تونل
TUNNEL

شماره ۲۳ / بهار ۱۳۹۴
www.irta.ir
IRANIAN TUNNELLING ASSOCIATION MAGAZINE نشریه انجمن تونل ایران

ITA
INTERNATIONAL TUNNELING AND UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION
ENDORSED

انجمن تونل ایران
IRTA

دومین کنفرانس منطقه‌ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران

۱۱ تا ۱۴ آبان ماه ۱۳۹۴

"تونل ها و آینده"

11th Iranian and 2nd Regional

Tunnelling Conference

Tehran, 2-5 November 2015

دبیرخانه کنفرانس:

تهران، خیابان کارگر شمالی، بالاتر از بیمارستان قلب، نبش خیابان دوم، ساختمان ۱۸۳۹، طبقه ۵، واحد ۴۱.

تلفن: ۶ - ۸۸۶۳۰۴۹۵ تلفکس: ۸۸۰۰۸۷۵۴

پست الکترونیک: INFO@ITC2015.IR

سایت اینترنتی: WWW.ITC2015.IR

بسم الله الرحمن الرحیم

تونل

شماره ۲۳ ■ بهار ۱۳۹۴ ■

نشریه انجمن تونل ایران IRANIAN TUNNELLING ASSOCIATION MAGAZINE

فهرست

سرمقاله ۲
گزارش برگزاری چهل و یکمین کنگره جهانی تونل ۳
اخبار تونل ۴
گفتگوی انجمن تونل ایران با جمعی از پیشکسوتان متروی تهران، سیر تحول تکنولوژی در متروی تهران ۹
آشنایی با دستگاه حفار زوکور به کار گرفته شده در خط ۴ متروی تهران ۱۴
تخمین حفرپذیری و ساینده‌گی توده سنگ‌ها در تونلسازی با ماشین‌های حفر تونل، بر اساس تجارب پروژه‌های داخلی ۱۹
پیش بینی نیروی پیشران TBM، مطالعه موردی تونل مکانیزه گلاس ۲۶
معرفی کتاب ۳۱
چکیده مقالات منتخب نشریات بین المللی ۳۲
رویدادهای تونلی ۳۴

شرح روی جلد: تونل خط ۷ متروی تهران

صاحب امتیاز
انجمن تونل ایران
مدیر مسئول
دکتر مرتضی قارونی نیک
سردبیر
دکتر سیامک هاشمی
زیر نظر
هیئت مدیره انجمن تونل ایران
هیئت تحریریه
دکترمحمد جـــواد جعفری، دکتـــر جعفر حســـن‌پور، مهندس محمد خســـروتاش، دکتر مصطفی شریف‌زاده، مهندس غلامرضا شمسی، دکتر محمدحسین صدقیانی، دکتر اورنگ فرزانه، دکتر احمد فهیمی‌فر، دکتر مرتضی قارونی نیک، مهندس محسن کریمی، مهندس ابوالقاسم مظفری شمس، دکتر مهدی موسوی، دکتر علی یساقی، دکتر سیامک هاشمی

مدیر اجرایی
مهندس فرشید ترابی مهر
طراحی جلد و صفحه آرایی
مهندس فرشید ترابی مهر
تبلیغات
معصومه قره داغی

ضمن استقبال و تشکر از علاقمندان محترمی که مایل به ارسال مقاله برای این نشریه می باشند، خواهشمند است به نکات زیر توجه شود:

- موضوع مقاله در ارتباط با اهداف نشریه باشد.
- مطالب و مقاله های دریافتی بازگردانده نمی شوند.
- مقاله تالیفی یا تحقیقی، مستند به منابع علمی معتبر باشد.
- ارسال اصل مطلب ترجمه شده الزامی است.
- مسئولیت صحت علمی و محتوای مطالب بر عهده نویسندگان یا مترجمان است.
- نظرات نویسندگان به منزله دیدگاه و نظریه های نشریه نیست.
- نشریه در تلخیص، تکمیل، اصلاح یا ویرایش مطالب آزاد است.
- نقل مطالب نشریه با ذکر ماخذ بلامانع است.

نشانی: خیابان کارگر شمالی، بالاتر از بیمارستان قلب، بعد از خیابان دوم، ساختمان ۴۶۷، طبقه ۵، واحد ۴۱
تلفن: ۶-۸۸۶۳۰۴۹۵ - نمابر: ۸۸۰۰۸۷۵۴
Websit: www.irta.ir
E-mail: info@irta.ir

هماهنگی‌های کنفرانس یازدهم تونل و دعوت به ارسال مقاله

● یادداشت سردبیر

کشورهای زیادی در جهان، برای تامین آب مراکز جمعیتی و اقتصادی خود از ساخت تونل ها استفاده می نمایند. انحراف آب، آبرسانی و تخلیه آب و فاضلاب از جمله کاربردهای تونل‌ها می‌باشند که در تضمین سلامت و پایداری جوامع نقشی حیاتی دارند. این سازه های زیرزمینی برای مقابله با مشکلات متعدد شهری همچون افزایش ترافیک، آلودگی هوا و آلودگی صوتی نیز کاربردهای گسترده ای دارند. ایجاد راه‌های دسترسی در مناطق کوهستانی و کاهش فاصله‌ها از طریق تونل‌های جاده ای و راه آهن باعث کاهش مصرف سوخت می‌شوند. استفاده از فضاهای زیرزمینی در نقاط مختلف دنیا نیز روز به روز بیشتر مطرح می‌شود و به ویژه در شهرهای بزرگ اهمیت بیشتری می‌یابد چراکه با توجه به تراکم جمعیتی بالا و محدود بودن فضای سطحی و گرانی زمین، فضاهای زیرسطحی اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

موارد مذکور نشان می‌دهد که ساخت تونل‌ها و ایجاد فضاهای زیرزمینی نقش بی‌بدیلی در بهبود شرایط زندگی نسل آینده خواهد داشت. دورنمایی که در حال حاضر از طراحی و ساخت تونل‌های راه و راه‌آهن، تونل‌های انتقال آب، تونل‌های خدماتی و تونل‌های شهری و شبکه‌های مترویی وجود دارد بیانگر این مطلب است که زندگی و رفاه جوامع بشری در آینده وابستگی زیادی به اینگونه حفریات خواهد داشت.

از سوی دیگر صنعت تونل برای دستیابی به اهداف آینده خود همواره با چالش‌های زیادی مواجه است. مشکلاتی که در رابطه با روباره‌های کم در مناطق شهری بوجود می‌آید، خطراتی که از عبور زیر رودخانه‌ها با فشار بالای آب، حفاران را تهدید می‌کند، مواجه شدن با شرایط نامتجانس و ناهمگن زمین در بعضی از پروژه‌ها، افزایش طول، قطر و عمق بسیاری از تونل‌ها، همگی پیشرفت مستمر طراحی، تکنولوژی و نوآوری در صنعت تونل را می‌طلبد.

با توجه به اهمیت توسعه فضاهای زیرزمینی برای آینده و افزایش رویکرد به تونلسازی برای رفع نیازهای جوامع، انجمن تونل ایران به منظور بررسی چالش‌های آتی این صنعت، با همکاری انجمن بین المللی تونل، اقدام به برگزاری دومین کنفرانس منطقه‌ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران با عنوان "تونل ها و آینده" می‌نماید. این کنفرانس با تأکید بر نقش کلیدی تونلسازی در ایجاد آینده‌ای بهتر برای توسعه جوامع بشری، فرصت مناسبی به منظور تبادل اطلاعات و دانش روز و نیز آشنایی با فن‌آوری‌های جدید صنعت تونل را فراهم می‌سازد. برنامه های پیشبینی شده برای این کنفرانس شامل کارگاه‌های آموزشی، ارائه سخنرانی‌های کلیدی و مقالات، برگزاری نمایشگاه تخصصی و بازدید از پروژه های در حال اجرا می‌باشد.

انجمن تونل ایران بدینوسیله از تمامی دانشمندان، متخصصان و نخبگان علمی، اساتید، دانشجویان و پژوهشگران و دست‌اندرکاران صنعت تونل برای شرکت در دومین همایش منطقه ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران که در آبان ماه ۱۳۹۴ در تهران برگزار خواهد شد، دعوت به عمل می‌آورد تا با حضور فعال خود در این کنفرانس موجب شکوفایی، ارتقاء و توسعه دانش و فناوری فضاهای زیرزمینی شوند.

گزارش برگزاری چهل و یکمین کنگره جهانی تونل،

مجمع عمومی انجمن بین المللی تونل و نمایشگاه صنعت تونلسازی

• دکتر جعفر حسن پور

کنگـــره جهانی تونل هر ســـال در یکی از کشـــورهای عضو انجمن بین‌المللی تونل بر گزار می گردد. امسال نیز این کنگره جهانی در تاریخ ۲۲ تا ۲۸ می در شهر دوبروونیک کشور کرواسی با موضوع اصلی "ارتقاء و رواج صنعت تونلســـازی در منطقه جنوب شرق اروپا" برگزار گردید. در کنگره چهل و یکم، بیش از ۱۵۰۰ نفر از ۷۲ کشـــور جهان شرکت نمودند. شرکت کنندگان در این کنگره کارفرمایان دولتی، پیمانکاران، مشاوران طراح، اساتید دانشـــگاه و دانشجویان از کشورهای مختلف ۵ قاره بودنـــد. در این کنگره همچنین ۳۹۰ مقاله در زمینه های مختلف تونلسازی (در قالب ۶ موضوع اصلی کنگره) توسط محققین بین المللی ارائه گردید که فضای مناســـبی را برای تبـــادل اطلاعات و دانش فنی تونلســـازی فراهم نمود. امسال از ایران نیز حدود ۱۰ مقاله برای ارائه و چاپ در مجموعه مقاله پذیرفته شده بود.

هر ســـاله همزمان با کنگره جهانی تونل، مجمع عمومی انجمن بین المللـــی تونل نیز برگزار می گردد و نمایندگان کشـــورهای عضو جهت اطلاع از عملکرد انجمن بین المللی تونل در این مجمع شرکت می کنند. انجمن تونل ایران نیز هرســـال نماینده ای را جهت شـــرکت در مجمع عمومـــی کنگره تونل و فضاهای زیرزمینـــی اعزام می نماید. آقای دکتر جعفر حسن پور نماینده امسال انجمن تونل ایران در این مجمع بود.

در مجمـــع عمومـــی کـــه در دو روز ۲۴ و ۲۷ می تشـــکیل گردید، گزارشهایی توسط هیئت مدیره انجمن بین المللی و رؤسای کارگروهها ارائه گردید که مهمترین آنها عبارت بودند از:

• گزارش عملکرد سال گذشـــته انجمن بین المللی تونل و اهداف و برنامه‌های پیش روی انجمن توسط ریاست انجمن آقای اسکسن؛

• عملکرد مالی سال گذشته و پیش‌بینی وضعیت مالی انجمن در سال آینده توسط خزانه‌دار انجمن آقای آمبرگ؛

• گزارش عملکرد کارگروه‌های ۱ تا ۲۱ توسط رؤسای کارگروه‌ها؛

• گزارش کارگروه جوانان انجمن بین المللی تونل؛

همچنین اقدامات ذیل نیز در این مجمع صورت گرفت:

• معرفی اعضاء جدید انجمن بین المللی (کشورهای ونزوئلا و قطر)؛

• معرفی کاندیداهای برگزاری کنگره در ســـال ۲۰۱۸ (کشـــورهای امارات و هند)؛

• رأی گیری و انتخاب امارات متحده عربی به عنوان کشور برگزارکننده کنگره در سال ۲۰۱۸.

جلسات کارگروه‌های تخصصی نیز از جمله دیگر فعالیت‌هایی بود که به رسم هرساله همزمان با کنگره جهانی تونل برگزار گردید و در آنها به بحث و تبادل نظر در زمینه‌های مختلف مرتبط با حوزه کاری کارگروه‌ها صورت گرفت.

همچنین، در حاشیه این کنگره، مطابق برنامه هرساله، نمایشگاهی در زمینه صنعت تونلسازی برگزار گردید. در این نمایشگاه که از ۱۴۰ غرفه مختلف تشکیل شـــده بود، شرکت‌های مرتبط با صنعت تونلسازی طی سه روز دوره برگزاری نمایشگاه (۲۵ تا ۲۷ می) به معرفی محصولات و خدمات خود پرداختند. انجمن تونل ایران نیز در این نمایشـــگاه حضور فعال داشت و در غرفه خود به معرفی صنعت تونلسازی ایران پرداخت و همچنین با توزیع بروشور و صحبت با غرفه داران و نمایندگان کشورهای عضو انجمن بین المللی تونل، برای حضور در یازدهمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس منطقه ای تونل ایران که قرار است در آبان ماه امسال بـــا عنوان "تونل ها و آینده" در هتل المپیک تهران برگزار گردد، دعوت به عمل آورد. اغلب غرفه داران و اعضای انجمن استقبال خوبی نموده و برای شرکت در کنفرانس اشتیاق نشان دادند.

اخبار تونل

ثبت رکورد ۸۵۰ متر تونل سازی در یک ماه بی نظیر است

مجری پروژه خط ۷ متروی تهران با بیان اینکه درخط ۷ مترو دو بخش تونل جنوبی-شمالی به طول ۱۳ کیلومتر و تونل غربی-شرقی ۱۲ کیلومتر وجود دارد، اظهار کرد: «در تونل جنوبی-شـــمالی این خط تاکنون ۱۰ کیلومتر حفاری شده ودر بخش غربی شرقی نیز ۷ کیلومتر حفاری تونل صورت گرفته اســـت». وی با اشـــاره به اینکه رکورد تونل‌سازی در یک ماه گذشته رکوردی بی نظیر بوده است، گفت: «طی یک ماه گذشته در تونل جنوبی-شمالی از یک جبهه کار و با یک دستگاه TBM از نوع EPB به میزان ۵۸۲ متر و در تونل غربی-شرقی نیز با یک دستگاه و از یک جبهه کار ۲۵۰ متر تونل سازی در یک ماه صورت گرفته اســـت؛ که ثبت رکورد ۸۵۰ متر تونل ســـازی در یک ماه از دو جبهه کار، رکوردی بی‌نظیر است». مجری پروژه خط ۷ متروی تهران با تاکید بر اینکه در حرکت TBM از بزرگراه همت به شـــیخ فضل الله با اختلاف ارتفاع مواجه بودیم، افزود: «قاعدتاً حداقل ســـرباره در این بخش باید ۹ متر باشـــد که ما در این بخش با ســـرباره ۶ متر تونل سازی را ادامه دادیم». وی تاکید کرد: «اکنون فاز نخست خط ۷ مترو در بخش تونل سازی ۱۰۰ درصد و در بخش ایستگاه ۳۰ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است. البته با توجه به اینکه زمین سه ایستگاه از این بخش هنوز تکمیل نشده از منظر ایستگاه سازی از نظر زمان بندی عقب افتاده ایم و در آینده حتما جبران خواهد شد». وی در پایان با بیان اینکه فاز اول این خط از خیابان مولوی و ۱۷ شـــهریور شروع شـــده و تا میدان صنعت ادامه دارد، گفت: «این فاز ۱۶ کیلومتر است که با اتمام عملیات تونل سازی آن، امروز دستگاه حفار مکانیزه به میدان صنعت رسیده است».

باشگاه خبرنگاران
۱۳۹۴/۰۱/۰۱

تونل کبیرکوه جنوب ایلام را ۷۰ کیلومتر به مرکز کشور نزدیکتر می کند

محمد صادق جودی، نماینده تام الاختیار وزارت راه و شهرسازی در اجرای پروژه تونل کبیرکوه در جمع خبرنگاران با بیان اینکه احداث این تونل بزرگ اختلاف ارتفاع مسیر مناطق جنوبی استان ایلام را یک هزار و ۷۰۰ متر کاهش می دهد و باعث صرفه جویی چشمگیر در مصرف سوخت و استفاده بهینه مردم و مسافران از وقت و همچنین کاهش هزینه های جانبی و استهلاک وسایل نقلیه می‌شود، گفت: «احداث این تونل باعث حذف ۳۰۰ پیچ خطرناک، حذف گردنه ۲۰ کیلومتری برفگیر و سخت‌گذر کبیرکوه و کاهش مسیر شهرستان‌های جنوب استان و مسیر تردد زائرین عتبات عالیات با مرکز کشور می شود». محمد صادق جودی نقش تونل کبیرکوه را در روان سازی ترافیک کشور و پایین آوردن تلفات جانی و خسارت های مالی مهم خواند و یادآور شد: «اعتبارهای مورد نیاز امسال تونل کبیر کوه با توجه ویژه وزیر راه و شهرسازی و پیگیری‌های نمایندگان مردم استان در مجلس شورای اسلامی بیش از سه برابر شده است». تونل کبیرکوه با چهار هزار و ۸۰۰ متر طول، هفت متر ارتفاع، ۱۲ متر عرض و ۲۷۰ متر تونل فرعی یکی از مهمترین تونل های کشـــور اســـت. این تونل به واسطه نقش مهم و سازنده در کاهش بار ترافیکی کریدور غرب، مرکز و شمال غرب کشور به جنوب مورد توجه و تاکید وزیر راه و شهرسازی قرار دارد.

خبرگزاری مهر
۱۳۹۴/۰۱/۱۹

اخذ عوارض عبور از برخی تونل‌ها و بزرگراه‌های تهران

رئیس کمیته عمران شورای شهر تهران با اشاره به موافقت اولیه کمیسیون‌های شورا با طرح اخذ عوارض عبور از برخی تونل‌ها و بزرگراه‌ها، از ارائه پیشنهاد ۳۰۰ تومانی در این باره خبر داد و گفت: «طرح اخذ عوارض عبور خودروها از برخی تونل‌ها و بزرگراه‌های تهران مورد موافقت اولیه کمیسیون‌های شورا قرار گرفته است که در آینده در قالب طرحی در جلسه شورا مطرح خواهد شد». وی افزود: «معاونت حمل و نقل مبلغ ۳۰۰ تومان را برای اخذ عوارض در نظر گرفته وحتی نام تعدادی بزرگراه و تونل را هم اعلام کرده است؛ اما شورا اعتقاد دارد باید مبلغ عوارض متناسب با مسیر و نوع تونل باشد».

روزنامه اطلاعات
۱۳۹۴/۰۳/۱۲

شروع حفر تونل، نصب ریل و ساخت ایستگاه‌های L.R.T کرمانشاه از امسال

مدیرعامل سازمان قطارشهری کرمانشاه با اشاره به اجرای پروژه L.R.T در دو فاز یک و دو، اظهار کرد: «تمرکز کارها و فعالیت‌ها در فاز اول پروژه به طول هشت کیلومتر و از میدان طاق بستان تا میدان آزادی قرار داده شده تا بتوان با تکمیل این بخش از پروژه، آن را برای استفاده و بهره‌برداری شهروندان آماده کرد». ساسانی تصریح کرد: «درحال‌حاضر در این فاز نصب عرشه درحال انجام است و مقرر شده تا پایان امسال در پنج‌کیلومتر از این مسیر یعنی از ابتدای کارمندان تا سه‌راه ۲۲ بهمن عرشه ساخته و نصب شود». مدیرعامل سازمان قطار شهری کرمانشاه تصریح کرد: «همچنین از اواخر امسال و به دنبال نصب عرشه بحث روسازی و خرید تجهیزات ریل و متعلقات آن شامل پابند و فرش‌لاستیکی (PU) آغاز شده و از اواخر امسال نصب ریل در فاز اول پروژه شروع می‌شود». وی افزود: «همچنین در سال‌جاری ساخت سازه دو ایستگاه رو زمینی در بلوار شهیدبهشتی آغاز شده و مطالعات دو ایستگاه زیرزمینی پروژه نیز انجام می‌شود». به گفته ساسانی از مسیر هشت‌کیلومتری L.R.T در فازاول، ۶/۵ کیلومتر آن از میدان طاق‌بستان تا سه‌راه ۲۲ بهمن بصورت روگذر و ۱/۵ کیلومتر آن از سه‌راه ۲۲ بهمن تا میدان‌آزادی بصورت زیرزمینی خواهد بود. وی همچنین با اشاره به آغاز حفرتونل L.R.T در سال جاری، اظهار کرد: «خردادماه انتخاب پیمانکار این بخش از پروژه انجام خواهد شد و عملیات حفرتونل نهایتا در مردادماه امسال در صورت تامین اعتبار آغاز خواهد شد». مدیرعامل سازمان قطارشهری کرمانشاه در ادامه بودجه امسال پروژه L.R.T کرمانشاه را ۴۳ میلیاردتومان اعلام و تاکید کرد: «قطعاً این میزان بودجه کفاف پیشروی پروژه براساس برنامه‌زمانبندی آن را نخواهد داد». ساسانی یادآور شد: «درصورتی که سالانه ۲۰۰ میلیاردتومان اعتبار به پروژه تزریق شود، ظرف سه سال آینده می‌توان فاز اول پروژه را تحویل داد». وی خاطرنشان کرد: «اگرچه بودجه کمی امسال به استان اختصاص داده‌شده، اما پتانسیل جذب اعتبارات بیشتر برای پروژه در سال جاری وجود دارد». ساسانی به سفر معاون وزیرکشور به استان اشاره و تصریح کرد: «در این سفر با بازدید از روند پیشرفت پروژه L.R.T، از پیشرفت مطلوب آن قدردانی شد و معاون وزیرکشور با تایید اینکه بودجه امسال جوابگوی نیاز پروژه نیست مقرر کردند تا هرچقدر پروژه نیاز دارد، اوراق مشارکت فروخته شود و نصف اصل فروش اوراق را دولت متقبل می‌شود». وی تصریح کرد: «همچنین می‌توان از منابع دیگری به غیر از فروش اوراق مشارکت، از جمله استفاده از منابع صندوق توسعه ملی و نیز بحث تهاتر زمین‌های شهرداری و واگذاری آن به پیمانکار استفاده کرد». ساسانی در ادامه با اشاره به اجرای فازدوم پروژه L.R.T در مسیر میدان‌آزادی تا میدان‌فردوسی به طول چهارکیلومتر، اظهار کرد: «امسال مطالعات اجرای پروژه در این مسیر نیز آغاز خواهد شد». مدیرعامل سازمان قطارشهری کرمانشاه تصریح کرد: «چنانچه بخواهیم پروژه را هرچه سریعتر به نتیجه برسانیم، باید اعتبارات و فعالیت‌ها را در یک بخش متمرکز کرده و از پراکنده کاری در طول مسیر خودداری کنیم». ساسانی خاطرنشان کرد: «در سال‌جاری همچنین باید قرارداد ناوگان بسته شده و تامین‌کننده ناوگان پروژه مشخص شود». به گفته مدیرعامل سازمان قطارشهری کرمانشاه در طول‌مسیر پروژه L.R.T از میدان طاق بستان تا میدان فردوسی ۱۸ قطار L.R.T حرکت خواهند کرد.

خبرگزاری ایسنا
۱۳۹۴/۰۲/۰۲

◢ بهره برداری تونل شهدای غزه همزمان با اتمام احداث ادامه بزرگراه حکیم

جانشـــین مدیر پروژه تونل حکیم از بهره برداری تونل حکیم (شـــهدای غزه) همزمان با اتمام عملیات احداث ادامه بزرگراه شهید حکیم خبر داد و افزود: «اقدامات صورت گرفته در تونل حکیم نشان می‌دهد که این پروژه هم اکنون حدود ۹۶ درصد پیشرفت فیزیکی دارد». وی گفت: «هم‌اکنون عملیات تونل سازی و لاینینگ به پایان رسید و تنها آسفالت و زیرسازی تونل باقی مانده است». پورهاشمی افزود: «تونل حکیم دارای دو رشته شمالی به متراژ ۱۰۸۰ متر و جنوبی نیز ۱۰۸۳ متر است و با احتساب رمپ‌ها و دیگر جزئیات ۳۲۵۶ متر است». وی گفت: «چند درصد باقیمانده از تکمیل شدن نهایی پروژه به عملیات هوشمندسازی و سیستم تاسیسات آتش‌نشانی مربوط می‌شود که با تزریق منابع مالی به اتمام خواهد رسید». پورهاشمی ضمن عنوان اینکه پیش‌تر قرار بود این پروژه در بهمن ۹۳ افتتاح شود، گفت: «با توجه به اینکه تونل حکیم تنها یک قطعه از پروژه کلی حکیم است، با تصمیمات اتخاذ شده قرار شد تونل حکیم با تمامی قطعات و جزئیات آن همزمان با اتمام عملیات احداث ادامه بزرگراه شهید حکیم به بهره برداری برسد». وی با عنوان اینکه رکوردهای ثبت شده در ساخت تونل حکیم از تونل نیایش نیز پیشی گرفت، تصریح کرد: «در تونل نیایش ما شاهد ۲/۱ متر حفاری در روز بودیم که این امر در تونل حکیم به ۹/۱ متر رسید، علاوه بر این کل عملیات حفاری در مدت ۹ ماه و عملیات لاینینگ نیز در ۸ ماه انجام شد که رکوردهای بسیار قابل توجهی بود». وی با بیان اینکه در تونل حکیم شاهد کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت تجهیزات نیز بودیم ، افزود: «شاهکار پروژه حکیم این بود که هیچ آسیبی به محیط زیست وارد نشد و حتی یک اصله درخت نیز در طول عملیات قطع نشد». جانشین مدیر پروژه تونل حکیم با مقایسه بحث تونل سازی در ایران و جهان گفت: «امروز در بحث تونل ســـازی و تونل‌های شـــهری که معضلات زیادی دارد شاهد پیشرفت بسیاری در کشور بوده‌ایم». پورهاشمی افزود: «پروژه حکیم بدون دخالت کارشناسان خارجی صورت گرفت و تمامی عملیات آن از سوی مهندسان ایرانی انجام گرفت».

واحد مرکزی خبر
۱۳۹۴/۰۲/۱۳

◢ اتمام حفاری تونل خط ۲ قطارشهری مشهد تا پایان شهریور ۹۴

مدیرعامل شرکت قطارشهری مشهد در حاشیه مراسم خروج دستگاه (تی.بی.ام) از ایستگاه میدان شهدا، با بیان اینکه دستگاه حفار مکانیزه (تی.بی.ام)، ۷۸۵۰ متر را بدون هیچ‌گونه انحرافی از میدان طبرســـی طی کرده و وارد میدان شـــهدا شده است، اظهار کرد: «این دستگاه پس از ایستگاه سه راهی در پایان شـــهریور ۹۴ به میدان سعدی رســـیده و آخرین بخش تونل خط ۲ قطار شهری به اتمام می‌رسد». وی با اشاره به اینکه یکی از مشکلات ایستگاه میدان شهدا نسبت به سایر ایستگاه‌ها ساخت آن بر روی چهار ضلع بود، ادامه داد: «سقف این ایستگاه در قسمت ورودی ریخته بود و اگر دستگاه «تی.بی.ام» کوچک‌ترین انحرافی داشت، سقف و دیواره‌های اطراف آن دچار آسیب می‌شد که خوشبختانه چنین اتفاقی نیفتاد». کیامرز تصریح کرد: «با توجه به مشکلات ایستگاه میدان شهدا، بر روی ساختمان تالار شهر دستگاه‌های لرزه‌نگار قرار داده شده که کاملاً این ساختمان را رصد می‌کند و دستگاه «تی.بی.ام» نیز نقشه‌برداری و هدایت می‌شود». کیامرز با بیان اینکه فاز اول خط سه قطارشهری به طول ۱۱ کیلومتر بوده و از میدان فردوسی تا پارک شاهین ادامه دارد، عنوان کرد: «این خط دارای ۱۲ ایستگاه از میدان فردوسی به میدان شهدا، حرم مطهر رضوی، میدان بسیج، جانباز، پایانه مسافربری و ابتدای بولوار صبا(سیدی) است». وی افزود: «در صورت تفاهم با قرارگاه خاتم از پایان سال جاری دستگاه «تی.بی.ام» از میدان فردوسی به سمت انتهای قاسم‌آباد (بولوار امیریه) شروع به کار می‌کند». مدیرعامل شرکت بهره‌برداری قطارشهری مشهد خاطرنشان کرد: «با آستان قدس رضوی و سازمان میراث فرهنگی در رابطه با خط ســـه قطارشـــهری هماهنگ شده اما با آستان قدس رضوی موضوعاتی وجود دارد که هنوز حل نشده است». محمدآذری، معاون اداری و مالی شهرداری مشهد نیز در این مراسم با اشاره به اینکه یکی از مشکلات اصلی کلان‌شهر مشهد بحث حمل و نقل است، اظهار کرد: «پروژه قطار شهری با قدرت و سرعت خوبی در حال اجرا بوده، ۵۰ درصد دولت و ۵۰ درصد دیگر را شهرداری متعهد شده‌اند که به این پروژه کمک کنند».

خبرگزاری ایسنا
۱۳۹۴/۰۳/۱۹

◢ مدیرعامل قطار شهری اصفهان: نیمی از خط یک متروی اصفهان تا پایان امسال افتتاح می‌شود

مدیرعامل سازمان قطار شهری اصفهان پیرامون روند اجرای پروژه قطار شهری و اختلافات پیش آمده با میراث فرهنگی اظهار داشت: «ما مشکل و اختلافی با میراث نداریم اما کار ما با میراث فرهنگی گره خورده است». وی با بیان اینکه جبهه کاری ما در شمال و جنوب ایستگاه امام حسین(ع) به دلیل مسائل میراث بسته شده، تصریح کرد: «میراث فرهنگی باید برای ما تعیین تکلیف کند که باید چه کاری انجام دهیم تا عملیات آن شروع شود، ما به دنبال حفظ میراث فرهنگی هستیم و با نگهداری از آثار تاریخی به نحوی که با ادبیات جهانی بخواند و نظر کارشناسان میراث تأمین شود، مشکلی نداریم». مدیرعامل سازمان قطار شهری اصفهان با اشاره به بازدید استاندار و مدیرکل میراث فرهنگی اصفهان از پروژه مترو خاطرنشان کرد: «استاندار و مدیرکل میراث فرهنگی اصفهان از پروژه مترو بازدید کردند و اکنون در حال بررسی موضوع هستند». وی با بیان اینکه هر گوشه این شهر را که کلنگ بزنی قطعه‌ای از آثار تاریخی پیدا می‌شود، گفت: «در شمال ایستگاه امام حسین(ع) تونل آبرو پیدا شده که هنوز کارشناسان درمورد حوزه عمل این تونل و ابتدا و انتهای آن اطلاعات دقیقی ندارند و همه چیز بر حدس و گمان است». مدیرعامل سازمان قطار شهری اصفهان در پاسخ به اینکه چه خبر خوشی پیرامون مترو برای شهروندان اصفهان دارید، اظهار داشت: «مشکلات زیاد بوده اما تصمیم داریم امسال بیش از نصف خط یک را راه بیندازیم». وی خاطرنشان کرد: «خط یک از ایستگاه ترمینال صفه در جنوب اصفهان شروع می‌شود و تا قدس به طول ۲۰ کیلومتر ادامه دارد که ان‌شاالله تا پایان امسال از شهدا تا قدس یعنی نزدیک به ۱۰ کیلومتر آن به راه می‌افتد».

خبرگزاری تسنیم
۱۳۹۴/۰۲/۳۱

◢ *آغاز ساخت دومین تونل فاضلاب در غرب پایتخت*

مدیرعامل شرکت فاضلاب تهران از آغاز عملیات اجرایی دومین تونل فاضلابروی شهر تهران در غرب پایتخت خبر داد. اصغر ریاضتی با بیان اینکه این تونل به طول ۱۲ کیلومتر و با استفاده از دستگاه TBMحفاری می‌شود، اظهار داشت: «هزینه اجرای تونل فاضلاب غرب تهران از محل اعتبارات بانک توسعه اسلامی و با اعتباری بالغ بر ۸۸۰ میلیارد ریال، تامین می‌شود». وی افزود: «تونل غرب با هدف جمع‌آوری فاضلاب بخش‌هایی از مناطق مرکزی و غرب اجرا می‌شود که مساحت تحت پوشش تونل بالغ بر ۲۰ هزار هکتار و جمعیت تحت پوشش آن در حدود ۳/۵ میلیون نفر است». ریاضتی به روش حفاری در این پروژه اشاره کرد و گفت: «تونل غرب در عمق متوسط ۱۵ تا ۳۴ متر و با قطر ۳۰۰۰ تا ۳۶۰۰ میلی‌متر اجرا می‌شود و با توجه به مطالعات محیطی و مشخصات هندسی مسیر، این تونل برای اولین بار در کشور با بهره گیری از دستگاه TBM حفاری شده و با بتن مسلح پیش‌ساخته سگمنت‌گذاری و به همراه لایه ضدخوردگی پوشیده می‌شود». وی با اشاره به مزیت‌های روش حفاری مکانیزه نسبت به روش‌های سنتی تونل‌سازی گفت: «حفاری مکانیزه به لحاظ سرعت پیشروی بالا و میله‌های دسترسی کمتر، نسبت به روش‌های سنتی تونل‌سازی برتری دارد و بلافاصله پس از حفاری، با استفاده از سگمنت‌های پیش ساخته و بتن مسلح، بخش‌های حفاری شده به‌صورت خودکار سگمنت‌گذاری می شود». ریاضتی افزود: «مسیر تونل انتقال فاضلاب غرب تهران از تقاطع خیابان سی متری جی با بزرگراه آیت‌الله سعیدی آغاز و تا بازار مبل یافت‌آباد امتداد می‌یابد، در ادامه پس از اجرا در بلوار معلم تا ضلع شمالی بزرگراه آزادگان پیش می‌رود و در حاشیه ضلع شمالی بزرگراه امتداد یافته و از رودخانه کن عبور می‌کند». مدیرعامل شرکت فاضلاب تهران تصریح کرد: «این تونل با عبور از عرض بزرگراه آزادگان در نهایت در حاشیه ضلع جنوب شرقی اتوبان ساوه تا محل تصفیه‌خانه جنوب غربی تهران (فیروزبهرام) امتداد دارد و قادر است تا حداکثر دبی ۱۷/۲۲ مترمکعب بر ثانیه را به محل تصفیه‌خانه منتقل کند».

باشگاه خبرنگاران
۱۳۹۴/۰۳/۱۸

آغاز حفر بزرگ‌ترین تونل آبی کشور همزمان با سفر رئیس‌جمهور به کرمان

معاون عمرانی اســـتاندار کرمان درباره جزئیات انتقال آب از ســـد صفارود به کرمان اظهار کرد: «این طرح شامل سه مرحله است که در پروژه ساخت سد با قرارگاه خاتم‌الانبیاء قرارداد منعقد شده و کار با پیشرفت فیزیکی ۴۵ درصد در حال انجام است». وی افزود: «مرحله دوم انتقال آب از سد صفارود به اســـتان در اجرای خط انتقال بوده و طول این خط انتقال بیش از ۹۰ کیلومتر اســـت که خوشبختانه اخیرا موفق شدیم قرارداد انتقال این خط را تنظیم کنیم». کامیاب تصریح کرد: «مرحله سوم طرح، حفر تونل به طول ۳۸ کیلومتر است که بزرگ‌ترین تونل آبی کشور محسوب می‌شود. قرارداد این مرحله نیز با قرارگاه خاتم منعقد و پیمانکار نیز انتخاب شـــده اســـت». وی اظهار کرد: «مقدمات تجهیز کارگاه انتقال آب به کرمان در حال انجام است، دستگاه "تی.بی.ام" نیز به استان حمل شده و پیش‌بینی می‌کنیم شروع عملیات حفر تونل با سفر ریاست جمهوری به استان آغاز شود. زیرا همه مقدمات شروع کار فراهم شده است».

خبرگزاری ایسنا
۱۳۹۴/۰۲/۲۹

سومین تونل آبی جهان

رئیس مجمع نمایندگان استان کرمان در مجلس شورای اسلامی خواستار اجرایی شدن طرح‌های حل مشکل بی‌آبی در استان کرمان شده و هشدار داده اســـت اگر تا پنج ســـال آینده این مشکل برطرف نشود، ادامه زندگی در استان کرمان با مشکل کمبود آب مواجه خواهد شد. طرح‌هایی چون انتقال آب خلیج فارس برای غرب و شـــمال اســـتان و انتقال آب دریای عمان برای جنوب استان و انتقال آب از بهشت آباد برای تامین آب شرب در دستور کار قرار دارد و اقداماتی ابتدایی نیز در این خصوص صورت گرفته اســـت، این در حالی اســـت که استان کرمان نیازمند اجرای طرح‌های میان مدت و کوتاه مدت کم هزینه برای رفع مشکل کم آبی است. در همین راستا انتقال آب از سد صفا رود شهرستان رابر استان کرمان به شهر کرمان برای تامین بخشی از آب شرب این شهر کلید خورده است و اجرای این طرح با احداث بزرگترین تونل انتقال آب خاورمیانه در استان کرمان آغاز شده و عملیات حفاری این تونل از ابتدای خرداد ماه آغاز شده است. بختیاری افزود: «این تونل قطری معادل چهار متر خواهد داشت و آب در نهایت پس از گذر از ۳۸ کیلومتر به دشت گلزار در نزدیکی کرمان منتقل خواهد شد و در نهایت از طریق لوله به طول ۴۰ کیلومتر به شهر کرمان می رسد و پس از تصفیه در حومه کرمان وارد شبکه مصرف خواهد شد». این مسئول ادامه داد: «این طرح در واقع جزو طرح‌های میان مدت محسوب می‌شود و طرح‌های بلند مدت نیز در قالب انتقال حوزه به حوزه آب تعریف می‌شـــود که در حال پیگیری می‌باشـــند». وی افزود: «دبی آب این تونل ۲۰ متر در ثانیه تعریف شده است و توان انتقال آب با ظرفیت بیشتر از سد صفا رود را نیز دارد». وی این تونل را سومین تونل بزرگ دنیا در زمینه انتقال آب دانست و افزود: «اجرای چنین پروژه عظیمی می تواند نقطه عطفی در مشکل تامین آب استان کرمان باشد». بختیاری افزود: «در حال حاضر سه پروژه مهم انتقال آب در استان کرمان در حال پیگیری هستند و امیدواریم به زودی طرح انتقال آب از دریای عمان به کرمان نیز در سال جاری اجرایی شود».

خبرگزاری مهر
۱۳۹۴/۰۳/۲۰

گفتگوی انجمن تونل ایران با جمعی از پیشکسوتان متروی تهران

سیر تحول تکنولوژی در متروی تهران

با حضور آقای مهندس کریمی (عضو هیئت مدیره انجمن تونل ایران)، مهندس ابراهیمی اصل (اولین مدیر عامل متروی تهران) و چند تن از پیشکسوتان و دست اندرکاران متروی تهران، عصر روز چهارشنبه ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ در دفتر انجمن تونل ایران پیرامون «سیر تحول تکنولوژی در متروی تهران» گفتگوی تخصصی صورت گرفت. این گفتگو با محوریت بحث در مورد تاریخچه متروی تهران و حفاری اولین خطوط متروی تهران با دستگاه مکانیزه زوکور اولین جلسه از سلسله جلساتی است که طی آنها تاریخچه و سیر تحول تکنولوژی در متروی تهران از ابتدای کار تا به امروز مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

انجمن تونل ایران با هدف استفاده از تجربیات و دانش پیش‌کسوتان و دست‌اندرکارانی که در مقاطع مختلف زمانی و مکانی در احداث متروی تهران فعالیت داشته‌اند، هچنین اطلاع‌رسانی در خصوص ابتکارات و نوآوری‌های صورت گرفته و بحث و تبادل نظر در رابطه با میزان مطلوبیت و امیدبخش بودن مسیر موجود، سلسله جلساتی را پیرامون «سیر تحول تکنولوژی در متروی تهران» برگزار می‌کند.

اولین جلسه از این سلسله جلسات با محوریت بحث در مورد تاریخچه متروی تهران و حفاری اولین خطوط متروی تهران با دستگاه مکانیزه زوکور در تاریخ ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ در محل دفتر انجمن تونل ایران و با حضور جمعی از پیش‌کسوتان متروی تهران برگزار گردید.

در ابتدای جلسه آقای مهندس کریمی (عضو هیات مدیره انجمن تونل ایران) با اشاره به اظهار نظرهای اخیر برخی مدیران متروی تهران و دیگر مدیران شهری در رابطه با استفاده از روش‌های حفاری سنتی تونل مترو به جای روش‌های مکانیزه، هدف از برگزاری این سلسله جلسات را استفاده از تجربیات و دانش پیش‌کسوتان و دست‌اندرکاران این حرفه که در مقاطع مختلف زمانی و مکانی در احداث متروی تهران فعالیت داشته‌اند، هچنین اطلاع‌رسانی در خصوص ابتکارات و نوآوری‌های صورت گرفته و بحث و تبادل نظر در رابطه با میزان مطلوبیت و امیدبخش بودن مسیر موجود بیان نمود.

در ادامه آقای دکتر ابراهیمی اصل، پیشینه متروی تهران را اینگونه بیان نمود: «بنده از تاریخ ۱۳۶۵/۳/۱ تا ۱۳۷۶/۷/۲۸ مسئولیت هیئت مدیره و مدیر عاملی شرکت متروی تهران را بر عهده داشتم. در ابتدای کار با ۵ نفر کار را آغاز کردیم و به ده هزار نفر رسیدیم؛ در ۳۵ کارگاه کار می‌کردیم و موفق شدیم حدود ۲/۵ میلیون مترمکعب بتن‌ریزی کنیم. قبل از پیروزی انقلاب اسلامی، فرانسوی‌ها ساخت مترو را برعهده گرفتند. به همین منظور شرکت سوفرتو بر اساس دو مسیر اعلام شده از سوی شورای اقتصاد وقت، از تپه‌های عباس‌آباد به راه‌آهن و افسریه به فرودگاه مهرآباد و با توجه به نمونه‌برداری انجام شده از خاک تهران و شباهت آن با خاک لیون فرانسه سفارش ساخت سه دستگاه زوکور به شرکت آمریکایی Zokor International می‌دهد. کارهای انجام شده توسط شرکت متروی تهران تا قبل از پیروزی انقلاب اسلامی شامل حفاری ۲۳۰۰ متر ترانشه و حدود ۲ کیلومتر تونل در تپه های عباس آباد بوده است و با تعطیل شدن شرکت مترو و تغییر کاربری تونل مذکور، فاضلاب خیابان میرداماد را به داخل این تونل منحرف کرده بودند. پس از انقلاب و در دوران دفاع مقدس، جلسات متعددی در مجلس شورای اسلامی با موضوع ساخت مترو و استفاده از آن به عنوان پناهگاه در زمان جنگ برگزار شد و به همین منظور پس از مذاکره با کشورهای مختلف، شوروی سابق شرط احداث مترو را اجازه برداشت از میادین نفت و گاز دریای خزر، فرانسوی‌ها بلوکه کردن ۵/۵ میلیارد دلار در بانک‌های فرانسه و ژاپنی‌ها اخذ امتیاز میدان گاز پارس جنوبی اعلام کردند. بنده در آن زمان معاون سازمان صنایع دفاع بودم و با توجه به تصمیم اتخاذ شده از سوی سران سه قوه، به عنوان مدیر عامل متروی تهران معرفی شدم. در ابتدا، کار در دفتری در خیابان میرداماد آغاز شد و نقشه‌های کلیدی موجود نبودند و باید کار را تقریباً از صفر شروع می‌کردیم».

دکتر ابراهیمی اصل استدلال‌های مهمی که در زمان جنگ وجود داشتند را توجه به نسل‌های آینده، استفاده از پیمانکاران و مشاوران داخلی برای ساخت و ساز در زمان جنگ و بازسازی بعد از پایان جنگ، ساختن پناهگاه و ایجاد امید و انگیزه در مردم بیان نمود و افزود: «در سال ۱۳۶۶ و در ابتدای کار، پس از بررسی این نتیجه حاصل شد که خروجی و توسعه تهران به سمت غرب خواهد بود و با توجه به پیش‌بینی افزایش جمعیت، مترو به صورت تهران، کرج، مهرشهر، هشتگرد، قزوین با حداقل شعاع قوس ۶۰۰۰ متر طراحی شد. در طرح کلی، خط یک از تجریش به کهریزک، خط دو از دردشت به مهرشهر، خط سه از ازگل به راه آهن و یافت‌آباد و خط چهار از شرق به غرب و در نهایت با ایجاد دو لوپ (کمربندی) در نظر گرفته شد. هدف از این طرح این بود که خطوط مترو به صورت شریانی مردم را جابه جا کنند و اتوبوس ها و تاکسی‌ها مکمل سیستم حمل و نقل شهری باشند. به همین منظور اتاق فکری با حضور متخصصین این امر تشکیل شد و برنامه‌ریزی کلان با هماهنگی وزارت مسکن و شهرسازی صورت گرفت و در نهایت هفت خط طراحی گردید. خط یک، دو، تهران-کرج و بخشی از خط چهار از میدان ابن سینا تا میدان انقلاب در زمان مدیریت بنده در متروی تهران انجام شد».

اولین مدیر عامل متروی تهران در ادامه افزود: «توپوگرافی تهران به گونه‌ای است که اختلاف تراز زیادی بین جنوب و شمال تهران وجود دارد و سفره های آب زیرزمینی متعدد و حدود ۱۵۰۰ رشته قنات در این محدوده موجود است. از تجریش تا میرداماد قلوه سنگ‌های بسیار بزرگ دفن شده‌اند. از خیابان میرداماد تا خیابان جمهوری تا ۴۰۰ متر شن و ماسه با حداقل چسبندگی و از خیابان جمهوری به سمت جنوب، رسوبات ریزدانه با نفوذپذیری و تخلخل بسیار پایین می‌باشند. بنابراین با توجه به دانه‌بندی تقریباً

یکنواخت در مسیرهای شرقی-غربی استفاده از TBM مناسب است و به شرط پشتیبانی و تدارکات خوب می تـوان روزانه ۲۰ تا ۳۰ متر تونل سـاخت. اما در مسـیر شـمالی-جنوبی به علت تغییر ساختار زمین شناسی و ژئوتکنیک و هیدرولوژی و گسل‌ها و جنس شیمیایی خاک، می بایست از TBMهای با طراحی خاص استفاده نمود».

دکتر ابراهیمـی اصل در بخش دیگری از سخنان خود گفت: «با توجه به تجربه شرکت سـوفرتو، طراح دستگاه و شـرکت Zokor International ، سه دسـتگاه زوکور برای خطوط متروی تهران طراحی و ساخته شده بود. اما این دستگاه‌ها در گمرگ بندرعباس و نمایشـگاه بین المللی تهران متروکه شده بودند. دو شـرکت کاجیمامیتسوی از ژاپن و ملی ساختمان از ایران به صورت کنسرسیوم در سـال ۱۳۶۴ مبلـغ ۱۶۵ میلیون تومان درخواسـت کرده بودند تا این سه دستگاه را در محل نمایشـگاه مونتاژ کنند؛ لذا تصمیم بر این شد که دستگاه زوکور با تکیه بر توان داخلی و مهندسان شرکت مترو مونتاژ شود. طـی یک کار ابتکاری با تخلیه شـبی ۸۰۰ کامیون خاک از محل قورخانه شفت احداث شـد و طی ۴۸ ساعت دو دسـتگاه زوکور از بندرعبـاس به تهران و محل قورخانه منتقل شدند و بدون استفاده از مشاوره و به کارگیری حتی یک نفر خارجی، طی دو ماه یکی از دو دستگاه مزبور در محل شفت قورخانه مونتاژ شد. پس از مونتاژ دو ماهه دستگاه، مسئولین شرکت سوفرتو پس از مشاهده دستگاه مونتاژ شده، ضمن اظهار تعجب، قبول کردند ۵ نفر از نیروهای ایرانی به مدت سه روز در یکی از تونل های فرانسه که با دستگاه زوکور در حال حفاری بود، آموزش ببینند. لیکن در هنگام بازدید از تونل فرانسـوی فقط سـه ساعت اجازه کار با دسـتگاه به نیروهای ایرانی داده شد؛ که با توجه به عکس‌های گرفته شده از سـگمنت‌ها و قسمت‌های مختلف دستگاه و اطلاعات محدود جمع آوری شده، مهندسی معکـوس بر روی اطلاعـات صورت گرفت و دستگاه راه‌اندازی شـد. اما پس از چند متر حفاری تونل با دسـتگاه، کارشناسان متوجه شدند سر دسـتگاه به سمت پایین و انتهای آن به سمت بالا منحرف شده است. لذا پس از سه شبانه روز بررسی مداوم، مشخص شد مدار ۲ عدد از جک‌ها اشتباه بسته شده‌اند و خوشبختانه با رفع این مشکل، حفاری تونل ادامـه یافت. پس از مونتاژ و راه اندازی موفق این دسـتگاه، دو دسـتگاه زوکور دیگر نیز مونتاژ شده و مورد اسـتفاده قرار گرفتند. با توجه به محدودیت منابع و امکانات در زمان جنگ، به سـه گروه در دانشگاه‌های صنعتی شریف، شـیراز و تهران ماموریت داده شده بود تا با استفاده از روش المان محدود، روش تونلسـازی مکانیزه را بهینه‌سازی کنند و با الگوبرداری از روش اتریشی (NATM) روش تونلزنی ایرانی (NITM) یا به عبارتی New Iranian Tunneling Method ابداع شد».

دکتر ابراهیمی اصل با اشاره به رکوردهای ثبت شده در حفاری مکانیزه تونل های مترو، بر لزوم پشـتیبانی به موقع حفاری با TBM از جنبه‌هـای مختلف تاکید کـرد و گفت: «دسـتگاه‌های حفاری مکانیزه مانند TBM و زوکور نیازمند یـک مدیریت، برنامه ریزی پشـتیبانی حرفه‌ای، قوی، مسـتمر و دقیق هستند ودر صورت خرابی یک قطعه، قطعات یدکی باید در انبار موجود باشـند تا در زمان تعمیر قطعه خراب جایگزین آن قطعه شوند».

وی جریان جدید ایجاد شـده در خصوص کنار گذاشـتن TBM و صرفاً اسـتفاده از حفاری ایرانی را برگشت به عقب و مدیریت اشتباه خواند و افزود: «در حفاری سنتی، در شبانه روز از هر شفت حداکثر یک و نیم متر مقطع نهایی به دست می‌آید. وقتی که با یک دسـتگاه TBM می توان به طور متوسط در شـبانه روز ۳۵ متر و در ماه ۶۰۰ متر تونل حفاری و نگهـداری کرد، اقتصـاد، ایمنی، عقلانیت، مسـائل زیسـت محیطی و جان آدم‌ها به ما اجـازه نمی‌دهند حفاری ایرانی انجـام دهیم. ما باید پایـه علمی، مدیریتی، دانشـی و تولید دانش پایه را در تونلسـازی کشـور بالا ببریم. امروز ۳۳ دستگاه TBM در کشور موجود است. باید میزان رضایت از کارایی این دستگاه‌ها را در تونل‌های مختلف مورد بررسـی قرار دهیـم و در صورت عدم رضایت، باید اشکالات و نواقص را مرتفع کنیم و راه حل مشـکلات حذف TBM نیسـت. دسـتگاه‌های حفار TBM مورد استفاده در ایـران، دارای جدیدترین تکنولوژی روز دنیا هستند و رکوردهای مختلفی را ثبت کرده‌اند. بنابرایـن بایـد در مورد افزایـش بهره‌وری دسـتگاه‌ها کار کنیم و آنها را متناسـب با

دکتـر ابراهیمی اصـل با اشـاره به رکوردهای ثبت شده در حفاری مکانیزه تونل هـای مترو، بر لزوم پشـتیبانی به موقع حفـاری بـا TBM از جنبه‌های مختلف تاکید کرد.

شرایط زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و طول مسیر تونل طراحی کنیم».

دکتر ابراهیمی اصل در پاسخ به پرسش مهندس کریمی در خصوص علت عدم ادامه کار و استفاده از دستگاه زوکور گفت: «در زمان مدیریت بنده در مترو تونل‌هایی که برای این دستگاه‌ها در برنامه بودند، حفاری شدند و پس از پایان حفاری تونل‌ها و آغاز مدیریت آقای هاشمی در متروی تهران، برنامه شرکت مترو به سمت تجهیز ناوگان و ایستگاه‌ها و بهره برداری از خطوط مترو و اجرای قراردادهایی که ما در این زمینه بسته بودیم، پیش رفت. به همین علت چند سال وقفه در حفاری تونل‌ها به وجود آمد و مدیریت جدید مترو تصمیم گرفت TBM را جایگزین دستگاه زوکور کند».

دکتر ابراهیمی اصل در پایان سخنان خود افزود: « زوکور دستگاه خیلی خوبی است که در حال حاضر با توانی که مهندسین و صنایع ما دارند، می‌توانیم اشکالات جزئی دستگاه های موجود را برطرف کنیم و با هر یک از آنها، روزی ۳۰متر تونل بسازیم. TBMها هم دستگاه های کارآمد و خوبی هستند؛ به شرطی که در جای صحیح و با مدیریت درست و با پشتیبانی مالی و فنی مناسب مورد استفاده قرار گیرند. تونل‌سازی یک ابزار تمدن ساز است. وقتی ۲۰ کیلومتر خط مترو به بهره برداری می‌رسد، مفهومش این است که نیازی به تولید یک پالایشگاه ۱۲۰ هزار تنی بنزین و گازوئیل نداریم. بسیاری از مشکلاتی که در مباحث مختلف تونلسازی با آنها مواجه می شویم، در صورت وجود اتاق فکر و استفاده از دانش فنی افراد با تجربه به گونه‌ای قابل حلند که در هیچ کتاب استاندارد دانشگاهی راه حل آن وجود ندارد».

در ادامه جلسه آقای مهندس رحیم نژاد که در زمان مدیریت آقای دکتر ابراهیمی اصل در متروی تهران، مجری طرح و معاون اجرائی مدیر عامل بوده‌است، در رابطه با سه دستگاه زوکور استفاده شده در متروی تهران توضیحات خود را اینگونه بیان نمود: «با توجه به اینکه احداث خطوط یک و دو متروی تهران در اولویت بود، پیش بینی شده بود که یک دستگاه از سه دستگاه زوکور در خط یک، و دو دستگاه دیگر در خط دو مترو کار کنند. برای اینکه زمان از دست نرود، همزمان با کار این سه دستگاه، از چند جبهه کار دیگر نیز بخشی از عملیات انجام شد. متاسفانه همراه دستگاه‌ها قطعات یدکی یا وجود نداشتند، یا به تعداد کافی نبود. به عنوان مثال برای هر دستگاه، فقط یک عدد جک پیشران موجود بود. به همین دلیل در ابتدای کار، خرابی قطعات باعث توقف طولانی مدت کار می‌شد و یا قطعه مشابه به سختی پیدا می‌شد و قطعه آسیب‌دیده تعمیر و یا مشابه‌سازی می‌شد. با توجه به همزمانی حفر این تونل‌ها با دوران دفاع مقدس، تهیه اقلام مصرفی و تجهیزات دستگاه‌ها مانند روغن هیدرولیک و غیره نیز به سختی صورت می‌گرفت. به عنوان مثال فقط دو ست قالب سگمنت موجود بود که نیاز به تنظیم روزانه داشتند و سگمنت‌های تولید شده توسط این قالب‌ها کیفیت و دقت لازم را نداشتند. به موازات این قالب‌ها، قالب‌های سگمنت جدیدی توسط متخصصان ایرانی طراحی شدند که اشکالات سگمنت‌های قبلی را نداشتند. اما متاسفانه برای ساخت این قالب‌ها، در ابتدا آهن آلات موجود نبود و تا زمانی که مقداری آهن تامین شد و قالب‌های جدید ساخته شدند، به ناچار قالب‌ها با استفاده از بتن ساخته می‌شدند. پس از ساخت اولین سری سگمنت جدید، کارگران تونل به علت ترس از افتادن سگمنت‌ها، از نصب آنها خودداری کردند. به همین علت اولین رینگ سگمنت جدید با حضور بنده در زیر ارکتور نصب شد. در ادامه کار، طراحی این سگمنت‌ها و طرح اختلاط آنها بهینه شد و حتی مقاومت‌های بسیار بالا به دست آمد. به گونه‌ای که بعداً بعضی مقاطع را به‌سختی و با صعوبت فراوان تخریب کردند».

آقای قره‌باغی‌زاده، از اعضای تیم کارشناسی و مدیریتی دستگاه زوکور و مهندس رحیم‌نژاد با اشاره به عدم شناخت کامل دستگاه زوکور در ابتدای کار و رفع تدریجی نواقص و بهسازی دستگاه، برخی از اشکالات این دستگاه را عدم وجود شیب‌سنج دیجیتال، نواقصی در سیستم حفار و هیدروموتورهای مربوطه و اشکالات طراحی سیستم تخلیه خاک، بیان کردند.

مهندس رحیم نژاد، علت سنگین بودن طراحی اولیه سیستم حفاری و تخلیه خاک را پیش‌بینی سه متر در ساعت حفاری از سوی طراح بیان کرد و افزود: «به همین دلیل مشکلاتی از قبیل بریده شدن شفت محور جلوی قطار و خرابی هیدروموتورهای سیستم حفار پیش آمد که باعث توقف‌های طولانی مدتی در کار شدند». وی در ادامه گفت: «با وجود مشکلات فراوانی که بود، یکی از دستگاه‌ها که حفاری آن در قورخانه پایان یافته‌بود، توسط مهندسان و نیروهای ایرانی اورهال و اصلاح شد و غیر از شیلد و برخی قسمت‌های اصلی دستگاه، بقیه قسمت‌ها

توسط این نیروها ساخته شدند. به عنوان مثال هیدروموتور شفت بریده بیل مکانیکی جایگزین هیدروموتور رودهدر دستگاه شد».

مهندس رحیم نژاد در پاسخ به پرسش مهندس کریمی در رابطه با این که آیا حفاری با دستگاه زوکور باعث ایجاد نشست در سطح زمین شده است، گفت: «با توجه به این که در ابتدای کار امکانات تزریق وجود نداشت، در مسیر تونل گمانه‌هایی حفر شدند و سطح خاک درون آن به طور مرتب اندازه‌گیری می‌شد. بر این اساس به‌علت سفتی زیاد خاک، حداکثر ریزش بالای سقف تونل، مخروطی به ارتفاع دو متر از تاج تونل بود که به سطح زمین نمی‌رسید. لازم به ذکر است که این موضوع بعداً برای طراحی ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت».

آقای مهندس درستی، رئیس کارگاه خط ۷ متروی تهران در گروه تخصصی سپاسد در رابطه با دستگاه زوکوری که در خط ۴ متروی تهران مورد استفاده قرار گرفته بود، گفت: «طبق قرارداد پیمانکار، در ابتدا قرار بود این دستگاه حدود ۲ کیلومتر، حد فاصل R۴ تا P۴ را حفاری کند که بدلیل برخورد به توده سنگی بزرگ و توقف چند ماهه دستگاه، علی‌رغم تغییرات اعمال شده در پروفیل مسیر و سیستم حفار دستگاه، قرارداد پیمانکار به حدود یک کیلومتر، حد فاصل R۴ تا Q۴ تقلیل یافت و در رکتیفایر Q۴ دستگاه دمونتاژ و به بیرون تونل منتقل شد و قرار بود چند کیلومتر از بخش شمالی خط ۶ مترو با این دستگاه حفاری شود. اما به‌دلایلی این امر محقق نشد».

آقای مهندس رحیم‌نژاد در بخش دیگری از سخنان خود، علت اظهار نظرات برخی افراد مبنی بر عدم استفاده از دستگاه زوکور در گذشته و عدم استفاده از TBM در زمان حال را عدم شناخت این افراد از دستگاه‌های مکانیزه و مزایای آنها دانست و در مورد دو دستگاه TBM خط ۶ مترو گفت: «قرارداد شرکت آهاب برای بخش جنوبی و شرکت سابیر بین‌الملل برای بخش شمالی خط ۶ مترو را شرکت بهرو تنظیم کرد و در قرارداد آنها بندی را اضافه کرده بود که متوسط پیشروی ۳۰۰ متر در ماه باشد و در صورتی‌که پیشروی ماهانه هر یک از آنها کمتر از ۳۰۰ متر باشد، جریمه شوند و در صورت پیشروی بیش از ۳۰۰ متر در ماه به آنها پاداش تعلق بگیرد و این بند مورد توافق پیمانکاران و بهرو قرار گرفته بود. اما متاسفانه در شرکت مترو بعلت عدم توانایی این شرکت در پشتیبانی مالی و تامین نقدینگی مورد نیاز، این بند از قراردادها حذف شد. زیرا با توجه به سوابق موجود و رکوردهای بیش از ۴۰۰ متر که قبلاً توسط این دستگاه‌ها در خطوط مختلف متروی تهران ثبت شده بود، آنها می‌دانستند که حفاری ماهانه تونل‌ها بیش از ۳۰۰ متر محقق خواهد شد. در واقع اصلی‌ترین دلیلی که در حال حاضر برخی TBMها نمی‌توانند به راندمان مورد نظرشان برسند این است که به موقع پشتیبانی مالی از آنها صورت نمی‌گیرد».

مهندس رحیم نژاد یکی از مزایای حفاری مکانیزه تونل نسبت به حفاری سنتی را تمرکز فعالیت‌ها و پرسنل حفاری مکانیزه در خارج از تونل برشمرد و افزود: «در روش مکانیزه سگمنت در بیرون تونل ساخته می‌شود، دوغاب پشت سگمنت نیز در خارج از تونل ساخته می‌شود و فقط تیم راهبری و تعدادی نفرات اجرایی در داخل تونل و در فضایی ایمن در حال انجام فعالیت می‌باشند؛ ولی در روش سنتی تمرکز فعالیت‌ها و بالتبع پرسنل اعم از آرماتوربند، قالب‌بند، حفار و ... در داخل تونل می‌باشد. با توجه به بسته بودن محیط و در صورت تهویه نامناسب و استفاده از ماشین‌آلات دیزلی و استفاده از شاتکریت برای نگهداری موقت تونل، تمام این عوامل باعث صعوبت کار برای پرسنلی که در تونل‌های سنتی فعالیت می‌کنند، می‌گردند».

مهندس رحیم‌نژاد در پاسخ به پرسش مهندس کریمی در خصوص مقایسه قیمت تمام شده تونل‌های سنتی و مکانیزه گفت: «هر متر طول تونل مکانیزه حدود ۱۱۰۰ کیلوگرم آرماتور نیاز دارد؛ در صورتیکه هر متر طول تونل سنتی حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم آرماتور نیاز دارد. همچنین در تونل‌های مکانیزه ۳۵ سانتیمتر پوشش بتنی داریم در حالیکه در تونل‌های سنتی حدود ۴۰ سانتیمتر بتن اصلی و حدود ۳۰ سانتیمتر هم شاتکریت داریم. در رابطه با حفاری هم قیمت تمام شده حفاری مکانیزه خیلی کمتر از روش سنتی است. نکته‌ای که در مقایسه این دو روش توسط برخی افراد نهفته، این است که آنها قیمت کل دستگاه TBM را در طول یک پروژه مستهلک می‌کنند در حالی‌که قیمت دستگاه باید در بیش از یک پروژه مستهلک شود و در این صورت قیمت تمام شده تونل با روش مکانیزه کمتر از سنتی می‌باشد. در رابطه با راندمان حفاری نیز باید گفت که هر تونل سنتی از یک جبهه‌کار بطور متوسط روزانه یک و نیم متر حفاری خواهد داشت. در صورتی‌که اگر TBM را بطور متعارف پشتیبانی کنیم، متوسط حفاری روزانه آن ۱۰ متر خواهد بود. یعنی یک TBM معادل ۷ کارگاه سنتی حفاری می‌کند».

آقای مهندس کریمی در پایان جلسه به کمتر بودن تزاحمات شهری روش مکانیزه نسبت به روش سنتی اشاره کرد و گفت: «بین این دو روش مردم هستند که ذی‌نفع یا ذی‌ضرر خواهند بود و انتخاب هر یک از این دو روش تاثیر مستقیم در زندگی مردم در سطح شهر خواهد داشت. به عنوان مثال در روش سنتی به ازای هر ۵۰۰ متر باید یک کارگاه احداث شود که تزاحمات زیادی را متوجه شهروندان می‌کند. اما در روش مکانیزه یک تونل معمولاً از یک شفت و یک کارگاه پشتیبانی می‌شود و تزاحم زیادی برای شهروندان ندارد. بعنوان مثال دو دستگاه TBM در خط ۷ مترو از یک شفت پشتیبان مشترک ۱۲ کیلومتر حفاری کردند؛ همچنین TBM خط ۶ مترو از یک شفت در خارج شهر در حال پشتیبانی است».

گزارش جلسات بعدی در شماره‌های بعدی نشریه تونل درج خواهند شد.

آشنایی با دستگاه حفار زوکور

به کار گرفته شده در خط ۴ متروی تهران

آشنایی با دستگاه حفار زوکور

به کار گرفته شده در خط ۴ متروی تهران

مسعود ظهیری
mazahiry@yahoo.com

۱- مقدمه

از مهم‌ترین عوامل موثر در روند اجرای پروژه‌های احداث تونل، انتخاب روش مناسب حفاری است. حفاری تونل‌ها به روش‌های سنتی و مکانیزه انجام می‌پذیرد و هریک از این روش‌ها، با توجه به شـرایط زمین‌شناسی، ژئوتکنیـک، آب زیرزمینی و بسـیاری عوامل دیگر تقسـیم‌بندی‌های گوناگونی دارند. یکی از روش‌های حفاری تونل به روش مکانیزه سـپری، استفاده از دسـتگاه‌های حفاری سپر باز می‌باشد. دستگاه حفار زوکور از جمله دستگاه‌های حفاری سپر باز و از نوع سپرهای حفر بخشی می‌باشد و بهترین کارایی آن، حفاری در محیط‌های خاکی همگن، نسبتاً پایدار و بالای سـطح ایستابی می‌باشد. با تعویض قسمت حفار به راحتی می‌توان از این تکنولوژی برای حفاری در خاک و محیط‌های سنگی استفاده نمود. از دیگر مزایای اسـتفاده از این دستگاه‌ها این است که اپراتور فقط چند متر با سـینه‌کار تونل فاصلـه دارد و از این طریق کنترل دقیق حفاری و عکس‌العمل سریع در صورت تغییر شرایط زمین امکان‌پذیر می‌گردد.

دستگاه زوکور یکی از اولین دستگاه‌های مکانیزه است که برای اولین بار در ایران مورد اسـتفاده قرار گرفته است. در سال ۱۳۵۶ شرکت فرانسوی سوفرتو به منظور احداث تونل‌های خطوط چهارگـانه متـروی تهران نسبت به انجام مناقصه بین‌المللی برای طراحی و سـاخت دستگاه حفار مناسب خاك تهران اقدام نمود و قرارداد سـاخت سه دستگـاه حفار و واگن‌های حمل خاك و متعلقـات مربوطـه با شرکت آمریکایی زوکور منعقد گردید. پس از پیروزی انقلاب اسلامی، در سال ۱۳۵۸دو دستگاه حفاری و در سال ۱۳۶۴ دستگاه سوم به ایران حمل و انبار گردید. در سال‌های بعد، این دستگاه‌ها به‌منظور حفر بخشی از تونل‌های خطوط یک، دو و چهار متروی تهران مورد اسـتفاده قرار گرفتند. به‌منظور آشنایی با این دستگاه‌ها، در این گزارش خلاصه‌ای از مشـخصات فنی و نحوه عملکرد دستگاه زوکور مورد استفاده در خط ۴ متروی تهران ارائه گردیده است.

شکل ۱- نمایی از دستگاه حفار زوکور

۲- مشخصات فنی دستگاه حفار زوکور استفاده شده در قطعه R4-Q4 خط ۴ متروی تهران

قسمت‌های تشکیل دهنده دستگاه زوکور شامل موارد ذیل می‌باشد:

- سیستم حفار
- سپر محافظ (شیلد)
- سیستم راهبری
- پاور پک (مرکز توزیع نیرو)
- پوش جک‌ها
- جک های محافظ سینه کار
- صفحات محافظ سقف
- جکهای تصحیح حرکت شیلد
- نصب کننده قطعات پیش ساخته بتنی (ارکتور)
- حمل کننده قطعات بتنی (وینچ)
- نوار نقاله‌ها

۲-۱- سیستم حفار

این سیسـتم جهت حفاری و هدایت خاک حفاری شـده به روی نوار نقاله جهت حمل به قسـمت عقب دسـتگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیسـتم حفاری بر حسب نوع خاک و سـنگ طراحی می‌گردد و دارای انواع مختلفی می باشـد. سیستم اصلی که برای خاک تهران طراحی و بر روی دستگاه‌های زوکور نصب شده است، به‌صورت بیل حفاری است که با کندن خاک، آن را به سمت نوار نقاله هدایت می‌کند.

شکل ۲- سیستم حفاری با بیل در دستگاه حفاری زوکور بکار رفته در عملیات حفاری خطوط (۱) و (۲) متروی تهران

در حین عملیات حفاری قسمتی از خطوط یک و دو مترو، خرابی مکرر بیل مکانیکی در حین حفاری تونل و بالا بودن زمان تعمیر آن، توقف کلیه فعالیت‌های تونل‌سازی و کاهش راندمان حفاری را به همراه داشت. لذا پس از دمونتاژ دستگاه حفار، برای استفاده مجدد از یکی از این دستگاه‌ها در عملیات حفاری قطعه Q۴-R۴ خط ۴ متروی تهران، سیستم حفاری بصورت رودهدر مخروطی با بازوی تلسکوپی طراحی گردید و جهت تخلیه و هدایت خاک به سمت نوار نقاله از بیل مکانیکی استفاده شد. این اقدام اصلاحی زمان تعمیر سیستم حفاری را کاهش داد و راندمان حفاری را به حدود ۱۵ مترمکعب در ساعت رساند.

شکل ۳- سیستم حفاری با رودهدر مخروطی در دستگاه حفاری زوکور؛ بکار رفته در عملیات حفاری خط ۴ متروی تهران

شکل ۴- بیل مکانیکی جهت انتقال خاک حفاری شده توسط رودهدر مخروطی بر روی نوار نقاله؛ بکار رفته در عملیات حفاری خط ۴ متروی تهران

از ابتدای شهریور ماه ۱۳۸۶ پس از احداث ۵۲۸ متر از تونل قطعه Q۴-R۴ (نصب ۳۴۷ رینگ)، از رینگ شماره ۶۰۹ در کیلومتراژ ۱۷+۹۰۴ دستگاه حفار به قطعات سنگی بزرگ برخورد نمود که این عامل باعث کندی عملیات حفاری گردید. با توجه به اینکه قبلاً در هنگام عبور از زیر کانال سرخه حصار در کیلومتراژ ۱۸+۲۷۲ نیز دستگاه حفاری با وضعیت مشابهی برخورد نموده بود، امید می‌رفت که این وضعیت زمین‌ساختی نیز با توجه به نزدیکی به کانال ابوذر از همان جنس بوده و به زودی مرتفع گردد. لیکن هنگام پیشروی جهت نصب رینگ ۶۲۹ در کیلومتراژ ۸۷۱ + ۱۷ این حالت تبدیل به یک توده عظیم سنگی یکپارچه به ارتفاع ۴/۵ متر از کف تونل گردید که تقریباً نیمی از سطح مقطع تونل را در بر گرفته بود. با توجه به اینکه عملاً امکان تخریب سنگ با رودهدر مخروطی وجود نداشت، تعویض سیستم حفاری تونل در دست بررسی قرار گرفت و در نهایت پس از بررسی‌های کارشناسی متعدد، تعویض سیستم حفاری از حالت سیستم حفاری مخروطی (رودهدری) به سیستم حفاری طبلکی (درام کاتر) و چکش هیدرولیکی بصورت ترکیبی با استفاده از یک بازوی دومنظوره قابل نصب بر روی دستگاه حفار زوکور اجرایی شد.

شکل ۵- تصویر ماهواره ای از محل برخورد مقطع سنگی به تونل قطعه R4-Q4

شکل ۶- پروفیل طولی محل برخورد سنگ با تونل قطعهQ۴-R۴

شکل ۷- چکش هیدرولیکی نصب شده بر روی بازوی دو منظوره طراحی و ساخته شده جهت حفاری در سنگ و ادامه مسیر

شکل ۸- درام کاتر نصب شده بر روی بازوی دستگاه حفار زوکور جهت حفاری در سنگ و ادامه مسیر

مهمترین نقطه قوت در استفاده از دستگاههای حفار مکانیزه، بکارگیری سپر محافظ (شیلد) بعنوان سیستم نگهداری در حین عملیات حفاری می‌باشد. وجود شیلد هم در حفظ سلامت پرسنل و هم در محافظت از بسیاری از تجهیزات مهم دستگاه حفاری، حیاتی است و امکان حفر تونلی با مقطع یکنواخت را فراهم می‌آورد. شیلد دستگاه حفار زوکور، استوانه‌ای به قطر ۹ و طول ۱۲ متر (با احتساب شاسی تراول) است که با متعلقات مربوطه وزن تقریبی آن حدود ۲۵۰ تن می‌باشد. شیلد از ۵ قطعه مجزا تشکیل گردیده که هنگام دمونتاژ می‌توان این قطعات را جدا و هر یک را به تنهایی حمل نمود.

۲-۳- سیستم راهبری

در داخل شیلد، سیستم راهبری دستگاه حفار قرار دارد که کنترل، راهبری و هدایت ماشین حفار و فعالیت‌های ذیل را بر عهده دارد:

۱- کنترل سیستم حفاری و راهبری دستگاه

۲- کنترل نصب قطعات پیش ساخته بتنی (سگمنت)

۳- مجموعه‌ای از صفحات محافظ (Pooling Plate) و صفحات سینه (Breast Plate) که وظیفه جلوگیری از ریزش‌های احتمالی خاک را به داخل شیلد بر عهده دارند.

شکل ۹- سیستم راهبری دستگاه حفار زوکور

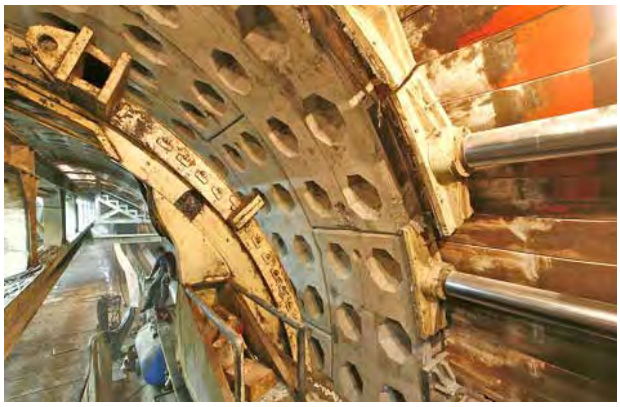
۲-۴- پاور پک (مرکز توزیع نیرو)

پاورپک شامل الکتروپمپ‌های هیدرولیکی، فیلترها، شیرفلکه‌ها و خطوط لوله‌های ارتباطی می‌باشد که در قسمت جلوی شاسی و در دو طرف دستگاه حفار قرار گرفته است. این مرکز، نیروی مورد نیاز قسمت‌های مختلف دستگاه حفار را بوسیله الکتروپمپ‌های هیدرولیکی تامین می‌نماید. مخزن روغن هیدرولیک نیز در قسمت میانی و بالای شاسی تسمه نقاله قرار دارد. در داخل و بالای این مخزن در مسیر برگشتی روغن، فیلتر روغن نصب شده است تا روغن تمیز را به سیستم برساند. عمده تجهیزات موجود در این قسمت شامل الکتروموتورها و پمپ‌های هیدرولیک و سیستم خنک کننده روغن هیدرولیک می‌باشند.

شکل ۱۰- محل قرارگیری پاور پک دستگاه حفار زوکور بر روی گنتری‌ها (کارگاه حفاری قطعه Q۴-R۴ خط ۴ متروی تهران)

۲-۵- پوش جک‌ها

پوش جک‌ها عامل اصلی پیشروی و حرکت رو به جلوی دستگاه حفار می باشند. جک‌ها با تکیه بر آخرین رینگ پوشش نگهداری سگمنتی پشت صفحه شیلد به سمت جلو حرکت می‌کنند. در پشت صفحه شیلد تعداد ۳۰ عدد جک طراحی و نصب شده است و از نظر هیدرولیکی دارای مشخصات یکسانی هستند. اما ۱۰ جک بالای صفحه شیلد از نظر کفشک‌های فشاری بر قطعات بتنی با بقیه تفاوت دارند.



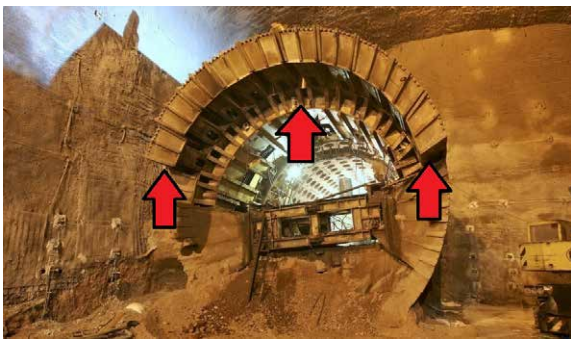
شکل ۱۱- حرکت شیلد به سمت جلو با استفاده از فشار جکها به آخرین رینگ سگمنت نصب شده

۲-۶- جک های محافظ سینه کار

جک های محافظ سینه‌کار جهت جلوگیری از ریزش آب و مواد به صفحه پشت شیلد نصب شده‌اند. ترتیب قرار گرفتن صفحات محافظ سینه‌کار توسط سه دستگاه جک هدایت می شود که یک جک وظیفه انتقال طولی و دو جک دیگر حرکت دورانی جهت باز شدن صفحه را به جلو بر عهده دارند. در مجموع تعداد هفت صفحه جهت محافظت از سینه کار جلوی شیلد طراحی و نصب شده است.

۲-۷- صفحات محافظ سقف

صفحات محافظ سقف جهت جلوگیری از ریزش مواد و خاک لغزنده و رونده از قسمت بالا و جلوی شیلد به درون شیلد طراحی و نصب شده‌اند. برای این منظور تعداد یازده صفحه محافظ تعبیه شده که هر یک از آنها توسط یک جک هیدرولیکی کار می‌کند. جکهای مزبور دارای حرکت طولی بوده و صفحات را به جلو هدایت می‌کنند.



شکل ۱۲- صفحات محافظ سقف

۲-۸- جکهای تصحیح حرکت شیلد

جهت کنترل حرکت شیلد در عرض، دو عدد جک در بدنه شیلد تعبیه شده‌اند.

۲-۹- نصب کننده قطعات پیش ساخته بتنی (ارکتور)

این بخش از دو رینگ متحدالمرکز تشکیل شده است که جهت نصب قطعات پیش ساخته بتنی در محدوده محیطی بکار می‌رود. نحوه عملکرد آن بدین‌صورت است که دستک‌های ارکتور از طریق سوراخهایی که در حین ساخت در قطعات سگمنتی تعبیه شده است، قطعات بتنی را بلند می‌کند و با چرخاندن آن در راستای محیطی سگمنت را در جای مناسب نصب می‌کند.

شکل ۱۳- ارکتور در حال بلند کردن قطعه پیش ساخته بتنی

۲-۱۰- حمل کننده قطعات بتنی (وینچ)

این بخش، قطعات سگمنت را از قسمت عقب دستگاه حفار به جلو حمل کرده و آنها را جهت نصب در زیر صفحه ارکتور قرار می‌دهد.

شکل ۱۴- وینچ در حال انتقال سگمنت به زیر صفحه ارکتور

۲-۱۱- نوار نقاله‌ها

نوار نقاله‌ها مسئولیت انتقال خاک‌های حفاری شده به پشت دستگاه را بر عهده دارند. چند دستگاه نوار نقاله ساده بصورت ترکیبی می‌توانند این مهم را انجام دهند. هر يك از این دستگاه‌ها بوسیله يك الکتروموتور و يك دستگاه گیربکس ساده به حرکت در می‌آیند. تکیه‌گاه لاستیك نوار نقاله بر روی غلتک‌های کوچك و بزرگ قرار گرفته است که این غلتک‌ها بصورت دستی روغنکاری می‌شوند.

شکل ۱۵- سیستم تخلیه مصالح با استفاده از نوار نقاله

تخمین حفرپذیری و ساینده‌گی توده سنگ‌ها در تونلسازی با ماشین‌های حفر تونل، بر اساس تجارب پروژه‌های داخلی

جعفر حسن پور

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین شناسی

hassanpour@ut.ac.ir

چکیده:

اگرچه تاکنون روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای پیش بینی عملکرد ماشین‌های حفر تونل و برآورد میزان سایش ابزار برش در سنگ سخت معرفی شده‌اند، اما اغلب آنها دارای نقاط ضعف و کمبودهایی هستند که استفاده از آنها را در پروژه‌های تونلسازی مکانیزه با محدودیت روبرو می‌سازد. بنابراین ابداع روش‌هایی برای طبقه بندی زمین از نظر حفرپذیری و ساینده‌گی و همچنین توسعه مدل‌های جدید بومی برای کاربرد آسان‌تر و دقیق‌تر در شرایط خاص زمین شناسی ایران و شرایط اجرایی خاص پروژه‌های داخلی، از جمله پژوهش‌های ضروری در زمینه حفاری مکانیزه تونل‌ها محسوب می شود. در این مقاله مدلی جدید که به منظور طبقه‌بندی حفرپذیری و ساینده‌گی توده سنگ‌ها در تونلسازی با ماشین‌های حفر تونل در شرایط زمین‌شناسی مختلف ارائه شده است، معرفی می‌گردد.

کلمات کلیدی: ماشین‌های حفر تونل، عملکرد ماشین، شاخص نفوذ، حفرپذیری، سایش ابزار.

۱- مقدمه

تکنولوژی حفاری مکانیزه روز به روز در دنیا در حال پیشرفت بوده و در سال‌های اخیر تونل‌های بسیاری با استفاده از این تکنولوژی و با نرخ‌های پیشروی بالا ساخته شده و یا هم اکنون در حال اجرا هستند. خوشبختانه این تکنولوژی هم اکنون در پروژه‌های تونلسازی داخل کشور جایگاه مناسبی داشته و بسیاری از تونل‌های بلند کشور از جمله تونل‌های انتقال آب، تونل‌های جاده‌ای و بزرگراه‌ها و تونل‌های مترو با استفاده از این فناوری ساخته شده و یا در حال ساخت هستند. با توجه به اهمیت بالای پروژه‌های تونلسازی بزرگ و هزینه زیادی که برای خرید ماشین‌های حفر مکانیزه تونل صرف می‌گردد، لازم است ضمن توجه به پارامترهایی که در انتخاب نوع ماشین حائز اهمیت هستند، برنامه زمان‌بندی دقیقی برای استفاده از ماشین‌های حفر تونل پیش‌بینی گردد. بنابراین لازم است روش‌ها و مدلهایی ابداع گردند که با استفاده از آنها بتوان تخمینی درست از عملکرد ماشین در شرایط مختلف زمین‌شناسی به دست آورد.

طی ۳۰ سال گذشته، مدل‌های بسیاری برای پیش‌بینی سرعت حفاری TBM و همچنین میزان سایش ابزار برش، توسعه یافته‌اند که مهمترین و رایج‌ترین آنها عبارتند از مدل CSM (رستمي ۱۹۹۷)، مدل NTNU (برولند ۱۹۹۸) و مدل QTBM (بارتن ۲۰۰۰). علاوه بر مدل‌های اصلی فوق‌الذکر در سال‌های اخیر محققین مختلفي در زمینه معرفي مدل‌هاي پیش بیني جدید و همچنین توسعه و اصلاح مدل‌هاي پیش‌بیني رایج تلاش نموده‌اند (پالمستروم ۱۹۹۵، آلبر ۲۰۰۰، یاگیز ۲۰۰۸، گانک و ژائو ۲۰۰۹، دلیسیو و ژائو ۲۰۱۴). در این مقاله ضمن معرفی اجمالی این مدل‌ها به معرفی روشی جدید برای پیش‌بینی عملکرد ماشین‌های حفر تونل و میزان سایش ابزار برش در سنگ که اخیراً توسط نگارنده ارائه شده است، پرداخته خواهد شد. همچنین با استفاده از ایده‌ای جدید یک سیستم طبقه‌بندی حفرپذیری و ساینده‌گی برای توده سنگ‌ها پیشنهاد خواهد شد.

۲- مدل‌های پیش‌بینی عملکرد ماشین

برخی از اصلی‌ترین مدل‌های پیش‌بینی عملکرد ماشین که در سال‌های اخیر توسط محققین مختلف، معرفی شده‌اند، در جدول ۱ ارائه شده‌اند. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، برخی از این مدل‌ها تنها بر اساس یک پارامتر آزمایشگاهی مربوط به ماده سنگ بنا نهاده شده‌اند، در حالیکه برخی دیگر کاملتر بوده و در توسعه آنها علاوه بر خصوصیات ماده سنگ پارامترهای توده سنگ و شرایط درزه‌داری نیز دخیل بوده است (مانند مدل‌هاي NTNU, CSM, QTBM). مهمترین پارامترهای توده سنگ که در مدل‌های کاملتر برای پیش‌بینی نرخ نفوذ و سایش ابزار مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقاومت فشاري و مقاومت کششی ماده سنگ، درصد کانی‌ها و فراوانی و جهتداری درزه‌ها می‌باشند. همچنین اصلی‌ترین پارامترهای مربوط به ماشین شامل فاصله کاترها، عرض لبه و قطر دیسك کاترها، نیروي پیشران و سرعت چرخش (RPM) کله حفاری دستگاه می‌باشد.

جدول ۱- برخي از مدل‌های پیش بینی عملکرد ماشین و پارامترهای ورودی و خروجی آنها

روش	پارامتر خروجی	پارامترهای ورودی	
		پارامترهای توده سنگ	پارامترهای ماشین و هندسه تونل
فارمر و گلوساپ، ۱۹۸۱	نرخ نفوذ (mm/rev)	مقاومت کششی	نیروی پیشران
ایتارنو و همکاران ۱۹۹۱	نرخ نفوذ (m/h)	مقاومت تک محوری، RSR	---
پالمستروم ۱۹۹۵	نرخ نفوذ، نرخ پیشروی	مقاومت تک محوری، تخلخل، پارامتر درزه داری و جهتداری درزه ها	نیروی پیشران، فاصله کاترها، اندازه و شکل کاترها، دور کاترهد، توان کله حفاری
CSM، ریستمی ۱۹۹۷	نرخ نفوذ (mm/rev)، تعداد و هزینه دیسک کاتر مصرفی	مقاومت تک محوری و کششی، شاخص سرتار	نیروی پیشران ، فاصله کاترها، عرض لبه کاترها، شعاع کاتر
NTNU، بروئنلد ۱۹۹۸	نرخ نفوذ، نرخ پیشروی، تعداد و هزینه دیسک کاتر مصرفی	شاخص چالخوری ماده سنگ، تخلخل، فاصله داری و جهتداری درزه ها، شاخص عمر کاتر	نیروی پیشران، فاصله کاترها، اندازه و شکل کاترها، دور کاترهد، توان کله حفاری
مدل احتمالاتی، نلسون ۱۹۹۹	نرخ نفوذ، نرخ پیشروی و ضریب بهره وری	ساختار زمین شناسی، نوع سنگ، درصد کوارتز، مقاومت تک محوری و آب زیرزمینی	دور کاترهد، تعداد و قطر کاترها، قطر ماشین، گشتاور و نیروی پیشران ، طول و شیب تونل
QTBM، بارتن ۲۰۰۰	نرخ نفوذ، نرخ پیشروی	پارامترهای Q، مقاومت تک محوری، درصد کوارتز، شرایط تنش و ...	متوسط بار کاترها، قطر ماشین
مدل عصبی-خازی، گریما ۲۰۰۰	نرخ نفوذ	فراوانی درزه ها، مقاومت تک محوری	دور کاترهد، نیروی رانشی هر کاتر، قطر کاتر
آلبر ۲۰۰۰	نفوذ ویژه، ضریب بهره وری	مقاومت فشاری توده سنگ، شرایط تنش	---
گانگ و ژانو ۲۰۱۵	شاخص نفوذ یا شاخص حفریذیری (KN/cutter/mm/rev)	مقاومت تک محوری، مقاومت کششی، عدد شمارش درزه یا Jv و زاویه میان محور تونل و سطح درزه	نیروی پیشران، دور کاترهد

اصلی‌ترین پارامتر خروجی کلیه این مدل‌ها نیز نرخ نفوذ ماشین حین حفاری یا سرعت تولید ماشین می‌باشد. در مدل‌های پیشرفته‌تر، نرخ پیشروی و بهره‌وری دستگاه، طول عمر و تعداد دیسک کاترهای مصرفی و هزینه تعویض دیسک‌های حفاری، زمان تکمیل تونل و هزینه اجرای تونل نیز جزء خروجی‌های مدل می‌باشند.

این مدل‌ها اغلب دارای نقاط ضعفي می‌باشند که استفاده از آنها را محدود می‌سازد. به عنوان مثال در مدل اولیه CSM تأثیر درزه‌ها در تعیین نرخ نفوذ ماشین در نظر گرفته نشده است (این کمبود در سال‌های اخیر توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهادهایی نیز برای رفع آن صورت گرفته است). در مدل NTNU پارامترهایی به کار رفته است که تعیین آنها فقط در چند آزمایشگاه خاص امکانپذیر است. همچنین بانک اطلاعاتی مورد استفاده در این مدل بیشتر با شرایط زمین شناسی کشورهای اسکاندیناوی سازگاری دارد. در مدل احتمالاتی فقط برروی شباهت پروژه‌های تونلسازی با یکدیگر تأکید شده است و از اندرکنش میان سنگ و ماشین صرف‌نظر شده است. مدل QTBM نیزکه براساس سیستم Q بنا نهاده شده از تعداد زیادی پارامتر ورودی و بعضاً کم اهمیت استفاده می‌نماید که استفاده از آن را دشوار می‌سازد.

۳- مدل تجربی جدید (حسن پور و همکاران ۲۰۱۵)

همانطور که اشاره شد، اغلب مدل‌های موجود دارای نواقصی هستند که استفاده از آنها را با محدودیت‌هایی مواجه می‌سازد. یکی از مهمترین مشکلات مدل‌های موجود عدم تطابق بانک اطلاعاتی این مدل‌ها با شرایط زمین شناسی پروژه‌های داخل کشور می‌باشد. مشکل دیگر عدم استفاده از پارامترهای مهم و تأثیرگذار و یا استفاده از پارامترهای خاصی است که تعیین آنها دشوار است. بنابراین در این تحقیق تلاش گردید با استفاده از داده‌های حاصل از پروژه‌های داخل کشور و با جمع‌آوری داده‌های مناسب از پارامترهای تأثیرگذار، مدل‌هایی بومی برای پیش‌بینی عملکرد ماشین‌های حفر تونل و همچنین پیش‌بینی میزان سایش ابزار یا تعداد دیسک کاتر مصرفی توسعه یابد. همچنین تلاش گردید از پارامترهایی برای پیش بینی پارامترهای فوق الذکر استفاده گردد که به راحتی در مراحل مختلف مطالعات قابل تخمین باشند.

مراحل انجام مطالعه برای توسعه مدل پیش بینی جدید، شامل سه مرحله اصلی: ۱) گردآوری داده‌های مناسب از تونل‌های حفر شده یا در حال حفر، ۲) مرتب سازی داده‌ها با فرمت مناسب و ۳) تجزیه و تحلیل داده‌ها، بوده است که در ادامه شرح مختصری از فعالیت‌های صورت گرفته در هر مرحله ارائه می شود:

۳-۱- جمع‌آوری داده‌های واقعی

در این تحقیق برای دستیابی به اطلاعات مناسب، داده‌های مربوط به مهمترین پروژه‌های تونلسازی در داخل کشور و همچنین اطلاعات مربوط به چند پروژه خارجی جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل اولیه قرار گرفت. بعد از بررسی و تحلیل مقدماتی پروژه‌ها در نهایت ۴ پروژه کرج، قمرود، زاگرس و ماناپوری (نیوزیلند) که اطلاعات آنها از کیفیت مناسبی برخوردار بودند، برای انجام تحلیل‌های مورد نظر در این تحقیق انتخاب و برای توسعه مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی‌های این ۴ پروژه به طور خلاصه در جدول ۲ درج شده است. همانطور که ملاحظه می شود، این تونل‌ها دامنه وسیعی از شرایط زمین شناسی را دربرمی‌گیرند. بنابراین مدل پیش‌بینی توسعه یافته نیز می‌تواند برای شرایط زمین‌شناسی متفاوت قابل کاربرد باشد.

ویژگی‌های ماشین‌های به کار گرفته شده در این پروژه‌ها نیز در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، ماشین‌های به کار گرفته شده دارای قطرهای متفاوت بوده و در پروژه‌های داخلی همه از نوع ماشین‌های با سپر دوگانه هستند. در تمامی این ماشین‌ها از دیسک کاترهای ۱۷ اینچ استفاده شده است. در شکل ۱ تصاویری از این ماشین‌ها قبل از شروع حفاری در پروژه‌ها ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های عمومی پروژه‌های مورد استفاده در این تحقیق

ردیف	پروژه	طول تونل (km)	قطر تونل (m)	سازند	لیتولوژی	ساختار کلی توده سنگ
۱	قطعات اول و دوم تونل انتقال آب کرج	۲۹/۵	۴/۶۶۵	توف سنگ‌های پیروکلاستیک و توده‌های نفوذی سازند کرج	توف، آگلومرا، توده سنگ‌های نفوذی	توده‌ای تا بلوکی، همراه با زون‌های خردشده
۲	قطعه دوم پروژه تونل انتقال آب زاگرس	۲۶	۶/۷۳	سنگ‌های کربناته – رسی سازندهای پابده، گورپی و ایلام	سنگ آهک، شیل، آهک رسی، مارن	بلوکی و درزه‌دار با چین‌خوردگی و گسلش اندک
۳	قطعات سوم و چهارم تونل انتقال آب قمرود	۱۸	۴/۶۵۲	سنگ‌های دگرگونی درجه پایین مربوط به ژوراسیک	شیل، اسلیت، فیلیت، کوارتزیت	متورق همراه با زون‌های گسلی
۴	تونل ماناپوری (نیوزیلند)	۱۰	۱۰/۰۷	سنگ‌های آذرین و دگرگونی مجموعه فیوردلند	گنیس، کالک سیلیکات، گرانیت، کوارتزیت	توده‌ای تا بلوکی

جدول ۳- ویژگی‌های ماشین‌های مورد استفاده در پروژه‌های مورد مطالعه

ردیف	پروژه	نوع ماشین	سازنده	حداکثر نیروی پیشران (kN)	توان کله حفاری (kw)	گشتاور کله حفاری (kN.m)	سرعت چرخش کله حفار	قطر دیسک کاترها	تعداد دیسک کاترها
۱	قطعات اول و دوم تونل انتقال آب کرج	سپر دوگانه	هرنکنشت	۱۶۹۱۳	۱۲۵۰	۱۷۲۳ در دور ۶/۶	۰-۱۱	۱۷	۳۱
۲	قطعه دوم پروژه تونل انتقال آب زاگرس	سپر دوگانه	ویرث	۲۸۱۳۴	۲۱۰۰	۴۴۵۰ در دور ۹	۰-۱۱	۱۷	۴۲
۳	قطعات سوم و چهارم تونل انتقال آب قمرود	سپر دوگانه	هرنکنشت	۱۸۰۰۰	۱۱۲۰		۰-۱۲	۱۷	۳۲
۴	تونل ماناپوری (نیوزیلند)	باز	رابینز	۲۷۱۰۱	۳۴۶۵	۶۴۳۳ (در سرعت بالا)	۵/۰۷ ماکزیمم	۱۷	۶۸

شکل ۱- نمایی از ماشین‌های حفاری در پروژه‌های الف) قمرود، ب) کرج، ج) ماناپوری و د) زاگرس

۳-۲- ایجاد و توسعه بانک اطلاعاتی

بعد از دسترسی به اطلاعات مورد نیاز، گام بعدی مرتب کردن داده‌ها در بانك اطلاعاتی مناسب می‌باشد. این بانك اطلاعاتی باید به گونه‌ای مرتب شود که داده‌ها به هنگام انجام تحلیل‌ها به راحتی قابل استفاده باشند. در این مطالعه بعد از جمع‌آوری داده‌های مختلف از پروژه‌های مورد بررسی، با ایجاد یك بانك اطلاعاتی خاص و منحصر به فرد، زمینه لازم برای تجزیه و تحلیل داده‌ها فراهم گردید. این بانک اطلاعاتی شامل داده‌های زمین‌شناسی (ویژگی‌های ماده‌سنگ و ناپیوستگی‌ها و توده‌سنگ) و داده‌های واقعی عملکرد ماشین می‌باشد که برای برخی از مقاطع تونل برداشت و در بانک اطلاعاتی ثبت شده‌اند. لازم به توضیح است که در هر تونل فقط اطلاعات مقاطعی از تونل مورد استفاده قرار گرفته است که داده‌های زمین‌شناسی و ثبت عملکرد ماشین از دقت کافی برخوردار بوده‌اند. این اطلاعات از طریق بازدیدهای دوره‌ای سینه‌کار تونل، بررسی مواد کنده شده و نمونه‌برداری از آنها، بررسی لوگ گمانه‌های حفاری شده و آزمون‌های آزمایشگاهی، آزمون‌های صحرایی نفوذ TBM و بررسی برگه‌های اپراتوری ثبت عملکرد ماشین و PLC دستگاه جمع‌آوری و بعد از صحت سنجی و پالایش در بانک اطلاعاتی ثبت شده‌اند.

۳-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها، با استفاده از داده‌های ثبت شده در بانک اطلاعاتی و با بهره‌گیری از قابلیت‌های این بانک اطلاعاتی و همچنین با استفاده از روش‌ها و نرم افزارهای آماری مانند SPSS، تأثیر پارامترهای مختلف بر نرخ نفوذ TBM و سایش دیسک کاترها مورد بررسی قرار گرفته و روابط تجربی جدیدی برای پیش‌بینی نرخ نفوذ ماشین و سایش ابزار برش توسعه یافته‌اند. برای این منظور از تکنیك‌های مختلف آماری استفاده شده است. در این تحقیق، ابتدا انطباق میان پارامترهای زمین شناسی مهندسی (مقاومت ماده‌سنگ یا UCS، فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها، RQD و ...) و پارامترهای مربوط به عملکرد ماشین (نرخ نفوذ، شاخص نفوذ، انرژی ویژه) به صورت دو به دو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که در هر چهار پروژه کرج، زاگرس، قمرود و ماناپوری و همچنین با ترکیب داده‌های ۴ پروژه، از میان پارامترهای مربوط به عملکرد ماشین، پارامتر ترکیبی شاخص نفوذ یا FPI تطابق بهتری را با پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی نشان می‌دهد. با استفاده از این پارامتر نرخ نفوذ یا ROP(m/h)، نیروی پیشران یا Fn (KN/cutter) و سرعت چرخش کله حفاری یا RPM همزمان در تحلیل‌ها وارد می‌شوند. پارامتر FPI با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FPI = \frac{60\ F_n\ RPM}{1000\ ROP}$$

بنابراین، منطقی است که برای توسعه روابط تجربی از پارامتر FPI به عنوان پارامتر منتخب عملکرد ماشین استفاده شود. نتایج تطابق پارامترهای زمین‌شناسی با شاخص نفوذ صحرایی برای هر یک از ۴ پروژه و همچنین بعد از ترکیب داده‌ها در قالب روابط ۲ تا ۶ به دست آمده است (جدول ۴).

جدول ۴- روابط تجربی به دست آمده برای پیش بینی عملکرد ماشین در هر یک از پروژه‌های مورد مطالعه

ردیف	معادله	شماره	ضریب همبستگی	پروژه	دامنه کاربرد	مرجع
۱	$FPI = \exp(0.005UCS + 0.002RQD + 2.129)$	(۲)	۰/۵۲۳	کرج	سنگ‌های آذرآواری درزه‌دار و بلوکی	[15]
۲	$FPI = \exp(0.004UCS + 0.008RQD + 2.077)$	(۳)	۰/۶۴۵	زاگرس ۲	سنگ‌های کربناته – رسی درزه‌دار و بلوکی	[16]
۳	$FPI = \exp(0.004UCS + 0.023RQD + 1.003)$	(۴)	۰/۸۷۴	قمرود	سنگ‌های رسوبی متورق و سنگ‌های دگرگونی شیستوز	[3]
۴	$FPI = \exp(0.005UCS + 0.020RQD + 1.644)$	(۵)	۰/۴۸۸	ماناپوری	سنگ‌های آذرین و دگرگونی مستحکم و توده‌ای	[4]
۵	$FPI = \exp(0.008UCS + 0.015RQD + 1.384)$	(۶)	۰/۷۸۵	عمومی		[14]

در این تحقیق برای توسعه روابط تجربی پیش‌بینی سایش دیسک کاترها نیز انطباق میان پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی (مقاومت ماده‌سنگ، کوارتز معادل، سختی ویکرز یا VHNR و ...) و پارامترهای مربوط به عمر دیسک کاترها با استفاده از تکنیک‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً روابط مندرج در جدول ۴ برای پیش‌بینی عمر دیسک کاترها با استفاده از پارامتر Hf که با رابطه زیر تعریف می شود، حاصل گردیدند:

$$H_f\ (m^3/cutter) = \frac{H_m \cdot \pi \cdot d_{TBM}^{\ 2}}{4} \qquad (۱)$$

$$H_m\ (m/cutter) = \frac{L\ (m)}{N_{TBM}} \qquad (۱)$$

در روابط بالا، L طول مقطع حفاری، NTBM تعداد دیسک کاترهای مصرف شده در مقطع مورد نظر و dTBM قطر ماشین می‌باشند.

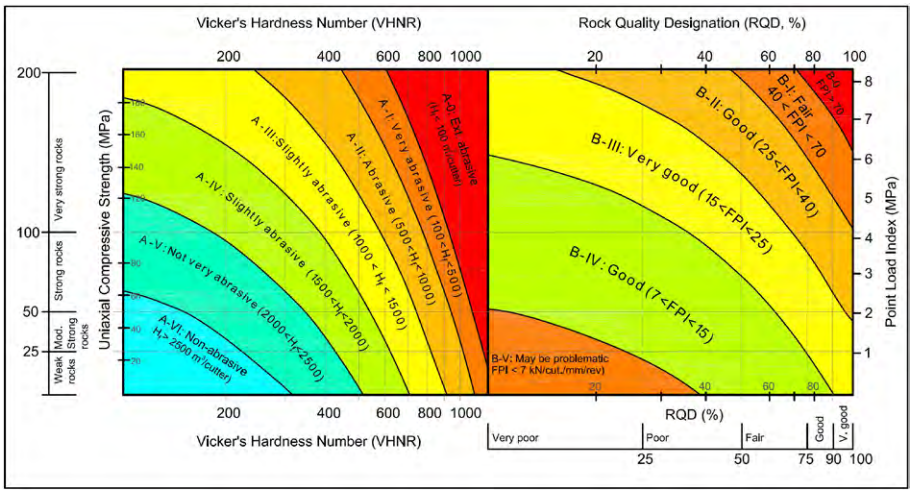
جدول ۵- روابط تجربی به دست آمده برای پیش‌بینی عملکرد ماشین در هر یک از پروژه‌های مورد مطالعه

ردیف	معادله	شماره	ضریب همبستگی	پروژه	دامنه کاربرد	مرجع
۱	$H_f = -2.669\ VHNR - 7.891\ UCS + 3430.955$	(۷)	۰/۶۹۳	کرج	سنگ‌های آذرآواری درزه‌دار و بلوکی	[13]
۳	$H_f = -2.013\ VHNR - 8.074\ UCS + 2859.350$	(۸)	۰/۷۸۵	قمرود	سنگ‌های رسوبی متورق و سنگ‌های دگرگونی شیستوز	منتشر نشده
۴	$H_f = -0.553\ VHNR - 2.302\ UCS + 938.887$	(۹)	۰/۴۴۴	ماناپوری	سنگ‌های آذرین و دگرگونی مستحکم و توده‌ای	منتشر نشده
۵	$H_f = -2.544\ VHNR - 8.331 UCS + 3288.248$	(۱۰)	۰/۷۷۱	عمومی		[12]

۴- طبقه‌بندی حفرپذیری و ساینده‌گی توده سنگ‌ها

به منظور استفاده راحت‌تر از مدل عمومی و مقایسه بهتر توده سنگ‌های مختلف از نظر شرایط حفرپذیری و ساینده‌گی، نموداری طراحی شده است که با استفاده از آن دامنه تغییرات FPI و Hf بر اساس دامنه تغییرات پارامترهای سنگ قابل تخمین می‌باشد. نمودار مورد نظر در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، توده سنگ‌ها بر اساس ویژگی‌های آنها به شش گروه مختلف از نظر ویژگی‌های حفر پذیری و ۷ گروه مختلف از نظر ساینده‌گی تقسیم شده‌اند. ویژگی‌های کلی شش رده حفرپذیری و هفت رده ساینده‌گی به ترتیب در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

در اینجا حفرپذیری توده سنگ بر اساس صعوبت یا سهولت حفر آن توسط دیسک کاترهای نصب شده بر روی کله حفاری TBM تعریف می‌شود. حفرپذیری توده سنگ عامل اساسی در پیش‌بینی عملکرد ماشین و همچنین در مطالعات مربوط به انتخاب ماشین تونل‌بُری مناسب می‌باشد. در جدول ۶، از بالا به پایین، شرایط حفرپذیری توده سنگ مطلوبتر و برعکس شرایط پایداری توده سنگ جداره تونل، نامطلوبتر می‌شود. از آنجا که هر دو عامل فوق‌الذکر یعنی شرایط حفرپذیری و پایداری توده سنگ در عملکرد ماشین‌های تونل‌بُری حائز اهمیت هستند، لازم است صعوبت نسبی استفاده از TBM با در نظر گرفتن هر دو عامل سنجیده شود.



شکل ۲- مدل عمومی برای پیش‌بینی شاخص نفوذ صحرایی و عمر دیسک کاترها و ردهٔ حفر پذیری و ساینده‌گی توده سنگ‌ها (حسن پور و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۶- سیستم رده‌بندی پیشنهادی برای حفرپذیری توده سنگ‌ها (حسن پور و همکاران، ۲۰۱۱)

رده حفرپذیری توده سنگ	شاخص نفوذ صحرایی (FPI) (kN//mm/rev)	توصیف حفرپذیری	شرایط پایداری	قابلیت کاربرد TBM	مثال
B-0	> ۷۰	Tough	کاملاً پایدار	Tough	توده سنگ‌های بسیار بسیار مستحکم و توده‌ای و بدون درزه مانند کوارتزیت‌ها
B-I	۴۰-۷۰	Fair-tough	پایدار	متوسط	سنگ‌های آذرین و دگرگونی بسیار مستحکم و یا درزه‌داری اندک (گنیس، گابرو، دیوریت و ...)
B-II	۲۵-۴۰	متوسط تا خوب	ناپایداری‌های جزئی	خوب	سنگ‌های آواری و آذرآواری مستحکم و درزه‌دار (توف، توفیت، آگلومرا، آهک و دولومیت‌های متوسط تا ضخیم لایه)
B-III	۱۵-۲۵	خوب	ناپایداری های موضعی	بسیار خوب	توده سنگ‌های نیمه مستحکم تا مستحکم و شدیدا درزه‌دار (لایه‌های نازک تا متوسط از آهک‌های شیلی و ماسه سنگ)
B-IV	۷-۱۵	بسیار خوب	ناپایداری‌های عمده	خوب	توده سنگ‌های ضعیف درزه‌دار و متورق مانند تناوب‌های نازک شیل و ماسه سنگ
B-V	< ۷	عالی	ریزش کلی، لهیدگی زمین	همراه با مشکل	سنگ‌های بسیار ضعیف و خرد شده و توده‌سنگ‌های کاملا متورق (شیل، اسلیت، گرافیت شیست و ...)

جدول ۷- سیستم رده‌بندی پیشنهادی برای ساینده‌گی توده سنگ‌ها (حسن پور و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵)

رده ساینده‌گی توده سنگ	عمر دیسک کاتر (H_F) (m^3/cutter)	توصیف ساینده‌گی	مثال
A-0	< ۱۰۰	ساینده‌گی فوق العاده زیاد، سایش بسیار بالای ابزار	توده سنگ‌های نقوذی و دگرگونی بسیار مستحکم با درصد کوارتز بالا
A-I	۱۰۰-۵۰۰	ساینده‌گی زیاد	سنگ‌های آذرین و دگرگونی بسیار مستحکم (گنیس، گرانیت و ...)
A-II	۵۰۰-۱۰۰۰	ساینده	سنگ‌های آواری و آذرآواری مستحکم (توف و توفیت های سیلیسی، آگلومرا و ماسه‌سنگ‌های حاوی کوارتز)
A-III	۱۰۰۰-۱۵۰۰	ساینده‌گی متوسط	سنگ‌های نیمه مستحکم تا مستحکم (ماسه سنگ‌های سیمانی شده)
A-IV	۱۵۰۰-۲۰۰۰	ساینده‌گی کم	شیل‌ها، سنگ‌های آهکی – دولومیتی مستحکم
A-V	۲۰۰۰-۲۵۰۰	ساینده‌گی ناچیز	سنگ‌های آهکی – دولومیتی نیمه مستحکم
A-VI	> ۲۵۰۰	غیر ساینده، تقریباً بدون سایش ابزار	مارن و گلسنگ، آهک‌های ضعیف

۵- جمع‌بندی

در این مطالعه بر اساس اطلاعات واقعی به دست آمده از پروژه‌های داخلی و خارجی، روابطی تجربی برای تخمین عملکرد ماشین‌های حفر تونل و پیش‌بینی سایش دیسک کاترها پیشنهاد گردید. با توجه به اینکه مهمترین پارامترهای توده سنگ که در حفرپذیری و ساینده‌گی توده سنگ مؤثر هستند، در مدل و روابط پیشنهادی استفاده شده‌اند، می‌توان این مدل را از این نظر نسبتاً کامل فرض نمود. همچنین لازم است تأکید گردد که در این مدل از اطلاعات مربوط به حدود ۷۰ کیلومتر تونل که در شرایط مختلف زمین‌شناسی (و به ویژه زمین‌شناسی ایران) حفر شده‌اند، استفاده شده است. بنابراین این مدل برای پیش‌بینی عملکرد ماشین و عمر دیسک کاترها در دامنه وسیعی از شرایط زمین‌شناسی قابل کاربرد می‌باشد.

با توجه به مزایای این مدل از نظر شباهت کامل بانک اطلاعاتی با شرایط زمین‌شناسی نقاط مختلف ایران، سادگی و سهولت مدل و استفاده از پارامترهای معمول مکانیک سنگ و زمین‌شناسی مهندسی، استفاده از این مدل بومی در پروژه‌های داخلی توصیه می‌گردد.

هنگام استفاده از این مدل ضروری است به شرایط زمین‌شناسی پروژه مورد بررسی توجه کامل گردد و روابط تجربی مناسب بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص هر پروژه انتخاب گردند. استفاده از مدل عمومی تنها هنگامی که ویژگی‌های زمین‌شناسی پروژه نامشخص یا بسیار متغیر باشد، توصیه می‌گردد.

۶- مراجع:

[۱] حسن پور ج. (۱۳۸۸) بررسی تأثیر پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی بر عملکرد ماشین حفار تمام مقطع و اصلاح مدل‌های پیش بینی، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

[۲] حسن پور ج.، رستمی ج. (۱۳۸۹) عملکرد ماشین‌های تونل‌بُری در سنگ سخت، نشر فن آریا، ۵۵۸ص.

[۳] حسن پور، ج. (۱۳۸۸) تحلیل عملکرد ماشین در حفاری ۲۴/۵ کیلومتر تونل قمرود، مجله انجمن تونل ایران، شماره ۹، زمستان ۱۳۸۸.

[۴] حسن پور ج.، رستمی ج.، طریق ازلی ص. (۱۳۹۰) بررسی رابطه میان پارامترهای مهندسی توده سنگ و عملکرد ماشین در سنگ‌های آذرین و دگرگونی تونل ماناپوری (نیوزیلند)، چهارمین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، تهران، ایران.

[5] Alber M., (2000) Advance rates of hard rock TBMs and their effects on projects economics, Tunneling and Undergr. Space Tech., Vol. 15, No. 1, pp. 55-64.

[6] Barton N., (2000) TBM Tunneling In Jointed and Faulted Rock. Balkema, Rotterdam, 173.

[7] Bruland A., (1998) Hard Rock Tunnel Boring. Ph.D. Thesis, vol. 1–10, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway.

[8] Delisio A., Zhao J. (2014) A new model for TBM performance prediction in blocky rock conditions, Tunnelling and Underground Space Technology 43 (2014), pp. 440–452.

[9] Farmer I.W. and Glossop N.H. (1980) Mechanics of disc cutter penetration, Tunnels and Tunneling 12(6), pp. 22-25.

[10] Gong Q.M., Zhao J. (2009) Development of a rock mass characteristics model for TBM penetration rate prediction. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Science 46 (1), 8–18.

[11] Grima M.A. (2000) Neuro-Fuzzy modeling in engineering geology, A.A. Balkema, Rotterdam.

[12] Hassanpour J., Rostami J., Zhao J., Tarigh Azali S. (2015) TBM performance and disc cutter wear prediction based on ten years' experience of TBM tunnelling in Iran, GEOMECHANIK UND TUNNELBAU • 8 (2015), No3, 239-247.

[13] Hassanpour J., Rostami J., Tarigh Azali S., Zhao, J. (2014) Introduction of an empirical TBM cutter wear prediction model for pyroclastic and mafic igneous rocks; a case history of Karaj water conveyance tunnel, Iran, Tunneling and Underground Space Technology 43 (2014), pp. 222–231.

[14] Hassanpour J., Rostami J., Zhao J. (2011) A new hard rock TBM performance prediction model for project planning. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 26, 595–603.

[15] Hassanpour J., Rostami J., Khamehchiyan M., Bruland A., Tavakoli H.R. (2010) TBM performance analysis in pyroclastic rocks, a case history of Karaj Water Conveyance Tunnel (KWCT). Journal of Rock mechanics and Rock Engineering 4, 427–445.

[16] Hassanpour, J., Rostami, J., Khamehchiyan, M., Bruland, A., (2009) Development new equations for performance prediction. Geo Mechanics and Geoengineering: An International Journal 4 (4), 287–297.

[17] Innaurato, N., Mancini, R. Rodena, E. and Zaninetti, A., (1991) Forecasting and effective TBM performances in a rapid excavation of a tunnel in Italy, proceeding of 7th International Congress on Rock Mechanics, Aachen, Germany, pp. 1009-1014.

[18] Nelson, P.P., Al-Jalil, Y.A. and laughton, C., (1999). Improved strategies for TBM performance prediction and project management. In Hilton & Samuelson (eds), proc. RETC. Orlando, FL. Ch. 54:963-979 . Littleton, CO : Soc. For Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

[19] Palmström, A., (1995) RMi- a rock mass characterization system for rock engineering purposes", chapter7, PhD thesis, Oslo University, Norway.

[20] Rostami, J., (1997) Development of a force estimation model for rock fragmentation with disc cutters through theoretical modeling and physical measurement of crushed zone pressure, Ph. D. thesis, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, P. 249.

[21] Yagiz, S., (2008) Utilizing rock mass properties for predicting TBM performance in hard rock condition. Tunnelling and Underground Space Technology 23 (3), 326–339.

TUNNEL
IRANIAN TUNNELLING ASSOCIATION MAGAZINE

پیش بینی نیروی پیشران TBM

مطالعه موردی تونل مکانیزه گلاس

مجید اسلامی[۱]، امید روشنی[۲]
۱ کارشناس ارشد دپارتمان تونل، مهندسین مشاور ایمن سازان
en.eslami@gmail.com
۲ کارشناس ارشد دپارتمان تونل، مهندسین مشاور ایمن سازان
omid.roshani@yahoo.com

چکیده:
ماشین تونلزنی (TBM) مورد استفاده در حفاری مسیر تونل گلاس - قطعه ۱، از نوع Dual Mode می باشد. این ماشین قابلیت حفاری در بخش سنگی و آبرفتی مسیر پروژه را دارد. یکی از ملزومات انتخاب این ماشین تعیین فشار سینه کار و نیروی پیشران کافی جهت حفاری مسیر تونل خواهد بود. فشار وارد شونده از طرف ماشین تونلزنی به سینه کار می تواند با توجه به پایدارسازی سینه کار، نیروی پیشران لازم را نیز تحت تاثیر قرار دهد. در این مقاله نحوه محاسبه فشار سینه کار به روش تحلیلی ارائه شده و سپس به کمك مدل عددی این فشار صحت سنجی شده است. پس از بررسی صحت مدل، نیروی پیشران مورد نیاز جهت حفاری مسیر تونل ارائه شده است.

کلمات کلیدی: TBM، تغییر شکل سپر، مدلسازی عددی، فشار سینه کار، نیروی پیشران.

۱- مقدمه

امروزه استفاده از ماشین های حفار تمام مقطع (TBM) به دلیل کاهش در هزینه حفاری تونل های بلند و زمان اجرای پروژه به سرعت در حال پیشروی است. کشورمان، ایران، نیز با توجه به توسعه پروژه های عمرانی از این امر مستثنی نمی باشد. انتخاب نوع ماشین حفار تمام مقطع تابع شرایط زمین شناسی مسیر تونل می باشد[۱]. در صورتیکه احتمال گیر افتادن ماشین وجود داشته باشد می بایست از TBM جهت حفاری صرف نظر نمود [۲]. زیرا در صورتیکه مخاطرات زمین شناسی به حدی باشد که موجب متوقف شدن ماشین به مدت طولانی شود، نتیجه معکوس شده و هزینه ناشی از توقف دستگاه می تواند استفاده از روش سنتی را توجیه نماید[۳] و [۴]. مواردی وجود دارند که انتخاب نادرست در نوع و یا طراحی TBM منجر به تغییرشکل سپر و در نهایت توقف طولانی ماشین حفار شده است (شکل ۱). برای نمونه می توان به پروژه نیروگاه Gilgel Gibe در اتیوپی [۵] و پروژه تونل Westerscheldetunnel در هلند [۶] اشاره نمود.

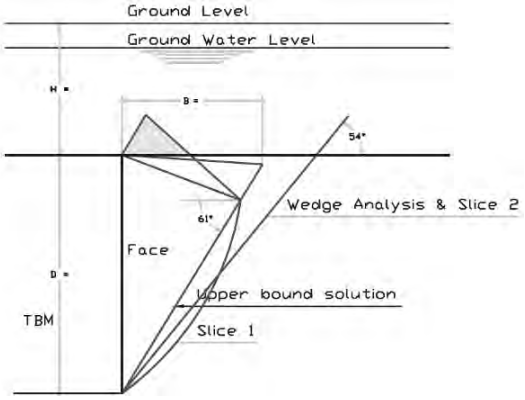
شکل ۱- تغییر شکل ایجاد شده در سپر TBM پروژه Gilgel Gibe

تونل انتقال آب گلاس به منظور هدایت آب مازاد رودخانه گلاس به حوضه آبریز دریاچه ارومیه و دشت نقده است. انتقال آب این رودخانه توسط یك تونل به طول حدود ۳۵۶۶۰ متر صورت می‌گیرد [۷]. حفاری تونل انتقال آب گلاس با استفاده از دو دستگاه ماشین تونلزنی(TBM) انجام خواهد شد. به این منظور تونل انتقال آب گلاس به دو قطعه تقسیم شده است. دستگاه حفاری مورد نظر برای قطعه اول گلاس بر اساس ملزومات انتخاب ماشین تونلزنی از نوع Dual Mode TBM می باشد. با توجه به حفاری این ماشین در بخش آبرفتی و هم در بخش سنگی، این ماشین قابلیت کارکردن با چمبر در فرم بسته و هم در فرم باز را دارد [۸].

قطر حفاری و قطر تمام شده داخل سگمنت این ماشین به ترتیب ۶/۴ متر و ۵/۷۷ متر می باشد. حفاری توسط ماشین تونلزنی از نوع EPB یا روش متعادل کننده فشار زمین، نگهداری مداوم جبهه‌کار تونل از طریق ایجاد تعادل بین فشار خارجی زمین و فشار آب در مقابل نیروی فشاری ماشین و نرخ خروج مصالح حفاری شده از ماشین صورت می‌گیرد. این فشار با تجمع مصالح حفاری شده درون اتاقک حفاری تامین می شود. در حقیقت اساساً تکنولوژی ساخت دستگاه EPB مبتنی بر استفاده از خاک حفاری شده موجود در چمبر برای نگهداری سینه کار است[۹].

آنالیزهای پایداری سینه کار نیز مستقیماً به فشار نگهدارنده سینه کار بستگی دارد. تعیین دقیق میزان فشار جهت جلوگیری از ناپایداری سینه کار به فاکتورهای مختلفی، از قبیل میزان چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و میزان نفوذپذیری زمین، نوع دستگاه TBM، سرعت پیشروی، وزن مخصوص دوغاب یا خاک بهسازی شده، قطر تونل، میزان روباره، و سطح ایستابی آب بستگی دارد[۱۰]. نظریه های بسیاری جهت تامین فشار پایدارکننده سینه کار زیر سطح آب زیرزمینی ارائه شده است. در شکل(۲) سطوح بحرانی که در روش های تحلیلی مختلف جهت تعیین فشار سینه کار استفاده می شود آورده شده است. لکا و دورمیوکس در سال ۱۹۹۰ استفاده سطح بحرانی حد بالا را پیشنهاد نمودند[۱۱].

آناگنوستو و کواری در سال ۱۹۹۶ با استفاده از آنالیز گوه سه بعدی و به کار بردن محاسبات تعادل حدی تخمینی از فشار سینه کار را ارائه کردند[۱۲] همچنین استفاده از سطح لغزش بر اساس شکل سطح لغزش توسط لی و نام درسال ۲۰۰۴ ارائه شده است[۱۳]. در وش لی و نام، اولین سطح لغزش یک سطح منحنی و سطح لغزش دوم یک سطح صاف می‌باشد. تمامی روش های فوق بیانگر آن است که فشار بحرانی سینه کار را می توان از طریق تغییر زاویه سطوح لغزش تعیین نمود.



شکل۲- سطوح بحرانی جهت آنالیز فشار سینه کار TBM [۱۴]

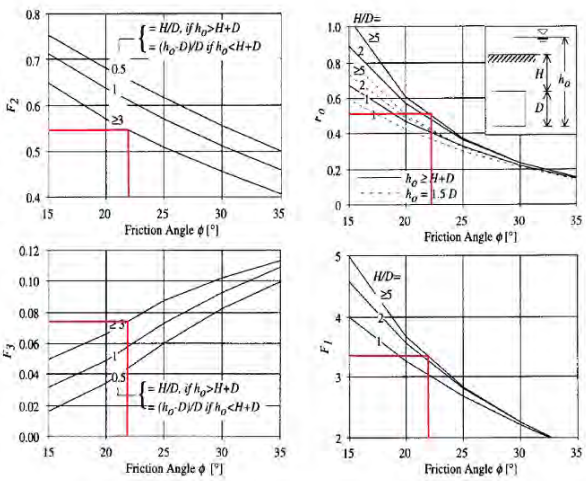
۲- تعیین فشار سینه کار به روش تحلیلی

یکی از رایج ترین روش های تعادل حدی جهت محاسبه فشار سینه کار، تحلیل تعادل حدی گوه‌ای لغزنده در جبهه‌کار تونل است. اساس این روش در نظر گرفتن یک سیلو بعنوان یک گوه و بررسی رفتار آن در شرایط بارگذاری می باشد. روش آناگنوستو و کواری (۱۹۹۷) به دلیل ایجاد تمایز بین فشار موثر وارد بر سینه کار و فشار هیدرواستاتیک داخل چمبر در حفاری با استفاده از EPB، روش مناسبی نسبت به روش های دیگر می باشد. این تحلیل تعادل حدی از معیار شکست موهر کولمب استفاده می‌کند [۱۵]. همچنین این تحلیل در شرایط زهکش انجام شده و بیان می کند با تغییر نرخ پیشروی در زمین های با نفوذپذیری مختلف می توان سینه کار را در شرایط پایدار قرار داد. جهت بررسی حالت بحرانی موجود در مسیر تونل، بخش آبرفتی مسیر با حداکثر سربار ۱۱۰ متر و تراز آب ۹۰ متر بالای تونل مورد بررسی قرار گرفته است. در روش آناگنوستو و کواری، برای محاسبه فشار موثر مورد نیاز جهت پایداری سینه کار از رابطه ذیل استفاده می شود:

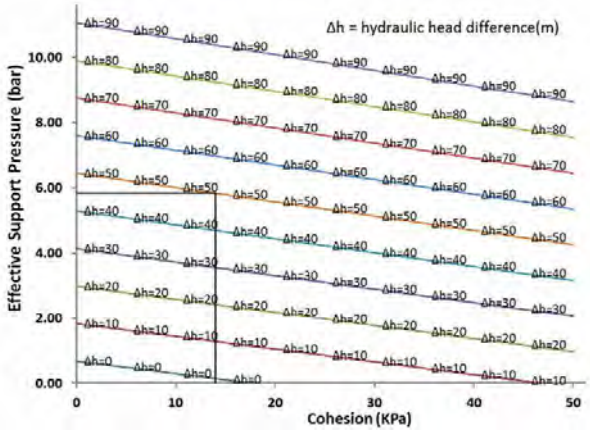
$$S = F_0\gamma D - F_1 C + F_2\gamma \Delta h - F_3 C\frac{\Delta h}{D}$$

در این رابطه D قطر تونل برابر ۶/۵ متر، C چسبندگی خاك برابر ۱۴ کیلوپاسکال، γ وزن مخصوص روباره معادل ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، Δh اختلاف فشار هیدرو استاتیك داخل چمبر و ارتفاع آب بالای تونل و F۰، F۱، F۲، F۳ ضرایب ثابت بوده که از طریق نمودارهای ارائه شده در شکل (۳) تعیین می شوند. بر اساس پارامترهای فوق رابطه بین فشار موثر مورد نیاز برای پایداری سینه کار(S) و چسبندگی (C) در (Δh) های مختلف، به صورت نمودار در شکل (۳) آورده شده است.

طبق اظهارات شرکت سازنده دستگاه، فشار هیدرواستاتیك داخل چمبر تا ۴ بار شرایط معمول تلقی می‌شود و نیاز به استفاده از ماشین تونلزنی خاص را ندارد[۱۶]. بنابراین با در نظر گرفتن این فشار، اختلاف ارتفاع Δh معادل ۵۰ متر آب نتیجه می شود. جهت جلوگیری از افزایش فشار داخل چمبر از فشار بیان شده می بایست دریچه های تخلیه در اتاقك فشار تعبیه گردد. با در نظر گرفتن چسبندگی ۱۴ کیلو پاسکال و اختلاف فشار هیدرو استاتیك داخل چمبر و ارتفاع آب بالای تونل، فشار موثر مورد نیاز جهت پایداری سینه کار حدود ۶ بار می‌باشد(شکل۴).



شکل ۳- ضرایب ثابت جهت تعیین فشار سینه کار [۱۵]

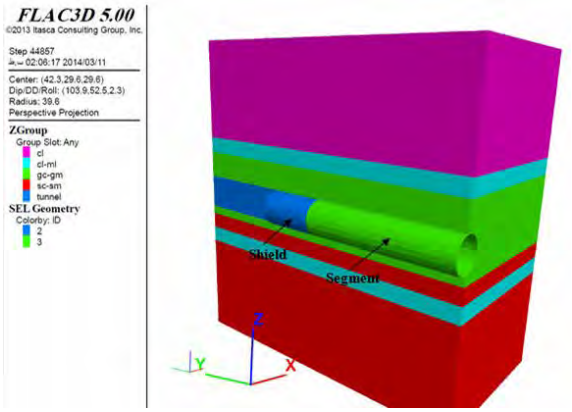


شکل ۴- رابطه بین فشار موثر مورد نیاز برای پایداری سینه کار(S) و چسبندگی (C) در (Δh) های مختلف

۳- تعیین فشار سینه کار به کمک مدلسازی عددی

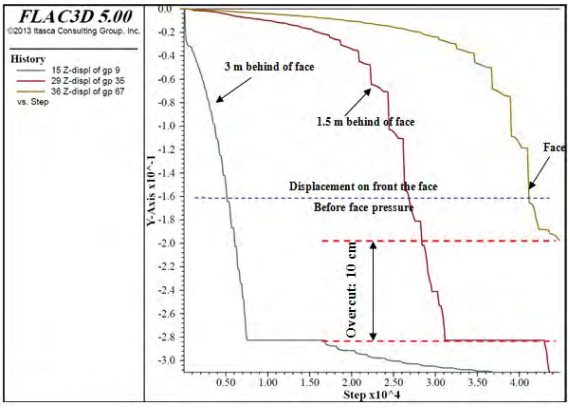
استفاده از روش‌های عددی در کنار روش‌های تحلیلی، می‌تواند تا حد زیادی صحت و دقت جواب‌های این روش‌ها را تائید نماید. جهت محاسبه فشار سینه کار به روش عددی، یك مقطع از مسیر تونل در محدوده آبرفتی انتخاب گردید و فشار سینه کار (۶ بار) و فشار چمبر (۴ بار) بدست آمده از روابط تحلیل در مدلسازی عددی مجددا مورد بررسی قرار گرفت. آنالیزها با استفاده از نرم افزار سه بعدی FLAC3D [۱۷] انجام شده که شامل هندسه مدل، شرایط مرزی و خصوصیات مواد، مش بندی، اعمال شرایط اولیه شامل اعمال فشار آب و ... می‌باشد.

دستگاه حفاری که در مدلسازی عددی لحاظ شده، دارای قطر حفاری ۶/۴ متر، طول سپر معادل ۱۰/۵ متر و با قابلیت اضافه حفاری ۱۰ سانتیمتر می‌باشد[۱۸] پوشش بتنی تونل با ضخامت ۲۵ سانتیمتر و طول ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی پوشش بتنی از المان‌های پوسته‌ای استفاده شده است (شکل۵).



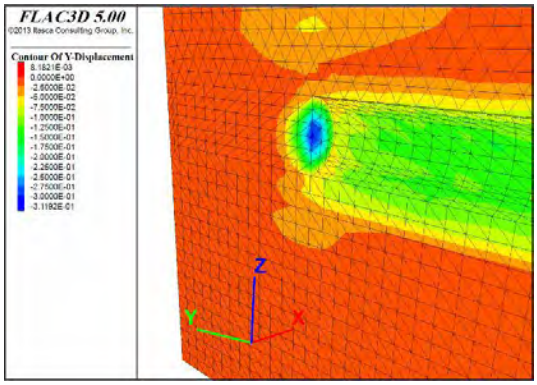
شکل ۵- المان های مدلسازی شده در نرم افزار FLAC3D

پس از حل نهایی مدل نتایج آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۶) نمایش داده شده است، جابجایی قائم رخ داده در تاج تونل در محدوده شیلد حدود ۳۰ سانتیمتر می باشد (با صرف نظر از مقادیر مرزی مدل). این مقادیر جابجایی، جابجایی کل زمین می باشد. به عبارتی در محدوده شیلد جابجایی رخ داده مجموع جابجایی قبل از رسیدن سپر (حدود ۱۶ سانتیمتر) به اضافه ۱۰ سانتیمتر جابجایی به دلیل اضافه حفاری قبل از اعمال شیلد مدل را شامل می شود. شکل(۷) جابجایی کل زمین در سینه کار در راستای محور تونل را حدود ۳۰ سانتیمتر نشان می دهد. به عبارت دیگر سینه کار مدل نیز با توجه به فشار سینه کار اعمال شده (۶/۵ بار) پس از ۱۵ سانتیمتر جابجایی به شرایط تعادل رسیده است (شکل۸).

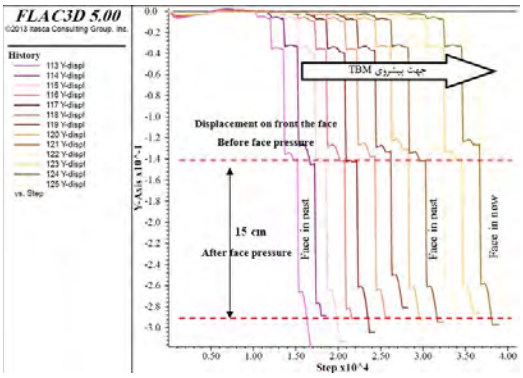


شکل۶- تاریخچه جابجایی قائم در تاج تونل در سکانس های پیشروی (محور افقی سیکل محاسباتی- محور قائم جابجایی بر حسب متر)

جهت بررسی مناسب بودن فشار سینه کار سه پارامتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت: الف) پایداری سینه کار تحت فشار اعمالی، ب) بار وارد بر سپر و جلوگیری از تغییر شکل آن و ج) نیروی پیشران دستگاه (تراست).



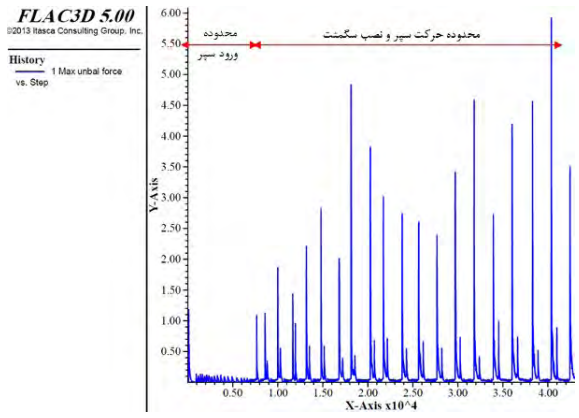
شکل۷- کنتور جابجایی افقی در راستای محور تونل- راستای Y (واحد بر حسب متر)



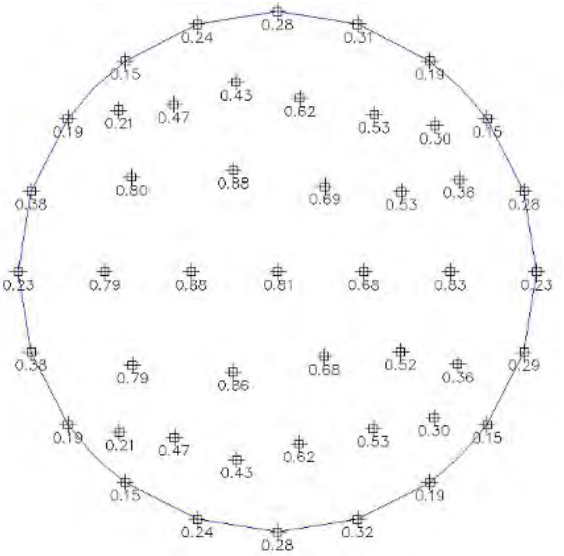
شکل ۸- تاریخچه جابجایی سینه کار در راستای افقی (محور Y) با توجه به سکانس های پیشروی (محور افقی سیکل محاسباتی- محور قائم جابجایی بر حسب متر)

۳-۱- بررسی پایداری سینه کار تحت فشار اعمالی

با توجه به تعادل مدل درسیکل‌های مختلف حفاری (شکل ۹)، فشار اعمال شده به سینه کار و فشار چمبر برای پایدار سازی سینه کار مناسب می‌باشد. بر اساس نیروی های استخراج شده از نرم افزار مجموع نیروهای اعمال شونده به کاترهد معادل ۲۰۶۳۳ کیلو نیوتن می باشد. شکل (۱۰) پراکندگی این نیروها در سطح کاترهد را نشان می‌دهد.



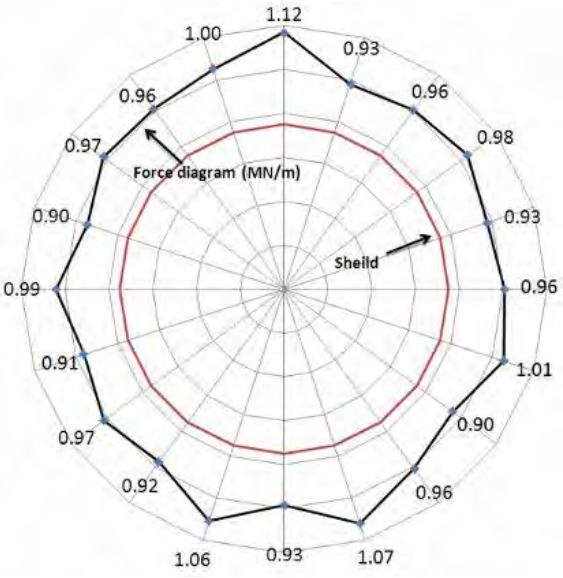
شکل ۹- تاریخچه نیروهای نامتعادل کننده مدل در سکانس های پیشروی (محور افقی سیکل محاسباتی- محور قائم ماکزیمم نیروی نامتعادل کننده بر حسب مگا نیوتن)



شکل ۱۰- نیروهای وارد شده به کاتر هد (واحد بر حسب مگانیوتن)

۳-۲- بررسی بار وارد بر سپر و جلوگیری از تغییر شکل آن

نتایج آنالیز عددی نشان داد که مجموع نیروهای وارد شده به پیرامون سپر معادل ۲۰۴۰۳۸ کیلو نیوتن (و یا ۱۹۴۳۲ کیلونیوتن در هر متر از سپر) می‌باشد(شکل ۱۱). بر این اساس فشار وارد بر سپر حدود ۹/۶ بار بوده که در صورتیکه سپر این فشار را تحمل کند مشکلی از لحاظ تغییر شکل سپر در آن بوجود نخواهد آمد.



شکل-۱۱: نیروهای وارد شده در هر متر از طول سپر معادل (واحد بر حسب مگانیوتن)

۳-۳- بررسی نیروی پیشران ماشین حفار (THRUST)

نیروی پیشران دستگاه (T) باید بتواند بر مجموع نیروهای اصطکاکی (W)غلبه کند. این نیرو ها شامل موارد زیر می‌باشند:

$$T=WSK+WSUPP+WEXE+WSN\ (KN)$$

WSK نیروی اصطکاک سپر، WSUPP نیروی اعمال شونده از طرف سینه کار، WEXE نیروی دیسک کاتر وWSN نیروی کشنده سپر دنباله می باشد[۱۹]. نیروی اصطکاک سپر از رابطه زیر تعیین می شود:

$$W_{SK}=\mu\,(2\pi R.L.\sigma_M+F_W)$$

μ ضریب اصطکاک بین سپر و زمین، R شعاع تونل، L طول شیلد، σ_M فشار دربرگیرنده سپر و Fw وزن دستگاه می باشد. فشار دربرگیرنده شیلد بنابرآنچه بیان شده حدود ۹/۶ بار می باشد. همچنین وزن دستگاه حدود ۷۰۰ تن است که با درنظر گرفتن ضریب اصطکاک ۰/۱۵ (در شرایط گریس کاری و استفاده از بنتونیت در زمین‌های رسی) [۲۰]، مقدار نیروی محرک در مقابل این اصطکاک ۳۰۶۰۵ کیلونیوتن خواهد شد.

بر اساس نتایج عددی فشار اعمال شده از سینه کار به دستگاه (WSUPP) حدود ۶/۵ بار است (شکل ۱۰). این فشار با توجه به سطح مقطع دستگاه معادل ۲۰۶۳۳ کیلو نیوتن نیرو می باشد. به دلیل حفاری در آبرفت و استفاده کاتر از ناخن جهت حفاری، از نیروی اعمالی دیسک کاترها صرف نظر شده است. نیروی اصطکاکی ناشی از آبندی سپر دنباله را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$W_{SN}=2\pi R.\,P_b$$

بر اساس نتایج تجربی نیروی اصطکاکی ناشی از آبندی سپر دنباله (Pb) حدودا ۱۰ کیلونیوتن بر هر متر می باشد[۲۱]. با درنظر گرفتن قطر تونل، این نیرو ۲۰۰ کیلونیوتن محاسبه می گردد. در نهایت مطابق جدول (۱) دستگاه با مجموع نیروهای ذکر شده یعنی ۵۱۲۳۸ کیلونیوتن قادر به پیشروی در سربار حداکثر محدوده آبرفتی خواهد گردید.

جدول-۱:نیروی پیشران ماشین حفار در شرایط ضریب اصطکاکی مختلف

طول سپر (m)	نیروی دربرگیرنده سپر (KN/m)	ضریب اصطکاک سپر	نیروی سینه کار (KN)	نیروی ناشی از آبندی سپر دنباله (KN)	نیروی پیشران (KN)
۱۰/۵	۱۹۴۳۱	۰/۱۵	۲۰۶۳۳	۲۰۰	۵۱۴۲۸

۵- نتیجه گیری

در این مقاله نیروی پیشران ماشین تونلزنی برای قطعه یك پروژه گلاس بررسی شد. مدل عددی سه بعدی در محدوده آبرفتی قطعه یك، جهت صحت سنجی معادلات تحلیلی ساخته شد. نتایج مدل عددی نشان داد که فشار سینه کار محاسبه شده معادل ۶/۵ بار (با در نظر گرفتن فشار هیدرواستاتیك ۴ بار) برای پایدار نگه داشتن سینه کار مناسب می‌باشد. همچنین در این مدل عددی نیروهای دربرگیرنده سپر و نیروهای وارد بر کاترهد جهت محاسبه نیروی پیشران دستگاه مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داده حداکثر فشار وارد بر سپر حدود ۹/۶ بار است. در صورتیکه طول سپر ۱۰/۵ متر باشد، حداکثر نیروی مورد نیاز جهت عدم گیرافتادن TBM در سربار حداکثر محدوده آبرفتی بدون درنظر گرفتن ضریب اطمینان معادل ۵۱۲۳۸ کیلونیوتن می باشد.

۶- مراجع:

1. Deutscher Ausschuß f¨ur unterirdisches Bauen. (1997) - Recommendations for selecting and evaluating tunnel boring machines- Osterreichische Gesellschaft f¨ur Geomechanik, SIA-Fachgruppe f¨ur Untertagebauten, Tunnel 5/1997, 20-35.

2. Marinos. P, Hoek. E, Marinos. V. (2006)- Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunnelling - Bull Eng Geol Env, vol. 65, pp. 129–142.

3. Johannessen, S. (1998) - The Meraker project – 10 km of tunnel in 12 months - Norwegian TBM tunnelling, 30 Years of Experience with TBMs in Norwegian Tunneling, Norwegian Soil and Rock Engineering Association, Publication No. 11, pp. 85–89.

4. Skjeggedal, T., Holter, K.G. (1998) - Six case histories - Norwegian TBM Tunnelling, 30 Years of Experience with TBMs in Norwegian Tunneling, Norwegian Soil and Rock Engineering Association, Publication No. 11, pp. 79–84.

5. Willis, P. (2010) - Collapse of headrace tunnel after ground opening - Tunnel Talk.

6. Vliet. C, van der et al. (2009) - Shield Tail Deformations: Experience, Mechanics and Lessons - In Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress, Safe Tunnelling For the City and For the Environment, Budapest.

۷. مطالعات مهندسی. (۱۳۹۱) - مسیر پیشنهادی تونل انتقال آب کانی‌سیب - مهندسین مشاور ایمن سازان.

۸. مطالعات مهندسی. (۱۳۹۲) - ملزومات انتخاب دستگاه TBM - قطعه يك گلاس - مهندسین مشاور ایمن سازان.

9. Federal Highway Administration. (2013) - Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels - Civil Elements - Appendix D - Tunnel Boring Machines.

10. Guglielmetti, V., Grasso, P., Mahtab, A. (2007) - Mechanized Tunnelling in Urban Areas: Design Methodology and Construction Control - Taylor & Francis Group, London, UK.

11. Leca, E. and Dormieux, L. (1990) - Upper and Lower Bound Solutions for the Face Stability of Shallow Circular Tunnels in Frictional Material - Geotechnique , Vol. 40, No. 4, pp. 581–606.

12. Anagnostou, G. and Kovari, K. (1996) - Face Stability in Slurry and EPB shield Tunnelling - Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 165–174.

13. In-Mo Lee, Jae-Sung Lee and Seok-Woo Nam. (2004) - Effect of seepage on tunnel face stability reinforced with multistep pipe grouting - Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 19, No. 6, pp. 551–565.

14. Ashraf Abu-Krisha. (2007) - Numerical modelling of face stability for TBM tunnelling - Underground Space, the 4th Dimension of Metropolises, London, pp. 373–376.

15. Anagnostou, G.and Kovari, K. (1997) - The Face Stability of Slurry-shield-driven Tunnel - Proceeding Int. Symposium Geotechnical Aspects of Underground Construction in soft Ground, London, pp. 453–458.

16. NFM Technologies. (2013) - Tunnel boring machines aeronautics and heavy industry- www.nfm-technologies.com

17. Itasca Consulting Group Inc. (2012) - Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions (FLAC3D) -software ver. 5.01, www.Itascacg.com.

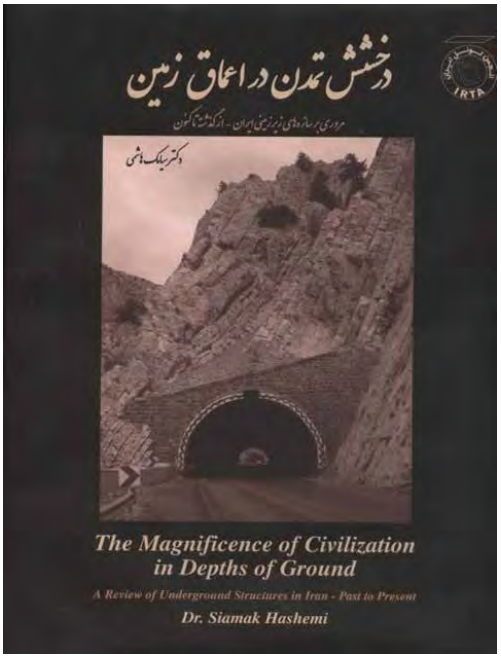
18. Technical Specification. (2013) - Preliminary Technical Specification for the Supply of dual mode shield TBMs Ø 6.32 m - KANISIB water conveyance – Part 1, NFM Technologies, NHI Group.

19. Midal B., Herrenknecht M., Anheuser L. (1996) - Mechanized shield tunnelling - Ernst & Sohn, Berlin.

20. Gehring K. H. (1996) - Design criteria for TBM's with respect to real rock pressure - Tunnel boring machines - Trends in design & construction of mechanized tunneling, International lecture series TBM tunneling trends, Hagenberg, pp. 43-53.

21. Lundardi, P. (2011) - The largest TBM-EPB machine in the world, designed to the Apennines: the experience of the SPARVO tunnel- 1st International congress on tunnel and underground structures in South-East Europe, April, 2011, Dubrovink, Croatia.

معرفی کتاب



عنوان کتاب:
درخشش تمدن در اعماق زمین
نویسنده: دکتر سیامک هاشمی
تاریخ انتشار: ۱۳۹۲
ناشر: چاپ و نشر شادرنگ - با حمایت انجمن تونل ایران

چکیده:
سرزمین ایران که از دیرباز به عنوان چهار راه تمدن و گذرگاهی برای دسترسی شرق و غرب جهان شناخته می شد، در ساخت و توسعه فضاهای زیرزمینی از گذشته های دور پیشرو بوده است. بقایای صدها سازه زیرزمینی که با اهداف و کاربری های مختلف در اقصی نقاط ایران ساخته شده اند، از سکونتگاه ها و نیایشگاه ها گرفته تا قنات ها و آسیاب ها، دلیلی بر این مدعا است. ایران در دوران معاصر نیز همگام با پیشرفت فن آوری، در ساخت فضاهای زیرزمینی در بخش های مختلف صنعت همچون سدسازی، انتقال آب، راه سازی و حمل و نقل ریلی، شاهد رشد و توسعه قابل توجهی بوده است. کتاب حاضر تاریخچه ساخت انواع فضاهای زیرزمینی در ایران را در ۱۴ فصل، به صورت مصور و به دو زبان فارسی و انگلیسی به علاقمندان معرفی می‌نماید.

عنوان کتاب:
تحلیل پایداری و طراحی تونل های حفاری مکانیزه
تالیف: پروفسور والتر ویتکه و همکاران
مترجمان: علیرضا طالبی نژاد، دانیال ذوالفقاری، مصطفی عماد
تاریخ انتشار: ۱۳۹۳
ناشر: قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) - با حمایت انجمن تونل ایران

چکیده:
دامنه کاربرد تونلسازی مکانیزه در سال‌های اخیر گسترش فراوانی یافته است. برای توده سنگ‌های درزه‌دار و سست غالباً از روش تونلسازی مکانیزه استفاده می‌شود که معمولاً در چنین شرایطی استفاده از یک سیستم نگهداری مناسب در محدوده ماشین ضرورت می‌یابد.
این کتاب برای دسترسی به موضوعات فنی مهم در طراحی پروژه‌های حفاری مکانیزه شامل انتخاب ماشین‌های حفاری TBM، مباحث تحلیل پایداری و مواجهه با مشکلات پیشروی ماشین، همچنین طراحی سازه‌ای پوشش تونل، ارزیابی میزان ارتعاشات و امواج مزاحم ناشی از ماشین حفاری و ارزیابی ریسک‌های موجود در تونلسازی می‌باشد و می‌تواند برای مجموعه‌های مهندسی مرتبط با تونلسازی مکانیزه، دانشجویان معدن، مکانیک سنگ و عمران بخصوص مهندسین شاغل در مراکز تحقیق و توسعه مفید باشد.

چکیده مقالات منتخب نشریات بین المللی

تحلیل واکنش سازه‌های مجاور تونل‌ها تحت تاثیر جابه‌جایی خاکهای ماسه‌ای

Moorak Son, 2015," Response analysis of nearby structures to tunneling-induced ground movements in sandy soils", Tunnelling and Underground Space Technology Volume 48, April 2015, Pages 156–169

این مطالعه اثرات جابه‌جایی زمین ناشی از تونل سازی بر روی سازه‌های مجاور در خاک‌های ماسه‌ای را با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در تونل‌ها، سازه ها، زمین‌ها و شرایط ساخت مختلف مورد بررسی قرار داده است. این تحقیق میزان آسیب و به‌هم‌ریختگی ساختاری را در شرایط تونل‌های مختلف شرح می‌دهد. بدین منظور، مطالعات پارامتری گسترده‌ای انجام گرفت و نتایج با برخی موارد مشابه مقایسه شدند. روش المان مجزا (DEM) برای مدل کردن ترک‌های سازه‌ای زمانی که تنش برشی و کششی از حداکثر مقاومت برشی و کششی تجاوز می‌کند، مورد استفاده قرار گرفته است. دو نوع سازه مختلف، سازه‌های آجردار و پرشده با آجر، در نظر گرفته شدند و میزان به هم ریختگی و ترک‌های القایی در آنها در شرایط تونل‌های مختلف شرح داده شد. رابطه‌ای که نسبت‌های عمق به قطر (Z/D) تونل‌ها و نسبت به نشست زمین را با میزان آسیب ساختاری در شرایط زمین و سازه‌های مختلف به هم مرتبط می‌سازد به منظور یکپارچه سازی نتایج مطالعات برای چارچوب طراحی در اجرای مهندسی پیشنهاد شده است. رابطه توسعه یافته برای ارزیابی آسیب سازه‌ای در مرحله طراحی تونل در بازه‌ای از شرایط تونل‌های مختلف عملاً می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این نتایج زمینه‌ای را برای فهم بهتر چگونگی کنترل و به حداقل رساندن آسیب سازه‌های مجاور تونل‌ها، سازه‌ها، زمین و شرایط ساخت مختلف فراهم خواهند کرد.

مدلسازی حرکت خاک در نقاله حلزونی ماشین‌های متعادل کننده فشار زمین (EPBM) با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

Kaveh Talebi, Hossein Memarian, Jamal Rostami, Ehsan Alavi Gharahbagh,2015," Modeling of soil movement in the screw conveyor of the earth pressure balance machines (EPBM) using computational fluid dynamics", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 47, March 2015, Pages 136–142

جریان خاک و مصالح حفاری شده در جبهه کار، کاترهد، اتاقک حفاری و نقاله حلزونی بیانگر پروفیل فشار خاک حفاری شده، همچنین میزان سایش ناشی از برخورد این مصالح با قسمت‌های مزبور در ماشین‌های حفاری زمین نرم می‌باشد. این مقاله در مورد کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای شبیه‌سازی خواص جریان خاک بهسازی شده در نقاله حلزونی ماشین حفار تونل متعادل کننده فشار زمین (EPB) بحث می‌کند. در این شبیه سازی فرض بر این است که خاک بهسازی شده رفتاری مشابه سیالات پلاستیک بینگهام دارد. روش آنالیز برگشتی در رابطه با مدلسازی با CFD به منظور محاسبه خواص رئولوژیک نمونه خاک نقاله حلزونی ماشین حفار پروژه سیاتل با گشتاور معین مورد استفاده قرار گرفته است. خطای مقادیر گشتاور بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های واقعی کارگاهی در بازه بین ۰/۱ تا ۶/۲ درصد می باشد. این موضوع نشان می‌دهد که روش CFD می‌تواند جابجایی خاک در نقاله مارپیچ ماشین‌های EPB را شبیه‌سازی کند. این نتایج همچنین نشان می‌دهند که رویکرد مشابهی می‌تواند جهت بهینه‌سازی طراحی ماشین به منظور به حداقل رساندن گشتاور و فرسودگی همچنین بهینه‌سازی پارامترهای راهبردی ماشین در حین اجرای تونل برای افزایش بهره‌وری و کنترل بهتر فشار سینه‌کار مورد استفاده قرار گیرد.

مطالعه پارامتری ساینده‌گی خاک برای پیش بینی موضوع سایش در پروژه‌های تونل سازی با TBM

Ghodrat Barzegari, Ali Uromeihy, Jian Zhao, 2015," Parametric study of soil abrasivity for predicting wear issue in TBM tunneling projects", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 48, April 2015, Pages 43–57

عدم وجود روش‌های قابل اعتماد برای ارزیابی میزان ساینده‌گی خاک و نمایش اثرات پارامترهای مختلف بر روی نرخ سایش، امروزه به عنوان نقطه ضعفی در بررسی‌های ژئوتکنیکی در حین مطالعات امکان‌سنجی و فازهای طراحی و ساخت پروژه‌های تونلی که در آنها از ماشین‌های حفار تونل (TBM) استفاده می‌شود، محسوب می‌گردد. این موضوع اخیراً توجه و تمرکز بین المللی وسیعی را به خود معطوف کرده است. در این مقاله سابقه روش‌های آزمایش استاندارد موجود و وقوع انواع سایش در تونل زنی با TBM مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. یک سیستم جدید آزمایش سایش خاک توسعه یافته است که به آن محفظه آزمایش سایش خاک (SATC) گفته می‌شود و نتایج آزمون‌های سایش خاک با نتایج روش‌های معمول مانند سرشار، LCPC و SAT مقایسه شده است. برخی از فاکتورهای اثرگذار شامل حضور آب، دوغاب بنتونیت، ابعاد ذرات خاک، محتوای کوارتز، فشارآب و فشار محفظه در برگیرنده در روش جدید لحاظ شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که با افزایش اندازه دانه‌های خاک، دوغاب بنتونیت، فشار خاک و محتوای کوارتز، ساینده‌گی خاک نیز میل به افزایش دارد. تاثیر آب بر روی ساینده‌گی برای خاک‌های مختلف متغیر است. ساینده‌گی خاک با افزایش فشار آب کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که اصطکاک داخلی هیچ گونه تاثیری بر روی نرخ‌های سایش اندازه‌گیری شده با دستگاه پیشنهاد داده شده ندارد.

فشار آب خارجی بر روی یک تونل عمیق در سنگ‌های خرد شده

Yong Huang, Zhimin Fu, Jing Chen, Zhifang Zhou, Jinguo Wang, 2015," The external water pressure on a deep buried tunnel in fractured rock", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 48, April 2015, Pages 58–66

تونل‌ها و فضاهای زیرزمینی به طور فزاینده‌ای جهت ذخیره آب و پروژه‌های برق آبی ساخته می‌شوند. ایمنی این تونل‌ها به واسطه فشار بالای آب خارجی در حین ساخت و عملیات ذخیره سازی در معرض تهدید قرار دارد. در این تحقیق، به‌جای یک مقدار مطلق، فشار آب خارجی با افزایش تدریجی در نظر گرفته شده است. همچنین این مقدار به فاکتورهای مختلفی مانند محدوده حفاری، لاینینگ و تزریق در تونل بستگی دارد. همینطور یک مدل مضاعف جهت محاسبه فشار آب خارجی مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل، یک مدل شبکه شکسته (DFN) را با یک مدل معادل محیط پیوسته (ECM) ترکیب کرده است. نتایج نشان داد که برخلاف مدل پیوسته، هدهای هیدرولیکی محاسبه شده با مقادیر اندازه‌گیری شده حین جفت کردن این دو مدل در مناطقی که شکستگی‌ها و زون‌های گسله به خوبی توسعه پیدا کرده بودند، مطابقت داشته است. علاوه بر این فشارهای آب خارجی در حین تخلیه و پرکردن تونل‌های انحراف با آب با استفاده از مدل جفت شده پیش‌بینی شده‌اند.

طراحی سگمنت‌های تونل FRC با در نظر گرفتن الزامات شکل‌پذیری مدل کد ۲۰۱۰

Lin Liao, Albert de la Fuente, Sergio Cavalaro, Antonio Aguado, 2015," Design of FRC tunnel segments considering the ductility requirements of the Model Code 2010", Tunnelling and Underground Space Technology Volume 47, March 2015, Pages 200–210

بتن تقویت شده با الیاف(FRC) به منظور بهبود پاسخ مکانیکی قطعات پیش ساخته بتنی تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده ساختاری از مصالح بر اساس کدهای بین‌المللی و اخیراً با کد مدل (MC۲۰۱۰) انجام می گیرد. در این رابطه لازم است مطابق جدیدترین دستورالعمل‌ها، ارزیابی قابلیت به‌کارگیری و عکس‌العمل سگمنت‌های تونل و فلسفه‌ای که برای طراحی آنها بکار رفته است، به‌روز گردد. هدف این مقاله ارائه تحلیل بحرانی طراحی سگمنت‌های FRC بر اساس الزامات شکل‌پذیری MC۲۰۱۰ می‌باشد؛ یک روش جایگزین سازگار با شرایط موجود در برخی تونل‌ها نیز مطرح شده است. نتایج هر دو روش برای خط ۹ مترو بارسلون از طریق نتایج بدست آمده از یک برنامهٔ تجربی با استفاده از سگمنت‌های با مقیاس کامل مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه نشان می‌دهد که روش جایگزین ممکن است تحت شرایط خاصی قابل اجرا بوده و منجر به کاهش مصرف الیاف گردد.

رویدادهای تونلی

دومین کنفرانس منطقه‌ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران

"تونل ها و آینده"

«۱۱ تا ۱۴ آبان ۱۳۹۴»

هدف اصلی این کنفرانس زمینه سازی برای تبادل دانش تونلسازی در سطح ملی و منطقه ای می باشد. در این راستا، انجمن تونل ایران، با تجربه برگزاری چندین کنفرانس علمی ملی و بین‌المللی و ارتباط با مجامع صنعتی تونل، از تمامی دانشمندان، متخصصان و نخبگان علمی، اساتید، دانشجویان و پژوهشگران و دست‌اندرکاران صنعت تونل برای شرکت در دومین همایش منطقه ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران که در آبان ماه ۱۳۹۴ در تهران برگزار خواهد شد، دعوت به عمل می‌آورد. این همایش با محورهای اصلی تحقیق و توسعه، شناسایی و طراحی، فن آوریهای ساخت و بهره‌برداری و تأکید بر نقش کلیدی تونلسازی در ایجاد آینده ای بهتر برای توسعه جوامع بشری، فرصت مناسبی به منظور تبادل اطلاعات و دانش روز و نیز آشنایی با فن آوری های جدید صنعت تونل را فراهم می سازد. برنامه این همایش شامل کارگاه‌های آموزشی، ارائه مقالات، برگزاری نمایشگاه تخصصی و بازدیدهای علمی از پروژه های در حال اجرا می‌باشد. حضور فعال دست‌اندرکاران صنعت تونل در این کنفرانس موجب شکوفایی، ارتقاء و توسعه دانش و فناوری فضاهای زیرزمینی می‌شود.

زمان های کلیدی:

مهلت ارسال خلاصه مقاله: ۱۳/ ۱۲/ ۱۳۹۳
اعلام نتایج بررسی خلاصه مقالات: ۲۷/ ۱۲/ ۱۳۹۳
مهلت ارسال مقاله کامل: ۲۰/ ۰۳/ ۱۳۹۴
اعلام نتایج نهایی مقالات: ۲۸/ ۰۵/ ۱۳۹۴
مهلت ارسال مقاله تکمیل شده: ۲۵/ ۰۶/ ۱۳۹۴

محورهای مباحث و مقالات کنفرانس:

تحقیق و توسعه

- آموزش تونلسازی
- فناوری‌های جدید در تونلسازی
- مهندسی ارزش در فضاهای زیرزمینی

مبانی شناسائی و طراحی

- مبانی مطالعات و بررسی های زمین شناسی، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک
- مبانی و روش های تحلیل و طراحی
- سیستمهای نگهدارنده
- رفتارسنجی و ابزار دقیق
- اثرات زیست‌محیطی
- تحلیل ریسک

فضاهای زیرزمینی و فن‌آوری ساخت آنها

- روش های اجراء (مکانیزه، انفجار و کند و پوش)
- فضاهای زیرزمینی خاص (پدافند غیرعامل، صنعت نفت و گاز و معادن)
- فضاهای زیرزمینی شهری
- حفاری بدون ترانشه (ریز تونل‌ها، لوله‌رانی و ...)

مباحث مالی، قراردادی و مدیریتی در پروژه‌های زیرزمینی

- مسایل قراردادی و مدیریت ریسک
- مدیریت طراحی، اجرا و بهره برداری
- تأمین منابع مالی و سرمایه‌گذاری

سایر موارد

- آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مرتبط با فضاهای زیرزمینی
- ملاحظات اجتماعی و زیست محیطی
- ایمنی در تونلسازی
- معماری در فضاهای زیرزمینی
- تأسیسات در فضاهای زیرزمینی
- تعمیر و نگهداری فضاهای زیرزمینی

دبیرخانه کنفرانس:

تهران، خیابان کارگر شمالی، بالاتر از بیمارستان قلب، نبش خیابان دوم، ساختمان ۱۸۳۹، طبقه ۵، واحد ۴۱.
تلفن: ۶- ۸۸۶۳۰۴۹۵
تلفکس: ۸۸۰۰۸۷۵۴
پست الکترونیک: info@irta.ir
سایت اینترنتی: http://www.itc2015.ir

رویدادهای تونلی

Underground Construction Conference
8-9 September 2015, Krakow, Poland

Tel. +48 12 351 10 90
Fax +48 12 393 18 93
Email agnieszka.prokop@inzynieria.com
Website: www.inzynieria.com

Shortcrete for Underground Support XII
11-13 October 2015, Singapore

Tel. +1-212-514-6760
Fax +1-212-514-6030
Email info@engconfintl.org
Website: www.engconf.org

The 12th International Conference on Shotcrete for Underground Support (ECI SUS XII) will be held in Singapore this year. This event is organized by Engineering Conferences International (ECI) and supported by NTU-JTC Research Centre (NTU-JTC 13C), the Society of Rock Mechanics and Engineering Geology (SRMEG), International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES) and Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen mbH (STUVA).

ECI SUS XII aims to pool the consolidated efforts from engineers, researchers and project managers from across the world to share and update state-of-the-art technology and best practices in rock engineering, TBM and deep excavation.

Topics:

• Development in Shotcrete technology for soft ground tunnelling and subsea tunnels
• Development in TBM, deep excavation and underground space technology
• Shotcrete reinforcement design
• Mechanical properties of Shotcrete under elevated temperature and corrosion environment
• Methods and equipment for Shotcrete installation
• Laboratory tests, on-site quality control and repair of Shotcrete
• Numerical simulation of tunnel rock support with Shotcrete
• TBM tunnelling in challenging ground conditions
• Development in rock tunnelling and rock blasting
• Grouting and water control for tunnels
• Application of Eurocodes in rock tunnelling
• New technology in rock exploration and site investigation
• Developments in fibre-reinforced Shotcrete
• Case studies

Cutting Edge 2015: Urban Tunneling
21-23 Sep 2015, Denver, USA

Tel. +1-303-948-4200
Fax +1-303-973-3845
Email meetings@smenet.org
Website: www.smemeetings.com

Advances in Tunneling Technology will provide you with the knowledge you need to stay up to date on the latest trends and techniques being used today in tunneling projects throughout the world and specifically in the Los Angeles, CA area. Featuring subject-specific presentations that focus on innovations and practical experience, and extended in-depth industry discussion sessions – which have become a trademark of this conference – Cutting Edge 2015 will educate and inform attendees on recent developments in urban tunneling technology.

The Cutting Edge: Urban Tunneling, organized by the Society for Mining, Metallurgy & Exploration will take place from 21st September to the 23rd September 2015 at the Grand Hyatt Denver in Denver, USA. The conference will cover areas like Planning and Use of Underground Space, Characterization of Ground Conditions in Urban Environments, Ground Modification and Mitigating Surface Impacts, Metro Station Construction, Developments in Urban Tunneling Technology.

TUNNEL

IN THE NAME OF GOD

SPRING 2015, No.23

IRANIAN TUNNELLING ASSOCIATION MAGAZINE نشریه انجمن تونل ایران

CONTENTS

Editorial 2
The 41st ITA General Assembly and World Tunnel Congress 2015 Croatia Report 3
News 4
Interview with a group of pioneers of Tehran Metro; The evolution of technology in Tehran Metro 9
An acquaintance with Zokor Machine used in Tehran Metro Line 4 14
Estimates of drillability and abrasiveness of rock masses in tunnelling with tunnel boring machines, based on the experiences of domestic projects 19
Estimating TBM thrust Force, Case Study: Glas Tunnel 26
Book Review 31
Selected International Paper Abstracts 32
Tunnelling Events 34

COVER PHOTO: LINE 7 TEHRAN METRO TUNNEL

Properietor

Iranian Tunnelling Association

President

Dr. M. Gharouni-Nik

Chief Editor

Dr. S. Hashemi

Supervised By

Board of Directors of Iranian Tunnelling Accociation

Editorial Board

Dr. A. Fahimifar, Dr. O. Farzaneh, Dr. M. Gharouni-Nik, Dr. S. Hashemi, Dr. J. Hassanpour, Dr. M. Jafari, Mr. M. Karimi, Mr. M. Khosrotash, Dr. M. Mousavi, Mr A. Mozaffari Shams, Dr. M. Sadaghiani, Mr. Gh. Shamsi, Dr. M. Sharifzadeh, Dr. A. Yasaghi

Coordinator

Mr. F. Torabi-Mehr

Layout & Cover Design

Mr. F. Torabi-Mehr

بسمه تعالی

فرم ثبت‌نام عضویت در کارگروه ..... انجمن تونل ایران

نام و نام خانوادگی: ..... سطح تحصیلات: .....

رشته تحصیلی: ..... زمینه تخصصی: .....

دانشگاه محل تحصیل: ..... نام شرکت محل کار: .....

آدرس محل کار: .....

تلفن محل کار: ..... نمابر: .....

تلفن همراه: ..... آدرس پست الکترونیکی: .....

زمینه‌های علاقمندی به همکاری در کمیته:

□ چاپ و انتشارات □ برگزاری دوره‌های آموزشی و نشست‌های علمی □ تدوین استانداردها

□ امور پژوهشی و ارائه مقالات علمی □ مستندسازی □ تکنولوژی ساخت

سایر زمینه‌های مورد علاقه:

.....

.....

پیشنهاد در خصوص فعالیت‌های آینده کمیته:

.....

.....

.....

محل امضاء:

بسمه‌تعالی

انجمن تونل ایران
فرم تقاضای عضویت
(اعضای حقیقی)

محل‌الصاق عکس

۱- نام‌خانوادگی: *Surname:*

۲- نام: *First Name:*

کدعضویت:

شماره عضویت:

۳- تاریخ و محل تولد :

۴- شماره شناسنامه و محل صدور :

۵- کد ملی:

۶- نشانی

محل کار : کدپستی :

منزل : کدپستی :

پست الکترونیکی : *Email:*

۷- تلفن

محل کار : دورنگار :

منزل : همراه :

۸- سوابق تحصیلی دانشگاهی :

مدرک	تاریخ اخذ	نام مؤسسه عالی و محل آموزش	رشته تحصیلی	درجه علمی

۹- سوابق تجربی و کاری در زمینه تونل و سازه‌های زیرزمینی :

تاریخ		سازمان یا شرکت	نام طرح	مسئولیت
از	تا			

۱۰- سوابق علمی (تدریس و تحقیق در دانشگاهها و سایر مؤسسات آموزش عالی) :

عنوان درس یا تحقیق	محل انجام	سال

۱۱- آثار علمی، تحقیق، تألیف، ترجمهٔ کتابها و مقالات : (درصورت نیاز برگ اضافه ضمیمه نمایید)

عنوان	تاریخ و محل نشـــر

۱۲- آشنایی و میزان تسلط به زبانهای خارجی:

زبان	میزان تسلط			۱۳- عضویت در سازمان ها وکمیته‌های ملی و جهانـی: نام سازمان، کمیته و ...	تاریخ	
	عالی	خوب	متوسط		از	تا

۱۴- داوطلب عضویت : پیوسته ☐ وابسته ☐ دانشجویی ☐

۱۵- مدرک لازم	۱. تصویر شناسنامه و تصویر کارت ملی ۲. دو قطعه عکس ۴×۳ ۳. تصویر آخرین مدرک تحصیلی یا گواهی اشتغال به تحصیل ۴. گواهی سوابق کار بخصوص در صنعت تونل	حق عضویت	پیوسته ۴۰۰،۰۰۰ ریال وابسته ۳۰۰،۰۰۰ریال دانشجویی ۱۰۰،۰۰۰ ریال

تاریخ تکمیل فـــرم : نام و نام خانوادگی /امضاء:

آیین‌نامه عضویت در انجمن :

انواع و شرایط عضویت در انجمن عبارتند از :

عضویت پیوسته :

اعضای پیوسته انجمن بایستی حداقل دارای یکی از شرایط زیر باشند :

۱- مؤسسان انجمن .

۲- اشخاص با درجه کارشناسی ارشد و بالاتر در رشته‌های مرتبط با حداقل دو سال سابقه کار مفید در صنعت تونل سازی.

۳- اشخاص با درجه کارشناسی ارشد و بالاتر در رشته‌های مرتبط و پایان‌نامه در زمینه تونل با حداقل یک‌سال سابقه کار مفید در صنعت تونل‌سازی.

۴- اشخاص با درجه کارشناسی در رشته مرتبط با حداقل ۴ سال سابقه کار مفید در صنعت تونل‌سازی.

۵- اشخاص با درجه کارشناسی در سایر رشته‌ها با حداقل ۵ سال سابقه کار مفید در صنعت تونل‌سازی.

تبصره ۱ : رشته‌های مرتبط به صنعت تونل‌سازی شامل : مهندسی عمران ـ مهندسی معدن ـ زمین‌شناسی مهندسی زمین‌شناسی ـ مهندسی برق ـ مهندسی مکانیک ـ مهندسی نقشه‌برداری و شاخه‌های وابسته می‌باشد.

عضویت وابسته :

اشخاصی که دارای سابقه کاری حداقل دو سال در زمینه علم و صنعت تونل سازی بوده ولی شرایط عضویت پیوسته را نداشته باشند می‌توانند به عضویت وابسته درآیند.

عضویت دانشجویی :

کلیه اشخاصی که در رشته‌های مرتبط در دوره کارشناسی یا بالاتر در رشته‌های مرتبط به صنعت تونل‌سازی به تحصیل مشغول هستند می‌توانند به عضویت دانشجویی انجمن درآیند.

عضویت افتخاری :

شخصیتهای ایرانی و خارجی که مقام علمی آنان در زمینه‌های مرتبط با صنعت تونل‌سازی حائز اهمیت خاص باشد و یا در پیشبرد اهداف انجمن کمکهای مؤثر و ارزنده‌ای نموده باشند می‌توانند به عضویت افتخاری انجمن، انتخاب شوند.

تبصره ۲ : اعضاء افتخاری کلیه مزایای اعضاء پیوسته انجمن به جز حق انتخاب شدن به عنوان عضو هیئت مدیره را دارا هستند.

لطفاً" در این قسمت چیزی ننویسید : درخواست عضویت ..... در جلسه هیئت‌مدیره مورخ ..... مطـرح و با عضویت ایشان موافقت / مخالفت بعمل آمد.

لطفاً" فرم تکمیل شده را به نشانی : تهران ، خیابان کارگر شمالی، نبش خیابان دوم، ساختمان ۱۸۳۹، طبقه پنجم، واحد ۴۱،
تلفن: ۶-۸۸۶۳۰۴۹۵، دورنگار : ۸۸۰۰۸۷۵۴ دبیرخانه انجمن تونل ایران، ارسال نمایید. E-mail: info@irta.ir

www.irta.ir

بسمه‌تعالی

انجمن تـونل ایـــران
فـــرم تقـاضـای عضویت
(اعضای حقوقی)

کدعضویت:
شماره عضویت:

الف ـ مشخصات :

نام :	شماره ثبت :	تاریخ ثبت :

نوع مؤسسه : ۱- سهامی عام ☐ ۲- سهامی خاص ☐ ۳- مسؤلیت محدود ☐ ۴- سایر ☐ .....

رتبه‌بندی سازمان برنامه و بودجه : ۱- دارد ☐ رتبه ..... رشته ..... ۲- ندارد ☐

زمینه فعالیت :

نوع فعالیت : ۱- مهندسین مشاور ☐ ۲- پیمانکاری ☐ ۳- تولیدکننده ☐ ۴ - سایر ☐

سوابق پروژه‌ها و فعالیت‌های مؤسسه :

ردیف	عنوان پروژه	زمان اجراء		کارفرما	محل
		از	تا		

نشانی دفتر مرکزی :

تلفن :

دورنگار :

آدرس الکترونیکی (***Email***) :

ب ـ هیئت مدیره (نام مدیرعامل، رئیس و اعضای هیئت مدیره) :

ردیف	نام و نام‌خانوادگی	آخرین مدرک تحصیلی	سمت در مؤسسه
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			

مدارک مورد نیاز : ۱- مدرک ثبت شرکت یا سازمان
۲- سوابق و فعالیت

نام و امضاء مدیرعامل : مهر شرکت : تاریخ:

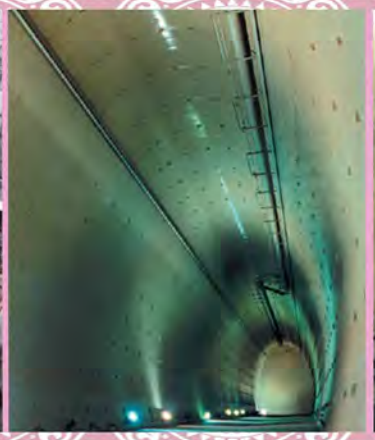
لطفا" در این قسمت چیزی ننویسید. لطفا" در این قسمت چیزی ننویسید : درخواست عضویت موسسه ..... در جلسه هیئت‌مدیره مورخ ..... مطرح و با عضویت آن موافقت / مخالفت بعمل آمد.

لطفا" فرم تکمیل شده را به نشانی : تهران ، خیابان کارگر شمالی، نبش خیابان دوم، ساختمان ۴۶۷، طبقه پنجم، واحد ۴۱، تلفن: ۶-۸۸۶۳۰۴۹۵، دورنگار : ۸۸۰۰۸۷۵۴ دبیرخانه انجمن تونل ایران، ارسال نمایید. E-mail: info@irtasite.ir

نشریه‌ی علمی- پژوهشی
مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی

TUNNELING & UNDERGROUND SPACE ENGINEERING

(T U S E)



فراخوان پذیرش دست‌نوشته

«مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی» نشریه‌ای علمی- پژوهشی در مباحث مرتبط با انواع سازه‌های زیرزمینی است. این نشریه با همکاری مشترک دانشگاه صنعتی شاهرود و انجمن تونل ایران پایه‌گذاری شده است و به صورت دوفصل‌نامه به چاپ خواهد رسید.

از همه‌ی اندیشمندان و پژوهشگران فعال در زمینه‌های مرتبط، دعوت می‌شود، دستاوردهای بدیع علمی و پژوهشی خود را در این نشریه با دیگر کارشناسان به اشتراک گذاشته و در توسعه‌ی صنعت تونل‌سازی و سازه‌های زیرزمینی کشور سهیم باشند.

وب‌سایت: http://tuse.shahroodut.ac.ir/

پست الکترونیک: tuse@shahroodut.ac.ir

محورهای پذیرش دست‌نوشته

- سازه‌های نیروگاهی
- تونل‌های حمل و نقل
- تونل‌های انتقال آب
- تونل‌های شهری
- مغارهای ذخیره‌سازی
- سازه‌های دفاعی
- فضاهای معدنی

آدرس دفتر نشریه‌ی مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی:

شاهرود، میدان ۷ تیر، بلوار دانشگاه، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، طبقه‌ی سوم، اتاق ۱۴

کدپستی: ۳۶۱۹۹۹۵۱۶۱، صندوق پستی: ۳۱۶، تلفن و نمابر: ۳۳۹۳۵۰۷-۰۲۷۳

TTE
تجهیز تونل جوان
TAJHIZ.TUNNEL.ENGINEERING

نخستین و بزرگترین
تولیدکننده
دستگاه‌های شاتکریت،
پمپ‌های تزریق و
سیستم‌های تهویه
در خاورمیانه

تهران، بزرگراه آیت الله سعیدی
مجتمع صنعتی چهار دانگه
خیابان کاوه (هفدهم)، پلاک ۱
تلفن:(۳۰ خط) ۰۲۱-۵۱۳۰
(۱۰ خط) ۶۲۶۲ ۲۵ ۵۵ ۰۲۱-
فکس: ۶۲۰۰ ۲۵ ۵۵ ۰۲۱-

P O Box: 33315 / 115
www.tajhiztunnel.com
info@tajhiztunnel.com

سامانه پیام کوتاه:
۱۰۰۰۰۲۶۰