ در وضعیت فشارنده بالایی قرار داشته باشد؛ یعنی $0.25 \leq \sigma_{cm}/P_g \leq 0.35$ باشد تأثیر مهم و اساسی خواهد داشت؛ در دیگر شرایط و در موقعیتی با زاویهٔ تقاطع تندر، تونل دسترسی باید در منطقه‌ای که سنگ آن دارای کیفیت بهتری است قرار گیرد تا از تأثیرات مضر اجرایی تونل دسترسی جلوگیری گردد [۳].

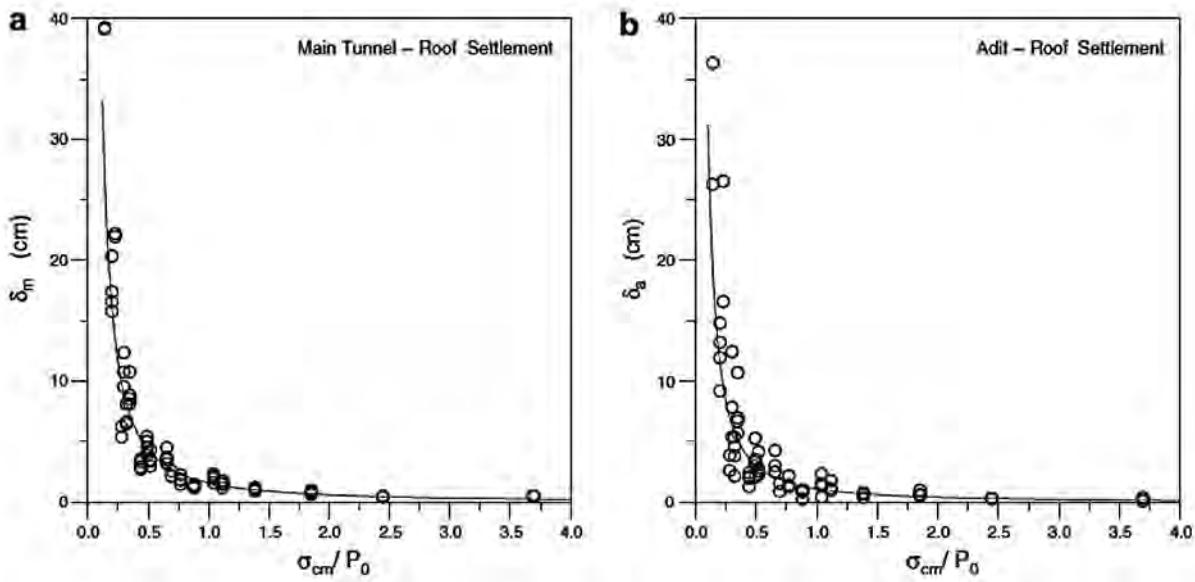
۲-۳- طراحی نگهداری برای تقاطع تونل

یک مساله‌ی بحرانی برای تقاطع تونل، طراحی نگهداری تکمیلی برای آن است که شامل افزایش بار نگهداری و گستره‌ی به کارگیری نگهداری تقویت شده می‌باشد. تجارب مهندسین و موارد اجرایی پیشین، عموماً برای حل این مشکل در این موارد به کار گرفته می‌شود؛ هرچند تناسب طراحی تونل و به کارگیری تجارب، هنوز نیازمند آزمایشات بسیار زیادی با استفاده از تحلیل‌های عددی برای پروژه‌های مهم است. یک راهبرد کلی برای طراحی نگهداری در محل تقاطع تونل، بحث بر روی نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عددی است.

جدول ۴- شاخص‌های جابجاگی تونل در محل‌های مختلف و مراحل اجراء

توضیحات	حالت اختصاری
جابجاگی سقف تونل اصلی بعد از حفاری آن	σ_{m0}
جابجاگی سقف تونل اصلی بعد از حفاری تونل اصلی و تونل دسترسی	σ_m
جابجاگی اضافی سقف تونل اصلی حین حفاری تونل دسترسی ($\Delta\sigma_m = \sigma_m - \sigma_{m0}$)	$\Delta\sigma_m$
جابجاگی سقف تونل دسترسی با توجه به دوری از محل تقاطع	σ_{m0}
جابجاگی سقف تونل دسترسی با توجه به تزدیکی از محل تقاطع	σ_s
جابجاگی اضافی سقف تونل دسترسی در محل تقاطع ($\Delta\sigma_s = \sigma_s - \sigma_{m0}$)	$\Delta\sigma_s$

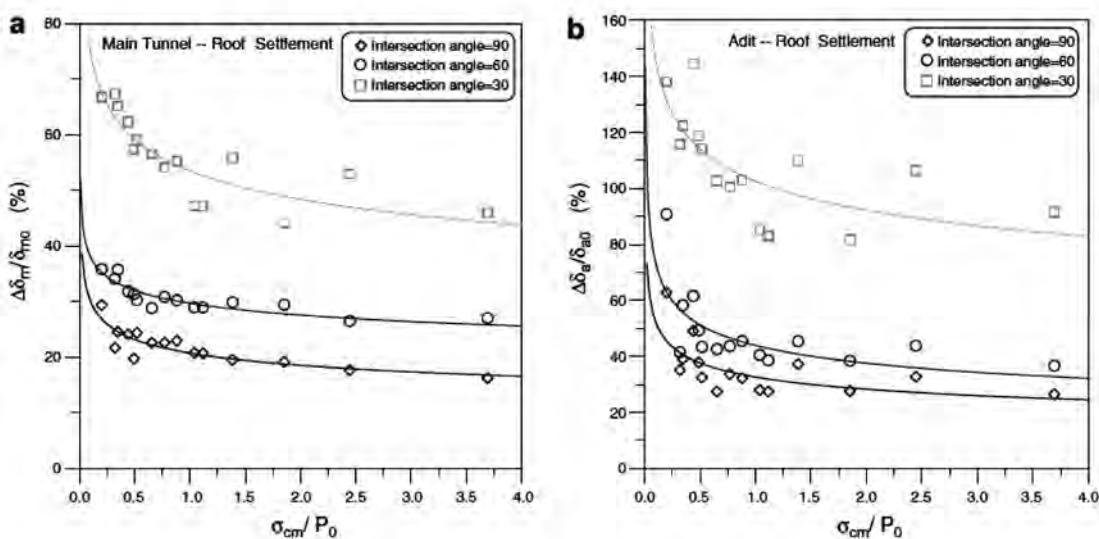
انجمن تونل ایران



شکل ۶- رابطه‌ی بین جابجایی سقف و ضریب مقاومت/فشار توده سنگ در محل تقاطع تونل:
(a) جابجایی سقف در تونل اصلی و (b) جابجایی سقف در تونل دسترسی. [۳]

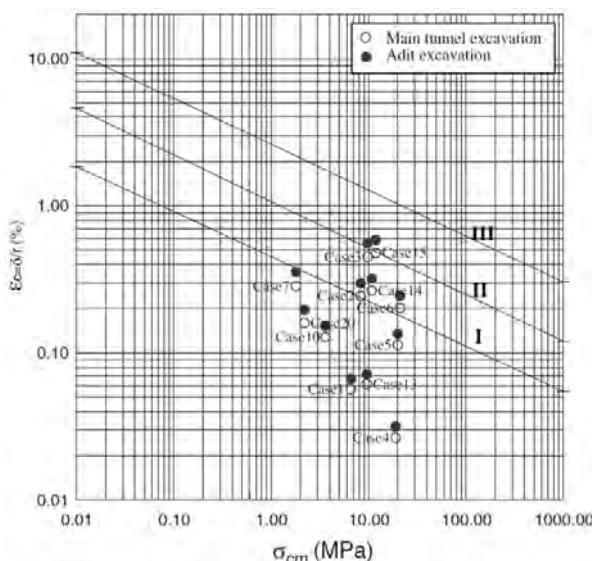
داشته است؛ برای تحلیل پایداری تونل برگزیده شده است. سه سطح هشدار (ساکورایی): I و II و III بر اساس رابطه‌ی کرش در تاج تونل^{۲۰} (ϵ_0) و مقاومت فشاری تکمحوره توده سنگ^{۲۱} (σ_{cm}) پایه‌ریزی و به عنوان یک معیار تجربی برای تحلیل اینمی تونل پیشنهاد شده است.

۳-۱- کارهای نگهداری تکمیلی
ارزیابی و تحلیل پایداری تونل برای موارد تقاطع، اصلی‌ترین مسئله است. یک معیار اینمی تجربی که توسط ساکورایی^{۱۸} پیشنهاد شده و به کارگیری موفقی در توده سنگ‌های درزه‌دار توسط چرن و همکارانش^{۱۹} در تایوان



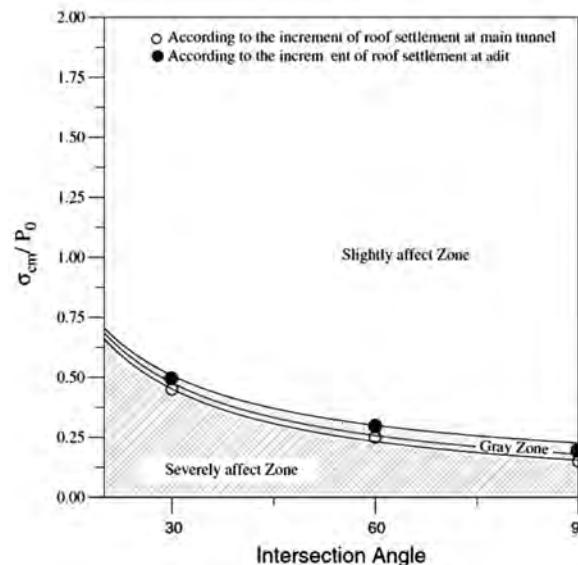
شکل ۷- رابطه‌ی بین جابجایی اضافی سقف و زاویه‌ی تقاطع تونل:
(a) جابجایی اضافی سقف در تونل اصلی و (b) جابجایی اضافی سقف در تونل دسترسی [۳].

قرار می‌گیرد. منظور از سیستم نگهداری سنگین‌تر آن است که اگر در یک پروژه، بر اساس وضعیت‌های مختلف سنگ، تیپ‌های مختلف نگهداری متناسب با آن تعریف شده باشد؛ در محل تقاطع تونل‌ها باید از تیپ بالاتر و سنگین‌تر نگهداری مورد استفاده در شرایط معمول تونل بهره برد. [۳]



شکل ۹- تحلیل پایداری تونل با تقاطع عمودی برای سنگ غیرفسارنده و کم‌فسارنده ($\sigma_{cm}/P_0 \geq 0.5$) [۳].

فلسفه‌ی طراحی اول در حقیقت مقرر می‌کند تا محل قرارگیری تقاطع تونل، عموماً از مناطق به‌اصطلاح "خوب زمین‌شناسی" انتخاب شود. مانند محل‌هایی که انتظار تغییر شکل شدید نمی‌رود. تقویت سیستم نگهداری به‌طور شایانی به جلوگیری از پتانسیل‌های شکست گوهای منجر می‌شود. مطابق شکل (۹)، تغییر شکل تونل برای سنگ‌های غیرفسارنده و کم‌فسارنده تقریباً پایین سطح هشدار II قرار دارد. این تونل‌ها معمولاً در وضعیت پایدار، بدون هیچ فشار مشکل‌سازی باقی می‌مانند؛ بنابر این، فلسفه‌ی طراحی اول برای زمین‌هایی که غیرفسارنده و کم‌فسارنده هستند قابل قبول است ($\sigma_{cm}/P_0 \geq 0.5$).



شکل ۸- معیاری برای قضاوت در مورد تأثیرات

و رفتار تونل در تقاطع [۳].

وضعیت پایدار، زمانی انتظار می‌رود که نقاط داده‌های اطلاعاتی در زیر سطح هشدار II قرار داشته باشد و بر عکس، زمانی که این نقاط داده‌ای، بالای سطح هشدار III قرار داشته باشد با یک حالت و وضعیت دشوار و انسداد تونل و خرابی نگهداری‌ها رو برو خواهیم بود. بین دو سطح هشدار II و III یک منطقه‌ی گذار و انتقال است؛ برخی از تونل‌ها در این وضعیت پایدار و برخی دیگر با تخریب نگهداری مواجه بوده‌اند. وضعیت اینمی تونل‌ها بر اساس سه سطح هشدار، برای بازه‌های مختلف میزان فشارنده‌گی سنگ (سه حالت متفاوت از میزان فشارنده‌گی سنگ) در تونل‌هایی که زاویه‌ی تقاطع آن‌ها ۹۰ درجه بوده به‌اضافه‌ی نتایج به‌دست آمده از تحلیل پایداری آن‌ها، در شکل‌های (۹) تا (۱۱) به تصویر کشیده شده است.

برای سنگ‌های غیرفسارنده و یا کم‌فسارنده در شکل (۹) می‌توانیم بینیم که تونل‌ها در وضعیت پایدار خواهند بود. برای سنگ‌های فشارنده‌ی معمولی و بسیار فشارنده ممکن است حالت پایدار و ناپایدار در ارتباط با وضعیت واقعی سنگ رخ دهد [۳].

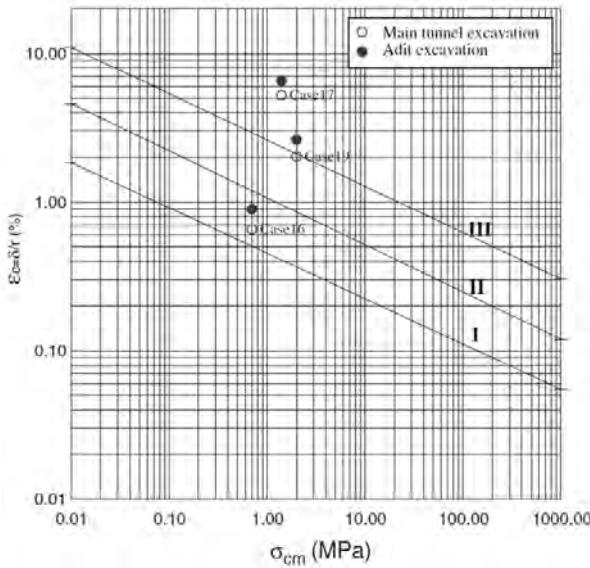
امروزه عموماً سه دسته‌بندی در فلسفه طراحی در تقاطع تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که به‌طور خلاصه عبارتند از:

۱- فقط تقویت موضعی سیستم نگهداری در محل تقاطع تونل، مانند افزایش ضخامت شاتکریت و افزایش چگالی یا طول راک‌بولت.

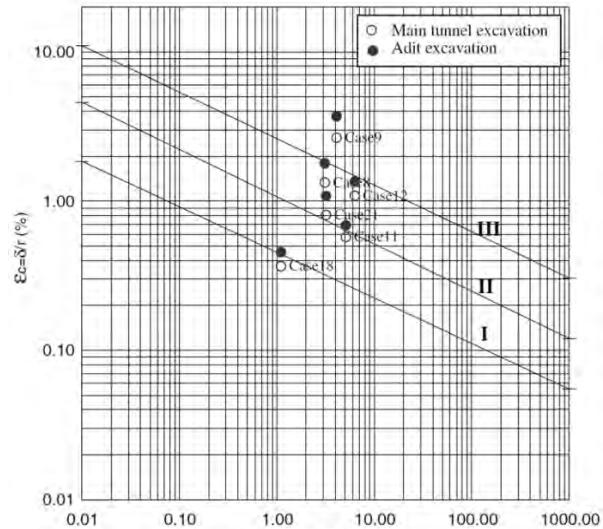
۲- هیچ تفاوتی بین محل تقاطع و دیگر نقاط معمولی تونل وجود ندارد؛ اما ضرایب کاهنده برای توده سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد تا به نصب سیستم نگهداری سنگین‌تر در محل تقاطع منجر گردد. برای نمونه، $\frac{1}{3}$ مقدار Q برای محل تقاطع تونل پیشنهاد می‌گردد.

۳- سیستم نگهداری سنگین‌تر مستقیماً برای طراحی محل تقاطع اعمال می‌شود. برای مثال، تیپ IV نگهداری برای سنگ تیپ III مورد استفاده

انجمن تونل ایران



شکل ۱۱- تحلیل پایداری تونل با تقاطع عمودی برای سنگ بسیار
فشارنده $(\sigma_{cm}/P_0 \leq 0.25)$



شکل ۱۰- تحلیل پایداری تونل با تقاطع عمودی برای
سنگ فشارنده معمولی $(0.25 \leq \sigma_{cm}/P_0 \leq 0.5)$

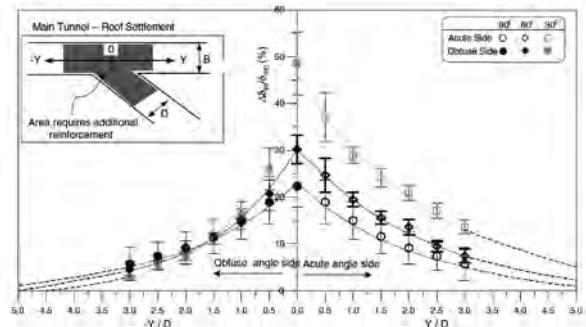
۲-۲-۳- گستره‌ی نگهداری تقویت شده
گستره‌ی نگهداری تقویت شده و اضافی در محل تقاطع تونل، از دیگر مباحث پراهمیت است. رابطه‌ی بین جابجایی اضافی در سقف و فاصله از محل تقاطع در شکل (۱۲) نمایش داده شده است؛ رابطه‌ای که می‌توان برای ارزیابی این گستره که نیازمند نگهداری تقویت شده و اضافی است مورد استفاده قرار داد.

شکل (۱۲) نشان می‌دهد که چطور جابجایی اضافی سقف با فاصله گرفتن از مرکز تقاطع کاهش می‌یابد. در سمتی که زاویه‌ی حاده قرار دارد، کوچک‌تر بودن زاویه‌ی تقاطع باعث می‌گردد که افزایش بیشتری در جابجایی سقف نسبت به حالت تقاطع با زاویه‌ی بزرگ‌تر ایجاد گردد. در حالتی که زاویه‌ی تقاطع منفرجه است؛ هرچند همان افزایش جابجایی وجود دارد؛ لکن فقط این جابجایی در اطراف مرکز تقاطع می‌باشد.

در طراحی‌های صورت گرفته در تایوان، محدوده‌ای که نیاز به نگهداری اضافی در تقاطع برای آن در نظر گرفته شده است، $0/5$ تا $1/۰$ برابر قطر تونل (D)، در دو سمت تونل اصلی و دسترسی می‌باشد. این طراحی عموماً استوار بر پیشنهادهای می‌باشد که نتیجه‌ی تحقیقات محققین مختلف در این عرصه است. این محدوده با $1/۰$ درصد افزایش در وضعیت تغییر شکل تونل باید با نگهداری اضافی تقویت گردد و این نظریه با یک رویه‌ی منطقی و مستدل مطرح گردیده است.^{۲۲}

مقایسه‌ی نتایج تحقیق جدید صورت گرفته^{۲۳}، منجر به این نتیجه می‌گردد (شکل ۱۲)؛ تحقیق حاضر یک افزایش حدودی 10 تا 20 درصدی در جابجایی سقف را در تقاطع عمودی تونل اختیار کرده است؛ هرچند برای زوایای کوچک‌تر تقاطع، منطقه‌ای که نیاز به

فلسفه‌های دوم و سوم طراحی، سیستم نگهداری سنگین و تقویت شده را برای مناطق پیرامونی تقاطع می‌پذیرد. اصولاً این نوع طراحی‌ها برای سنگ‌های غیرفشارنده و کم‌فشارنده معمولاً بسیار محافظه‌کارانه است. این فلسفه‌ی طراحی، بیشتر برای زمین‌های فشارنده معمولی، برای تقلیل تغییر شکل تونل‌هایی که شاخص آن‌ها بین سطوح هشدار II و III قرار دارد مناسب است (در شکل ۱۰ ببینید). برای وضعیت بسیار فشارنده، تغییر شکل تونل فراتر از سطح هشدار III قرار دارد (در شکل ۱۱ ببینید). صرف کاهش جابجایی تونل برای اینمی آن ناکافی است. پذیرش سیستم طراحی نگهداری سنگین به تنها برای غلبه بر وضعیت سنگ بسیار ضعیف ممکن نیست. تمهیدات کمکی، مانند ترتیب خاص حفر تونل و یا تقویت وضعیت زمین با تزریق دوغاب، باید برای بهبودی پایداری تونل مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس بحث‌های صورت گرفته قبلی، سه طبقه‌بندی طراحی نگهداری برای وضعیت‌های مختلف زمین‌شناسی پیشنهاد می‌گردد که در جدول (۶) نمایش داده شده است^[۳].



شکل ۱۲- رابطه‌ی بین جابجایی اضافی سقف در تونل اصلی و فاصله از مرکز تقاطع [۳].

۴ - نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، مروء و معرفی اجمالی برخی از تحقیقات صورت گرفته و تکنیک‌های مدل‌سازی عددی در زمینه‌ی طراحی محل تقاطع تونل‌ها و هم‌چنین بررسی مختصر تعدادی از مطالعات مطرح پیشین، بدون قضاوت در مورد نقاط ضعف و قوت روش‌های مختلف مورد استفاده آن‌ها در طراحی مهندسی و بهینه تقاطع فضاهای زیرزمینی و تنها با هدف معرفی مسیر پژوهش‌ها و پژوهشگران برتر در این زمینه صورت گرفت. در ادامه، تکنیک به کارگرفته شده در یکی از جدیدترین پژوهش‌های صورت گرفته توسط تیمی تحقیقاتی که مطالعات بسیاری در این موضوع صورت داده‌اند، مورد بررسی دقیق قرار گرفت.

بر اساس تکنیک به کارگرفته شده در این مطالعه و خروجی مدل‌های عددی سه‌بعدی، نتایج به دست آمده نشانگر آن است که ضربه فشار توده سنگ (σ_{cm}/p_0)، نقش اصلی را در چگونگی رفتار تقاطع بازی می‌کند.

خطوط راهنمای طراحی نگهداری در محل تقاطع تونل بر اساس شرایط فشارندگی سنگ طرح و پیشنهاد می‌گردد. سه طبقه‌بندی برای طراحی نگهداری بر اساس شرایط متفاوت زمین‌شناختی مطرح می‌گردد. برای سنگ‌های غیرفسارنده و کم‌فسارنده، نگهداری اضافی اساسی نیاز نیست.

سیستم نگهداری سنگین‌تر برای انواع سنگ‌های فشارنده معمولی و بسیار فشارنده نیاز است. منطقه‌ای که نیاز به نگهداری اضافی دارد بر اساس تحلیل‌های عددی مشخص می‌گردد.

هرچند که این پیشنهادها تنها به عنوان یک راهنمای کلی برای طراحی مقدماتی کارآیی دارد؛ امتحان و ارزیابی مجدد و چندین‌باره بر اساس تحلیل‌های سه‌بعدی برای تونل‌های مهم و در وضعیت ضعیف زمین‌شناختی، قویاً توصیه می‌گردد. رفتارنگاری و نظارت بیشتر منطقه و بازرسی‌های ظاهری بعدی، برای اطمینان بیشتر از پایداری تونل در طول

نگهداری اضافی دارد گستردگی است؛ به ویژه این محدوده در مناطقی که زاویه‌ی حاده دارند بیشتر است. براساس نتایج نشان داده شده در شکل (۸)، با وضعیت زمین‌شناختی، زاویه‌ی تقاطع و منطقه‌ای که در سمت زاویه‌ی حاده یا منفرجه قرار گرفته است، بین ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش به عنوان ضریب افزایش نگهداری در نظر گرفته می‌شود.

پیشنهادهای مناطقی که نیاز به نگهداری اضافی دارند در جدول (۵) نمایش داده شده است؛ این پیشنهادها تنها به عنوان یک راهنمای کلی برای طراحی مقدماتی کارآیی دارد و ضروری است جهت اطمینان یافتن از اینمنی تقاطع تونل، تحلیل‌های سه‌بعدی برای پژوهش‌های مهم و یا مناطقی با وضعیت زمین‌شناختی ضعیف، صورت پذیرد.

جدول ۵- راهبرد طراحی نگهداری در محل تقاطع تونل [۳].

پیشنهاد سیستم نگهداری	وضعیت زمین‌شناختی
غیرفسارنده و کم‌فسارنده ($\sigma_{cm}/P_0 \geq 0.5$)	<ul style="list-style-type: none"> فقط تقویت سیستم نگهداری پایه چلوگیری از شکستهای گوشه‌ای در محل تقاطع تونل‌ها؛ مانند افزایش ضخامت شانکریت و افزایش چگالی (کاهش فاصله‌داری) یا طول راکوردهای نصب گردد.
لشارنده معمولی ($0.25 \leq \sigma_{cm}/P_0 \leq 0.5$)	<ul style="list-style-type: none"> کاهش ضربه نوچه سنگ، برای به کارگیری سیستم نگهداری مستکین‌تر با طراحتی می‌نماید نگهداری محافظه‌کاراندات در محل تقاطع تونل. ابزار دقیق (رفتارنگاری) برای نظارت مستمر پایداری تونل باید نصب گردد.
بسیار فشارنده ($\sigma_{cm}/P_0 \leq 0.25$)	<ul style="list-style-type: none"> عملیات حفاری محاطه‌کارانه در محل تقاطع باید صورت گیرد. تمهیمات کمکی (مانند ترتیب خاص: حفر تونل و ایا تقویت وضعيت زمین با تزویق دوغاب، برای بهبودی پایداری تونل) در صورت نیاز مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود برای مستایب به طراحتی مناسب برای تونل، از روش تحلیل عددی سه‌بعدی استفاده شود. ابزار دقیق (رفتارنگاری) برای نظارت مستمر پایداری تونل باید نصب گردد. هم‌چنین بازرسی از وضعیت ظاهری سازه به صورت مداوم و منوالی و با دقت به جزئیات، صرمه با افزایش دوره‌های رفتارنگاری در حین اجرای تونل.

- [5] Japan Nuclear Cycle Development Institute, 1999: “Project to Establish the Scientific and Technical Basis for HLW Disposal in Japan” (H12 Report in Short) to the Atomic Energy Commission of Japan (AEC) for an official Review: Supporting Report 2: “Repository Design and Engineering Technology”; (<http://www.jaea.go.jp/english/index.shtml>).
- [6] Hsiao, F. Y. & Yu, C. W. & Chern, J. C.; 2005: “Modeling the Behaviors of the Tunnel Intersection Areas Adjacent to the Ventilation Shafts in the Hsuehshan Tunnel”; World Long Tunnels; pp. 81-90.
- [7] Hoek, E.; Brown, E. T.; 1998: “Practical Estimates of Rock Mass Strength”; International Journal Rock Mechanics and Mining Sciences. 34; pp. 1165-1186.

۷- پی نوشت:

- 1- Riely (1964)
- 2- Pant (1971)
- 3- Thareja et al. (1980, 1985)
- 4- Takino et al. (1985)
- 5- Tsuchiyama et al. (1988)
- 6- Pöttler, R. (1992)
- 7- Marshalling
- 8- JNC (Japan Nuclear Development Institute, 1999)
- 9- Hoek & Brown
- 10- Nonomura et al. (2004)
- 11- Chen et al. (2002)
- 12- Hsiao et al. (2004)
- 13- Hsuehshan
- 14- Hoek et al. (2002)
- 15- Hoek and Brown (1998)
- 16- Chern et al. (2005)
- 17- Chern et al. (1996) & Hoek and Marinos (2000)
- 18- Sakurai (1983, 1993)
- 19- Chern et al. (1998)
- 20- Crown Strain
- 21- Uniaxial Compressive Strength of Rock Mass
- 22- Chen & Chang, (2000) & Chen et al., (2002)
- 23- Hsiao et al. (2009)

زمان اجرا بسیار مهم و حیاتی است [۳].

جدول ۷- پیشنهادها برای منطقه‌ی با نگهداری اضافی.

وخطعت زمین شناختی		
مقادیر پیشنهادی برای سیستم نگهداری اضافی		
* سیستم نگهداری اضافی در محل تقاطع مورد نیاز نیست: فقط تقویت نفاطی که پتانسیل شکست‌های گویا دارد.		
زاویه نقاطع	سمت زاویه‌ی حاده	سمت زاویه‌ی متغیره
۱.۰D	1.0D*	۹۰°
1.0D	1.5D	۷۰°
1.0D	2.5D	۴۰°
1.5D	1.5D	۹۰°
1.5D	2.5D	۷۰°
1.5D	3.5D	۴۰°

قطر تونل دسترسی.

۵- تقدیر و تشکر
در پایان از زحمات و راهنمایی‌های دکتر احمد جعفری و رهنمودها،
مساعدت و پیگیری دکتر حسین سالاری‌راد برای انجام هر چه بهتر این
پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنم.

۶- منابع

- [۱] خراسانی قمصری، مهدی‌یار: ”تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری محل تقاطع تونل دسترسی و تونل‌های دوقلوی متروی اصفهان با استفاده از مدل سازی سه‌بعدی“؛ پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد؛ دانشکده‌ی تحصیلات تکمیلی واحد تهران جنوب؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ ۱۳۸۹.
- [۲] اشجاری، رضا: ”بررسی سه‌بعدی تنفس در اطراف مغارها با نگرشی بر مغار مسجد سلیمان“؛ پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد؛ دانشکده‌ی فنی و مهندسی؛ دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۳.
- [۳] Hsiao, F. Y. & Wang, C. L. & Chern, J. C.; 2009: “Numerical Simulation of Rock Deformation for Support Design in Tunnel Intersection Area”; Tunnelling and Underground Space Technology, 24; pp. 14-21.
- [۴] Pöttler, R.; 1992; “Three-Dimensional Modelling of Junctions at the Channel Tunnel project”; International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 16; pp. 683-695.

سیستم‌های نگهداری اولیه تونل‌های شهری: دائمی یا موقت؟

محمد مرادی، کارشناس ارشد استخراج معدن، شرکت خدمات مهندسی برق، مشانیر

m.moradi@moshanir.com

چکیده:

امروزه احداث تونل‌های شهری و گسترش خطوط ریلی (مترو) از اولویت‌های اصلی مسوولین در شهرهای بزرگ است، که در ایران نیز به نحو گسترده و محسوسی در حال اجرا می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مسائل در احداث این تونل‌ها و با توجه به طبیعت و حساسیت آنها، طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری پس از اتمام عملیات حفاری می‌باشد. اغلب سیستم‌های نگهداری که توسط طراحان برای این تونل‌ها در نظر گرفته شده است، شامل دو مرحله نگهداری اولیه و ثانویه می‌باشد. نگهداری اولیه به صورت یک سیستم نگهداری موقت در نظر گرفته شده و متعاقب آن سیستم نگهداری ثانویه بر اساس کلیه بارهای اعمالی به سازه مورد نظر به صورت یک سیستم نگهداری سنگین طراحی می‌شود.

در این مقاله دلایل درنظر گرفته شدن سیستم نگهداری اولیه به عنوان یک سیستم موقت و همچنین راه کارها و فن آوری‌های لازم در حالتی که بتوان از سیستم نگهداری اولیه به عنوان جزئی از یک سیستم پایا یا دائمی استفاده نمود و در نتیجه سیستم نگهداری ثانویه (نهایی) را بصورت یک سیستم سبک‌تر تقلیل داد، مورد اشاره قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تونل‌های شهری، شاتکریت، سیستم نگهداری اولیه و موقت، الیاف فولادی و پلیمری

فشار آب، فشار تورمی خاک و غیره) در مرحله طراحی به سیستم نگهداری ثانویه است که افزایش ضخامت آنرا در بر دارد.

عدم پذیرش درصد رسیک‌پذیری عملکرد سیستم‌های نگهداری توسط طراحان نیز نقش مهمی در افزایش این ضخامت سیستم داشته، به‌طوری‌که طراحان با در نظر گرفتن یک سیستم نگهداری سنگین، اطمینان ۱۰۰ درصدی را جهت پایداری این فضاهای تحت بدترین شرایط حاصل نموده و هیچ گونه رسیکی را جهت کاهش ضخامت و واگذار نمودن بخشی از نگهداری به خود توده سنگی یا خاکی که جزء اصول اصلی روش NATM می‌باشد، نمی‌پذیرند. مسلم است یک چنین نگرشی علاوه بر تحمیل هزینه‌های بالا، مدت زمان اجرای پروژه را نیز افزایش می‌دهد.

اجرای صحیح سیستم نگهداری به همراه استفاده از مصالح و مواد مناسب و با دوام می‌تواند یک سیستم نگهداری موقت را به جزئی از یک سیستم پایا یا دائمی تبدیل نماید که در نتیجه این امر ضخامت سیستم نگهداری ثانویه کاهش می‌یابد.

نتیجه کاهش ضخامت، کم شدن سطح مقطع تونل، کاهش عملیات حفاری و انتقال مواد مصالح، کاهش مصرف نگهدارنده مورد نیاز و غیره، در نهایت کاهش هزینه‌ها و مدت زمان اجرای پروژه می‌باشد.

در سالیان اخیر استفاده از سیستم‌های نوین نگهداری که قابلیت تطبیق زیادی با شرایط محیطی پیرامون فضای زیرزمینی دارند به طرز گستردگی در حال افزایش می‌باشد. از جمله این سیستم‌ها می‌توان به شاتکریت تربه همراه الیاف فولادی و پلیمری و یا ترکیبی از هر دو و یا استفاده از پانل‌های سه بعدی (شکل ۱) به عنوان سیستم نگهداری دائمی اشاره نمود.

۱- مقدمه

طراحی و اجرای صحیح سیستم‌های نگهداری یکی از مهم‌ترین مراحل احداث فضاهای زیرزمینی می‌باشد. با توجه به مشخصات هندسی فضا و جنس مصالح در برگیرنده آن و سایر پارامترهای ژئوتکنیکی طرح، تطابق مناسب سیستم نگهداری به کار رفته با شرایط محیطی می‌تواند عملکرد این سیستم‌ها را افزایش دهد.

از آنجا که اغلب پروژه‌های تونل شهری در کشور به روش جدید تونل‌سازی اتریشی (NATM) حفاری می‌شوند، انتخاب صحیح نوع و جنس سیستم‌های نگهدارنده و زمان نصب آنها با توجه به اندرکنش میان توده دربرگیرنده فضا با سیستم نگهداری عملکرد آنرا افزایش می‌دهد.

کیفیت پایین مصالح مورد استفاده در سیستم‌های نگهداری و اجرای نامناسب آنها طراحان را وادار می‌سازد تا در محاسبات مربوط به طراحی نگهداری از ضرایب اینمی بالای استفاده نمایند. از طرفی گاهماً پیمانکاران نیز در هنگام اجراء عملیات نصب سیستم نگهداری را به منظور تسريع در پیش روی جبهه‌های کاری با کیفیت پایین تری انجام می‌دهند. مجموعه این عوامل باعث می‌شود تا ضخامت سیستم‌های نگهداری طراحی شده بسیار زیاد شود، به‌طوری‌که اغلب در این پروژه‌ها مجموع ضخامت نگهداری اولیه و ثانویه به بیش از ۷۰ سانتی‌متر رسیده که این امر بدان معنا است که نزدیک ۱/۵ متر از قطر تونل را سیستم نگهداری تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که ضخامت زیاد سیستم‌های نگهداری نتیجه در نظر گرفتن سیستم نگهداری اولیه به صورت موقت و نه جزئی از سیستم نهایی می‌باشد که ماحصل این تفکر، اعمال مجدد کلیه بارهای وارد (استاتیک، دینامیک،

انجمن تونل ایران

۲- سیستم (روش)های مختلف نگهداری تونل‌های شهری
 این سیستم‌ها شامل قاب‌های فولادی (Frame)، تیرهای مشبک (Welded Wire mesh)، شبکه‌های فولادی جوشی (Lattice girder)، بتن پاشیده (Shotcrete)، پوشش بتنی مسلح به فولاد (Concrete Lining) و قطعات پیش ساخته بتنی می‌باشد که بسته به شرایط موجود به صورت مجزا و یا ترکیبی از یکدیگر به کار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال در شکل ۲ به کارگیری قطعات پیش ساخته بتنی برای نگهداری نهایی تونل میلان-رم مشاهده می‌شود [۷].

سیستم‌های پوشش در تونل‌های شهری به سه حالت ۱- تک پوسته‌ای (Single Shell)، ۲- دو پوسته‌ای (Double Shell) و ۳- تک پوسته‌ای دو مرحله‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. طبقه‌بندی و نوع پوشش به کار رفته در هر یک از روش‌های فوق در جدول شماره ۱ ارایه شده است.

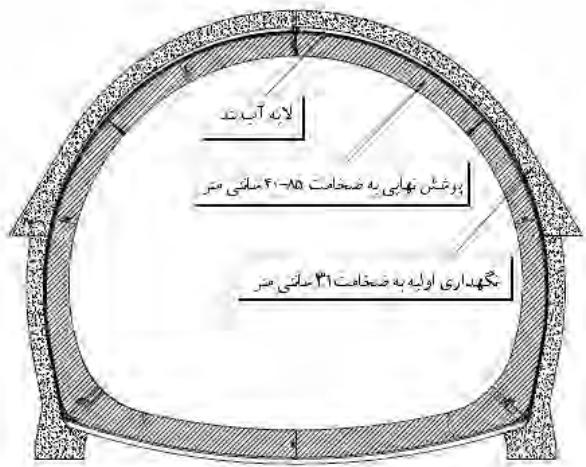


شکل ۱- نمونه‌ای از پانل‌های سه بعدی برای پوشش تونل و قابلیت باربری جالب آن

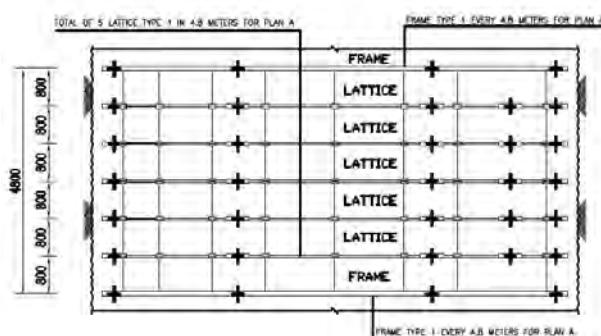
جدول ۱- انواع مختلف سیستم‌های پوشش در تونل‌های شهری

ردیف	سیستم پوشش	نوع پوشش و مصالح به کار رفته	توضیحات
۱	تک پوسته‌ای	قطعات پیش ساخته بتنی	در تونل‌هایی که توسط دستگاه‌های تمام مقطع (TBM) حفاری می‌گردد مورد استفاده قرار می‌گیرند.
		بتن پاشیده تر مسلح به شبکه فولادی جوشی	بتن پاشیده تر مسلح به شبکه فولادی جوشی
		بتن پاشیده دائمی (پایا) و آب بند	بتن پاشیده دائمی (پایا) و آب بند
		پوشش اولیه موقت + پوشش ثانویه آب بند بتن مسلح به فولاد	بتن پاشیده خشک مسلح به الیاف کنترل ترک و مسلح به شبکه فولادی جوشی
۲	دو پوسته‌ای	پوشش اولیه موقت + پوشش ثانویه آب بند بتن مسلح به الیاف سازه‌ای فولادی یا پلیمری اصلاح شده (HPP)	پوشش اولیه موقت + غشای آب بند + بتن مسلح به فولاد
		پوشش اولیه موقت + غشای آب بند + بتن مسلح به الیاف سازه‌ای	پوشش اولیه موقت + غشای آب بند + بتن مسلح به الیاف سازه‌ای
۳	تک پوسته‌ای دو مرحله‌ای	جهت افزایش کارآیی و سرعت و سهولت اجرا اغلب، پوشش‌های تک پوسته‌ای در زمین‌های غیر سنگی بصورت دو مرحله ای اجرا می‌شوند. بدین صورت که در مرحله اول بخشی از پوشش نهایی که قابلیت تحمل بارهای موقت حفاری را داشته باشد اجرا شده و پس از پیشرفت حفاری قسمت باقیمانده پوشش اجرا می‌شود. این سیستم در پوشش‌های تک پوسته‌ای بتن پاشیده سیار مناسب است. البته این سیستم پوشش می‌تواند با بتن پاشیده در مرحله اول و بتن در جای بدون افت در مرحله دوم نیز ایجاد گردد.	

در برخی از مقاطع مورد استفاده قرار گرفته شامل به کار گیری ۵ تیر مشبك و یک فریم به فاصله ۸۰ سانتی متر از هم، به علاوه دو ردیف واير مش به قطر ۸ میلی متر با یک شبکه 15×15 سانتی متر و شاتکریت به ضخامت ۳۱ سانتی متر می باشد [۱].



شکل ۳- مشخصات هندسه تونل و ضخامت نگهداری اولیه و نهایی (تیپ A) پروژه خط ۳ مترو تهران [۱].



شکل ۴- مشخصات یکی از سیستم های نگهداری اولیه پروژه خط ۳ مترو تهران [۱].

۴- سیستم نگهداری اولیه متدالوں تونل در خاک
در زمین های خاکی که با روش های NATM حفاری می شوند، سیستم نگهداری اولیه عموماً متشکل از قاب فولادی یا تیر مشبک ساخته شده از میلگرد یا ترکیبی از این دو سیستم است. این مجموعه در ادامه با بتن پاشی و نصب شبکه فولادی جوشی و بتن پاشی مجدد برای پر کردن فضای بین قاب ها برای انتقال نیرو به آنها و یا پر کردن فضای داخل تیر مشبک و افزایش مقاومت آن کامل می شود.

از زمانی که قاب یا تیر مشبک نصب می شود تا زمانی که سیستم با بتن پاشی کامل شده و بتن پاشیده مقاومت کافی برای انتقال و تحمل بار پیدار



شکل ۲- به کار گیری قطعات پیش ساخته بتنی جهت نگهداری نهایی تونل میلان-رم [۷].

۳- انواع پوشش های اولیه

با توجه به نقشه ها و گزارشات اجرایی پروژه های مختلف تونل های شهری، طراحان معمولاً سیستم پوشش دو پوسته ای را برای نگهداری تونل ها در نظر می گیرند. در این حالت بخش عمده تونل های شهری با روش های سنتی و یا استفاده از روش جدید تونل زنی اتریشی (N A T M) توسط ماشین آلات نیمه مکانیزه حفاری می شوند. انواع پوشش های اولیه در نظر گرفته شده در سیستم های پوششی دو پوسته ای و تک پوسته ای دو مرحله ای در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- انواع مختلف پوشش های اولیه سیستم های پوششی دو پوسته ای و تک پوسته ای دو مرحله ای مورد استفاده در تونل های شهری

ردیف	نوع پوشش
۱	بتن پاشیده غیر مسلح
۲	بتن پاشیده مسلح با یک یا چند لایه شبکه های فولادی جوشی
۳	بتن پاشیده مسلح با شبکه فولادی جوشی و تقویت شده با تیر مشبک
۴	بتن پاشیده مسلح با شبکه فولادی جوشی و تقویت شده با قاب فولادی
۵	بتن پاشیده مسلح به الاف سازه ای فولادی
۶	بتن پاشیده مسلح به الاف پلیمری اصلاح شده
۷	بتن پاشیده به پائل سه بعدی مشبک

شکل های ۳ و ۴ مشخصات و یکی از انواع سیستم نگهداری اولیه به کار رفته در پروژه خط ۳ مترو تهران را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود ضخامت نگهداری اولیه ۳۱۰ میلیمتر و نوع سیستم نگهداری که

انجمن تونل ایران

۵- سیستم نگهداری اولیه (موقعت یا دائم)

اگل سیستم‌های نگهداری اولیه اجرا شده در پروژه‌های مترو و تونل‌های شهری تحت عنوان سیستم‌های نگهداری موقعت نامیده شده و طراحان کلیه محاسبات اصلی و بارهای وارد راه جهت تأمین پایداری بلند مدت تونل بر روی سیستم نگهداری ثانویه که سیستمی پایا و دائمی می‌باشد متوجه کری کنند.

در سیستم نگهداری اولیه، روش اجرا و کیفیت سیستم نگهداری، دو عامل مهم در نحوه عملکرد این سیستم‌ها به عنوان نگهداری موقعت و یا دائم می‌باشد. عدم اجرای صحیح عوامل فوق سبب شده تا قاب‌های فولادی، تیرهای مشبک، شبکه فولادی و بتن پاشیده به کار رفته در مرحله اول پایدارسازی تونل‌ها دریک دوره کوتاه مدت و پس از مدت تقریبی چندین سال عملکرد خود را از دست داده و تمامی بار به سیستم نگهداری ثانویه (دائمی) وارد شود.

بته لازم به ذکر است که با توجه به بزرگی سطح مقطع تونل‌های شهری، حفاری این تونل‌ها در چند مرحله انجام شده و بنابراین استفاده از سیستم‌های نگهداری موقعت در برخی مقاطع این تونل‌ها اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این حالت از سیستم نگهداری موقعی در بین مراحل حفاری استفاده می‌شود و در مراحل بعدی حفاری و در جایی که تونل به شکل نهایی خود نزدیک می‌شود، این بخش تخریب و سیستم نگهداری اصلی در تونل اجرا می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- استفاده از پوشش موقعی در حفاری تونل با مقطع بزرگ [۷].

۶- کیفیت سیستم نگهداری ۱-۶- فولاد

فولاد به کار رفته در قاب‌های فولادی، تیرهای مشبک، شبکه جوشی فولادی و سایر تجهیزات فولادی در سیستم نگهداری اولیه به علت مقاوم نبودن در برابر خوردگی و زنگ زدگی پس از سپری شدن یک یا دو دهه خورده شده و کارآئی خود را از دست می‌دهند. در این حال اگر فولاد مصرفی با استفاده از روش‌های متداول نظری استفاده از اسپری ضد خوردگی و یا استفاده از فولاد ضد زنگ و خوردگی مقاوم گردد، می‌توانند به عنوان بخشی از یک سیستم نگهداری دائمی یا پایا عمل کنند. شکل‌های

کنده، قاب یا تیر مشبک باید قادر باشد بارهای وارد از خاک را تحمل نموده و از تغییر شکل‌های زیاد و ریزش گوههای آن جلوگیری نماید. استفاده از قاب یا تیر مشبک، دارای دشواری‌ها و مشکلات زیر است:

۱- خم کردن قاب و تیر مشبک نیاز به تمهدیدات ویژه اجرایی و اغلب دستگاه خم کن برقی یا حرارتی دارد.

۲- قاب و تیر مشبک به علت تمرکز مصالح و موضعی عمل کردن نیاز به اتصال و نشیمنگاه با صفحات انتهایی پیچی با مشخصات قابل قبول دارند؛ همچنین لازم است تا انتهای تمام قطعات آن جوش شوند.

۳- به علت دو بعدی بودن قاب و تیر مشبک، در حین نصب نیاز به اتصال قطعات مهار جانبی می‌باشد که عملیات اجرایی اضافی را می‌طلبد.

۴- در حین نصب نیز جلوگیری از اعوجاج و قرارگیری قاب و تیر مشبک به صورت عمود بر محور تونل بعضاً سیار مشکل است.

۵- قاب و تیر مشبک عموماً ضد خوردگی نیستند و نمی‌توانند به باربری نهایی دراز مدت پوشش تونل کمک قابل اطمینانی بنمایند.

۶- قاب و تیر مشبک دارای انعطاف پذیری کافی در حین اجرا نیستند و نمی‌توانند خود را باشکل معمولاً نامنظم حفاری تطبیق دهنند و در بخش‌های اضافه حفاری نیز مراحل اجرایی اضافی زیادی برای پر کردن و انتقال بار خاک به آنها مورد نیاز است (شکل ۵).

۷- بدليل نداشتن زائد برشی برای انتقال برش با بتون پاشیده، قاب نمی‌تواند بصورت مرکب عمل کند و عملاً ظرفیت باربری مرکب بتون و فولاد بهره‌ای نمی‌برد.

۸- در حفاری‌های دو مرحله‌ای نصب قسمت‌های پایینی قاب و اتصال آنها بهدلیل تمرکز و موضعی عمل کردن قاب یا تیر مشبک گام‌های حفاری قسمت پایین را محدود می‌نماید.

در تونل‌های شهری که اغلب در خاک حفاری می‌شوند و عمق حفاری آنها نسبتاً کم بوده و سریار ناشی از ساختمانها روی آنها زیاد است، روش‌های انتخابی باید قابلیت کنترل مناسب نشستهای سطحی را داشته باشند. بنابراین پوشش اولیه تونل که عمدۀ این وظیفه را به عهده دارد باید با توجه به منحنی پایداری حفاری در طول زمان، سختی اولیه مناسب را برای این منظور تأمین نماید. این کار در زمین‌های سخت با بتون پاشی هم امکان پذیر است ولی در زمین‌های معمولی یا نرم و ریزشی، استفاده از فولاد به صورت قاب یا خرپا اجتناب ناپذیر می‌باشد.

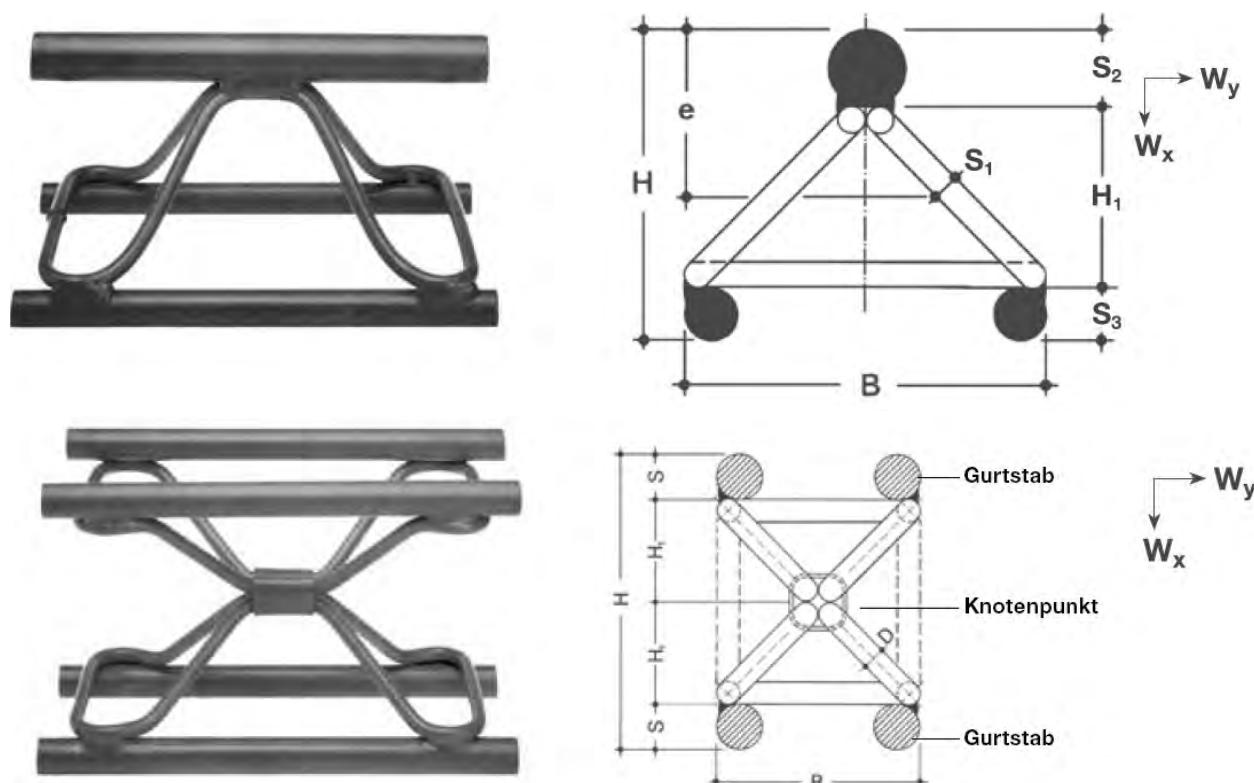


شکل ۵- به کار گیری قاب‌های فولادی و معضل اضافه حفاری در تونل راه

۷ و ۸ نمونه‌ای از سیستم‌های نگهداری فولادی ساخته شده در کارگاه به منظور استفاده در حالت نگهداری موقت و نیز انواع کارخانه‌ای آن که به عنوان بخشی از سیستم نگهداری دائم مورد استفاده قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمونه‌ای از سیستم نگهداری فولادی مشبك که به عنوان نگهداری موقت به کاربرده می‌شود.



شکل ۸- نمونه‌ای از تیرهای مشبک (Bars ۴-۳) کارخانه‌ای [۱۰].

انجمن تولن ایران

۲-۶- بتون پاشیده

- با توجه به آنچه بیان شد:
- در اجرای بتون پاشیده به روش خشک اگر از الیاف فولادی و یا پلیمری استفاده شود به سیستم نگهداری پایا یا دائمی می‌توان دست یافت.
 - در اجرای بتون پاشیده به روش تر و بدون استفاده از الیاف می‌توان به مقاومت‌های فشاری بالا و سیستم نگهداری دائم دست یافت.
 - در اجرای بتون پاشیده به روش تر و با استفاده از الیاف فولادی و یا پلیمری، علاوه بر اینکه ترکیب حاصله از مقاومت تراکمی بالایی برخوردار بوده، مقاومت کششی و خمشی بتون پاشیده نیز به مقدار چشمگیری افزایش یافته و علاوه بر ایجاد نگهداری دائم منجر به حذف واپرמש و حذف و یا افزایش فواصل بین تیرهای مشبك و یا قاب‌های فولادی می‌شود.
 - دیگر مزایای استفاده از بتون پاشیده تر و با استفاده از الیاف عبارتند از:
 - ۱- ایجاد یک سیستم نگهداری همگن
 - ۲- نسبت به سایر سیستم‌های نگهداری نظر قاب یا تیرهای مشبك به همراه شبکه فولادی جوشی و بتون پاشیده، راحت‌تر تخریب می‌گردد.
 - ۳- کاهش تولید گرد و غبار.
 - ۴- ضخامت کمتری از آن در قیاس با ضخامت لایه بتون پاشیده و شبکه فولادی جوشی به کار برده می‌شود.
 - ۵- فضای بزرگتری را می‌توان با به کارگیری این سیستم حفاری نمود.

۷- روش اجرا

استفاده از تجهیزات روباتیک پیشرفته جهت انتقال بتون پاشیده به سینه کار، استفاده از روش تر در اختلاط بتون پاشیده، اجرای صحیح مراحل به کارگیری بتون پاشیده، شبکه فولادی جوشی، تیر مشبك و قاب فولادی و مقاوم سازی سیستم در برابر خوردگی و فرسایش، کارایی سیستم نگهداری موقت را به اندازه چشم‌گیری افزایش داده و می‌تواند آنرا به بخشی از نگهداری دائم تبدیل می‌کند. شکل ۱۱ بتون پاشیده شده توسط تجهیزات روباتیک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- اجرای بتون پاشیده توسط تجهیزات روباتیک [۱۱].

بتون پاشی سطوح در پروژه‌های تولن شهری و سایر پروژه‌های مشابه عمده‌تاً به روش خشک صورت می‌پذیرد. اجرای بتون پاشیده به روش خشک به دلایل ۱- مقاومت فشاری محدود، ۲- نفوذپذیری و تخلخل بالا، ۳- ترک خوردگی پلاستیک بدليل افزایش مقادیر سیمان برای تامین مقاومت مورد نیاز، ۴- بعضی کیفیت اجرای نامناسب بدليل وظیفه محوله به آن در سیستم‌های نگهداری قاب و تیر مشبك و موقتی فرض نمودن آن و ۵- صعوبت اجرایی بدليل دید ناکافی و آلودگی، نگهداری پایا (دائمی) را تأمین نماید و همان گونه که در موارد قبلی بیان شد، مرور زمان از قابلیت‌های آن می‌کاهد. در این حالت، استفاده از بتون پاشیده به روش تر و استفاده از الیاف فولادی ضدزنگ یا پلیمری و یا ترکیب هر دو در طرح اختلاط شانکریت تر و خشک باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی شده و سیستم نگهداری دائمی را ایجاد می‌نماید. شکل ۹ نمونه‌ای از به کارگیری بتون پاشیده به روش خشک (نگهداری موقت) و شکل ۱۰ به کارگیری الیاف فولادی در طرح اختلاط شانکریت تر (نگهداری دائم) را نشان می‌دهد.



شکل ۹- بتون پاشیده به روش خشک در طرح سیستم نگهداری اولیه و موقت را نشان می‌دهد



شکل ۱۰- نمونه‌ای از اختلاط فیبرهای فولادی را با مصالح بتون پاشیده قبل از پاشیدن [۶].

انجمن تونل ایران

نیز بر پیچیدگی این فضا افزوده، سبب افزایش فروریز مصالح بتن پاشیده شده و در بسیاری از قسمتها تماس بتن با سینه کار به درستی برقرار نمی‌شود؛ براین اساس این پوشش نمی‌تواند به عنوان بخشی از سیستم نگهداری نهایی وارد عمل شود. شایان ذکر است در برخی موارد به دلیل اضافه حفاری و ریزش‌های موضعی ضخامت بخشی را که باقیستی توسعه بتن پاشیده کامل گردد از مقدار فوق نیز بیشتر خواهد بود.



شکل ۹- نصب دو لایه شبکه فولادی جوشی به صورت همزمان و سپس به کارگیری بتن پاشیده

۷- در رابطه با دانه‌بندی مصالح به کار رفته در بتن پاشیده می‌توان بیان داشت که وجود شن درشت در مخلوط میزان فروریز از سطح کار را افزایش می‌دهد و پمپاژ مصالح نیز سخت‌تر می‌شود. در مقابل، افزایش درصد شن در مخلوط موجب بهبود تراکم، چگالی بالاتر، نسبت آب به سیمان کمتر، جمع شدگی و ترک خوردگی کمتر و مقاومت بیشتر می‌شود^[۴]. با توجه به کلیه این پارامترها، ضخامت ۳۰ سانتی‌متر فضایی که می‌باشد توسعه بتن پاشیده پرگردد باید با ترکیب مناسبی از شن و ماسه صورت پذیرد.

۸- عدم رعایت همپوشانی مناسب (Overlap) شبکه‌های فولادی جوشی نیز از عملکرد آن کاسته و یکپارچگی آنرا تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مورد همپوشانی به مقدار ۲ خانه از شبکه‌های فولادی می‌تواند معیار مناسبی باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، در اغلب پروژه‌های تونل‌سازی کشور و به خصوص تونلهای مترو به علت در نظر گرفتن سیستم نگهداری اولیه به عنوان نگهداری موقت توسعه طراحان و نیز ارزان‌تر بودن تجهیزات مورد نیاز، اجرای بتن پاشیده به روش خشک متداول می‌باشد. همچنین ضخامت متوسط طراحی شده سیستم نگهداری اولیه در اغلب پروژه‌های تونل‌سازی در حدود ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد که با به کارگیری دو لایه شبکه فولادی جوشی و استفاده از تیر مشبك یا قاب فولادی و یا ترکیب هر دو در فواصل معین و با توجه به جنس مصالح دربرگیرنده تونل که تعیین کننده گام حفاری می‌باشد، به کار گرفته می‌شود. در این حالت پیمانکاران جهت تسریع در روند پیشروی پس از نصب سیستم نگهداری قاب یا تیر مشبك و نصب دو ردیف شبکه فولادی جوشی اقدام به اجرای بتن پاشیده می‌نمایند^[۳]. یک چنین سیستم نگهداری با توجه به مسایل مطروحه در ذیل، به عنوان سیستم موقت عمل خواهد کرد:

۱- بتن پاشیده به روش خشک پاشیده می‌شود که اگر فرض بر طرح اختلاط و اجرای صحیح آن قرار گیرد، حداکثر مقاومت فشاری ۲۵-۳۰ مگاپاسکال را به دست خواهد داد.

۲- کنترل درصد رطوبت بهینه مصالح مورد نیاز در روش خشک قبل از ترکیب با سیمان دشوار بوده و بعضاً میزان رطوبت سنگ دانه‌ها از میزان مجاز بیشتر می‌باشد. مصالح خیلی مرطوب باعث انسداد شیلنگ رابط شده و گیرش سیمان نیز قبل از زمان لازم آغاز می‌شود. اگر مصالح خیلی خشک باشد، اختلاط آب در سر افسانک (Nozzle) دشوار شده، گرد و خاک در محیط کار افزایش یافته و تراکم بتن پاشیده نیز کاهش می‌یابد^[۴].

۳- ضخامت متوسط ۳۰ سانتی‌متر در یک مرحله توسعه بتن پاشیده، پر می‌گردد که اغلب از مواد زودگیر نیز در ترکیب آن استفاده می‌شود. پرکردن ضخامت ۳۰ سانتی‌متر در یک مرحله و آن هم بدون استفاده از مواد زودگیر باعث می‌شود که بتن پاشیده تماس مناسبی را با مصالح دربرگیرنده تونل و نیز با خود مصالح بتن پاشیده برقرار نکند، این امر در قسمت تاج تونل نمود عینی تری می‌یابد بدین صورت که مقدار فروریز (Rebound) مصالح جهت تأمین لایه ضخیم ۳۰ سانتی‌متری در یک مرحله بتن پاشیده پاشی زیاد شده و علاوه بر پوک شدن آن، افزایش هزینه‌ها را نیز در بر دارد.

۴- کلیه مواد فولادی مصرفی نظیر شبکه فولادی جوشی، تیرهای مشبك، قاب‌های فولادی، پیچ‌ها و ... از نوع فولاد معمولی بوده و طی مرور زمان دچار خوردگی و زنگ زدگی شده و کارآیی خود را از دست می‌دهند و بنابراین نمی‌تواند کارایی بلند مدت داشته باشد.

۵- نصب شبکه فولادی جوشی ریف اول قبل از به کارگیری بتن پاشیده مطابق با استانداردهای شناخته شده نادرست و از صحت عملکرد آن می‌کاهد. شکل ۹ نصب دو لایه شبکه فولادی جوشی و سیستم نگهداری را قبل از بتن پاشیده پاشی نشان می‌دهد.

۶- به کارگیری بتن پاشیده در فضای ۳۰ سانتی‌متری که دو ردیف شبکه فولادی جوشی در مقابل یکدیگر قرار داشته و دستک‌ها و محل اتصال آنها

انجمن تونل ایران

۸- جمع بندی

۱۰- منابع

- [۱]- مهندسین مشاور سیوبیار، ۱۳۸۸، مجموعه نقشه‌های سازه اولیه و سازه نهایی تونل در بخش‌های زیرزمینی پروژه خط ۳ مترو تهران (کریدور جنوبی).
- [۲]- شرکت جهاد توسعه منابع آب، ۱۳۸۸، مشخصات فنی و تکنولوژی‌های اجرای پروژه خط ۳ مترو تهران (کریدور جنوبی).
- [۳]- یادداشت‌های نگارنده - پروژه خط ۳ مترو تهران.
- [۴]- مهرزاد لک پور، ۱۳۷۸، بتن پاشیده-مصالح، خواص و اجراء، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران-کمیته فنی هیدرولیک، نشریه شماره ۲۱.
- [۵]- Vittorio-Guglielmetti, Piergiorgio-Grasso, Ashraf-Mahtab, Shulin-Xu, 2008, "Mechanized Tunnelling in Urban Areas", Taylor & Francis / Balkema, the Netherlands.
- [۶]- Marc Vandewalle N.V.Bekaert S.a, Dramix, Tunnelling The World, Fourth Edition, 1996, Belgium.
- [۷]- Pietro Lunardi, 2008, Design and Construction of Tunnels, Springer.
- [۸]- ACI 506-66 (Revised 1983), Recommended Practice for Shotcrete
- [۹]- ASTM, C 1140-98, Standard Practice for Preparing and Testing specimens from Shotcrete Test
- [۱۰]- ACI, Lattice Girder used in Conjunction with Shotcrete Support
- [۱۱]- Alun Thomas, 2009, Sprayed Concrete Lined Tunnels, Taylor & Francis.

با توجه به مجموعه عوامل بیان شده، به کارگیری سیستم نگهداری اولیه با روش‌های مذکور کارایی مناسبی نداشته و نمی‌تواند به عنوان بخشی از سیستم نگهداری دائمی عمل نماید. لذا این سیستم تحت عنوان سیستم نگهداری اولیه و موقت به کاربرده می‌شود. درنتیجه، طراحان کلیه بارهای اعمال شده را در محاسبات سیستم نگهداری ثانویه (دائمی) لحاظ کرده که موجب افزایش ضخامت پوشش بتنی مسلح به فولاد، می‌گردد. این روش، موجب افزایش هزینه‌ها، مواد و مصالح مصرفی و زمان اجرای پروژه می‌شود. (عموماً در بیشتر پروژه‌ها ضخامت این پوشش بیش از ۳۵ سانتی‌متر خواهد بود).

اگر سیستم نگهداری اولیه به عنوان جزیی از یک سیستم پایا و دائمی اجرا شود، ضخامت پوشش نهایی را می‌توان در اکثر موارد تا ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش داد و به جای استفاده از شبکه آرماتور و بتن در حالت احرای پوشش نهایی، می‌توان از بتن پاشیده مسلح با الیاف فولادی یا پلیمری به میزان کمتر از نیمی از ضخامت پوشش نهایی استفاده کرد. در این حالت کاهش چشم‌گیر در هزینه نهایی به کارگیری سیستم نگهداری وجود داشته، همچنانی کاهش حجم حفاری و انتقال مصالح در اثر کاهش مقطع مفید تونل و کاهش زمان پروژه از دیگر مزایای آن خواهند بود. ضمامت اجرایی دراز مدت و اجرای صحیح توسط پیمانکاران نیز می‌تواند نقش مهمی در افزایش کیفیت اجرا و مصالح به کار رفته ایفا نماید.

به کارگیری دستگاه‌های تمام مقطع حفاری تونل (TBM) با قابلیت تطابق با شرایط محیطی مختلف نیز می‌تواند باعث حذف سیستم نگهداری اولیه شده و سیستم نگهداری پس از حفاری، پایداری را بصورت دائمی تأمین می‌نماید.

۹- تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر صافی ریاست محترم بخش تخصصی سازه و مهندس امیرعبدالله ایران‌زاده کارشناس ارشد بخش تخصصی ژئوتکنیک شرکت مهندسین مشاور مشاور مسابیر به دلیل ارایه توضیحات و ویرایش مقاله تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تکنولوژی‌های ابتکاری برای ساخت تونل‌های جاده‌ای؛ استفاده از سپر دوغابی در شرایط زمین‌شناسی پیچیده

مصطفی شریف‌زاده، استادیار دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران؛
مرتضی جوادی اصطهباناتی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران

متن حاضر ترجمه مقاله زیر می‌باشد:

Y. Adachi and A. Higashide 2007 “Innovative technologies for road tunnel construction - Applying a slurry shield in the severe compound geolog” ISRM 11th International Congress on Rock Mechanics , Lisbon, Portugal.

چکیده:

سیستم‌های اتوبان‌های شهری نقش مهمی را در توسعه شهری بازی می‌کنند. تاکنون اکثر اتوبان‌های شهری با استفاده از سازه‌های ترانشه‌ای ساخته شده‌اند. با این حال، به دلیل کاربری بالای زمین در نواحی شهری و حفاظت زیست محیطی، اتوبان‌های شهری در دست طراحی و ساخت در ژاپن به صورت زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، تونل‌های با قطر نسبتاً زیاد و در شرایط زمین‌شناسی پیچیده با روش‌های مطمئن زیست محیطی مانند روش سپرها دوغابی بسیار مورد تقاضا هستند. تونل معروفی شده در این مقاله، در شرایط پیچیده زمین‌شناسی و شرایط دشوار حفاری احداث شده به نحوی که می‌توان گفت این تونل بیانگر سازه‌های اتوبان‌های شهری در ژاپن است. تونل فوژیمی با استفاده از روش سپر دوغابی و در زمین‌شناسی مشتمل از سنگ و خاک با روباره کم ارتفاع، در مناطق مسکونی و در زیر خط آهن اصلی حمل و نقل ساخته می‌شود. این مقاله به جمع‌بندی تکنولوژی‌های ابتکاری به کار گرفته شده برای احداث این تونل شامل اطفاء حریق و نیز طراحی لرزه‌ای می‌پردازد.

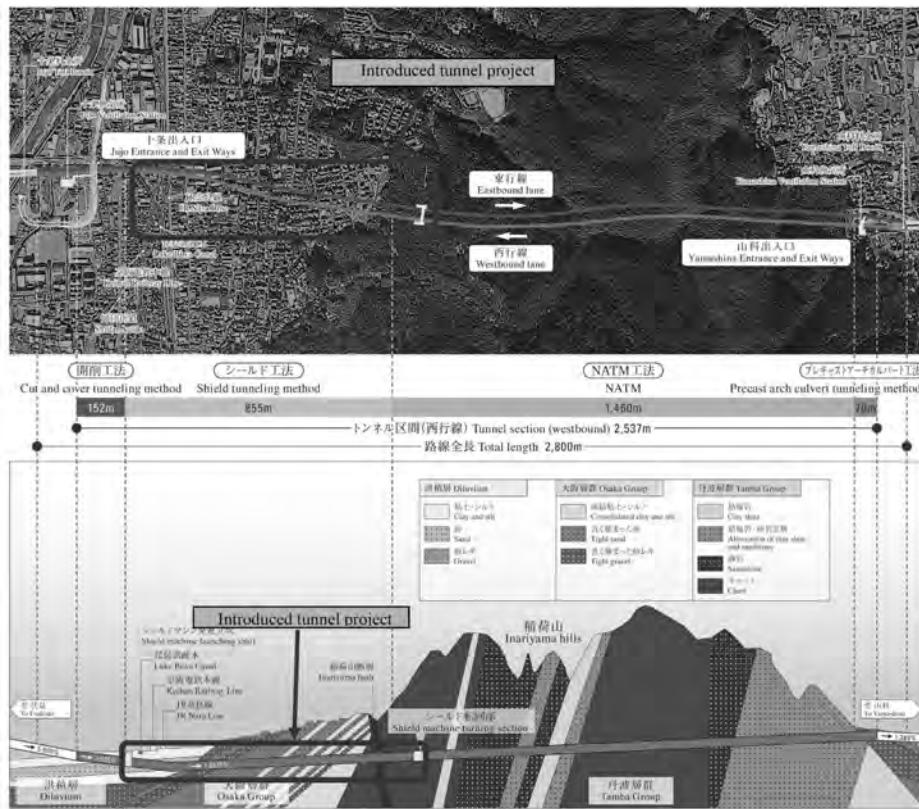
۱- مقدمه

سیستم‌های اتوبان‌های شهری، نقش مهمی را در توسعه شهری بازی می‌کنند. تاکنون اکثر اتوبان‌های شهری با استفاده از سازه‌های ترانشه‌ای ساخته شده‌اند. با این حال، به دلیل کاربری بالای زمین در نواحی شهری و حفاظت زیست محیطی، اتوبان‌های شهری در دست طراحی و ساخت در ژاپن به صورت زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، تونل‌های با قطر نسبتاً زیاد و در شرایط زمین‌شناسی پیچیده با روش‌های مطمئن زیست محیطی مانند روش سپرها دوغابی بسیار مورد تقاضا هستند.

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده، تونل شین جوجو به عنوان بخشی از طرح توسعه سیستم اتوبان شهری کیوتو طراحی شده است. طول این تونل ۲/۸ کیلومتر بوده و ناحیه فوژیمی و یاماشینا را در

کیوتو به هم متصل می‌نماید. هر دو مسیر رفت و برگشت به صورت دوخطه طراحی شده که در نتیجه قطر داخلی تونل نسبت به سایر سازه‌های تونلی مانند متروها بیشتر است. چهار روش تونل‌زنی، NATM، کدن و پوشاندن، قطعات پیش ساخته و سپر دوغابی به کار گرفته شده است. این مقاله به معروفی مقطع ۸۵۵m تونل که در آن سپر دوغابی به کار گرفته شده است، می‌پردازد. این مقطع، در شرایط پیچیده و مرکب زمین‌شناسی، ماسه و رس آبرفتی قدیمی، روباره کم ارتفاع در منطقه مسکونی و در زیر خط آهن اصلی شهر طراحی شده است. می‌توان گفت این تونل معروف شرایط احداث اتوبان‌های شهری اخیر در ژاپن است. این مقاله به جمع‌بندی روش‌های ابتکاری به کار برده شده برای احداث این تونل شامل اطفاء حریق و نیز طراحی لرزه‌ای می‌پردازد.

انجمن تونل ایران



شکل ۱- مقطع زمین شناسی و پلان سازه های تونل

جدول ۱- مشخصات تونل

نام تونل	فوژیمی (بخشی از تونل شین-جوجو)
پیمانکار	مشارکت ابیاishi - ساتو-سی بو
تعداد مسیر	دو مسیر در هر جهت
قطر خارجی	۱۰/۸۲ m
قطر داخلی	۱۰/۱ m
طول حفاری	۸۵۵m + ۸۵۵m
نوع ماشین	سپری دوغایی هیبرید
نوع سگمنت	سگمنت های سپری
اطفاء حریق	بتن پاشی سبک (کم وزن)

۲- طرح تونل

۲-۱- طراحی تونل

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده، تونل فوژیمی شامل دو مسیر دو خطه است که با استفاده از روش سپر دوغایی ساخته شده است. طول هر یک از این تونل‌ها ۸۵۵ متر بوده که باید در شرایط زمین شناسی پیچیده متنشکل از سنگ و خاک، در مسیر یک خط آهن بسیار شلوغ و کanal انتقال آب، با یک رویاره کم ارتفاع و در یک منطقه مسکونی پر جمعیت حفر شود. ابتدا حفاری تونل با استفاده از روش NATM طراحی شده بود، اما روش حفاری به سپر دوغایی تغییر پیدا کرد تا شرایط سخت احداث و محیطی که در بالا توصیف شد رالاحظ کند. سپر دوغایی از چاه دسترسی در جهت شرق فوژیمی شروع به حفاری کرد.

سپس در پذیرگاه زیرزمینی (که قبلا با استفاده از روش NATM حفر شده بود) تغییر جهت داده و در مسیر برگشت ادامه یافته و در محل چاه اصلی به انمام رسید. بعد سپر تونل در جدول ۱ و مقطع عرضی تونل در شکل ۲ نشان داده شده است.

انجمن تونل ایران

ارتفاع رویاره تونل در نزدیکی کانال انتقال آب در حدود $4/3$ متر و در ناحیه خط آهن در حدود ۱۲ متر است.

عموماً سازه‌های تونلی در زیر فضاهای عمومی مانند جاده‌ها و غیره ساخته می‌شوند، اما تونل فوشیمی در زیر یک منطقه مسکونی پر جمعیت واقع شده که در نتیجه مالکیت بخشی از زمین‌ها مورد تعریف قرار گرفته شده است.

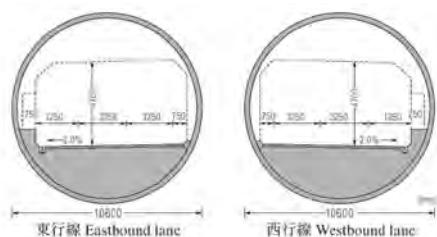
همچنین دقت زیادی در هنگام حفاری نیازمند است تا از نشت همین در بخش‌های فوقانی جلوگیری شود. بنابراین، روش سپر دوغابی برای حفر تونل در زیر مناطق مسکونی انتخاب شده است.

۳-۲- ماشین سپر دوغابی

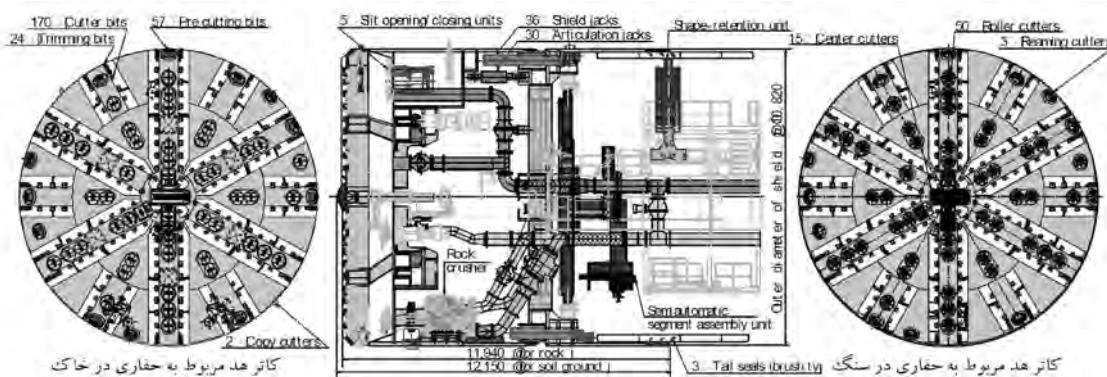
ساختار ماشین سپر دوغابی و ویژگی‌های آن در شکل ۳ و جدول ۲ ارایه شده است. همچنین تصویری از ماشین در شکل ۴ نشان داده شده است.

۲-۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی و امتداد تونل

شکل ۱ همچنین شرایط زمین‌شناسی منطقه رانشان می‌دهد. مسیر تونل در شرایط زمین‌شناسی سخت و پیچیده‌ای واقع شده است. رس‌های سخت آبرفتی و لایه‌های ماسه‌ای در فاصله صفر تا ۱۶۰ متری چاه اصلی مشاهده شده‌اند. مجموعه زمین‌شناسی قدیمی‌تری که گروه اوزاکا نامیده می‌شود و حاوی رس‌های سخت و لایه‌های ماسه‌ای است، در فاصله ۱۶۰ متری تا ۷۳۰ متری از چاه اصلی مشاهده شده‌اند. ۱۲۰ متر انتهای مقطع سنگی گروه تامبا نامیده می‌شود و مت Shank از سنگ‌های نسبتاً سخت و چرت‌های خرد شده است. بر مبنای نتایج آزمایشگاهی روی مغزه‌ها، مقاومت این چرت‌ها 80 N/mm^2 برآورد شده است.



شکل ۲- سطح مقطع تونل فوشیمی



شکل ۳- ماشین سپر دوغابی مورد استفاده در تونل فوشیمی

شرایط زمین‌شناسی مسیر از خاک تا سنگ‌هایی با سختی متوسط همراه با زون‌های خرد شده تشکیل شده است. بنابراین ماشین بایستی به گونه‌ای طراحی شده باشد که بتواند همانند ماشین دوغابی در خاک‌ها و مانند TBM در سنگ‌ها عملیات حفاری را انجام دهد.



شکل ۴- تصویری از ماشین سپر دوغابی

جدول ۲- مشخصات سپر دوغابی

قطر خارجی 10 / ۸۲ m	
طول ماشین 12 / ۱۵ m (برای حفاری خاک) 11 / ۹۴ m (برای حفاری سنگ)	
نیروی پیشران (تراست) 10.8 MN	
سرعت دوران کاتر 0.0 / ۵ round/min (برای خاک) 1 / ۸ round/min (برای سنگ)	
نیروی پیشران کاتر 18 / ۵ MN-m / m ۸-MN	
زاویه لولا ± ۱ degree (در جهات افقی و قائم)	
اجزا کنترل ۸ کفشهک (گریپر) در جلو ۸ کفشهک (گریپر) در عقب	
واحدهای خرد کننده ۳ چکش برای حفاری سنگ یک سنگ شکن	(سنگ شکن)

انجمن تونل ایران

جدول ۳- مشخصات سگمنت NM

6/10 Ø m	قطر سگمنت
1/10 Ø m	قطر داخلی سگمنت
1500 mm	عرض سگمنت
250 mm	ضخامت
10	تعداد قطعات
8/35t – 3/37 t/ring	وزن

سگمنت NM یک سگمنت کامپوزیتی متشکل از تیرهای فولادی و صفحات بتنی با مقاومت و سختی بالاست. ویژگی‌های سگمنت‌های NM

به شرح زیر است:

- ضخامت سگمنت در مقایسه با سگمنت بتونی به دلیل مقاومت بالای آن کاهش می‌یابد.

- اتصال مکانیکی جدیدی به کاربرده شده، به نحوی که مقاومت برشی زیادی به ویژه برای اتصالات حلقوی حاصل می‌نماید.

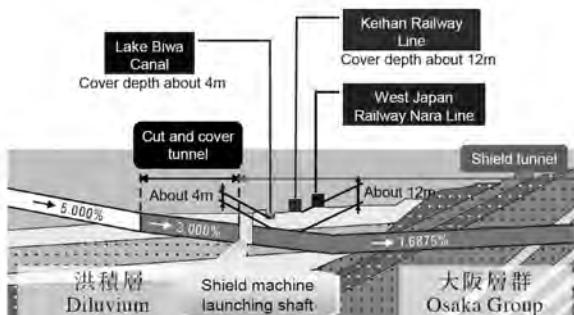
- نصب آسان و زمان چرخه کوتاه

- آب‌بندی با کارآیی بالا

در فاز مطالعات اولیه، ضخامت سگمنت بتونی در حدود ۵۰ cm تخمین زده شد. با این حال، ضخامت مورد نیاز سگمنت NM نصف این مقدار تخمین زده شده که در نتیجه قطر حفاری کاهش یافته، ماشین به کار برده شده کوچکتر شده و حجم باطله نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، هزینه نهایی احداث تا حدود چندین درصد هزینه نهایی کاهش می‌یابد. اتصال حلقوی و اتصال سگمنت از نوع بدون پیچ است که زمان نصب را کاهش داده و کارآیی آب‌بندی را نیز افزایش می‌دهد.

۴- سازه‌های مجاور

پس از آغاز حفاری، مسیر تونل باید از زیر کانال آب اصلی و دو خط آهن اصلی با عمق روباره کم (شکل ۶ و ۷) عبور نماید. این بخش به جمع‌بندی سازه‌های مجاور می‌پردازد.



شکل ۶- مقطعی قائم از سازه‌های مجاور تونل

در فاز اولیه طراحی، قابلیت به کارگیری سپر دوغابی و سپر گلی برای این تونل مورد مطالعه قرار گرفت. روش سپر دوغابی قابلیت حفاری خوبی در مناطق با روباره کم ارتفاع دارد. از طرف دیگر، روش سپر گلی برای کنترل فشار گل در چنین روباره‌های کم ارتفاعی مناسب نیست، ولی دارای قابلیت خوبی برای حفاری در مناطق خرد شده است. در نهایت و بر مبنای این مطالعات، سپر دوغابی برای تونل فوشیمی به کار گرفته شد. ویژگی‌های اصلی ماشین دوغابی مورد استفاده به شرح زیر است:

- در این ماشین از سرمته نیمه گنبده شکل که معمولاً برای TBM به کار گرفته می‌شوند استفاده شده است (معمولاً این سرمته برای سپر دوغابی به کار نمی‌رود).

- تعداد کل تیغه‌ها ۲۶۹ عدد است که ۶۸ تیغه به گونه‌ای طراحی شده‌اند که از محفظه دسترسی قابل تعویض هستند. این تیغه‌ها به عنوان مته‌های پیش برش خاک هستند و برای سنگ از دیسک ۱۷ اینچی استفاده شده است.

- تعداد سه مته تراشندۀ برای بیش برش (Overcut) در سنگ اتخاذ شده است.

- یک موتور ابتکاری برای تغییر سرعت دورانی سر مته (از ۱/۹ تا ۰/۵ دور در دقیقه) به کار گرفته شده است.

- دو سنگ شکن یکی در ماشین دوغابی و دیگری در تجهیزات عقبی و برای خرد کردن سنگ در نظر گرفته شده است.

- تعداد هشت کفشدک در جلو و عقب ماشین و برای نگهدارشتن ماشین در سنگ تعییه شده است.

۳- سگمنت‌ها

به منظور کاهش هزینه احداث و افزایش قابلیت اطمینان پایداری تونل در برابر آب، سگمنت‌های کامپوزیتی به نام "NM" برای این تونل به کار گرفته شده است. شکل ۵ تصویر این نوع سگمنت و جدول ۳ مشخصات مربوط به این سگمنت را نشان می‌دهد.



شکل ۵- سگمنت NM

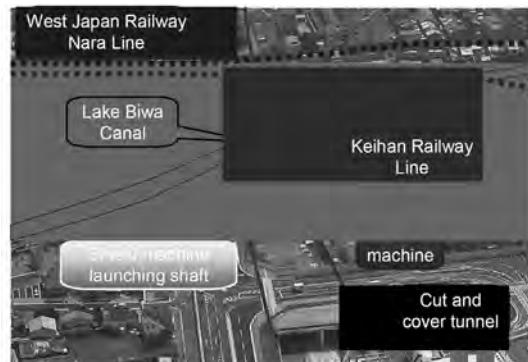
می شود. بنابراین نصب ابزار دقیق برای اندازه گیری نشست در جلوی کanal نصب شده و فشار دوغاب با اندازه گیری های میدانی تنظیم شده است. در حین حفر تونل، بستر کanal تا نزدیک شدن قسمت انتهایی (ماشین) نشست کرده و پس از پر کردن دوباره به سمت بالا حرکت می کند. نهایتاً، نشست باقی ماننده کنترل شده و حداقل مقدار آن ۲ میلی متر خواهد بود.

۴- تقاطع خط آهن

در فاصله ۱۱۰ تا ۱۴۰ متری از دهانه تونل، ماشین دو خط آهن (خط کیپان و خط جی آر نارا) را قطع می نماید. این خطوط اصلی پر ترافیک بوده و برای امنیت عملکرد قطارها دارای محدودیت های شدید نشسته استند. عمق روباره در زیر خطوط آهن $1/2$ برابر قطر ماشین گرفته است. بر اساس نتایج آنالیز المان محدود، حدود ۶ میلی متر نشست (که با مقدار مجاز نشست عملیاتی برابر است) تخمین زده شده است. در این حالت، میزان نشست به طور نسبی بالا است اما پروفیل زمین به طور نسبی از خاک های سخت، رس آبرفت های قدیمی و لایه های ماسه ای تشکیل شده و آنالیز المان محدود نشان می دهد که تزریق شیمیایی برای بهبود شرایط زمین موثر نخواهد بود. به همین علت عملیات بهبود زمین انجام نشده است. با این وجود، اندازه گیری میزان نشست و فید بک داده های حاصل به ماشین حفاری انجام گرفته است. این سیستم هوشمند و ساختار سیستم اطلاعات به طور مناسبی موقوفیت آمیز بوده و مقدار ماکزیمم نشست واقعی ۲ تا ۳ میلی متر بوده است.

۵- تغییر مته و حفر سنگ با سپر دوغابی

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، شرایط زمین سیار پیچیده است. زمین شناسی خاکی در فاصله ۷۳۰ متری از دهانه تونل از شرایط خاکی به شرایط سنگی تبدیل می شود. در مورد تونل زنی با استفاده از سپر دوغابی در خاک، تیغه های دندانه ای مورد نیاز است. از سوی دیگر دیسک های غلطکی برای حفاری در سنگ مورد نیاز است. بنابراین بعضی از تیغه ها باید قبل از ورود به ناحیه سنگی تعویض شوند. به منظور تعویض تیغه ها، قبیل از رسیدن به ناحیه سنگی، عملیات تقویت خاک با استفاده از تزریق شیمیایی انجام شده است. با استفاده از مسیر دسترسی، تیغه های پیش برشی و دم ماهی خارج شده و با دیسک برشی جایگزین شدند. ناحیه تغییر تیغه با دقت مشخص شده بود اما سنگ های چرت سخت در قسمت های پایینی منطقه طرح ریزی شده برای تغییر تیغه ها مشاهده شدند؛ به نحوی که تیغه های پیش برشی شدیداً آسیب دیده و هیچ تیغه ای قابلیت استفاده مجدد را نداشت. میزان آسیب تیغه هایی که در حاشیه قرار داشتند بیش از بقیه تیغه ها بوده است. شکل ۹ شرایط تیغه را بعد از حفاری

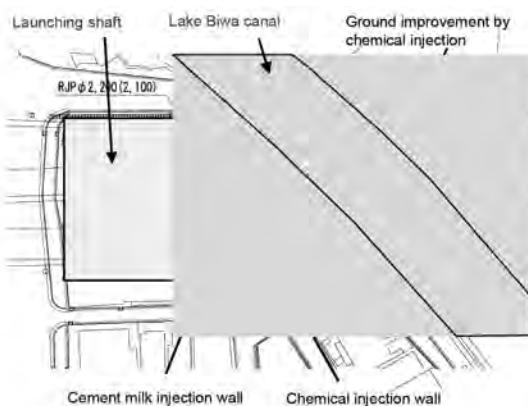


شکل ۷- مقطعی افقی از سازه های مجاور تونل

۶- تقاطع کanal انتقال آب دریاچه بیوا

کanal انتقال آب دریاچه بیوا، یک کanal آبی پر کاربرد است که حدود ۱۰۰ سال پیش ساخته شده است. این کanal حدود $14 \text{ m}^3/\text{sec}$ آب را انتقال می دهد و در حال حاضر از زیر ساخت های تاریخی شهر کیوتو محاسبه می شود.

این تونل با عمق پوششی $4/8$ متری که معادل $4/0$ قطر ماشین می باشد شروع می شود. ماشین درست بعد از آغاز حفاری از زیر کanal با روباره $4/4$ متری عبور می کند. تقویت زمین برای جلوگیری از نشست کanal آب با استفاده از تزریق شیمیایی از قبیل روش تزریق شیر سیمانی (RJP) و روش تزریق شیمیایی (تزریق شیشه مایع یا واتر گلاس) انجام می شود. این موضوع در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- تقویت زمین در محدوده کanal انتقال آب

تنظیم فشار دوغاب در سینه کار تونل، به ویژه در چنین عمق پوشش سطحی ای به منظور جلوگیری از فوران دوغاب بسیار مهم است. فشار اندک دوغاب باعث نشست در کanal آب و فشار زیاد باعث فوران دوغاب

انجمن تولن ایران

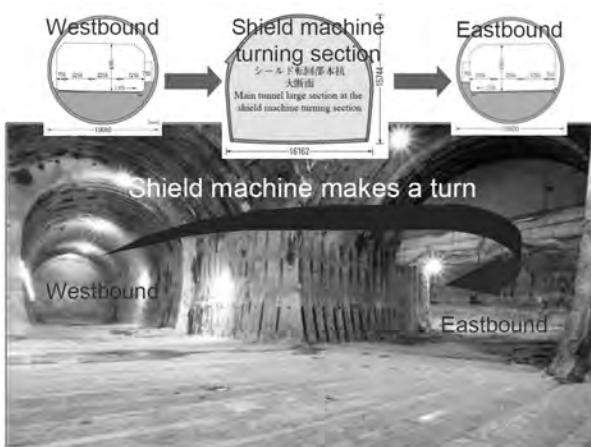


شکل ۹- آسیب وارد شده به دیسک های برش

به وسیله توبهای لغزندۀ نگهداری شده و توبهای لغزان و چهارچوب با استفاده از میله‌های PC و یک جک مرکزی کشیده می‌شوند. جک بر روی یک صفحه فولادی (در کف تونل) ثابت می‌شود به نحوی که نیروهای عکس العمل به وسیله خود ماشین حمل می‌شوند. نیروی محرکه لازم برای کشیدن فقط 500 KN است که این مقدار تنها 3 درصد وزن خود ماشین است. در مورد حفر تونل نیروی محرکه $4/5$ درصد وزن خود ماشین است.

جدول ۴- مقایسه داده‌های مربوط به حفاری در سنگ و خاک

سنگ	خاک	
$46/9 \text{ MN}$	$33/8 \text{ MN}$	نیروی پیشران (تراست)
300 kN.m	3116 kN.m	گشتاور کاتر
$3/24 \text{ mm/m}$	$36/9 \text{ mm/min}$	سرعت پیشروی
$131/4$	$130/17\%$	ضریب تزریق (Back fill)



شکل ۱۰- تغییر جهت ماشین سپری

در خاک در مقایسه با تیغه‌های جدید و نیز میزان استهلاک دیسک برشی رانیز نشان می‌دهد. دو دیسک برای حفاری در خاک نصب و مورد استفاده قرار گرفت و میزان استهلاک آن نیز بررسی شد. بعد از حفاری در خاک دیسک‌ها به شدت همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده مستهلاک شده بودند و قابلیت استفاده مجدد را نداشتند. داده‌های مربوط به حفاری در سنگ در مقایسه با حفاری در خاک در جدول ۴ گردآوری شده است.

در هنگام حفاری با استفاده از سپر دوغابی برای حفاری در قسمت‌های سنگی، باید از مسدود شدن لوله‌های زهکشی با سنگ‌های خرد نشده جلوگیری کرد. بدین منظور دستگاه‌های سنگ شکن در ماشین حفاری نصب شده‌اند. در نهایت، در قسمت سنگی نسبت به ناحیه خاکی، نیروی پیشران (تراست) نهایی 20 درصد افزایش و سرعت حفاری 35 درصد کاهش یافت.

۶- تغییر مسیر ماشین دوغابی

تونل فوشیمی مشکل از دو تونل موازی است. این نوع تونل‌ها در دهه‌های گذشته با استفاده از 2 ماشین حفاری می‌شدند، اما در این مورد، تونل‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با یک ماشین حفاری شوند (شکل ۱۰). در نتیجه پس از اتمام حفر تونل اول، ماشین حفاری باید تغییر جهت بدهد.

مقطع تغییر جهت ماشین نیازمند قطر زیاد و فضای زیادی است. بنابراین فضای لازم برای تغییر جهت ماشین، در سنگ‌های نسبتاً سخت و با استفاده از روش NATM حفاری شد. روش‌های تغییر جهت دادن چنین ماشین بزرگی بسیار محدود می‌باشد. در این پروژه، روش حمل به وسیله توبهای لغزان برای حرکت و تغییر جهت ماشین، در سنگ‌های نسبتاً سخت و با استفاده از روش Air Caster می‌باشد. برای سالیان طولانی، روش Air Caster می‌شد ولی این روش جدید، اقتصادی تر و مطمئن‌تر است. بسیاری از پروژه‌های زیان، تمایل به استفاده از این روش برای چرخش ماشین‌های دارند. روش توبهای لغزان از دو ردیف توبهای فولادی به قطرهای بین 60 تا 90 میلی‌متر تشکیل می‌شود که در شکل (۱۱-الف) نشان داده شده است. چهارچوب ماشین

خستگی تعیین می‌شود.

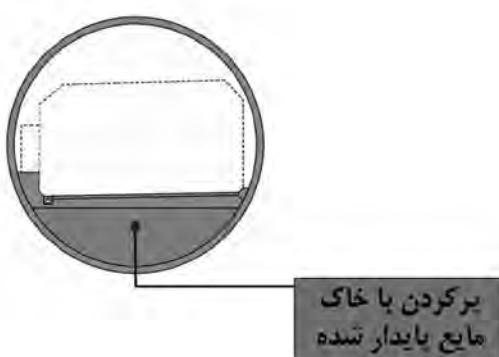
اما در مورد این تونل، احداث بستر درست بعد از عملیات حفاری انجام گرفت که در نتیجه بعد از خارج کردن قالب‌ها، مقاومت بیشتری مورد نیاز است. در نهایت مقاومت نهایی 28 N/mm^2 روزه برای خاک روان پایدار شده لحاظ شد. شکل ۱۴، مراحل تولید خاک روان پایدار شده را نشان می‌دهد. مزیت این روش این است که اختلاط دوغاب و سیمان دقیقاً در محل پرکردن انجام می‌شود به نحوی که تجهیزات حمل و پمپ‌های بزرگ مورد نیاز نیست.



شکل ۱۱- تغییر جهت ماشین سپری: (الف) توب‌های لغزان، ب) نحوه کشیدن ماشین

۷- خاک‌های روان پایدار شده برای پر کردن بستر مسیر

ذرات ریز دوغاب اضافی که دومین بالله روش سپر دوغابی می‌باشد، معمولاً به عنوان زباله صنعتی تلقی می‌شود به نحوی که هزینه بسیار بالایی برای تصفیه این خاک‌ها مورد نیاز است. بهمنظور کاهش اثر زیست محیطی و کاهش بالله‌های صنعتی در محیط احداث، دوغاب اضافی برای تولید خاک روان پایدار شده مورد استفاده قرار می‌گیرد و همان‌گونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده، در بستر تونل به کار برده می‌شود. مقاومت مورد نیاز برای خاک معمولاً با مقاومت



شکل ۱۳- پر کردن بستر با خاک‌های روان پایدار شده

در این تونل، پاشیدن ملات سبک برای اطفاء حریق انتخاب شده است. ستاریوی مربوط به حوادث آتش‌سوزی در ارتباط با بزرگ‌ترین تانکرهای گازوئیل موجود در ژاپن در نظر گرفته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز FEM مربوط به احتراق، آسترها تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و زمان شعله‌وری ۷۰ دقیقه می‌باشد. این

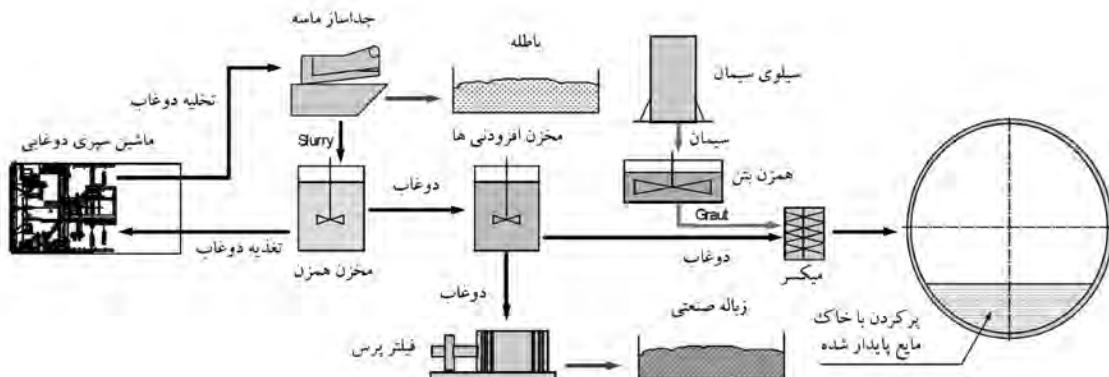
۸- اطفاء حریق

معمولًا لاینینگ تونل‌های سپری بوسیله آسترها اولیه و ثانویه انجام می‌گیرد. عملکرد آستر ثانویه ضد آب نمودن، اطفاء حریق و اصلاح مجدد امتداد تونل است. ابتکارات در تکنولوژی‌های اخیر باعث افزایش اطمینان در ضد آب بودن و دقت سازه‌ها شده است به گونه‌ای که تونل‌های اخیر در ژاپن تمايل به حذف آستر ثانویه دارند. از این‌رو، ضرورت اطفاء حریق توسط یاسودا و همکاران (۲۰۰۳ و ۲۰۰۴) بحث و بررسی شده است.



شکل ۱۲- نحوه چرخش ماشین سپری

انجمان تونل ایران



شکل ۱۴- نحوه تولید خاک های روان پایدار شده با استفاده از ذرات دوغاب



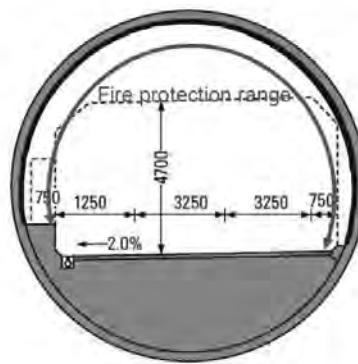
شکل ۱۶- پاشیدن ملات روی دیواره تونل

۹- طراحی لرزه‌ای تونل به سبب انتشار لغزش گسل
معمولًا باور عمومی در مورد سازه‌های زیر زمینی، بر این است که در مقابل زلزله بسیار ایمن هستند. اما بر اساس تجربیات حاصل از زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵، اهمیت طراحی لرزه‌ای تشخیص داده شده است. علاوه بر این، اهمیت بیشتر طراحی در مقابل لغزش گسل بر اساس زمین لرزه چی و کوکایلی در سال ۱۹۹۹ تثییرات حاصل از لغزش گسل است. بنابراین، اطمینان از لرزش در برابر تاثیرات حاصل از لغزش گسل در این تونل توسط آدچی و همکاران (۲۰۰۵) مطالعه شده است.



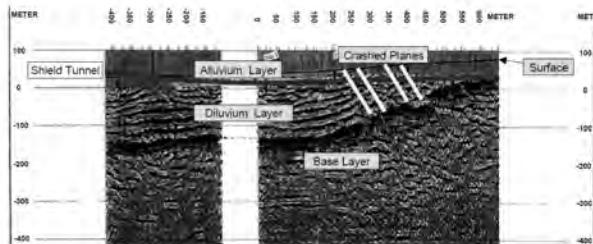
شکل ۱۷- نمای داخلی تونل بعد از پاشیدن ملات

مقادیر تقریبا هم ارز با آینه نامه RABT(۶۰) می‌باشد. بنابراین، RABT(۶۰) برای مقررات آتش‌سوزی انتخاب شده است. ابزارهای مختلفی برای اندازه‌گیری اطفاء حریق در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش اطمینان سنجی ابزارهای اطفاء حریق، آزمایش‌های آتش‌سوزی بزرگ مقیاس و دلایل اقتصادی، نهایتاً پاشیدن ملات سبک به کار گرفته شد. شکل ۱۵ پوشش ملات در بخشی از تونل را نشان می‌دهد.

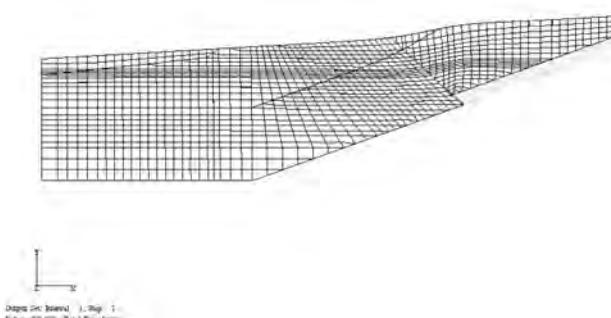


شکل ۱۵- آرایش پوشش ضد حریق

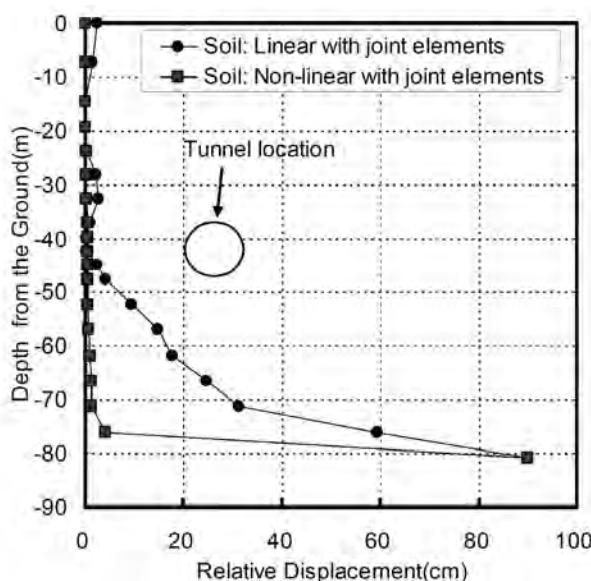
همه قسمت‌های سطح داخلی به جز کف با ملات پوشانده می‌شود. ضخامت لایه پوششی ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. در ناحیه دیوارهای به علت کاهش درجه حرارت پانل‌های داخلی، ضخامت این لایه ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شکل ۱۶ و ۱۷ پاشیدن ملات و ظاهر نهایی داخل تونل با ملات اطفاء حریق را نشان می‌دهد. نتایج آزمایش اطمینان سنجی توسعه یامamoto و همکاران گزارش شده است.



شکل ۱۹- نتایج آزمایش انکساری و صفحات خرد شده



شکل ۲۰- نحوه تغییر شکل زمین تحت تاثیر جابجایی در بستر سنگی



شکل ۲۱- جابجایی در صفحه خرد شده بحرانی



شکل ۱۸- موقعیت صفحات خرد شده نسبت به تونل

شکل ۱۸ ارتباط امتداد این تونل با خط خمیدگی گسل شناسایی شده در محل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آزمایش انکساری در محدوده پروژه، چهار صفحه خرد شده شناسایی شده که در شکل ۱۹ نشان داده شده‌اند. این گسل‌ها، از نوع گسل معکوس با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال تخمین زده شده‌اند. بیشترین بزرگی ممکن $M=6/5$ در ناحیه صفحه گسل تخمین زده شده است. براساس نتایج مطالعات آماری، جابجایی لایه کف برای گسل مزبور، ۸۰ سانتی‌متر محاسبه شده که در این مطالعه، پراکندگی ۱۰ درصدی و نهایتاً ۹۰ سانتی‌متر جابجایی کف لحاظ شده است. آنالیز تاثیر گسترش لغزش گسل بر سازه تونل با FEM با روش خطی/غیر خطی المان خاک و المان‌های درزه برای صفحه خرد شده گسل انجام شده است.

شکل ۲۰ جابجایی قائم محاسبه شده در آبرفت‌ها و لایه‌های آبرفتی قدیمی تحت تاثیر جابجایی ۹۰ سانتی‌متری در بستر سنگی را نشان می‌دهد. در این حالت که برای مدل‌سازی خاک از المان صلب خطی استفاده شده است، جابجایی نسبی در صفحه زون خرد شده (که با مدل درزه مدل شده است) تمرکز یافته است. ولی در موردی که المان‌های غیر خطی استفاده شده است، جابجایی بطور گستره‌ای در خاک توزیع شده است.

شکل ۲۱، جابجایی در صفحه خرد شده بحرانی را نشان می‌دهد. در هر حال، تونل به طور نسبی در بخش‌های سطحی‌تر زمین قرار دارد و لایه‌هایی شرح داده شده در زیر تونل واقع شده‌اند. بنابراین انحراف جابجایی به طور نسبی در قسمت‌های پایینی خاک تمرکز داشته و تاثیر بسیار اندکی بر روی تونل مشاهده شده و در نتیجه امنیت لرزه‌ای تونل در برابر گسترش لغزش گسل تایید شده است.

Takaiso, T., and Adachi, Y., and Higashide, A. 2007, Application of liquefied stabilized soil for roadbed, The proceedings of the 27th Japan road conference. Tokyo Japan (In Japanese, In process)

Yamamoto, M., Hashimoto, E., and Tanibe, T. 2005. Fire resistant capacity of light weight mortal and interior board, The proceedings of the 58th of the annual meeting of the JSCE, Nagoya Japan (In Japanese)

Yasuda, F., Ono, K., and Ohtsuka, T., 2004, Passive fire protection for shield tunnel lining, The proceedings of the World Tunnel Congress and 30th ITA General Assembly, Singapore

Yasuda. F., Naka. Y., and Komoto. I. 2003. Fire proof test of protection materials using real scale segment model. The proceedings of the 25th Japan road conference. Tokyo Japan (In Japanese)

۱۰- نتیجه گیری

تکنولوژی‌های نو برای تونل‌های جاده‌ای با استفاده از سپر، در این مقاله معرفی شد. احداث تونل‌های جاده‌ای با استفاده از روش استفاده از سپر به شدت برای احداث در مناطق شهری ژاپن توصیه می‌شود. احداث تونل‌های جاده‌ای نیازمند تکنولوژی‌های احداث تونل با قطر بزرگ، تکنولوژی‌های اطفاء حریق و تکنولوژی‌های زیست محیطی است. تکنولوژی‌های جدید معرفی شده برای چنین تقاضاهای تکنولوژیکی توسعه داده شده‌اند. در ژاپن، تعداد زیادی از پروژه‌های احداث تونل‌های جاده‌ای با استفاده از روش سپر در حال اجرا یا در مرحله برنامه ریزی هستند. بنابراین، ابتکارات تکنولوژیکی بیشتری در آینده نزدیک ممکن است به کار گرفته شوند.

مراجع

Adachi, Y., Yoshimura, S. and Nakata, T. 2007. A Study on Ground Displacement due to Fault Slip and its Influence to Underground Structure. The proceeding of the second Japan- Greece workshop on seismic design, observation, and retrofit of foundations. Tokyo Japan

Baba, S., Maki, K., Miyashita, K., Higashide, A., Kumagai, S., and Kimura, H. 2007. Construction of Road tunnel using large scale hybrid slurry shield, The proceedings of the workshop on recent construction technologies, Osaka Japan (In Japanese)

Hashimoto, N., Tsukamoto, M., and Higashide, A. 2007, Thin cover depth launching and neighboring construction with large diameter shield machine. Tokyo Japan (In Japanese, In process)

Sakiya, K., Tsukamoto, M., Takaiso, T., and Higashide, A. 2007, Rock excavation by slurry shield machine. The proceedings of the 60th of the annual meeting of the JSCE, Hiroshima Japan (In Japanese, In process)

ارزیابی پایداری تونل با بهره‌گیری از ترکیب روش‌های ژئوفیزیکی

علی رمضانی^۱، علی نقی دهقان^۲

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
g_ali_ramzani@yahoo.com

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران a.dehghan@srbiau.ac.ir

متن حاضر ترجمه مقاله زیر می‌باشد:

E. Cardarelli, C. Marrone, L. Orlando, 2003, "Evaluation of tunnel stability using integrated geophysical methods" Journal of Applied Geophysics, Vol. 52, pp. 93-102.

چکیده

این تحقیق یک بررسی جامع در مورد پایداری یک تونل زهکشی آب آشامیدنی در ایتالیا است که در آن، ترکیبی از روش‌های ژئوفیزیکی GPR، روش لرزه‌ای شکست مرزی و توموگرافی لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. عمر زیاد پوشش بتی و شکسته شدن آن در یک تونل منجر به فعال شدن یک زمین لغزش شد که این امر باعث ایجاد نایپایداری در کل شبکه زهکشی گردید. برای مطالعه پایداری سنگ‌های نزدیک توده ریزش یافته، به دلیل اجتناب از آسودگی آب و خطر ریزش‌های بیشتر، روش‌های ژئوفیزیکی بر حفر گمانه و آزمایش‌های ژئوتکنیک ترجیح داده شدند. برای تعیین ویژگی‌های الاستیک و همچنین تشخیص ناپیوستگی‌ها در سنگ، از تفسیر داده‌های توموگرافی لرزه‌ای به همراه داده‌های GPR بدست آمد از آتنن ۲۰۰ مگاهرتز، استفاده شد. استفاده از داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی به همراه داده‌های آتنن ۴۵۰ مگاهرتز به ما این امکان را داد که مناطق سست شده اطراف تونل و همچنین ابعاد توده ریزش یافته را شناسایی کنیم. داده‌های GPR بدست آمد با استفاده از آتنن ۲۲۵ مگاهرتز برای ارزیابی کیفیت تماس بین پوشش بتی و سنگ در بر گیرنده آن به کار گرفته شد.

مقدمه

et al., 1991; Cardarelli and Bernabini , 1997; Heikkinen Santarato et) GPR (and Saksa, 1998 یا روش‌های الکترونیکی با ۱۹۹۸,,(al.) نام برد. در همه موارد بهره گرفتن از چند روش متفاوت ژئوفیزیکی در افزایش دقت پردازش و تفسیر داده‌ها بسیار موثر است. نمونه‌های بسیار کمی از ترکیب روش لرزه‌ای و GPR وجود دارد (Benson et al., ۱۹۹۲) و اغلب برای اهدافی استفاده شده‌اند که با هدفی که در این مقاله دنبال می‌شود، متفاوت است. توروس و همکاران (۱۹۹۲) مقطعی تهیه کردند که داده‌های مربوط به قسمت‌های کم عمق مقطع (حدود چند متر) را از نتایج داده‌های GPR و قسمت‌های عمیق‌تر و انتهایی مقطع را از داده‌های لرزه‌ای بازتابی با فرکانس بالا بدست آوردند. برنابینی و همکاران (۱۹۹۴) مطالعه مشابهی انجام دادند که در آن از ترکیب GPR و توموگرافی لرزه‌ای برای آشکار سازی ساختارهای ستونی مدفون، استفاده شد.

امروزه پایدار سازی تونل‌ها و دیگر سازه‌های زیرزمینی به صورت روز افزونی با به کارگیری مطالعات ژئوفیزیکی انجام می‌شود. در حقیقت روش‌های ژئوفیزیکی امکان انجام یک آنالیز سریع از وضعیت شکستگی سنگ‌ها و کیفیت پوشش بتی را فراهم می‌کنند. در بعضی موارد این روش‌ها در مقایسه با روش‌های مطالعه مستقیم که عمدتاً گران قیمت و دشوار می‌باشند، نسبتاً معابر هستند، به ویژه در جاهایی که امکان انجام این گونه مطالعات وجود ندارد.

در این مقاله پایداری تونل با استفاده از مجموعه‌ای از سه روش ژئوفیزیکی GPR، روش لرزه‌ای شکست مرزی و توموگرافی لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. ترکیب چند روش مختلف ژئوفیزیکی برای مطالعه یک منطقه خاص، یک روش متداول است. به عنوان مثال می‌توان از ترکیب روش لرزه‌ای و الکترونیکی (Lin et al., 1996; Dobroka

انجمن تونل ایران

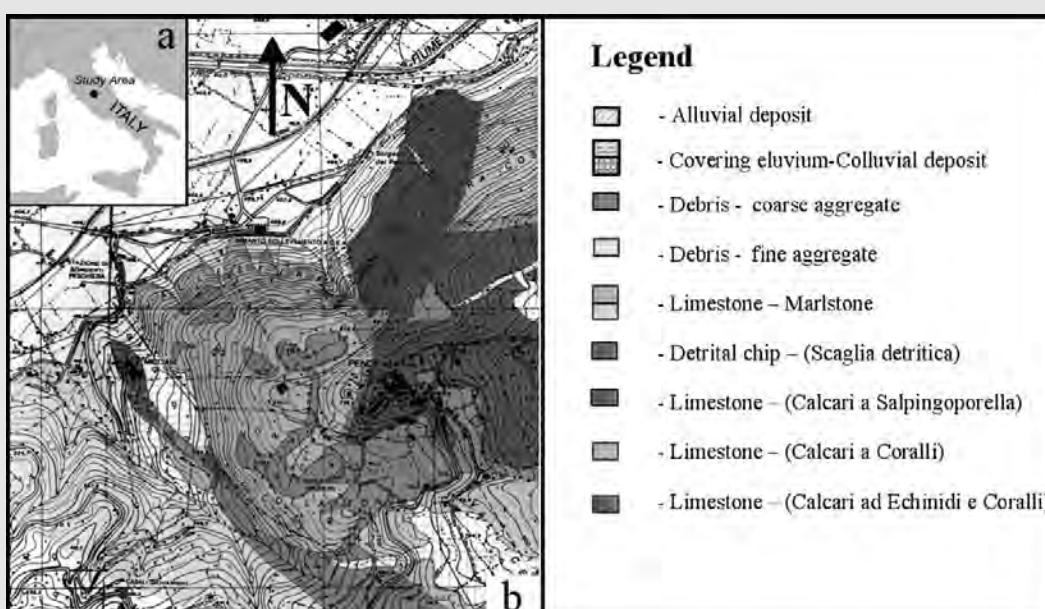
جایی که در آن چندین ناپایداری مربوط به زلزله سال ۱۹۹۷ سنتراال آپنین وجود دارد. استفاده هم زمان از چند روش ژئوفیزیکی این امکان را داده است که ویژگی های توده سنگ مورد بررسی را با جزئیات دقیق مورد مطالعه قرار دهیم.

ویژگی های زمین شناسی منطقه

هدف این مطالعه بررسی پایداری یک ساختار پیچیده زهکشی آب است که در سال های ۱۹۳۸-۱۹۴۰ در سنتراال آپنین ساخته شد. این ساختار شامل یک شبکه از تونل ها برای زهکشی و انتقال آب است که در حدود ۱۵۰۰ متر در یک تشکیلات سنگ آهک لایه بندی شده ژوراسیک گسترش یافته است (شکل ۱). سنگ آهک بوسیله دو دسته شکستگی قائم به شدت تکتونیزه شده که یک دسته جهت گیری NW-SE و دیگری NE-SW دارد.

استفاده از GPR در تونل ها بخصوص برای مطالعه پوشش بتنی، یک روش متداول است (Granda and Cambero, 1988; Benson, 1992, 1993, 1995; Maekawa and Fenner, 1994; Piccolo and Zanelli, 1994; Sorbini, 1990 کمتر متداول هستند، که این مساله شاید به دلیل مشکلات تعیین مکان ژئوفون ها و چشمهد های انفجاری، یا شاید هزینه بسیار بالای آن باشد. روش های لرزه ای، عمدتا برای تعیین پارامترهای الاستیک توده های سنگ، در طی مراحل طراحی، حفاری و همچنین در معدن کاری که پوشش نگه دارنده وجود ندارد به کار برده می شود (Bernabini and Borelli, 1974; Brizzolari, 1980, 1981; Gillot et al., 1997; Sattel et al., 1992).

کاوش های ژئوفیزیکی که در اینجا توصیف شده اند، در داخل یک تونل انتقال آب آشامیدنی در سنتراال آپنین (ایتالیا) انجام شده اند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت (a)، نقشه زمین شناسی (b) منطقه مورد مطالعه. تونل ها در توده های سنگ آهک ژوراسیک حفر شده اند. دو دسته شکستگی در منطقه (NE-SW و NW-SE) نشان داده شده اند.

رخداد، نیاز به مونیتورینگ دقیق تمام مجموعه تونل ها احساس شد. برای جلوگیری از تخریب تونل ها، کاهش طول شبکه قابل استفاده و اجتناب از آلوده شدن آب، یک سری روش های ژئوفیزیکی برای مونیتورینگ دائمی شبکه زهکشی آب انتخاب شدند.

- کاوش ها اهداف زیر را دنبال می کنند:
- ۱- تعیین ناپیوستگی های عمدۀ در سنگ ها.
- ۲- ارزیابی ویژگی های الاستیک توده های سنگ.

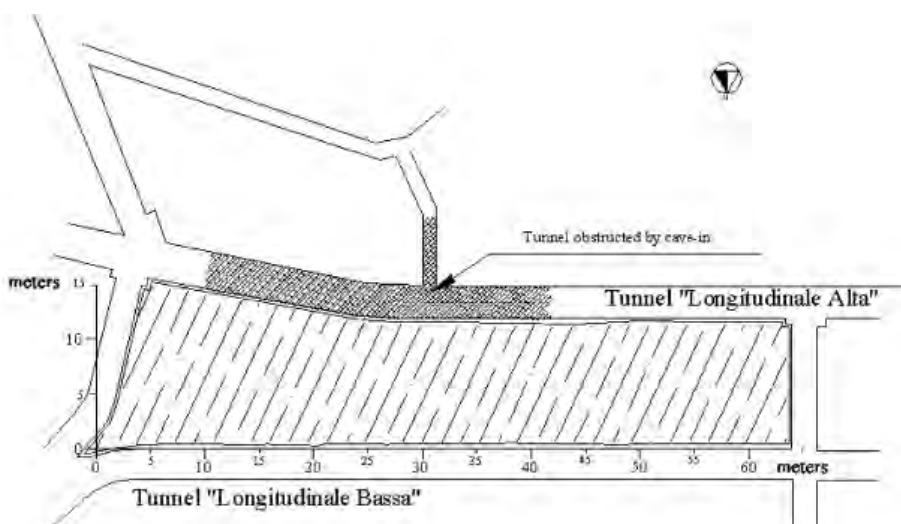
به دلیل قدمت زیاد تونل ها، فقط ضخامت بتن پوشاننده تونل معلوم است (حدود $0.3/0$ متر). جایگاه زمین شناختی خاص این منطقه، خرد شدگی شدید سنگ ها و فعالیت های لرزه ای، همیشه از شاخص های ناپایداری این تونل ها بوده است. بعد از زلزله ۱۹۹۷ (۱۱ اکتبر) در آمریبا (در نزدیکی منطقه مورد مطالعه)، یک زمین لغزش منجر به فرو ریزش سقف تونل آلتا شد (شکل ۲). حجم زیادی از مواد ریزش کرده و باعث مسدود شدن و ناپایداری بخشی از تونل شد. بعد از این

نتایج روش‌های مختلف را با هم مقایسه کرد، مطالعات به گونه‌ای انجام گرفت که همه روش‌ها، یک مقطع افقی مشخص از توده سنگ بین دو تونل را مورد بررسی قرار دهند (شکل ۳). پروفیل رادار در طول تونل باسا در ارتفاع $1/2$ متر بالای کف تونل با استفاده از سیستم PulseEkko Software ساخته شده توسط Sensor & استفاده عبارت است از 200 ، 225 و 450 مگاهرتز و داده‌ها با فاصله داده برداری $1/10$ متر با دامنه کامل و بدون فیلتر بدست آمد.

- ۳ - شناسایی گسترش زون‌های فروریزش.
- ۴ - شناسایی نواحی ناپایدار اطراف تونل.
- ۵ - تعیین کیفیت تماس بتن-سنگ در تونل.

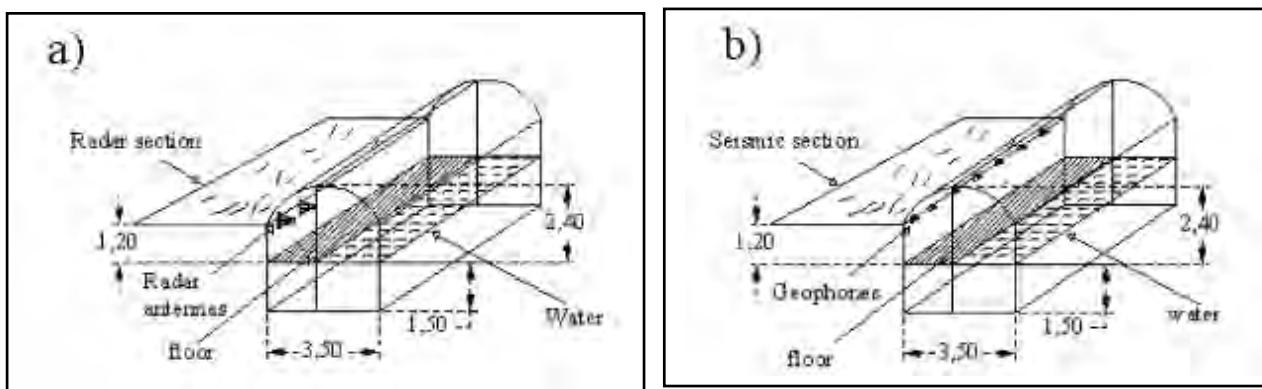
داده‌برداری

سنگ‌های مورد مطالعه بین دو تونل موازی قرار گرفته‌اند، بین تونل آلتا، جایی که فروریزش اتفاق افتاده و تونل باسا، که به صورت جانبی توسط دو تونل کوچک محدود می‌شوند (شکل ۲). برای اینکه بتوان



شکل ۲- طرح کلی منطقه مورد مطالعه.

برای داده برداری لرزه‌ای، با استفاده از لرزنگار Geometrics ES2401X، یک پروفیل لرزه‌ای شکست مرزی در طول تونل باسا و با ارتفاع $1/2$ متر از کف تونل، در همان ارتفاعی که پروفیل رادار بدست آمد، برداشت شد (شکل ۳b).

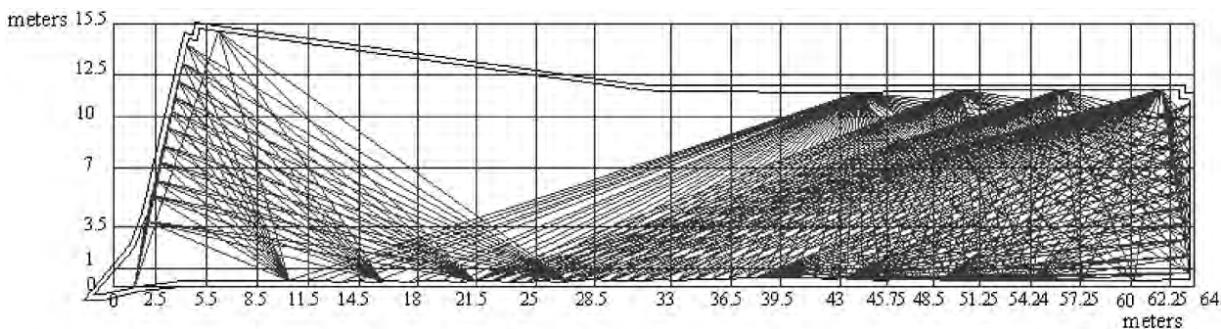


شکل ۳- (a) نصب تجهیزات داده برداری رادار. (b) نصب تجهیزات برای داده برداری لرزه‌ای.

استفاده از هفتاد ژئوفون و سیزده چشمۀ در فضایی با یک ارتفاع مشخص از کف تونل انجام شد (شکل ۴).

پروفیل، حاصل از چهار مرتبه گسترش آرایش است، که هر گسترش شامل پنج چشمۀ و دوازده ژئوفون با فاصله یک متر است. توموگرافی لرزه‌ای با

انجمن تولن ایران



شکل ۴- مسیر پرتوهای توموگرافی لرزه‌ای و هندسه شبکه بندی استفاده شده برای وارون سازی داده‌های لرزه‌ای.

در این تحقیق از روش GRM (Palmer, ۱۹۸۹) استفاده نشد، زیرا این روش نیاز به تعداد بیشتری چشمده دارد و افزایش تعداد چشمدها، افزایش هزینه مطالعات را دربر دارد. برداشت اولین زمان رسیدها توسط دست انجام گرفت و برای افزایش دقیق کار چندین مرتبه تکرار شد.

توموگرافی لرزه‌ای

در این قسمت نیز برداشت اولین زمان رسید با دست انجام شد. در کل تعداد ۳۰۲ تریس لرزه‌ای برای مطالعه تمام فضای بین دو تونل آلتا و باسا، به جز قسمت مربوط به لغزش (شکل ۴)، مورد استفاده قرار گرفت. نحوه چیدمان چشمدها و ژئوفون‌ها به گونه‌ای طراحی شد که یک پوشش خوب از منطقه داده برداری را بددهد و علاوه بر آن، یک شرایط خوب برای وارون سازی داده‌های لرزه‌ای، به منظور انجام توموگرافی، بدست آید. محدوده تغییرات سرعت که توسط روش شکست مرزی بدست آمد، برای تعیین خطای احتمالی در قرائت‌ها و همچنین تعیین ابعاد سلول‌های تشکیل دهنده مقطع، مورد استفاده قرار گرفت. شبکه بندی‌های مختلفی برای یافتن بهترین وضوح در شبکه مقطع لرزه‌ای برای هندسه آرایش و فرکانس به کار رفته، مورد آزمایش قرار گرفت (Williamson, 1991; Williamson and Worthington, 1993). الگوریتم (SVD) برای محاسبه مقدار مشخصه ماتریس توموگرافی به منظور ارزیابی پایداری سیستم مورد استفاده قرار گرفت (Nolet, 1987; Tarantola, 1989). در نهایت بهترین شبکه بندی بدست آمد که در شکل (۴) نشان داده شده است.

تفسیر داده‌ها GPR - ۱

برای تفسیر داده‌های GPR، هندسه و دامنه بازتابنده مورد استفاده قرار گرفت. پروفیل ارسال شده برای آنتن ۲۰۰ مگاهرتز در شکل (۵) نشان داده شده است، که یک نتیجه خوب اما با وضوح نسبتاً کم به حساب می‌آید. پروفیل تعداد زیادی بازتابنده را نشان می‌دهد که مهمترین آن‌ها یک بازتابنده افقی در عمق ۲۵۰ ns (۱۲ متر) است. این بازتابنده (ناحیه ۱ در شکل (۵)) همان دیواره تونل آلتا است. بازتاب در فاصله ۱۲ تا ۲۵ متر

در مطالعات لرزه‌ای، به دلیل عبور موج از پوشش بتنی، میرایی اتفاق می‌افتد. برای کاهش میرایی سیگنال‌ها که در اثر عبور از پوشش بتنی رخ می‌دهد، انتشار و دریافت امواج الاستیک به صورت مستقیم روی سنگ زیر پوشش بتنی انجام می‌شود. به این صورت که چشمدهای لرزه‌ای نقطه‌ای، میله‌های استیل با قطر ۳۰ و طول ۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شوند، که از بتن عبور کرده و روی سنگ قرار می‌گیرند. امواج الاستیک به وسیله کوبیدن چکش کرده و روی میله‌ها تولید می‌شود. ژئوفون‌ها توسط میله‌هایی به قطر ۱۰ و طول ۶۰۰ میلی‌متر به سنگ زیر پوشش بتنی متصل می‌شوند. اثر میله‌ها روی محتوای فرکانسی سیگنال، به وسیله رکوردهای اولیه بررسی شد. تست‌های اولیه نشان دادند که تغییر محتوی فرکانسی سیگنال بین دو حالت (با میله و بدون میله) تاثیر چندانی در ثبت اولین زمان رسید ندارد.

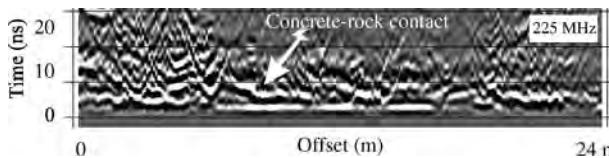
پردازش داده‌ها GPR - ۱

داده‌های رادار توسط نرم افزار Gradix Interpex تهیه شده مورد پردازش قرار گرفت. برای جبران میرایی سیگنال از تقویت کننده‌ای که یک تقویت ثابت برای همه تریس‌ها انجام می‌دهد، استفاده شد. برای افزایش نسبت سیگنال به نویز، به منظور انجام آنالیز طیفی، داده‌ها توسط فیلتر Butterworth با استفاده از فرکانس قطع ۵۰ و ۲۵۰ مگاهرتز برای داده‌های بدست آمده از آنتن ۲۰۰ مگاهرتز، فرکانس ۷۰ و ۴۲۰ مگاهرتز برای آنتن ۲۲۵ مگاهرتز و ۱۵۰ و ۵۵۰ مگاهرتز برای آنتن ۴۵۰ مگاهرتز فیلتر شدند. داده‌های GPR آنتن ۲۰۰ مگاهرتز توسط آلگوریتم Stolt (۱۹۷۸) با استفاده از سرعت $0.95 / \text{m/ns}$ ارسال شدند. این سرعت از محاسبه نسبت فاصله بین دو تونل آلتا و باسا (۱۲ متر) به زمان سیر بازتاب از دیواره تونل آلتا (۱۲ نانوثانیه)، بدست آمد. پروفیل GPR با فرکانس ۲۰۰ مگاهرتز ارسال شده و می‌تواند یک مقطع افقی از ناحیه بین دو تونل آلتا و باسا ارایه کند.

۲ - لرزه نگاری شکست مرزی

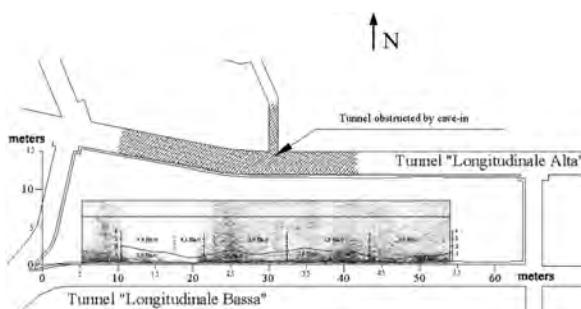
داده‌ها بوسیله روش تاخیر زمانی (Gardner, ۱۹۳۹) به همراه روشی که توسط برنابینی (۱۹۶۵) پیشنهاد شد بررسی شدند. این روش برای بررسی تغییرات سرعت در مواردی با بیش از یک لایه به کار می‌رود.

انجمن تونل ایران



شکل ۶- پروفیل GPR که توسط آنتن ۲۲۵ مگاهرتز بدست آمد. مقطع بازتابی را از محل تماس سنگ با پوشش بتنی، نشان می‌دهد. دامنه زیاد پرتو بازتابی از مرز تماس بتن-سنگ، نشان دهنده کیفیت پایین تماس است و بالعکس.

پروفیل GPR با آنتن ۴۵۰ مگاهرتز (شکل ۷) وضوح نسبتاً خوب و نفوذ ضعیف را نشان می‌دهد. این آنتن قادر به شناسایی دیواره تونل آلتا نیست. در این مقطع می‌توان ناحیه‌ای با تعداد زیادی بازتابنده و شکستگی، در نزدیکی پوشش بتنی، در تمام طول پروفیل یافت. این ناحیه با خاصیت متفاوت در طول پروفیل می‌تواند مربوط به قسمت سست شده باشد.

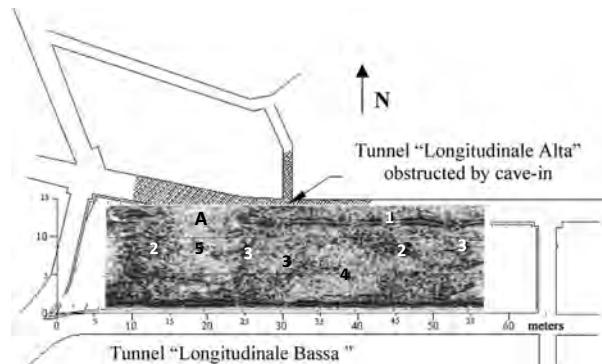


شکل ۷- نتیجه تفسیر داده‌های شکست مرزی که بر مقطع رادار ۴۵۰ مگاهرتز منطبق شده است. چگالی بالای بازتاب و انکسار داده‌های GPR نزدیک پوشش بتنی نشان دهنده یک ناحیه خرد شده یا ریزش کرده است. خط پیوسته در مدل دو بعدی زیر سطحی، توسط داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی بدست آمده است.

۲- لرزه نگاری شکست مرزی
داده‌های لرزه‌ای شکست مرزی پردازش شده (شکل ۷) ناحیه‌ای نزدیک پوشش بتنی را نشان می‌دهند که سرعتی بین $2/6 \text{ km/s}$ تا $3/1 \text{ km/s}$ دارد و در ناحیه عمیق‌تر سرعتی معادل $4/4 \text{ km/s}$ تا $3/9 \text{ km/s}$ دارد. ضخامت لایه اول که بین $2/2$ تا $3/0$ متر متغیر است یک تخمین خوب از ناحیه خرد شده یا ریزش کرده نزدیک تونل است.

۳- توموگرافی لرزه‌ای
مدلی که توسط توموگرافی لرزه‌ای بدست آمده تغییراتی را در میزان سرعت موج P در داخل سنگ‌های محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۸).

در طول پروفیل از بین می‌رود که در این قسمت دیواره تونل آلتا می‌تواند ریزش کرده باشد (منطقه A در شکل ۵). پروفیل تعداد زیادی بازتابنده شیب دار را نشان می‌دهد که می‌تواند به دو دسته طبقه بندی شوند (مناطق ۲ و ۳ در شکل ۵) که تطابق خوبی با دسته گسل‌هایی که توسط بررسی‌های زمین‌شناسی سطحی آشکار شده‌اند، دارند. بازتابنده شیب دار (۲) در شکل (۵) با گسل‌های NW-SE و بازتابنده (۳) با گسل‌های NE-SW در تطابق هستند. شکل (۵) دو منطقه با انرژی سیگنال پایین را نشان می‌دهد (ناحیه ۴ و ۵)، برای تفسیر این نواحی از فرضیه‌هایی بهره می‌بریم که بیان می‌کنند که انرژی‌های پایین در مقطع رادار می‌تواند مربوط به سنگ‌هایی باشد که به هیچ وجه شکستگی ندارند، یا مربوط به سنگ‌هایی با قدرت جذب سیگنال بالا. در ناحیه (۴) نفوذ خوب سیگنال منجر به این نتیجه می‌شود که سنگ‌ها در این قسمت نسبتاً خوب و بدون شکستگی هستند. عدم وجود بازتابنده عمیق‌تر در زون (۵) مانع از آن می‌شود که بتوان این ناحیه را سنگ کامل و بدون شکستگی در نظر گرفت، بنابراین این قسمت باید یک جذب کننده خوب مانند رس باشد.



شکل ۵- پروفیل GPR ارسال شده، آنتن MHZ ۲۰۰، بازتاب (۱) از دیواره تونل Longitudinale Alta صورت می‌گیرد و بازتاب در ناحیه A از بین می‌رود. شکستگی‌های (۲) راستای NE-SW و شکستگی‌های (۳) راستای NW-SE دارند. مناطق با انرژی سیگنال پایین در (۴) و (۵) مشخص شده‌اند.

در شکل (۶) مقطع فرستنده ۲۲۵ مگاهرتز در عمق $0/20$ تا $0/5$ متر بازتابندهای دارد که دامنه آن به صورت جانبی تغییر می‌کند، این بازتابنده توسعه تماس پوشش بتن با سنگ و پوشش بتنی این بازتابنده می‌تواند معرف کیفیت تماس بین سنگ و پوشش بتنی باشد، به‌گونه‌ای که دامنه کم نشان دهنده تماس خوب بین سنگ و پوشش بتنی است در حالی که دامنه زیاد بیانگر تماس ضعیف است.

انجمان تونل ایران

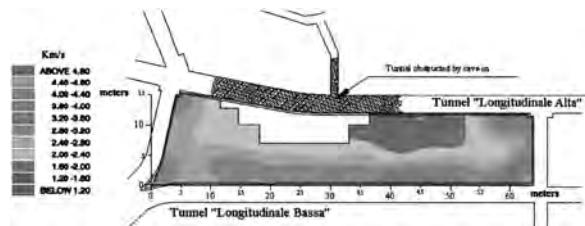
(شکل ۷). از شکل (۷) مشخص است که رابطه مستقیمی بین محتوی انرژی مقطع رادار و ضخامت لایه کم سرعت (2.9 km/s) تا $2/6 \text{ km/s}$ وجود دارد. مقطع رادار 225 مگاهرتز اطلاعاتی در مورد قطع محلی تماس پوشش بتنی و سنگ در تونل باسaranشان می‌دهد.

با برهم نبی مقطع توموگرافی لرزه‌ای (شکل ۸) و پروفیل رادار 200 مگاهرتز ارسال شده (شکل ۵)، مشاهده می‌کنیم که نواحی (A و B) با سرعت لرزه‌ای پایین $1/2 \text{ km/s}$ تا $1/4 \text{ km/s}$ بر مناطق با انرژی بالا در مقطع رادار منطبق هستند. سیگنال با انرژی پایین در ناحیه (۴) (شکل ۵) منطبق بر مناطق با سرعت بالا در توموگرافی است که تاییدی است بر این که این ناحیه خرد شده نیست. سیگنال رادار با چگالی پایین در ناحیه (۵) (شکل ۵) به دلیل ضعف داده‌های توموگرافی در این ناحیه، اطباق داده نشد. به هر طریق به دلیل فروریزش انجام شده در نزدیکی این منطقه و همچنین سرعت لرزه‌ای کمتر از $2/4 \text{ km/s}$ ، منطقی به نظر می‌رسد که فقدان سیگنال‌های رادار را در ناحیه (۵) به فروریزش سنگ‌ها در این منطقه نسبت دهیم. از بر هم نهی داده‌های توموگرافی لرزه‌ای و داده‌های رادار 200 مگاهرتز ، امکان جبران کمبودها در تفسیر داده‌ها فراهم آمد. داده‌های توموگرافی سرعت موج P را برای قسمت‌های مختلف و همچنین ابعاد و هندسه این نواحی را تعیین کرد، در حالی که پروفیل‌های رادار، نواحی به شدت خرد شده را با جزیبات خوبی آشکار کرد.

بحث و نتیجه‌گیری
استفاده و برهم نهی نتایج حاصل از سه روش GPR، لرزه‌ای شکست مرزی و توموگرافی لرزه‌ای، اطلاعات مفیدی را در مورد ناحیه ناپایدار تونل ارایه کرد. داده‌های رادار اطلاعاتی را در مورد تعداد و موقعیت ناپیوستگی‌ها در ناحیه مورد کاوش ارایه نمود، در حالی که روش‌های لرزه‌ای، تخمینی از وضعیت خواص الاستیک سنگ‌های قسمت مورد مطالعه به دست داد. با ترکیب اطلاعات بدست آمده از روش‌های لرزه‌ای در مورد سرعت موج P در نواحی مختلف، با هندسه بازناینده‌ها که توسط GPR تعیین شد، نقاط مبهم در تفسیر داده‌ها به حداقل کاهش داده شد.

رسم نتایج حاصل از سه دسته داده در یک مقایسه و برهم نهی آنها، نتایج خوبی را از اطباق داده‌ها نشان داد. بنابراین تهیه یک طرح کامل با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی امکان پذیر می‌شود، که این طرح هم منطقی‌تر است و هم سازگاری بیشتری با نتایج سایر روش‌های مطالعه‌ی دارد. به کارگیری چند روش ژئوفیزیکی مختلف، یک روش بسیار کاربردی در کاوش‌های زمین شناسی به شمار می‌آید، بهویشه در جایی که روش‌های مخرب مانند حفاری قابل استفاده نیستند. علاوه بر این، از این روش‌ها برای بررسی نتایج کار پایدارسازی تونل، بدون ایجاد تخریب می‌توان بهره برد.

نتیجه تفسیر هم زمان داده‌های این روش در منطقه مورد مطالعه، یافتن مناطق به شدت ناپایدار در طول تونل آنات است. توموگرافی لرزه‌ای برای این منطقه سرعتی کمتر از 2 km/s را نشان می‌دهد و پروفیل رادار نیز این مناطق را به صورت آنومالی‌های بسیار واضح و مشخص نشان می‌دهد.



شکل ۸- مقطع توموگرافی لرزه‌ای. مقادیر نشان داده شده بوسیله

$$\frac{\text{km}}{\text{s}} \text{ است.}$$

کیفیت پایین سنگ‌ها در نزدیکی تونل آنات بهوضوح قابل مشاهده است، به گونه‌ای که سرعت $1/5 \text{ km/s}$ را که سرعت در سنگ‌های به شدت تخریب شده است را نشان می‌دهد، توجه شود که یک چنین سنگ آهکی در شرایط خوب با سرعت موج P معادل $4/5 \text{ km/s}$ مشخص می‌شود (نتایج لرزه نگاری شکست مرزی را ببینید). مطالعات محدودیتی را برای سرعت موج P در مقابل خرد شدگی سنگ نشان می‌دهد که این حداقل سرعت برای سنگ آهک $1/7 \text{ km/s}$ تا 2 است (Armando et al., ۱۹۸۷). با نزدیک شدن به تونل باسا، سرعت به تدریج افزایش می‌یابد و در نهایت به سرعتی که توسط روش شکست مرزی بدست آمد، می‌رسد.

تفسیر نهایی با استفاده از نتایج حاصل از سه روش ژئوفیزیکی

مرحله نهایی کار مقایسه و جمع‌بندی نتایج حاصل از روش‌های لرزه نگاری و GPR است. این کار برای حذف ابهاماتی که معمولاً در روش‌های مختلف وجود دارد به کار می‌رود. به دلیل وجود اختلاف بین میزان وضوح نتایج حاصل از روش‌های مختلف، مقایسه بین نتایج داده‌های آنتن 200 مگاهرتز با نتایج توموگرافی و داده‌های آنتن 450 مگاهرتز با داده‌های شکست مرزی انجام شد. داده‌های آنتن 225 مگاهرتز برای تعیین کیفیت تماس بین سنگ و سنگ، مورد استفاده قرار گرفت.

برای به دست آوردن اطلاعات در مورد کیفیت سنگ، دامنه سیگنال بازگشتی در مقطع رادار را مورد مطالعه قرار دادیم. فرض کردیم که انرژی بازتابی به طور مستقیم وابسته به کیفیت سنگ است (Derobert and Abraham, ۲۰۰۰) به این صورت که هرچه میزان شکستگی بیشتر باشد، مقدار انرژی بازتاب می‌کند و بالعکس. با توجه به توموگرافی لرزه‌ای، یک تخمین از میزان پایداری سنگ‌های مطالعه شده بر حسب مقدار سرعت موج P بدست آمد. با توجه به این که محدوده سرعت موج P در سنگ آهک خوب بین 5 km/s تا $1/5 \text{ km/s}$ است، بنابراین سرعت $1/5 \text{ km/s}$ در سازند آهکی نشان می‌دهد که سنگ آهک به شدت خرد شده و فضای خالی آن با هوا پر شده است، بنابراین سنگ باید یک برش ناهمگن در نظر گرفته شود (Armando et al., ۱۹۸۷).

پروفیل‌های GPR با آنتن 450 مگاهرتز و نتایج لرزه نگاری شکست مرزی، برای تعیین مناطق فروریزش نزدیک دیواره تونل، روی هم قرار داده شدند

مراجع

- [11] Cardarelli, E., Bernabini, M., 1997. Determination of parameters of urban waste dumps, two case histories. *Journal of Applied Geophysics* 36, 167–174.
- [12] De' Robert, X., Abraham, O., 2000. GPR and seismic imaging in a gypsum quarry. *Journal of Applied Geophysics* 45, 157–169.
- [13] Dobroka, M., Gyulai, A., Ormos, T., Csokas, J., Dresen, L., 1991. Joint inversion algorithm of seismic and geoelectric data recorded in an underground coal mine. *Geophysical Prospecting* 39 (5), 643–666.
- [14] Gardner, L., 1939. An area plan of mapping subsurface structure by refraction shooting. *Geophysics* 4, 247–259.
- [15] Gillot, E., Lacombe, P., Renoux, P., 1997. High resolution seismic and VSP for the future railway tunnel through the Alps. 59th Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys., Extended Abstracts, Session: F052. Waterloo Center for Ground Research, Waterloo, Ont.
- [16] Granda, A., Cambero, J.C., 1988. Inspection of tunnel lining of the Madrid–Sevilla ave railway through georadar. Proc. IV Meeting of EEGS (European Section). Inst. Geografico National, Barcelon, pp. 531–534.
- [17] Heikkinen, E.J., Saksa, P.J., 1998. Integrating geophysical data into bedrock model in site characterization for nuclear waste disposal. 60th Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, vol. I. EAGE, The Netherlands, Session 4–49.
- [18] Lin, Z., Hatherly, P., Vozoff, K., Engels, O.G., Smith, G.H., 1996. Joint application of seismic and electromagnetic methods to coal characterisation at west cliff colliery, New South Wales. Experiment in *Geophysics* 27 (4), 205–215.
- [19] Maekawa, S., Fenner, T.J., 1994. Study of cavity depth estimation behind concrete tunnel lining using G.P.R. Proc. of International Conference of G.P.R. Waterloo Center for Ground Research, Waterloo, Ont., pp. 895–905.
- [20] Nolet, G., 1987. Seismic wave propagation and seismic tomography. In: Nolet, G. (Ed.), *Seismic Tomography*. D. Reidel Publishing, Dordrecht, pp. 1–23.
- [21] Palmer, D., 1989. The Generalised Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation SEG, Tulsa.
- [1] Armando, E., Fornaro, M., Mancini, R., Patrucco, M., Sambuelli, L., 1987. Field trials to define the expected performance of hydraulic excavators on the basis of seismic velocity. *Bollettino della Associazione Italiana Subalpina Anno XXIV* (3–4), 321–327.
- [2] Benson, A.K., 1992. A case study of integrating and modeling seismic, gravity, radar, and geotechnical data to identify and characterise shallow geology especially concealed faulting. Proceeding of the 28th Symposium on Engineering Geology and Geotechnical Engineering. Idaho State University, Rena, NV, pp. 1–17.
- [3] Benson, A.K., 1993. Case studies using ground penetrating radar to help assess groundwater contamination, shallow faulting, faults, and cavities. Proceeding of the 29th Symposium on Engineering Geology and Geotechnical Engineering. Idaho State University, Rena, NV, pp. 63–89.
- [4] Benson, A.K., 1995. Applications of ground penetrating radar in assessing some geological hazard. *Journal of Applied Geophysics* 33, 177–193.
- [5] Bernabini, M., 1965. Alcune considerazioni sui rilievi sismici a piccole profondita'. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* II (26), 106–118.
- [6] Bernabini, M., Borelli, G.B., 1974. Methods for determining the average dynamic elastic properties of a fractured rock mass and the variations of these properties near excavations. *Proceedings of the International Society for Rock Mechanics*, Denver II (Parte A), 393–397.
- [7] Bernabini, M., Cardarelli, E., 1997. Variable damping factor in travel time tomography. *Journal of Applied Geophysics* 38, 131–141.
- [8] Bernabini, M., Brizzolari, E., Cardarelli, E., Orlando, L., 1994. Integrated geophysical survey in some pillars of Coliseum. EGS, *Annales Geophysicae*, SE7 Environmental Geophysics: Part I C 126.
- [9] Brizzolari, E., 1980. Applicazione del metodo minisismico a rifrazione a un problema minerario. Resoconti della Associazione Mineraria Sarda, seminario sulle applicazioni dei metodi geofisici all'attività mineraria. Assoc. Mineraria Sarda, Cagliari, pp. 53–65.
- [10] Brizzolari, E., 1981. Miniseismic investigations in tunnels: methodology and results. *Geoexploration* 18, 259–267.

چکیده پایان نامه

بررسی مراحل اجرایی و حساسیت سنجی پارامترها در روش اجرای پیش تثبیت بتی در فضاهای زیرزمینی بزرگ مقطع (ایستگاه‌های مترو)

پایان نامه کارشناسی ارشد

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران

نگارش: سید رضا طاهری
استاد راهنمای: دکتر محمد حسین صدقیانی
خرداد ۱۳۸۶

چکیده:

احداث ایستگاه‌های مترو به عنوان فضاهای زیرزمینی کم عمق بزرگ مقطع در مناطق شهری از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. روش حفر و پوش به عنوان روش متداول اجرای این فضاهای در مناطق پرتردد شهری با مشکلات فراوانی همراه می‌باشد، لذا روش حفاری چند مرحله‌ای مقطع از زیر زمین می‌تواند به عنوان گزینه جایگزین مناسب تلقی گردد. از طرفی با نصب سیستم پیش تثبیت تاق‌ها و شمع‌های بتی قبل از حفر مقطع اصلی، حفاری قسمت‌های بعدی این‌جا می‌شود که این روش پیش تثبیت به دلیل سهولت اجرا و اقتصادی بودن آن، به عنوان روش انتخابی در تحلیل پایداری ایستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تحلیل احداث ایستگاه‌های مترو که دارای ساختاری سه بعدی می‌باشند فرض کرنش صفحه‌ای باعث عدم دقت کافی می‌شود. لذا، در این پایان‌نامه، روند اجرای ایستگاه متروی S1 مربوط به توسعه خط یک متروی تهران به عنوان فضای پایداری ایستگاه Plaxis 3D Tunnel با کمک نرم افزار Plaxis 3D Tunnel تحلیل و بررسی شده است.

با تغییر تعداد، عمق و ترتیب گام‌های حفاری روش‌های اجرای مختلفی بدست می‌آیند که هر ترتیب بیانگر یک روش مجزای حفاری است و با مقایسه نتایج تحلیل این روش‌ها، مناسب‌ترین روش و همچنین روش بحرانی تعیین گشتند. علاوه بر بررسی روش‌های اجرایی، بخش عمده‌ای به حساسیت‌سنجی پارامترها اختصاص دارد. بطوری که در ابتدا اثر ایجاد تغییرات در نوع، تعداد، فاصله و ضخامت اجزای پیش تثبیت مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه، نقش ترا از آب زیرزمینی، پارامترهای خاک و نحوه لایه‌بندی خاک اطراف بر نتایج تحلیل کنترل گردید.

کلید واژه‌ها

- ایستگاه مترو
- تحلیل پایداری
- سیستم پیش تثبیت
- روش‌های اجرایی
- حساسیت سنجی
- (Metro Station)
- (Stability Analysis)
- (Pre- support System)
- (Construction Methods)
- (Sensitivity Analysis)

چکیده مقالات منتخب نشریات

اندرکنش ترک‌ها در حین تزریق

Rikard Gothäll, and Håkan Stille, 2010, "Fracture-fracture interaction during grouting", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 3, (May 2010), Pages 199-204.

آب بند نمودن سازه‌های زیرزمینی خود نگهدار معمولاً از طریق پیش تزریق یا تزریق انجام می‌گیرد. در بیشتر مواقع از دوغاب‌های سیمانی برای تزریق استفاده می‌شود. به منظور رسیدن به درجه مناسبی از آب بندی، دوغاب باید تا عمق و مسافت زیادی در امتداد درزه‌ها و ترک‌های باریک نفوذ نماید. به این منظور برای تزریق از فشارهای زیاد استفاده می‌شود تا بدین طریق بر تنش‌های برجای عمود بر درزه‌ها غلبه شود. در مقاله حاضر، اندرکنش درزه و ترک‌های موازی در حین تزریق با فشار زیاد مدلسازی شده و تاثیر انسباط آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدلسازی، سختی درزه و ترک‌ها به دو صورت خطی و غیر خطی در نظر گرفته شده‌اند.

ویژگی مقیاس طول در سرعت بحرانی تهویه برای کنترل دود در تونل‌ها

Kai Kang, 2010, "Characteristic length scale of critical ventilation velocity in tunnel smoke control", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 3, (May 2010), Pages 205-211.

مقاله حاضر ویژگی مقیاس طول را در ارتباط با سرعت بحرانی تهویه به صورت کمترین سرعت جریان هوا برای جلوگیری از تجمع و سکون دود تعریف شده که برای کنترل میزان دود درون تونل‌ها استفاده می‌شود. در این تحلیل با در نظر گرفتن شرایط به صورت تک بعدی و با ترکیبی یکنواخت، رابطه سرعت بحرانی تهویه به وسیله عدد فرود (Froude Number) که ارتفاع تونل را به عنوان ویژگی مقیاس طول در نظر می‌گیرد، تعیین گردیده است. در این پژوهه برای بررسی تأثیر نسبت انسداد تونل به عرض تونل یا نسبت سرعت بحرانی تهویه از مدلسازی عددی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که قطر هیدرولیکی تونل تناسب بیشتری با سرعت بحرانی تهویه دارد و همسو با نتایج ارایه شده توسط محققان دیگر نیز می‌باشد. در پایان، موارد عملی استفاده از قطر هیدرولیکی تونل برای تعیین سرعت بحرانی تهویه مورد بحث قرار گرفته است.

تغییر شکل مقطع یک تونل دایروی به دلیل تغییرات تنش محصور

Kuo-Pin Huang, Tai-Tien Wang, Tsan-Hwei Huang, and Fu-Shu Jeng, 2010, "Profile deformation of a circular tunnel induced by ambient stress changes", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 3, (May 2010), Pages 266-278.

با توجه به آنکه امروزه می‌توان مقطع تونل‌ها را به سادگی و با دقت زیاد اندازه گرفت، اندازه‌گیری مقاطع تونل به عنوان یک فرآیند استاندارد برای ارزیابی وضعیت ایمنی تونل شناخته شده است. تغییر شکل مقطع اطلاعات با ارزشی در مورد تغییر تنش محصور یک تونل فراهم می‌نماید. در این تحقیق، روشی برای تفکیک دو بعدی تغییرشکلی با جابجایی انتقالی و جابجایی چرخشی ارایه می‌گردد. با استفاده از این روش میزان جابجایی تغییرشکلی خالص یک مقطع تونل تحت بارهای مختلف تعیین گردید. شرایط بارگذاری مورد مطالعه شامل بارهای تک محوری و دو محوری محصور، بارگذاری نزدیک پوشش تونل، بارگذاری مایل و نیز لغزش در امتداد سطوح ضعیف بوده است. الگوهای تغییر شکل با شرایط مختلف بارگذاری مطابقت داشته و به سادگی قابل تفکیک می‌باشند. همچنین می‌توان تغییر تنش محصور را بر اساس تغییر شکل مقطع اندازه گیری نمود. شرایط پیچیده‌تری همچون مصالح الاستوپلاستیک، تغییر شکل اولیه، و مقاطع غیر دایروی نیز مورد مطالعه قرار گرفتند تا بدین طریق قابلیت‌های این روش بررسی شوند.

انجمن تولن ایران

تعیین فاصله بهینه تیغه‌های برش دستگاه TBM با روش شبیه سازی عددی سه بعدی

Jung-Woo Cho, Seokwon Jeon, Sang-Hwa Yu, and Soo-Ho Chang, 2010, "Optimum spacing of TBM disc cutters: A numerical simulation using the three-dimensional dynamic fracturing method", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 3, (May 2010), Pages 230-244.

در این تحقیق، فرآیند خردایش سنگ‌ها به وسیله تیغه‌های TBM با روش عددی شبیه‌سازی شده است. برای این کار، شکست دینامیکی سنگ که در دستگاه برش خطی سنگ (Linear Cutting Machine; LCM) مشاهده شده به وسیله نرم افزار AUTODYN-3D شبیه سازی شده است. با تعیین نیروی متوسط غلتش و نیز جرم خردۀ‌های سنگ در این مدل‌سازی عددی، امکان محاسبه انرژی ویژه، که معادل انرژی مورد نیاز برای برش دادن و خرد نمودن واحد حجم سنگ می‌باشد، فراهم گردید. برای شبیه سازی مذکور تاثیر سرعت حرکت و اندازه تیغه‌ها بر انرژی ویژه، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. آزمایش LCM به صورت عددی برای هشت نوع سنگ موجود در کره جنوبی انجام شد. نتایج به دست آمده از این شبیه سازی با نتایج واقعی آزمایش LCM مقایسه شده و نشان داد که در سنگ‌های ایزوتروپ و همگن، فاصله بهینه تیغه‌ها که از مدل‌سازی به دست آمده، با شرایط واقعی آزمایش همخوانی خوبی دارد. این شبیه سازی، فرآیند خردایش سنگ را به صورت دقیق و مناسبی تشریح نموده و مقادیر انرژی ویژه قابل قبولی ارایه می‌نماید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش شبیه‌سازی با نرم افزار AUTODYN-3D می‌تواند جایگزین مناسبی برای آزمایش LCM و ارزیابی عملکرد TBM باشد.

استفاده از یک مدل الاستو-پلاستیک غیرکششی به همراه تحلیل برگشتی بهینه برای مدل‌سازی رفتار مکانیکی غیرخطی توده‌های سنگ در تونل‌سازی

Cheng-Xiang Yang, Yong Hong Wu, and Tung Hon, 2010, "A no-tension elastic-plastic model and optimized back-analysis technique for modeling nonlinear mechanical behavior of rock mass in tunneling" Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 25, Issue 3, (May 2010), Pages 279-289.

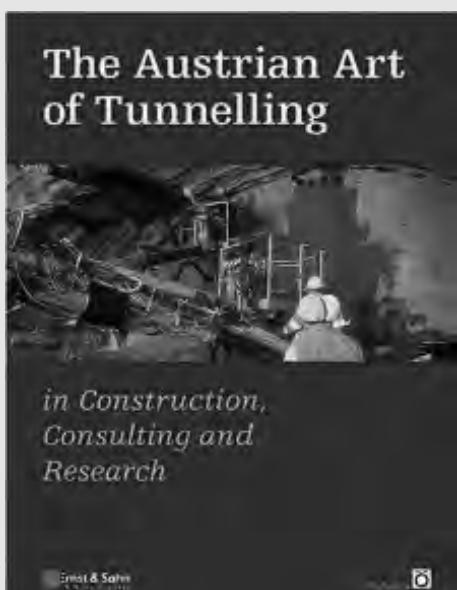
در این تحقیق یک مدل الاستو-پلاستیک غیرکششی و یک روش تحلیل برگشتی بهینه برای تونل معرفی می‌گردد. در این مقاله ابتدا روابطی که برای شبیه سازی رفتار غیرکششی و تسلیم پلاستیک و توده سنگ‌های درزه‌دار (در معیار Drucker-Prager) به کار گرفته شده‌اند، تشریح می‌شود. یک مدل المان محدود دو بعدی غیرخطی برای تخمین رفتار توده‌سنگ در حال استخراج ایجاد گردید و برای تعیین پارامترهای مورد استفاده در این مدل از روش آلگوریتم ژنتیک استفاده شد تا بدین‌وسیله ویژگی‌های توده سنگ به صورت بهینه تعیین شوند و پراکندگی و اختلاف میان مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی به حداقل ممکن برسد. مدل المان محدود غیرخطی به همراه تحلیل برگشتی آلگوریتم ژنتیک برای شبیه سازی یک تونل عمیق در سنگ‌های ضعیف در حال شکست به کار گرفته شدند و در متن به تفصیل تشریح شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که روش فوق با همگرایی خوبی قادر به تعیین پارامترهای مورد نیاز مدل بوده و تخمین‌های مناسبی از آن حاصل می‌شود.

معرفی کتاب

عنوان:

The Austrian Art of Tunnelling : in Construction, Consulting and Research

ویرایش: انجمن تونل اتریش (ATA)، انجمن ژئومکانیک اتریش (ÖGG)، انجمن بتن اتریش (ÖVBB)، انجمن راه اتریش (FSV)

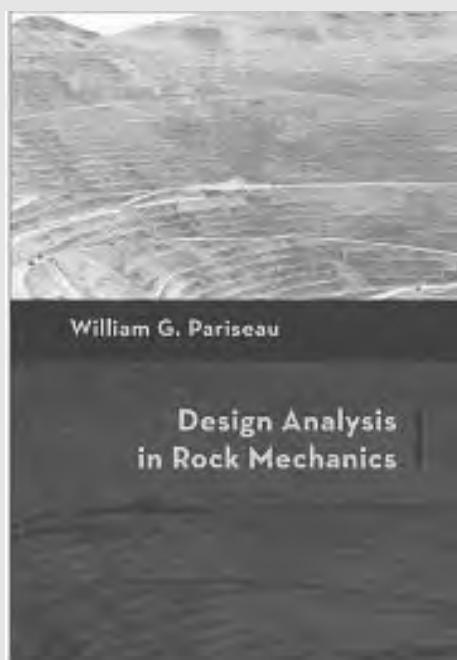


ناشر: Wiley

تاریخ انتشار: ۲۰۰۸

پیشرفت مهندسی تونل در زمینه‌های طراحی، اجرا، نوآوری و آموزش زبانزد متخصصان این رشته در دنیا می‌باشد. پروژه‌های بسیاری با شرایط پیچیده در گذشته و حال توسط مهندسان صنعت تونل‌سازی اتریش با موفقیت اجرا شده است. هدف کتاب "هنر تونل‌سازی اتریشی" جمع آوری و تشریح جدیدترین فنون و روش‌های به کار گرفته شده توسط مهندسان اتریشی می‌باشد. مقالات متعدد ارایه شده در این مجموعه شامل مطالعات موردي و پروژه‌های متعدد در حال اجرا در اتریش و دیگر کشورهای جهان می‌باشد. این مقالات ویژگی‌های این پژوهشها، مشکلات خاص حین ساخت و راه حل‌های ارایه شده برای اجرای آنها را تشریح می‌نمایند.

عنوان:

Design Analysis in Rock Mechanics

تألیف: William G. Pariseau

ناشر: Taylor and Francis

تاریخ انتشار: ۲۰۰۶

هدف این کتاب ارایه مطالب و راه حل‌های عملی و اجرایی در زمینه مهندسی مکانیک سنگ می‌باشد. در این کتاب نکات مهم طراحی در مکانیک سنگ از جمله پایداری شبیه‌های سنگی، استخراج در توده‌های سنگ، و نیز طراحی و پایداری شفت‌ها و تونل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین علاوه بر مروار اصول اولیه مکانیک سنگ، ناپیوستگی در توده‌های سنگ، و روش‌های طبقه بندی سنگ‌ها، به طراحی سه بعدی مغارها، طراحی و اجرای پیچ‌سنگ پرداخته می‌شود. در این راستا نمونه‌های متعددی از روش‌های طراحی و تحلیل سازه‌های سنگی به همراه مطالعات موردي ارایه شده‌اند.

International Bridge, Tunnel and Turnpike Association (IBTTA)
78th Annual Meeting and Exhibition – Sustainable Transportation
12-15 September 2010, San Diego, California

Delegates will examine best practices and innovations in toll industry finance, marketing, technology, customer service, environmental stewardship, operations, maintenance, and related issues.

Web: www.ibtta.org/Events

InnoTrans 2010 - “The future of mobility”
21-24 September 2010, Berlin, Germany

International Trade Fair for Transport Technology, Innovative Components, Vehicles, Systems

Web: www.innotrans.com

EFNARC Nozzlemaster Examiner course
5 - 7 October 2010, Hagerbach Test Gallery, Switzerland

The Scheme has been developed to offer certification to Nozzlemen who already have experience and skills in underground mechanised wet sprayed concrete method.

Web: www.efnarc.org/Nozzlemaster_Certification_Scheme.html

5th International Seminar on Deep and High Stress Mining
6 - 8 October 2010, Santiago, Chile

The Deep Mining International Seminar series provide a forum for the industry, academics and researchers to share information, experience and ideas on deep and high stress mining.

<http://web.ing.puc.cl/~deepmining2010/>

ISRM international Symposium 2010 and 6th Asian Rock Mechanics Symposium
23 - 27 October, 2010, New Dehli, India

The main theme for the Symposium is “Advances in Rock Engineering”.

Web: www.arms2010.org

Tunnel Design & Construction Europe
25-28 October 2010, Zurich, Switzerland

The inaugural Tunnels and Underground Construction Europe conference will showcase best practices in design and engineering of tunnels and underground spaces through a variety of case studies.

Web: www.tunnel-conference.com

IN THE NAME OF GOD

● Editorial.....	2
● News.....	3
● A review of numerical modeling methods and support design for tunnel junctions.....	8
● Initial Support System for Urban Tunneling: Temporary or Permanent?.....	18
● Innovative Technologies for road Tunnel Construction.....	26
● Evaluation of Tunnel Stability using integrated geophysical methods.....	36
● Dissertation Abstract.....	43
● Selected international paper abstracts.....	44
● Book Review.....	46
● Tunnelling Events.....	47



Dr. M. Gharouni Nik

Dr. S. Hashemi

Board of Directors of Iranian Tunnelling Association

Mr. M. Hamzeh Abyazani

Dr. A. Fahimifar, Dr. O. Farzaneh, Dr. M. Gharouni Nik,

Dr. S. Hashemi, Dr. M. Jafari, Dr. H. Kanani Moghaddam,

Mr. A. Mozaffari Shams, Dr. M. Sadaghiani,

Dr. H. Salari Rad, Dr. M. Sharifzadeh, Dr. A. Yasaghi

Mr. A. Iranzadeh, Mr. M. Khosrotash

Nashr-e-Fan

President

Chief Editor

Supervised By

Internal Management

Editorial Board

Other Contributors

Executive Producer