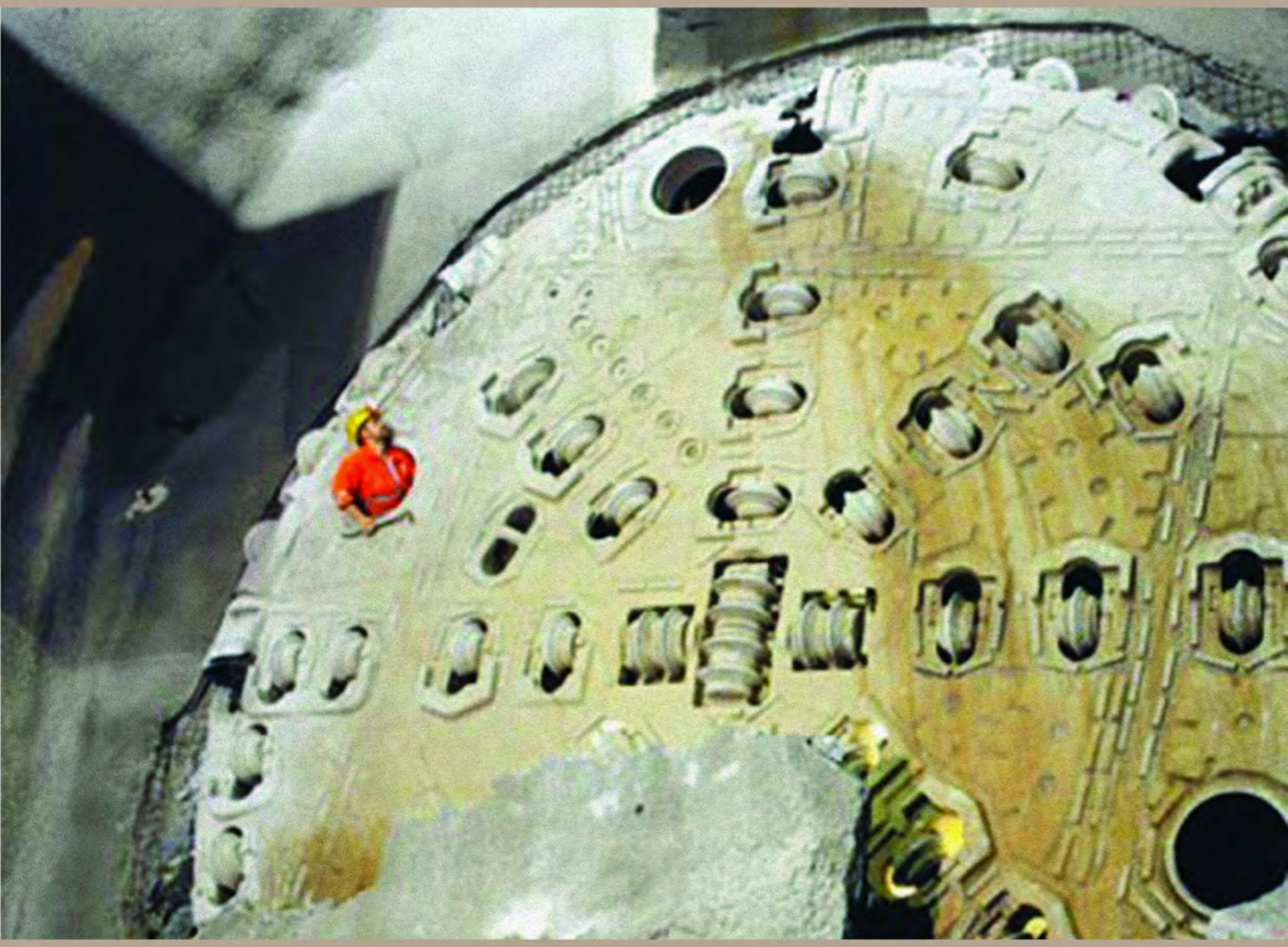
تونل

نشریه انجمن تونل ایران

Tunnel

شماره ۵، زمستان ۸۷

Iranian Tunnelling Association Magazine



www.irta.ir

تونل شماره ۵، زمستان ۸۷
نشریه انجمن تونل ایران

بسمه تعالی

- سرمقاله ۲
- اخبار ۳
- فرآیند انتخاب روش های طراحی فضاهای زیرزمینی، مطالعه موردی تونل شماره یک قطعه
- دو راه آهن قزوین - رشت ۹
- ارائه یک مدل از ویژگی های توده سنگ برای تخمین نرخ نفوذ دستگاه TBM ۱۸
- تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری اولیه تونل های دوقلوی متروی اصفهان حد
- فاصل ایستگاه آزادی-شریعتی در مقطع آبرفتی ۲۹
- مدل CSM کامپیوتری جهت پیش‌بینی عملکرد TBM ۳۵
- معرفی کتاب ۴۲
- رویدادهای تونلی ۴۳

شرح روی جلد: دستگاه TBM

صاحب امتیاز	انجمن تونل ایران
مدیر مسئول	دکتر مرتضی قارونی‌نیک
سر دبیر	دکتر سیامک‌هاشمی
زیر نظر	هیئت مدیره انجمن تونل ایران
مدیر داخلی	مهندس مرتضی همزه ابیازنی
هیئت تحریریه	دکتر محمد جواد جعفری، دکتر حسین سالاری راد، دکتر مصطفی شریف‌زاده، دکتر محمد حسین صدقیانی، دکتر اورنگ فرزانه، دکتر احمد فهیمی‌فر، دکتر مرتضی قارونی‌نیک، دکتر حسین کنعانی‌مقدم، مهندس ابوالقاسم مظفری شمس، دکتر سیامک‌هاشمی، دکتر علی یساقی
امور اجرایی	نشرفن
تبلیغات	معصومه قره داغی
صفحه آرایی و طراحی جلد	ایمان جلالی
لیتوگرافی	مجتمع مطبوعات تخصصی کشور
چاپ و صحافی	شادرنگ

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

- نشانی: خیابان کارگر شمالی - بالاتر از بیمارستان قلب - بعد از خیابان دوم - ساختمان ۴۶۷ - طبقه ۵ - واحد۴۱ - انجمن تونل ایران

تلفن: ۶ - ۸۸۶۳۰۴۹۵ نمابر: ۸۸۰۰۸۷۵۴

Website:www.irta.ir Email:info@irta.ir

صنعت تونل ایران در سال ۱۳۸۷

در تاریخ طولانی و پر فراز و نشیب اقوام ایرانی، نوروز بزرگترین جشن ایرانیان با آیین های اصیل ایرانی و قدیمی ترین حلقه پیوستگی مردم این سرزمین کهن بوده است. نوروز جشن شادی و شکوفایی طبیعت و پیوند با گذشته است. نوروز و آغاز سال جدید در کنار زیبایی های خود از یک ویژگی مهم برخوردار است و آن اینکه زمان شروع سال جدید یک نقطه عطف محسوب می شود، نقطه عطفی که فرصت مناسبی را فراهم می آورد تا هم نگاهی به گذشته سپری شده انداخته شود و نقاط قوت و ضعف عملکردها و چگونگی اجرایی شدن اهداف از پیش تعیین شده به تجربه تبدیل شود و هم اینکه تاملی در آینده و برنامه های پیش رو صورت گیرد و اهداف و راهکارها مشخص شود.

خوشبختانه سالی که گذشت علیرغم حوادث و مشکلاتی که برای صنعت تونل به همراه داشت در شرایطی به پایان می رسد که قدم های بزرگی در تونلسازی کشور برداشته شده و پروژه های متعددی با موفقیت به پایان رسیده اند یا به پیشرفت های چشمگیری دست یافته اند. از جمله این پروژه ها می توان به نمونه های زیر اشاره نمود:

- بهره برداری از تونل گاوشان با هدف آبرسانی به شبکه آبیاری استان های کردستان و کرمانشاه،
- بهره برداری از طرح انتقال آب سد دوستی به مشهد به منظور تامین بخشی از آب شرب و صنعت این شهر،
- بهره برداری از تونل دولایی تویسرکان به منظور بهینه سازی راه ارتباطی در استان همدان،
- اتمام عملیات حفر بزرگترین تونل پیشگام البرز،
- بهره برداری از تونل رخ در چهارمحال و بختیاری به منظور بهینه سازی راه ارتباطی میان اصفهان و شهرکرد،
- اتمام پروژه آبرسانی به شهر مسجد سلیمان،
- پیشرفت قابل توجه پروژه تونل انتقال آب دز به قمرود،
- پیشرفت ساخت خطوط مختلف مترو در شهرهای مختلف و بهره برداری از چندین فاز این پروژه ها.

موفقیت متخصصین ایرانی در پروژه های تونل در خارج از کشور نیز در سال ۱۳۸۷ از جمله افتخارات تونلسازان ایرانی می باشد. از جمله این پروژه ها عبارتند از:

- احداث تونل استقلال (انزاب) در تاجیکستان که مسیر ارتباطی شمال به جنوب این کشور را در تمامی فصول سال فراهم می آورد،
- ساخت تونل ارتباطی ازمر در عراق،
- ساخت تونل انتقال آب به دشت های جنوب استان حلب در سوریه.

امید است که با نو شدن طبیعت نیرویی تازه بگیریم و در آستانه حلول سال نو با شور و شوق فراوان و با آرزوی سالی خوب و پر بار به ارتقای جایگاه کشورمان در جامعه جهانی و تعالی و توسعه جامعه مهندسی در عرصه رقابت ملی و بین المللی بیندیشیم و شاهد پیشرفت ها و موفقیت های بیشتری به ویژه در صنعت تونل باشیم. آرزو می کنیم که سال جدید سالی سرشار از موفقیت برای همه فرزندان این سرزمین باشد.

اخبار

اولین تونل دو طبقه ایران در محور بندرعباس- سیرجان بازگشایی شد

با اتمام عملیات حفاری تونل تنگه زاغ در محور بندرعباس سیرجان، اولین تونل دوطبقه ایران به طول ۱۲۳۸ متر با حضور وزیر راه و ترابری، استاندارهرمزگان و معاون عمرانی وی و تعدادی از نمایندگان مردم هرمزگان در مجلس شورای اسلامی بازگشایی شد. به گزارش ایرنا،وزیر راه و ترابری در مراسم بازگشایی این تونل که تقریبا در ۹۸کیلومتری بندرعباس و در محور ترانزیتی بندرعباس سیرجان قراردارد ازتونل دو طبقه تنگ زاغ به عنوان یک سازه منحصربفرد و خاص درپروژه های وزارت راه و ترابری نام برد. حمید بهبهانی در گفت وگو با خبرنگاران افزود:این تونل در گردنه تنگ زاغ، یکی از پرترافیک ترین نقاط محور بندرعباس سیرجان واقع شده است. وی از مسیر بندرعباس سیرجان به عنوان مسیر اصلی عبور کامیونها و تریلرهایی نام برد که محموله های خود را از بندر شهید رجایی به مقصد سایر نقاط کشور،کشورهای آسیای میانه و سایرمقصدهای ترانزیتی بارگیری کرده اند. وی ادامه داد:به منظورکاهش بارترافیکی و روانی تردد و افزایش ایمنی،محل این تونل جدید دقیقا در زیرتونل فعلی و درحال استفاده این محورپیش بینی شده است به گونه ای که تونل جدید در بخش قابل توجهی از مسافت خود،با تونل فعلی مماس می باشد. بهبهانی ادامه داد:با بازگشایی این تونل،نزدیک به ۶۰درصد عملیات فیزیکی به پایان رسیده وهرچند در برنامه زمان بندی شده حداکثر یکسال آینده برای زیر ترافیک قرارگرفتن تونل تنگ زاغ پیش بینی شده،اما انتظار می رود با توجه به وضعیت پیشرفت پروژه حداکثر ظرف ۶ ماه آینده این تونل به بهره برداری برسد. وزیرراه وترابری از پروژه های راه در استان هرمزگان به عنوان پروژه هایی استراتژیک و با اهمیت بین المللی و فرامنطقه ای نام برد که در اولویت برنامه های وزارت راه و ترابری قرار دارد. به گفته بهبهانی بر اساس همین رویکرد،تسریع اتمام بزرگراه در حال ساخت بندرعباس سیرجان در دستور کار قرار گرفته و این محور حداکثر تا پایان سال آینده به بهره برداری می رسد. اعتبار کلی تونل دوطبقه یادشده ۸۰ میلیارد ریال است که ۳۸میلیارد ریال آن هزینه شده است.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۳ دی ۱۳۸۷

افتتاح تونل زیر رودخانه یانگ تسه

رسانه های دولتی چین از افتتاح نخستین تونل زیر رود یانگ تسه در مرکز این کشور خبر دادند. به گزارش شبکه خبر به نقل از خبرگزاری شینهوا؛ این تونل سه کیلومترو۶۰۰ متری که چهار بانده است برای سه ماه بطور آزمایشی به روی وسایل نقلیه بازشده است. براساس این گزارش این طرح یک میلیاردو۷۰۰ میلیون یوانی(۲۵۰ میلیون دلاری) در ماه نوامبر سال ۲۰۰۴ میلادی در چارچوب تلاش ها برای کاهش بار ترافیکی در شهر ووهان در مرکز چین که هشت میلیون جمعیت دارد آغاز شد. این شهر به عنوان دروازه ای به روی مناطق داخلی چین قلمداد می شود و این تونل منطقه اداری و دانشگاهی

این شهر را به مرکز تجاری آن وصل می کند. این تونل زمان مسافرت را بین این دو منطقه از نیم ساعت به هفت دقیقه کاهش می دهد. رودخانه ۶۴۰۰ کیلومتری یانگ تسه طولا نی ترین رود آسیا و سومین رود طولانی جهان پس از نیل و آمازون است. این رودخانه از استان کینگهای واقع درشمال غربی چین به دریای چین شرقی در شانگهای درجریان است.

شبکه خبر
یکشنبه ۸ دی ۱۳۸۷

۱۰میلیارد ریال برای تکمیل تونل ایلام-ایوان اختصاص یافت

معاون راهسازی اداره کل راه و ترابری ایلام گفت: ۱۰میلیارد ریال اعتبار به تازگی برای تسریع در تکمیل تونل ایلام - ایوان اختصاص یافت. نوراله دلخواه در حاشیه بازدید از این طرح در گفت و گو با خبرنگار ایرنا افزود: این میزان اعتبار از محل ردیف بودجه ملی برای تکمیل در اجرای آن در نظر گرفته شده است. وی ادامه داد: علاوه بر این اوایل امسال نیز ۱۰میلیارد ریال اعتبار دیگر برای اجرای این طرح اختصاص یافته بود. به گفته او، تاکنون برای اجرای این طرح شامل ۱۴۸۲ متر تونل و پنج کیلومتر راه دسترسی در مجموع ۸۵ میلیارد ریال هزینه شده است. دلخواه پیشرفت فیزیکی این طرح را ۶۰ درصد اعلام کرد وا فزود: برای تکمیل این طرح دست کم به سه میلیارد ریال اعتبار دیگر نیاز است. او گفت: با بهره برداری از این طرح علاوه بر حذف نقاط حادثه خیز ، مسیر ایلام - ایوان ۱۱ کیلومتر نزدیکتر می شود.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۹ دی ۱۳۸۷

عملیات حفاری تونل متروی ملارد شهریار آغاز شد

رییس شورای اسلامی ملارد شهریار از آغاز عملیات حفاری تونل متروی این شهر خبر داد. عارف اکبری روز شنبه به خبرنگار ایرنا گفت: این تونل به طول ۱۷ کیلومتر از ملارد تا ایستگاه متروی کرج - تهران در میدان شهید سلطانی کرج احداث می شود. وی افزود: برای احداث این تونل مترو ۱۵۰ میلیارد ریال اعتبار در نظرگرفته شده است . اکبری خاطرنشان کرد: با راه اندازی خط مترو ملارد در رفت و آمد شهروندان این شهر به کرج و تهران تسهیل خواهد شد. وی اظهار امیدواری کرد، در سالهای آینده زمینه احداث مترو در مسیر این شهر تا فرودگاه امام خمینی (ره) نیز فراهم شود.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۲۸ دی ۱۳۸۷

طولانی ترین تونل آبی کشور در کرمانشاه به بهره برداری رسید

طولانی ترین تونل آبرسان کشور به طول ۲۸ کیلومتر در سد گاوشان کرمانشاه از طریق ویدئو کنفرانس با حضور رییس جمهور به بهره برداری رسید.

وزیر نیرو در مراسم افتتاح این پروژه گفت: این تونل که در هر ثانیه ۳۰ متر مکعب آب را منتقل می کند، طولانی ترین تونل پس از انقلاب اسلامی در کشور است که با هدف آبرسانی به شبکه آبیاری دو استان کردستان و کرمانشاه به بهره برداری رسید. پرویز فتاح افزود: سد گاوشان جزو چند سد کشور است که طی سه سال اخیر سر ریز آب داشته است و اکنون آب بسیار خوبی پشت سد گاوشان است و کاملا آماده آبرسانی به کشتهای آبی دو استان می باشد. وی گفت: با بهره برداری از این تونل اکنون ۳۵ هزار هکتار از اراضی آبی زیر کشت آبی مطمئن می رود و برای شهرهای کرمانشاه و کامیاران نیز آب شرب مطمئن را طراحی کرده ایم. وزیر نیرو اظهارداشت: با ۵۰۰ میلیون متر مکعب مخزن آب مطمئن که پشت سد گاوشان است می توان شاهد آبادانی در پایین دست این سد باشیم. فتاح با اشاره به اینکه این تونل کاملا به دست متخصصان داخلی طراحی و اجرا شده است، افزود: این تونل از افتخارات ملی است و سکویی شده که به سمت احداث تونلهای طولانی تر و با اطمینان بیشتر در کشور برویم. وی مشارکت دو استان کرمانشاه و کردستان را در اجرای این طرح از نکات مهم برشمرد و گفت: این یک طرح بزرگ ملی است که دو استان همزمان از برکات آن استفاده می کنند. وی افزود: پنج هزار میلیارد ریال برای احداث سد گاوشان و تونل انتقال آن تاکنون هزینه شده است.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۹ بهمن ۱۳۸۷

بهره برداری از طرح انتقال آب از سد دوستی به مشهد مقدس

طرح انتقال آب از سد دوستی به مشهد مقدس با حضور رییس جمهوری در محل تصفیه خانه سوم آب شرب مشهد به بهره برداری رسید. به گزارش باشگاه خبرنگاران دانشجویی ایران

«ایسکانیوز» به نقل از پایگاه اطلاع رسانی ریاست جمهوری، دکتر محمود احمدی نژاد در ایام سی امین سالگرد پیروزی انقلاب اسلامی به استان خراسان رضوی سفر و طرح انتقال آب از سد دوستی به مشهد مقدس را افتتاح کرد. این طرح قادر به انتقال و تصفیه ۱۵۰ میلیون متر مکعب آب در سال به منظور تامین برخی از آب شرب و صنعت مشهد و روستاهای مسیر را دارا است.

اجرای این پروژه شامل مطالعات، طراحیها، تملک و پرداخت خسارات اراضی، خرید تجهیزات، عملیات اجرایی و نظارت بر آن حدود ۲ هزار و هشتصد و پنجاه میلیارد ریال هزینه داشته است.

این طرح شامل اجرای یک خط لوله فولادی به طول ۱۸۲ کیلومتر، احداث ۵ ایستگاه پمپاژ، ساخت یک واحد تصفیه خانه به ظرفیت ۶ متر مکعب در ثانیه، ساخت یک تونل به طول ۹۳۰ متر، خط انتقال برق ۱۳۲ کیلوولت به طول ۱۵۰ کیلومتر و ۵ ایستگاه کاهنده ولتاژ ۱۳۲ به ۶،۶ کیلوولت می باشد.

خبرگزاری ایسکانیوز
۱۶ بهمن ۱۳۸۷

عملیات حفر بزرگترین تونل پیشگام البرز پایان یافت

حفر تونل ۶۳۸۷ متری پیشگام البرز به عنوان بزرگترین تونل حفاری شده در بخش راه و راه آهن کشور، با حضور بهبهانی وزیر راه و ترابری به پایان رسید. به گزارش خبرنگار اقتصادی باشگاه خبری فارس، بهبهانی وزیر راه و ترابری بیان داشت: ساخت دو تونل اصلی دیگر تهران ـ شمال به زودی آغاز می شود. وزیر راه و ترابری گفت: با اتصال تونل البرز در قطعه ۲ آزادراه تهران ـ شمال به قطعه شماره یک و بهره برداری از این دو قطعه، مسیر دو ساعته تهران ـ پل زنگوله در جاده چالوس به کمتر از نیم ساعت کاهش خواهد یافت. به گزارش فارس، تونل مزبور یکی از فنی ترین و پیچیده ترین تونل های کشور از نظر مسائل زمین شناسی، گسل های متعدد، گازهای متنوع و خروجی آب بالا بوده که حفر این تونل نشان از توان بالای مهندسی کشور است. این گزارش حاکی است: تونل پیشگام البرز در ارتفاعات البرز مرکزی (کندوان) واقع شده است که ارتفاع متوسط تونل از سطح دریا ۲۴۰۴ متر در منطقه سرد و برف گیر البرز واقع شده است. در مسیر تونل پیشگام البرز ۱۴۵ گسل بزرگ و کوچک وجود دارد و خروجی آب در بیشتر مواقع ۳۹ هزار لیتر در دقیقه می باشد که این مسأله مشکلاتی را در حفاری به وجود آورد. همچنین در این تونل گاز متان، سولفید هیدروژن و مونواکسید کربن به مقدار قابل توجه موجود است. بنابراین گزارش این تونل پس از تونل کندوان که حدود ۱۰۰ سال از حفر آن می گذرد، در البرز مرکزی در مدت چهار سال حفر شده است و کل هزینه احداث این تونل مبلغ ۷۸۰ میلیارد ریال است. تونل پیشگام البرز به منظور انتقال مسافران در مواقع اضطراری، هوارسانی جهت تونل های اصلی، انتقال برق، آب، اطلاعات و عبور در مواقع اضطراری و پیک حفاری شده است. تونل البرز حدود ۲ هزار متر پایین تر از تراز ارتفاعی تونل کندوان در کیلومتر ۴۶ تا ۵۲ مسیر آزادراه تهران ـ شمال قرار دارد. به گزارش فارس، مجموعه تونل های البرز به صورت سه تونل موازی با هم اجرا می شوند، بدین ترتیب که دو تونل رفت و برگشت به قطر ۱۲ متر و یک تونل اکتشافی ـ دسترسی به قطر ۵ متر بین این دو تونل احداث می شود.

خبرگزاری ایسکانیوز
۱۷ بهمن، ۱۳۸۷

تونل دولایی تویسرکان بهره برداری شد

به گزارش خبرنگار مهر در همدان، فرماندار تویسرکان در حاشیه بهره برداری از این پروژه گفت: در ۹ سال اخیر ۳۰ میلیارد ریال اعتبار برای اجرای این پروژه اختصاص یافت که به دلیل تغییر وضعیت اعتبارات در سال ۸۱ از ملی به استانی، بهره برداری از این پروژه با تاخیر مواجه شد. حسن بهرام نیا اظهار داشت: این تونل دولایی ۷۷۶ متراز کل مسیر گردنه این شهر را تحت پوشش قرار داده است که احداث این تونل ۱۵ قوس خطرناک را حذف می کند و تراز ارتفاعی گردنه را حدود صد متر از بالا به پایین تقلیل می دهد. وی اظهار داشت: اعتبار اولیه پروژه تونل، ملی بوده واز اعتبارات استانی سهمی نداشته است و از اعتبارات ملی تخصیص داده شده از سال ۷۸ تا ۸۰ حدودا ۱۳۲ میلیون تومان جهت این پروژه جذب و هزینه شده است. فرماندار تویسرکان اظهار داشت: در سال ۸۱ براساس تصمیم سازمان مدیریت، اعتبارات این پروژه از اعتبارات ملی حذف و به اعتبارات استانی تقلیل یافت. وی تصریح کرد: در سال ۸۱ ازمحل اعتبارات استانی حدود ۴۰۰ میلیون تومان به اجرای این پروژه اختصاص داده شد ومبلغ ۲۵۰ میلیون تومان درسال ۸۲ با نظر

هیات دولت وقت برای پروژه تصویب شد، اما به دلیل وقوع زلزله در منطقه اوج و قزوین این اعتباربه پروژه پرداخت نشد. بهرامی ادامه داد: برای تکمیل این پروژه تاکنون سه میلیارد و۵۰۰ میلیون تومان هزینه شده بوده است . این مسئول اظهار داشت: این پروژه با تکمیل ونصب سیستم روشنایی و تابلوهای اعلانات در سال جاری به بهره برداری رسید. وی اظهار داشت: درساخت این پل از مصالحی چون بتن با عیار ۳۵۰ کیلو گرم وسیمان تیپ۲ استفاده شده است. فرماندار تویسرکان با اشاره به اجرای عملیات اصلاح پیچ خطرناک فریازان در سال ۸۷ اشاره کرد و گفت: مطالعات احداث کمربندی شهرستان تویسرکان در دولت نهم محقق شده است.

خبرگزاری مهر
۱۹ بهمن ۱۳۸۷

تونل رخ در چهارمحال و بختیاری بهره برداری شد

تونل رخ واقع در مسیر شهرکرد به اصفهان در چهارمحال و بختیاری روز یکشنبه ۲۰ بهمن بهره برداری شد. به گزارش ایرنا، تردد مردم در مسیر شهرکرد به اصفهان ازگذشته از طریق گردنه بسیار خطرناک رخ در نزدیکی شهر فرخشهر صورت می گرفت که بیش از پنج درصد از تصادفات جاده های چهارمحال و بختیاری در این گردنه اتفاق می افتاد. مدیرکل راه و ترابری چهارمحال وبختیاری گفت: طول این تونل و گالری های آن حدود ۱۳۴۰ متر است و طول راه های طرفین مرتبط در شهرکرد و اصفهان بیش از ۶۸۰۰ متر می باشد. سیف الله کریمی در گفت و گو با ایرنا افزود: هزینه احداث این طرح ملی حدود ۹ میلیارد ریال می باشد و حجم خاکبرداری آن ۵۵۰ هزار مترمکعب و حجم خاکریزی تونل حدود ۴۷۰ هزار مترمکعب است. وی اضافه کرد: میزان بتن ریزی تونل رخ به عنوان یکی از طرح های ملی در این استان بیش از ۲۵۰ هزار مترمکعب می باشد و هفت کیلومتر مسیر شهرکرد به اصفهان را کوتاه خواهد کرد و یکی از پر حادثه ترین نقاط جاده ای استان را حذف می کند. مدیرکل راه و ترابری چهارمحال وبختیاری گفت: احداث تونل دوم نیز با ۱۸۰ میلیارد ریال اعتبار آغاز خواهد شد و تونل رخ توان تردد هشت هزار و ۵۰۰ خودرو عبوری را دارا می باشد. استاندار چهارمحال وبختیاری نیز گفت: تونل رخ دریچه ورود این استان به شاهراههای بزرگ و شریانی کشور می باشد و گشایش آن نوید بخش توسعه این خطه از ایران زمین می باشد. رجبعلی صادقی در آیین بهره برداری از تونل رخ در شهرکرد افزود:این تونل فلات مرکزی ایران را به آب های آزاد ایران و به بندر امام خمینی(ره) متصل خواهد کرد. وی تصریح کرد:گشایش تونل رخ در چهارمحال وبختیاری باعث رسیدن استان به توسعه و گسترش حجم سرمایه گذاری خواهد شد.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۲۰ بهمن ۱۳۸۷

افتتاح ۲ ایستگاه جدید در خط ۲ متروی تهران

همزمان با سی امین سالگرد انقلاب اسلامی توسعه شرقی خط ۲ متروی تهران از ایستگاه علم و صنعت تا ایستگاه تهرانپارس با حضور شهردار تهران مورد بهره براری قرار گرفت.
به گزارش خبرنگار گروه اجتماعی باشگاه

خبرنگاران دانشجویی ایران «ایسکانیوز»، ساخت و بهره برداری از دو ایستگاه مترو و توسعه شرقی خط ۲ رکورد جدیدی را برای ساخت خطوط مترو به جا گذاشته است. شایان ذکر است طول مسیر افتتاح شده به ۸ کیلومتر تونل و ۵/۵ کیلومتر خط می رسد و توسعه شرقی خط ۲ متروی تهران از ایستگاه دانشگاه علم و صنعت آغاز و پس از طی ۳ کیلومتر و عبور از خیابان رسالت تا ایستگاه تهرانپارس ادامه دارد. همچنین در این مسیر به صورت رفت و برگشت بیش از ۶ کیلومتر ریل گذاری شده و دو ایستگاه شهید باقری و تهرانپارس هریک دارای مساحتی در حدود ۷ هزار متر مربع هستند و در طول مسیر و این دو ایستگاه جمعا ۳۷۰ هزار متر مکعب خاکبرداری ، ۸۸ هزار متر مکعب بتون ریزی، ۱۰ هزار تن آرماتور انجام شده و ۱۰ هزار قطعه تراورس برای نصب ریل ها به کار رفته است. بر اساس این گزارش در طول خطوط راه اندازی شده ۱،۲،۴ و ۵ متروی تهران با ۵۵ ایستگاه روزانه بیش از ۱ میلیون ۵۰۰ سفر انجام می گیرد که با افتتاح این دو ایستگاه حدود ۸۰ هزارسفر به ظرفیت مسافربری خط ۲ متروی تهران افزوده خواهد شد.

تهران- خبرگزاری ایسکانیوز
۲۶ بهمن ۱۳۸۷

تونل‌های جدید زغال‌سنگ البزر مرکزی به بهره‌برداری می‌رسد

فرماندار سوادکوه گفت: دو تونل جدید زغال‌سنگ البرز مرکزی در معادن کارمزد تا شش ماه آینده به بهره‌برداری می‌رسد. به گزارش خبرگزاری فارس از سوادکوه، علی‌محمد صمدیان در بازدید از معادن البرز مرکزی اظهار داشت: دو تونل زغال‌سنگ با حجم ذخیره‌ای بالغ بر یک میلیون تن زغال از معادن کارمزد در شانزدهم اسفند ماه افتتاح شده است.

وی با بیان اینکه این کار در راستای احیای زغال‌سنگ البرز مرکزی که از مصوبات سفر ریاست جمهوری به استان مازندران بود، تصریح کرد: این تونل‌ها با اعتباری بالغ بر بیش از ۳۰۰ میلیون تومان آماده‌سازی شده است و ظرف مدت شش ماه آینده به مرحله استخراج می‌رسد. به گفته وی پس از استخراج زغال‌سنگ از این معادن بیش از ۱۲۰ فرصت شغلی به صورت مستقیم ایجاد می‌شود. صمدیان با اشاره به اینکه قبل از دولت نهم به اندازه دو دهه شرکت البرز مرکزی در فکر تعدیل نیروها بوده است، اظهار داشت: فکر توسعه در این معادن به فراموش سپرده بود و با روی کار آمدن دولت نهم توسعه شرکت در دستور کار قرار گرفت. وی با اعلام اینکه در آینده نیز افتتاح تونل‌های جدید کردآباد یک و دو در دستور کار قرار می‌گیرد، خاطرنشان کرد: این تونل‌ها در حال حاضر در حال مناقصه برای انتخاب مشاور طرح قرار دارد و در آینده نیز عملیات اجرایی آن آغاز می‌شود.

خبرگزاری فارس
۲۱ اسفند ۱۳۸۷

پروژه آبرسانی به شهر مسجد سلیمان پایان یافت

مجری طرح سد و نیروگاه مسجد سلیمان از پایان یافتن پروژه آبرسانی به تصفیه خانه آب شهر مسجد سلیمان خبر داد و گفت: در صورت لوله‌گذاری توسط مسئولان شهر، مشکل همیشگی تامین آب مسجد سلیمان مرتفع خواهد شد. به گزارش خبرنگار اقتصادی ایرنا به نقل از روابط عمومی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، محمود مشیری افزود: پروژه آبرسانی به شهر مسجد سلیمان که از جمله پروژه های فرعی طرح سد و نیروگاه ۲ هزار مگاواتی مسجد سلیمان محسوب می شود، متشکل از یک خط لوله انتقال آب از مخزن این سد به آبگیر آب آشامیدنی شهر به طول ۲۷۰۰ متر است. به گفته مشیری، حدود ۱۱۶۰ متر از این خط لوله در درون تونلی به قطر ۴ متر انجام شده است که عملیات حفاری این تونل بسیار سخت و پیچیده بود اما با هماهنگی بین شرکتهای بهره بردار دو سد شهید عباسپور و مسجد سلیمان و نیز همکاری موثر پیمانکاران ساختمانی و تجهیزاتی پروژه با موفقیت انجام شده است. وی اظهار داشت: قبلا برای تامین آب آشامیدنی شهر مسجد سلیمان آب مورد نیاز ازمحل رودخانه کارون به محل آبگیر تصفیه خانه شهر پمپ می شد اما به دلیل گل آلود بودن آب رودخانه و کیفیت پایین آب، شهروندان همواره با مشکل تامین آب سالم مواجه بوده اند. مشیری افزود: هم اکنون به واسطه بالاتر بودن ارتفاع تونل نسبت به محل آبگیر تصفیه خانه شهر، عملا نیاز خاصی به استفاده از پمپ آب نیست و صرفه جویی قابل توجهی درخصوص برق مصرفی صورت می گیرد. به گفته مجری طرح سد و نیروگاه مسجد سلیمان، به دلیل آنکه ورودی آب تونل در تراز بالایی سد قرار دارد، آبی که به محل آبگیر تصفیه خانه سد مسجد سلیمان تحویل می شود بسیار تمیز و عاری از تمام آلودگی های مشهود است و این امر موجب کاهش قابل توجهی در هزینه های تصفیه آب این شهر خواهد شد.

مشکل تامین آب شرب مورد نیاز مصارف خانگی شهر مسجد سلیمان تقریبا از بدو شکل گیری این شهر وجود داشته و یکی از دلایل عدم توسعه این شهر، به دلیل شدت گرفتن مشکل کمبود آب است و اکثر محلات آن به ناچار از مخازن آب حجیم در پشت بام ها که عموما به دلیل تابش مستقیم آفتاب بسیار گرم می شوند، برای تامین نیازهای روزمره استفاده می کنند.

سد مسجد سلیمان که بهره برداری از آن از سال ۱۳۸۰ آغاز شده است، با ۱۷۷ متر ارتفاع بلندترین سد خاکی کشور است و نیروگاه ۲ هزار مگاواتی این سد نیز بزرگترین نیروگاه جریانی کشور محسوب می شود.

خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران- ایرنا
۱۱ اسفند ۱۳۸۷

پدر تونلسازی مدرن درگذشت

سر آلن مویر وود (Sir Alan Muir Wood) در روز اول فوریه ۲۰۰۹ در سن ۸۷ سالگی در اثر بیماری سرطان درگذشت. وی که در ۸ آگوست سال ۱۹۲۱ متولد شده بود در سال ۱۹۴۲ از دانشگاه کمبریج در رشته مهندسی مکانیک فارغ التحصیل شد و پس از آن به نیروی دریایی پیوست و تا سال ۱۹۴۶ در بخش مهندسی به خدمت مشغول بود. بین سالهای ۱۹۴۶ تا ۱۹۵۰ با راه آهن جنوب انگلستان همکاری داشت و در آنجا وظیفه طراحی پل و مسیر را به عهده داشت. پس از آن به مدت دو سال با سازمان بنادر همکاری نمود و سپس در سال ۱۹۵۲ همکاری خود را با شرکت هالکرو و شرکا (Halcrow and Partners) آغاز نمود و تا پایان عمر به همکاری و شراکت خود با این شرکت ادامه داد. از جمله اولین کارهای او در شرکت هالکرو طراحی تونل های کم قطر در سنگ و زمین های سست بود. در همین دوران با استفاده از بتن پاشیده برای نگهداری و تعمیر تونل ها آشناتر شد. وی بین سالهای ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۰ سرپرستی تیم مطالعات فنی تونل مانش و مسئولیت تحلیل داده های به دست آمده از سطح زمین و زیر دریا در این پروژه را بر عهده داشت. بین سال های ۱۹۵۵ تا ۱۹۷۰ در چند پروژه تونل از جمله تونل های راه آهن Potters که در آن برای اولین بار از پوشش بتنی در تونلی با قطر زیاد به کار گرفته شد، و نیز تونل های دوقلوی جاده زیر رودخانه Clyde در گلاسکو، تونلهای حمل بار فرودگاه هیترو در لندن و تونل های قطار این فرودگاه همکاری داشت. وی بین سال های ۱۹۷۳ تا ۱۹۷۵ مسئول هماهنگی و مشاور طراحی و ساخت فاز اول تونل مانش بود. وی همچنین مسئول طراحی و ساخت بلندترین تونل زمان خود به نام Orange Fish Tunnel به طول ۸۰ کیلومتر در آفریقای جنوبی بود. سر آلن وود در سال ۱۹۸۴ بازنشسته شد و به عنوان مشاور شرکت هالکرو به فعالیت خود ادامه داد. معروفیت جهانی وی ناشی از تجربیات فراوان او در پروژه های متعدد تونل در سرتا سر دنیا از جمله استرالیا، دانمارک، سوئد، هنگ کنگ، سنگاپور، عراق، برزیل، و چند کشور دیگر می باشد که در آنها به عنوان طراح و مشاور همکاری نمود.

او یکی از عوامل محرک و عضو موسس انجمن تونل انگلستان (BTS) بود که در سال ۱۹۷۱ تاسیس شد و در سال های ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ و نیز ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ برای دو دوره رئیس هیئت مدیره این انجمن بود. وی همچنین یکی از اعضای موسس انجمن بین المللی تونل (ITA) و اولین رئیس هیئت مدیره این انجمن بود. وی در سال ۱۹۷۷ به عنوان رئیس افتخاری مادامالعمر این انجمن انتخاب شد و تا پایان عمر در این انجمن خدمت نمود.

سر آلن وود در سال ۱۹۸۲ به خاطر خدماتش به جامعه مهندسی به درجه شوالیه ای نائل آمد و لقب «سر» (Sir) گرفت. وی همچنین چهار درجه علمی افتخاری از چهار دانشگاه، از جمله درجه دکترای افتخاری از دانشگاه بریستول انگلستان در سال ۱۹۹۱، دریافت نمود. او عضو افتخاری آکادمی مهندسی سلطنتی انگلستان، انجمن مهندسان عمران (ICE) و عضو افتخاری دانشگاه های صنعتی پورتسموث، کمبریج و بریستول بود و در سال ۱۹۹۸ مدال طلای انجمن مهندسان عمران انگلستان را دریافت نمود.

سر آلن وود در طول عمر خود بیش از یکصد مقاله و چندین کتاب در زمینه های مختلف مهندسی نوشته است. از جمله مقالات معروف وی مقاله ای تحت عنوان:

"The Circular Tunnel in Elastic Ground"

می باشد که در مارس ۱۹۷۵ در نشریه Geotechnique منتشر شد و به عنوان یکی از مراجع اصلی در زمینه طراحی تونل محسوب می شود. وی همچنین رئیس کمیته تهیه دستورالعمل "Improved Contractual Practices in Tunnelling" می باشد که در سال ۱۹۷۹ توسط CIRIA منتشر شد. از جمله کتابهایی که توسط ایشان تالیف شده اند عبارتند از:

Coastal Hydraulics (۱۹۶۹)

Tunnelling: Management and Design (۲۰۰۰)

Civil Engineering in Context (۲۰۰۴)

ترجمه کتاب Tunnelling: Management and Design به زودی با کمک انجمن تونل ایران منتشر خواهد شد.

فرآیند انتخاب روش های طراحی فضاهای زیرزمینی

مطالعه موردی تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت

بهروز رحیمی (دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن دانشگاه صنعتی امیر کبیر، behrooz.rahimi@yahoo.com)
دکتر کورش شهریار (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، تهران)
دکتر مصطفی شریف زاده (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، تهران)

چکیده: متغیر بودن شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی در ساختگاه پروژه های مختلف، روش های طراحی، محاسبه و اجرای متفاوتی را می طلبد و نیز ایجاب می کند که از تجربه های گذشته و اصول علمی و فنی به طور مداوم استفاده شود. روشها و ابزارهای طراحی متعددی برای کارهای مهندسی، برنامه ریزی و ساخت سازه های زیرزمینی در سنگ به کار می رود. پایداری یک سازه زیرزمینی بستگی به رفتار زمین اطراف آن دارد. رفتارهای متنوع و گوناگون نیاز به محاسبات و روشهای طراحی متفاوت دارد. بنابراین شناخت رفتار واقعی زمین، جهت محاسبه و تخمین سیستم نگهداری و سایر محاسبات لازم و ضروری می باشد. در این مقاله فرآیند کلی طراحی فضاهای زیرزمینی تشریح شده است تا متناسب با شرایط توده سنگ و رفتار زمین، روش یا روش های مناسب طراحی انتخاب شود. در ارتباط با انتخاب روش های طراحی، تونل شماره یک راه آهن قزوین – رشت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می دهد که رفتار زمین در محدوده تونل به صورت پایدار با پتانسیل سقوط بلوکها، شکست برشی، ریزشی، رفتار پلاستیک و رفتار شکننده می باشد. متناسب با رفتار زمین روش های طراحی مناسب برای این تونل شامل روش های تجربی، NATM، مدل سازی عددی، محاسبات تحلیلی، روش های مشاهده ای و قضاوت مهندسی تعیین شد و از روش های تجربی، مدل سازی عددی و قضاوت مهندسی برای طراحی سیستم نگهداری استفاده شد.
کلمات کلیدی: طراحی فضاهای زیرزمینی، رفتار زمین، روش ها و ابزارهای طراحی

۱- مقدمه

انواع و روشهای مختلف طراحی مانند مدل سازی عددی، محاسبات تحلیلی، روشهای تجربی و روشهای مشاهده ای وجود دارد که با توجه به اطلاعات بدست آمده از شرایط زمین بکار می روند. شرایط زمین شناسی و توده سنگهای با تنوع زیاد ممکن است و مهم است که ابزارهای طراحی مناسب با شرایط زمین و توده سنگ انتخاب شود. واضح است که پیدا کردن یک راه حل منفرد برای مسائل پایداری تونل کار ساده ای نیست. عدم قطعیت در پارامترهای مقاومتی سنگ و شرایط تنش موانع این هدف هستند. پایداری یک سازه زیرزمینی بستگی به رفتار زمین در اطراف آن دارد. رفتارهای متعدد و گوناگون نیاز به محاسبات و روشهای طراحی متفاوت دارد. بنابراین شناخت رفتار واقعی زمین، جهت محاسبه و تخمین سیستم نگهداری و سایر محاسبات لازم و ضروری می باشد. در این مقاله با معرفی پارامترها و ویژگی های مورد نیاز، اصول کلی طراحی فضاهای زیرزمینی تشریح می شود تا متناسب با رفتار زمین، روش یا روش های مناسب برای طراحی انتخاب شود. با در نظر گرفتن فرآیند طراحی فضاهای زیرزمینی، روش های مناسب برای طراحی سیستم نگهداری تونل شماره یک راه آهن قزوین - رشت مورد مطالعه قرار گرفت و روش های تجربی، عددی و قضاوت مهندسی جهت طراحی سیستم نگهداری این تونل انتخاب شد.

۲- ملاحظات کلی در طراحی سازه های زیرزمینی

طراحی فضاهای زیرزمینی، به مفهوم وسیع کلمه، عبارت از طراحی سیستم‌های حائل برای این سازه‌ها است. این موضوع دامنهٔ گسترده‌ای را تشکیل می‌دهد که از حفاری‌های موقت معدنی که در سنگ خوب احداث می‌شوند و نیاز به حائل ندارند، تا فضاهای بزرگ زیرزمینی دائمی در مهندسی عمران که شامل سیستم حائل، مرکب از تزریق

کامل همراه با سنگ دوزهای پیش‌تنیده و تور فولادی و بتن پاشی است را شامل می‌شود. وسعت و دامنهٔ استفاده از خود سنگ به عنوان حفاظ و نگهدارنده، بستگی به شرایط زمین شناسی دارد که در ساختگاه و سایت فضای زیرزمینی حاکم است و بستگی به این دارد که طراحی تا چه میزان نسبت به این شرایط حساس است و تا چه میزان می‌خواهد آنها را در طرح تأثیر داده در نظر بگیرد. بنابراین، تفسیر دقیق زمین‌شناسی منطقه حفاری از شروط ضروری برای طراحی منطقی است[۱].

۳- مطالعات زمین شناسی

مطالعات زمین شناسی از طریق سطح زمین، اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی، مغزه های اکتشافی، اطلاعات مفیدی را مستقیماً در دسترس قرار می‌دهند. مطالعات دقیق زمین شناسی، سنگ شناسی، بررسی های چینه شناسی منطقه و اطلاعات لازم از ناپیوستگی ها و طرز قرار گیری آنها و مناطق دگرسان شده، تنش های در جای زمین و شناخت رفتار زمین در برابر آب، زلزله و فشارهای وارده و لرزش های اعمال شده به مجموعه فضای زیرزمینی در انتخاب روش های طراحی فضاهای زیرزمینی می تواند راهنمای مناسبی باشد و دانستن آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بنابراین قبل از شروع طراحی و ساخت هر پروژه زیرزمینی باید مطالعات زمین شناسی صحرایی، زمین شناسی مهندسی، ژئوفیزیک، هیدروژئولوژی، ژئومکانیک و آزمایشهای برجا و آزمایشگاهی جهت تعیین پارامترهای طراحی با دقت بسیار بالایی انجام گیرد تا در مرحله طراحی بتوان با اعتماد بالاتری از آنها استفاده کرد و میزان اعتبار نتایج حاصله از این پارامترها نیز بالا باشد. تنها با دانستن مسائل فوق است که اتخاذ تصمیم در مورد مسائل اجرایی طرح و روش حفاری و همچنین انتخاب نوع سیستم نگهدارنده میسر خواهد شد[۲].

۴- روشها و ابزارهای طراحی

روشها و ابزارهای طراحی متعددی برای کارهای مهندسی، برنامه ریزی و ساخت حفریات زیرزمینی در سنگ به کار می رود. وجود شرایط زمین شناسی و توده سنگهای با تنوع زیاد امکان پذیر بوده و مهم است که ابزارهای طراحی مناسب با شرایط زمین و توده سنگ انتخاب شود. همواره بایستی یک قضاوت مهندسی مناسب و مطابق با ابزار طراحی انتخاب شده، به ویژه برای زونهای ضعیف مثل گسل ها به کار رود. نیاز ضروری برای استفاده از روشهای طراحی آن است که روش طراحی مهندسی سنگ انتخاب شده، مطابق با رفتار زمین در اطراف سازه زیرزمینی باشد. هدف از فرآیند مهندسی سنگ، ساخت و تکمیل پروژه است. طراحی بخشی از فرآیند مهندسی سنگ است به طوری که در آن هدف خاصی دنبال می شود. لازم است بدانیم طراحی یک فرآیند پویا (مداوم) است و در آن بر اساس مراحل پیشرفت پروژه، تصمیم گیری می شود. بیشتر محققان چهار مرحله زیر را جهت شروع تصمیم گیری در طراحی مد نظر قرار داده اند:

۱. اولاً لازم است که داده های زمین شناسی مهندسی و اطلاعات مرتبط با پروژه به روز شود و با وضعیت کنونی و تصمیم گیری پروژه ارتباط داشته باشد.

۲. ثانیاً عدم قطیت همه اطلاعات باید تعیین شود.

۳. ثالثاً اطلاعات موجود برای سازماندهی پروژه توصیف شود، به طوری که قابل فهم باشد.

۴. طراحی که با توجه به عدم قطعیت پارامترها انجام گرفته است، هدف (منظور) طراح باید به ترسیمات و نقشه های موجود در سایت منتقل شود.

پالمستروم و استیل تأثیر پارامترهای اصلی زمین شناسی و توپوگرافی را بر روی رفتار زمین و ابزار طراحی مطابق شکل (۱) ارائه کرده است. در این شکل ویژگی‌های اصلی زمین شناسی و توپوگرافی تأثیرگذار در رفتار زمین و به کارگیری ابزارهای مهندسی سنگ در طراحی نشان داده شده است. انتخاب ابزارهای مناسب برای طراحی ضرورتاً نتیجه رفتار واقعی زمین است[۶].

در اتریش «دستورالعمل‌هایی برای برنامه‌ریزی ژئومکانیکی کارهای زیرزمینی» استفاده می‌شود که خلاصه آن به صورت زیر قابل ذکر است:

۱. قدم اول تشخیص ویژگی ها و خصوصیات توده سنگ، تعریف و تعیین انواع آن می باشد که از طریق سنگ شناسی، تستهای آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی حاصل می شود. در این مرحله برای هر نوع توده سنگ، یک محدوده مشخص تعیین می گردد (با استفاده از سیستم های طبقه بندی تجربی، توده سنگ به صورت کمی یا کیفی طبقه بندی می شود).

۲. قدم دوم تعیین نوع رفتار زمین در اطراف تونل یا مغار می باشد، این امر از طریق ترکیب نوع توده سنگ تعریف شده در مرحله قبل و فاکتورهای مربوط به پروژه مانند شرایط تنش، جهت ناپیوستگی ها نسبت به محور تونل، تأثیر آب زیرزمینی و شکل و اندازه سازه زیرزمینی میسر می باشد. سپس انواع مختلف شکست مانند لغزش ثقلی بلوکها یا شکستگیهای برشی در توده سنگ تعریف می گردد، و پس از آن مقدار جابجایی کلی محاسبه می شود. در این مرحله، بررسی دقیق انواع ممکن رفتارها، جهت تعیین روشهای مناسب نگهداری لازم و ضروری می باشد.

۳. قدم سوم در طی مراحل ساخت با استفاده از کنترل و مشاهده کردن، می توان اطلاعات بیشتری در مورد شرایط زمین که با آنها مواجه می شویم بدست آورد و همچنین می توان فرضیات بدست آمده در طی مراحل قبل را تغییر داد. در این مرحله، رفتار سیستم، بر اساس آنالیز منحنی عکس العمل توده سنگ و سیستم نگهداری تعیین می گردد[۶].

۵- رفتار زمین

پایداری یک سازه زیرزمینی بستگی به رفتار زمین در اطراف آن دارد. رفتارهای متعدد و گوناگون نیاز به محاسبات و روشهای طراحی متفاوت دارد. یک مرحله اساسی و مهم در عملیات طراحی، تشخیص و تعیین رفتار زمین بوده و بدون آگاهی از رفتار زمین نمی توان عملیات مهندسی مناسب و محاسبات مربوط به سیستم های نگهداری را انجام داد. زمانی که پیش بینی رفتار زمین مشکل است، استفاده از روش مشاهده ای مناسب است. شوبرت مراحل طراحی تونل ها را تا مرحله ساخت به صورت زیر بیان کرده است:

۱. مرحله اول تعیین نوع و ساختار توده سنگ،

۲. مرحله دوم تعیین نوع رفتار زمین در اطراف تونل.

عوامل مؤثر بر روی رفتار زمین شامل موارد زیر می باشد:

۱) تأثیر نیروهای وارده: نیروهای مؤثر بر توده سنگ اطراف یک سازه زیرزمینی، بستگی به عمق سازه و موقعیت زمین شناسی آن دارد. شدت و جهت این نیروها ممکن است تحت تأثیر توپوگرافی منطقه و تاریخچه زمین شناسی منطقه باشد[۳].

۲) تأثیر پارامترهای مربوط به سازه های زیرزمینی: مهمترین پارامتر ها و مشخصه های مربوط به سازه زیرزمینی که بر روی پایداری آن تأثیر دارند، در زیر بیان شده است:

الف) تأثیر اندازه و هندسه حفریات زیرزمینی: اندازه و ابعاد حفریات زیرزمینی، پایداری و رفتار سازه را تحت تأثیر قرار می دهد. در واقع تغییر شکلهای یک سازه، با افزایش شعاع آن، زیاد می شود. مهمترین فاکتور که بایستی هنگام طراحی به آن توجه نمود، متوسط درجه درزه داری می باشد. جهت مقاصد مهندسی سنگ، پیوستگی زمین با استفاده از فاکتور پیوستگی(CF) توصیف می گردد. مقدار این فاکتور برابر است با نسبت بین قطر تونل به قطر بلوک $\frac{D_t}{D_b}$ این فاکتور نشان دهنده تعداد بلوک های واقع شده در امتداد سقف تونل می باشد. پالمستروم و استیل با استفاده از فاکتور فوق محیطهای سنگی را به صورت زیر تقسیم بندی کرده اند:

۱) CF< 6، پیوسته - سالم

۲) CF= 3-30، ناپیوسته (بلوکی)

۳) CF > 15، پیوسته - توده ای

۴) 3 تا 6 -CF، پیوسته - سالم تا ناپیوسته (بلوکی)

۵) 15تا 30=CF، ناپیوسته (بلوکی) تا پیوسته - توده ای

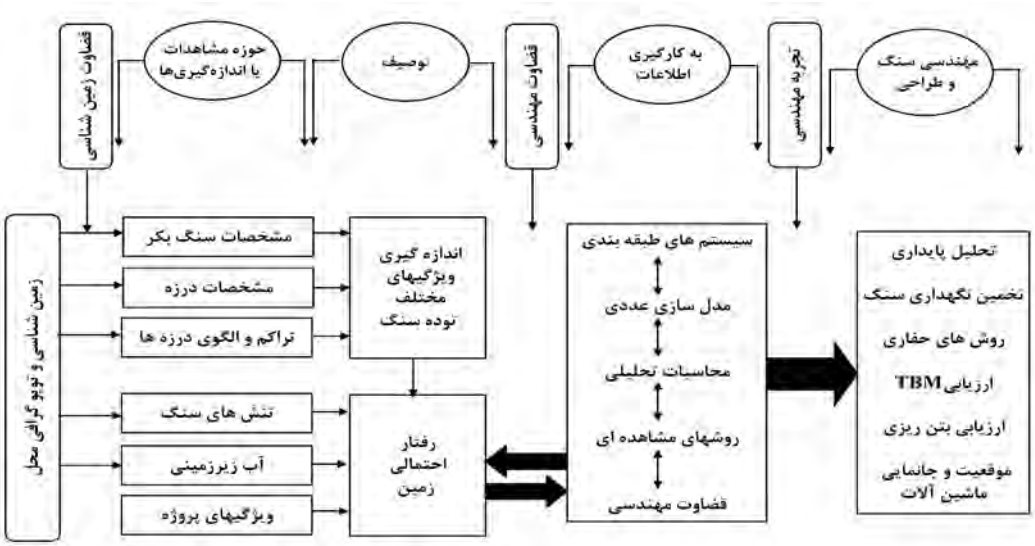
پیوستگی و ناپیوستگی محیط های سنگی را می توان با استفاده از فاکتور پیوستگی تعیین کرد[۲].

ب) تأثیر روش حفاری: از میان روشهای متعدد حفاری، چالزنی و آتشباری بیشترین تأثیر منفی را بر روی توده سنگهای اطراف سازه دارد[۳].

ج) تأثیر سیستم نگهداری و زمان نصب آن: سیستم نگهداری بایستی قبل از آنکه شکست اتفاق بیفتد نصب شود، اما چنانچه امکان داشته باشد می توان نصب آن را برای کاهش بار وارد بر سیستم نگهداری به تعویق انداخت. [۳].

۶- انواع رفتار زمین

غالباً شکست بر اثر ناپایداری ایجاد می شود. در توده سنگها، انواع متعدد و متفاوت شکست ممکن است اتفاق بیفتد که به عواملی نظیر ترکیب توده سنگ، تأثیر تنش ها و فشار آب زیرزمینی و همچنین اندازه سازه بستگی دارد. آشکار سازی و پیش بینی زونهای با پتانسیل مشکل ساز (عمدتاً بوسیله حفاری و کنترل کردن)، به ویژه وقتی که تونل با شرایط زمین متفاوت از جمله لایه های دگرگونی، چین خورده، گسله دار و زونهای با فشار آب بالا، از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل (۱): ارتباط بین رفتار زمین و طراحی و مهندسی سنگ

[۴].در سال ۲۰۰۴ شوبرت و گورکی(Schubert and Goricki)، بسیاری از انواع ناپایداری حفریات زیرزمینی را مطابق جدول (۱) ارائه کردند.

شوبرت و گورکی رفتار زمین را به ۱۱ نوع تقسیم بندی کرده است، مطابق این تقسیم بندی در محیط هایی که پتانسیل لغزش و یا سقوط بلوک ها کم است رفتار زمین می تواند پایدار باشد، اما در جاهایی که ناپیوستگی وجود دارد و همچنین محیط دارای تنش زیاد است انواع ناپایداری ها از جمله شکست های برشی، انفجار سنگ و شکست خمشی ممکن است رخ بدهد و به طور کلی می توان گفت که رفتار زمین مدام تغییر می کند.

در سال ۲۰۰۶ پالمستروم واستیل، طبقه بندی کلی از انواع رفتارهای زمین در سازه های زیرزمینی را مطابق جدول (۲) ارائه کرده است. گروههای عنوان شده در این جدول به صورت زیر خلاصه می شود:

گروه ۱: حرکت ثقلی، که اکثراً به صورت بلوکها و قطعات موجود در سقف و دیوارهای جانبی سازه می باشد.

گروه ۲: شکستگیهای ناشی از تنش، به این معناست که وقتی تنش های موجود در منطقه از مقاومت مواد تجاوز کند این شکستگیها بوجود می آیند و عمدتاً به صورت های زیر می باشد:

- به صورت خمش، پوسته پوسته شدن و یا انفجار سنگ در سنگهای توده ای و ترد و شکننده.
- به صورت تغییر شکل پلاستیک، خزش در مواد دارای خاصیت تغییر شکل پذیری و یا سنگهای توده ای نرم و یا مواد ذره ای مثل خاک و سنگهای شدیداً درزه دار.

گروه ۳: شکستگیهای ناشی از فشار آب، نیروی مهمی که بایستی در طراحی به ویژه در سنگهای ناهمگن توجه کرد، فشار آب است. وجود آب زیرزمینی باعث می شود که زمینهای جریانی در معرض مقادیر زیادی آب قرار گیرند و نیز موجب ناپایداری (مانند آماس) در برخی از سنگهای حاوی کانیهای خاص می گردند، آب همچنین باعث حل شدن کانیهایی مثل کلسیت در سنگ آهک می شود[۵]. در شکل (۲) انواع اصلی رفتارها بر اساس جدول (۲) به صورت شماتیک نشان داده شده است.

۷- انتخاب روشهای طراحی مناسب با نوع رفتار زمین

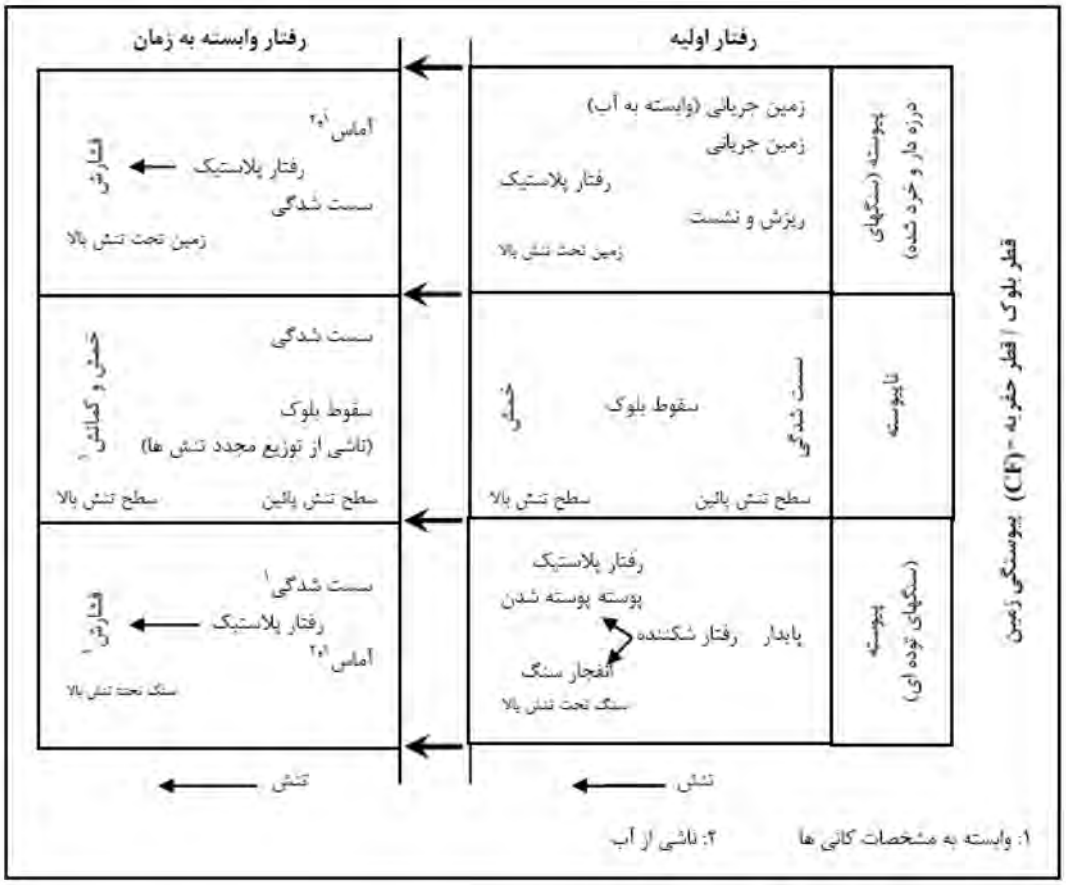
جدول (۳) جهت کمک به تعیین مناسبت برخی از روشهای طراحی مهندسی سنگ با رفتار زمین ارائه شده است. روشهای بیان شده در جدول (۳)، بر اساس رفتار سازه های زیرزمینی در زمینهای با شرایط متفاوت می باشند. علاوه بر این، باعث استفاده بهتر از سیستم های طبقه بندی، افزایش کیفیت ارزیابی های مهندسی و پارامتر های طراحی، و ایجاد ارتباط بهتر بین روش ها می شود. پیشنهاد می شود در مواردی که یک روش دارای امتیاز بیشتر از ۲ می باشد، همواره از بیش از یک روش طراحی استفاده شود. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود، روشهای تجربی (استفاده از سیستم های طبقه بندی) در سنگهای درزه دار که سقوط بلوکها وجود دارد، بهتر از سایر روشها عمل می کنند و برای انواع دیگر رفتارها ترجیحاً این روشها

جدول(۱): انواع رفتار زمین در سازه های زیرزمینی[۳]

ردیف	نوع رفتار	نوع پتانسیل شکست در طول حفاری
۱	پایدار	توده سنگ پایدار همراه با مقدار کمی پتانسیل لغزش یا سقوط بلوکها
۲	پایدار با پتانسیل سقوط بلوکها	سقوط و لغزش بلوکها، برخی اوقات همراه با شکست برشی موضعی
۳	شکست برشی کم عمق	تنش واقع شده در اعماق کم باعث شکستهای برشی همراه با ناپیوستگی و شکست جهت دار در زون توده سنگ می شود
۴	شکست برشی عمیق	تنش های واقع در عمق باعث شکستهای برشی و تغییرات زیاد می شوند
۵	انفجار سنگ	شکست ناگهانی و شدید توده سنگ، بر اثر وجود تنش های زیاد در سنگهای شکننده و آزاد سازی سریع انرژی کرنشی ذخیره شده، می باشد
۶	شکست خمشی	خمش سنگها با یک دسته ناپیوستگی با فاصله داری کم، همراه با شکست برشی
۷	شکست برشی تحت فشار محدود کننده پایین	کم بودن فشار جانبی عمدتاً باعث ایجاد شکستگی زیاد و شکست برشی و همچنین ایجاد شکستهای عمودی می گردد.
۸	زمین سست	سنگ به شدت شکسته شده یا خاک غیر مقاوم خشک یا تر.
۹	زمین جریانی	سنگهای به شدت شکسته شده یا خاک به همراه مقدار زیادی آب
۱۰	آماس	افزایش حجم توده سنگ، در طول زمان به دلیل واکنش فیزیکی و شیمیایی سنگ و آب، آزاد سازی تنش که منجر به حرکت دیواره های تونل به سمت داخل می شود.
۱۱	تغییر مکرر رفتار	تغییر سریع تنش ها و تغییر شکل ها به دلیل ناهمگن بودن شرایط توده سنگ

جدول (۲): انواع اصلی رفتار زمین در سازه های زیرزمینی[۵]

نوع رفتار زمین	تعریف	توضیحات
نوع I: حرکت ثقلی		
a. پایدار	زمین اطراف، برای چندین روز یا بیشتر بدون نگهداری پایدار می ماند	در سنگهای توده ای و پایدار در اعماق کم و متوسط اتفاق می افتد
b. سقوط بلوکها سقوط یک بلوک سقوط چند بلوک	پایدار با پتانسیل سقوط بلوکهای منفرد پایدار با پتانسیل سقوط چندین بلوک (حجم بلوکها< $10m^3$)	شکست و گسیختگی منظم و جهت دار ناپیوستگی ها
c. ریزش[1]	حرکت سریع حجم بیشتر ($>10m^3$) قطعات سنگی به داخل سازه	در سنگهای خرد شده یا شدیداً درزه دار مشاهده می شود.
d. زمین جریانی	مواد ذره ای مانند به سرعت به سمت تونل حرکت می کنند تا زمانی که یک شیب پایدار در جبهه کار ایجاد شود. زمان پایداری صفر یا نزدیک به آن می باشد.	به عنوان نمونه ماسه و گراول های متوسط تا درشت در بالای سطح آب زیرزمینی
نوع II: رفتارهای ناشی از تنش (رفتار شکننده)		
e. کمانش و خمش	شکسته شدن قطعات سنگ در محیط تونل	در سنگهای آنیزوتروپ و سخت و شکننده که تحت بار زیاد ناشی از خمش ساختار سنگ قرار گرفته اند.
f. گسیختگی ناشی از تنش ها[2]	تبدیل تدریجی سنگ به قطعات، یا تکه های ورقه ای در سطح تونل	اثر زمانی پدیده ورقه ورقه شدن یا انفجار سنگ ناشی از توزیع مجدد تنش ها
g. پوسته پوسته شدن	جدایش ناگهانی ورقه های نازک از دیواره ها یا سقف	تنش اضافی متوسط تا زیاد سنگهای توده ای سخت و شکننده که شامل پوسته پوسته شدن و ترکیدن سنگ می شود.
h. انفجار سنگ	شدیدتر و ناگهانی تر از پدیده پوسته پوسته شدن بوده و حجم بزرگتری را شامل می شود (انفجار سنگهای شدید و قوی غالباً همراه با زلزله می باشد).	سنگهای توده ای سخت و شکننده که تحت تنش های فوق العاده زیاد قرار گرفته اند.
i. رفتار پلاستیک (اولیه)	تغییر شکلهای اولیه ناشی از شکستهای برشی و ناپیوستگی ها	در سنگهای پلاستیک (قابل تغییر شکل) که تحت تنش اضافی و زیاد قرار گرفته اند، اتفاق می افتد و غالباً این پدیده شروع فشارش (Squeezing) می باشد.
j. رفتار پلاستیک (فشارشی)	تغییر شکلهای زمانی بر اثر خزش که در نتیجه تنش های اضافی ایجاد می شوند و ممکن است تغییر شکلها در طول	سنگهای توده ای پلاستیک و مواد حاوی کانی های میکایی یا کانی های رسی با ظرفیت آماسی که تحت تنش گذاری اضافی و زیاد قرار گرفته
	ساخت سازه خاتمه یابد یا برای چندین دوره ادامه یابد.	اند.
نوع III: رفتار ناشی از آب (هیدراتی شدن)		
k. سست شدگی در حضور آب	شکست تدریجی زمین به قطعات و یا تکه های صفحه ای شکل	تجزیه شدن برخی از مواد سست با چسبندگی متوسط، مثل ماداستون
l. آماس ناشی از سنگهای خاص(۱): کانی های آماسی	حرکت زمین اطراف به داخل تونل به دلیل انبساط ناشی از جذب آب	در سنگهای آماسی که ایندریت، هالیت(سنگ نمک) و کانی های رسی مانند مونت موریلونیت بخش قابل توجهی از سنگ را تشکیل می دهند.
(۲): ناشی از مواد پرکننده یا رگه های رسی	آماس رگه های رسی به خاطر جذب آب. این پدیده منجر به سست شدگی بلوکها و کاهش مقاومت برشی رس می شود.	آماس ایجاد شده در رگه های حاوی مواد پرکننده شامل کانی های رسی (مونت موریلونیت)
m. زمین های جریانی	حرکت سریع مخلوطی از آب و مواد جامد به داخل تونل از تمامی جهات.	ممکن است در تونلهای واقع شده در زیر سطح آب زیرزمینی و در مواد ذره ای شکل با چسبندگی کم یا بدون چسبندگی (بدون رس) اتفاق بیفتد.
n. ورود آب	حرکت آب تحت فشار از طریق مجاری موجود در سنگها به سمت تونل.	ممکن است در سنگهای قابل حل و متخلخل و یا در امتداد شکستگیها و ذره ها اتفاق بیفتد.



شکل(۲): انواع اصلی رفتار زمین[۵]

همراه با سایر روشهای طراحی استفاده شوند[۱].

۸- زمین شناسی و ژئوتکنیک تونل

تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت در حدود ۵۰ کیلومتری شمال غربی قزوین قرار دارد. این تونل در محدوده کیلومتر ۹۷۵m+۴۴ تا ۶۵۵m+۴۵ طرح راه آهن قزوین – رشت قرار گرفته است. مقطع این تونل به شکل نعل اسبی با دهانه ۱۲m و ارتفاع ۵m/۹ می باشد. از نظر تقسیمات زمین ساختاری این تونل در ناحیه البرز غربی قرار گرفته است. با توجه به هدف بررسی ها و بر پایه رخنمون توده های سنگی، واحد چینه ای محدوده تونل می تواند برابر آنچه بر نقشه زمین شناسی(۱:۲۰۰۰) تحت شماره (۳) منعکس است به واحدهای کوچکتری تقسیم شود. سنگهای در برگیرنده تونل کیلومتر شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت از سنگهای توفیت و آندزیت بازالت تشکیل یافته است. واحد آندزیت بازالتی تمام تونل را در میان گرفته است. ضخامت لایه های آندزیت بازالت به طور عمومی بین ۳۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر است. این لایه ها دارای شیب تقریبی ۱۵ تا ۲۵ درجه به سمت شمال شرقی اند. دهانه ورودی تونل حدود کیلومتر ۹۷۵+۴۴ با رقوم ارتفاعی ۱۱۹۷متر نسبت به سطح دریا در دامنه ای با شیب حدود ۲۳ درجه به سوی جنوب قرار دارد. واحد توفیت به ضخامت حدود ۳۰ متر بر روی آندزیت قرار دارد و مرتفع ترین بخش روباره تونل را تشکیل می دهد[۶].

با توجه به ویژگی های زمین شناسی مهندسی، مسیر تونل شماره یک به سه بخش زیر تقسیم بندی شده است:

۱. بخش ابتدایی تونل به طول ۱۵۰ متر درون لایه های آندزیتی قرار دارد و با (Ta) مشخص شده است.

۲. بخش میانی تونل، به طول ۲۰۵ متر که در بالا نازک لایه های توفیتی و به سمت پائین از آندزیت های ضخیم لایه تشکیل یافته است و با نشانه (Tb) مشخص گردیده است.

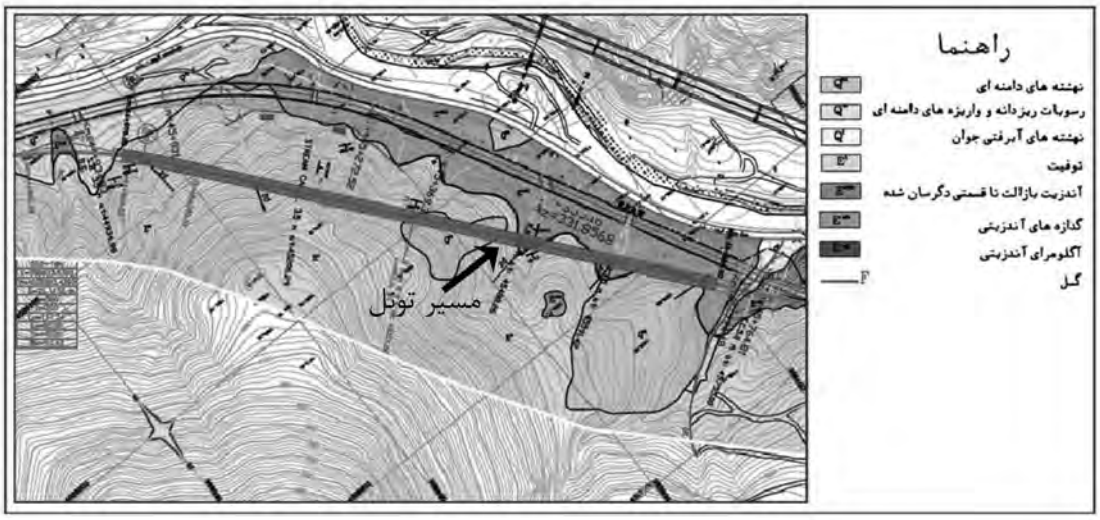
۳. بخش انتهایی تونل به طول حدود ۳۳۸ متر درون واحد آندزیت واقع شده و با نشانه (Tc) مشخص شده است.

در مرحله امکان سنجی و طراحی اولیه پروژه، وقتی که اطلاعات خیلی کمی از توده سنگ، تنش ها و مشخصات هیدروژئولوژی وجود دارد، استفاده از الگوی طبقه بندی توده سنگ مفید خواهد بود. نتایج طبقه بندی های تجربی توده سنگ مسیر تونل با استفاده از RMR، Q،

جدول(۳): مناسبت روشهای طراحی مهندسی با رفتار زمین[۱]

رفتار زمین	ابزار طراحی و مهندسی سنگ							
	سیستم های طبقه بندی			NATM	مدل سازی عددی (برای زمین پیوسته)	محاسبات تحلیلی	روشهای مشاهده ای	قضاوت مهندسی
	RMR	Q	RMi نگهداری					
a: پایدار	۲	۲	۱-۲	۱	۱	۲	۱	۱
b: سقوط بلوکها یا قطعات	۱-۲	۱-۲	۱-۲	۱-۲	۲	۲	۲	۱
c: ریزش و نشست	۳	۲-۳	۲	۳	۳	۲	۳	۲
d: زمین رونده	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۲
e: خمش	۴	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲
f: گسیختگی از تنش ها	۴	۳	۳	۲	۲	۳	۲	۲
g: پوسته پوسته شدن	۴	۲	۲	۲-۳	۲	۲	۲	۲
h: انفجار سنگ	۴	۳-۴	۲	۳	۲	۲	۱-۲	۲
i: رفتار پلاستیک(اولیه)	۴	۳-۴	۳	۲-۳	۲	۲	۳	۲
j: زمین فشارشی	۴	۳	۳	۱-۲	۲	۲	۲	۳
k: سست شدگی در اثر دگرسانی	۴	۴	۴	۳	۴	۴	۲	۲
l: زمین آماسی	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲
m: زمین جریانی	۴	۴	۴	۳-۴	۴	۴	۳	۳
n: ورود آب	۴	۴	۴	۴	۳	۲	۲	۳

امتیازات مربوط به هر روش: ۱: مناسب ۲: متوسط ۳: ضعیف ۴: نامناسب

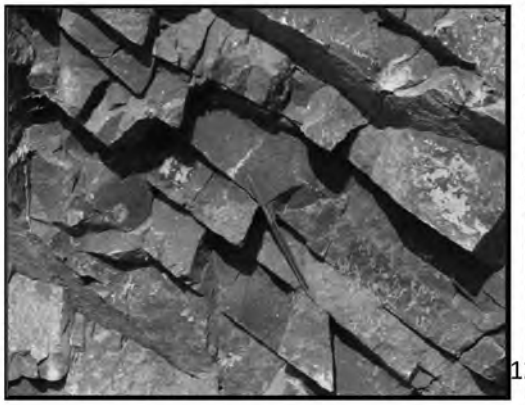


شکل (۳): نقشه زمین شناسی عمومی ساختگاه تونل شماره یک
قطعه دو راه آهن قزوین – رشت[۶]

جدول(۴): طبقه بندی توده سنگ مسیر تونل[۷]

محدوده تونل / امتیاز رده بندی	Ta	Tb	Tc
RMR	40	43	47
Q	0/55	1/21	1/65
SRC	25	28	30
GSI	48 – 58	45 – 55	50 – 60

شکل(۴): وضعیت لایه بندی و ابعاد قطعات سنگ در محدوده ورودی تونل



شکل(۵): وضعیت لایه بندی و ابعاد قطعات سنگ ساختگاه تونل

جدول (۵): پیش بینی رفتار زمین در محدوده تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت

طبقه بندی	رفتار زمین
شوبرت و گروکی(جدول1)	پایدار با پتانسیل سقوط بلوکها، شکست برشی کم عمق، زمین سست
پالمستروم و استیل(جدول2)	سقوط بلوکها، ریزش، رفتار پلاستیک، سست شدگی در حضور آب
پالمستروم(شکل2)	پیوسته(سنگهای توده ای)؛ رفتار پلاستیک،رفتار شکننده

SRC و GSI در جدول(۴) نشان داده شده است.

۹- پیش بینی رفتار زمین در محدوده تونل

با توجه به بررسی هایی که از پیشروی حفاری تونل و وضعیت درزه های منطقه به عمل آمد، وضعیت بلوکها در سقف و دیواره تونل به صورتی است که در آن فاکتور پیوستگی تقریباً در تمام حالت ۹۰ متر پیشروی اولیه بیشتر از ۱۵ می باشد(اشکال۴و ۵)، بنابراین بر اساس طبقه بندی پیوستگی و ناپیوستگی زمین توسط پالمستروم و استیل، در گروه پیوسته – توده ای قرار می گیرد. در واقع به طور کلی می توان بیان نمود که وقتی زمین به صورت پیوسته در نظر گرفته می شود، برای آنالیز و بررسی پایداری آن، استفاده از روش محیط های پیوسته مناسب بوده و در صورتی که زمین غیرپیوسته باشد، روش محیط های ناپیوسته برای آنالیز پایداری مناسب می باشد. هر چند وجود شرایط مبهم و پیچیده در سازه های زیرزمینی، ایجاب می کند که یک قضاوت مهندسی صحیح برای انتخاب روش آنالیز پایداری صورت پذیرد.

رفتار زمین در محدوده تونل شماره یک مطابق جدول (۵) تعیین شد.

این رفتار ها براساس اطلاعات زمین شناسی و با توجه به برداشت هایی که از توده سنگ و سینه کار های حفاری ساختگاه تونل و نیز بر پایه طبقه بندی های تجربی رفتار زمین توسط شوبرت و گروکی، پالمستروم و استیل، پالمستروم ارزیابی شده است. لازم به ذکر است که این رفتارها برای کل مسیر تونل ارائه شده است، برای مثال در قسمتی از مسیر تونل توده سنگ پایدار و در محدوده ای دیگر ریزشی می باشد و طراحی سیستم نگهداری تونل باید طوری انجام بگیرد که در مقابل این نوع رفتار ها پایداری تونل را تأمین کند.

۱۰- انتخاب روش های طراحی

پس از اینکه رفتار زمین در محدوده تونل شماره یک در جدول(۵) تعیین شد، در این مرحله ابزارهای طراحی بر اساس رفتار زمین مطابق جدول (۳) انتخاب می شود. برای حالت سقوط بلوکها و ریزش همه روشهای تجربی، NATM، مدل سازی عددی، محاسبات تحلیلی، روشهای مشاهده ای و قضاوت مهندسی قابل استفاده است. برای رفتار پلاستیک روشهای مدل سازی عددی، NATM، قضاوت مهندسی و محاسبات تحلیلی قابل استفاده می باشد. در حالت سست شدگی در حضور آب قضاوت مهندسی و روش مشاهده ای روشهای نسبتاً مناسبی برای طراحی مهندسی هستند. در مواردی که یک روش دارای امتیاز بیشتر از ۲ می باشد (جدول۳)، همواره از بیش از یک روش طراحی استفاده می شود. همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود، روشهای تجربی (سیستم های طبقه بندی) در سنگهای درزه دار که سقوط بلوکها وجود دارد، بهتر از سایر روشها عمل می کنند و برای انواع دیگر ترجیحاً این روشها همراه با سایر روشهای طراحی استفاده می شود. بنابراین برای طراحی سیستم نگهداری تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین - رشت روشهای تجربی، NATM، مدل سازی عددی و قضاوت مهندسی مناسب هستند.

۹- نتایج

۱. متغیر بودن شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی در ساختگاه پروژه های مختلف، روش های طراحی، محاسبه و اجرای متفاوتی را می طلبد و نیز ایجاب می کند که از تجربه های گذشته و اصول علمی و فنی به طور مداوم استفاده شود.

۲. یک مرحله اساسی و مهم در عملیات طراحی، تشخیص و تعیین رفتار زمین بوده و بدون آگاهی از رفتار زمین نمی توان عملیات مهندسی مناسب و محاسبات مربوط به سیستم های نگهداری را انجام داد. بنابراین شناخت رفتار واقعی زمین، جهت محاسبه و تخمین سیستم نگهداری و سایر محاسبات لازم و ضروری می باشد.

۳. شرایط زمین شناسی و توده سنگهای با تنوع زیاد ممکن است، و انتخاب ابزارهای طراحی مناسب با شرایط زمین و توده سنگ مهم است. همواره بایستی یک قضاوت مهندسی مناسب و مطابق با ابزار طراحی انتخاب شده، به ویژه برای زون های ضعیف مثل گسل ها، به کار رود. عدم قطعیت در پارامترهای مقاومتی سنگ و شرایط تنش موانع اصلی در جهت ارائه یک راه حل منفرد برای مسائل پایداری تونل ها می شود.

۴. رفتار زمین در محدوده تونل مورد مطالعه به حالت های پایدار با پتانسیل سقوط بلوکها، ریزشی، رفتار پلاستیک و شکننده تعیین شد. بر اساس رفتار زمین روش های تجربی، مدل سازی عددی و قضاوت مهندسی برای طراحی سیستم نگهدری تونل انتخاب شد.

۵. بر اساس تلفیق نتایج حاصل از طراحی سیستم نگهداری به روش های تجربی و عددی، شاتکریت به ضخامت ۲۰ سانتیمتر همراه با یک لایه مش به عنوان نگهداری تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت انتخاب شد، ضمن اینکه در مناطق برشی استفاده از قابهای فولادی IPE۱۶۰ با فاصله ۱ تا ۲ متری توصیه می شود.

۱۰- منابع

[۱]. هوک و براون، (۱۳۷۶)، سازه های زیرزمینی در سنگ، مترجم: دکتر احمد فهیمی فر، چاپ اول، تهران، انتشارات آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری.

[2]. Palmstorm، A.، Still، H.، 2007. Ground behaviour rock engineering tools for underground excavations. Tunneling and Underground Space Technology.22. 363 – 376.

[3]. A Hudson، J.، Feng ، X.T.، 2007. Updated flowcharts for rock mechanics modeling and rock engineering design. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 44. 174 – 195.

[4]. Stille، Hakan، Palmstorm، Arild، 2007. Ground behaviour and rock mass composition in underground excavations. Tunneling and Underground Space Technology. Article in press.

[5]. Sari، D.، 2004. Pasamehmetoglu، A.G.، Proposed support design، Kaletepe tunnel، Turkey. Engineering Geology 72. 201 – 216.

[۶]. مهندسین مشاور هراز راه، گزارش زمین شناسی عمومی، ساختمانی و مهندسی تونل شماره یک قطعه دو راه آهن قزوین – رشت، ۱۳۸۵.

[۷]. رحیمی بهروز، (۱۳۸۷)، تحلیل پایداری و طراحی نگهداری تونل های قطعه دو راه آهن قزوین – رشت به روش های تجربی و عددی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت.

ارائه یک مدل از ویژگی های توده سنگ برای تخمین نرخ نفوذ دستگاه TBM

سیامک هاشمی، دکتر ژئوتکنیک، شرکت خدمات مهندسی برق (مشانیر)

متن حاضر ترجمه مقاله زیر می باشد:
Zhao, J., and Gong, Q.M., 2009, "Development of a rock mass characteristics model for TBM penetration rate prediction" International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 46, pp. 8-18.

چکیده

فرآیند تونلسازی در سنگهای سخت به وسیله TBM در واقع فرآیند شکست سنگ یا توده سنگ می باشد که کفایت و کارآیی دستگاه TBM را مشخص می نماید. در مقاله حاضر بر اساس فرآیند شکست سنگ یک مدل کلی از توده سنگ پیشنهاد شده که تأثیر ویژگیهای توده سنگ بر نرخ نفوذ TBM را تعیین می نماید. در حین ساخت تونلهای T05 و T06 از پروژه تونل های فاضلاب عمیق در سنگاپور، یک برنامه مطالعاتی کامل برای جمع آوری داده های مربوط به ویژگیهای توده سنگ و کارآیی دستگاه TBM انجام شد. به این منظور یک پایگاه داده شامل ویژگیهای توده سنگ، مشخصات دستگاه TBM و کارآیی متناظر دستگاه TBM ایجاد گردید. با ترکیب مدل کلی توده سنگ برای ارزیابی قابلیت چالخوری توده سنگ و پایگاه داده مذکور، یک مدل آماری برای پیشبینی نرخ نفوذ TBM با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی پیشنهاد گردیده است. مطالعه پارامتری مدل جدید نشان می دهد که مقاومت فشاری تک محوری سنگ و عدد شمارش حجمی درزه تأثیر به سزایی بر میزان نرخ نفوذ می گذارند. نتایج حاصل از تحلیل های فوق با شبیه سازی های عددی نیز همخوانی خوبی داشته اند. در مقاله حاضر محدودیت های مدل پیشنهادی نیز مورد بحث قرار می گیرد.

۱- مقدمه

برنامه ریزی پروژه های تونلسازی و انتخاب روش مناسب ساخت به پیشبینی موثر عملکرد دستگاه TBM در توده سنگ مورد نظر نیاز دارد و این موضوع نیز سالهای سال سرفصل تحقیقات و مطالعات گوناگونی بوده است. پیچیدگی اندرکنش میان توده سنگ و دستگاه TBM باعث می شود که پیشبینی عملکرد دستگاه TBM از لحاظ نظری کاری بسیار مشکل باشد. مدلهای تخمین عملکرد TBM در طی سی سال گذشته از مدلهای تک عاملی [۵-۱] به مدلهای چند عاملی [۱۱-۶] تغییر کرده و تکمیل یافته است.

برخی از این مدلها براساس آزمونهای برش آزمایشگاهی (Cutting Test) و برخی بر اساس داده های اجرایی به دست آمده در حین ساخت پیشنهاد گردیده اند. درحالت کلی انجام آزمونهای برش بر روی سنگ لازم می باشد ولی تصویر کاملی از توده سنگ را ارائه نداده و در ضمن قادر به نمایاندن عملکرد دستگاه TBMدر مقیاس واقعی نمی باشد. مدلهای تجربی و آماری، مکانیسم شکست توده سنگ را به میزان بسیار کمی مورد توجه قرار می دهند. یک مدل واقع بینانه برای پیشبینی عملکرد دستگاه TBM باید داده های مربوط به آزمونهای آزمایشگاهی، وضعیت زمین شناسی ساختگاه و نیز شرایط ساخت را در نظر بگیرد.

عوامل اصلی ویژگی های توده سنگ که در این مدلها، برای تخمین نرخ نفوذ PR به کار گرفته می شوند شامل مقاومت تک محوری و مقاومت کششی سنگ، فراوانی و جهت درزه های سنگ می باشد. عوامل مربوط به دستگاه که برای تخمین نرخ نفوذ به کار گرفته می شود شامل فاصله میان تیغه های برش، ضخامت لبه تیغه، قطر تیغه، نیروی رانشی متوسط به ازای هر تیغه و سرعت چرخش در هر دقیقه (RPM) می باشد. مدل هایی که در حال حاضر بیشتر به کار گرفته می شوند عبارت از مدل CSM [۹]، مدل NTNU [۷]، مدل احتمالاتی [۸]، و QTBM [۱۰] می باشد. هر یک از این مدلها با توجه به تاریخچه و منشاء آن دارای مزایا و معایبی می باشد. در مدل CSM تأثیر درزه ها بر نرخ نفوذ دستگاه TBM در نظر گرفته نمی شود. مدل اصلاح شده CSM، درزه ها را فقط به عنوان عاملی که بر مقاومت توده سنگ تأثیر می گذارد در نظر می گیرد. مدل NTNU نیاز به

آزمایشات ویژه حین حفاری دارد که به غیر از کشور نروژ به ندرت انجام می پذیرد. در مدل احتمالاتی شباهت های میان تونل ها در نظر گرفته می شود و از اندرکنش میان دستگاه TBM و توده سنگ صرفنظر می گردد. QTBM که از روش Q به دست می آید برای شرایط اجرایی، تعداد پارامترهای بیش از اندازه ای را نیاز دارد و در ضمن برخی از این عوامل با یکدیگر همپوشانی دارند.

تعدادی از محققین ارتباط عملکرد دستگاه TBM با روشهای طبقه بندی توده سنگ را بررسی نموده اند [۱۵-۱۲]. از جمله طبقه بندی هایی که در مطالعات مذکور به کار گرفته شده اند می توان به Q، RMR، RSR و IMS اشاره نمود. نتایج به دست آمده نشان می دهند که با افزایش کیفیت توده سنگ معمولاً میزان نرخ نفوذ کاهش می یابد. البته شرایط بسیار ضعیف توده سنگ نیز کمکی به نرخ نفوذ نمی نماید. هرچند این روند واضح است، ولی نرخ نفوذ دستگاه TBM بسته به دسته های طبقه بندی سنگ، پراکندگی زیادی نشان می دهد.

این مقاله به منظور ایجاد یک مدل پیشبینی کننده ویژگی های توده سنگ برای تعیین نرخ نفوذ دستگاه TBM، فرآیند خردایش سنگ (rock fragmentation) را مورد بررسی قرار می دهد و در این راستا مکانیسم شکسته شدن سنگ (rock breakage) و ویژگیهای اصلی که بر نرخ نفوذ تأثیر می گذارند را تشریح می نماید. وجود درزه در توده سنگ نیز فرآیند شکسته شدن سنگ و الگوی ایجاد تراشه را تغییر می دهد. در این مقاله یک مدل کلی از ویژگی های توده سنگ موثر بر نرخ نفوذ دستگاه TBM بر اساس مکانیسم خردایش سنگ و توده سنگ پیشنهاد شده است. به منظور ارزیابی این مدل کلی، یک پایگاه داده از داده ها و اطلاعات حین ساخت یک تونل فاضلاب عمیق در سنگاپور تهیه شده و یک مدل تخمینی با استفاده از تحلیل آماری غیرخطی آماده گردید و تأثیر هر یک از پارامترهای توده سنگ بر نرخ نفوذ دستگاه TBM مورد تحلیل قرار گرفت و محدودیتهای این مدل نیز شناسایی شد.

۲- مکانیسم شکسته شدن سنگ

۲،۱- فرآیند شکسته شدن سنگ به وسیله تیغه های TBM

فرآیند شکسته شدن سنگ در زیر تیغه های دستگاه TBM را می توان به دو مرحله متوالی تقسیم نمود. مرحله اول مربوط به داخل شدن تیغه ها به درون سنگ و ایجاد خرده سنگهای ریز و درشت و نیز ترک های داخلی می باشد. این فرآیند تحت عنوان تضریس (indentation) شناخته می شود. مرحله دوم شامل انتشار ترکهای میان دوتیغه مجاور و رسیدن آنها به یکدیگر و ادغام آنها می باشد که پس از آن تراشه های درشتی بین دو تیغه شکل می گیرند.

فرآیند بارگذاری به منظور مضرس نمودن را می توان بر اساس آزمایشات انجام شده [۱۶] به چهار مرحله شامل ایجاد میدان تنش، شکل گیری ناحیه خرد شده، تشکیل تراشه های سطحی و زیر سطحی، و ایجاد گودی (crater) تقسیم نمود. شکل ظاهری مضرس کننده (indenter)، و مقدار نیروی محصور کننده، بر تشکیل ناحیه خرد شده و آغاز و انتشار ترکهای داخلی تاثیر می گذارد [۱۸و ۱۷].

آزمایش های تضریس و نتایج مدل سازی های عددی نشان داده اند که در زیر مضرس کننده سه ناحیه قابل شناسایی خواهند بود [۲۰ و ۱۹و ۱۶] که شامل ناحیه خرد شده، ناحیه ترک خورده، و ناحیه الاستیک می باشد. ترکهای جانبی ایجاد شده در ناحیه ترک خورده، تعیین کننده قابلیت دستگاه TBM در شکستن سنگ خواهند بود.

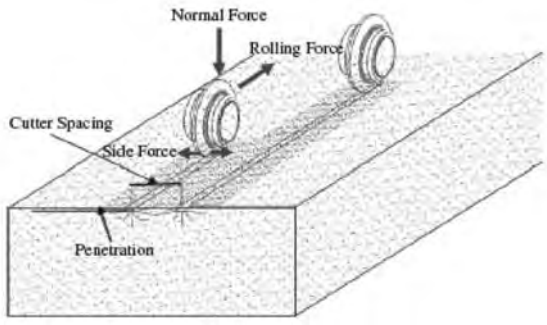
غلتیدن تیغه های برشی دستگاه TBM بر جبهه کار در زمان حفر تونل، باعث می شود که ناحیه خرد شده در زیر آنها توسعه یافته و همچنین ترکهایی ایجاد شده و انتشار یابند (شکل ۱). ترکها می توانند تحت تأثیر غلتش تیغه های برش تا رسیدن به ترکهای مجاور انتشار یابند.

۲،۲- تأثیر مشخصات دستگاه بر فرآیند شکسته شدن سنگ

Snowdon و همکارانش [۲۵] با استفاده از یک دستگاه برش دهنده خطی سنگ آزمایشات برش متعددی را انجام دادند. نتایج این آزمایشات نشان دادند که فاصله میان تیغه های برش و نیروی تیغه های برش تأثیر به سزایی بر انرژی ویژه برش یا به بیان دیگر بر راندمان برش می گذارد. تأثیر شکل هندسی برش بر تشکیل تراشه سنگ در آزمایشهای برش خطی توسط Rostami و Ozdemir [۲۶] شناسایی شده است. شکل هندسی لبه تیغه برشی بر اندازه ناحیه خرد شده در زیر تیغه تأثیر می گذارد و فاصله میان تیغه ها و نیروی تیغه ها بر انتشار ترکها و تشکیل تراشه سنگ بین دو برش مجاور مؤثر است.

Zhao و Gong [۲۷] بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیلهای عددی فرآیند تضریس تیغه ها و ایجاد تراشه سنگ بین دو تیغه مجاور، به این نتیجه رسیدند که فرآیند شکسته شدن سنگ، نیروی رانش، قطر تیغه و ضخامت لبه تیغه همگی میدان تنش درون سنگ را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه بر فرآیند تضریس تأثیرگذار می باشند. نیروی رانش و فاصله میان تیغه ها در فرآیند ایجاد تراشه مؤثر بوده که شامل ناحیه خرد شده، آغاز و انتشار ترک ها و زاویه تشکیل تراشه می باشد.

در حالت کلی فرآیند شکسته شدن سنگ رابطه نزدیکی با مشخصات



شکل ۱: فرآیند تشکیل تراشه توسط تیغه های دستگاه TBM و هندسه شیارهای برشی

دستگاه از جمله قطر دستگاه TBM، فاصله داری تیغه ها، قطر تیغه ها و ضخامت لبه تیغه ها و کل نیروی رانش و گشتاور بستگی دارد. ثابتهای طراحی مربوط به فاصله میان تیغه ها، قطر تیغه ها و ضخامت لبه تیغه به طور مستقیم بر فرآیند شکست سنگ تأثیر می گذارند و باید به عنوان پارامترهای مهم دستگاه که در نرخ نفوذ مؤثر می باشند، در نظر گرفته شوند. نیروی رانش و گشتاور معمولاً با تغییر شرایط توده سنگ، تغییر می نمایند و به عنوان پارامترهای عملیاتی TBM بر نرخ نفوذ تأثیر می گذارند.

۳- مدل کلی توده سنگ

در ادامه متن ، تأثیر ویژگیهای اصلی توده سنگ بر نرخ نفوذ دستگاه TBM شناسایی می شوند. در این راستا یک مدل کلی توده سنگ که مشخص کننده قابلیت چالخوری توده سنگ می باشد، پیشنهاد گردیده است.

۳،۱- مقاومت سنگ

مقاومت سنگ بر رفتار سنگ تحت فشار اثر می گذارد. زمانی که تیغه برشی غلتان سنگ را مضرس نماید، تنش اعمال شده می بایست بالاتر از مقاومت سنگ باشد. به همین دلیل مقاومت سنگ به طور مستقیم با عملکرد دستگاه TBM در ارتباط است. این نکته توسط محققان متعددی مشاهده شده است. برخی از مدل های ارائه شده برای تخمین نرخ نفوذ نشان می دهند که نرخ نفوذ به طور مستقیم با مقاومت تک محوری سنگ مرتبط می باشد [۲۶و ۵و ۲و ۱]. در حالت کلی با افزایش مقاومت تک محوری سنگ، نرخ نفوذ کاهش می یابد.

۳،۲- شکنندگی سنگ

تأثیر شاخص شکنندگی (تردی) سنگ بر فرآیند نفوذ دستگاه TBM توسط Gong و Zhao مورد مطالعه قرار گرفت [۲۷]. شاخص شکنندگی عبارت از نسبت مقاومت فشاری سنگ به مقاومت کششی سنگ می باشد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که با افزایش شاخص شکنندگی سنگ ، فرآیند تضریس تیغه برش آسان تر می شود. در حالت کلی نرخ نفوذ با افزایش شاخص شکنندگی سنگ ، بیشتر می شود.

۳،۳- فاصله داری درزه ها

با توجه به اینکه توده سنگ شامل مصالح سنگی و درزه ها می باشد، شرایط درزه های موجود به طور حتم بر فرآیند شکسته شدن سنگ تأثیر می گذارد. به سادگی می توان دریافت که وجود ناپیوستگی ها می تواند به شکسته شدن سنگ کمک نماید، چرا که ترکهای ایجاد شده توسط تیغه های دستگاه TBM به سادگی همراه با ناپیوستگی های موجود توسعه می یابند. در عمل مشاهده شده است که درزه ها یا شکستگی ها تأثیر مهمی بر عملکرد TBM می گذارند [۲۹، ۲۸، ۹، ۷]. Burland با تکیه بر مطالعات موردی متعدد به این نتیجه رسید که با کاهش فاصله داری درزه ها، نفوذ دستگاه TBM به طور مشخصی افزایش می یابد.

فرآیند خردایش توده سنگ با فاصله داری های متفاوت درزه، توسط نرم افزار UDEC مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۰]. برای درزه هایی با فاصله داری مختلف، دو الگو برای فرآیند تشکیل تراشه یافت شده است که با این فرآیند در خود مصالح سنگی تفاوت دارد. در الگوی نخست ترکها از سطح درزه آغاز شده و به سمت سطح باز منتشر می شود. با افزایش فاصله داری درزه ها نرخ نفوذ کاهش می یابد. بیشترین نرخ نفوذ در توده سنگ بسیار درزه دار نزدیک به ۹ برابر این نرخ در مصالح سنگی می باشد.

۳،۴- جهت داری درزه ها

تأثیر جهت داری درزه ها بر نرخ نفوذ دستگاه TBMدر پروژه های تونلسازی متعددی مشاهده شده است [۲۸]. Aeberli ، Wanner متوجه این نکته شدند که نرخ پیشروی دستگاه TBM با افزایش زاویه میان محور TBM و صفحات شیستوزیته در یک ناحیه همگن از جنس فیلیت شیستوز، افزایش می یابد [۳۰]. پدیده مشابهی توسط Thuro و Plinninger در فیلیت و شیست کربناته فیلیتی لایه دار مشاهده شده است [۳۱]. تحلیل نظری اندرکنش میان تیغه ها و سنگ متورق که توسط Sanio انجام شده بود نتایج مشابهی را نشان داده است. Bruland نیز خلاصه ای از تأثیرات جهت داری درزه ها را بر اساس طبقه بندی درزه ها تهیه نموده و نتایج مشابهی به دست آورده است [۷]. بیشترین نرخ نفوذ زمانی به دست آمد که زاویه برابر با ۶۰ درجه بود. وی همچنین اشاره نموده است که با افزایش فاصله داری درزه ها، تأثیر جهتداری درزه ها بر نفوذ دستگاه TBM کاهش می یابد. در این تحقیق فرآیند ایجاد تراشه در سنگ توسط تیغه های برش دستگاه TBM به روش DEM مدلسازی شده است تا بدینوسیله اثر جهت داری درزه ها بررسی شود [۳۳]. نتایج به دست آمده با نتایج ارائه شده توسط Bruland همخوانی دارند. در این مدلها نیز بر اهمیت فاصله داری و جهت داری درزه ها و تأثیر آنها بر عملکرد دستگاه TBM تأکید شده است [۱۰، ۹، ۷].

۴- پایگاه داده

۴،۱- قرارداد پروژه های تونل فاضلاب عمیق T05 و T06 در سنگاپور

پروژه تونل فاضلاب عمیق یکی از پروژه های زیربنایی بزرگ به منظور حل بلند مدت مشکل انتقال، دفع و تصفیه فاضلاب در سنگاپور می باشد . در مقاله حاضر تنها قراردادهای مربوط به بخشهایی از تونلهای T05 و T06 که از میان سنگهای سخت عبور می نمایند مورد مطالعه قرار می گیرند. تونل T05 دارای طولی معادل ۱۲/۶ کیلومتر و قطر داخلی ۳/۶ متر بوده و تونل T06 دارای طولی معادل ۹/۶ کیلومتر و قطر ۳/۳ متر است. عمق این دو تونل از ۲۲ تا ۴۱ متر تغییر می نماید. برای بررسیهای ساختگاهی از روشهای حفر گمانه های مطالعاتی و ژئوفیزیکی استفاده شده است. علاوه بر جمع آوری داده های ژئوتکنیکی ساختگاه پروژه های همجوار، در هر یک از این دو پروژه به ترتیب ۴۹ و ۴۳ گمانه مطالعاتی به منظور بررسی شرایط زمین شناسی مسیر تونلهای T05 و T06 حفر گردید. این گمانه ها با فواصل تقریباً

یکنواخت در طول مسیر تونل قرار داشتند تونل T05 از سنگ گرانیتی با درجه هوازدگی متغیر و دارای خاک بر جا عبور نموده است. بیشتر زمین ساختگاه از جنس گرانیت بدون هوازدگی تا گرانیت با هوازدگی جزئی می باشد و حدود ۴۷ درصد از طول تونل را تشکیل داده است. حدود ۳/۲ کیلومتر شامل گرانیت کاملاً هوازده تا خاک بر جا، ۱/۹ کیلومتر از جنس مختلط و ۱/۶ کیلومتر از جنس گرانیت با هوازدگی متوسط تا زیاد بوده است. از مسیر ۹/۶ کیلومتری تونل T06 حدود ۳/۳ کیلومتر در گرانیت با شکستگی متوسط و هوازدگی کم تا بدون هوازدگی یا گرانیت بسیار ترک خورده با هوازدگی زیاد تا متوسط، ۳/۱ کیلومتر در گرانیت کاملاً هوازده تا خاک بر جا و ۱/۱ کیلومتر در زمین مختلط قرار دارد. حدود ۰/۹ کیلومتر از بخش پایانی قسمت جنوبی تونل در سنگ رسوبی چند لایه قرار داشته است. ۱/۱ کیلومتر پایانی قسمت شمالی تونل در آبرفت قدیمی هوازده تا بدون هوازدگی قرار دارد.

مغزه های گرانیت و دیوریت از لحاظ محتوای کانی شناسی مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج به دست آمده در جدول ۱ آورده شده است. محتوای گرانیت با آزمایشات پیشین همخوانی دارد [۳۴]. شاخص ساینده‌گی سرشار (CAI) بر اساس مغزه های گرفته شده از گرانیت در جدول ۲ درج شده است. تمامی نتایج نشان می دهند که مقدار شاخص CAI بیش از ۴/۰ می باشد و سنگ از لحاظ طبقه بندی ساینده‌گی و طبق تعریف سرشار در دسته فوق العاده ساینده قرار می گیرد [۳۵]. نمونه های سنگی نیز برای انجام آزمایشهای مقاومتی جمع آوری شدند و همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می شود مقاومت سنگ بسته به درجه هوازدگی، پراکندگی زیادی دارد. این نتایج در مجموع با طبقه بندی هوازدگی گرانیتهای سنگاپور همخوانی ندارد [۳۶] و این موضوع نشان می دهد که طبقه بندی های انجام شده در محل ساختگاه بسیار اولیه و کلی بوده یا سنگ در حین انجام آزمایشهای مقاومتی، در امتداد سطوح ضعف گسیخته شده اند.

بررسی های ساختگاهی یک تصویر کلی از شرایط زمین را در امتداد مسیر تونل فراهم نموده است. امکان تفسیر ویژگیهای دقیق توده سنگ بر اساس گزارشهای مطالعات ژئوتکنیک، به دلیل طبیعت گرانیت هوازده در شرایط آب و هوایی حاره ای ممکن نمی باشد. بستر سنگی در حالت کلی چند متر زیر سطح زمین قرار دارد و سیستم دسته درزه های توده سنگ از طریق رخنمون ها قابل مشاهده نمی باشد.

به منظور تهیه یک پایگاه داده کامل با جزئیات مورد نیاز برای تخمین نرخ نفوذ و برای مطالعه تأثیر ویژگیهای توده سنگ بر نرخ نفوذ دستگاه TBM، یک برنامه مطالعاتی کامل جهت جمع آوری اطلاعات و ویژگیهای درزه ها و پارامترهای مقاومتی سنگ در حین ساخت تونل اجرا شد. دستگاه های TBM به کارگرفته شده در تونلهای T05 و T06 شامل چهار دستگاه سپردار ویژه سنگ های سخت بوده است. این دستگاه ها قابلیت کار در حالت تعادل فشار زمین (EPB) را نیز داشتند. دستگاه های مذکور مجهز به تیغه های برش تک و دوبل مخصوص سنگهای سخت و ناخن های ویژه حفاری در زمین های نرم بوده اند. قطر خارجی دستگاه ها، مجموع تیغه های برشی و فاصله ردیف تیغه های برش دستگاه های TBM به کار گرفته شده در تونلهای T05 و T06 به ترتیب ۴۸۸۰، ۴۴۵۰، ۳۵، ۲۹، ۱۰۰ و ۹۰ میلیمتر می باشد. حداکثر نیروی رانشی طراحی شده برای تیغه ها ۲۵۰ کیلونیوتن به ازای هر تیغه است. سپر دستگاه ها شامل سه قسمت سپر جلو، سپر مرکزی و هوابند و سپر انتهایی می باشد. سیلندرهای پیشران دارای گامی معادل ۲۳۰۰ میلیمتر می باشند که به طور جداگانه یا گروهی قابل هدایت و کنترل می باشند. تمامی پارامترهای بهره برداری دستگاه TBM از طریق یک سیستم ثبت کننده قابل کنترل و نظارت می باشند. برخی از پارامترهای اصلی ثبت شده عبارتند از: الف) فشار جبهه کار، ب) نیروی رانش، ج) نیروی هدایت دستگاه، د) بار یدک کشی، ه) سرعت چرخش در دقیقه، و) سرعت پیشروی، ز) زمان پیشروی، ح)حجم مصالح استخراج شده از طریق ترازوی نوار نقاله، ط) زمان نصب سگمنت، زمان توقف، و زمان انتظار ی) داده های متفرقه.

۴،۲- برنامه جمع آوری داده های صحرایی

در حین حفر تونلهای T05 و T06 یک برنامه مطالعاتی کامل شامل آزمونهای صحرایی و آزمایشگاهی به منظور تهیه پایگاه داده ای از ویژگیهای توده سنگ و عملکرد TBM در شرایط متفاوت توده سنگ انجام شد. عملیات انجام شده در ساختگاه شامل برداشت جبهه کار (mapping) از لحاظ فاصله داری و جهتداری درزه ها، مغزه گیری از جبهه کار برای انجام آزمونهای مقاومتی در آزمایشگاه و جمع آوری داده های مربوط به دستگاه TBM بوده است.

۴،۲،۱- برداشت جبهه کار

به دلیل هوازدگی زیاد سنگ بستر، رخنمونهای سنگی به ندرت مشاهده می شدند. به همین دلیل آمار مربوط به سیستم درزه ها شامل تمامی ناپیوستگی ها همچون درزه ها و ترکهای موجود در توده سنگ از روی سطح زمین قابل جمع آوری نبودند و برداشت سنگ در جبهه کار و در حین حفر تونل انجام پذیرفت. از آنجا که مشاهده کامل شرایط توده سنگ از روی دیواره های تونل امکان پذیر نبود، برداشت جبهه کار از طریق محفظه پشت کله حفاری دستگاه TBM صورت می گرفت. در زمان کنترل و تعویض تیغه ها محفظه پشت کله حفاری باز شده و امکان بررسی شرایط توده سنگ در جبهه کار را فراهم می نمود. پیش از انجام این بررسیها، پودر و خرده های سنگ از روی سطح سنگ شسته و جدا می شدند. پس از آن جبهه کار تونل از طریق چهار نقطه که برای انتقال باطله ها استفاده می شد، برداشت می گردید. معمولاً برداشت جبهه کار تونل شامل موارد زیر می باشد: ۱) جنس سنگ، ۲) رنگ، ۳) درجه هوازدگی سنگ، ۴) تشریح درزه ها شامل تعداد دسته درزه، طول تقریبی درزه در جبهه کار تونل، بازشدگی درزه، هوازدگی و آلتراسیون درزه، ۵) اندازه گیریهای درزه ها شامل فاصله داری درزه ها، و تخمین زاویه بین محور تونل و سطح درزه، ۶) تخمین RQD در جبهه کار تونل با استفاده از خط کش یک متری، ۷) آب ورودی از جبهه کار تونل.

برای آنکه شرایط گوناگون توده سنگ که دستگاه TBM با آن مواجه می شد به طور مداوم ثبت شوند، برداشت جبهه کار و نمونه گیری

جدول ۱: کانی شناسی گرانیت Bukit Timah

نوع کانی	درصد دیوریت (خاکستری تیره و دانه ریز)	درصد گرانیت (خاکستری روشن و درشت دانه)
فلدسپار	۵۷.۱ (پلاژیوکلاز)	۶۴.۵-۵۷.۸ (پلاژیو کلاز و فلدسپار)
آمفیبول (سبز، هورنبلاند)	۲۲.۴	۴.۱-۰.۶
کوارتز	۱۰.۳	۲۹.۲-۲۶.۴
میکا (بیوتیت و مقداری کلوتیت)	۸.۸	۷.۰-۵.۳
کلسیت (به صورت رگه ای)		۶.۴-۰.۲
غیره	۱.۴	۵.۰-۰.۳

جدول ۲: نتایج آزمایش سایش در گرانیت Bukit Timah

نام گمانه	عمق (متر)	واحد ژئوتکنیکی	نوع سنگ	RQD	شاخص سایش سرشار (CAI)
NR-8 (T06)	۴۰.۵	G1	گرانیت	۹۵	۴.۷۸
NR-8 (T06)	۴۳.۶	G1	گرانیت	۴۳	۵.۲۴
NR-9 (T06)	۵۱.۰	G1/G2	گرانیت	۲۷	۴.۷۲
G-106 (T05)	۲۵.۰	G1	دیوریت	۱۰۰	۴.۵۳
H-108 (T05)	۵۳.۷۵	G1	گرانیت	۱۰۰	۴.۴۴

جدول ۳: نتایج آزمون های آزمایشگاهی

نوع سنگ	واحد ژئوتکنیکی	RQD	مقاومت فشاری تک محوری سنگ UCS (MPa)		آزمایش بارگذاری نقطه ای (I_{s50}, MPa)	
			دامنه	متوسط	دامنه	متوسط
گرانیت Bukit Timah	G1	۰-۹۴	۱۹-۳۰۹	۸۵	۱.۲-۱۴.۵	۷
	G2	۰-۲۵	-	۵۱	۰.۷-۵.۱	۱.۸

از سنگ در یک جبهه کار واحد در هر ۳۰ تا ۵۰ متر و در زمانی که عملکرد دستگاه TBM در شرایط کار یکسان دچار تغییر ناگهانی و زیاد می شد (به عنوان نمونه افت یا افزایش ناگهانی نیروی رانش) صورت می گرفت. در مجموع در تونلهای T05 و T06 بیش از ۸۰ برداشت جبهه کاری انجام گرفته است.

۴،۲،۲- برنامه مغزه گیری از سنگ

به منظور شناسایی وضعیت توده سنگ، در زمان برداشت جبهه کار مغزه هایی از طریق چالزنی گرفته می شد. به دلیل فضای محدود محفظه پشت کله حفاری از یک دستگاه چالزنی کوچک به قطر ۳۴ میلیمتر برای مغزه گیری استفاده می شد. فرآیند حفاری و مغزه گیری بدین صورت انجام شده که دستگاه حفاری در داخل کله حفاری تثبیت می شد و سپس کله حفاری به موقعیت مورد نظر برای نمونه گیری چرخانده می شد به طوریکه با درزه ها و نواحی هوازده برخورد ننماید. پس از آن نمونه های سنگ از دستگاه چالزنی اخذ می شدند. این عملیات تا زمان گرفتن نمونه های کافی تکرار می شد. تعداد مغزه های سنگ باید برای سه آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و پنج آزمایش مقاومت کششی برزیلین کفایت می نمود. عملیات نمونه گیری متناسب با برداشت های جبهه کار تونل انجام می شد و به همین دلیل وضعیت توده سنگ به طور کامل مشخص می گردید.

۴،۳- پارامترهای توده سنگ

فاصله داری درزه ها می تواند به وسیله RQD ، فراوانی درزه ها و عدد شمارش حجمی درزه معرفی شود. معمولاً برای تشریح فاصله داری درزه ها برای یک دسته درزه مشخص از فاصله داری عادی درزه ها و فاصله قائم متوسط میان درزه های مجاور استفاده می شود. فاصله دارای درزه ها معمولاً برای همه ناپیوستگی ها در یک جهت مشخص اندازه گیری می شود و از طریق فاصله داری متوسط تمامی ناپیوستگی ها در جهت مشخص نمایش داده می شود. عدد شمارش حجمی درزه ها (J_V) که به وسیله مجموع تعداد درزه های موجود در یک متر مکعب تعریف می شود [۳۸و ۳۷] به این منظور به کار گرفته می شود. مطابق با این تعریف، رابطه (۱) تمامی درزه ها و ترکهای موجود را در نظر

می گیرد:

$$J_v = \sum \frac{1}{J_{si}} + \left[\frac{N_{r(5)} \text{ or } N_{r(10)}}{5} \right] \qquad (۱)$$

در این رابطه J_{si} فاصله داری درزه ها بر حسب متر برای دسته درزه اصلی، و $N_{r(5)}$ یا $N_{r(10)}$ تعداد تصادفی درزه ها در امتداد ۵ یا ۱۰ متری قائم بر مسیر نمونه گیری می باشد. از آنجا که وجود سپر مانع از مشاهده دیواره های تونل می شد، اندازه گیری خط پیمایش در امتداد دیواره تونل امکان پذیر نبود. با این وجود برداشت جبهه کار تونل در حین بازرسی و تعویض تیغه ها صورت می پذیرفت. دسته های درزه و فاصله داری آنها و درزه های پراکنده موجود در جبهه کار تونل برداشت و ثبت شدند. از این طریق تعیین عدد شمارش حجمی درزه ها ممکن شد.

۴،۳،۲- جهت دارای درزه ها

مدل کلی توده سنگ نشان می دهد که جهت درزه ها یک عامل مهم تأثیرگذار در عملکرد دستگاه TBM می باشد. یک توده سنگ معمولاً دارای دسته درزه های متعدد و نیز درزه های پراکنده می باشد. هر یک از دسته های درزه تأثیر متفاوتی بر نرخ نفوذ TBM می گذارند. بالاتر بودن تراکم یا تناوب درزه ها باعث می شود تأثیر بیشتری بر نرخ نفوذ TBM بگذارند. به همین دلیل جهتداری درزه هایی که بیشترین فراوانی را داشته یا دسته درزه ای که کمترین فاصله داری را دارا می باشد برای مدل تخمین نفوذپذیری در نظر گرفته شده اند. زاویه بین محور تونل و سطح درزه (α) نیز از طریق برداشت جبهه کار قابل تعیین بوده است.

۴،۳،۳- آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

مقاومت تک محوری یکی از پارامترهای مقاومتی اولیه برای ارزیابی شرایط توده سنگ می باشد. این پارامتر بیشتر برای بررسی قابلیت حفاری توده سنگ به کار گرفته می شود. آزمایشات مقاومت تک محوری مطابق با روش پیشنهادی ISRM انجام گرفته است [۳۹]. اکثر نسبت های طول به قطر نمونه ها حدود ۲/۵ بوده و در برخی از نمونه ها بین ۲ تا ۲/۵ تغییر می نمود. نرخ بارگذاری در حین آزمایش ۱ مگاپاسکال در ثانیه بود.

باتوجه به اینکه قطر نمونه های سنگی به اندازه استاندارد ۵۰ mm نبوده است، مقادیر اندازه گیری شده UCS برای اندازه ۵۰ mm با استفاده از رابطه پیشنهادی هوک و براون [۴۰] تصحیح گردیدند:

$$\sigma_{c50} = \sigma_{cd} \left(\frac{50}{d} \right)^{-0,18} \qquad (۲)$$

که در این رابطه σ_{cd} مقاومت فشاری تک محوری سنگ نمونه به قطر d میلیمتر بوده و σ_{c50} مقاومت فشاری تک محوری سنگ معادل با قطر ۵۰ میلیمتر می باشد.

۴،۳،۴- شاخص شکنندگی سنگ

شاخص شکنندگی (تردی) سنگ با نسبت مقاومت فشاری تک محوری به مقاومت کشش برزیلین تعریف می شود [۲۷]. این شاخص یک پارامتر غیر مستقیم برای ارزیابی قابلیت چالخوری توده سنگ می باشد. در این تحقیق نیز مقاومت کششی برزیلین همراه با مقاومت فشاری تک محوری برای محاسبه شاخص شکنندگی سنگ به کار گرفته شده است. مقاومت کششی برزیلین نیز مطابق با روش پیشنهادی ISRM انجام گرفته است [۳۹]. نسبت قطر به ضخامت نمونه های به کار گرفته شده برای این آزمایش ۲:۱ و نرخ بارگذاری ۲۰۰ نیوتن در ثانیه بوده است. نمونه ها بیشتر در امتداد یک ترک کششی و در محور بارگذاری گسیخته می شدند. اگر در این آزمایش سطوح ترک ایجاد شده از خط مستقیم بین فکها فاصله زیادی داشتند آن آزمایش مردود اعلام می شد.

۴،۴- داده های عملکرد دستگاه TBM

دستگاه TBM بر اساس وضعیت محلی ساختگاه طراحی شده است و در این ارتباط تمامی شرایط ممکن زمین شامل سنگ سخت، خاک نرم و زمین مختلط در نظر گرفته شده اند. پیشروی دستگاه های TBM در سنگهای سخت به میزان نیروی رانشی بستگی دارد چرا که به نیروی بیشتری برای نفوذ در سنگ نیاز دارند. از سوی دیگر توان دستگاه های TBMدر زمینهای نرم محدود می باشد چرا که نیروی غلتشی بیشتری برای نفوذ بیشتر به ازای یک نیروی رانش مشخص، لازم است [۹]. در جبهه کارهای غیرهمگن دستگاه های TBM به دلیل لرزش کله حفاری و ناپایداری جبهه کار، همیشه با موفقیت و به طور مؤثر عمل نمی کنند. برای آنکه تأثیر شرایط زمین شناسی بر عملکرد دستگاه درک شود میزان نیروی رانشی و گشتاور مورد استفاده برای رسیدن به یک نرخ نفوذ مشخص باید اندازه گیری شود. به کلام دیگر، بزرگی نیروی تیغه ها، گشتاور، و نرخ نفوذ باید متناسب با ویژگیهای توده سنگ باشند.

به منظور تحلیل تأثیر شرایط متغیر توده سنگ بر عملکرد دستگاه TBM، پارامترهای کاربری دستگاه (شامل نیروی رانش، گشتاور و دور در دقیقه) باید در نقاطی که برداشت جبهه کار و آزمایشات مقاومتی سنگ انجام شده اند، مورد بررسی و نظارت قرار گیرد. بدین ترتیب تأثیر ویژگیهای توده سنگ بر نرخ نفوذ دستگاه قابل ارزیابی خواهد بود. پارامترهای مورد بررسی و نظارت در تونل های T05 و T06 شامل نیروی رانش، گشتاور، دور در دقیقه، و نرخ نفوذ و دیگر پارامترهای ذکر شده بوده است.

۴،۵- پایگاه داده

مشخصات دستگاه TBM از مدارک ارائه شده توسط سازنده دستگاه جمع آوری شدند. پارامترهای مربوط به کاربری دستگاه می توانند به طور مستقیم توسط کامپیوتر دستگاه ثبت و تحلیل شوند. ویژگی های

توده سنگ از طریق برداشتهای انجام شده در جبهه کار تونل و نتایج آزمونهای آزمایشگاهی جمع آوری گردیدند. پس از جمع آوری کامل داده ها، یک پایگاه داده شامل ویژگیهای توده سنگ، مشخصات TBM و پارامترهای عملکردی TBM تهیه گردید. دسته های داده موجود در این پایگاه داده در جدول ۴ درج شده است. این پایگاه به طور منظم تحلیل شده تا تابع عملکرد مناسبی برای تخمین نرخ نفوذ دستگاه TBM یافت شود.

هر چند برداشت جبهه کار تونل در حین ساخت تونل انجام شده است ولی تنها بخشی از اطلاعات در پایگاه داده ثبت شدند زیرا در برخی از نقاط نمونه های مغزه از سنگ اخذ نشده بود. برخی نتایج آزمایشگاهی نیز در پایگاه داده قرار نگرفتند چرا که نمونه ها در حین آزمایش در امتداد سطوح ضعف مشخص گسیخته شدند. در مجموع تنها ۴۷ دسته داده برای ایجاد مدل مورد استفاده قرار گرفتند. شکل های ۲تا ۵ نمودارهای ستونی ویژگیهای توده سنگ ثبت شده در پایگاه داده را نشان می دهد. این نمودارها دامنه تغییرات و نیز پراکندگی تجمعی هر یک از پارامترها را نشان می دهند. شکل ۲ دامنه تغییرات زاویه میان محور تونل و سطح درزه که بیشتر بین صفر تا ۸۰ درجه قرار داشت را نشان می دهد.

در جاهایی که این زاویه نزدیک به ۹۰ درجه می باشد امکان مشاهده آن در جبهه کار تونل مشکل است. در حالت کلی این زاویه به جز در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درجه به طور یکنواخت توزیع شده است. شکل ۳ نشان دهنده دامنه تغییرات عدد شمارش حجمی درزه (J_V) می باشد که بین صفر تا ۳۰ قراردارد. در بیشتر موارد J_Vدر توده سنگ برداشت شده گرانیتی کمتر از ۱۵ بوده است. این نتایج با مطالعات درزه انجام شده در گرانیت Mandai [۴۱] همخوانی دارد. شکل ۴ دامنه تغییرات مقاومت فشاری تک محوری سنگ را نشان می دهد که بین ۱۰۰ تا ۲۶۰ مگا پا سکال قرار دارد. بیشتر نتایج UCS بین ۱۶۰ تا ۲۰۰ مگاپاسکال قرار دارند که معادل مقاومت فشاری معمول گرانیتهای غیر هوازده در سنگاپور می باشد. شکل ۵ دامنه تغییرات شاخص شکنندگی سنگ را در محدوده ۸ تا ۲۲ نمایش می دهد. ناحیه تناوب زیاد این شاخص بین ۱۴و ۱۶ می باشد. مقاومت فشاری سنگ و شکنندگی سنگ هر دو در یک محدوده خاص متمرکز شده اند زیرا سنگهای طول مسیر این پروژه از جنس گرانیت با درجه هوازدگی متفاوت بوده اند.

۵- مدل پیش بینی کننده ویژگی های نفوذ سنگ برای نرخ نفوذ دستگاه TBM

۵،۱- تحلیل قابلیت حفاری نفوذ سنگ

به دلیل تأثیر مشخصات دستگاه و پارامترهای کاربردی دستگاه TBM، ممکن است نرخ نفوذ در شرایط یکسان توده سنگ متفاوت باشد. به منظور حذف این تأثیرات و به جهت پیدا کردن پارامتری برای ارزیابی قابلیت های حفاری نفوذ سنگ، یک شاخص تحت عنوان چالخوری ویژه توده سنگ (Specific Rock Mass Boreability Index) برای ارزیابی قابلیت های توده سنگ در شرایط مختلف پیشنهاد شده است. این شاخص ویژه عبارت از شاخص چالخوری برای نرخ نفوذی برابر با یک میلیمتر به ازای هر دور چرخش می باشد [۴۲]. شاخص چالخوری ویژه توده سنگ تأثیر پارامترهای عملیاتی دستگاه TBM همچون دور در دقیقه، و نیرو به ازای هر تیغه را حذف می نماید. با این وجود مشخصات دستگاه TBM همچون فاصله میان تیغه ها، قطر تیغه ها، و ضخامت لبه تیغه ها بر روی نرخ نفوذ دستگاه TBM تأثیر گذار می باشد. چالخوری توده سنگ را می توان در یک تونل یا با تونل های مشابه حفاری شده توسط TBM مقایسه و ارزیابی نمود. رابطه میان شاخص چالخوری توده سنگ و شاخص چالخوری ویژه توده سنگ و نرخ نفوذ TBM از طریق رابطه زیر قابل نمایش است:

$$BI \approx BI_{(1)} P^{-0,75} \qquad (۳)$$

در این رابطه BI شاخص چالخوری توده سنگ، $BI_{(1)}$ شاخص چالخوری ویژه توده سنگ و P میزان نفوذ به ازای هر دور چرخش می باشد.

شاخص های چالخوری ویژه توده سنگ بر اساس ویژگی های توده سنگ ثبت شده در پایگاه داده محاسبه گردیده اند. شکل ۶ دامنه تغییرات این شاخص ویژه را که بین ۱۱۰ تا بیش از kN/cutter/ ۲۱۰ mm/rev قرار دارد را نشان می دهد. بیشتر مقادیر بین ۱۳۰ تا ۲۱۰ kN/cutter/mm/rev متمرکز شده اند.

۵،۲- نتایج تحلیل رگرسیون

برای تحلیل رگرسیون چند متغیره داده ها از نرم افزار آماری NLREG Nonlinear Regression Analysis Program استفاده شده است. پس از ایجاد چند مدل متفاوت، بهترین ترکیب ویژگی های نفوذ سنگ برای تخمین شاخص چالخوری ویژه بر اساس داده های موجود در پایگاه داده تعیین شد. این مدل پیش بینی کننده به صورت رابطه زیر نمایش داده می شود:

$$BI_{(1)} = 37.06 UCS^{0,26} B_i^{-0,10} (0,84 e^{-0,05 J_v} + e^{-0,09 \sin(\alpha+30)}) \qquad (۴)$$

که در این رابطه $BI_{(1)}$ شاخص چالخوری ویژه، UCS مقاومت تک محوری سنگ (MPa) B_i شاخص شکنندگی سنگ، J_Vعدد شمارش حجمی درزه و α زاویه میان محور تونل و سطح درزه می باشد. نتایج تحلیلهای آماری نشان می دهد که چهار پارامتر فوق بیشترین تأثیر در مقدار شاخص چالخوری ویژه را دارند. میزان شاخص چالخوری ویژه با مقدار تخمین زده شده آن، در شکل ۷ نشان داده شده است.

۶- تأثیر ویژگی های نفوذ سنگ بر نرخ نفوذ

در این بخش با ترکیب مدل پیش بینی کننده آماری و رابطه بین شاخص چالخوری ویژه و شاخص چالخوری توده سنگ و نیروی رانش، تأثیر ویژگیهای توده سنگ بر نرخ نفوذ تشریح می شود. این نتایج با

نتایج به دست آمده از مدلسازی عددی مقایسه شده اند. از آنجا که مدل رگرسیون بر اساس عملکرد دستگاه TBM در تونل T05 و T06 ایجاد شده است، نیروی رانش به ازای هر تیغه برش معادل ۲۰۰ kN در نظر گرفته شد تا بدین صورت شرایط TBM در حال بهره برداری منعکس شود. شرایط توده سنگ نیز براساس شرایط بارز توده سنگ در این دو تونل انتخاب شده اند.

۶،۱- مقاومت فشاری تک محوری سنگ

با ثابت در نظر گرفته شدن نیروی رانش معادل ۲۰۰ کیلونیوتن به ازای هر تیغه، رابطه میان UCS و میزان نفوذ به ازای هر دور چرخش در شکل ۸ نمایش داده شده است. در این نمودار بیشترین نرخ نفوذ به دلیل محدودیت گشتاور دستگاه و نیز ظرفیت محدود خروج باطله ها، معادل ۱۲ میلیمتر به ازای هر دور چرخش بوده است.

در حالت کلی با افزایش مقدار UCS، نرخ نفوذ کاهش می یابد. مقادیر نرخ نفوذ به دلیل تأثیر UCS دارای پراکندگی زیادی بین ۱ mm/rev تا ۱۲ mm/rev می باشد، که نمایانگر تأثیر قطعی عامل UCS بر نرخ نفوذ دستگاه TBM است.

۶،۲- شاخص شکنندگی سنگ

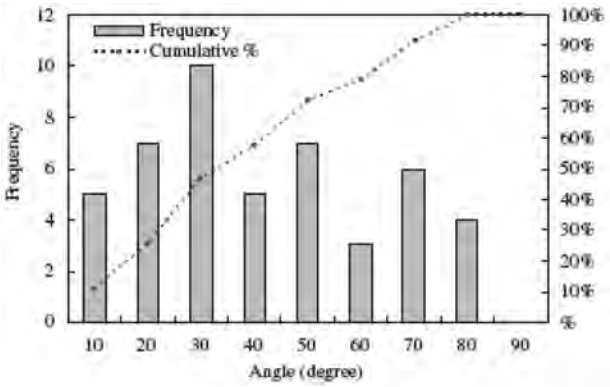
شکل ۹ رابطه میان شاخص شکنندگی و نفوذ به ازای هر دور چرخش را با در نظر گرفتن نیروی رانش ثابت ۲۰۰ kN/cutter نشان می دهد. نرخ نفوذ تقریباً به صورت خطی با افزایش شاخص شکنندگی سنگ، افزایش می یابد. این نتایج با تحلیلهای عددی نیز همخوانی دارد [۲۷]. واضح است که افزایش شاخص شکنندگی سنگ بر فرآیند تضریس تیغه تأثیر می گذارد.

۶،۳- عدد شمارش حجمی درزه

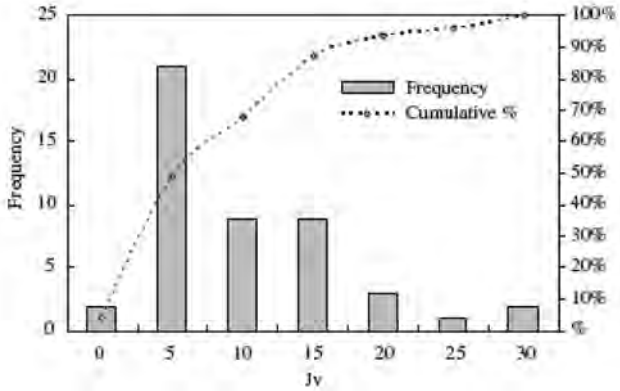
تأثیر عدد شمارش حجمی درزه بر نرخ نفوذ در زمانی که نیروی رانش بر ۲۰۰ kN/cutter ثابت نگه داشته شده بود، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نرخ نفوذ با افزایش عدد شمارش حجمی درزه افزایش می یابد. منحنی را می توان به سه بخش تقسیم نمود: بخش نخست زمانی که مقدار J_V کمتر از ۵ باشد و نرخ نفوذ با افزایش J_V تقریباً به طور خطی افزایش می یابد. بخش دوم مربوط به زمانی است که J_V بین ۶ و ۱۵ باشد که در این دامنه نرخ نفوذ به تغییرات J_V حساس بوده و نرخ نفوذ با افزایش مقدار J_V به صورت تصاعدی افزایش می یابد، و بخش سوم مربوط به مقادیر J_V بالاتر از ۱۵ می باشد که در این بخش نیز نرخ نفوذ با افزایش J_V زیادتر شده ولی نرخ تصاعدی آن بیشتر از بخش اول می باشد. نتایج به دست آمده با مدلهای عددی نیز همخوانی دارد [۲۰]. فاصله داری درزه ها بین ۸۰ تا ۲۰۰ میلیمتر نقاط بحرانی این نمودار می باشد. اگر عدد شمارش حجمی درزه به میزان معادل فاصله

جدول ۴: دسته داده به کار گرفته شده برای مدل پیشبینی کننده.

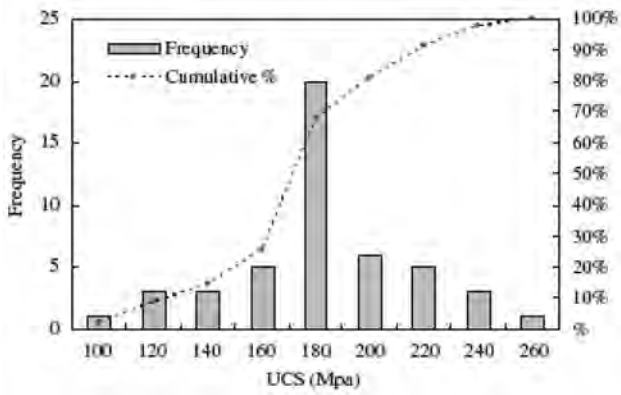
مشخصات TBM	پارامترهای بهره برداری TBM	ویژگی های توده سنگ
- قطر TBM - تعداد تیغه ها - فاصله داری تیغه ها - اندازه و شکل تیغه ها	- نیروی رانش - گشتاور - دور در دقیقه - نرخ نفوذ	- مقاومت فشاری تک محوری - شاخص شکنندگی - فاصله داری درزه ها - جهت داری درزه ها



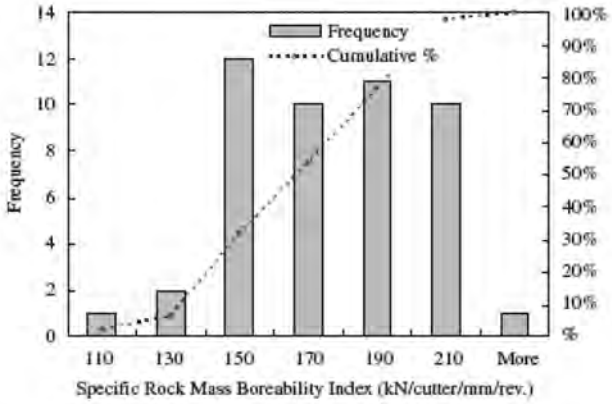
شکل ۲: نمودار ستونی تغییرات زاویه بین محور تونل با سطح درزه.



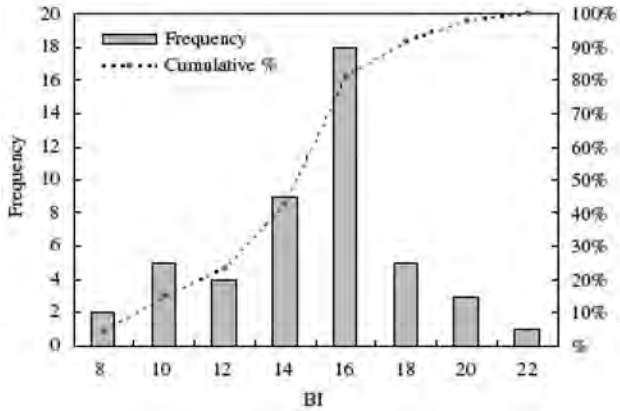
شکل ۳: نمودار ستونی تغییرات عدد شمارش حجمی درزه.



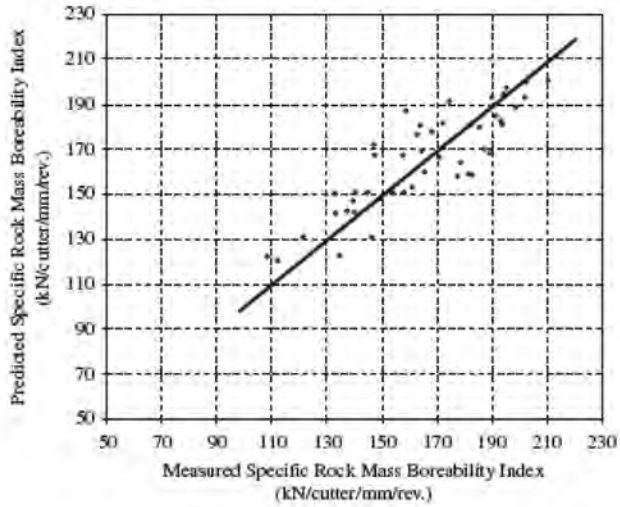
شکل ۴: نمودار ستونی تغییرات مقاومت فشاری تک محوری.



شکل ۶: نمودار ستونی تغییرات شاخص چالخوری توده سنگ.



شکل ۵: نمودار ستونی تغییرات شاخص شکنندگی.



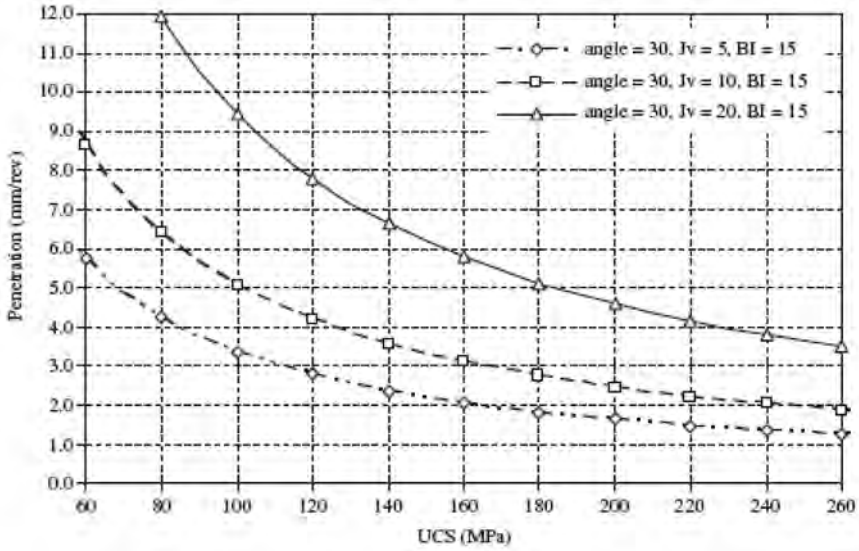
شکل ۷: مقایسه میان شاخص چالخوری واقعی و تخمین زده شده توده سنگ.

داری درزه ها تبدیل شود، می توان تأثیر آن را به صورت شکل ۱۱ و به همراه نتایج مدلسازی های عددی و نتایج Bruland مشاهده نمود. تمامی این نتایج نشان می دهند که به دلیل تأثیر فاصله داری درزه ها میزان نرخ نفوذ می تواند تا بیش از ۹ برابر افزایش یابد. روند هر چهار نمودار یکسان است و مدل پیش بینی کننده پیشنهادی نیز با مدلهای عددی همخوانی داشته و تفاوت اندکی با نتایج Bruland دارد.

تفاوت نتایج مدل جدید و نتایج Bruland ناشی از اختلاف طبقه بندی درزه ها می باشد. در مدل NTNU [۷] ناپیوستگی ها به دو نوع درزه ها (Sp) و ترک ها (St) و پنج دسته تقسیم بندی شده اند. این دو نوع ناپیوستگی به طور مستقل بررسی و مد نظر قرار گرفتند. تاثیر هر دسته از این طبقه بندی ناپیوستگی ها و جهت داری آن بر نرخ نفوذ دستگاه TBM به طور جداگانه تعیین شده است. در این مدل تمامی ناپیوستگی ها به عنوان درزه در نظر گرفته شده و با هم اندازه گیری شده اند. لازم به ذکر است که در حین برداشت جبهه کار، ویژگی های درزه ها از جمله درجه هوازدگی، پرشدگی، و بازشدگی به دلیل کمبود وقت به طور کامل ثبت نشدند. طول درزه ها به دلیل فضای ناکافی در کله حفاری اندازه گیری نشده و در نظر گرفته نشدند. درزه ها در این سنگ گرانیتی اغلب تنگ و یکنواخت بوده و سطوح درزه غیر هوازده بودند. این ویژگی های درزه که مشابه شبیه سازی های عددی بودند، می توانند یکی از جمله دلایل کاهش تاثیر فاصله داری درزه ها بر نرخ نفوذ در مقایسه با نتایج Bruland باشند.

۶،۴- جهت داری درزه

شکل ۱۲ رابطه میان جهت داری درزه ها و نفوذ به ازای هر دور چرخش را تحت نیروی رانش ثابت ۲۰۰ kN/cutter نشان می دهد. این مدل تخمینی نتایجی همانند شبیه سازی عددی و نتایج Bruland را ارائه می دهد. نرخ نفوذ با افزایش زاویه میان محور تونل با سطح درزه بین صفر تا ۶۰ درجه، افزایش یافته و پس از آن با افزایش بیشتر این زاویه،



شکل ۸: تغییرات نفوذ در سنگهای با مقاومت های متفاوت با نیروی رانشی ثابت ۲۰۰ kN/cutter

کاهش می یابد. بیشترین مقدار نرخ نفوذ زمانی به دست می آید که زاویه مذکور برابر با ۶۰ درجه باشد. با این وجود تاثیر زاویه فوق بر نرخ نفوذ کمتر از نتایج خاصل از شبیه سازی عددی و نتایج Bruland می باشد.در پایگاه داده زاویه اختیار شده معادل زاویه بین محور تونل و دسته درزه با کمترین فاصله داری بوده است و از زاویه دیگر دسته درزه ها و درزه های پراکنده ،به دلیل سختی تعیین زاویه معادل برای چند دسته درزه، صرف نظر نموده است. در نتیجه از تاثیر زوایای بین محور تونل با دسته درزه هایی با فاصله داری بیشتر و همچنین درزه های پراکنده صرف نظر شده است. البته در این ارتباط یک منبع خطای دیگر می تواند اندازه گیری های حین برداشت جبهه کار باشد. با توجه به محدودیت فضا در پشت کله حفاری و کمبود زمان، امکان اندازه گیر مستقیم زوایای مذکور وجود نداشت و تنها از طریق مشاهده تخمین زده می شد.

۷- محدودیت های مدل

۷،۱- مشخصات دستگاه TBM

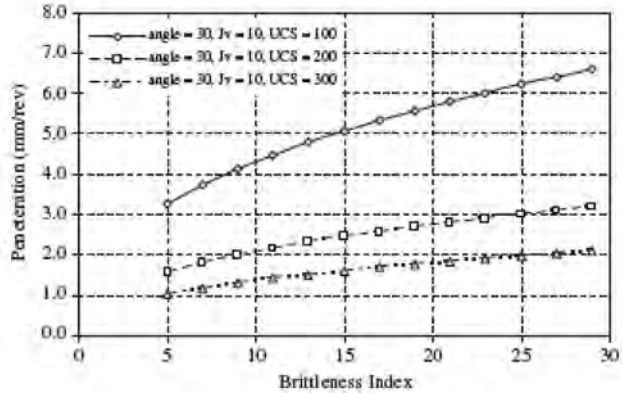
هر چند در مدل ارائه شده نیروی رانش به ازای هر تیغه یک مقدار تعدیل شده و متناسب با تعداد تیغه ها می باشد، ولی با فرض یکسان بودن فشار تیغه ها، میزان تنش وارده بر سنگ جبهه کار تا حد زیادی بستگی به قطر تیغه و ضخامت لبه تیغه دارد. در واقع میزان تنش عامل تاثیرگذار در فرآیند خردایش سنگ می باشد. فاصله داری بهینه تیغه ها در توده سنگ های متفاوت می تواند تاثیر زیادی بر عملکرد دستگاه بگذارد. در مدل ارائه شده مشخصات دستگاه ثابت فرض شده اند و در صورت تغییر هر یک از پارامترها به ویژه قطر تیغه، ضخامت لبه تیغه و فاصله میان تیغه ها، باید مدل فوق را به طور مناسبی اصلاح نمود و تاثیر هر یک از پارامترها نیز در نظر گرفت.

۷،۲- ویژگی های توده سنگ

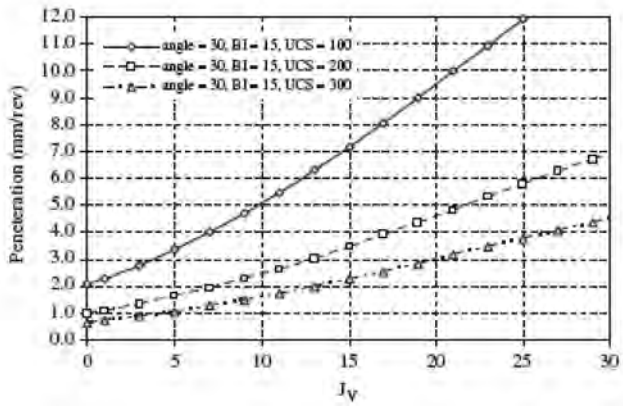
تمامی داده های آماری به کار گرفته شده در مدل تخمینی پیشنهادی مربوط به توده سنگ گرانیتی سنگاپور می باشد. هر چند ویژگی های مربوط به توده سنگ دارای دامنه تغییرات وسیعی می باشد ولی جنس سنگ مربوط به یک سازند گرانیتی بوده و در صورت به کارگیری مدل ارائه شده برای توده سنگی با جنس متفاوت باید به منبع داده ها و تفاوت های آن توجه نمود.

۷،۳- شرایط مرزی

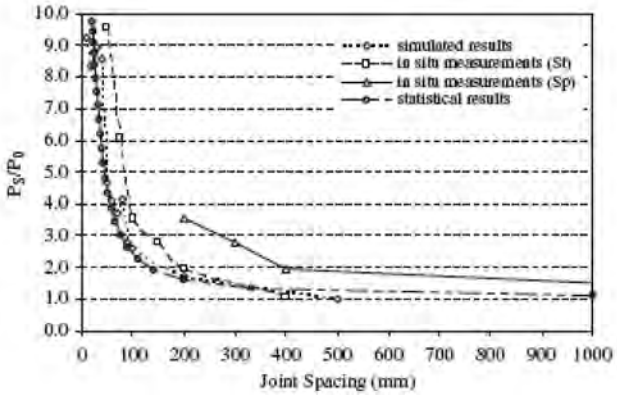
شرایط مرزی شامل تنش برجا و آب زیرزمینی می باشد. آب زیرزمینی یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر نرخ پیشروی می باشد [۳]. ناپایداری در تونل ها اغلب در اثر جریان آب به درون تونل رخ می دهد. ولی این عامل تاثیر ناچیزی بر نرخ نفوذ می گذارد. تنش برجا عاملی است که هم بر نرخ نفوذ و هم بر نرخ پیشروی تاثیرگذار است. در صورتی که تنش برجا به اندازه ای نباشد که باعث بروز تورق در سنگ جبهه کار شود، تنش های وارد بر تیغه های TBM که منجر به ایجاد و انتشار ترک ها می شوند با افزایش تنش محصور کننده، افزایش می یابند [۱۶، ۱۸] و در نتیجه نرخ نفوذ کاهش می یابد. اگر تنش برجا در مقایسه با مقاومت توده سنگ در مقابل تورق، زیاد باشد و سنگ تحت تاثیر تنش اضافی نباشد، احتمال افزایش نرخ نفوذ وجود دارد [۴۴]. بنا به مشاهدات Myrvang و همکارانش [۴۵] و Boniface [۴۶] تنش برجای مناسب در پروژه های تونلی باعث افزایش نرخ نفوذ TBM می شود. در صورت بالا بودن تنش یا بیش تنیدگی سنگ احتمال تورق، پوسته شدن، یا بروز مچاله شوندگی در سنگ وجود دارد که باید از طریق سپر یا سیستم نگهداری مناسب کنترل شود [۴۷، ۴۵]. در چنین حالت هایی نرخ نفوذ و نرخ پیشروی به شدت تحت تاثیر قرار می گیرند. در مدل ارائه شده در این مقاله تنش برجای موجود در تونل ها



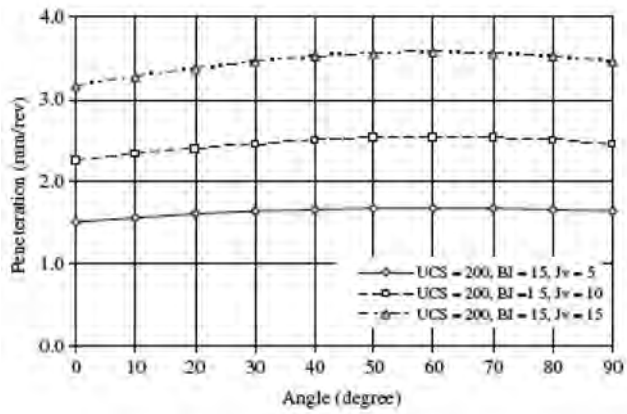
شکل ۹: تغییرات نفوذ در سنگهای با شاخص های شکنندگی متفاوت با نیروی رانشی ثابت ۲۰۰ kN/cutter



شکل ۱۰: تغییرات نفوذ در سنگهای با اعداد شمارش حجمی درزه متفاوت با نیروی رانشی ثابت ۲۰۰ kN/cutter



شکل ۱۱: تاثیر فاصله داری درزه ها بر نرخ نفوذ (Ps و Po به ترتیب نشان دهنده نرخ نفوذ در توده سنگی با فاصله داری درزه s و بدون درزه می باشد).



شکل ۱۲: تغییرات نفوذ در سنگهای با جهت داری درزه متفاوت با نیروی رانشی ثابت ۲۰۰ kN/cutter

نسبت به مقاومت سنگ پایین بوده و مدل وجود تنش های بالا را در نظر نگرفته است. تاثیر تنش برجا بر نرخ نفوذ باید در مطالعات تکمیلی مورد بررسی قرار گیرد.

۸- نتیجه گیری

در متن حاضر فرآیند خردایش سنگ بر اساس ویژگی های تاثیرگذار توده سنگ بر نرخ نفوذ دستگاه TBM مورد بررسی قرار گرفتند. یک مدل کلی شامل ویژگی های توده سنگ شامل مقاومت فشاری تک محوری سنگ، شکنندگی سنگ، و فاصله داری و جهت داری درزه ها برای ارزیابی چالخوری سنگ پیشنهاد گردیده است. به منظور تایید مدل کلی مذکور مطالعات کاملی به منظور ایجاد یک پایگاه داده شامل ویژگی های توده سنگ و عملکرد دستگاه TBM در حین ساخت تونل های فاضلاب عمیق سنگاپور انجام گرفت. با استفاده از برداشت های صورت گرفته در جبهه کار و نتایج به دست آمده از آزمایش های انجام شده بر مغزه های سنگ اخذ شده، ۴۷ دسته داده تکمیل شدند.

با استفاده از تحلیل آماری غیر خطی و چند متغیره یک مدل برای تخمین ویژگی های توده سنگ ارائه گردید. از میان چهار پارامتر به کار گرفته شده در این مدل، مقاومت فشاری تک محوری سنگ و عدد شمارش حجمی درزه بیشترین تاثیر را بر نرخ نفوذ دستگاه TBM می گذارند. میزان نرخ نفوذ با افزایش مقاومت فشاری تک محوری سنگ، کاهش می یابد. میزان نرخ نفوذ با افزایش شاخص شکنندگی سنگ تقریبا به طور خطی افزایش می یابد. علاوه بر این، میزان نرخ نفوذ با افزایش عدد شمارش حجمی درزه نیز افزایش می یابد. همچنین با افزایش زاویه میان محور تونل با سطح درزه، در زمانی که این زاویه کمتر از ۶۰ درجه باشد، بر نرخ نفوذ افزوده شده و پس از آن با افزایش زاویه، کاهش می یابد. با توجه به محدودیت های پایگاه داده لازم است در صورت به کارگیری مدل ارائه شده برای تخمین نرخ نفوذ در پروژه های تونل سازی با شرایط متفاوت، دقت کافی اعمال شود.

منابع

به فهرست منابع در اصل مقاله رجوع شود.

تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری اولیه تونلهای دو قلوی متروی اصفهان

حد فاصل ایستگاه آزادی–شریعتی درمقطع آبرفتی

سید محمد علی فاتحی، کارشناس ارشد معدن – استخراج

چکیده

موضوع مقاله، تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری اولیه تونلهای دوقلوی متروی اصفهان حد فاصل ایستگاه آزادی و شریعتی می باشد که با استفاده از روشهای عددی صورت گرفته است. با توجه به گسترش شهر ها و افزایش جمعیت ، نیاز به حمل ونقل عمومی سریع و کم هزینه از جمله مترو روز به روز بیشتر احساس می شود. تحلیل پایداری این فضاها که در اکثرموارد در زیر زمین می باشد به دلیل جلوگیری از خسارات جانی و مالی در اولویت ساخت دست اندر کاران می باشد . از جمله موارد در این امر طراحی سیستم نگهداری کار آمد با توجه به شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژی می باشد. در رسیدن به این اهداف راههای مختلفی را پیش رو داریم که سریعترین و دقیق ترین آنها روشهای عددی می باشد که از جمله می توان به روش تفاضل محدود ا شاره کرد .در چند سال اخیر به یمن استفاده از کامپیوتر برای انجام دقیق تر و سریعتر امور، کاربرد نرم افزار های پیشرفته برای تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری با استفاده از روش های عددی افزایش چشمگیری داشته است.

مقدمه

تونل سازی در محدوده های شهری به طور فزاینده ای افزایش یافته است و بیشتر این تونل سازی ها در سنگهای ضعیف و یا شاید پردرزه وشکاف انجام می شود. بر خلاف سنگ‌های مستحکم که مسائل ناپایداری و گسیختگی درآن‌ها، از طریق مشخصات ساختاری، ناپیوستگیها، گسلها و درزه ها کنترل می‌شود، اما تونل سازی در سنگهای ضعیف علاوه بر عوامل ذکر شده توجه ویژه به خصوصیات ژئومکانیکی الزامیست. از جمله مسائل مهم در طراحی و اجرای تونل ها در زمین هایی با مشخصات ژئومکانیکی پائین، جلوگیری از گسترش بیش از حد ناحیه پلاستیک در بخش فوقانی فضای حفاری شده می باشد که ممکن است موجب ریزش شده و قسمت حفاری شده را پر کند. از این رو تعیین میزان پیشروی، زمان اجرای حفاری و نصب پوشش اولیه مناسب از جمله موارد مهم در طراحی این قبیل سازه ها می باشد که با اجراء و طراحی مناسب می توان از بروز حوادث و مشکلات مذکور جلوگیری کرد. روش معمول و مرسوم در مهندسی سنگ، این است که ابتدا فضای زیر زمینی بدون وجود سیستم نگهدارنده تحلیل می شود و مکانیسم ریزش، منطقه تسلیم و غیره مشخص می گردد و در نهایت با توجه به موارد فوق الذکر، سیستم نگهدارنده مورد نیاز طراحی می شود.

۱- مدل در مقطع آبرفتی

با توجه به مشخصات زمین شناسی منطقه در محیط آبرفتی، انتظار می رود که در این مقطع میزان جابجایی های خاک و احتمال ایجاد گسیختگی و یا بروز ریزش بیشتر از سایر مقاطع باشد، لذا در چنین محیطی باید تمهیدات خاصی برای طراحی سیستم نگهداری در نظر گرفته شود. جدول ۱ پارامترهای مقاومتی آبرفت موجود در محدوده اجرای پروژه قطعه میانی متروی اصفهان را نشان می دهد. در این

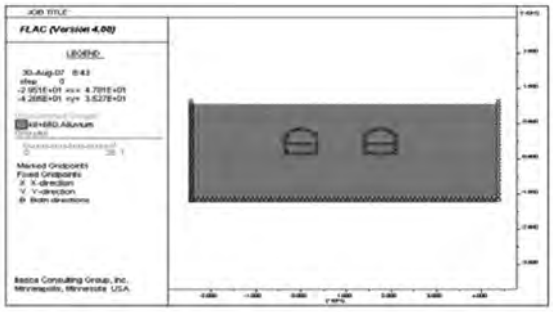
جدول علاوه بر ارائه اطلاعات لازم، در ستون آخر نیز پیشنهاد گروه مشارکت در محدوده مورد مطالعه، به عنوان جمع بندی ارائه شده است.

جدول ۱- جمع بندی پارامترهای
ژئوتکنیکی خاک آبرفت در محدوده طرح

پارامتر	زمین آوران فن	آزمونه فولاد	سازین پژوه	حداقل محتمل (آنالیز معکوس)	پیشنهاد گروه مشارکت
C (kg/cm^2)	۰/۳-۰/۷	-	۰/۵	>۰/۶	۰/۵
(deg)φ	۳۰-۴۰	-	۳۵	>۳۱-۳۲/۵	۳۵
Em (kg/cm^2)	۴۰۰-۱۰۰۰	-	۸۰۰	>۴۲۰	۶۵۰
γ_t (gr/cm^3)	۲/۱۵	۲/۱	۲/۱۵	-	۲/۱
υ	۰/۳-۰/۲۵	۰/۳	۰/۳	-	۰/۳

۲- مدل سازی با نرم افزار FLAC^{2D}

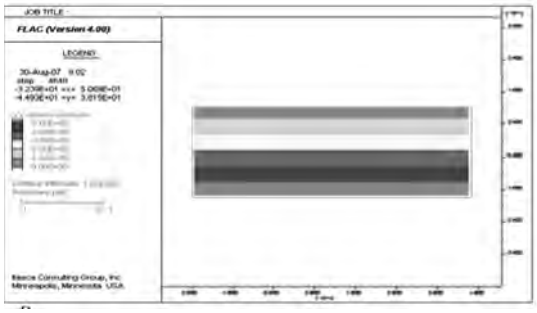
جهت تعیین پوشش اولیه از روش همگرایی- همجواری و رسم منحنی مشخصه زمین (grc) با کمک نرم افزار FLAC^{2D} استفاده شده است.



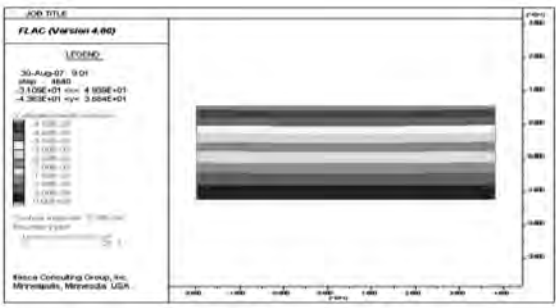
شکل۱- ابعاد مدل ایجاد شده در نرم افزار برای مقطع آبرفت(رسم شده توسط نرم افزار FLAC^{2D})

باتوجه به اصول مدل سازی عددی و همچنین ترتیب عملیات اجرایی، مراحل مدل سازی با برنامه FLAC^{2D} به ترتیب زیر صورت گرفته است:

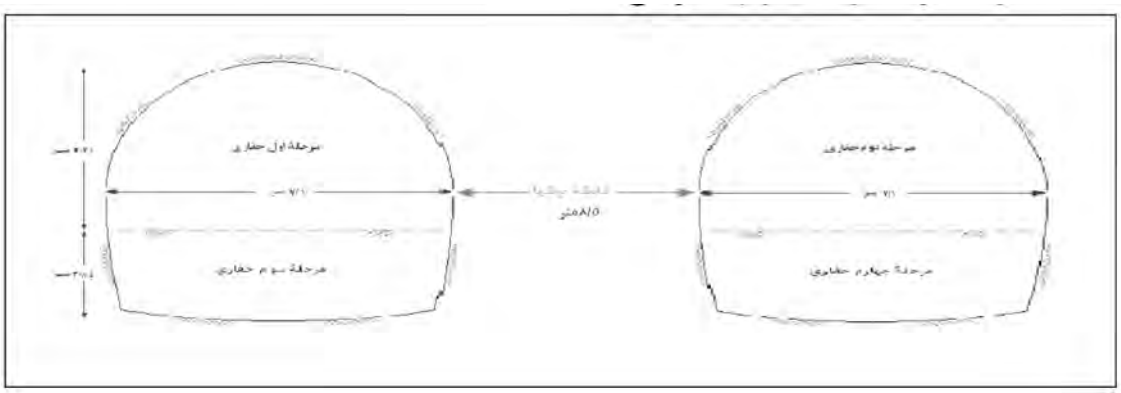
۱- انتخاب محدوده مناسبی از توده سنگ اطراف تونل
۲- انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن
۳- ترسیم هندسه تونل (شامل هندسه مقطع تونل و بخش های مختلف حفاری)
۴- حل مدل و به تعادل رساندن آن قبل از حفاری
۵- حفاری بخش های مختلف تونل و نصب سیستم نگهداری موقت و



شکل ۳- کنتورهای جابجائی عمودی قبل از حفاری تونل(رسم شده توسط نرم افزار FLAC۲D)



شکل۴- کنتورهای تنش عمودی قبل از حفاری تونل (رسم شده توسط نرم افزار FLAC^{2D})

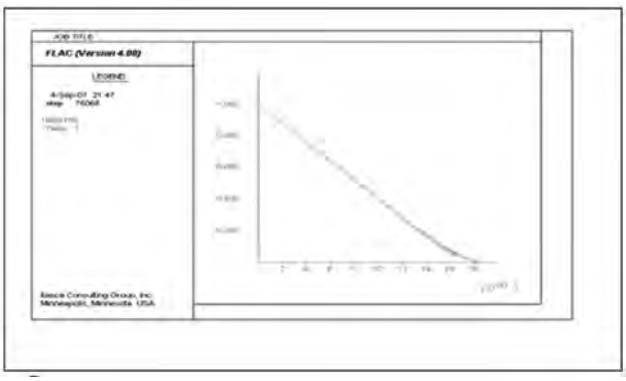


شکل ۲- مشخصات هندسی به همراه مراحل مختلف حفاری برای دو تونل

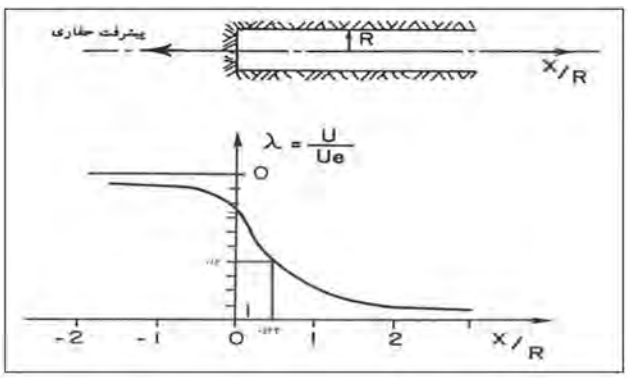
تحلیل پایداری آن.
در صورتی که ابعاد مدل حدود ۸ تا۱۰ برابر ابعاد حفره باشد تحت شرایط مرزی متفاوت درصد خطاها به حداقل ممکن (حدود ۰/۵ درصد) کاهش خواهد یافت. شکل ۱ ابعاد مدل ساخته شده برای مقطع آبرفتی را در نرم افزار $FLAC^{2D}$ نشان می دهد.
قطار شهری اصفهان حدفاصل ایستگاه شریعتی ـ ایستگاه آزادی بخشی از خط شمالی ـ جنوبی می-باشد که به صورت دو قلو (یک تونل رفت و یک تونل برگشت) طراحی و اجرا خواهند شد. فاصله بین دو ایستگاه تقریبا ۶۲۰ متر ، مساحت سطح مقطع هر تونل ۳۴/۲۶ متر مربع عرض وارتفاع هر یک از تونلها ۷/۱ متر و فاصله مرکز به مرکز تونلها ۱۵/۵ متر می باشد. شکل های ۲ مشخصات هندسی به-همراه مراحل مختلف حفاری به ترتیب برای دو تونل نشان می دهد.
از آن جایی که قبل از حفاری تونل، زمین در تعادل قرار دارد و حفر تونل باعث ایجاد اغتشاش در وضعیت تنش ها و جابه جائی ها می شود، لازم است تا قبل از حفاری، مدل را با توجه به خصوصیات ژئومکانیکی، شرایط مرزی و تنش های برجای تعریف شده حل کرده و پس از به تعادل رساندن مدل جابه جائی ها در گره ها صفر شود. شکل های۳و ۴به ترتیب کنتورهای جابه جائی قائم وتنش عمودی را قبل از حفر تونل، برای مقطع آبرفتی در شرایط طبیعی متعادل نشان می دهد.

۲-۱- حفاری تونل و نصب سیستم نگهداری اولیه مقطع آبرفتی در نرم افزار $FLAC^{2D}$

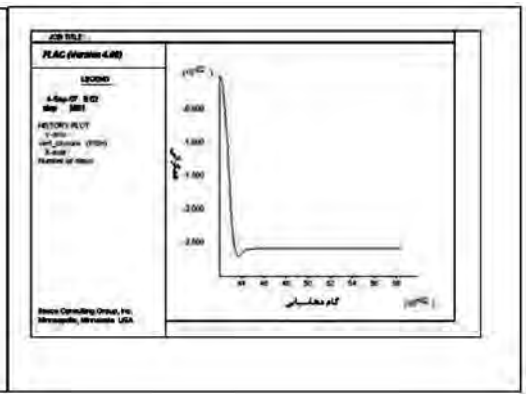
رسم منحنی مشخصه زمین(grc) با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، تعیین میزان نرخ ناهمجواری از روی نمودار پانه و اعمال ترخیص تنش معادل با همگرائی ایجادشده تا قبل از استقرار پوشش اولیه در مدل عددی، می تواند مسئله بعد سوم که همان تأثیر گام پیشروی و فاصله جبهه کار از سیستم نگهداری است را در مسائل دو بعدی حل کند.
برای تعیین سیستم نگهداری اولیه مناسب و به منظور حفظ پایداری فضای حفاری شده و کمک به ایجاد تعادل جدید در زمین از روش همگرایی- همجواری و رسم منحنی مشخصه زمین با کمک نرم افزار $FLAC^{2D}$ برای بخش نخست حفاری (قسمت بالای تونل سمت چپ) به ترتیب مراحل زیر عمل می شود:
الف) انتخاب گام پیشروی و فاصله جبهه کار از پوشش:
در این طرح باتوجه به شرایط اجرائی و خصوصیات ژئومکانیکی، میزان گام پیشروی و فاصله جبهه کار از سیستم نگهداری اولیه ۱/۵ متر در مقطع کاملا در آبرفت انتخاب شده است.
ب) رسم منحنی مشخصه زمین:
در این بخش با استفاده از نرم افزار $FLAC^{2D}$ منحنی مشخصه زمین برای بخش نخست حفاری رسم شد. ماکزیمم جابه جائی به دست آمده از منحنی مشخصه زمین برای مقطع کاملا در آبرفت با توجه به ترخیص کامل تنش، ۱۸/۱ میلی متر برآورد شده است.
ج) اعمال ترخیص تنش معادل با همگرائی به وجود آمده تا لحظه استقرار پوشش:
سومین مرحله از طراحی سیستم نگهداری اولیه تونلهای دوقلوی متروی اصفهان (حدفاصل ایستگاه آزادی – شریعتی) اعمال ترخیص تنش معادل با همگرائی به وجود آمده تا لحظه استقرار پوشش می باشد. برای محاسبه ترخیص تنش معادل با همگرائی به وجود آمده تا لحظه استقرار پوشش گام های محاسباتی به ترتیب زیر انجام شده است:
گام ۱- تعیین همگرایی و نرخ ناهمجواری برحسب فاصله تا جبهه کار
با تعیین همگرایی بر حسب فاصله تونل تا جبهه کار، می توان وضع نسبی بارها و جابه جائی به دست آمده از پیشروی جبهه کار را مشخص کرد. چشم پوشی از سهم همگرایی که تا لحظه استقرار پوشش به وجود می آید، نه تنها منجر به زیاد به حساب آوردن نیروی پوشش می شود، بلکه زمین و تعادل نهایی آن را هم آن طوری که باید منظور نمی کند. رفتار همگرایی تونل برحسب فاصله جبهه کار را می توان در حالت دو بعدی و با کمک نمودار پانه (شکل ۶) به دست آورد. این منحنی نرخ ناهمجواری (نرخ ناهمجواری U/Ue معادل است با نسبت جابه جائی به وجود آمده تا لحظه استقرار پوشش به جابه جائی ماکزیمم در اثر اعمال ترخیص تنش کامل) را برحسب فاصله تا جبهه کار حفاری نشان می



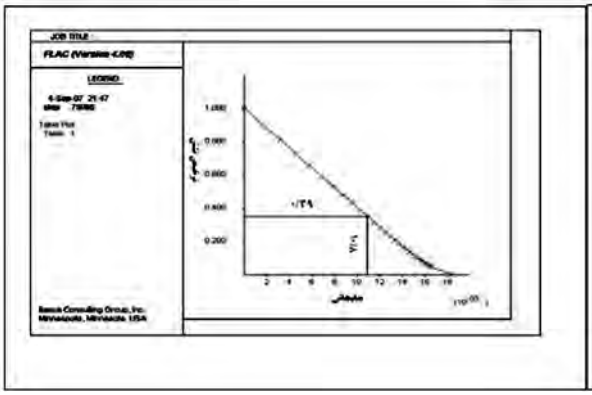
شکل ۵- منحنی مشخصه زمین برای مقطع آبرفت (رسم شده توسط نرم افزار FLAC۲D)



شکل ۶- تغییرات نرخ ناهمجواری بر حسب فاصله از جبهه کار



شکل ۷- تعیین میزان ترخیص تنش از روی نمودار GRC برای مقطع آبرفتی (رسم شده توسط نرم افزار $FLAC^{2D}$)



شکل ۸- همگرائی در بخش نخست حفاری برای مقطع آبرفتی (رسم شده توسط نرم افزار $FLAC^{2D}$)

دهد. مقدار نرخ ناهمجواری برای بخش نخست حفاری از روی نمودار پانه و با توجه به نسبت فاصله جبهه کار از پوشش به شعاع تونل ، برابر با ۰/۶ محاسبه شده است.

با توجه به مقادیر ماکزیمم جابه جائی به وجود آمده در طاق تونل در اثر ترخیص کامل تنش، مقدار جابه جائی به وجود آمده در اثر پیشروی جبهه کار (U) باتوجه به نرخ ناهمجواری برای مقطع آبرفت برابر ۱۰/۸ میلی متر تعیین شد.

گام ۲- تعیین مقدار ترخیص تنش باتوجه به شکل ۷و بررسی های انجام شده میزان ترخیص تنش اعمالی به مدل برای مقطع آبرفتی (معادل با ۱۰/۸ میلی متر جابه جائی)، ۶۱ درصد محاسبه شد. شکل ۸ میزان همگرائی به وجود آمده در بخش نخست حفاری در نتیجه ترخیص تنش ۶۱ درصد برای مقطع آبرفتی را نشان می دهد.

گام ۳- اعمال ترخیص تنش و بررسی پایداری فضای حفاری

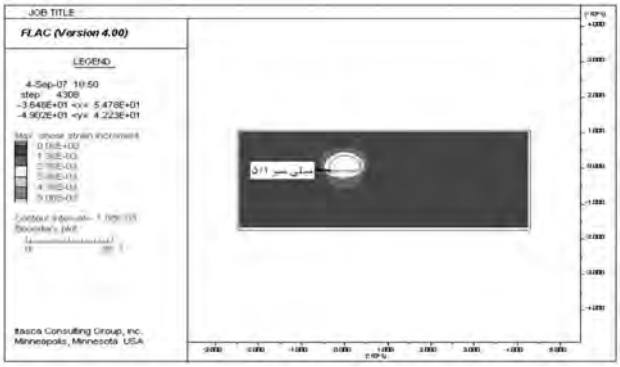
شکل ۹ کرنش های برشی به وجود آمده در اطراف تونل را برای مقطع آبرفتی در اثر اعمال ترخیص تنش نشان می دهد. برای ارزیابی پایداری فضای حفاری از رابطه ۱ که توسط ساکورایی در سال ۱۹۸۶ ارائه شد، استفاده شده است. این رابطه کرنش بحرانی در حالت فشاری محصور نشده در اطراف تونل (ε_c) را برحسب مدول الاستیسیته محیط (E) بیان می کند. از آن جا که توده سنگ تحت تنش سه-محوره قرار دارد، استفاده از ماکزیمم کرنش برشی برای ارزیابی پایداری تونل منطقی تر به نظر می رسد. ساکورائی و همکارانش در سال ۱۹۹۴ رابطه۲ را برای محاسبه کرنش برشی بحرانی در حالت سه محوری (γ_c) با استفاده از کرنش بحرانی در حالت فشاری محصور نشده و نسبت پواسون(ν) پیشنهاد کردند:

$$\log \varepsilon_c = -0.25 \log E - 1.22 \qquad (۱)$$

$$\gamma_C = (1+\nu)\varepsilon_C \qquad (۲)$$

$$\log \varepsilon_c = -0.25 \log E - 1.22 \Rightarrow \varepsilon_c = 12e-3$$

$$\gamma_C = (1+\nu)\varepsilon_C \Rightarrow \gamma_C = 15.6e-3$$



شکل ۹- کرنش برشی در اطراف تونل برای مقطع آبرفتی

در شکل ۹ حداکثر کرنش های برشی به وجود آمده در اطراف فضای حفاری برابر با $۵/۱\times۱۰^{-۳}$ متر می باشد که به دلیل کم بودن مقادیر کرنش برشی به وجود آمده در اطراف تونل نسبت به مقادیر محاسبه

جدول۲- مشخصات سیستم نگهداری اولیه و نیروها و گشتاور خمشی به وجود آمده در مراحل مختلف حفاری در مقطع آبرفت

مراحل	مشخصات سیستم نگهداری اولیه	T_{max} KN	M_{max} KN-m	V_{max} KN
مرحلهٔ اول	۲۵ سانتی‌متر شاتکریت تر + مش + Lattice Girder۲۵ در فواصل ۱/۵ متر	۱۴۹/۵	۶/۳۸	۷/۵۳
مرحلهٔ دوم	۲۵ سانتی‌متر شاتکریت تر + مش + Lattice Girder۲۵ در فواصل ۱/۵ متر	۱۵۵/۲	۹/۸	۸/۷۲
مرحلهٔ سوم	۲۵ سانتی‌متر شاتکریت تر + مش + Lattice Girder۲۵ در فواصل ۱/۵ متر	۲۶۵/۱	۳۶/۰۴	۳۹/۴۴
مرحلهٔ چهارم	۲۵ سانتی‌متر شاتکریت تر + مش + Lattice Girder۲۵ در فواصل ۱/۵ متر	۲۴۴/۲	۳۸/۶۱	۴۰/۱۷

شده از روابط ساکورائی ، می توان چنین استنباط کرد که فضای حفاری تحت تأثیر ترخیص تنش اعمالی، پایدار می ماند.

د) تعیین نیروها و گشتاور خمشی به وجود آمده در پوشش اولیه تونل در مقطع آبرفتی:

نصب نگهداری و تعیین سطح مقطع و ممان اینرسی در پوشش اولیه تونل باتوجه به تحلیل های انجام شده پوشش اولیه مناسب برای مقطع آبرفتی ۲۵ سانتی متر شاتکریت به همراه Lattice Girder۲۵ و مش در فواصل ۱/۵ متری پیشنهاد شد. نیروهای محوری و برشی وارده بر پوشش و گشتاور خمشی به وجود آمده در مقطع پوشش اولیه به همراه مشخصات سیستم نگهداری (بدست آمده ازنرم افزار $FLAC^{2D}$) در مراحل مختلف حفاری در جدول های ۲ درج شده است.

۲-۲- تحلیل پایداری سیستم نگهداری اولیه در مقطع آبرفتی

. به منظور کنترل نیروها و گشتاور خمشی ایجاد شده در مقطع پوشش اولیه از روش تنش مجاز استفاده شده است. برای کنترل نیروهای برشی وارده در پوشش از رابطه ۳ استفاده شده است.

$$V_n=V_s+V_c \qquad (۳)$$

در این رابطه Vn مقاومت برشی اسمی یک مقطع مسلح، Vc مقاومت برشی تأمین شده توسط شاتکریت و Vs مقاومت برشی تأمین شده توسط Lattice Girder۲۵می باشد که برای محاسبه مقاومت برشی شاتکریت و Lattice Girder۲۵ می توان از رابطه های ۴ و۵ استفاده کرد.

$$V_c = 0.45\sqrt{f_c'}\,b_w d \qquad (۴)$$

$$V_s = 0.34 f_y A \qquad (۵)$$

در رابطه ۴ f_c' مقاومت فشاری بتن و b_w و d به ترتیب عرض و ارتفاع مقطع تحت برش می باشند. در رابطه ۵ f_y و A به ترتیب مقاومت تسلیم فولاد و سطح مقطع تحت برش می باشند. با توجه به اینکه Lattice Girder۲۵ و مش به عنوان سیستم نگهداری سازه ای محسوب نمی شوند و در محاسبه مقاومت برشی کل، مقاومت ایجاد شده توسط آنها اعمال نمی-شود.برای کنترل نیروی برشی در مقطع آبرفت با توجه به ضخامت شاتکریت تر ۲۵ سانتی متری و عرض مفروض ۱ متر f_c' =۲۱۰kg/cm۲ و در نتیجه:

$$V_n = V_c = 0.45 \times \sqrt{210} \times 25 \times 100 = 16.31 ton$$

باتوجه به این که نیروهای برشی وارد شده به پوشش اولیه در مقطع آبرفتی کم تر از مقاومت برشی پوشش می باشد، می توان استنباط کرد که پوشش تحت نیروی برش وارده پایدار می باشد. در ادامه با

مدل سازی مقطع مورد نظر و اعمال نیروی محوری و گشتاور خمشی (محاسبه شده توسط نرم افزار FLAC۲D) در نرم افزار PCAcol، مقدار ضریب اطمینان برای مراحل مختلف حفاری تعیین شد. این نرم افزار با توجه به مشخصات سیستم نگهداری طراحی شده در مقطع مورد نظر با اعمال حداکثر نیروی محوری وگشتاور خمشی وارد شده بر پوشش میزان حداقل فاکتور ایمنی را محاسبه می کند. نتایج حاصل شده از این بررسی ها برای مقطع آبرفتی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- ضریب اطمینان پوشش اولیه
در مراحل مختلف حفاری

مراحل حفاری	ضریب اطمینان
حفاری مرحله ۱و۳	۳/۸۳
حفاری مرحله ۲و۴	۳/۴

۳- بررسی نتایج

الف- با توجه به شرایط زمین شناسی ، ژئومکانیکی و اجرائی در این مقطع و سست و خاکی بودن زمین، میزان گام پیشروی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد.

ب- سیستم نگهداری به کار رفته در این مقطع شامل ۲۵ سانتیمتر شاتکریت، Lattice Girder۲۵ و مش (۵ =Ø) در فواصل ۱/۵ متری طراحی شد.

ج- میزان ترخیص تنش اعمالی تا قبل از نصب سیستم نگهداری با استفاده از نمودار پانه و نسبت فاصله جبهه کار از پوشش، ۶۱ درصد در نظر گرفته شد.

د- با استفاده از فرمولهای ساکورایی در اثر ترخیص تنش اعمالی، تونل پایدار می باشد و کرنش برش اعمالی در تونل کمتر از حالت بحرانی می باشد.

ه- تحلیل های انجام شده بر روی نیروهای برشی حداکثر وارد بر پوشش اولیه در مراحل مختلف حفاری بدست آمده از نرم افزار $FLAC^{2D}$ با استفاده از روش تنش مجاز نشان می دهد که تونل پایدار می باشد.

و- نیروهای محوری و گشتاور خمشی حداکثر وارد بر پوشش اولیه در مراحل مختلف بدست آمده از نرم افزار $FLAC^{2D}$ و با استفاده از نرم افزار PcAcole حداقل میزان فاکتور ایمنی در تونل ۱ و ۲ به ترتیب ۳/۸۳ و ۳/۴ می باشد.

۴- پیشنهادات

الف- با توجه به تحلیل های انجام شده و در اثر ممارست کار با نرم افزار $FLAC^{2D}$ برای جلوگیری از ایجاد گسیختگی والقای تنش مضاعف در اطراف فضای حفاری شده در هنگام حفاری حتی المقدور از ایجاد نقاط نوک تیز به خصوص در هنگام کف برداری خودداری شود و به کارگران در این زمینه آموزش لازم داده شود.

ب- در هنگام اتصال سیستم نگهداری کف (bench) به سیستم نگهداری تاج، در اتصال Lattice Grider دقت لازم به عمل آید تا باعث القای لنگر ویا نیروی برش در شاتکریت نگردد.

ج- برای جلوگیری از القای بیش از حد نیروی محوری بر سیستم نگهداری تاج در هنگام کف برداری، زمان نصب سیستم نگهداری در قسمت کف تا حد امکان کاهش یابد.

مراجع

[1]-Itasca Consulting Group. (1992). Flac version 3. 0 User's manual، Minneapolis

[2]-Itasca Consulting Group. (1999). Flac version 4.10 User's manual، Minneapolis

[3]-Itasca Consulting group. (2001). FLAC2D version4 user manual Lined Tunnel Construction in Saturated Ground.

[4]Sakurai، S. (1997). Lessons Learned from Field Measurements in Tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology، Vol. 12، No. 4، pp. 453-460، 1997

[5]Chehade F Hage، Shahrour I، (2007). Numerical analysis of the interaction between twin-tunnels: Influence of the relative position and construction procedure، science direct Publisher. pp 1-5

[۶] فهیمی فر،احمد،(۱۳۷۹).سازه های زیر زمینی در سنگ،نشر جهاد دانشگاهی

[۷] هوک اورت (۲۰۰۰)،طاهریان عبدالرضا، (۱۳۸۱). مهندسی سنگ کاربردی، انتشارات دهخدا

[۸] وفاییان، محمود، (۱۳۷۶).خواص مهندسی سنگها(تئوریها و کاربرد های اجرایی) ،نشر ارکان اصفهان

[۹] بهنیا، ابوالحسن و بهنیا، کامبیز (۱۳۷۳). بناهای زیرزمینی طراحی- اجرا- نگهداری ، انتشارات دانشگاه تهران

[۱۰] کی نیا، امیرمسعود. (۱۳۸۴). آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان

[۱۱] میکاییل، رضا، (۱۳۸۶). تحلیل پایداری تونل راه آهن کوهین محور قزوین- رشت- بندرانزلی، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۱۲] مهندسین مشاور کاوشگران، (۱۳۸۵).گزارش مطالعات زمین شناسی، هیدروژئولوژی و آزمایشهای ژئوتکنیک

مدل CSM کامپیوتری جهت پیش‌بینی عملکرد TBM

امیرعبداله ایران زاده- کارشناس ارشد مکانیک سنگ- شرکت خدمات مهندسی برق (مشانیر)
A.Iranzadeh@Moshanir.com

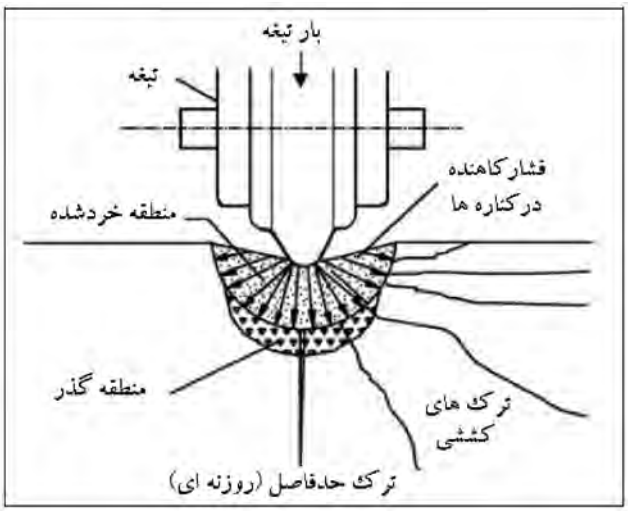
متن حاضر ترجمه مقاله زیر می باشد:
Ozdemir, L., 2003, "CSM Computer Model for TBM Performance Prediction" In: Soft Ground and Hard Rock Mechanical Tunneling Technology Seminar, Colorado School of Mines (CSM), March 2003.

۱- پیش‌زمینه

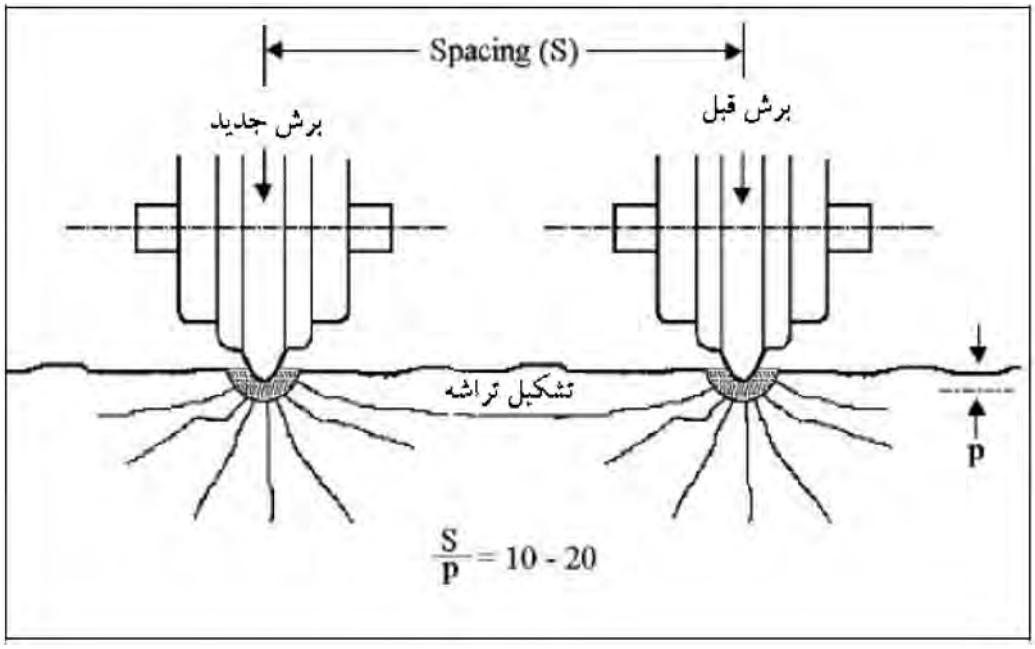
مدل CSM برای پیش‌بینی عملکرد TBM توسط انستیتوی مکانیک زمین (EMI) و در زمانی نزدیک به ۲۵ سال توسعه یافته است. تلاشها جهت توسعه مدل CSM با تحلیل نظری نفوذ تیغه در سنگ بدون هر گونه برش جانبی یا سطح آزاد آغاز شد. همانطور که درشکل ۱ نشان داده شده است، در قدم اول درک میدان تنش و ترکها و شکستگی‌های ناشی از آنها که در زیر لبه فرو رونده تیغه ایجاد می‌شوند، مهم و دشوار است. بطور مقدماتی، تحلیل ها بر مقاطع V شکل تیغه‌ها متمرکز بود، ولی بعدها به دلیل استاندارد شدن مقطع ضربدری ثابت (CONSTANT – CROSS) در صنعت ساخت تیغه‌ها، تحلیل ها تغییر یافت. نظریه‌های مختلف قبلی که از نفوذ تیغه درسنگ بدست آمده‌اند به عنوان راهنما استفاده می‌شوند. این تحلیل ها به تایید وقوع زون خردشده با تنش بالا و ترکهای کششی شعاعی در هنگام نفوذ تیغه درسنگ کمک می‌کند.

مرحله بعد، توسعه و بسط تحلیل های انجام شده در حالت تک تیغه‌ای به حالت تیغه‌های چندگانه به منظور شبیه‌سازی برهمکنش مسیر برشهای همجوار برTBM است. این بدین معنی است که یک سطح آزاد (برش) در یکی از کناره‌های تیغه وجود دارد که باعث ایجاد تراشه می‌شود، این موضوع در شکل ۲ نشان داده شده است. در این حالت، سنگ زیر تیغه‌ها مجدداً تا حد پودر خرد می‌شود، این بخش تحت تاثیر تنش هیدرواستاتیک است، و باعث ایجاد ترکهای شعاعی می‌شود که از این بخش خردشده بصورت شعاعی جدا شده‌اند و «قوس فشار» نامیده می‌شود. با افزایش فشار که باعث توسعه این ترک‌ها می‌شود، یکی یا بیشتر از آنها به برش جانبی رسیده، و باعث شکستگی سنگ و ایجاد تراشه می‌شود. تحلیل دقیقتر تشکیل تراشه با استفاده از فیلمبرداری سرعت بالا در هنگام برش و بررسی سطح تراشه به این نتیجه منجر می‌شود که شکست سنگ در کشش اتفاق می‌افتد. به عنوان یک نتیجه، در فرمول‌بندی اولیه مدل CSM، مقاومت‌های فشاری و کششی به عنوان ورودی جهت تشخیص قابلیت برش سنگ توسط تیغه‌های دوار گردان استفاده شده‌اند. مقاومت فشاری برای توضیح خردشدگی سنگ در زیر نوک تیغه وقتی که مقاومت کششی برای تشکیل تراشه در بین دو تیغه مجاور استفاده می‌شود، به کار می‌رود. از این رو، با استفاده از این دو خاصیت سنگ، یک همبستگی بین نیروی فشاری تیغه و عمق نفوذ و به صورت تابعی از هندسه لبه تیغه و قطر تیغه به دست می‌آید.

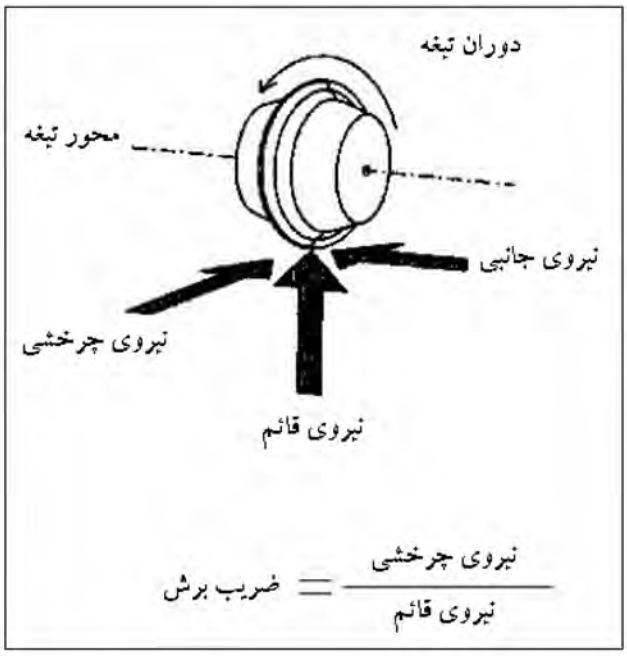
با ایجاد و توسعه رابطه بین نیروی رانش تیغه و نفوذ، نیروی دورانی تیغه با استفاده از یک نسبت، تحت عنوان ضریب تیغه، محاسبه می‌شود. شکل ۳ نمایش‌دهنده سه نیروی برشی است که برلبه تیغه دوار درهنگام حفاری وارد می‌شوند.



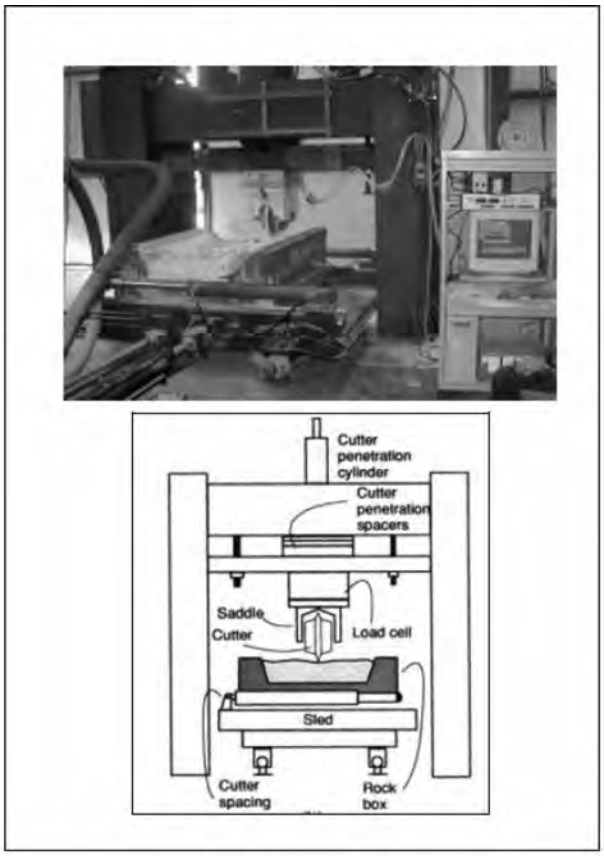
شکل ۱- میدان تنش القایی ناشی از بارتیغه و ترک های ایجاد شده



شکل ۲- فرآیند ایجاد تراشه دربین دو تیغه



شکل ۳ـ نیروهای وارد بر یک تیغه

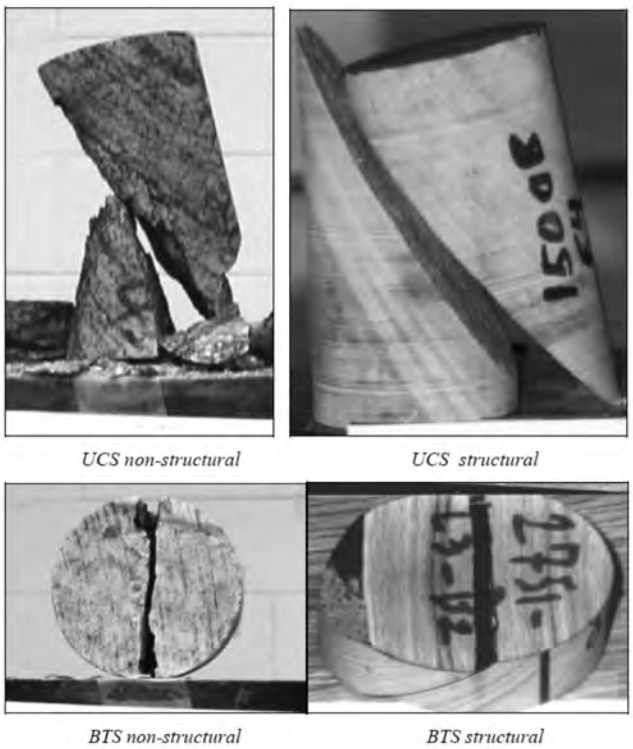


شکل ۴- ماشین و تجهیزات آزمایش در روش LCM.

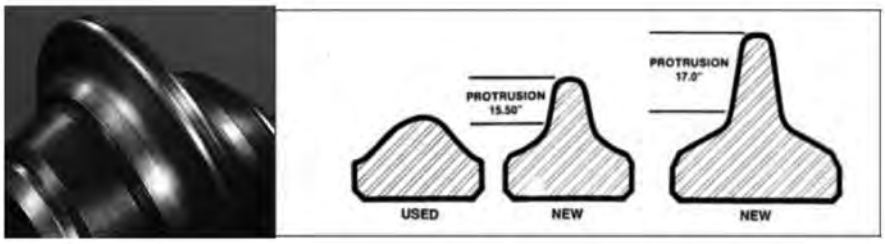
۲- پیش‌گویی و پیش‌بینی سرعت و نرخ نفوذ در مدل CSM

فرمول‌بندی مدل اولیه توسط کالیبراسیون اطلاعات عملی بدست آمده توسط آزمونهای آزمایشگاهی در ماشین‌های برشی خطی (LCM) CSM انجام می‌شود. ماشین LCM اجازه آزمایش در ابعاد واقعی تیغه‌ها تحت شرایط شبیه‌سازی شده زمین، مانند فاصله برشها، نفوذ، سرعت و غیره را می‌دهد (شکل ۴). دقت نتایج آزمایشات LCM با کمک اطلاعات گسترده به دست آمده از مشاهدات بر جای TBM تایید می‌شود. تحلیل های استاتیکی نیروهای برشی آزمایش LCM به همراه خواص سنگ دست نخورده (مانند مقاومت غیرمحدود فشاری و مقاومت کششی)، هندسه برش (فاصله داری و نفوذ)، و هندسه تیغه (قطر و ضخامت لبه) عناصر پایه برای مدل کامپیوتری CSM به منظور فرموله کردن نیروی برشی به کار رفته در لبه تیغه دیسکی می‌باشند. این روش پیش‌بینی سرعت نفوذ را برای یک ماشین حفر تونل در شرایط مشخص سنگ با استفاده از فرمولهای بدست آمده آزمایشات LCM، ممکن می سازد. این موضوع همچنین بدین معنی است که می‌توان پیش‌بینی عملکرد را بدون هر گونه آزمون آزمایشگاهی برش، مانند روش LCM و با دقت خوب انجام داد.

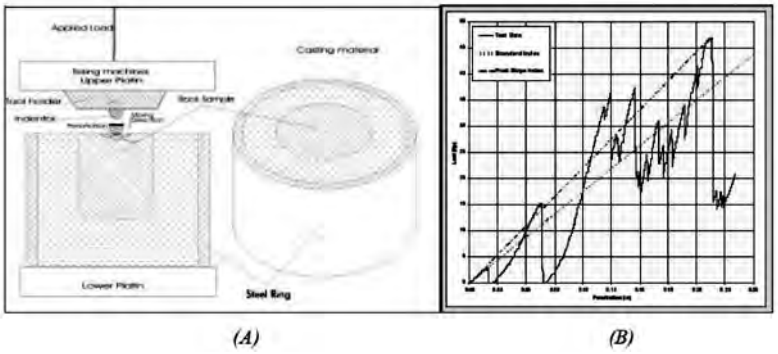
مقاومت فشاری نامحدود و مقاومت کششی هنوز جزئی از



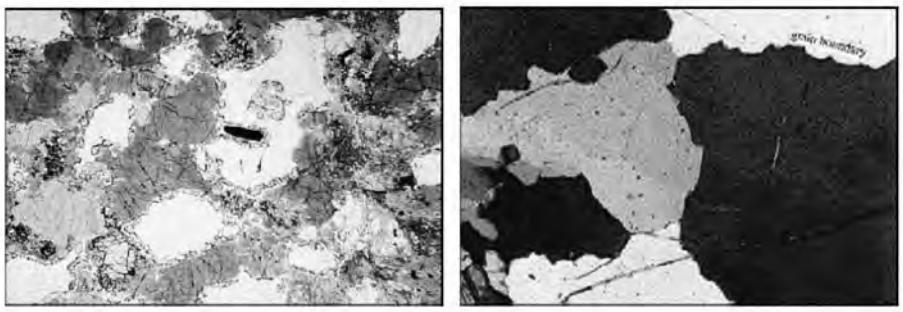
شکل ۵- مدل های شکست در آزمایش های فشاری تک محوره و مقاومت کششی برزیلی



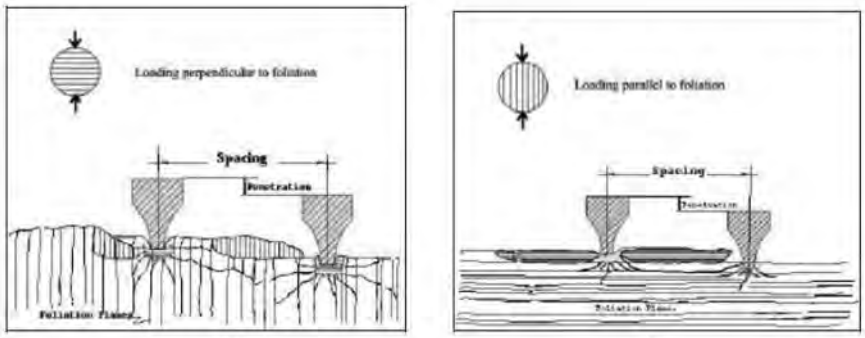
شکل ۶- تیغه های نو و فرسوده



شکل ۷- آزمایش شاخص نفوذ فشاری(A) روش آزمایش و(B) منحنی نتایج



شکل ۸- آزمایش مقاطع نازک



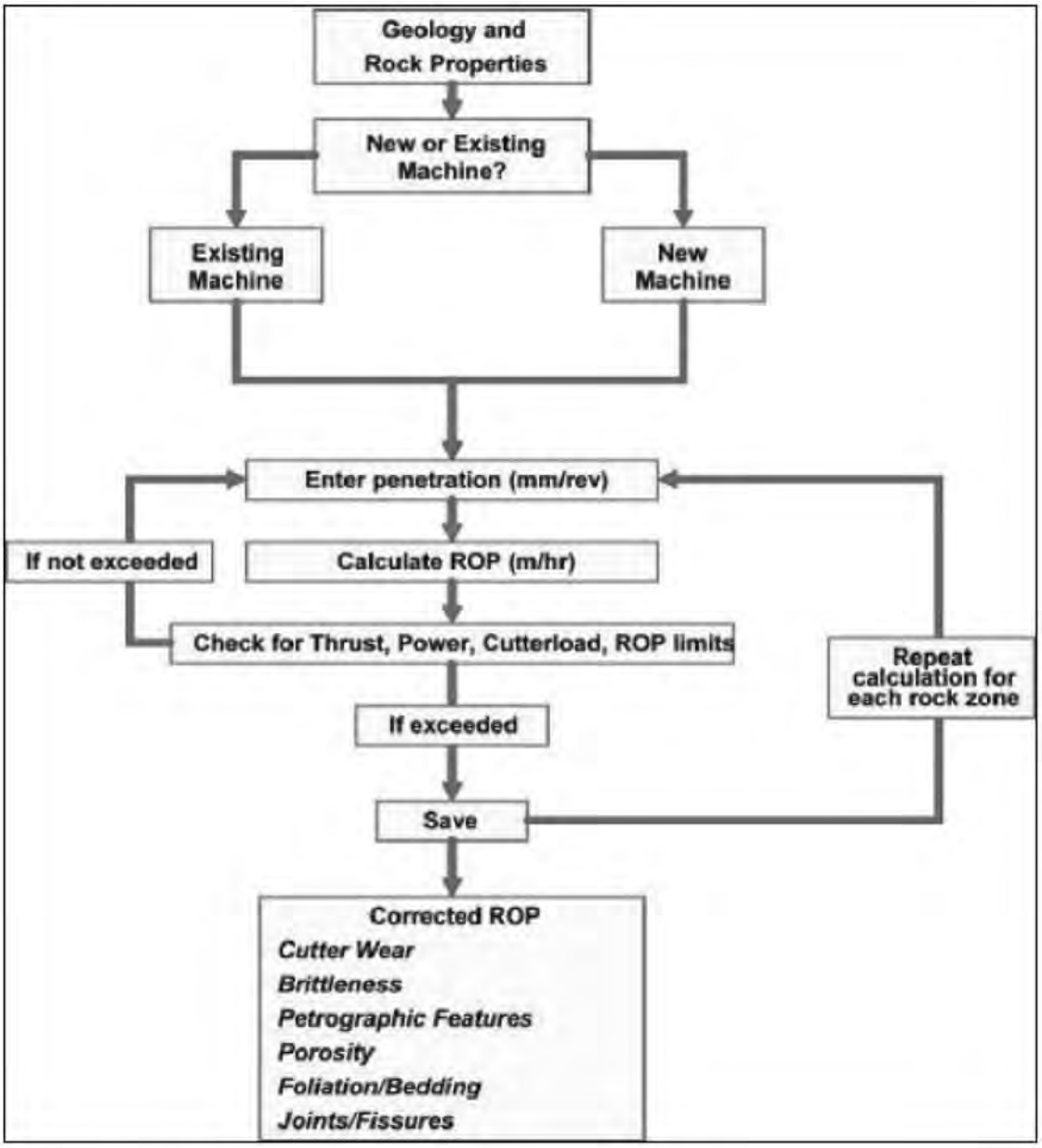
(A) (B)

شکل ۹- شکست سنگ در سنگ های متورق و لایه بندی شده.(A) موازی لایه بندی و (B) عمود بر لایه بندی.

اطلاعات پایه‌ای مدل CSM برای ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد TBM هستند که به اضافه آزمایشات خاصی همچون آزمایش شاخص نفوذ فشاری (Punch penetration index) که برای مشخص کردن قابلیت حفاری در سنگ برجا بکار می‌رود، استفاده می‌شوند. ولی توجه زیادی برای موشکافی و اندازه‌گیری مقاومت فشاری و کششی سنگ قبل از استفاده از آنها در مدل CSM به کار رفته است. در مقاومت فشاری تمام اطلاعات مربوط به شکستگی‌های ساختاری تا جایی که به مقاومت حقیقی سنگ برجا لطمه نزند، کنار گذاشته می‌شوند. چنین روشی در اندازه‌گیری مقاومت کششی هم بکار می‌رود. شکل ۵ نشان دهنده انواع روش های شکست می‌باشد. شکست نمونه مغزه در امتداد ترکهای موجود، درزه‌ها یا لایه‌بندی یا تورق (foliation) در هنگام آزمایش به عنوان شکست‌های متأثر از عوامل ساختاری محسوب می‌شوند.

پیش‌بینی سرعت نفوذ در ابتدا بر پایه وجود تیغه‌های نو در تمام تاج برشی است. این مقدار سپس برای حالتی که تیغه‌ها فرسوده باشند و به این دلیل که TBM همواره شامل تعداد زیادی تیغه با درجه‌های مختلف فرسودگی است، تعدیل خواهد شد. به این دلیل یک فاکتور و ضریب تصحیح باید در محاسبات برای وزن دار کردن تیغه‌های نو و کهنه اعمال شود. که مدل کامپیوتری CSM این کار را انجام می‌دهد.

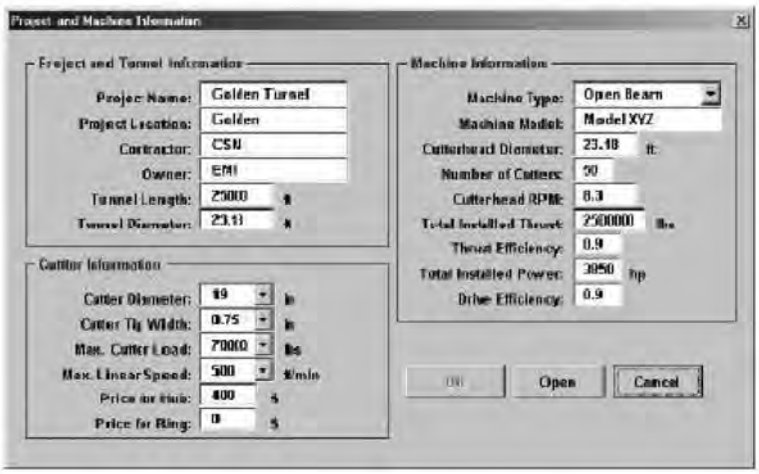
با مقایسه نتایج مدل و اطلاعات بدست آمده از مشاهدات برجا، این نتیجه حاصل می‌شود که مقاومت‌های کششی و فشاری به خودی‌خود برای مشخص کردن و توضیح شکست سنگ توسط تیغه‌های دیسکی کافی نیستند. این موضوع بدین معنی است که برخی خواص دیگر سنگ وجود دارند، که علاوه بر مقاومت‌های کششی و فشاری سنگ بر قابلیت برشی موثرند. از این خاصیت، به عنوان سختی یاد می‌شود، بدین معنی که برخی سنگ‌ها تلاش کمتر یا بیشتری برای نفوذ نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده براساس مقادیر مقاومت‌ها، لازم دارند. در برخی حالات، سنگ مقاومت بیشتری در برابر تراشه شدن نشان می‌دهد. و در برخی دیگر، ایجاد تراشه سنگ با تلاشی کمتر از حد انتظار صورت می‌گیرد. با کمک مطالعات تجربی و نظری بیشتر، عنوان سختی به دو روش آدرس‌دهی می‌شود. اولی استفاده از آزمایش (PPT) برای محاسبه سختی سنگ است. این آزمایش در اصل توسط شرکت اینگرسولراند و برای محاسبه عملکرد ماشین حفردویل و سپس توسط شرکت رابینز برای پیش‌بینی عملکرد TBM به کار رفته است. این آزمایش در ادامه متن توضیح داده شده است. این آزمایش بطور ساده شامل نفوذ یک نفوذکننده مخروطی شکل در سنگ و تحلیل منحنی بار ـ نفوذ در هنگام آزمایش است (شکل ۷). این منحنی سپس برای



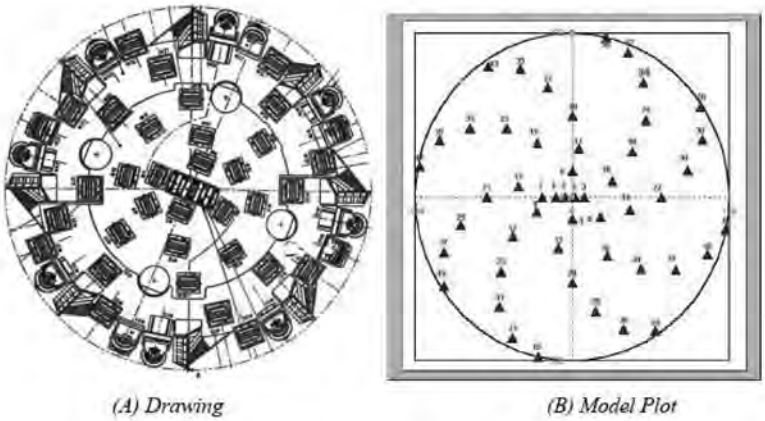
شکل ۱۰- منطق مدل CSM برای پیش بینی پیشروی TBM

اندازه‌گیری سختی سنگ به کار می‌رود. روش بعدی، استفاده از تحلیل سنگ‌شناسی مقاطع نازک است. این نتیجه حاصل شده است که در برخی سنگ‌ها، خواص مشخص دانه /چسب باعث ایجاد سختی خاصی می شوند که به صورت کندکردن فرآیند تولید تراشه تأثیر می کند. ارزیابی سنگ شناسی چنین سنگ‌هایی وجود قفل شدگی درونی دانه‌ها را آشکار می‌کند، که این عامل باعث می‌شود که بافت سنگ در برابر گسستگی بسیار مقاوم شود، از این رو باعث افزایش سختی ایجاد چیپس در هنگام کار TBM می‌شود. به عنوان یک نتیجه از این یافته‌ها، اندیس PP و مشاهدات بدست آمده توسط آنالیز مقاطع نازک (شکل ۸) نیز به عنوان پارامترهای ورودی به مدل CSM افزوده می‌شوند. همچنین تخلخل سنگ و ابعاد دانه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. بخصوص تخلخل سنگ بر شکستن سنگ تا زمانی که مکانیزم تراشه شدن در برش تیغه بر پایه افزایش شکست بین برشهای مجاور باشد، موثر است (شکل۲). تمام این فاکتورها در مدل استفاده می‌شوند و همبستگی تجربی با اطلاعات بدست آمده از پروژه های مختلف ایجاد می‌شوند.

به علاوه، آزمایش مقاومت کششی (برزیلی) با توجه به شرایط جهت یافتگی لایه‌بندی و غیره در نمونه، برآورد می‌شود. همانطور که درشکل



شکل ۱۱- پنجره ورود اطلاعات در مدل CSM



شکل ۱۲- لایه تاج برشی

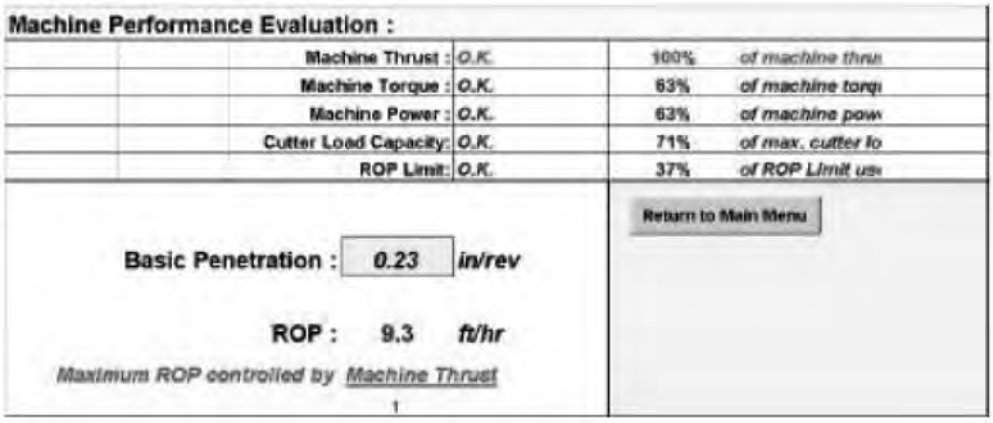
۹ نشان داده شده است، در سنگ‌هایی که به دلیل وجود سطوح لایه‌بندی وغیره رفتار جهت‌دار دارند، دیسک‌های آزمایش برزیلی به گونه‌ای باید جهت‌یابی شوند که شکست اتفاق افتاده کم و بیش امتدادی برابر مسیر تراشه شدگی بین تیغه‌ها داشته باشد.

مدل CMS سرعت نفوذ را بدون در نظرگرفتن اثر درزه و شکستگیهای موجود در سنگ پیش‌بینی می‌کند. برای در نظرگرفتن این اثر، مدل از ضریبهای همبستگی که برای بررسی اثرات درزه توسط موسسه نروژی ژئوتکنیک (NTNU) ایجاد شده‌اند، استفاده می‌کند. با توجه به فاصله‌داری درزه/ شکاف و زاویه‌ای که سطح ضعف با محور تونل می‌سازد (یعنی زاویه) NTNU یک سری ارتباطات بین سرعت نفوذ TBM و ضریب شکستگی ایجاد کرده‌است. نتایج مدل CMS سپس به منظور محاسبه اثرات درزه/ شکاف وبا استفاده از معادلاتی شبیه معادلاتی که توسط NTNU بسط داده شده‌اند، تعدیل می‌شوند.

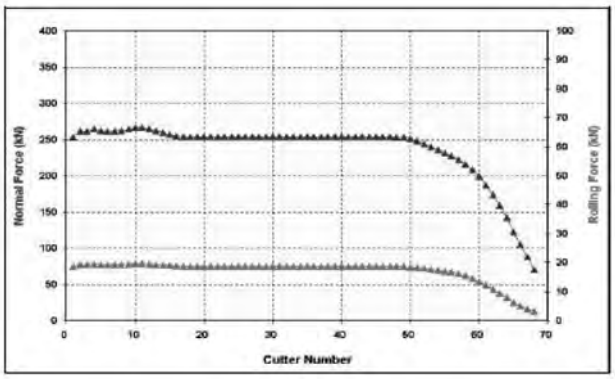
۳- توصیف مدل:

معادلات و الگوریتمهای خاص استفاده شده در مدل CMS به منظور ارتباطدهی نیروی تیغه‌ها به نفوذ، اختصاصی بوده و فاش نمی‌شوند. هرچند، به منظور شرح چگونگی توابع مدل، در ادامه یک توضیح قدم به قدم از منطق بکار رفته در مدل که از آن برای محاسبه سرعت نفوذ TBM وعمر تیغه‌ها استفاده می‌شود، آورده شده‌است.

شکل ۱۰ یک الگوریتم است، که مراحل و روش کلی را نشان می‌دهد. در ابتدا اطلاعات مختص سنگ و زمین‌شناسی در مدل وارد می‌شوند، یکی از دو مدل



شکل ۱۳- محاسبات نرخ نفوذ



شکل ۱۴- نیروی رانش، قدرت ونرخ نفوذ در مقادیر مختلف مقاومت سنگ

را می‌توان استفاده کرد، اگر پیش‌بینی برای یک ماشین موجود انجام می‌شود، مدل اطلاعاتی در مورد ماشین شامل نوع تیغه، لایه، نوع ماشین، تمام مشخصات ماشین بصورت نیروی رانش، گشتاور، قدرت، rpm وغیره را سئوال می‌کند. اگر قرار بر استفاده از یک ماشین جدید باشد، مدل آنگاه اطلاعات موردنیاز را بسط داده و لایه تاج برشی در حالت بهینه سنگ و زمین‌شناسی را محاسبه می‌کند. و نیز بهترین هندسه تیغه‌ها را انتخاب می‌کند.

شکل۱۱ پنجره مدل را نمایش می‌دهد. جایی که مشخصات ماشین، ضرایب کارایی،قدرت و نیروی رانش وارد می‌شوند. مدل آنگاه سوال می‌کند که تاج برشی بصورت لایه‌ای موجود است، و اگر اینگونه است، و اینکه آیا محاسبات باید با استفاده از لایه موجود انجام شود یا از متوسط فاصله تیغه‌ها در محاسبات استفاده کند. این دو روش نتایج بسیار مشابهی می‌دهند. تنها تفاوت در حالت استفاده ازلایه موجود، قابلیت محاسبه بارهای منفرد است که از بخش جلویی TBM،تا تیغه‌های کناره تغییر می‌کند. (شکل ۱۲).

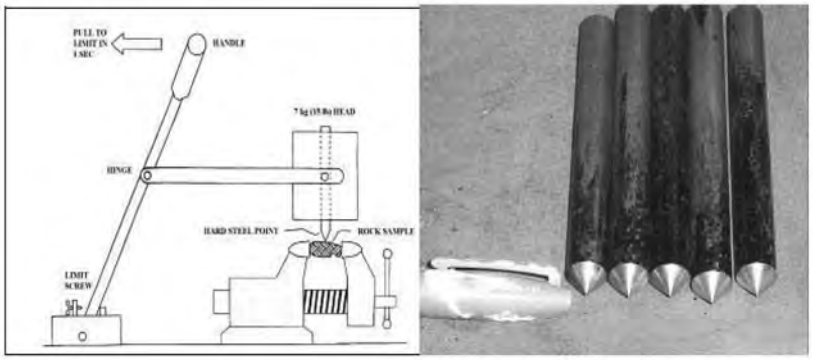
مرحله بعدی انجام محاسبات با استفاده از الگوریتم‌های نیرو ـ نفوذ مدل است. مدل محاسبات لازم را با استفاده از روشهای تکرارپذیر انجام می‌دهد. این کار از نفوذ (ROP) کم شروع شده و تدریجاً تا جایی که به یک تا تعدادی تیغه یا محدودیت‌های ماشین برسد ادامه می‌یابد (شکل ۱۳). و سرعت نفوذ معادل را به عنوان حداکثر سرعت نفوذ قابل دسترسی در شرایط زمین‌شناسی مورد انتظار در نظر می‌گیرد. چنین فرایندی در تمام انواع سنگ در تونل محاسبه می‌شود. تمام محاسبات و تخمین‌ها خلاصه شده و به صورت جدولی نشان داده خواهدشد. همانطور که قبلاً ذکر شد؛ نفوذ پایه محاسبه شده در نهایت با در نظر گرفتن وضعیت درزه‌ها، تخلخل و سختی، اصلاح می‌شود.

این مدل همچنین می‌تواند نمودار نقطه‌ای توزیع بار تیغه در تاج برشی را رسم کند. یک مثال در شکل ۱۴ دیده می‌شود.

مدل CSM همچنین روشی برای محاسبه عمر تیغه‌ها و هزینه آنها با استفاده از شاخص ساییدگی سرشار ایجاد کرده است. این آزمایش که در ابتدا توسط موسسه تحقیقات معادن زغال فرانسه ایجاد شده است. به عنوان یک اندازه‌گیری دقیق سایندگی سنگ برای میزان استفاده از تیغه‌های دیسکی استفاده می‌شود. آزمایش ضرورتاً شامل خراشیدن سطح سنگ تازه با پین فولادی ساخته شده از جنس فولادی است که تیغه از آن ساخته شده است (شکل ۱۵). میزان استفاده از پین با توجه به اطلاعات بدست آمده از مشاهدات صحرایی. تعدیل شده و به عنوان شاخص از عمر تیغه‌ها به کار می‌رود. با استفاده از شاخص سایندگی سرشار و ROP محاسبه شده، مدل تخمینی از عمر تیغه بصورت ساعت نفوذ و یا یارد مکعب حفاری قبل از هر جایگزینی جدید را بدست می‌دهد. اگر هزینه رینگ و اسپیسرها و قسمت توپی در اختیار باشد، قیمت تیغه برحسب دلار در یارد مکعب حفاری به دست می‌آید.

۴- نتیجه گیری

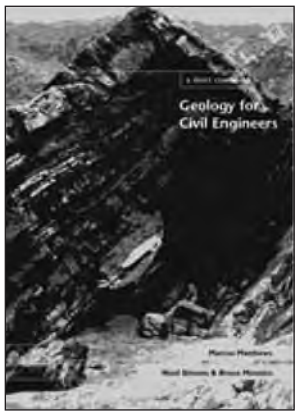
مدل پیش بینی کاربردی CSM از یک روش توسعه پیوسته پیروی می‌کند تا اطلاعات کارگاهی بیشتری بدست آورد و کالیبراسیون بیشتری انجام شود. این یک فرایند مداوم می‌باشد، که باعث افزایش دقت و استحکام مدل می‌شود. نتایج مدل CSM همچنین به طور کلی با دو مدل بسیار پرکاربرد پیش‌بینی عملکرد TBM یعنی مدل NTNU و مدل رابینز همخوانی دارد.



شکل ۱۵- آزمایش شاخص ساییدگی سرشار

معرفی کتاب

عنوان: A Short Course in Geology for Civil Engineers
تالیف: Marcus Matthews، Noel Simons، Bruce Menzies
ناشر: American Society of Civil Engineers (Thomas Telford، Ltd.)
تاریخ انتشار: ۲۰۰۸



در این کتاب رشته زمین شناسی نه تنها به دلیل اهمیت کاربرد آن در مهندسی عمران بلکه به عنوان یکی از علوم پایه مورد بحث قرار می گیرد. نویسندگان این کتاب که خود مهندسان عمران و زمین شناسی می باشند در این نوشتار فرآیند شکل گیری زمین، مواد و مصالح تشکیل دهنده آن و رفتار این مواد و مصالح از دیدگاه مهندسی را تشریح می نمایند. این امر به مهندسان عمران کمک می نماید که با استفاده از چند اصل اولیه به ارزش ها یا خطرات زمین در حین کار پی ببرند. مباحثی که در کتاب مطرح می شوند عبارتند از:
منشاء زمین و تکتونیک صفحه ای، چرخه سنگ ها، سنگ های آذرین، سنگ های رسوبی، سنگ های دگرگونی، چینه شناسی، ساختار زمین، آبهای زیرزمینی، مخاطرات از جمله آتشفشان و زلزله، و ویژگی های مهندسی زمین.

عنوان: The Handbook of Tunnel Fire Safety
ویرایش: A. Beard and R. Carvel
ناشر: Thomas Telford Ltd
تاریخ انتشار: ۲۰۰۵

ایمنی در مقابل آتش سوزی در تونل ها به دلیل حوادثی که در جهان رخ داده اند به یک موضوع مهم و مطرح در سطح بین المللی تبدیل شده است. به همین دلیل آشنایی و درک بهتر اصول ایمنی در برابر آتش سوزی در تونل ها که شامل دانش اولیه، مخاطرات و قوانین می باشد، یک امر ضروری است. در این رابطه مطالعات و تحقیقات نیز رو به افزایش بوده و اصول اولیه ای که نتیجه این تحقیقات است، راهنمایی برای تصمیمگیری در مراحل طراحی، ساخت، و بهره برداری از تونل ها می باشد. کتاب حاضر مطالب متنوعی را که توسط متخصصان این رشته در رابطه با خطر آتش سوزی در تونل تهیه شده است را جمع آوری نموده که شامل بخشهای زیر می باشد:

مدیریت ایمنی در مقابل آتش سوزی، رفتار انسانها در برابر آتش، روش های جلوگیری و محافظت در مقابل آتش، تهویه در تونل ها، دینامیک آتش در تول ها، خدمات و دستورالعمل های اضطراری، ایمنی تونل ها در مقابل آتش سوزی و قوانین مربوط به آن.

عنوان: Tunnel Lining Design Guide
تالیف: British Tunnelling Society and Institution of Civil Engineers
ناشر: Thomas Telford Ltd
تاریخ انتشار: ۲۰۰۴

در این کتاب روش های طراحی سازه ای پوشش انواع تونل در زمین های مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. دستورالعمل های طراحی بر اساس استاندارد انگلستان و روشهای موجود در بهره برداری و نگهداری تونل ها تهیه شده اند. مطالب کتاب شامل نحوه انتخاب نوع پوشش و روشهای ساخت و نصب آن، مشکلات پایداری در تونل ها، محدودیت های مکانیکی سیستم های نگهداری، دستورالعمل های طراحی پوشش تونل، بهره برداری و نگهداری تونل ها، روش های تحلیل، روش های ساخت، کنترل کیفیت، و تاثیرات زیست محیطی می باشد.

رویدادهای تونل

Swiss Tunnel Congress

10-12 June 2010, Lucerne
- Switzerland, FGU-Swiss
Tunnelling Society
Thomi Bräm
PR-Beratung + Verlag
Felsenstrasse 11
CH-5400 Baden
fgu(at)thomibraem.ch
Tel +41 (0)56 200 23 33
Fax +41 (0)56 200 23 34
www.swisstunnel.ch

International Conference
Underground Construction Prague
2010 Transport and City Tunnels

14-16 June 2010, Czech Tunnelling
Association ITA-AITES, Prague,
Czech republic
Contact :
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.,
Chairman of the Conference
Preparatory Committee
SATRA spol. s r. o.
Sokolská 32, CZ-120 00 Prague 2,
Czech Republic
Tel.: +420 296 337 180
Fax: +420 296 337 189
E-mail: alexandr.butovic@satra.cz
Web : www.ita-aites.cz

China's 4th International Symposium on Tunnelling
28-30 October 2009, Shanghai, China

Organized by :
China Civil Engineering Society
Shanghai Society of Civil Engineering
Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd.
Contact Secretariat
Mr LOU Ruyue
Tel: 86-021-54640607
Fax: 86-021-54641018
Web : http://english.stec.net/
Email: forum@tunnelling.cn
Main Theme : Safety and Environmental Friendliness in Tunnel and Underground Projects
Sub-titles
1. Safety Design and Construction Technology for Large Scale Tunnel Projects
2.Safety and Risk Control Technique for Underground Projects
3.Mass Transit Projects and Environment Protection

Fragblast 9, the 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting
13-17 September 2009, Granada, Spain
www.fragblast.org

Topics:
• Rock characterization: Drill monitoring, face discontinuity analysis, dynamic testing
• Blast design and monitoring, image analysis, on-site data gathering and analysis tools
• Explosives: Properties, detonics, testing, delivery systems.
• Initiation systems: Advances, new paradigms in precise initiation technology
• Modelling of the blasting process: Rock/ explosive interaction –wave dynamics, fracture mechanics, discrete element modelling techniques.
• Rock damage and wall control.
• Advances in vibration monitoring and modelling.
• Blasting case studies and projects: Surface & underground mining,quarrying, tunnelling, construction, special blasting.

Tunnel Winter 2009, No. 5

Iranian Tunnelling Association Magazine

IN THE NAME OF
G O D

- Editorial 2
- News 3
- The Design Procedure of Underground Spaces, Case Study Qazvin – Rasht Railway Tunnel 9
- Development of a Rock Mass Characteristics Model for TBM Penetration Rate Prediction 18
- Stability Analysis and Preliminary Support Design of Isfahan's Metro Twin Tunnels between Shariati and Azadi Stations 29
- CSM Computer Model for TBM Performance Prediction 35
- Book Review 42
- Tunnelling Events 43

Dr. M. Gharouni Nik	President
Dr. S. Hashemi	Chief Editor
Board of Directors of Iranian Tunnelling Association	Supervised By
Mr. M. Hamzeh Abyazani	Internal Managment
Dr. A. Fahimifar, Dr. O. Farzaneh, Dr. M. Gharouni Nik, Dr. S. Hashemi, Dr. M. Jafari, Dr. H. Kanani Moghaddam, Mr. A. Mozaffari Shams, Dr. M. Sadaghiani, Dr. H. Salari Rad, Dr. M. Sharifzadeh, Dr. A. Yasaghi	Editorial Board
Nashr-e-Fan	Executive Producer