

تونل

نشریه انجمن تونل ایران

Tunnel

شماره ۴، پاییز ۸۷

Iranian Tunnelling Association Magazine



www.irta.ir

تعالیه



۲ سرمقاله

۳ برگزاری هشتمین کنفرانس تونل ایران

۴ اخبار

۸ تاریخچه تکامل روش های طراحی و محاسبه نگهداری فضا های زیرزمینی (قسمت دوم)

۱۳ بهبود روش های چالزنی و آتشفکاری در تونل

۱۹ اندرکنش زمین - پوشش در تونلهای سنگی

۲۸ روش نوین محاسبه نشت هوا در طراحی تهویه فضاها ی زیرزمینی

۳۴ توضیح نکاتی راجع به سیستم های طبقه بندی RMR و Q

۴۰ چکیده مقالات منتخب نشریات

۴۲ معرفی کتاب

۴۳ رویدادهای تونلی

شرح روی جلد: تونل رسالت



صاحب امتیاز
مدیر مسئول
سر دبیر
زیر نظر
مدیر داخلی
هیئت تحریریه

انجمن تونل ایران
دکتر مرتضی قارونی نیک
دکتر سیامک هاشمی
هیئت مدیره انجمن تونل ایران
مهندس مرتضی همزه ابیازنی
دکتر محمد جواد جعفری، دکتر حسین سالاری راد، دکتر مصطفی شریفزاده،
دکتر محمد حسین صدقیانی، دکتر اورنگ فرزانه، دکتر احمد فهیمی فر،
دکتر مرتضی قارونی نیک، دکتر حسین کنعانی مقدم،
مهندس ابوالقاسم مظفری شمس، دکتر سیامک هاشمی، دکتر علی یساقی



امور اجرایی
تبلیغات
صفحه آرایی و طراحی جلد
لیتوگرافی
چاپ و صحافی

نشرین
معصومه قره داغی
ایمان جلالی
مجتمع مطبوعات تخصصی کشور
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 مقاله های دریافتی بازگردانده نمی شود.
- 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 نظریه های 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 - واحد ۴۱ - انجمن تونل ایران

نمابر: ۸۸۰۰۸۷۵۴

تلفن: ۶ - ۸۸۶۳۰۴۹۵

Website: www.irta.ir

Email: info@irta.ir





اهمیت تحقیقات برای آینده

در مکانیک سنگ: پیشرفت ها و کاربردها» در محل پژوهشگاه نیرو برگزار شد، بیش از ۶۰۰ نفر از متخصصان ایرانی و ۳۴ کشور دیگر جهان از جمله کانادا، آمریکا، آلمان، انگلستان، فرانسه، نروژ، بلژیک، ایتالیا، اسپانیا، هلند، برزیل، آفریقای جنوبی، ژاپن، چین، کره جنوبی، سنگاپور، هندوستان، اندونزی، و استرالیا حضور داشتند. تعداد ۱۷۴ مقاله مورد تایید داوران این کنفرانس قرار گرفته بود که از این تعداد بیش از ۹۰ مقاله توسط محققان ایرانی تهیه شده بود. از مجموع مقالات این کنفرانس حدود ۶۰ مقاله مربوط به پروژه های تونل و فضاهای زیرزمینی بود. این آمار خود گویای علاقه و فعالیت متخصصان و محققان کشورمان و نیز جایگاه صنعت تونل می باشد. از جمله وظایف انجمن تونل ایران نیز که با هدف گسترش، پیشبرد و ارتقای فن آوری صنعت تونلسازی و فضاهای زیرزمینی و توسعه کمی و کیفی نیروهای متخصص و بهبود بخشیدن به امور آموزشی، پژوهشی و اجرایی در زمینه های مرتبط با این صنعت تشکیل گردیده است، ایجاد زمینه و تحکیم روابط علمی، تحقیقاتی و فنی، و تشویق و ترغیب پژوهشگران و دست اندرکاران صنعت تونلسازی می باشد. در این راستا، امید آن می رود که برگزاری هشتمین کنفرانس تونل ایران در اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ گامی در جهت رسیدن به اهداف فوق باشد و بدینوسیله از متخصصان و دست اندرکاران صنعت تونل، و اساتید و دانشجویان دعوت می گردد تا با حضور فعال خود در این کنفرانس، انجمن را در این راه یاری دهند.

وجود نخواهد داشت و به همین دلیل سرمایه گذاری و ایجاد مدیریت علمی در تحقیقات از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد و مطالعه، تحقیق و تولید علم باید به صورت یک اولویت درآید. این امر نیاز به فراهم شدن پیشنیازها و زیرساخت های مناسب، تامین اعتبار، تامین منابع اطلاعاتی، و تامین و تربیت نیروی انسانی محقق و تدوین آیین نامه ها و ضوابط متناسب با نیازهای کشور دارد.

پیشرفت هایی که در چند دهه اخیر در زمینه تونلسازی در کشور به وجود آمده اند ناشی از تحقیقات گسترده و ارتباط مراکز پژوهشی و اجرایی بوده است. تونلسازی یک صنعت چند رشته ای می باشد. رشته هایی همچون مکانیک سنگ، مکانیک خاک، زمین شناسی، ژئوفیزیک، معدن، عمران، مکانیک، برق، نقشه برداری، و محیط زیست از جمله شاخه های اصلی و مرتبط با این صنعت می باشند. دانشگاه ها و مراکز آموزشی و پژوهشی به دلیل داشتن رشته های مختلف دارای پتانسیل زیادی در پیشرفت این صنعت در کشور می باشند و ارتباط صحیح و مستمر بین مراکز صنعتی و اجرایی و دانشگاه ها، یکی از مهمترین عوامل پیشرفت تونلسازی می باشند.

در این ارتباط برگزاری پنجمین کنفرانس آسیایی مکانیک سنگ، به عنوان یک رشته مرتبط و با اهمیت در احداث فضاهای زیرزمینی و تونل، در ایران از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. در این کنفرانس بین المللی که از ۴ تا ۶ آذر ماه تحت عنوان «افق های جدید

پیشبینی آینده هر چقدر هم که وسوسه انگیز باشد، کاری مخاطره آمیز است. آینده چالشی است که در پیش روی ماقرار دارد و آینده شناسی فرآیندی است که به پیشبینی چندین رویداد محتمل در آینده می پردازد. آینده شناسی به معنای پیشبینی دقیق آینده نیست بلکه تشخیص و شفاف نمودن راه های ممکن است که به آینده رهنمون می شود. در حالت کلی شناسایی آینده های احتمالی کمک می کند تا بتوان از دانسته ها جهت پیشگیری برخی از وقایع یا تسریع برخی رخداد ها بهره گرفت. پیشبینی ها کمک می کنند تا بتوان از فرصت ها و چالش های آینده به نحو موثری استفاده نمود. در جهان امروز که تغییرات در زمینه های گوناگون علوم و فن آوری به سرعت انجام می شود، سازماندهی فعالیت های علمی برای پیشبینی آینده ضرورتی انکارناپذیر است. نتایج به دست آمده از مطالعات و تحقیقات که به خاطر ویژگیهایشان در آینده به کار گرفته خواهند شد، بیش از فعالیتهای دیگر تحت تاثیر آینده شناسی می باشند. در تحقیقات راهبردی و بلند مدت که سرمایه گذاری های وسیعتری را می طلبد، آینده شناسی باید در همه ابعاد علمی، فن آوری و اقتصادی صورت گیرد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعتی و کشورهای در حال توسعه، پیشبینی تحقیقات و فن آوری به صورت گسترده ای در برنامه ریزی های توسعه به کار گرفته شده و به صورت فعالیتی جاری در آمده است. امروزه بدون هماهنگی با صنایع پیشرفته آینده، امکان تحمل تغییرات و تحولات آتی

برگزاری هشتمین کنفرانس تونل ایران

انجمن تونل ایران به منظور گسترش، پیشبرد و ارتقای فن‌آوری صنعت تونل‌سازی و فضاهای زیرزمینی و بهبود بخشیدن به امور آموزشی، پژوهشی و اجرایی در زمینه‌های مرتبط به این صنعت در اردیبهشت ماه ۱۳۸۸ اقدام به برگزاری هشتمین کنفرانس تونل ایران می‌نماید. آقای مهندس ابوالقاسم مظفری رئیس هیات مدیره انجمن تونل ایران در رابطه با برگزاری این کنفرانس که تحت عنوان «فضاهای زیرزمینی برای ایمنی، محیط زیست و انرژی» برگزار می‌شود، توضیحاتی داده‌اند که در ادامه درج می‌شود.

موضوع تونل و فضاهای زیرزمینی به دلیل شرایط خاص کشور، از جهت وجود سلسله جبال البرز و زاگرس و بطور کلی کوهستانی بودن آن، همچنین به لحاظ مسائل ژئوپلیتیکی حائز اهمیت است.

بدون شک کشور ما از جهت احداث بناهای آبی و سازه‌های زیرزمینی از قدمت بسیار بالایی برخوردار است. گذشتگان ما با احداث کیلومترها مجرای زیرزمینی بنام قنات آب را از دل کوهستان به دست می‌آوردند.

تکنولوژی بکار گرفته شده در پایداری این فضاهای زیرزمینی، ریشه و فلسفه ظهور روشهای جدید تونلسازی از جمله ناتم (NATM) می‌باشد.

آنچه تاکنون از تونل و فضاهای زیرزمینی بیشتر در اذهان عمومی تداعی می‌شود، تونلهای راه و راه‌آهن و انتقال آب است. در حالیکه امروزه، استفاده از تونل و فضاهای زیرزمینی ابعاد گسترده یافته است.

- کاربری تونل و فضاهای زیرزمینی برای استفاده بیشتر از سطح زمین در شهرهایی که به شدت با رشد جمعیت و کمبود فضا مواجه هستند.

- ایمنی تونل در مقایسه با کاربریهای مشابه در روی زمین

- منافع زیست محیطی که فضاهای زیرزمینی از جمله تونلهای مترو و جاده‌ای در کاهش مواد آلاینده به وجود می‌آورند.

- فائق آمدن بر محدودیتهایی که شرایط توپوگرافی زمین و مناطق کوهستانی برای عبور و مرور و همچنین احداث سازه‌های آبی برای انتقال و تولید انرژی بوجود می‌آورد.

- سایر بهره‌بردارهای اجتماعی و تکنیکی که از فضاهای زیرزمینی بعمل می‌آید.

همگی استراتژیهای بهره‌برداري از این فضاها و سازه‌های زیرزمینی در دهه‌های اخیر می‌باشد.

خوشبختانه در کشور ما هم در سالهای اخیر جهش قابل ملاحظه‌ای در ارتباط این صنعت بوجود آمده است، احداث تونلهای بلند آبرسانی، ساخت نیروگاههای عظیم زیرزمینی، گسترش خطوط مترو در اقصی نقاط کشور، ایجاد بزرگراهها در زیر کوهها با استفاده از تکنولوژی روز دنیا، از جمله پیشرفت‌های شگرف کشورمان در این زمینه می‌باشد.

بهره‌گرفتن از فن‌آوریهای روز در طراحی و ساخت تونل و فضاهای زیرزمینی و بومی کردن آن، تربیت نیروی انسانی و مورد توجه قراردادن رشته‌های مرتبط با صنعت تونل، از جمله مواردی است که باید با جدیت و دقت دنبال شود. در همین راستا برگزاری کنفرانسها و همایش‌های ملی و بین‌المللی و تبادل تجربیات و اطلاعات صاحب‌نظران و متخصصین این رشته می‌تواند گام مؤثری در پیشبرد این اهداف تلقی شود.

انجمن تونل ایران با همکاری دانشگاه تربیت مدرس قصد دارد با برگزاری هشتمین کنفرانس تونل ایران و با محور قراردادن ایمنی، محیط زیست و انرژی و حضور گسترده علاقه‌مندان داخلی و تنی چند از نام‌آوران بین‌المللی، زمینه‌ای برای آشنایی بیشتر با آخرین دستاوردهای علمی این رشته و رشته‌های مرتبط بوجود آورد.

اخبار

اتصال تونل حدفاصل میدان دروازه شمیران به میدان شهدا

شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه اعلام کرد: صبح روز شنبه سیزدهم مهر ماه تونل حدفاصل بین میدان دروازه شمیران و میدان شهدا از خط چهار متروی تهران در تقاطع خیابان‌های ۱۷ شهریور و شهید ناطقی به یکدیگر متصل شد. به گزارش سرویس «شهری» ایسنا، در این اطلاعیه آمده است: بدین صورت راه‌اندازی بخش مرکزی خط چهار متروی تهران از میدان شهدا تا میدان انقلاب تا آخر سال امکان‌پذیر شد. کارگران، مشاوران، پیمانکاران و متخصصان همکار مترو، عملیات اجرایی این مسیر را به طول یک‌هزار و ۲۰۰ متر طی ۱۰ ماه به پایان رساندند که بدین ترتیب به طور متوسط روزانه چهار متر پیشروی داشته است.

خبرگزاری دانشجویان ایران - تهران
۱۵ مهر ۱۳۸۷

تونل زیرگذر هشت بهشت - نورباران اصفهان ۳۰ آذر به بهره‌برداری می‌رسد

به گزارش خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا) به نقل از روابط عمومی شهرداری اصفهان، تقاطع غیرهمسطح هشت بهشت - بزرگمهر با نام شهید سردار آقاخانی به منظور روانسازی ترافیک در رینگ دوم ترافیک شهری احداث می‌شود. عملیات اجرایی این پروژه آذرماه سال گذشته آغاز شده و ابتدا پیش‌بینی می‌شد تا پایان سال جاری به بهره‌برداری برسد اما اکنون و بر اساس اعلام سازمان عمران شهرداری اصفهان، تونل زیرگذر هشت بهشت - نورباران بسیار زودتر از این موعد و

در روز ۳۰ آذرماه به بهره‌برداری برسد. طول این پروژه یک هزار و ۱۰۰ متر است که ۷۰۰ متر آن به صورت تونل اجرا می‌شود و در واقع خیابان بزرگمهر حدفاصل هشت بهشت و چهارراه نورباران را به صورت خیابانی دو طبقه در دو طبقه زیرزمین و همکف شاهد خواهیم بود. تونل این زیرگذر نیز ۱۷ متر عرض خواهد داشت و تمامی سیستم‌های تهویه، روشنایی، اطفای حریق و کنترل حوادث در آن پیش‌بینی شده است. احداث تونل زیرگذر هشت بهشت - بزرگمهر تا تاریخ ۸۷/۷/۲۳ نزدیک به ۷۰ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است و تا پایان آذرماه سال جاری به اتمام خواهد رسید. کل اعتبار پیش‌بینی شده برای احداث تونل زیرگذر هشت بهشت - بزرگمهر، ۱۰۰ میلیارد ریال است که از این میزان ۶۵ میلیارد ریال برای اجرا و ۳۴ میلیارد ریال نیز برای جابجایی تاسیسات هزینه خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود با اجرای کامل تونل زیرگذر هشت بهشت - بزرگمهر، ترافیک محور خیابان بزرگمهر حدفاصل پل بزرگمهر و میدان احمد آباد، به شکل قابل توجهی کاهش یابد.

خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)
۲۳ مهر ۱۳۸۷



نقشه‌های انحراف ترافیک تونل صدر - نیایش تکمیل شد

قائم مقام معاون فنی و عمران شهرداری تهران گفت: ۵ قطعه زمین برای تجهیز کارگاه احداث تونل صدر - نیایش به پیمانکار این پروژه تحویل شد. ناصر گودرزوند گفت: این

۵ قطعه زمین با همکاری شهرداری منطقه ۳ تحویل پیمانکار شده تا خودروها، ماشین‌آلات، محل استقرار کارگران و دیگر ملزومات در آن قرار داده شود.

به گزارش روابط عمومی شهرداری تهران، وی به زمین‌های در اختیار کارگاه تونل توحید نیز اشاره کرد و افزود: بالا و پایین تونل توحید در ابتدای بزرگراه و ابتدای خیابان آذربایجان نیز زمین‌های وسیعی برای قرار دادن ماشین‌آلات، ژنراتور و غیره در اختیار پیمانکار گذاشته شده است.

گودرزوند با بیان اینکه بخشی از این زمین‌ها در جنب بوستان ملت قرار دارد گفت: استقرار کارگاه احداث تونل و ماشین‌آلات کارگاه در این مکان، خللی در عبور و مرور شهروندان به خیابان و بوستان ملت وارد نخواهد ساخت، آسایش شهروندان از مسایلی است که در اجرای پروژه به آن اهمیت می‌دهیم. این زمین‌ها به صورت موقت و تا پایان پروژه در اختیار پیمانکار قرار دارد.

قائم مقام معاون فنی و عمران شهرداری تهران با اشاره به زمان‌بندی صورت گرفته در مورد عملیات تونل صدر - نیایش اظهار داشت: تا کنون اقدامات انجام شده طبق زمان‌بندی پیش‌رفته و بلافاصله بعد از تجهیز کارگاه، عملیات حفر تونل آغاز می‌شود. وی افزود: نقشه‌های انحراف ترافیک تونل نیز تکمیل شده و با آغاز عملیات، اجرایی خواهد شد.

همشهری آنلاین
۱۴ آبان ۱۳۸۷

عملیات اجرایی خط انتقال آب از سد کوچری به قم آغاز شد

عملیات اجرایی سد «کوچری» در شهرستان گلپایگان در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال غرب اصفهان روز پنجشنبه ۱۶ آبان ۱۳۸۷

ریزش تونل در هانگزوی چین

ریزش تونل در متروی زیر زمینی شهر هانگزوی چین دست کم ۳ کشته به جا گذاشت. به گزارش رویترز، ریزش تونل نیمه ساخت متروی شهر شرقی هانگزو سه کشته به جا گذاشت و سبب شد دست کم ۱۷ تن زیر زمین گرفتار بمانند. کارگران در حال کار در تونل که شاهد ریزش تونل بودند عنوان کردند که به محض آغاز ریزش همه آنها به سمت سطح زمین فرار کرده‌اند اما چندین نفر موفق به فرار نشده و در اعماق زمین مانده‌اند تا آتش نشانان به کمک آنها برسند. از سوی دیگر ریزش این تونل سبب شد تا در سطح خیابان نیز حفره عمیقی ایجاد شده و دست کم ۱۰ خودرو از جمله یک اتوبوس مسافربری به داخل آن پرتاب شوند که با حضور یه موقع ماموران امداد تمامی سرنشینان خودروها نجات یافته و تنها یک مسافر تاکسی جان خود را از دست داد.

همشهری آنلاین
۲۶ آبان ۱۳۸۷

راهاندازی تونل ارتباطی برای ورود از مترو به ترمینال جنوب تهران

گروه حمل‌ونقل - پایانه مسافربری جنوب به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین پایانه‌های مسافربری کلان‌شهر تهران و کانون حمل‌ونقل بین شهری، نقش عمده‌ای در جابه‌جایی مسافران شهرهای مرکزی، شرقی، جنوب‌شرقی، جنوبی، جنوب غربی و غربی کشور را برعهده دارد. این پایانه با توجه به قدمت ۲۸ ساله و حجم بسیار بالای سرویس‌دهی روزانه، از اهمیت خاصی برخوردار بوده و توسعه آن ضرورتاً اقدامات ویژه‌ای را می‌طلبد. از این رو سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهرداری

تامین آب شرب شهرهای مسیر و ۲۰ میلیون مترمکعب نیز برای مصارف صنعتی اختصاص می‌یابد.

سایت خبری وزارت نیرو
۱۷ آبان ۱۳۸۷

عملیات اجرایی طرح انتقال آب به استان قم آغاز شد

عملیات اجرایی طرح انتقال آب از سرشاخه‌های دز به قمرو، به منظور آبرسانی به استان قم با حضور رئیس‌جمهور آغاز شد. به گزارش خبرگزاری اقتصادی ایران، با اجرای این پروژه که با حضور محمود احمدی‌نژاد رئیس‌جمهور صبح پنج‌شنبه ۱۶ آبان کلنگ‌زنی شد، سالانه ۱۲۰ میلیون متر مکعب آب از سرشاخه‌های دز به سد کوچری و تصفیه‌خانه دودهک برای تامین بلند مدت آب شرب و صنعتی شهرهای خوانسار، خمین، گلپایگان، محلات، نیمور، سلفچگان و قم و همچنین برای جبران کمبود آب شهرهایی که از رشد جمعیت سریعی برخوردار هستند، اختصاص می‌یابد. از ۱۲۰ میلیون متر مکعب آب در سال، ۸۰ میلیون متر مکعب آن برای مصرف استان قم و ۲۰ میلیون متر مکعب آن برای شهرهای مسیر خط لوله و ۲۰ میلیون مترمکعب آن جهت مصارف صنعتی منطقه اختصاص می‌یابد. برای اجرای پروژه انتقال آب از سرشاخه‌های دز به قمرو ۵۰ کیلومتر اصلی آبرسانی، ۳/۵ کیلومتر تونل دسترسی، ۹/۵ سازه‌های انتقال شامل کانال‌های بتونی، خط لوله و مخزن، احداث سد مخزنی خاکی سنگریزه‌ای با ارتفاع ۷۷ متر و ظرفیت ۲۰۷ میلیون متر مکعب و همچنین خط لوله‌ای به طول ۷۷۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

خبرگزاری اقتصادی ایران
۱۶ آبان ۸۷



با دستور رئیس‌جمهوری آغاز شد. به گزارش پایگاه خبری وزارت نیرو، مراسم آغاز عملیات اجرایی این سد با ارتباط ویدیوکنفرانس بین استان‌های قم و اصفهان در محل اجرای پروژه در منطقه کوچری انجام شد.

در آیین آغاز عملیات اجرایی این سد، رئیس‌جمهوری از طریق ویدیو کنفرانس ضمن تبریک آغاز عملیات اجرایی این طرح ابراز امیدواری کرد: عملیات اجرایی این سد با همت پرتوان فرزندان این سرزمین در کوتاهترین زمان انجام شود و در اختیار مردم قرار گیرد. گفتنی است این طرح از طرح‌های عظیم دولت نهم است که طی آن آب آشامیدنی از سرشاخه‌های دز به قم وارد خواهد شد که علاوه بر شهر قم ۱۰ شهر دیگر نیز از نعمت این آب آشامیدنی برخوردار می‌شوند.

«محمد حسین پدرثانی» مجری طرح سد کوچری گفت: تونل‌های انتقال آب از سرشاخه‌های «دز» که از سال ۱۳۸۰ آغاز شده تاکنون ۷۰ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است. وی افزود با ساخت این سد سالانه ۱۸۱ میلیون مترمکعب آب از سرشاخه‌های دز به شهرهای مذکور منتقل خواهد شد. مجری طرح سد کوچری ادامه داد: برای ساخت این سد ۵۸ میلیون یورو هزینه ارزی از محل صندوق ذخیره ارزی اختصاص یافته است. وی افزود: پیش‌بینی می‌شود این سد تا سال ۱۳۹۰ احداث شود و به بهره‌برداری برسد. با اجرای انتقال آب از سرشاخه‌های رودخانه دز به قمرو سالانه ۱۲۰ میلیون متر مکعب آب از سد کوچری و تصفیه‌خانه دودهک صرفاً جهت تامین آب شرب و صنعت شهرهای خوانسار، خمین، گلپایگان، محلات، نیمور، سلفچگان و قم انتقال می‌یابد که از این میزان ۸۰ میلیون مترمکعب آب جهت تامین آب شرب شهر قم، ۲۰ میلیون مترمکعب آن برای

این پایانه انجام شده و ۲۰۰ میلیارد تومان اعتبار به ساخت و توسعه آن اختصاص یافته است. وی زمان لازم برای بهره‌برداری از این طرح را ۳ سال دانست و گفت: با تامین اعتبار و یک برنامه زمان‌بندی شده می‌توان ظرف مدت اعلام شده از پایانه شرق بهره‌برداری کرد.

روزنامه دنیای اقتصاد

۲۶ آبان ۱۳۸۷



به دنبال خواهد داشت.

آذروش همچنین در گفت‌وگو با خبرنگار دنیای اقتصاد ارتفاع این تونل را ۳ متر و طول آن را ۱۵۲ متر عنوان کرد که علاوه بر طول تونل ایستگاه مترو به ۱۸۲ متر می‌رسد. وی در زمینه مدت زمان ساخت این پروژه به خبرنگار ما گفت: عملیات اجرایی راهرو ارتباطی پایانه جنوب به مترو بر حسب یک برنامه زمان‌بندی فشرده در یک مدت زمان ۴ ماهه به انجام رسیده است. وی همچنین هزینه ساخت این زیرگذر را ۱/۵ میلیارد تومان اعلام کرد و گفت: با توجه به پرتراکم بودن خیابان عباسی واقع در جنب پایانه جنوب و اینکه در ساعات عادی روز ۶۰ هزار و در ساعات پیک نزدیک به ۱۰۰ هزار نفر از این مسیر تردد می‌کنند، ساخت این تونل ارتباطی می‌تواند نقش بسزایی در کاهش تراکم ترافیک در محدوده پایانه جنوب را به دنبال داشته باشد و ۷۰ درصد از این جمعیت از طریق این تونل اقدام به تردد کنند. مدیرعامل سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارها همچنین در زمینه اتصال سایر پایانه‌ها به ایستگاه‌های مترو گفت: بحث مطالعاتی اتصال پایانه بیهقی به ایستگاه مترو مصلی و پایانه غرب به ایستگاه مترو صادقیه نیز از دیگر برنامه‌های سازمان برای توسعه خدمات کیفی و کمی در سطح شهر است. آذروش همچنین در زمینه احداث پایانه شرق که از مهم‌ترین پروژه‌های شهری به شمار می‌رود، به دنیای اقتصاد گفت: احداث پایانه شرق از برنامه‌های مهم و اجرایی ما در شهرداری تهران است. وی گفت: مساحت این پایانه بالغ بر ۳۰ هکتار بوده و ساختمان اصلی آن ۲۰۰ هزار مترمربع وسعت دارد. وی افزود: تا امروز امور مقدماتی و تجهیز کارگاه ساخت



تهران با هدف ارتقای کمی و کیفی خدمات و تامین آسایش مسافران ورودی و خروجی در اوقاتی که در این پایانه به سر می‌برند، با انجام مطالعات گسترده، برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مختلفی را برای حفظ و نگهداری، بازسازی تاسیسات زیربنایی، ساماندهی و زیباسازی پایانه در دستور کار و پیگیری قرار داده که ساخت راهرو ارتباطی این پایانه و مترو نیز از جمله این فعالیت‌ها است که با افتتاح آن در حضور مسوولان کشوری، بهره‌برداری از آن آغاز شد.

مدیرعامل سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهرداری تهران طی سخنانی در رابطه با این راهرو ارتباطی گفت: با تدبیر شهردار تهران و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته توسط معاون حمل‌ونقل و ترافیک و همچنین تلاش سازمان پایانه‌ها، به منظور کاهش استرس سفر و ایجاد طراحی مناسب برای بهبود بخشیدن به وضعیت مراجعان و همچنین زدودن خستگی‌ها، عملیات اجرایی و ساخت این پایانه آغاز شد و با رعایت تمامی اصول فنی به مرحله بهره‌برداری رسید. ولی... آذروش گفت: در کشور ما در هر سال حدود ۷۰۰ میلیون سفر برون‌شهری صورت می‌گیرد که از این تعداد، ۵۰ درصد توسط پایانه‌های درون‌شهری انجام گرفته که در هر سال ۷۰ میلیون مسافر را جابه‌جا می‌کند و این امر به خودی خود مستلزم توسعه کمی و کیفی پایانه‌ها به منظور رفاه حال شهروندان است و ارتباط مستقیم مسافران شهرهای دیگر با مترو از طریق این راهرو، آثار مثبتی را در مسائل ترافیکی منطقه



طولانی‌ترین تونل انتقال آب کشور دهه فجر در کرمانشاه به بهره‌برداری می‌رسد

مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه گفت: تونل انتقال آب سد مخزنی گاوشان به عنوان طولانی‌ترین تونل آبی کشور دهه مبارک فجر امسال به بهره‌برداری می‌رسد. به گزارش خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا) منطقه کرمانشاه، مهندس محمد کهریزی طول این تونل را ۲۰ کیلومتر اعلام کرد و افزود: با بهره‌برداری از تونل انتقال آب سد مخزنی گاوشان تحول عظیمی در منطقه رخ داده و ۲۵ هزار هکتار از اراضی دیم به آبی تبدیل خواهد شد. کهریزی افزود: با انتقال آب و تبدیل اراضی دیم به آبی، ارزش این اراضی بسیار رشد خواهد کرد و در نتیجه کشاورزان از این مسأله منتفع خواهند شد.

وی ادامه داد: همچنین با افتتاح این تونل زمینه انتقال حدود ۶۴ میلیون متر مکعب آب در سال جهت تامین آب شرب بلند مدت شهر کرمانشاه فراهم می‌شود. کهریزی اظهار کرد: سد مخزنی گاوشان ظرفیت ذخیره ۵۵۰

اجرا شده و در حال اجرا در دهه اخیر که در ارتباط با تنگاتنگ علم مهندسی سنگ هستند تصریح کرد: احداث ۵۶۰ سد بتنی و خاکی، احداث ۳۶۰ مغار و فضاهای زیر زمینی، ساخت بیش از ۱۰۰ کیلومتر تونل جهت انتقال آب، ساخت صدها تونل های مترو در هفت شهر بزرگ ایران، احداث چند صد کیلومتر راه و



راه آهن و ۵۰ کیلومتر جمع آوری آب های سطحی که ساخت سازه های عمرانی مرتبط با مکانیک سن را دارا است.

وی به برگزاری پنجمین سمپوزیوم آسیایی - بین المللی مکانیک سنگ در ایران را فرصت مغتنمی دانست که راهکارهای مناسبی برای بهبود و بهینه کردن طرح ها از لحاظ هزینه و زمان را بررسی کند.

در ادامه عباس مجدی رییس انجمن مکانیک سنگ و رئیس سمپوزیوم در مورد اهداف این سمپوزیوم گفت: ایجاد ارتباط میان اساتید دانشگاه های دنیا به عنوان اهداف اصلی، ارائه خدمات علمی، فنی و اجرایی و توسعه همکاری های بین المللی و همچنین پیدا کردن حلقه های مفقوده و موانع توسعه از دیگر اهداف این سمپوزیوم بوده است.

سایت خبری وزارت نیرو

۴ آذر ۱۳۸۷

حلب متصل می شود. سازمان اصلاحات ارضی وابسته به وزارت کشاورزی سوریه، کارفرمای این طرح بود که در چارچوب یک مناقصه بین المللی به شرکت ایرانی واگذار شده بود. با پایان این طرح، آب دریاچه اسد از سد مسکنه به اراضی جنوب حلب انتقال می یابد. این نخستین طرح مکانیزه با استفاده از دستگاه تی بی ام است که به دست متخصصان ایرانی و بدون حضور کارشناسان خارجی در خارج از کشور اجرا شده است.

شبکه خبر

صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران

۲ آذر ۱۳۸۷



تاکید وزیر نیرو بر نقش مهم مهندسی سنگ در کشور

وزیر نیرو با مهم خواندن مهندسی مکانیک سنگ در پروژه های عمرانی بالاخص در بخش نیروگاهی کشور، جمع و محکم شدن جایگاه این علم را خواستار شد. به گزارش فارس، مهندس فتاح عضو افتخاری انجمن مکانیک سنگ ایران در پنجمین سمپوزیوم آسیایی - بین المللی مکانیک سنگ که با حضور ۴۸ کشور خارجی برگزار گردید گفت: حدود ۵۵ درصد ایران کوهستانی است و این اهمیت و دانش تخصصی سنگ و مهندسی آن را در کشور برجسته می سازد. وی با اعلام اینکه مکانیک سنگ از پیچیده ترین، متنوع ترین و در عین حال کاربردی ترین رشته های مهندسی است افزود: پیشرفت های قابل توجهی صورت گرفته اگرچه هنوز به جایگاه واقعی خود دست نیافته ایم.

وزیر نیرو در خصوص آمار و ارقام طرح های

میلیون متر مکعب آب را دارد. مدیرعامل شرکت آب منطقه ای کرمانشاه در ادامه به وضعیت اعتبارات سال جاری این شرکت اشاره کرد و با بیان اینکه اعتبارات شرکت آب منطقه ای کرمانشاه در دو بخش استانی و ملی تخصیص می یابد، گفت: در سال جاری مبلغ اعتبارات استانی شرکت حدود ۱۷۰ میلیارد ریال است که در بخش آبرسانی به شهرهای کوچک، اجرای بندهای انحرافی و کانال های آبرسانی کشاورزی و ایستگاه های کوچک پمپاژ آب هزینه می گردد. وی رقم اعتبارات ملی شرکت در سال جاری را نیز حدود ۶۵۰ میلیارد ریال اعلام کرد و گفت: این اعتبار جهت ساخت و تکمیل پروژه های بزرگی مانند اجرای سدهای مخزنی در حال ساخت آزادی، زمکان، زاگرس و تنگ حمام و تکمیل پروژه های بزرگی مانند سد و تونل گاوشان و شبکه آبرسانی سد سلیمان شاه سنقر و کلیایی تخصیص یافته است.

خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)

۲۸ آبان ۱۳۸۷

ساخت تونل انتقال آب در سوریه، به دست متخصصان ایرانی

عملیات اجرایی ساخت تونل انتقال آب به دشت های جنوب استان حلب سوریه به دست مهندسان کشورمان امروز در مراسمی با حضور نخست وزیر سوریه و سفیر ایران در این کشور به پایان رسید. به گزارش شبکه خبر، به نقل از واحد مرکزی خبر، عملیات یاد شده، از خرداد پارسال آغاز شده بود و ارزش آن بالغ بر سی میلیون دلار اعلام شده است. تونل ساخته شده در چارچوب این طرح، پنج هزار و چهارصد متر طول و پنج متر و سی سانتی متر قطر دارد و در عمق بیست و پنج تا هشتاد متری زیرزمین اجرا شده است و به کانال بیست و یک کیلومتری آب رسانی دشت

(قسمت دوم)

تاریخچه تکامل روش های طراحی و محاسبه نگهداری فضاهاى زیرزمینی

رضا رحمان نژاد - استادیار بخش مهندسی معدن - دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده: یکی از مشکلات اساسی که مهندسين تونل ساز همواره با آن روبرو هستند، تخمین فشار زمین، ارزیابی پتانسیل ناپایداری زمین، عکس العمل توده سنگ (خاک) در مقابل برهم زدن تعادل اولیه آن و حل مسئله اندرکنش سیستم توده سنگ - نگهداری می باشد. در ابتدا تنها مسئله فشار زمین مطرح بود که تعیین آن بر اساس فرضیه های ساده ای صورت می گرفت. اما بعداً بعلاوه عدم همخوانی فرضیه های ارائه شده با نتایج مشاهدات واقعی مسئله اندرکنش توده سنگ - نگهداری مطرح شد. مهندسين در طول چند دهه برای حل مسئله اندرکنش، ارزیابی پتانسیل ناپایداری زمین و محاسبه نگهداری تونل اقدام به استفاده از ابزار گوناگون مانند: روش های ریاضی، تجهیزات مختلف پایش ژئومکانیکی، بکارگیری رایانه و نرم افزارهای عددی کارآمد نمودند. در این مقاله مروری بر تاریخچه روش های طراحی و محاسبه نگهداری تونل ها شده است.

معرفی خلاصه تئوری های تعیین فشار توده سنگ

مفهوم « فشار توده سنگ - Earth pressure » و مشکل تعیین آن همواره مورد توجه تونلسازان بوده است. در ابتدا این ایده مطرح بود که فشار زمین فقط به خواص سنگ وابسته و منفک از خصوصیات نگهداری و تکنولوژی حفاری می باشد و در نتیجه نمی توان از مقدار آن کاست و به آن همواره مثل یک موضوع وحشتناک نگاه می شد [۱]. تلاشهای زیادی برای تخمین و تعیین بار روی نگهداری تونلها انجام شد و در نتیجه انبوه فرضیه ها در مورد مقدار و توزیع فشار زمین روی نگهداری حفاریات معدنی و تونلها و علت ریزش های مشاهده شده در حفاریات معدنی ارائه گردید. بطور کلی فرضیه های مربوط به فشار توده سنگ را می توان به گروه های تئوری گنبد، تئوری تیر، تئوری ارتجاعی، تئوری الاستو پلاستیسیته، تئوری رئولوژی و تئوری تعادل حدی تقسیم بندی کرد. در این بین بیشترین شهرت و کاربرد را تئوری های گنبد، تیر، ارتجاعی و الاستو پلاستیسیته پیدا نمودند.

ایده تشکیل گنبد فشار یکی از اولین فرضیه های تخمین فشار روی نگهداری بود که بیش از ۱۰۰ سال پیش ارائه گردید. طبق این تئوری فرض میگردید که در بالای تونل سازه باربری بشکل گنبد یا قاب تشکیل می گردد که وزن سنگهای بالایی را تحمل می کند (تئوری گنبد فشار). اما با تحقیقات بیشتر در این زمینه مشخص گشت که در حقیقت موضوع تشکیل منطقه پیوسته ای در بالای تونل که در آن تمرکز تنش های مماسی $\theta\sigma$ بوقوع پیوندد حقیقت ندارد [۲]. پس از آن تئوری گنبد ریزش توسط محققین مختلفی منجمله V. Ritter (۱۸۷۹)، Engesser (۱۸۸۲)، M.M. Protodyakonov (۱۹۰۸)، K. Terzaghi (۱۹۴۶)، P.M. Tsembarovich (۱۹۵۳) و غیره ارائه شد (شکل ۱). بر طبق این تئوری در محدوده ای بشکل گنبد در سقف تونل سنگها مقاومت خود را از دست داده (بر اثر تمرکز تنش های کششی) و فشار این گنبد روی نگهداری اعمال می گردد. در این بین پروتودیاکونف روس با تکمیل کارهای گذشتگان و انجام مدلسازی فیزیکی (شکل ۲) و ثبت مشاهدات خود از حفاریات معدنی

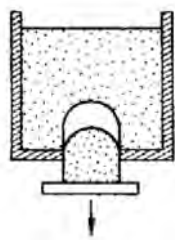
فشار زمین بدون برقراری ارتباط بین فشار زمین و خصوصیات نگهداری تونل‌ها غیر ممکن بوده و تنها در سایه احتساب توام این دو می‌توان اقدام به طراحی صحیح سازه زیرزمینی نمود. موضوع فوق اهمیت زیادی در علم مکانیک ابنیه زیرزمینی داشت بنحوی که آن را می‌توان انقلابی در تونل‌سازی و شروع مرحله جدید تلاش‌های محققین برای طراحی و محاسبه ابنیه زیرزمینی دانست [۴].

سیستم‌های طبقه بندی توده سنگ

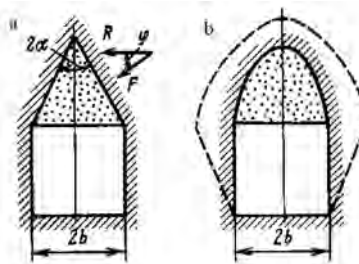
شاخه کاربردی دیگری که محققین همزمان با تحقیق مسئله فشار زمین دنبال می‌نمودند ارائه راه کاری جهت دسته بندی توده سنگ به گروه‌هایی بر اساس خواص مکانیکی و خصوصیات زمین‌شناسی ان بود. قدمت این موضوع زیاد می‌باشد، چنانچه قنات‌سازان ایرانی برای حل انواع مشکلات توام با حفاری قنات منجمله ریزش خاک و سنگ و نگهداری آن، مبارزه با گازهای زمین و غیره، برای خود خاکها و سنگها را بر اساس بو، رنگ، مزه، دانه بندی، سست و ریزشی بودن به گروه‌هایی تقسیم می‌کرده‌اند [۵]. بعنوان اولین طبقه بندی

توانست روابطی را جهت تعیین ارتفاع گنبد و میزان فشار روی نگهداری ارائه دهد که بعلت انطباق کمابیش مشاهدات بعدی با آن روابط، شهرت زیادی پیدا نمود. وی چنین می‌نویسد [۲،۳]: «پس از حفاری، سنگهای اطراف تونل تمایل به خردشدن و ریزش بدرون تونل دارند. در صورتی که جلوی شکستن سنگ‌ها را نگرفت فرم مقطع حفره تغییر نموده و در سقف حفره ای بشکل گنبد تشکیل می‌گردد و چنانچه سنگهای دیواره ضعیف باشند ریزش از دیواره شروع و بسمت بالا گسترش می‌یابد» (شکل ۳-ا). در دیگر کشورها، مخصوصا در شمال امریکا روش K.Terzaghi گسترش زیادی پیدا کرد (شکل ۳-ب). بهرحال با دقت در اشکال مربوط به این مدل‌ها مشخص می‌شود که هر دو فرضیه شبیه هم می‌باشند. در شکل ۴ مدل‌های ارائه شده تشکیل گنبد و زون ریزش برای چاه‌ها بر اساس نظرات افراد مختلف نشان داده شده است.

در نهایت، نتیجه تحقیقات و مشاهدات انجام شده در تونلها و چاهها توسط محققین مختلف منجمله B.N.Vinogradiv و G.A.Krupeennikov اثبات نمود که تلاشهای چند ساله تعیین



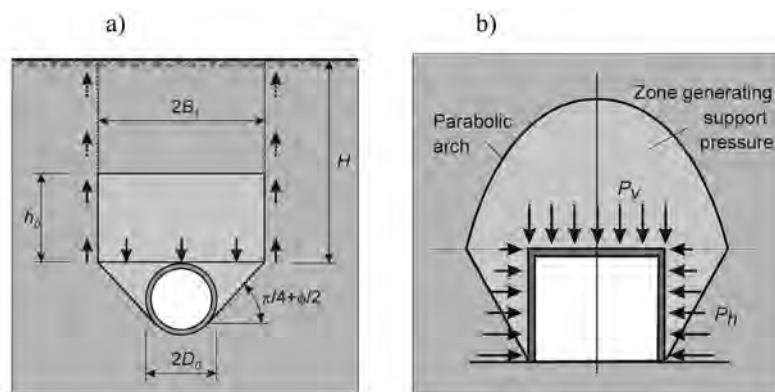
شکل ۲- مدل آزمایشی پروتودیاکنف



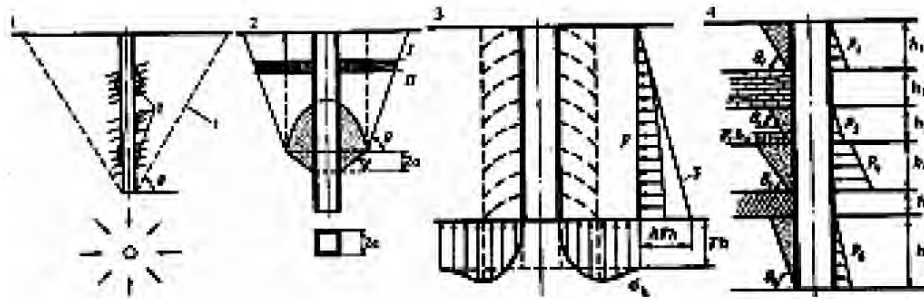
شکل ۱- مدل‌های تشکیل گنبد در حفاریات افقی

a- Birbaumer (1913);

b- Ritter (1987), Engesser (1882), Protodiakonov (1908)



شکل ۳- فشار روی نگهداری بر اساس تئوری
a) M.M.Protodyakonov و b) K.Terzaghi



شکل ۴- مدل های تشکیل گنبد در حفريات قائم

۱- ریزش های مشاهده شده در حین پیشروی؛

گنبد ریزش بر اساس: ۲ - M.P.Brodck (۱۹۹۳)،

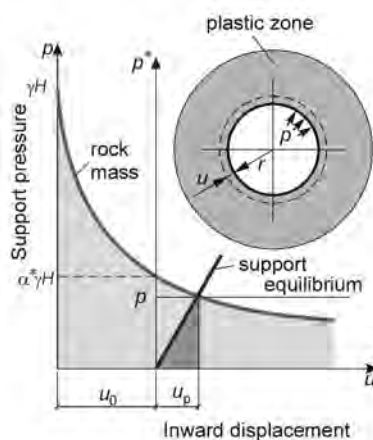
۳ - K.Terzaghi (۱۹۳۵)، ۴ - P.M.Tsembarevich (۱۹۵۳)

رابطه بین فشار نگهداری و جابجایی شعاعی محیط حفره را به دست آورد. بنابر تلاش های محققین نامبرده راه حل گرافیکی مسئله ارتباط متقابل سیستم توده سنگ و نگهداری یعنی منحنی مشهور GRC، ارائه شده در شکل ۵ به وجود آمد. این شکل عکس العمل نگهداری را در مقابل حفره تو نل (تغییر فشار توده سنگ - تغییر جابجایی دیواره تونل) تا زمان ایجاد تعادل بین این دو نشان می دهد. در نهایت در سایه تلاش های H.Labasse, H.Kastner, J.A.Talobre, R.Fenner, K.V.Ruppeneit و سایر محققین مسئله تعیین فشار زمین حل گردید ولی مشکلات و مفاهیم جدیدی مثل «اثر متقابل (اندر کنش) نگهداری با توده سنگ» و «سیستم توده سنگ - نگهداری» به وجود آمد. ثابت شد که فشار زمین یا به عبارت بهتر تنشها در مرز تماس توده سنگ و نگهداری مقادیر ثابتی نبوده و وابسته به تکنولوژی اجرا (U_0) و صلبیت نگهداری (U_p) می باشند (شکل ۵). اما تکامل روشهای

مهندسی توده سنگ می توان به طبقه بندی پیشنهادی (۱۸۷۴ - M.M.Protodyakonov اشاره نمود. وی با معرفی ضریب سختی (f) توده سنگ را به ۱۰ گروه ($f = 0.3 - 20$) تقسیم بندی نمود [۶،۷]. بعد از آن طبقه بندی های زیادی ارائه شد که اهم ان عبارتند از [۸]: Terzaghi, ۱۹۴۶, Lauffer, ۱۹۵۸, Deere & Miller, ۱۹۶۶, Wickham, ۱۹۷۲, Bieniavski, ۱۹۷۳ و Barton, et. al, ۱۹۷۴. سیستم های طبقه بندی بعلاوه سهولت کاربرد و نتایج نسبتا قابل قبول، شهرت زیادی پیدا نمودند. اما با پیدایش ابزارهای قویتر و دقیقتر مثل نرم افزار های عددی و پیشرفت علم مکانیک اینیبه زیرمینی (تلفیقی علوم مکانیک سنگ و محاسبه نگهداری) [۲] سیستم های طبقه بندی به روش هایی برای طراحی سازه های زیرزمینی و معیاری جهت انتخاب پارامترهای ورودی مدل های محاسباتی عددی و ریاضی تبدیل گشتند.

تئوریهای معاصر طراحی و محاسبه سازه های زیرزمینی

تئوری معاصر طراحی سازه های زیرزمینی با رابطه پیشنهادی R.Fenner (۱۹۳۸) برای تعیین رفتار الاستوپلاستیک توده سنگ در برگرنده حفره دایروی شکل و با صرفنظر از نیروی چسبندگی خاک آغاز شد. در نتیجه تحقیقات وی رابطه بین فشار روی نگهداری و شعاع زون کرنش پلاستیک به دست آمد [۲،۳]. در ادامه H.Labasse (۱۹۴۹) مدل الاستوپلاستیکی برای سنگ معرفی کرد که هم زاویه اصطکاک داخلی و هم نیروی چسبندگی در آن اعمال شده بود [۲،۹]. بعلاوه Tresca-st.Venant نیز مسئله را برای توده ای که زاویه اصطکاک داخلی آن صفر بوده و فقط نیروی چسبندگی وجود داشته باشد حل نمودند. تمامی این روابط دارای یک عیب مشترک بود که فشار روی نگهداری بر اساس مقدار مجهول شعاع زون پلاستیک تعیین می شد. به همین دلیل پروفیسور روس - K.V.Ruppeneit (۱۹۵۴) [۱،۱۰] مسئله فوق را بر حسب تغییر شکلها حل نمود و در نتیجه



شکل ۵ - دیاگرام اندرکنش سیستم توده سنگ - نگهداری:

U_0 - جابجایی برجا محیط تونل تا زمان نصب نگهداری،

U_p - تغییر شکل مشترک سیستم توده سنگ - نگهداری

روشهای عددی رایج در ژئومکانیک عبارتند از روش المانهای محدود، روش المانهای مجزا، روش المانهای مرزی و روش تفاضل محدود. روشهای عددی که اولین بار در اواسط قرن گذشته جهت حل مسائل پیچیده تحلیل سازه ها در صنعت فضایی بکار گرفته شدند، با عرضه کامپیوتر به بازار شهرت زیادی پیدا کرده و به سرعت در شاخه های مختلف مهندسی منجمله ژئومکانیک نفوذ نمودند و در حال حاضر به عنوان یکی از ابزار کارآمد در حل مسائل مختلف استفاده می شوند. برنامه های کارا و چند منظوره عددی امکان گنجاندن جزئیات مختلفی مانند احتساب شرایط سه بعدی، ناهمگنی و آنیزوتروپی محیط را فراهم کرده و با امکان احتساب خصوصیات و جزئیات مختلف و انجام آنالیزهای حساسیت و پارامتری در استفاده کننده از برنامه حسن اطمینان و اعتماد به نتایج را به وجود می آورد. البته هنگام استفاده نرم افزارهای عددی الگوریتم محاسبات و روند حل از دید کاربر مخفی می ماند. بنابراین جهت استفاده صحیح از برنامه کاربر ملزم به مطالعه دقیق کتابچه راهنمای آن و آشنایی با فرضیات و مدلهای بکار رفته در حل مسائل گوناگون می باشد. بعلاوه زمان لازم برای اجرای مراحل ساخت یک مدل عددی را نیز باید به آن اضافه نمود. همچنین نتایج حاصله حتما نیاز به کنترل و تطابق با نتایج معتبر روش های دیگر مثل راه حل های دقیق ریاضی و یا با نتایج ابزار بندی دارند.

مدلسازی ریاضی ابزاری جهت محاسبه نگهداری حفريات

زیرزمینی

کاربرد روشهای ریاضی در تحلیل تونل ها سابقه طولانی دارد. برای اولین بار Kirsch (۱۸۹۸) مسئله توزیع تنش در اطراف حفريات دایروی را حل نمود. بعد ها N.E. Muskhelishvili (۱۹۶۶) روابطی را ارائه نمود که با کمک آنها می توان توزیع میدان تنش و کرنش برای حفره با شکل دلخواه تعیین نمود. روابط ریاضی ارائه شده کمک بسیار بزرگی در حل مسائل تحلیل پایداری به روش ریاضی نمود و به دنبال آن محققین مختلفی منجمله V.K.Tsvekov, N.N.Fotieva, S.M.Aitaliev, N.C.Bulychev و P.B.Baykhman و غیره مسائل گوناگونی را با آن حل نمودند [۴،۱۴]. روشهای تحلیلی محاسبه نگهداری تونلها، چاه و دیگر سازه های زیرزمینی به صورت گسترده ای در روسیه و (کشورهای شوروی سابق) برای محاسبه انواع فضاهای زیرزمینی استفاده می شوند. از دلایل گسترش و تکامل چشمگیر این روشها رقابت دانشمندان شوروی در دوران جنگ سرد با همکاران غربی خود که به رایانه و نرم افزارهای عددی مجهز بودند، می باشد.

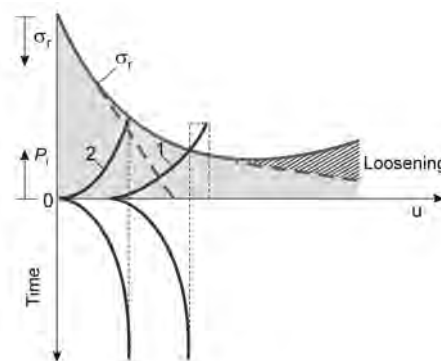
این روشها بر پایه راه حل های ریاضی مسائل دو بعدی تئوری الاستیسیته بنا شده اند. در روش های تحلیلی، توده سنگ توسط محیط S_0 مدل می شود که خواص مکانیکی آن، مدول تغییر شکل E_0 و ضریب پواسون ν_0 می باشد. نگهداری تونل نیز با حلقه S_1 که

طراحی و محاسبه سازه های زیرزمینی در سه جهت متفاوت ادامه یافت:

- روش تونل سازی جدید اتریشی (NATM)
- مدل سازی عددی تاثیر متقابل توده سنگ و نگهداری
- گسترش روشهای تحلیلی محاسبه نگهداری تونلها و حفريات معدنی

روش جدید اتریشی تونل سازی (NATM)

روش NATM در سال ۱۹۵۸ به وسیله رابسویچ اتریشی به عنوان فلسفه اثر متقابل توده سنگ و نگهداری ابداع گردید [۱۱،۱۲،۱۳] (شکل ۶). روش جدید تونل سازی اتریشی عبارت است از ساخت تونل بر اساس ایده ها و اصول استخراج شده علمی که در عمل به تایید رسیده است. ایده اصلی عبارت است از حصول حد اپتیمم از لحاظ ایمنی و اقتصادی به وسیله افزایش مقاومت ذاتی توده سنگ. به عبارت دیگر فشار زمین بر تونل، که سابقا باعث وحشت زیادی برای مهندسين و کارگران می شد، را می توان کنترل کرده و کاهش داد. برای رسیدن به هدف فوق باید از نتایج کارهای آزمایشگاهی در مراحل ابتدایی طراحی و عملیات ابزار بندی در مراحل اکتشافی و یا در زمان ساخت تونل استفاده نمود. بنابراین روش جدید اتریشی تونل سازی را میتوان روش تجربی انتخاب و ارزیابی نگهداری تونل ها تلقی نمود. لازم بذکر است که در سایه کاربرد این روش و متداول شدن استفاده از ابزاربندی در پروژه ها مفهوم جدیدی با عنوان طراحی به روش



شکل ۶ - منحنی Fenner - Pacher یا اندرکنش سیستم توده سنگ - نگهداری

مشاهده ای (Observational method of design) پدید آمد.

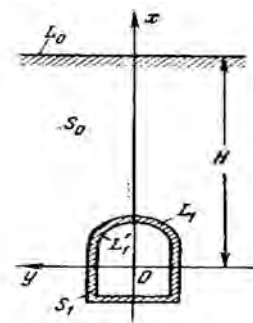
مدل سازی عددی

مدلسازی عددی را نباید یک روش محاسبه شمرد. بلکه آنرا باید یک آزمایش عددی (کامپیوتری) شبیه به مدل سازی فیزیکی شمرد [۴].

از موادی با خواص E_1 و ν_1 تشکیل شده مدل می شود (شکل ۷).

ابزارهای رایج مورد استفاده برای حل این مسئله و مسائل مشابه آن در روش های ریاضی محاسبه نگهداری تونلها عبارتند از: تئوری توابع تحلیلی *Complex variable*، *Complex potential*، انتگرال از نوع کوشی، تئوری *Conformal Mapping* و رشته های کمپلکس.

این روشها بر خلاف روش های عددی حل دقیق مسائل بوده، نتایج آنها نیاز به کنترل ندارند و بعلاوه حل مسائل نیاز به زمان محاسباتی بسیار کمتر داشته و در نتیجه برای انجام آنالیزهای حساسیت و پارامتری مناسب می باشد. عیب عمده آنها در ساده سازی خصوصیات مکانیکی و رفتاری توده سنگ و نگهداری برای یافتن حل مسائل پیچیده ریاضی می باشد (که نقطه ضعف بسیاری از نرم افزار های و روشهای عددی محیط های پیوسته نیز می باشد) [۱۵].



شکل ۷: مدل محاسباتی تحلیل پایداری تونل به روش ریاضی

نتایج:

هیچ تئوری جامعی برای تعیین فشار زمین وجود ندارد که بتواند در شرایط مختلف زمین شناسی تخمین مناسبی از بار روی نگهداری ارائه کند و بعلاوه فشار زمین به مشخصات نگهداری وابسته است. دانش تونل سازی با گذشت زمان ایجاد شده و تمام ابزار گوناگون رایج آن مثل روش های عددی، ریاضی، مونیتورینگ دارای معایب و مزایای خاص خود هستند.

قدردانی:

این مقاله با حمایت هسته پژوهشی طراحی و ساخت ابنیه زیرزمینی در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهید باهنر انجام گرفته است

منابع:

۱. ی.ی. تپلیتسکی، فشار زمین بر روی سازه های زیرزمینی، انتشارات مسکو، ۱۹۶۴.
۲. ن.س. بولیچف، مکانیک ابنیه زیرزمینی، انتشارات ندرا، ۱۹۹۴، ۳۸۲ صفحه.
۳. او.و. میخیف، یون.مالیشف، و.گ. لوری، وی.زیاندورگ، ای.هوک، کنترل وضعیت ژئومکانیکی توده سنگ، ۱۹۹۴ انتشارات دانشگاه معدن مسکو، ۳۵۴ صفحه.
۴. ن. س. بولیچف، ن.ن. فوتیوا، رضا رحمان نژاد، کارگاه آموزشی روش های تحلیلی محاسبه نگهداری تونل ها، اذر ۱۳۸۳، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۵. ابوبکر محمد بن الحسن الحاسب الکرچی قرن پنجم هجری . استخراج آبهای پنهانی ترجمه حسین خدیوچم، بنیاد فرهنگ ایران تهران ۱۳۴۵.
۶. آئین نامه طراحی تونل های معدنی SNiP-II-۹۴-۸۰، انتشارات استروی، ۱۹۸۲، ۳۱ صفحه.
۷. گ.گ. شتومف، پ.و.ایگوروف، اب. لیدف، نگهداری و محافظت حفريات معدنی، انتشارات ندرا، ۱۹۹۳، ۴۲۷ صفحه.
8. Bieniawski, Z. T. (1976) Rock mass classification in rock engineering. Proceedings of Symposium on Exploration for Rock Engineering (Balkema, Rotterdam), Vol.1, pp.97-106.
9. Goodman, R.E. (1989) Introduction to Rock Mechanics (John Wiley&Sons) pp243.
۱۰. ک.و. روپینیت، مقدمه ای بر مکانیک سنگ، انتشارات ندرا، ۱۹۶۰.
11. L.V. Rabsevicz, THE NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (part one), J. water power, March 1964, pp. 435-315.
12. L.V. Rabsevicz, THE NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (part two), J. water power, November 1964, pp. 212-216.
13. L.V. Rabsevicz, THE NEW AUSTRIAN TUNNELING METHOD (part three), J. water power, March 1964, pp. 21-25.
۱۴. و.ک. تسوتکف، محاسبه پارامترهای بهینه حفريات معدنی، انتشارات ندرا، ۱۹۹۳، ۲۵۱ صفحه.
۱۵. ن. س. بولیچف، مکانیک ابنیه زیرزمینی ومحاسبه حفريات معدنی، انتشارات ندرا، ۱۹۸۲، ۴۱۵ صفحه.

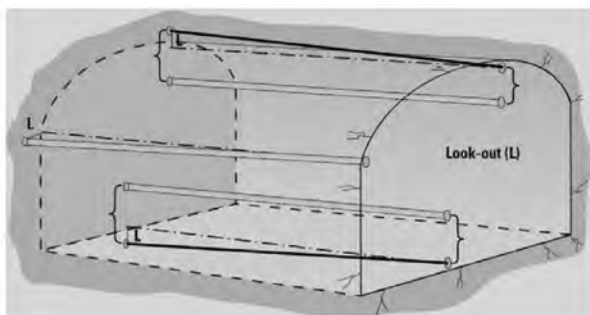
بهبود روش های چالزنی و آتشکاری در تونل

مترجم: مرتضی همزه ایبازنی

بکارگیری سیستمهای جدید همچون نائل بدلیل حساسیت پایین نسبت به چاشنی های الکتریکی، موجب کاهش زمان خرج گذاری و بالابردن ایمنی عملیات آتشباری شده است. چاشنی های الکتریکی تولید شده دارای خطای تأخیر کمی بوده و انواع شماره تأخیرات آن موجود است. در مواردی که ایجاد خطوط محیطی و حداقل اضافه و کسر حفاری مد نظر است، این سیستم ها با وجود قیمت نسبتاً بالا بهترین گزینه می باشند.

تجهیزات جدید موجب کاهش زمان چالزنی می شوند، به عنوان نمونه سیستم هایی همچون نائل موجب افزایش ایمنی و تسریع در اتصال چاشنی ها شده، ضمن اینکه استفاده از مواد منفجره امولسیون موجب کاهش زمان تهویه و افزایش سرعت عملیات اجرایی در سینه کار می گردد.

تمام این موارد در تسریع چرخه کاری چالزنی، خرج گذاری، انفجار، تهویه، لق گیری، تمهیدات نگهداری، تزریق، بارگیری و حمل و آماده سازی برای مرحله بعدی انفجار نقش دارند. امروزه با پیشرفت ماشین آلات لزومی به مشخص نمودن موقعیت چالها بر روی سینه کارها نیست و تمام اطلاعات بر روی سیستم کامپیوتری دستگاهها ذخیره شده است.



شکل ۱ - شیب بیرونی باید در حدی باشد که فضای لازم برای سیکل بعدی چالزنی فراهم نماید

متن حاضر ترجمه مقاله Atlas Copco, 2007, "Blasting Technology – Improving the quality of excavation" Reference Booklets from Atlas Copco Rock Drills – Face Drilling می باشد.

مقدمه

حفاری های زیرزمینی معمولاً با هدف ایجاد مسیر حمل و نقل، محل ذخیره سازی و یا استفاده از مصالح استخراج شده به عنوان منابع معدنی ایجاد می شوند که در همه موارد حفر تونل نقش به سزایی را دارا می باشد.

در ۲۵ سال گذشته، روشهای حفاری تونل پیشرفتهای قابل توجهی داشته است، به نحوی که ماشین آلات حفاری از روش پنوماتیکی به الکتروهیدرولیکی و پس از آن به جامبوهای حفاری با قابلیت های بالا، توسعه پیدا کرده که علاوه بر افزایش سرعت حفاری، موجب بالا رفتن کیفیت حفاری نیز شده است. منظور از کیفیت حفاری پارامترهای اولیه ای همچون تعیین موقعیت، امتداد و طول چالها به همراه کنترل و تنظیم پارامترهای حفاری مانند فشار ضربه، گشتاور وارده و بار اعمال شده می باشد تا بتوان به سرعت و دقت بیشتری در چالزنی دست یافت و نتیجه ایده آل تر در عملیات حفاری دست یافت، ضمن آنکه از گیرکردن و یا از دست دادن اجزای حفاری نیز جلوگیری نمود. به همین منظور تکنولوژی کامپیوتری با قابلیت ثبت و کنترل و نیز بهبود کیفی چالزنی، مورد استفاده قرار گرفته است.

خرج گذاری چالهای انفجاری می تواند به سرعت و با استفاده از روشهای دستی یا تجهیزات مکانیکی انجام شود. ضمن اینکه در روشهای مکانیکی برآورد مقدار مواد منفجره مورد نیاز به راحتی قابل تخمین بوده و تولید مواد منفجره در جهت ایمنی محصولات و بهبود ویژگی آنها و کاهش گازهای سمی متصاعد شده در اثر انفجارات می باشد. امولسیونهای جدید از جمله مواد ناریه تولیدی می باشند که از تعادل اکسیژنی خوبی برخوردار بوده و گازهای سمی و دود کمتری تولید می کنند.

سطح آزاد

تفاوت اصلی بین آتشکاری تونل و ترانشه های روباز در این است که در آتشکاری تونل یک سینه کار وجود دارد، در صورتیکه در آتشکاری ترانشه های روباز دو و یا تعداد سطوح آزاد بیشتری وجود دارد. بنابراین سنگ ها در تونل زنی بیشتر محصور می باشند و سطح آزاد دوم پس از خرد و به بیرون پرتاب شدن سنگ بوجود می آید. این سطح آزاد بوسیله یک برش در سینه کار تونل که می تواند از طریق برش موازی، برش V شکل یا بادبزی ایجاد شود، بوجود می آید. پس از ایجاد شدن سطح آزاد، پیشروی به سمت برش شروع خواهد شد. در این حالت سطوح آزاد را می توان با انفجار پله ها در ترانشه ها مقایسه نمود. اما بدلیل احتمال بالای انحراف چال، لزوم خردشدگی بالا و نبود شیب چال، حفاری تونل نیاز به خرج ویژه بالاتری دارد. ضمن اینکه صدمات ناشی از خرج گذاری زیاد در انفجار تونل با انفجارات روباز متفاوت است و دقت در محاسبات ضروری می باشد. در مورد برشهای V شکل و بادبزی، چالهای برش نقش عمده را در بازکردن تونل ایفا می کنند.

چالهای محیطی اطراف کف، دیوارها و سقف، باید با یک شیب بیرونی نسبت به محیط حفاری شوند، به نحوی که سطح مقطع مورد نظر در تونل ایجاد شود. شیب بیرونی حفاری باید در حدی باشد که فضای لازم جهت استقرار بوم دستگاه حفاری در محیط را برای مراحل بعد پیشروی فراهم نماید. به عنوان یک مینا این مقدار نباید از $10 \text{ cm} + 3$ عمق چال که حدود 20 cm خواهد شد، بیشتر باشد.

مقدار مواد منفجره مصرفی در انفجار تونل ها بیش از انفجارات روباز است. مقدار خرج ویژه در تونل ها 3 تا 10 برابر انفجار پله های روباز بوده که عمدتاً به دلایل اشاره شده در بالا، همانند نحوه توزیع چالها، محدود بودن فضا، بالا آمدگی سنگ زیر چال که موجب تورم چال می شود و عدم عملکرد صحیح بین چالهای مجاور هم در خرد شدن سنگ ها می باشد.

مواد منفجره مصرفی در محدوده برش بیش از دیگر نواحی سینه کار است. به نحوی که مقدار مواد مصرفی در سطح مقطع $1\text{m} \times 1\text{m}$ اطراف چالهای خالی در برش موازی حدود 7 kg/m^3 می باشد که با فاصله گیری از محدوده برش خرج ویژه به حداقل مقدار خود یعنی حدود 0.9 kg/m^3 می رسد.

چالهای برش موازی

امروزه استفاده از چالهای برش موازی یا چال برش طویل بیشترین استفاده را در تونل زنی دارد. در این حالت تمام چالها به موازات هم حفاری می شوند و انفجار به سمت چال یا چالهای خالی که به عنوان سطح آزاد عمل می کنند هدایت می شود.

در چال برش موازی، چالها به موازات هم و معمولاً به یک قطر هستند. در این روش یکی از چالهای میانی با خرج بیشتری پر می شود و چهار چال اطراف آن بدون خرج گذاری باقی ماند. در بعضی موارد چال میانی بدون خرج گذاری رها شده و چهار چال دیگر خرج گذاری می شود.

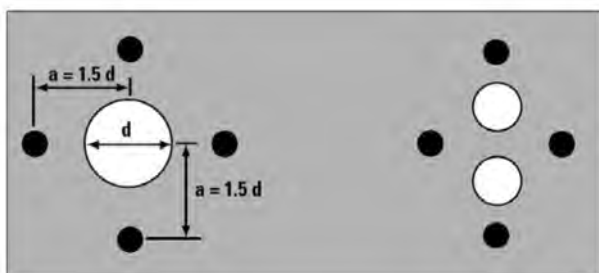
چالهای برش می تواند در هر موقعیتی از سینه کار تونل قرار گیرد. اما موقعیت آن بر پرتاب سنگ از سینه کار، مقدار مواد ناریه مصرفی و تعداد چالهای مورد نیاز اطراف آن تأثیر دارد.

در صورتیکه برش نزدیک به یکی از دیوارها قرار گیرد، احتمال انفجار بهتر الگوی انفجاری با تعداد چالهای کمتر در اطراف آن وجود دارد. ضمن اینکه سنگ موقعیت برش را می توان به سمت چپ و یا راست سینه کار با توجه به جنس سنگ تونل جابجا نمود. از طرفی به منظور جابجائی مناسب سنگ به سمت جلو و جمع شدن دپوی مصالح در وسط تونل، موقعیت چالهای برش را می توان به سمت وسط و ترجیحاً بخش پایینی سینه کار تونل منتقل نمود. در این حالت بدلیل ایجاد سطح آزاد در بخش پایینی تونل پرتاب کمتری ایجاد و مواد منفجره کمتری مصرف خواهد شد. در صورتیکه موقعیت برش فاصله بیشتری از کف تونل داشته باشد، مصالح دپو شده از پخش شدگی بیشتری برخوردار خواهند بود، ضمن اینکه بارگیری مصالح دپو شده راحت تر می شود. در عوض بدلیل قرار گرفتن سینه کار در ارتفاع بیشتر، مقدار مواد منفجره مصرفی و چالزنی بیشتری مورد نیاز است. معمولاً موقعیت چالهای برش در بالای اولین ردیف چالهای کف می باشد.

چالهای برش موازی از یک یا چند چال خرج گذاری نشده با قطر بالا تشکیل شده که توسط چالهای انفجاری با قطر کمتر احاطه شده است. چالهای انفجاری به شکل چهارگوش و در اطراف چالهای خالی که به عنوان سطح آزاد عمل می کنند، حفر می شوند.

تعداد چهارگوش های محدوده برش به مقدار روباره آخرین مربع بستگی دارد که این روباره نباید بیش از روباره چالهای محدوده پیشروی با توجه به مقدار مواد منفجره مصرفی در چال باشد.

چالهای برش تقریباً سطحی معادل 2 متر مربع را در بر می گیرد. در تونلهای با سطح مقطع کوچک، ممکن است تنها به حفاری چالهای برش و چالهای محیطی نیاز باشد.



شکل ۲ - نمونه ای از برش های موازی

در طراحی محدود برش، در نظر گرفتن پارامترهایی همچون قطر چال، بار سنگ و تمرکز مواد منفجره به منظور دستیابی به نتیجه مطلوب از اهمیت بالایی برخوردار است. به علاوه، دقت در حفاری، بخصوص برای چالهای پیشروی نزدیک به چالهای برش بسیار مهم می باشد، چرا که کوچکترین انحراف می تواند موجب تلاقی چالها با چالهای محدوده

به مرکز چالها و D قطر معادل چالهای خالی می باشد. چالهای نزدیک به چالهای خالی باید با دقت خرج گذاری شوند. خرج گذاری کم چالها ممکن است موجب خردشدن سنگ نشود، ضمن اینکه خرج گذاری بیش از حد ممکن است موجب برخورد سنگ در خلاف جهت دیوار چال خالی و تحکیم مجدد آن شود که در این صورت مانع از خارج شدن سنگ های خرد شده از داخل چال می شود. در نتیجه پیشروی کامل حاصل نخواهد شد.

محیط تونل

محیط تونل به چالهای کف، چالهای دیوار و چالهای سقف تقسیم بندی می شود. روباره و فاصله ردیفی چالها برای چالهای کف همانند چالهای محدوده پیشروی است. اما خرج گذاری چالهای کف باید بیشتر باشد تا توان جابجائی نیروی ثقل و وزن توده های سنگی دیگر بخشها را که هنگام انفجار روی آنها می افتد داشته باشد. برای انفجار چالهای محیطی سقف و دیوار تونل، دو راه کار استفاده از روش انفجاری معمولی و انفجار کنترل شده وجود دارد. در انفجار معمولی، نوع مواد منفجره مصرفی همانند دیگر چالهای پیشروی می باشد. البته مقدار مواد منفجره مصرفی در چالها کمتر و فاصله چالها نیز بیشتر است. در این حالت سطح داخلی تونل ناهموار، خرد شده و با پستی و بلندی همراه خواهد بود.

برای دستیابی به یک سطح صاف و محکم در تونل روش انفجار کنترل شده توصیه می شود. در انفجار کنترل شده، چالهای محیطی نزدیک به هم چالزنی می شوند و از مواد منفجره ضعیف تری برای انفجار استفاده می شود که نتیجه آن ایجاد یک سطح هموار با خردشدگی کمتر می باشد که نیاز به تحکیمات کمتری نسبت به انفجارات معمولی دارد.

الگوهای انفجاری

الگوهای انفجار باید به نحوی طراحی شوند که برای هر چال یک سطح خردشدگی آزاد داشته باشند. زاویه خردشدگی در محدوده برش کوچک و در حدود ۵۰ درجه می باشد. در محدوده پیشروی، الگوی انفجاری باید به نحوی طراحی شود که زاویه خردشدگی کمتر از ۹۰ درجه نشود.

در انفجار تونل تأخیر کافی بین چالها از اهمیت بالایی برخوردار است. در محدوده برش، تأخیر بین چالها باید در حدی باشد که زمان کافی برای خرد شدن سنگ و پرتاب آن به بیرون از طریق چال خالی (که قطر آن خیلی بزرگ نیست) با سرعت ۴۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه فراهم شود. بنابراین برای انفجار کامل محدوده برش در یک گام پیشروی به طول ۴ متر به یک تأخیر ۶۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه برای انفجار و خالی شدن چال لازم است. معمولاً در محدوده برش از تأخیرهای ۷۵ تا ۱۰۰ میلی ثانیه استفاده می شود.

برای هر یک از چالهای دو مربع اول محدوده برش باید از یک چاشنی با تأخیرهای متوالی استفاده نمود. اما در دو مربع بعدی امکان استفاده

برش و یا افزایش روباره شود. روباره زیاد تنها موجب خردشدگی و یا تغییر شکل پلاستیک در محدوده برش می شود که نتیجه آن کاهش طول پیشروی خواهد بود.

قطر چال

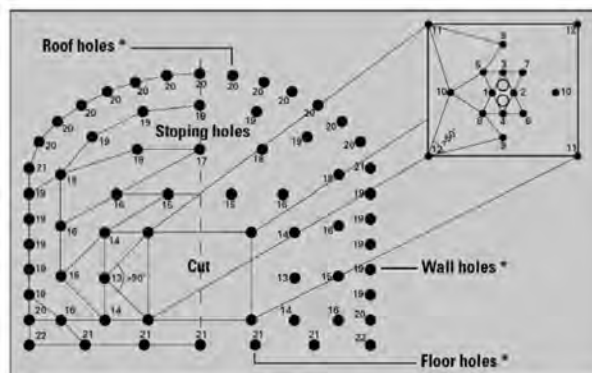
یکی از پارامترها برای پیشروی خوب چالهای انفجاری قطر چالهای خالی محدوده برش است. هر چقدر قطر چال بیشتر باشد، می توان چالها را با طول بیشتری حفاری نمود و انتظار پیشروی بیشتری داشت. یکی از دلایل اصلی که موجب کاهش طول پیشروی می شود کوتاه بودن طول چالهای خالی نسبت به چال های انفجاری است.

در حالتی که چالهای ۴ متری به همراه یک چال خالی به قطر ۱۰۲ میلیمتر حفاری شوند، انتظار می رود که پیشروی حدود ۹۰ درصد باشد. در صورتیکه چندین چال خالی حفاری شود، می توان یک قطر معادل برای آنها با استفاده از فرمول $D=d$ محاسبه نمود. در این رابطه D قطر چال خالی معادل، d قطر چالهای خالی و n تعداد چالها است.

به منظور محاسبه بار سنگ در اولین مربع در صورتیکه یک چال خالی حفاری شده باشد، قطر آن و در صورتی که چند چال خالی به عنوان سطح آزاد حفاری شده باشد، قطر معادل آنها در محاسبات منظور می شود.

فاصله بین چال انفجاری و چال خالی نباید بیش از ۱/۵ برابر قطر بزرگترین چالی باشد که انفجار به سمت آن انجام می شود. در صورتیکه این فاصله بیشتر باشد فقط یک سری درزه و ترک در اطراف چال خالی ایجاد شده و هنگامی که این فاصله کوتاهتر باشد احتمال برخورد چال انفجاری با چالی خالی زیاد است.

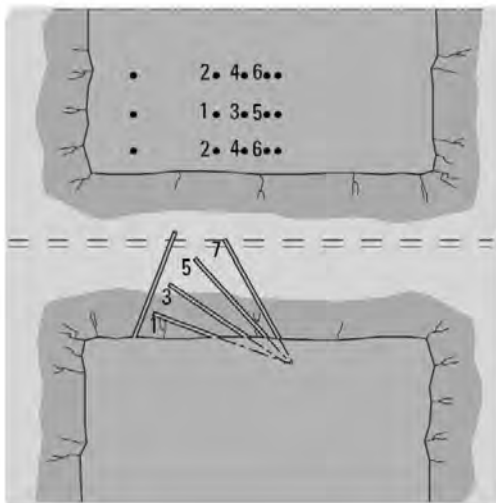
بنابراین در حالتی که یک چال خالی حفاری شده باشد موقعیت چالهای



شکل ۳ - نمونه ای از الگوی انفجاری

انفجاری در اولین مربع به صورت $a = 1/5 d$ بدست می آید که در آن a فاصله مرکز به مرکز چال خالی و چال خرج گذاری شده است. در صورتی که چندین چال خالی حفاری شود، فاصله بین آنها از چالهای خالی از رابطه $a = 1/5 D$ بدست می آید که در آن a فاصله بین مرکز

شکل ۳ تایی و ۴ تایی تبدیل شود. برای اطمینان از هماهنگی بین چالهای انفجاری و خرد شدگی سنگ در محدوده برش، هر کدام از برش های V شکل باید با استفاده از چاشنی های MS با تأخیر متوالی انفجار شود. فاصله زمانی تأخیر بین V های مختلف باید حدود ۵۰ میلی ثانیه باشد تا سنگ فرصت جابجایی و تورم را داشته باشد. اساس استفاده از برش بادبزنی، ایجاد یک بازشدگی ترانسه مانند در



شکل ۵ - آرایش چالزنی بادبزنی

میان سینه کار تونل است. در این حالت نیز همانند برش V شکل، عرض کافی جهت بکارگیری تجهیزات و دستیابی به پیشروی مناسب به ازای هر مرحله انفجار مورد نیاز می باشد.

انفجار چالهای محیطی

انفجار صحیح و بدون خردشدگی و اضافه حفاری بخصوص در تونلهایی که نیاز به پوشش بتنی با هزینه بالا برای جایگزین نمودن اضافه حفاری ها دارد از اهمیت زیادی برخوردار است.

به منظور کنترل و به حداقل رساندن اضافه حفاریها، روشهای انفجاری مختلفی با هدف کاهش تنش القاء شده توسط انفجار و جلوگیری از خرد شدگی سنگ پشت خط فرضی حفاری بکار گرفته شده است که لازمه آن کاهش و توزیع بهتر مواد منفجره می باشد.

در حفاری تونلهای راه و راه آهن، دستیابی به یک سنگ محکم و بدون ریزش که نیاز به تمهیدات نگهداری زیادی نداشته باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. هر چند در بعضی موارد امکان کنترل اضافه حفاری بدلیل نوع تشکیلات زمین-شناسی وجود ندارد، اما اجرای درست آتشیاری مقدار اضافه حفاری ها را حتی در بدترین شرایط زمین شناسی به حداقل می رساند.

اولین راهکاری که برای جلوگیری از اضافه حفاری ارائه گردید، چالزنی خطی محیط تونل بود. بدین ترتیب که یک ردیف چالهای خرج گذاری نشده نزدیک به هم در محیط تونل حفاری می شد که نتیجه آن ایجاد

از دو چاشنی با تأخیر یکسان وجود دارد. در محدوده چالهای پیشروی زمان تأخیر باید تا حدی باشد که اجازه جابجایی سنگ را بدهد. به طور معمول برای متورم و خردشدن سنگهای احاطه کننده این چالها حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی ثانیه زمان لازم است.

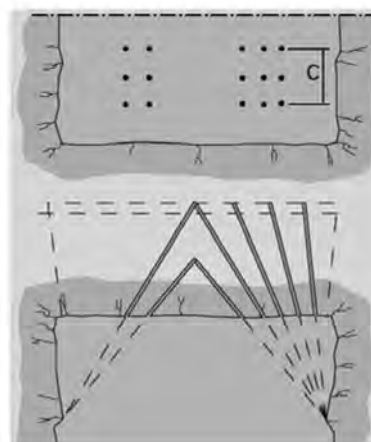
برای چالهای محیطی، زمان تأخیر انفجار چالها باید تا حد امکان کم باشد تا یک سطح انفجاری صاف و هموار ایجاد شود. بنابراین چالهای سقف باید با شماره تأخیر چاشنی یکسان انفجار نمود. در این مرحله استفاده از چاشنی های الکتریکی بدلیل اینکه پراکندگی بین زمان تأخیر آنها تقریباً صفر می باشد ارجحیت دارد. چالهای دیوارها نیز می بایست با تأخیر زمانی ثابت اما با یک تأخیر کمتر نسبت به سقف انفجار شوند.

چاشنی های مورد استفاده در تونل کاری می تواند الکتریکی و غیر الکتریکی باشد. چاشنی های الکتریکی با توجه به زمان تأخیر به دو نوع MS (میلی ثانیه) و HS (نیم ثانیه) و چاشنی های غیر الکتریکی با توجه به زمان تأخیر به دهم ثانیه و نیم ثانیه تقسیم شده اند.

برش های V شکل و بادبزنی

مرسوم ترین نوع برش با استفاده از چال های زاویه ای، برش V شکل است. در اجرای این نوع برش عرض تونل باید در حدی باشد که امکان استقرار تجهیزات حفاری وجود داشته باشد. ضمن اینکه مقدار فرضی پیشروی به ازای هر سیکل کاری با افزایش عرض تونل قابل افزایش بوده و می تواند به ۴۵ تا ۵۰ درصد عرض تونل نیز برسد. هر چند با آرایش بهتر الگوی انفجاری و دقت بیشتر در حفاری چالها نسبت به حالت معمول می توان به پیشروی بیشتری دست یافت.

در برش V شکل زاویه چال های محدوده برش نباید خیلی تند و یا کمتر از ۶۰ درجه باشد. چرا که زاویه بیشتر چالها مستلزم استفاده از مواد نارینه بیشتری در چالها است. چالهای برش معمولاً به شکل یک V دبل است که برای پیشروی با عمق بیشتر ممکن است به برش V



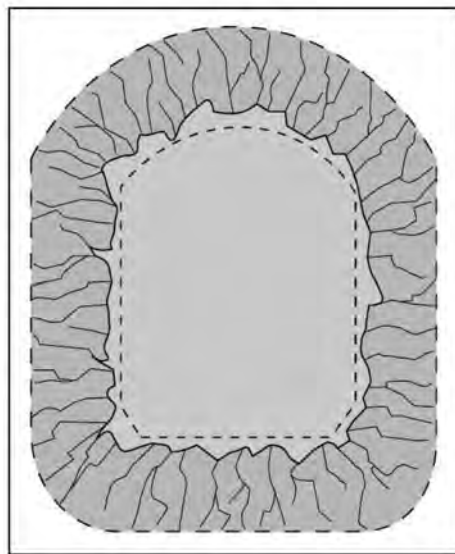
شکل ۴ - آرایش چالزنی برش V شکل

باید با مواد منفجره کمتری خرج گذاری شوند. کیفیت سنگ باقیمانده به طور قابل توجهی به فاصله ردیفی بین چالها (S) و بار سنگ (B) بستگی دارد. برای دستیابی به یک نتیجه مطلوب نسبت بین فاصله ردیفی چالها به بار سنگ (S/B) باید حدود ۰/۸ باشد. بدین ترتیب مقدار بار سنگ باید بیش از فاصله ردیفی چالها باشد. از آنجا که دستیابی به یک سطح هموار بدون درزه و شکاف در همه حفاری های دائم زیرزمینی مدنظر می باشد، انفجار آرام به عنوان یک روش استاندارد جهت حفاری کنترل شده محیط تونلها معرفی شده است. چرا که درزه و شکاف کمتری در سنگ ایجاد شده و این به معنای نیاز به تمهیدات کمتر برای تحکیم سنگ می باشد. از دیگر عوامل ایجاد درزه و ترک در دیواره تونلها، چالهای پیشروی نزدیک محیط تونل است. از آنجا که فواصل این چالها کم است، در صورتی که خرج گذاری آنها بیش از حد باشد، ممکن است سبب ایجاد درزه و ترک در سنگهای خارج از محدوده محیطی تونل شوند. مرکز تحقیقات مواد نارینه سوئد (SVEDEFO) تحقیقات گسترده ای جهت ارائه یک فرمول تجربی برای پیش بینی سرعت لرزش که می تواند از تمرکز خطی خرج در فواصل مختلف ایجاد شود انجام داده است. این

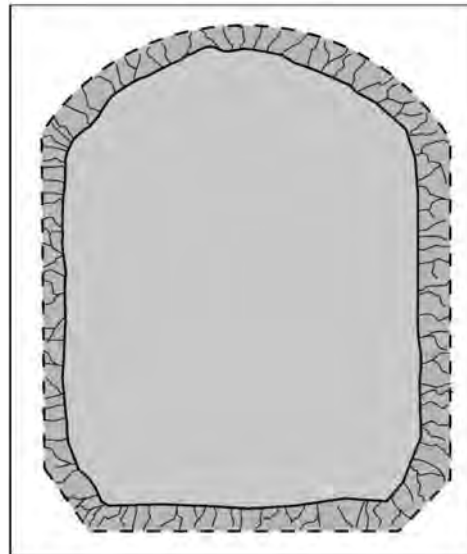
یک سطح صاف در اثر انفجار های نزدیک به آن بود. با گذشت زمان، چالزنی خطی اصلاح شده و خرج گذاری ضعیف چالهای محیطی و افزایش فاصله بین چالها تحت عنوان انفجار آرام و پیش شکافی متداول گردید. در انفجار آرام، چالهای محیطی بعد از چالهای اصلی انفجار و در انفجار پیش شکافی چالهای محیطی قبل از چالهای اصلی انفجار می شوند. در این روشها، علاوه بر محاسبات خرج گذاری چالهای محیطی، چالهای نزدیک به محیط تونل نیز باید به نحوی خرج گذاری شوند که باعث ایجاد درزه و شکاف بیرون از محیط انفجاری نشوند.

انفجار آرام

انفجار آرام بین سالهای ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی در سوئد توسعه یافته و اصلاح گردید. چالهای انفجار آرام به همراه دیگر چالها و در آخرین مرحله انفجار می شوند. مواد منفجره ای که برای انفجار این چالها استفاده می شود شامل مواد منفجره با قطر و خرج کم و سرعت انفجار و محتوای گاز پایین مانند گوریت می باشد. گوریت یک ماده منفجره با پایه نیتروگلیسیرین است که دارای خاک دیاتومیت بوده و اولین بار توسط آلفرد نوبل (Alfred Nobel) مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۷ - محدوده های خرد شده ناشی از انفجار معمولی



شکل ۶ - محدوده های خرد شده ناشی از انفجار آرام

تحقیقات اهمیت خرج گذاری مناسب در چالهای نزدیک به چالهای محیطی را برای دستیابی به یک انفجار بهتر نشان می دهد. جدول زیر مقادیر خرج پیشنهادی و الگوهای چالزنی برای قطرهای مختلف چالهای محیطی را نشان می دهد. در انفجار آرام بجای گوریت می توان از فتیله انفجاری که سرعت انفجار بالایی دارد نیز استفاده نمود. قطر کوچک فتیله انفجاری (در مقایسه با قطر چال انفجاری)

خرج گذاری چالهای محیطی باید با دقت و توسط مواد منفجره متصل به هم و انسداد چالها توسط گل گذاری انجام شود. به منظور جلوگیری از نفوذ ماسه به داخل چالها در حین گل گذاری می توان از یک تکه کاغذ بر روی آخرین فشنگ انفجاری استفاده نمود. برای جلوگیری از صدمه دیدن چالهای محیطی، چالهای محدوده پیشروی که به طور مستقیم در مجاورت چالهای محیطی قرار دارند،

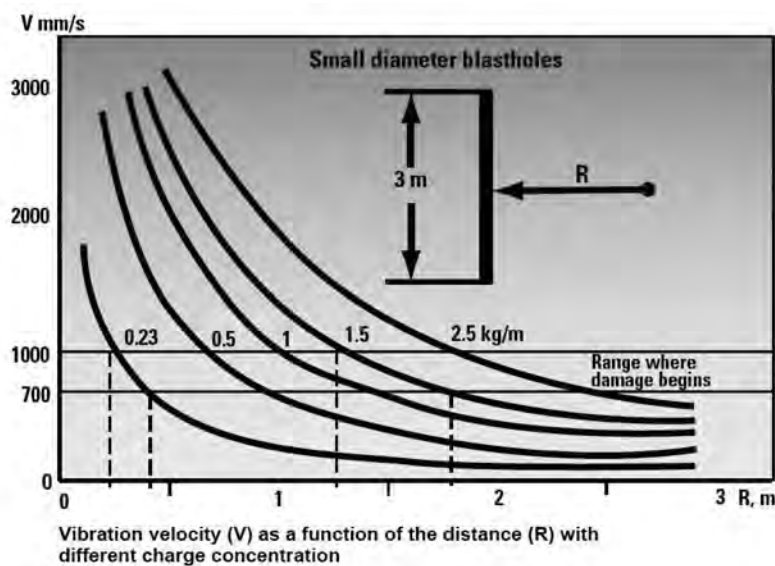
فاصله ردیفی (m)	روباره (m)	نوع مواد منفجره	تراکم مواد منفجره (kg/m)	قطر چال‌های محیطی
۰/۳۵ - ۰/۲۵	۰/۵ - ۰/۳	گوریت ۱۱ میلی‌متر	۰/۱۱	۳۲-۲۵
۰/۷۰ - ۰/۵۰	۰/۹ - ۰/۷	گوریت ۱۷ میلی‌متر	۰/۲۳	۴۸-۳۵
۰/۹۰ - ۰/۸۰	۱/۱ - ۱/۰	گوریت ۲۲ میلی‌متر	۰/۴۲	۶۴-۵۱
۰/۹۰ - ۰/۸۰	۱/۲ - ۱/۱	گوریت ۲۲ میلی‌متر	۰/۴۵	۶۴-۵۱

و مقدار محتوای گاز کم آن، صدمات کمتری را به سنگ‌های در برگیرنده تونل وارد می‌نماید.

مطابق داده‌های این جدول، می‌توان گوریت ۱۱ میلی‌متر را با فیتله انفجاری ۴۰ g/m، گوریت ۱۷ میلی‌متر را با فیتله انفجاری ۸۰ g/m و گوریت ۲۲ میلی‌متر را با فیتله انفجاری ۱۶۰ g/m جایگزین نمود. مواد ناریه مصرفی باید به یکدیگر متصل باشند و به صورت تسبیحی

هزینه اضافه حفاری

انحراف در حفاری چالهای خارج از محدوده خطوط فرضی، موجب افزایش هزینه‌های ساخت خواهد شد. در روشهای چالزنی که در گذشته استفاده می‌شد، اضافه حفاری را به عنوان یک عامل طبیعی می‌دانستند. اما در تکنولوژی جدید ماشین آلات حفاری به نحوی



شکل ۸ - سرعت انفجار با توجه به انواع مواد منفجره

طراحی شده‌اند که امکان کنترل طول، شیب و امتداد چالها با توجه به نحوه استقرار بازوی دستگاه وجود دارد، به نحوی که حفاری با فاصله ای حدود ۱۰ سانتیمتر از خط فرضی تونل امکان پذیر است. در نتیجه با چالزنی صحیح می‌توان از چهار عامل اساسی که هزینه‌های عملیات اجرایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد جلوگیری نمود. این عوامل عبارتند از: هزینه جابجایی حجم مصالح سنگی حاصل از اضافه حفاری، نگهداری اولیه با شاکریت، لاینینگ بتنی و طولانی شدن زمان ساخت.

انفجار شوند. ضمن اینکه تمام چالها باید مسدود باشند و در غیر این صورت ممکن است در اثر انفجار فشنگهای انفجاری به بیرون پرتاب شوند. برای انسداد چالهای انفجاری روشهای جدیدی بر مبنای محبوس نمودن کامل مواد ناریه در چال ارائه شده است. هر چند با توجه به شیوه‌های جدید خرج گذاری خیلی ضروری نیست. به طور کلی مزایای انفجار آرام عبارتند از: افزایش فاصله چال یا کاهش هزینه چالزنی، نتیجه بهتر در تشکیلات سنگی با کیفیت پایین حفاری، انفجار همزمان چالها در یک سیکل پیشروی و توزیع بهتر و خرج گذاری کمتر چالهای محیطی.

اندرکنش زمین - پوشش در تونل‌های سنگی

امیرعبداله ایران زاده، کارشناس مکانیک سنگ شرکت خدمات مهندسی برق (مشانیر)

A.Iranzadeh@Moshanir.com

(متن حاضر ترجمه مقاله:

Moorak Son, Edward J.Cording "Ground-Liner interaction in rock tunneling", 2007.

Tunneling and Underground space Technology 22(2007)1-9.

می باشد)

چکیده

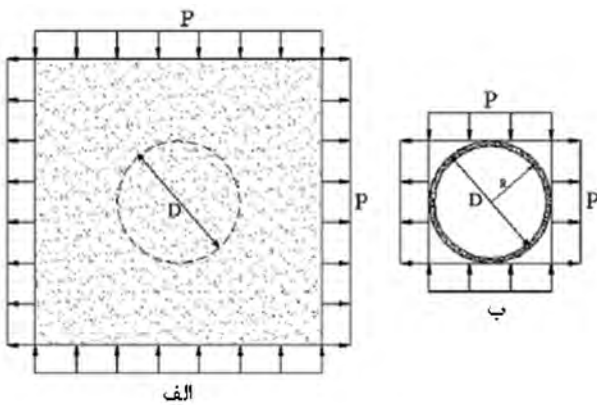
حفاری و ساخت تونل‌ها به دلیل توسعه و پیشرفت سازه‌های زیربنایی و مهم همچون بزرگراه‌ها، مترو، خطوط راه آهن و سایر امکانات مورد نیاز، به تدریج افزایش یافته است. بیشتر تونل‌ها به وسیله روش چالزنی و انفجار یا با استفاده از ماشین‌های حفر تونل همچون TBM یا سپرها، حفاری می‌شوند. روش جدید تونلسازی اتریسی (NATM) یکی از پرکاربردترین روش‌های تونلسازی بوده و از روش چالزنی و انفجار برای حفاری در سنگ استفاده می‌کند. استفاده از TBM یا ماشین‌های سپری منجر به ایجاد یک سطح حفاری صاف و عادی می‌شود ولی روش انفجار باعث ایجاد یک سطح غیر منظم و زبر می‌شود. رفتار تنش در پوشش شاتکریت تونل بسیار به وضعیت سطح وابسته بوده و مهندس تونل باید شرایط سطح را در طراحی پوشش شاتکریت در نظر داشته باشد. برای بررسی تأثیر بی‌نظمی سطح حفاری شده تونل بر رفتار پوشش شاتکریت، روش تحلیل عددی به کار برده شده است. در این مطالعات، پارامترهای کنترل شده شامل بی‌نظمی سطح حفاری، سختی زمین دربرگیرنده و ضریب فشار زمین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج نشان دهنده این نکته است که عکس العمل پوشش شاتکریت به شدت وابسته به این پارامترها بوده و در شرایط فشار زمین یکسان و هنگامی که سختی زمین دربرگیرنده کمتر بوده و بی‌نظمی بیشتر باشد، این تأثیر بسیار واضح‌تر است. کلمات کلیدی: تونل سنگی؛ بی‌نظمی سطح حفاری؛ پوشش شاتکریت؛ اندرکنش پوشش - زمین؛ انعطاف پذیری

۱- مقدمه

شود. روش جدید تونلسازی اتریسی (NATM) یکی از پرکاربردترین روش‌های تونلسازی بوده و از روش چالزنی و انفجار برای حفاری در سنگ استفاده می‌کند و یک پوشش شاتکریت و پیچ سنگ به عنوان سیستم اصلی نگهداری اعمال می‌شود. حفاری تونل به روش چالزنی و انفجار در مقایسه با روش حفاری ماشینی منجر به ایجاد یک سطح حفاری نامنظم می‌شود. درجه و میزان بی‌نظمی وابسته به روش انفجار، سختی سنگ، مشخصات درزه‌ها، مقیاس و مهارت دارد. براساس نظر Hoek and Brown (۱۹۸۰)، بی‌نظمی سطح تونل ممکن است منجر به القای تمرکز تنش بالا در سیستم نگهداری آن همچون پوشش شاتکریت اعمالی در سطوح بی‌نظم شده و ممکن است منجر به ترک خوردگی و ریزش آن شود. هرچند بر بی‌نظمی و یکنواخت نبودن ضخامت پوشش شاتکریت تأکید

تونل مهمترین سازه زیرزمینی بوده و کاربرد گسترده‌ای در سیستم‌های حمل و نقل، انتقال آب و اهداف دیگری همچون نصب و انتقال کابل‌های مخابراتی و برق دارد. با توسعه و ارتقای ساختارهای زیربنایی، ساخت تونل در تمام دنیا افزایش یافته و ایمنی و اقتصادی بودن آن اهمیت زیادی یافته است. در ارتباط با ساخت تونل، Peak (۱۹۶۹) سه نکته را مطرح نموده است، نخست پایداری و نگهداری در هنگام ساخت، دوم به حداقل رساندن تأثیرات نامطلوب بر بخش‌های دیگر و درنهایت ارضای کاربری مورد نظر در طول عمر پروژه. نکته اول به صورت مستقیم وابسته به طراحی سیستم نگهداری تونل است.

در تونل‌های حفر شده در سنگ، حفاری تونل به وسیله چالزنی و انفجار یا با استفاده از ماشین‌های حفاری تونل همچون TBM یا سپر انجام می‌



شکل ۱- زمین و پوشش تحت تأثیر برش خالص (Peak et al., ۱۹۷۲).

در حالت برش خالص با وجود فشار خارجی یکنواخت P ، کرنش ابعادی پوشش تونل دایروی با استفاده از رابطه ۳ (شکل ۱ ب) تعریف می شود.

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{PR^3}{6E_1I_1} \quad (3)$$

و سختی خمشی پوشش با در نظر گرفتن حالت کرنش صفحه ای به صورت رابطه (۴) تعریف می شود.

$$\frac{P}{\Delta D/D} = \frac{6E_1I_1}{R^3(1-\nu_1^2)} \quad (4)$$

در روابط بالا E_1 مدول الاستیسیته پوشش، I_1 ممان اینرسی پوشش در مقطع عرضی در واحد طول تونل و در امتداد محور تونل و R شعاع پوشش است. ضریب انعطاف پذیری (F) از تقسیم سختی خمشی زمین بر سختی خمشی پوشش محاسبه شده و به صورت زیر تعریف می شود.

$$F = \frac{\frac{E}{(1+\nu)}}{\frac{6E_1I_1}{R^3(1-\nu_1^2)}} \quad (5)$$

قابلیت تراکم، یک نسبت سختی تعمیم یافته مابین زمین و پوشش است، و نسبت سختی تعمیم یافته زمین و پوشش را می توان با اندازه گیری تغییرات قطر ($\Delta D/D$) در فشار خارجی P ، همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، محاسبه کرد. کرنش ابعادی تونل دایروی فرضی در زمین با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می شود (شکل ۲ الف):

شده است، ولی در هنگام طراحی سیستم، فرض بر صاف و یکنواخت بودن محیط حفاری شده تونل می باشد. علاوه بر این در بیشتر مدل های فیزیکی استفاده شده برای بررسی رفتار پوشش شاتکریت همچون کار انجام شده توسط Fernandez و همکارانش (۱۹۷۵)، ضخامت پوشش یکنواخت در نظر گرفته شده است.

به منظور درک بهتر تأثیر بی نظمی سطح حفاری بر عکس العمل پوشش شاتکریت و برای تهیه یک پیش زمینه عمومی در طراحی پوشش شاتکریت، در این مقاله رفتار و عکس العمل پوشش تونل تحت تأثیر شرایط مختلف سطح حفاری، سختی سنگ و وضعیت فشار زمین با در نظر گرفتن اندرکنش پوشش- زمین، بررسی شده است.

۲- طراحی پوشش تونل

بر اساس نظر Peak (۱۹۶۹) یک پوشش هنگامی انعطاف پذیر است که با زمین دربرگیرنده به طریقی اندرکنش داشته باشد که توزیع تنش بر روی پوشش و تغییر شکل ناشی از آن منجر به ممان های خمشی ناچیز در تمام نقاط پوشش شود، و هنگامی صلب خوانده می شود که تحت تأثیر بارهای ناشی از زمین تغییر شکل و کج شدگی بسیار ناچیزی داشته باشد و اندرکنش زمین - سازه بسیار کم باشد. صلب یا انعطاف پذیر بودن یک پوشش وابسته به سختی نسبی مابین زمین و پوشش و قطر تونل است. بطور مثال، یک پوشش با زمین دربرگیرنده سخت و قطر بزرگ ممکن است انعطاف پذیر خوانده شود ولی همان پوشش در یک زمین نرم و با قطر کم صلب خوانده می شود.

Peak و همکارانش (۱۹۷۲) با استفاده از کارهای تحلیلی Burns and Richard (۱۹۶۴) و Hoeg (۱۹۶۸) تعریف نسبت های سختی را ارائه کردند که شامل نسبت انعطاف پذیری و نسبت تراکم پذیری پوشش تونل می باشند.

نسبت انعطاف پذیری، نسبت سختی خمشی مابین زمین و پوشش بوده و سختی خمشی به عنوان مقاومت در برابر تغییر شکل تحت تأثیر برش خالص تعریف می شود؛ همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، سختی خمشی زمین تحت اثر فشار خارجی یکنواخت P را می توان با اندازه گیری تغییرات قطری تونل تحت اثر برش خالص تعریف کرد. کرنش ابعادی یک تونل دایروی فرضی در زمین با استفاده از معادله ۱ محاسبه می شود.

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{P}{E}(1+\nu) \quad (1)$$

سختی خمشی زمین به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{P}{\Delta D/D} = \frac{E}{(1+\nu)} \quad (2)$$

که در این روابط، D قطر تونل دایروی فرضی است. E مدول یانگ زمین و ν ضریب پواسون زمین است.

$$C = \frac{\frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}}{\frac{E_1 t}{R(1-\nu_1^2)}} \quad (10)$$

پوشش تونل باید در برابر نیروی عمودی و گشتاور حاصل از بارگذاری خارجی مقاوم بوده و به صورت ایمن و پایدار طراحی شود. به دلیل اندرکنش مابین پوشش و زمین، نیروی عمودی و گشتاور در پوشش همانطور که Burns and Richard (۱۹۶۴) نشان داده اند، از نسبت های انعطاف پذیری و تراکم پذیری اثر می پذیرند. در یک شرایط مشخص، اندازه گشتاور و نیروی عمودی در پوشش را می توان به صورت نظری از روابط ذیل بدست آورد.

گشتاور: (11)

$$\text{Moment}(M) = \frac{PR^2}{2} \left\{ (1 + K_o) \left[\frac{(1 - 2\nu)C}{6F} \right] [1 - L_n] + 0.5(1 - K_o)[1 - J_n - 2N_n] \cos 2\theta \right\}$$

نیروی عمودی: (12)

$$\text{Thrust}(T) = \frac{PR^2}{2} \left\{ (1 + K_o)[1 - L_n] + (1 - K_o)[1 + J_n] \cos 2\theta \right\}$$

که در آن K_o ضریب فشار زمین بوده و θ زاویه ای است که به صورت پاد ساعتگرد نسبت به صفحه افق اندازه گرفته می شود. همچنین F نسبت انعطاف پذیری و C نسبت تراکم پذیری است.

$$L_n = \frac{(1 - 2\nu)(C - 1)}{1 + (1 - 2\nu)C} \quad (13)$$

$$J_n = \frac{[(1 - 2\nu)(1 - C)]F - 0.5(1 - 2\nu)^2 C + 2}{[(3 - 2\nu) + (1 - 2\nu)C]F + 0.5(5 - 6\nu)(1 - 2\nu)C + (6 - 8\nu)} \quad (14)$$

$$N_n = \frac{[1 + (1 - 2\nu)C]F - 0.5(1 - 2\nu)C - 2}{[(3 - 2\nu) + (1 - 2\nu)C]F + 0.5(5 - 6\nu)(1 - 2\nu)C + (6 - 8\nu)} \quad (15)$$

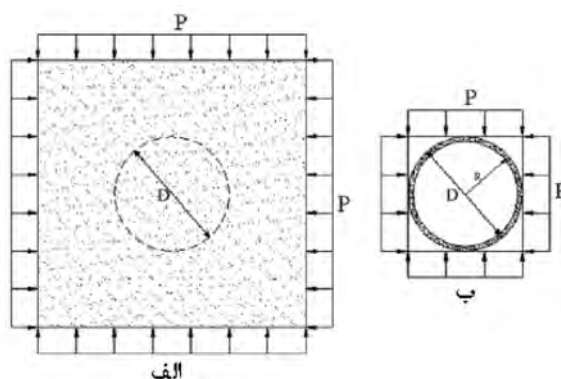
گشتاور و نیروی عمودی که به صورت نظری محاسبه می شود با این فرض است که ضخامت پوشش در محیط تونل یکسان بوده و هیچگونه افتی در محل برخورد زمین و پوشش وجود ندارد. مقادیر نظری گشتاور

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{P}{E}(1 + \nu)(1 - 2\nu) \quad (6)$$

و سختی تعمیم یافته به صورت زیر تعریف می شود.

$$\frac{P}{\Delta D/D} = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad (7)$$

که در آن D قطر تونل دایروی فرضی است. E مدول یانگ زمین و ν ضریب پواسون زمین است.



شکل ۲- زمین و پوشش تحت تأثیر فشار یکنواخت (پیک و همکاران، ۱۹۷۲).

در فشار خارجی یکنواخت P کرنش قطری پوشش یک تونل دایروی (شکل ۲ب) با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می شود:

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{PR}{E_1 t} \quad (8)$$

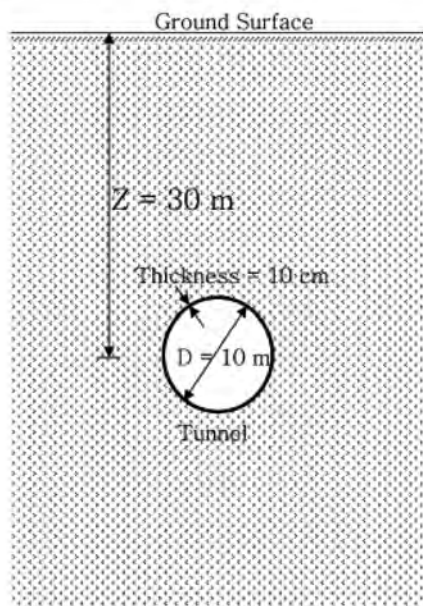
و سختی تعمیم یافته پوشش در حالت کرنش صفحه ای با استفاده از رابطه زیر تعریف می شود.

$$\frac{P}{\Delta D/D} = \frac{E_1 t}{R(1 - \nu_1^2)} \quad (9)$$

که در این رابطه E_1 مدول الاستیسیته پوشش و R و t به ترتیب شعاع و ضخامت پوشش می باشند. نسبت تراکم پذیری C از تقسیم سختی تعمیم یافته زمین بر سختی تعمیم یافته پوشش به دست آمده و از رابطه ذیل محاسبه می شود:

شرایط وجود دارد. این مشخصات، بررسی تأثیر پارامترهای مختلف برعکس العمل پوشش شاتکریت نصب شده در سطح نا منظم حفاری را ممکن می‌سازد.

فرض شده است که یک تونل دایروی با قطر ۱۰ متر در عمق ۳۰ متری زیر سطح زمین حفر شده باشد (شکل ۳). با فرض شرایط متقارن



شکل ۳- شرایط و هندسه تونل در مدل عددی

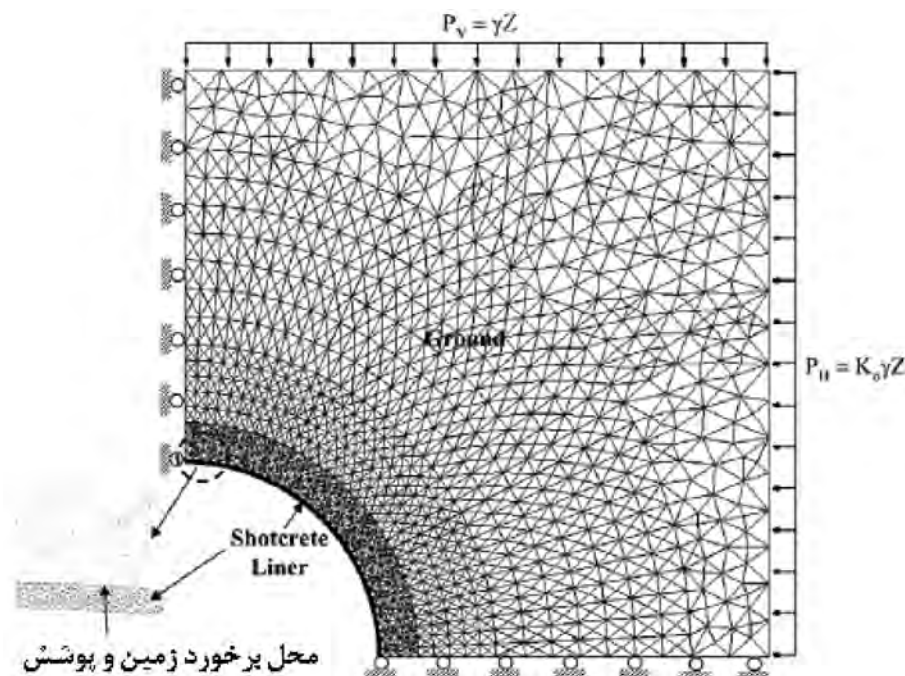
و نیروی عمودی در تاج تونل و خط مرکزترسیم شده و با نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی در شرایط مختلف در بخش بعدی مقایسه شده است.

۳- تحلیل‌های عددی

تحلیل‌های عددی به منظور بررسی عکس‌العمل پوشش در تونل‌های حفر شده در سنگ، استفاده شده است. همانطور که پیشتر اشاره شد، حفاری تونل به روش چالزنی و انفجار منجر به ایجاد سطح غیر یکنواخت و زبر می‌شود. غیر یکنواختی سطح حفاری شده ممکن است به دلیل تمرکز تنش، باعث افزایش گشتاور و تنش عمودی در پوشش نصب شده در محیط تونل شود. هرچند، روابط تئوریک اندرکنش زمین - پوشش بر این فرض استوار است که سطح حفاری به اندازه‌ای صاف است که ضخامت پوشش در محیط تونل یکنواخت می‌باشد.

در تونل‌های سنگی حفر شده به روش چالزنی و آتشباری، ایجاد یک سطح حفاری کاملاً صاف میسر نمی‌باشد، البته کاهش غیریکنواختی سطح امکانپذیر است. از اینرو، بررسی تغییرات نیروی عمودی و گشتاور در پوشش شاتکریت تونل به دلیل غیریکنواختی سطح و تهیه مفاهیم قابل قبول برای طراحی و نصب پوشش شاتکریت در یک تونل حفر شده در سنگ که به روش چالزنی و آتشباری حفر شده است، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

تحلیل‌های عددی با استفاده از روش اجزای مجزای دو بعدی (UDEEC نسخه ۳/۱، سال ۲۰۰۰) انجام شده است. مزیت تحلیل‌های عددی در آن است که در زمان، هزینه و فضای محدود واحد می‌توان شرایط بسیار متفاوتی را در نظر گرفت و همچنین امکان بازآفرینی مجدد



شکل ۴ الف- هندسه عددی و شرایط مرزی یک تونل با سطح بدون بی‌نظمی (I=0 cm)

حفاری شده تونل بر تغییرات نیروی عمودی و گشتاور در پوشش شاتکریت تونل، در شرایط مشخص انجام شده است. پارامترهای کنترل شده شامل سختی زمین (E)، بی نظمی (I)، شکل ۴-د ملاحظه شود)، و ضریب فشار زمین (K_0) می باشند. مطالعات پارامتری به منظور بررسی نسبت تعدیل شده گشتاور ($\frac{M}{\gamma Z R^2}$) و نسبت تعدیل شده نیروی عمودی القاء شده در پوشش شاتکریت ($\frac{T}{\gamma Z R^2}$) به دلیل وجود بی نظمی در سطح حفاری شده تونل، انجام شده است، که در آن γ وزن مخصوص زمین، Z عمق مرکز تونل و R شعاع تونل است و تغییرات مقادیر تعدیل شده با توجه به تغییر نسبت انعطاف پذیری، مورد مطالعه قرار گرفته است. Peak و همکارانش (۱۹۷۲) اشاره کرده اند که نسبت های گشتاور و نیروی عمودی تعدیل شده وقتی که عمق مدفون تونل به حالت کاملاً مدفون به نسبت عمق بی بعد (Z/D) برابر با ۱/۵ نزدیک شود، افزایش می یابد. عمق بی بعد در این مقاله ۳ می باشد ($D=10\text{ m}$ و $Z=30\text{ m}$) که به اندازه کافی برای رسیدن به شرایط کاملاً مدفون عمیق می باشد.

در کنار مطالعات پارامتری عددی، نسبت های تعدیل شده نظری بر اساس مقدار بی نظمی (I) مساوی صفر در شرایط مختلف زمین از نظر سختی و ضریب فشار زمین محاسبه و با نتایج مطالعات عددی به منظور مطالعه چگونگی تأثیر بی نظمی سطح، مقایسه شده اند. در شرایط نظری، فرض شده است که هیچ گونه افت یا لغزشی در محل برخورد مابین پوشش شاتکریت تونل و زمین دربرگیرنده وجود نداشته

در تونل، فقط یک چهارم آن در روش عددی مدلسازی شده است (شکل های ۴ الف-د). شرایط مرزی مدل عبارتند از تکیه گاه غلتکی در مرزهای عمودی چپ و زیرین افقی، و تنش زمین در مرزهای سمت راست و فوقانی اعمال شده است (شکل ۴ الف). زمین و پوشش به صورت مجزا با استفاده از شبکه مش ریزتر برای بخش پوشش مدلسازی شده اند و تحلیل ها با فرض شرایط کرنش صفحه ای انجام شده است. پوشش و زمین بصورت ایزوتروپ و همسانگرد، همگن، الاستیک و بدون وزن فرض شده اند.

مدل محل برخورد زمین- پوشش به گونه ای انتخاب می شود که اگر تنش عمودی از حداکثر مقاومت کششی محل برخورد بیشتر شد یا تنش برشی آن بیش از مقاومت برشی باشد (که ترکیبی از چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک (ϕ) است)، محل برخورد مقاومت خود را از دست می دهد. پیش از غلبه بر مقاومت، مدل زمین- پوشش از یک رابطه خطی تنش - جابجایی تبعیت می کند. پس از غلبه بر مقاومت، محل برخورد فقط مقاومت اصطکاکی خواهد داشت.

خواص زمین و پوشش، که شامل مدول الاستیسیته و نسبت پواسون می باشد، و خواص محل برخورد زمین- پوشش که شامل سختی عمودی، سختی برشی، زاویه اصطکاک، مقاومت کششی، و مقاومت چسبندگی است که بر اساس مقادیر برداشت شده از کارگاه انتخاب شده اند (جدول ۱).

مطالعات پارامتری عددی به منظور بررسی تأثیر بی نظمی سطح

پوشش شاتکریت	
مدول یانگ (E)	۲۱ GPa
نسبت پواسون (ν)	۰/۱۵
ضخامت (t)	۱۰ cm
بی نظمی (I)	۰/۵، ۰/۱۵، ۰/۳۰
زمین	
مدول یانگ (E)	۲/۱ و ۲۱۰، ۱۰۵، ۲۱ GPa
نسبت پواسون (ν)	۰/۲۵
ضریب فشار زمین (K_0)	۰/۵ و ۱۰/۲
محل برخورد زمین و پوشش	
سختی عمودی محل برخورد (K_{II})	KPa/m ۵e۶
سختی برشی محل برخورد (K_S)	KPa/m ۵e۶
زاویه اصطکاک (ϕ)	۴۵ درجه
مقاومت کششی (σ_r)	KPa ۱e۳
مقاومت کششی (C)	KPa ۱e۳

است و نتایج آن مشابه نتایج مدل با مقدار بی نظمی (I) برابر صفر است. نتایج مطالعات پارامتری و محاسبات نظری در کنار هم اطلاعات پایه ای و سودمندی برای بررسی عکس العمل پوشش شاتکریت اعمال شده در سطح تونل هایی که به روش چالزنی و انفجار حفاری می شوند، فراهم می آورد.

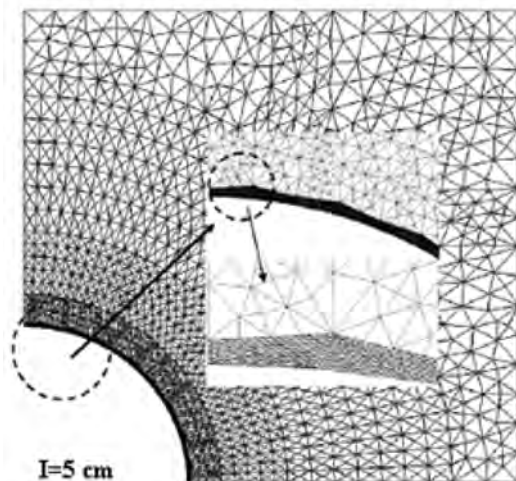
۳-۱- تأثیر گشتاور در پوشش شاتکریت تونل

ارتباط بین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده گشتاور در تاج تونل در مقادیر مختلف K_0 برابر با ۰/۵، ۱ و ۲ در شکل ۵ نشان داده شده است. با افزایش نسبت K_0 ، نسبت تعدیل شده گشتاور در مقادیر بی نظمی برابر با ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر در مقایسه با شرایطی که بی نظمی وجود نداشته باشد، به شدت افزایش می یابد. البته مقدار افزایش در بی نظمی ۵ سانتیمتری، ناچیز می باشد. افزایش نسبت گشتاور نرمال شده به میزان زیادی به ارتفاع بی نظمی و ضریب فشار زمین وابسته است و هرچه مقدار این ضریب و ارتفاع بی نظمی بیشتر باشد، مقدار افزایش نسبت تعدیل شده گشتاور بیشتر خواهد بود. با افزایش نسبت انعطاف پذیری، نسبت نرمال شده گشتاور در مقدار $F=192/400$ (E=21 GPa) سنگ متوسط تا خوب با امتیاز RMR ۶۰ تا ۸۰) در مقایسه با $F=19/240$ (E=21 GPa) سنگ ضعیف تا متوسط با امتیاز RMR ۴۰ تا ۶۰) دچار یک افت ناگهانی می شود، و سپس به تدریج کاهش یافته و نهایتاً در مقادیر بالای انعطاف پذیری به صفر نزدیک می شود. بررسی ها نشان می دهند که افزایش نسبت تعدیل شده گشتاور در مقادیر بزرگتر بی نظمی و کوچکتر نسبت انعطاف پذیری آشکارتر بوده و لذا بر این نکته دلالت می کند که اگر پوشش شاتکریت تونل در مقایسه با زمین دربرگیرنده سازه انعطاف پذیرتر باشد، گشتاور القایی در شاتکریت کمتر از سطح حفاری شده تونل و شرایط تنش زمین متأثر خواهد بود. به عبارت دیگر، در یک لایه شاتکریت با مشخصات معلوم، تأثیر بی نظمی بر عکس العمل پوشش شاتکریت در شرایط سنگ ضعیف در مقایسه با سنگ هایی با کیفیت خوب، بیشتر خواهد بود.

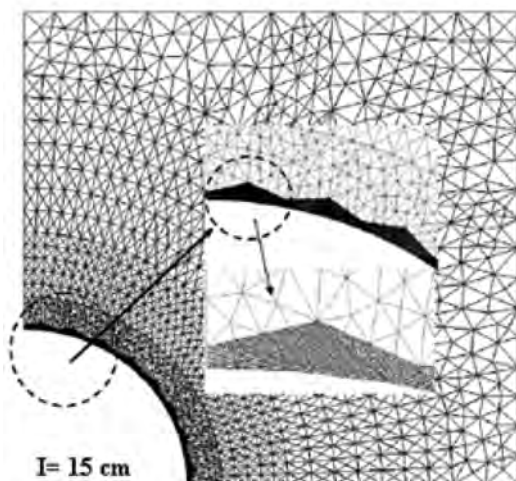
شکل ۶ نشان دهنده رابطه مابین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده گشتاور در خط مرکزی تونل در نسبت های K_0 برابر با ۰/۵، ۱ و ۲ می باشد. با کاهش ضریب فشار زمین، نسبت تعدیل شده گشتاور در مقادیر I مساوی ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر، مشابه آنچه در تاج تونل رخ داد، بصورت چشمگیری افزایش می یابند. افزایش نسبت تعدیل شده گشتاور همچنین به شدت به ارتفاع بی نظمی و ضریب فشار زمین وابسته است. روند مشابهی با آنچه در تاج تونل دیده شد در چگونگی ارتباط مابین نسبت انعطاف پذیری و نسبت نرمال شده گشتاور مشاهده می شود. البته، تغییرات گشتاور القایی به علت وجود بی نظمی و ضریب فشار زمین به طور نسبی کمتر از مورد مشابه در تاج تونل است.

۳-۲- تأثیر نیروی عمودی در پوشش شاتکریت در تونل

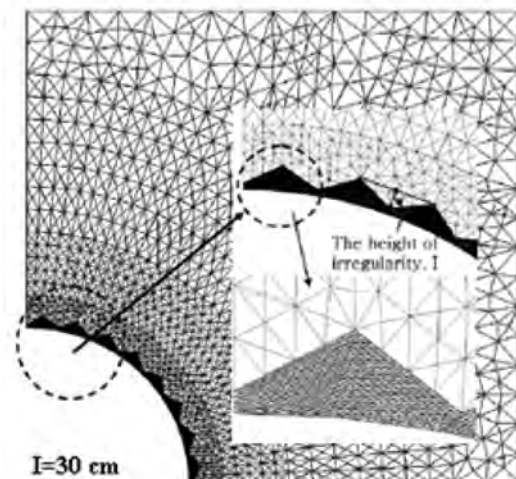
در شکل ۷ ارتباط مابین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده نیروی عمودی در تاج تونل برای نسبت های مختلف K_0 برابر با ۰/۵، ۱ و ۲ نشان داده شده است. افزایش نسبت تعدیل شده نیروی عمودی به شدت به ارتفاع بی نظمی و ضریب فشار زمین وابسته است. در تمام شرایط و مقادیر



ب

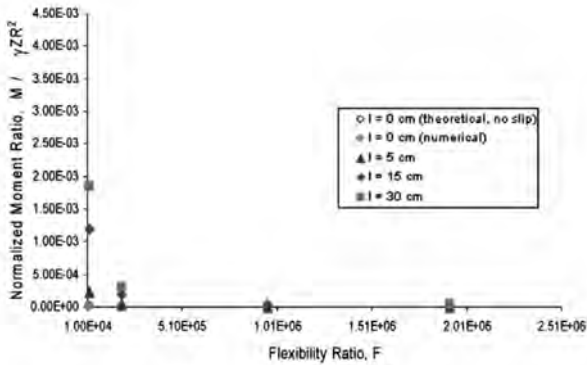
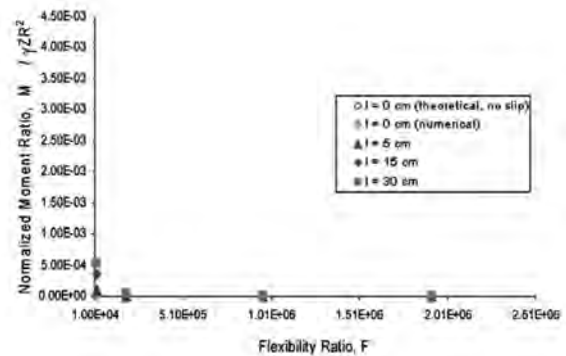
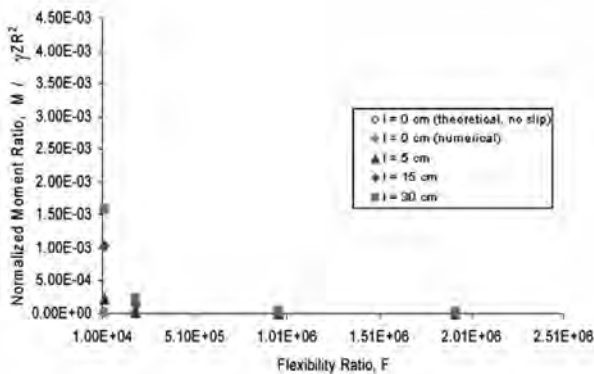
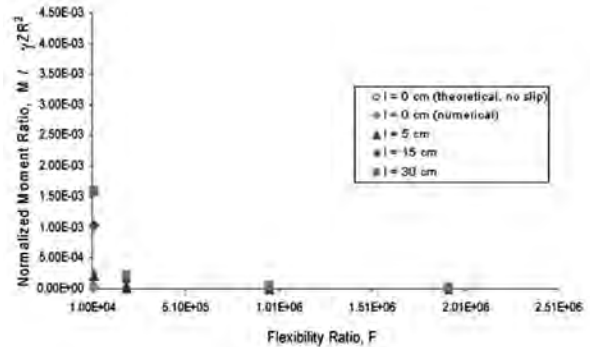
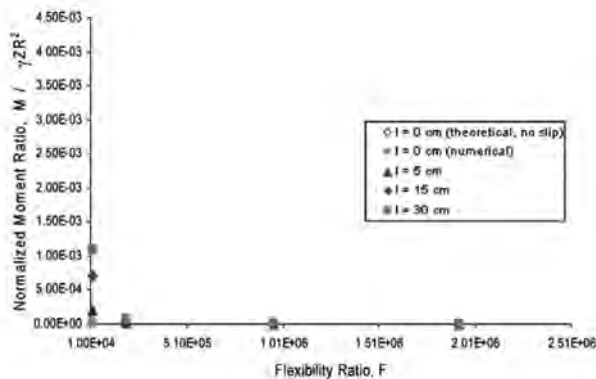
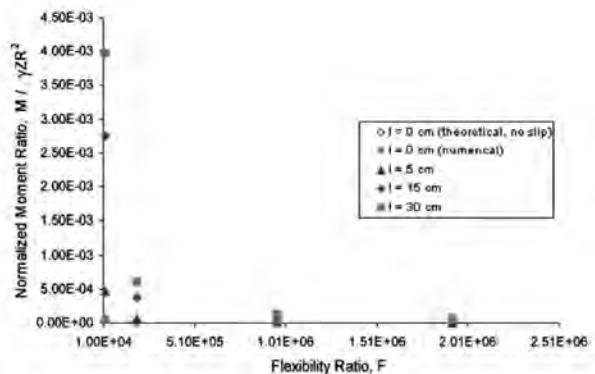


ج



د

شکل ۴- هندسه عددی و شرایط مرزی یک تونل با مقادیر مختلف بی نظمی

(a) $K_0 = 0.5$ (a) $K_0 = 0.5$ (b) $K_0 = 1.0$ (b) $K_0 = 1.0$ (c) $K_0 = 2.0$ (c) $K_0 = 2.0$

شکل ۶- رابطه بین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده گشتاور در خط مرکزی تونل

شکل ۵- رابطه بین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده گشتاور در تاج تونل.

نهایتاً در مقادیر بالای انعطاف پذیری به صفر نزدیک می شود. افزایش نسبت تعدیل شده نیروی عمودی در مقادیر کمتر انعطاف پذیری آشکارتر است. بررسی ها همچنین نشان داده اند که در صورتی که پوشش شاتکریت تونل در مقایسه با زمین دربرگیرنده سازه انعطاف پذیرتر باشد، نیروی عمودی در شاتکریت کمتر از سطح حفاری شده تونل و شرایط تنش زمین متأثر خواهد بود.

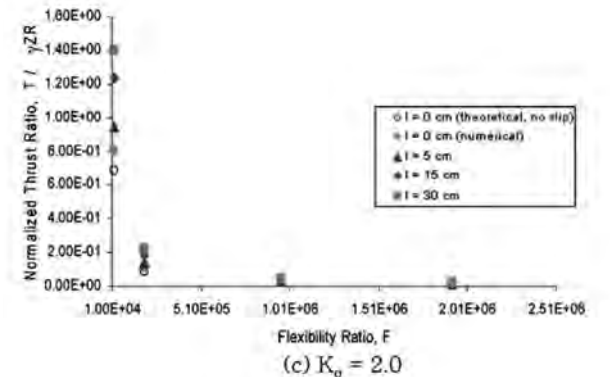
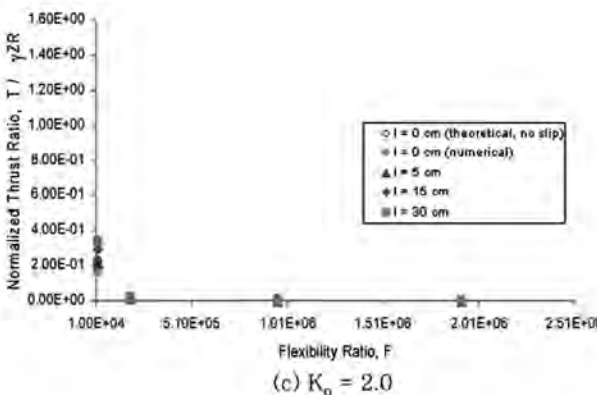
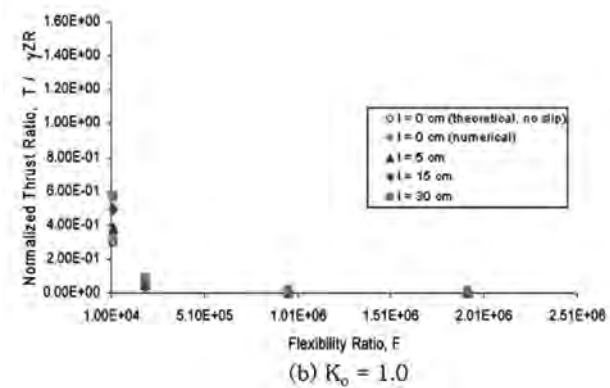
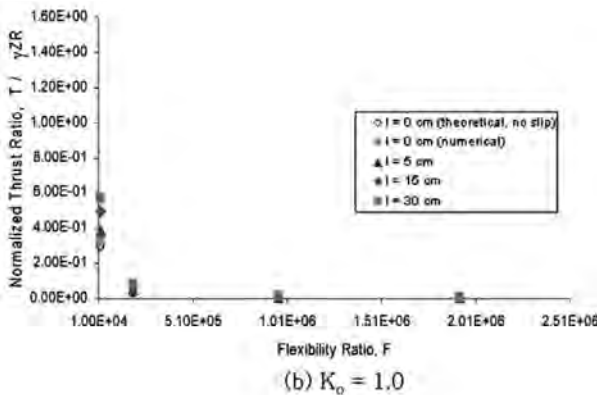
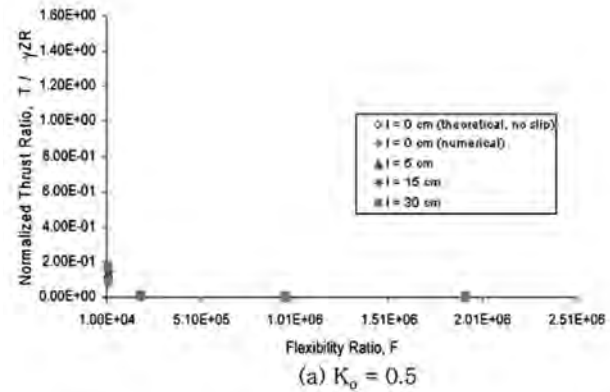
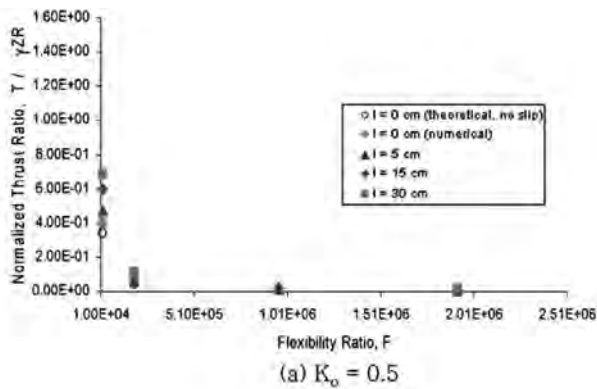
شکل ۸ نشان دهنده رابطه مابین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل

ضریب فشار زمین، نسبت تعدیل شده نیروی عمودی وقتی ارتفاع بی نظمی از مقدار صفر به ۳۰ سانتیمتر می رسد، تقریباً دو برابر می شود. با افزایش نسبت انعطاف پذیری، نسبت تعدیل شده نیروی عمودی یک افت جدی را تجربه خواهد کرد، به طور مثال در نسبت $E=21 \text{ GPa}$, $F=192/400$ سنگ متوسط تا خوب با امتیاز RMR (۶۰ تا ۸۰) در مقایسه با $E=21 \text{ GPa}$, $F=19/240$ سنگ ضعیف تا متوسط با امتیاز RMR (۴۰ تا ۶۰) و سپس به تدریج کاهش یافته و

۳-۳- تحلیل نتایج آزمایش

در جدول ۲ نسبت های تعدیل شده گشتاور و نیروی عمودی به دست آمده از تحلیل های عددی در یک شرایط مشخص ($E=2.1 \text{ GPa}$ و $F=19/240$) و در مقادیر مختلف ضریب فشار زمین و بی نظمی، خلاصه شده اند. نتایج نشان می دهند که نسبت های تعدیل شده نیروی عمودی وقتی ارتفاع بی نظمی سطح از مقدار صفر به میزان ۳۰ سانتیمتر افزایش یابد و ضریب فشار زمین از ۰/۵ تا ۲ تغییر کند، در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر افزایش خواهد یافت. همچنین نسبت

شده نیروی عمودی در خط مرکزی تونل در نسبت های K_0 برابر با ۰/۵ و ۱ و ۲ می باشد. با کاهش ضریب فشار زمین، نسبت تعدیل شده نیروی عمودی افزایش می یابد. افزایش نسبت تعدیل شده گشتاور همچنین به شدت به ارتفاع بی نظمی وابسته است ولی تغییرات نسبت به طور نسبی کوچکتر از این تغییرات در تاج تونل است. روند مشابهی با آنچه در تاج تونل دیده شد در چگونگی ارتباط مابین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده نیروی عمودی مشاهده می شود.



شکل ۸- رابطه بین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده نیروی عمودی در خط مرکزی تونل

شکل ۷- رابطه بین نسبت انعطاف پذیری و نسبت تعدیل شده نیروی عمودی در تاج تونل

به صورت نسبی ناچیز خواهد بود. (۴) نسبت های تعدیل شده گشتاور و نیروی عمودی به شدت به ضریب انعطاف پذیری وابسته می باشند. با افزایش نسبت انعطاف پذیری، نسبت تعدیل شده گشتاور و نیروی عمودی یک افت جدی را تجربه خواهند کرد، به طور مثال در نسبت $F=192/40$ ، $E=2.1 \text{ GPa}$ ، سنگ متوسط تا خوب با امتیاز RMR ۶۰ تا ۸۰ در مقایسه با ۲۴۰ RMR $E=2.1 \text{ GPa}$ ، $F=19/240$ سنگ ضعیف تا متوسط با امتیاز RMR ۴۰ تا ۶۰ و سپس به تدریج کاهش یافته و نهایتاً در مقادیر بالای انعطاف پذیری به صفر نزدیک می شود.

(۵) با توجه به رابطه بین نسبت های انعطاف پذیری و گشتاور و نیروی عمودی نرمال شده، این نتیجه حاصل شده است که اگر پوشش شاتکریت تونل در مقایسه با زمین دربرگیرنده سازه انعطاف پذیرتر باشد آنگاه گشتاور و نیروی عمودی القاء شده در شاتکریت کمتر از شرایط سطح حفاری شده تونل و تنش های زمین متأثر خواهد شد. در یک لایه شاتکریت مشخص تأثیر بی نظمی سطح حفاری بر عکس

تعدیل شده گشتاور نیز به صورت جدی از تغییرات بی نظمی سطح و ضریب فشار زمین متأثر می باشد. نتایج تحلیل های عددی نشان می دهند که هم نیروی عمودی و هم گشتاور القاء شده در پوشش شاتکریت تونل به شدت وابسته به بی نظمی سطح حفاری شده تونل و ضریب فشار زمین هستند.

گذشته از آن نتایج این حقیقت را بیان می کنند که در هنگام طراحی و ساخت تونل، تأثیر ضریب فشار زمین و بی نظمی سطحی تونل به همراه سختی نسبی بین پوشش تونل و زمین دربرگیرنده باید در نظر گرفته شوند. درک بهتر از چگونگی اندرکنش پوشش و زمین می تواند منجر به ارائه طرحی اقتصادی تر و ایمن تر برای حفر تونل شود.

۴- نتیجه گیری

رفتار سازه ای پوشش شاتکریت به صورت عددی و با استفاده از پارامترهای کنترل شده شامل سختی زمین، بی نظمی سطح حفاری و ضریب فشار برجای زمین مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و نتایج

K_0	$l = 0 \text{ cm}$		$l = 5 \text{ cm}$		$l = 15 \text{ cm}$		$l = 30 \text{ cm}$	
	TC	TS	TC	TS	TC	TS	TC	TS
0.5	$0.01e-3$	$0.03e-3$	$0.01e-3$	$0.23e-3$	$0.36e-3$	$1.20e-3$	$0.54e-3$	$1.84e-3$
1.0	$0.01e-3$	$0.01e-3$	$0.22e-3$	$0.22e-3$	$1.04e-3$	$1.04e-3$	$1.58e-3$	$1.58e-3$
2.0	$0.05e-3$	$0.02e-3$	$0.47e-3$	$0.19e-3$	$2.75e-3$	$0.71e-3$	$3.97e-3$	$1.09e-3$

جدول ۲ الف- نسبت گشتاور تعدیل شده در تاج تونل (TC) و خط مرکز تونل (TS) در مقادیر مختلف بی نظمی (I) و ضریب فشار زمین (K_0) در حالت ($E=2.1 \text{ GPa}$ و $F=19/240$)

K_0	$l = 0 \text{ cm}$		$l = 5 \text{ cm}$		$l = 15 \text{ cm}$		$l = 30 \text{ cm}$	
	TC	TS	TC	TS	TC	TS	TC	TS
0.5	0.08	0.40	0.11	0.47	0.15	0.60	0.17	0.68
1.0	0.32	0.32	0.36	0.36	0.50	0.50	0.57	0.57
2.0	0.80	0.17	0.95	0.22	1.24	0.29	1.40	0.34

جدول ۲ ب- نسبت نیروی عمودی تعدیل شده در تاج تونل (TC) و خط مرکز تونل (TS) در مقادیر مختلف بی نظمی (I) و ضریب فشار زمین (K_0) در حالت ($E=2.1 \text{ GPa}$ و $F=19/240$)

العمل آن در شرایط سنگ ضعیف نسبت به سنگ با کیفیت خوب، می تواند بسیار زیاد باشد.

(۶) گشتاور و نیروی عمودی القاء شده در شاتکریت همزمان به دو عامل مقدار بی نظمی سطح حفاری شده تونل و نسبت انعطاف پذیری مابین پوشش و زمین دربرگیرنده وابسته است. افزایش ضخامت پوشش تونل ممکن است منجر به کاهش تأثیر بی نظمی سطح شود، ولی باعث افزایش سختی پوشش و در نتیجه کاهش انعطاف پذیری آن و افزایش گشتاور و نیروی عمودی در آن می شود.

(۷) در هنگام طراحی و ساخت، تأثیر همزمان دو عامل مقدار بی نظمی سطح حفاری شده تونل و نسبت انعطاف پذیری بین پوشش و زمین دربرگیرنده به علاوه وضعیت تنش های زمین، باید لحاظ شوند.

زیر با توجه به فرضیات انجام شده، به دست آمده اند.

(۱) بررسی ها نشان می دهند که عکس العمل پوشش شاتکریت به شدت به بی نظمی سطح حفاری شده تونل، سختی زمین دربرگیرنده و وضعیت تنش های زمین وابسته است.

(۲) افزایش نسبت های تعدیل شده گشتاور و نیروی عمودی بسیار به ارتفاع بی نظمی و ضریب تنش برجای زمین وابسته بوده و هرچه ارتفاع بی نظمی و ضریب تنش برجای زمین بیشتر باشند، میزان افزایش آنها در تاج تونل بیشتر خواهد بود.

(۳) بی نظمی سطح حفاری شده تونل می تواند منجر به افزایش نیروی عمودی و گشتاور در پوشش شاتکریت تونل شود. این افزایش هنگامی آشکارتر است که نسبت ارتفاع بی نظمی به ضخامت پوشش به مقدار ۱/۵ تا ۳ افزایش یابد و وقتی این مقدار به حدود ۰/۵ برسد، این افزایش

روش نوین محاسبه نشت هوا در طراحی تهویه فضاهای زیرزمینی

مهران خسروتاش^۱، محمد خسروتاش^۲

۱- کارشناس مهندسی استخراج معدن، مدیر واحد خدمات فنی تونل و معدن، مهندسین مشاور تونل راد
۲- کارشناس ارشد مهندسی معدن و تونل، مدیر عامل مهندسین مشاور تونل راد www.Tunnel-rod.com

مقدمه

بحث

در تهویه دهشی بدلیل بالاتر بودن فشار داخل کانال هوا نسبت به فشار محیط اطراف، هوا از درون کانال به بیرون نشت می کند که به تهویه طول مسیر تونلها کمک خواهد کرد. اما در تهویه مکشی زمانی که بخواهیم هوا را از انتهای جبهه کاری توسط کانال خارج نماییم و درون مسیر دریچه ای جهت تهویه قسمتهای میانی تونل در نظر گرفته نشده باشد، هوای تازه ای که درون مقطع تونل به سمت سینه کار در حرکت است به درون کانال نشت می کند که مطلوب نیست. بنابراین در این حالت می بایست از کانال های بسیار مرغوب که نشت ناچیز و اتصالات مناسبی داشته باشند استفاده گردد.

در حالت کلی میزان نشت هوا با افزایش طول تونل افزوده خواهد شد که به دو دلیل زیر بستگی دارد. اول آنکه هر چه طول تونل بیشتر باشد طول کانال و در نتیجه سطح تماس آن با محیط اطراف بیشتر شده و برای گریختن مولکولهای پرفشار هوا سطح بیشتر فراهم شده است. نکته دوم این است که هر چه طول کانال بیشتری شود برای جبران افت فشار مسیر که ناشی از اصطکاک هوا با دیواره کانال می باشد، نیاز به تامین اختلاف فشار بیشتری خواهد بود و با افزایش اختلاف فشار محیط داخل و اطراف کانال، نشت هوا نیز بیشتر می گردد. [۲]

بطور کلی نشت هوا به عوامل ذیل بستگی دارد:
اختلاف فشار هوا بین درون و بیرون کانال، طول کانال تهویه، محیط کانال، وضعیت کیفی اتصالات یا نوع آن، تعداد اتصالات بکار رفته یا متناظر با طول هر یک از قطعات کانال، کیفیت جنس کانال بکار رفته، وضعیت سلامت کانال از نظر داشتن سوراخ، پارگی و دررفتگی اتصالات. [۲]

با طولانی تر شدن تونلها و بزرگ شدن فضاهای زیرزمینی یا بزرگ شدن ماشین آلات و حضور نفرات بیشتر، طراحی تهویه می بایست جدی تر و دقیق تر صورت گیرد، از سوی دیگر کاهش مصرف انرژی الکتریکی در طول زمان بهره برداری، به طراحی و اجرای دقیق وابسته می باشد.

مهمترین تجربیاتی که در طی اجرای تهویه تونلها اندوخته شده است و اکنون در طراحی سیستم های نوین تهویه به عنوان نکات اصلی در نظر گرفته می شوند عبارتند از: رعایت فاصله مناسب دمنده از ورودی تونل، نصب صحیح دمنده های تقویتی در تونل جهت جلوگیری از اختلاط هوای پاکیزه و آلوده، تعیین سطح مقطع مفید تونل، اعمال و تعریف ضرایب مناسب اطمینان و تخصیص دهی هوا خصوصاً تعیین ضرایب بر اساس منحنی کارکرد- تولید آلودگی در دوره های متفاوت موتورهای دیزلی به جای استفاده از ضرایب سنتی، روشهای صحیح محاسبه نشت و افت فشار هوا به کمک رایانه و تاثیرات آن در طراحی و تهویه تونل. [۱]

در شرایط مختلف تهویه تونل چه به صورت تهویه دهشی و چه به صورت مکشی، نشت هوا وجود دارد که در حالت دهشی به دلیل بالاتر بودن فشار داخل کانال هوا نسبت به فشار محیط اطراف، هوا از درون کانال به بیرون نشت می کند و در سیستم تهویه مکشی به خاطر بیشتر بودن فشار محیط اطراف کانال نسبت به درون آن، هوا از محیط پیرامون کانال به درون آن نفوذ خواهد کرد.

در این مقاله به بررسی تاثیر نشت هوا در طراحی و اجرای سیستم تهویه خواهیم پرداخت. جهت انجام محاسبات سریع روش میانگین گیری هارمونیک و برای انجام دقیق و مفصل، روشی خاص با کمک نرم افزار اکسل جهت انجام محاسبات ارائه خواهد گشت.

یا در حالت داکت تهویه با مقطع دایره ای شکل [۴]، [۵]

$$\Delta P = 6.48\alpha \left(\frac{Q^2 \times L}{d^5} \right)$$

که در آن: ΔP : افت فشار کانال بر حسب میلیمتر آب یا کیلو گرم بر متر مربع

α : ضریب اصطکاک کانال بر حسب کیلو مورگ (در حدود ۰.۰۰۰۲ برای داکت های روکش شده با پی وی سی).

Q^2 : مجذور دبی عبوری از درون کانال بر حسب متر مکعب بر ثانیه.

L : طول کانال بر حسب متر.

ρ : محیط کانال بر حسب متر.

S^3 : مکعب سطح مقطع کانال بر حسب متر مربع.

d : قطر داکت تهویه بر حسب متر.

اینجا جهت کاهش خطا در فرمول فوق می توان به جای دبی دمنده از دبی های میانگین در محاسبات استفاده نمود که نشان داده خواهد شد میانگین درجه دوم، کمترین دقت و میانگین هارمونیک دقت مناسب را خواهد داشت.

انواع روشهای میانگین گیری به شرح ذیل می باشد: [۳]

فرمول ۳- میانگین درجه دوم [۳]

$$R.M.S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

فرمول ۴ - میانگین عددی [۳]

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

فرمول ۵ - میانگین هندسی [۳]

$$G = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times x_3 \dots x_n}$$

فرمول ۶ - میانگین هارمونیک [۳]

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}$$

در میان روشهای میانگین گیری روش هارمونیک بهترین دقت را در تعیین دبی، جهت محاسبه افت فشار خواهد داشت. دقت این محاسبه به ترتیب از میانگین هارمونیک به هندسی، عددی و درجه دوم کاهش

اگر Q شدت جریان هوای مورد نیاز در جبهه کار باشد و میزان نشت هوا را به ΣQ_L نشان دهیم، شدت جریانی که در محل بادبزن می بایست تولید گردد Q_{fan} برابر خواهد بود با:

$$Q_{fan} = Q + \Sigma Q_L$$

برای محاسبه میزان نشت هوا می توان از فرمول ذیل استفاده کرد: [۴]، [۵]

$$\Sigma Q_L = \theta * L * (\Delta \rho)^V$$

که در آن: $\Delta \rho$: اختلاف فشار بین داخل و خارج کانال بر حسب میلیمتر آب یا کیلو گرم بر متر مربع.

L : طول کانال تهویه بر حسب متر.

θ : ضریب نشت که وابسته به قطر و جنس داکت می باشد.

V : ضریب کیفیت نصب داکت که بین اعداد ۰/۵ تا ۱ در تغییر است.

جهت وضوح مطلب در بند های بعدی سیستم تهویه دهشی، بعنوان مبناء، انتخاب شده است.

تحلیل

در طراحی سیستم تهویه دهشی تونل یا هر فضای زیرزمینی دیگر، پس از محاسبه شدت جریان هوای مورد نیاز جبهه کار یا جبهه کارهای احتمالی و همینطور بررسی وضعیت تهویه طول تونل، می بایست مقدار هوای تولیدی دمنده را محاسبه نمود و با توجه به اینکه همیشه مقداری نشت هوا به بیرون کانال وجود دارد، پس از برآورد مقدار نشت هوا می توان دبی دمنده را تعیین کرد و سپس مقدار افت فشار در مسیر هوا رسانی مشخص می گردد.

در گذشته مقدار نشت را بصورت درصدی از دبی تولیدی یا جبهه کار، در نظر می گرفتند (بین ۰/۱۵ تا ۰/۵ درصد) بدیهی است که در این حالت مقدار نشت را بطور مساوی در طول مسیر هوا رسانی تقسیم می نموده اند. در حالی که مقدار آن در مترهای اولیه بعد از دمنده، بر مراتب بیش از مترهای پایانی است (به دلیل اختلاف فشار بیشتر).

در این حالت جهت محاسبه میزان افت فشار، پس از ساده سازی رابطه دارسی، فرمول زیر بدست می آید که در صورت ثابت فرض نمودن دبی، خطای بسیاری خواهد داشت. [۲]

فرمول ۲ - افت فشار درون داکت تهویه [۴]، [۵]

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{Q^2 \times L \times P}{S^3} \right)$$

می یابد.

جهت اثبات کارایی بیشتر میانگین هارمونیک و مقایسه روشهای مختلف یاد شده، آزمایشی به شکل ذیل ترتیب داده شده است و در نهایت روشی ابتکاری جهت انجام این محاسبات که توسط نگارندگان در سال ۱۳۸۳ بنیانگذاری شده است [۲] در یک مثال واقعی تشریح و ارائه می گردد.

نمونه واقعی انتخاب شده، تونلی است که دارای مقطع دایره به شعاع ۳ متر بوده و به وسیله T.B.M در حال حفاری است، حمل و نقل و تخلیه مصالح بوسیله سیستم ریلی و لوکوموتیو انجام می گیرد. داکت تهویه از نوع قابل ارتجاع از الیاف پلی پروپیلن با روکش پی وی سی با شعاع ۱ متر و اتصالات زیبایی می باشد. متر از داکت در زمان اندازه گیری ۵۴۰۰ متر، دبی تولیدی ۴۱،۶ متر مکعب بر ثانیه و دبی جبهه کار حفاری

۳۵ متر مکعب بر ثانیه سنجش شده است.

در شکل و نقشه زیر مقطع تونل به همراه سیستم حمل و نقل ریلی و داکت تهویه قابل مشاهده است.

حال دبی تولیدی دمنده و سپس اعداد محاسبه شده به طریق میانگین را به ترتیب ذکر آنها، در فرمول ۲ قرار گرفته و نتایج پس از مرتب نمودن اعداد فوق در جدول، بررسی خواهند شد.

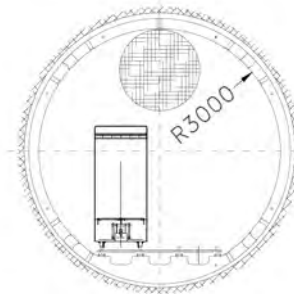
همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، محاسبه افت فشار با دبی تولیدی دمنده، بزرگترین مقدار و بوسیله میانگین هارمونیک، کوچکترین مقدار افت را به دست خواهد و نشان داده خواهد شد که دقیق ترین مقدار نیز می باشد.

حال برای رسیدن به دقت بالاتر به ترتیب زیر عمل می گردد:

۱- ابتدا طول مسیر هوا رسانی (طول داکت تهویه) را به بخش های



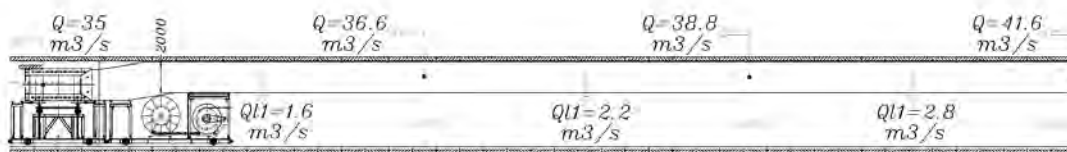
شکل ۲- عکسی از مقطع تونل، داکت تهویه و سیستم حمل و نقل



شکل ۱- نقشه مقطع تونل، داکت تهویه

جدول ۱- مقدار افت فشار و دبی هوای محاسبه شده بر اساس روشهای مختلف میانگین گیری

	مقدار دبی دمنده	میانگین درجه دوم	میانگین عددی	میانگین هندسی	میانگین هارمونیک
دبی هوا بر حسب متر مکعب بر ثانیه	۴۱۶۰۰۰	۳۸۴۴۱۹	۳۸۳۰۰۰	۳۸۱۵۷۶	۳۸۰۱۵۷
افت فشار بر حسب میلیمتر آب	۳۷۸۷۳۹۵	۳۲۳۴۱۷۶	۳۲۱۰۳۴۴	۳۱۸۶۵۱۶	۳۱۶۲۸۶۰



شکل ۳- نقشه پروفیل طولی تونل، داکت تهویه و تغییرات دبی بر اساس نشت هوا و مقدار هوای تحویل شده به خشاب داکت T.B.M

جدول ۲ - نتایج حاصل از محاسبه مقادیر میانگین دبی عبور و افت فشار در قطعات مختلف بر اساس روشهای مختلف میانگین گیری

		میانگین درجه دوم	میانگین عددی	میانگین هندسی	میانگین هارمونیک
قطعه اول	میانگین دبی عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه	۴۰.۲۲۴۴	۴۰.۲۰۰۰	۴۰.۱۷۵۶	۴۰.۱۵۱۲
	افت فشار بر حسب میلیمتر آب ΔP_1	۱۱۸.۰۳۵۳	۱۱۷.۸۹۲۱	۱۱۷.۷۴۹۰	۱۱۷.۶۰۶۱
قطعه دوم	میانگین دبی عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه	۳۷.۷۱۶۰	۳۷.۷۰۰۰	۳۷.۶۸۳۹	۳۷.۶۶۷۹
	افت فشار بر حسب میلیمتر آب ΔP_2	۱۰۳.۷۷۲۹	۱۰۳.۶۸۴۹	۱۰۳.۵۹۶۳	۱۰۳.۵۰۸۴
قطعه سوم	میانگین دبی عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه	۳۵.۸۰۸۹	۳۵.۸۰۰۰	۳۵.۷۹۱۱	۳۵.۷۸۲۱
	افت فشار بر حسب میلیمتر آب ΔP_3	۹۳.۵۴۳۷	۹۳.۴۹۷۲	۹۳.۴۵۰۸	۹۳.۴۰۳۸
مجموع	میانگین دبی های عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه	۳۷.۹۵۹۵	۳۷.۹۰۰۰	۳۷.۸۴۱۱	۳۷.۷۸۳۱
	افت فشارها بر حسب میلیمتر آب $\sum \Delta P$	۳۱۵.۳۵۱۹	۳۱۵.۰۷۴۲	۳۱۴.۷۹۶۱	۳۱۴.۵۱۸۳

مقطع تونل در هنگام بازگشت هوا، تک تک اطلاعات مورد نیاز محاسبه گشته و مجموع افت فشار و نشت جهت محاسبات نهایی بدست می آید. این روش علاوه بر انجام محاسبات با دقت بسیار بالا مزایای دیگری نیز دارد که از آن جمله می توان به مشخص شدن مقادیر سرعت، فشار و دبی عبوری در کلیه مقاطع تونل اشاره کرد.

در اینجا طول مسافت هوا رسانی را به قطعات ۱۸۰ متری (سی قطعه) تقسیم کرده و با در دست داشتن دبی جبهه کار به میزان ۳۵ متر مکعب در ثانیه، قطر داکت (۲ متر) و قطر تونل (۶ متر) بعنوان اطلاعات ورودی، محاسبات انجام می شود. اولین قدم، محاسبه فشار لازم جهت بازگشت هوا از مقطع تونل می باشد که مجموع افت فشارهای اصطکاکی و موضعی در تونل خواهد بود (۱۲ میلیمتر آب). پس از آن فشار دینامیک خروج هوا از داکت تهویه محاسبه می گردد (۷،۵۹۱۳ میلیمتر آب، که بستگی به سرعت خروج هوا از داکت دارد). مجموع دو عدد یاد شده (۲۰/۰۹۱۳ میلیمتر آب) فشار هوا در انتهای مسیر خواهد بود، این عدد به عنوان مبنای محاسبات فشار در ردیف اول بدنه اصلی جدول ۳ در ستون دوم قرار گرفته است. حال به تشریح برنامه که حاصل انجام محاسبات در نرم افزار اکسل می باشد می پردازیم.

در جدول شماره ۳ بطور مختصر نتایج محاسبات نشت هوا و فشار مورد نیاز جهت بحرکت در آوردن هوا در ردیفهای مختلف بر حسب فاصله از جبهه کار (انتهای داکت تهویه) داده شده است. در ابتدا داده های ورودی (INPUT DATA) ذکر گردیده (در بخش بالایی جدول) و سپس در بدنه اصلی جدول نتایج محاسبات در مترهای مختلف و در انتها نتیجه کلی محاسبات مانند مقدار نشت هوا، دبی مورد نیاز در

کوچک و مساوی تقسیم می کنیم.

۲- دبی ورودی هوا و دبی خارج شده هوا از هر قطعه را با توجه به مقدار نشت هوا از قطعه مورد نظر تعیین می نمائیم.

۳- دبی میانگین هر قطعه را تعیین می کنیم.

۴- افت فشار هوا در هر قطعه را محاسبه کرده و مجموع آن را بدست می آوریم.

بنابر این در این مرحله طول داکت (۵۴۰۰ متر) را به سه بخش ۱۸۰۰ متری تقسیم می نمائیم. با توجه به میزان نشت هوا از هر قطعه، دبی ورودی و خروجی تعیین شده که در شکل زیر مشخص شده است، سپس افت فشارها را بر اساس روشهای مختلف میانگین گیری محاسبه می نمائیم. نتایج در جدول شماره ۲ جمع آوری شده است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می نمائید، محاسبه افت فشار بوسیله میانگین هارمونیک، کوچکترین و دقیقترین مقدار افت را به دست خواهد داد، حال با تقسیم طول به بخش های کوچکتر مسلماً به دقت بالاتر دست خواهیم یافت.

به همین دلیل روش ابتکاری زیر در هنگام طراحی سیستم تهویه تونلهای قطار شهری شیراز در سال ۱۳۸۳ [۲]، ابداع گردید که از آن به بعد در پروژه های متعددی (نظیر سیستم تهویه تونل انتقال آب قمرواد ۲، تونل دسترسی عسگران، تونل دسترسی مغانک، تونلهای قطار شهری کرج، تونل انتقال آب نوسود، تونل دسترسی کردی قاسمان...) توسط نگارندگان مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش با تقسیم نمودن مسیر هوارسانی به قطعات کوچک (بسته به میزان نشت هوا و دقت مورد نظر بین ۵۰ الی ۲۵۰ متر) و محاسبه سرعت، نشت، فشار و افت فشار هوا درون داکت تهویه و همینطور در

جدول ۳- نتایج محاسبات نشست هوا و فشار مورد نیاز جهت به حرکت درآوردن هوا در ردیف های مختلف

Input Data	Flow Necessary		Dynamic Pressure		Duct Diameter	
	۲۵	m ³ / s	۷.۵۹۱۳۴۲۵۰۲	mmH ₂ O	۲	m
	Tunnel diameter & area section & pyramid		Air density		Area section	Pyramid
۶	۲۸.۲۷۴۳۳۸۹	۱۸.۸۴۹۵۵۵۹۲	۱ kg/m ³	۳.۱۴۱۵۹۲۶۵۴	۶.۲۸۳۱۸۵۳۰۸	

Flow at End	Pressure at End	Distance from End	Flow Leakage	Pressure Increase	Velocity in Duct	Velocity in Tunnel
دبی هوا در انتهای قطعه	فشار هوا در انتهای قطعه	فاصله از انتهای کانال	نشست هوا در این قطعه	افزایش فشار در این قطعه	سرعت هوا درون داکت	سرعت هوا درون تونل
m ³ /s	mm H ₂ O	m	m ³ / s	mm H ₂ O	m / s	m / s
۴۵.۰۰۰۰۰	۲۰.۰۹۱۳۴	۱۸۰	-۰.۸۵۵۲۲۹۸۵	۸.۹۳۵۴۳۴۹۴	۱۱.۱۴۰۸۵	۱.۵۲۱۷۴
۳۵.۰۸۵۵۲	۲۹.۰۲۷۸۹	۳۶۰	-۰.۱۰۲۷۹۸۳۳۴	۸.۹۸۰۲۶۹۹۸۸	۱۱.۱۶۸۰۷	۱.۵۲۵۴۶
۳۵.۱۸۸۳۲	۳۸.۰۰۸۱۶	۵۴۰	-۰.۱۱۷۶۲۹۶۴۱	۹.۰۳۲۹۷۰۳۱	۱۱.۲۰۰۷۹	۱.۵۲۹۹۳
۳۵.۳۰۵۹۵	۴۷.۰۴۱۱۳	۷۲۰	-۰.۱۳۰۸۶۳۱۰۷	۹.۰۹۳۴۶۳۱۶۶	۱۱.۲۳۸۲۳	۱.۵۳۵۰۴
۳۵.۴۳۶۸۱	۵۶.۱۳۴۵۹	۹۰۰	-۰.۱۴۲۹۵۳۱۲۲	۹.۱۶۰۹۹۸۷۶۲	۱۱.۲۷۹۸۹	۱.۵۴۰۷۳
۳۵.۵۷۹۷۷	۶۵.۲۹۵۵۹	۱۰۸۰	-۰.۱۵۴۱۷۷۲۴۸	۹.۲۳۵۰۵۹۳۰۵	۱۱.۳۲۵۳۹	۱.۵۴۶۹۵
۳۵.۷۳۲۹۴	۷۴.۵۳۰۶۵	۱۲۶۰	-۰.۱۶۴۷۱۹۸۰۴	۹.۳۱۵۲۶۸۹۹۱	۱۱.۳۷۴۴۷	۱.۵۵۲۶۵
۳۵.۸۹۸۶۶	۸۳.۸۴۵۹۲	۱۴۴۰	-۰.۱۷۴۷۱۰۶۳	۹.۴۰۱۳۴۶۵۷۵	۱۱.۴۲۶۹۰	۱.۵۶۰۸۱
۳۶.۰۷۳۳۷	۹۳.۲۴۷۲۶	۱۶۲۰	-۰.۱۸۴۲۴۵۳	۹.۴۹۳۰۷۷۶۷۹	۱۱.۴۸۲۵۱	۱.۵۶۸۴۱
۳۶.۲۵۷۶۲	۱۰۲.۷۴۰۳۴	۱۸۰۰	-۰.۱۹۳۳۹۶۶۱۶	۹.۵۹۰۲۹۷۳۹۴	۱۱.۵۴۱۱۶	۱.۵۷۶۴۲
۳۶.۴۵۱۰۲	۱۱۲.۳۳۰۶۴	۱۹۸۰	-۰.۲۰۲۲۲۱۵۷۳	۹.۶۹۲۸۷۸۷۳۲	۱۱.۶۰۲۷۲	۱.۵۸۴۸۳
۳۶.۶۵۳۲۴	۱۲۲.۰۲۳۵۲	۲۱۶۰	-۰.۲۱۰۷۶۵۷۹۹	۹.۸۰۰۷۲۴۶۲۸	۱۱.۶۶۷۰۹	۱.۵۹۳۶۲
۳۶.۸۶۴۰۰	۱۳۱.۸۲۴۲۴	۲۳۴۰	-۰.۲۱۹۰۶۶۵۲۱	۹.۹۱۳۷۶۶۲۲۰۳	۱۱.۷۳۴۱۸	۱.۶۰۲۷۸
۳۷.۰۸۳۰۷	۱۴۱.۷۳۸۰۰	۲۵۲۰	-۰.۲۲۷۱۵۴۵۹۵	۱۰.۰۲۱۹۳۸۵۳	۱۱.۸۰۳۹۱	۱.۶۱۲۳۱
۳۷.۳۱۰۲۳	۱۵۱.۷۶۹۹۴	۲۷۰۰	-۰.۲۳۵۰۵۵۹۵۳	۱۰.۱۵۵۲۱۷۴۵	۱۱.۸۷۶۲۱	۱.۶۲۲۱۸
۳۷.۵۴۵۲۸	۱۶۱.۹۲۵۱۶	۲۸۸۰	-۰.۲۴۲۷۹۲۶۵۱	۱۰.۲۸۳۵۷۷۰۹	۱۱.۹۵۱۰۳	۱.۶۳۲۴۰
۳۷.۷۸۸۰۷	۱۷۲.۲۰۸۷۴	۳۰۶۰	-۰.۲۵۰۳۸۳۶۴۷	۱۰.۴۱۷۰۰۷۹۶	۱۲.۰۲۸۳۲	۱.۶۴۲۹۶
۳۸.۰۳۸۴۶	۱۸۲.۶۳۵۷۴	۳۲۴۰	-۰.۲۵۷۸۴۵۳۹	۱۰.۵۵۵۵۱۱۴۳	۱۲.۱۰۸۰۲	۱.۶۵۳۸۵
۳۸.۲۹۶۳۰	۱۹۳.۱۸۱۲۶	۳۴۲۰	-۰.۲۶۵۱۹۲۲۷۲	۱۰.۶۹۹۰۹۸۴۶	۱۲.۱۹۰۰۹	۱.۶۶۵۰۶
۳۸.۵۶۱۵۰	۲۰۳.۸۸۰۳۵	۳۶۰۰	-۰.۲۷۲۴۴۶۹۸۲	۱۰.۸۴۷۷۸۸۶۳	۱۲.۲۷۴۵۱	۱.۶۷۶۵۹
۳۸.۸۳۳۹۳	۲۱۴.۷۲۸۱۴	۳۷۸۰	-۰.۲۷۹۵۹۰۷۸۶	۱۱.۰۰۱۶۰۹۳۶	۱۲.۳۶۱۲۲	۱.۶۸۸۴۳
۳۹.۱۱۳۵۲	۲۲۵.۷۳۹۷۵	۳۹۶۰	-۰.۲۸۶۶۶۳۷۴۷	۱۱.۱۶۰۵۹۵۱۴	۱۲.۴۵۰۲۲	۱.۷۰۰۵۹
۳۹.۴۰۰۱۹	۲۳۶.۸۹۰۳۵	۴۱۴۰	-۰.۲۹۳۶۶۶۹۰۸	۱۱.۳۲۴۷۸۷۰۵	۱۲.۵۴۱۴۷	۱.۷۱۳۰۵
۳۹.۶۹۳۸۵	۲۴۸.۲۱۵۱۳	۴۳۲۰	-۰.۳۰۰۶۰۲۴۳۹	۱۱.۴۹۴۲۳۲۲۵	۱۲.۶۳۴۹۵	۱.۷۲۵۸۲
۳۹.۹۹۴۴۵	۲۵۹.۷۰۹۳۷	۴۵۰۰	-۰.۳۰۷۴۸۳۷۵۶	۱۱.۶۶۸۹۸۳۶۲	۱۲.۷۳۰۶۳	۱.۷۳۸۸۹
۴۰.۳۰۱۹۴	۲۷۱.۳۷۸۳۵	۴۶۸۰	-۰.۳۱۴۳۱۵۶۲۴	۱۱.۸۴۹۰۹۹۳۷	۱۲.۸۲۸۵۱	۱.۷۵۲۲۶
۴۰.۶۱۶۲۵	۲۸۳.۲۲۷۴۵	۴۸۶۰	-۰.۳۲۱۱۰۴۲۴۱	۱۲.۰۲۴۶۴۲۸۲	۱۲.۹۲۸۵۶	۱.۷۶۵۹۲
۴۰.۹۳۷۳۶	۲۹۵.۲۶۲۰۹	۵۰۴۰	-۰.۳۲۷۸۵۵۳۰۶	۱۲.۲۲۵۶۸۲۱۲	۱۳.۰۳۰۷۷	۱.۷۷۹۸۹
۴۱.۲۶۵۲۱	۳۰۷.۴۸۷۷۸	۵۲۲۰	-۰.۳۳۴۵۷۴۰۸۴	۱۲.۴۲۲۲۹۰۰۸	۱۳.۱۳۵۱۳	۱.۷۹۴۱۴
۴۱.۵۹۹۷۹	۳۱۹.۹۱۰۰۷	۵۴۰۰	-۰.۳۴۱۲۶۵۴۵	۱۲.۶۲۴۵۴۳۹۹	۱۳.۲۴۱۶۲	۱.۸۰۸۶۹

جدول ۴- نتایج کلی محاسبات

مقدار	واحد	عنوان (انگلیسی)	عنوان (فارسی)
۶.۵۹۹۸	m ³ / s	TOTAL AIR FLOW LEAKAGE FROM DUCT	کل نشت هوا در مسیر داکت
۴۱.۶۰	m ³ / s	AIR FLOW SUGGESTED FOR FAN	شدت جریان پیشنهادی برای دمنده
۳۱۲.۴۴۳۳	mmH ₂ O	TOTAL PRESSURE NEEDED FOR DUCT	کل فشار مورد نیاز برای داکت
۳۴۰.۵۳	mmH ₂ O	FAN TOTAL PRESSURE	فشار کل پیشنهادی برای دمنده
۱۸۵.۰۰	Kw	FAN POWER $\eta=75\%$	حداقل توان برای دمنده

سازی و غیره می باشد. در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر در زمینه کاربرد این برنامه، نمونه دیگری از محاسبات تهویه در مقاله طراحی سیستم تهویه تونلهای قطار شهری شیراز [۲]، مجموعه مقالات کنفرانس هفتم تونل قابل مشاهده است.

نتیجه گیری

در شرایطی که نیاز به انجام محاسبات اولیه و سریع می باشد، توصیه می گردد پس از تعیین دبی در جبهه کار و برآورد میزان نشت هوا، با بدست آوردن میانگین هارمونیک بین دبی جبهه کار و دمنده، محاسبات افت فشار انجام شود. در صورتیکه مسافت مسیر هوا رسانی زیاد می باشد، بهتر است مانند مثال ارائه شده طول داکت به سه بخش تقسیم و محاسبات با میانگین هارمونیک صورت گیرد. در مراحل بعدی طراحی تهویه به کمک نرم افزار اکسل و فرمول نویسی در آن، کلیه محاسبات لازم قابل انجام بوده و کلیه اطلاعات مورد نیاز، با دقت بسیار بالا، در اختیار طراحان و مجریان قرار خواهد گرفت.

مراجع

- ۱- خسرو تاش مهران و خسرو تاش محمد، آشنایی با سیستم تهویه متمرکز - نگرش، نشریه کاردانه‌های استان فارس شماره ۵ و ۴
- ۲- خسرو تاش مهران و خسرو تاش محمد، طراحی و اجرای سیستم تهویه تونلهای قطار شهری شیراز- هفتمین کنفرانس تونل ایران
- ۳- حسنی پاک علی اصغر، تحلیل داده های اکتشافی - انتشارات دانشگاه تهران
- 4- Howard L. Hartman, Mine Ventilation and Air Conditioning - The University of Alabama
- 5- Bickel, John, O. Tunnel Engineering Handbook - Van Nostrand Reinhold Co.

طراحی دمنده و فشار کل و توان مصرفی ذکر شده است. در بخش (INPUT DATA) هوای مورد نیاز جبهه کار ۳۵ مترمکعب در ثانیه، فشار دینامیک در هنگام خروج هوا از درون داکت، قطر داکت، سطح مقطع تونل، مساحت و محیط آن و در نهایت مساحت و محیط داکت ذکر گردیده است.

در بدنه اصلی جدول ستونها بترتیب از چپ به راست به شکل ذیل مرتب شده اند:

ستون اول- دبی هوای مورد نیاز در جبهه کار در ردیف اول و در ردیفهای بعدی این ستون، دبی برحسب فاصله از جبهه کار یا انتهای داکت داده شده است.

ستون دوم- فشار مورد نیاز هوا در جبهه کار در ردیف اول و در ردیفهای بعدی این ستون، فشار مورد نیاز برای به حرکت درآوردن هوا بر حسب فاصله از جبهه کار داده شده است.

ستون سوم - فاصله از جبهه کار یا انتهای داکت بر حسب متر داده شده است.

ستون چهارم - میزان نشت هوا در اولین قطعه از داکت از سمت جبهه کار در ردیف اول و در ردیفهای بعدی، میزان نشت هوا در قطعات بعدی داده شده است.

ستون پنجم - فشار مورد نیاز یا فشار افت کرده در هنگام عبور هوا از هر قطعه داده شده است.

ستون ششم - سرعت عبور هوا درون داکت تهویه میباشد که برحسب فاصله از جبهه کار حفاری تنظیم گشته و ملاحظه می نمائید مقدار آن به مرور بدلیل نشت هوا زیاد می گردد. زیرا بدلیل نشت هوا از درون داکت به محیط تونل (در سیستم تهویه دهشی) مقدار هوای تولیدی بیشتر از حجم هوای تحویلی به جبهه کار میباشد.

ستون هفتم - سرعت عبور هوا درون مقطع تونل میباشد. بدلیل وجود نشت هوا، سرعت حداقل در محل جبهه کار حفاری و سرعت حداکثر در ابتدای داکت دیده خواهد شد.

ذکر این نکته لازم است که در محاسبات افت فشار و سرعت عبور هوا درون مقطع تونل می بایست از سطح مقطع مفید استفاده نمود (۲۳ متر مربع) که حاصل تفاضل سطح مقطع تونل از سطح داکت، کف

توضیح نکاتی راجع به سیستم های طبقه بندی RMR و Q

نوید پلاسید - کارشناس ارشد مکانیک سنگ - شرکت خدمات مهندسی برق مشانیر
n.plaseied@moshanir.com

متن حاضر ترجمه مقاله

Barton, N. and Bienawski, Z.T., 2008, «RMR and Q-setting records straight», Tunnel & Tunneling International, February 2008, pp.26-29

می باشد.

چکیده

کاربرد سیستم های طبقه بندی RMR و Q در پروژه های گوناگون به بیش از ۳۵ سال می رسد. با این وجود، هنوز هم برداشتهای اشتباهی در مورد استفاده صحیح از این دو روش وجود دارد که این موضوع در مقاله های اخیر نشریه Tunnel and Tunneling International نیز منعکس شده است. همچنین به منظور روشن شدن موارد کاربرد این روشها، در این مقاله ۱۰ دستورالعمل کاربردی را ارائه نموده اند.

مقدمه

سیستم های طبقه بندی RMR و Q برای اولین بار در سالهای ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ به صورت جداگانه ارائه گردیدند ولی هدف اصلی هر دو روش، کمی کردن ویژگیهای توده سنگ بر اساس تشریح کیفی شرایط زمین شناسی بوده است. در واقع این دو روش به منظور ابزار کمکی در طراحی مهندسی سنگ در تونل ها گسترش یافتند.

نکته حائز اهمیت این است که همواره بر بررسی های زمین شناسی که فاکتوری با اهمیت در کاربرد این روش ها می باشد، تأکید شده است. همچنین بارها توضیح داده شده است که استفاده از این روش ها باید همواره به عنوان بخشی از فرآیند طراحی در نظر گرفته شوند. این فرآیند، در فعالیتهای زیرزمینی یک فرآیند تکرارشونده می باشد چرا که اطلاعات و جزئیات مربوط به زمین، مرحله به مرحله و همگام با پروژه افزایش یافته و تدقیق می شوند.

در هنگام پیشرفت سیستمهای RMR و Q، زمین شناسان اغلب در گروه های مجزا از مهندسان کار می کردند که این امر به خودی خود باعث بروز سؤ تفاهماتی می باشد. در حقیقت، پیشرفت سیستمهای

طبقه بندی به عنوان عاملی در جمع کردن مهندسان و زمین شناسان در کنار هم بوده تا با درک صحیحی از مبانی مهندسی تونل و نیز الزامات منتخب و کمی اطلاعات زمین شناسی، در قالب یک گروه فعالیت نمایند.

هدف سیستمهای RMR و Q

این سیستمها بهترین کارایی را در زمان برنامه ریزی پروژه های تونلسازی و در هنگامی دارند که برآورد اولیه نیازهای سیستم نگهداری براساس مطالعات اولیه مغزه ها، برداشت های زمین شناسی و مطالعات لرزه خیزی مورد ارزیابی قرار گیرند. در برنامه ریزی ساخت مغارها، جزئیات موقعیت سازه نیز ممکن است تحت تأثیر این نتایج قرار گیرد. در حین ساخت، کاربرد این سیستمها ضروری تر می باشد و گروه نگهداری (بر اساس طبقه بندیها) باید همواره با افزایش اطلاعات و به صورت روزانه تدقیق گردد. مطرح نمودن اینکه سیستمهای طبقه بندی در زمان ساخت یا طراحی نهایی نقش ندارند، یک ادعای اشتباه می باشد.

الف		ب		ج					
تماس سنگ با سنگ (الف)		تماس سنگ با سنگ در حالت برشی (ب)		تماس سنگ با سنگ در حالت برشی (ج)					
$Ja =$	۰/۷۵	۴	۶	۸	۱۲				
Jr									
		$\tan^{-2}(Jr/Ja)$							
درزه های ناپیوسته (الف)	۴	۷۹°	۷۶°	۶۳°	۵۳°	۴۵°			
زبر و موجدار (ب)	۳	۷۶°	۷۳°	۵۶°	۴۵°	۳۷°			
صاف و موجدار (ج)	۲	۶۹°	۶۳°	۴۵°	۳۴°	۲۷°			
صیقلی و موجدار (د)	۱/۵	۶۳°	۵۶°	۳۷°	۲۷°	۲۱°			
زبر و صفحه ای (ه)	۱/۵	۶۳°	۵۶°	۳۷°	۲۷°	۲۱°			
صاف و صفحه ای (و)	۱	۵۳°	۴۵°	۲۷°	۱۸°	۱۴°			
صیقلی و موجدار (ز)	۰/۵	۳۴°	۲۷°	۱۴°	۹/۵°	۷/۱°			
درزه های ناپیوسته (الف)	۴	۴۵°	۳۴°	۲۷°	۱۸°				
زبر و موجدار (ب)	۳	۳۷°	۲۷°	۲۱°	۱۴°				
صاف و موجدار (ج)	۲	۲۷°	۱۸°	۱۴°	۹/۵°				
صیقلی و موجدار (د)	۱/۵	۲۱°	۱۴°	۱۱°	۷/۱°				
زبر و صفحه ای (ه)	۱/۵	۲۱°	۱۴°	۱۱°	۷/۱°				
صاف و صفحه ای (و)	۱	۱۴°	۹/۵°	۷/۱°	۴/۷°				
صیقلی و موجدار (ز)	۰/۵	۷°	۴/۷°	۳/۶°	۲/۴°				
درزه با برشده‌گی زیاد)	$Ja =$	۵	۶	۸	۱۲	۱۳	۱۶	۲۰	
	Jr								
		$\tan^{-2}(Jr/Ja)$							
زبری اسمی ناپیوستگیهای سنگ		۱	۱/۳°	۹/۵°	۷/۱°	۴/۸°	۴/۴°	۳/۶°	۲/۹°

شکل ۱: با وجود تردیدهایی که توسط Goodman بر اساس نظرات Riedmuller اظهار شده است ولی دو پارمتر Jr و Ja با رفتار سنگ ارتباط مستقیم دارند. سایر پارمترها در دو سیستم RMR و Q نیز با رفتار سنگ مرتبط می باشند.

برعکس اعتقاد بسیاری مبنی بر ارجحیت روش های توصیفی بر این روش ها، این روش های کمی، همگام با پیشرفت تکنولوژی زمین شناسی مهندسی، همواره بر بر روش های کیفی ارجحیت دارند. ۶- در نهایت باید اشاره نمود که RMR و Q بنیان و پایه روش های پیشبینی کارایی دستگاه های TBM را در قالب Q_{TBM} و RME تشکیل داده و همانطور که انتظار می رفت این روشها نیز موافقان و مخالفانی دارند.

پاسخگویی به نظر برخی از منتقدان

علی رغم تمامی حقایقی که در مورد اعتبار این دوروش به اثبات رسیده، ولی هنوز ابهامات و سوء برداشت هایی در استفاده از این دوروش وجود دارد که در دو مقاله اخیر نشریه *International Tunnel and Tunnelling* منعکس شده است [۶ و ۱۲].

پروفیسور Goodman حمایت خود را از نظر مرحوم پروفیسور Riedmuller (اتریشی) بدین شرح اعلام داشته که «... به نظر میرسد مهندسان به منظور تعیین رفتار سنگ به یکسری از روابط عمومی بر پایه امتیازدهی به توده سنگ بر اساس روش های Q و RMR تکیه می نمایند، ولی تعیین پارامترها بسیار الگووار می باشند حال آنکه برداشت سطحی داده ها ممکن است کاملاً شاخص نبوده و در ضمن پارامترهای در نظر گرفته شده مستقل نبوده و به طور مستقیم وابسته به رفتار سنگ نمی باشند». متأسفانه برای نگارندگان (بارتن و بیناوسکی) مشخص نیست که کدام پروژه های تونلسازی باعث نگرانی Riedmuller شده که مطلب زیر را عنوان نموده: «... مطالعات موردی بین المللی بسیاری از پروژه ها نشان می دهد که برداشت های زمین شناسی بسیار کم اهمیت در نظر گرفته می شوند» یا اشاره نموده که «... گاهی تنها جمع آوری داده های کافی برای استفاده از روش های طبقه بندی برای پیشبینی نیازهای نگهداری، محدود می شوند». جلب نظر منتقدان به این نکته لازم است که نگارندگان روشهای RMR و Q، همواره ارتباط زیادی با زمین شناسان و زمین شناسان ساختمانی داشته و نگرانی های پروفیسور Riedmuller را درک می نمایند چرا که بازدیدها و برداشت های زمین شناسی همواره مقدمه جمع آوری اطلاعات می باشند و بر اساس نتایج برداشتها امکان تعیین موقعیت گمانه های بعدی و نیز تفسیر ویژگیهای عینی و کیفی سنگ در هنگام تهیه لاگ گمانه را فراهم می نمایند.

در مورد نخست در رابطه با شاخص نبودن اطلاعات سطحی (رخمونها) باید توجه داشت که این مورد، صرفاً یک محدودیت اولیه و موقتی در جمع آوری هر گونه داده از جمله داده های زمین شناسی ساختمانی می باشد.

در مورد دوم، از آنجاییکه اهمیت ویژگیهای درزه و ناپیوستگیها در تعیین مقاومت برشی و پدیده تورم بر هیچکس پوشیده نمی باشد و نیز ارتباط تنش با مقاومت، تعداد و فاصله داری درزه ها به عنوان پارامترهای مهم در هر دو سیستم طبقه بندی Q، RMR می باشد،

دلایل لزوم استفاده از این سیستمها در دوره های مذکور به شرح زیر می باشد:

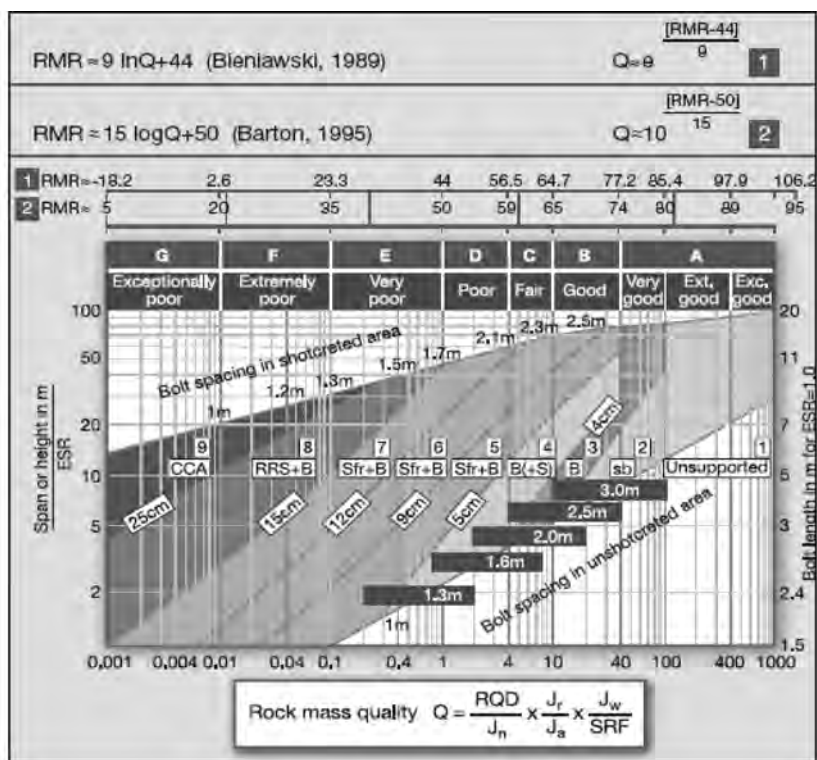
۱- سیستم های RMR و Q در ابتدا با هدف برآورد سیستم نگهداری تونل ها مطرح و به تدریج تکمیل گردیدند ولی بعدها به منظور برآورد خصوصیات توده سنگ از قبیل مدول تغییرشکل پذیری، تفسیر سرعتهای لرزه ای و کمک به تفسیر نتایج رفتارسنجی حین ساخت (از طریق برقراری روابط مابین همگرایی، کیفیت توده سنگ و ابعاد تونل) نیز به کار گرفته شدند [۱، ۲، ۳، ۴].

۲- تخمین خصوصیات توده سنگ که مورد نیاز تحلیل های عددی می باشد، روشی مناسب و قابل اعتماد بوده و جایگزین مناسبی برای آزمایشهای برجای پیچیده و پرهزینه که برای تحلیل داده ها از فرضیات متعددی پیروی می کنند، می باشد. در تأیید این مطلب، امروزه کاربرد آزمونهای برجای از قبیل بارگذاری صفحه ای و جک تخت بزرگ مقیاس و آزمونهای تونل فشار به دلیل پرهزینه بودن و نیز مشکلات اجرایی در نواحی دست خورده، رو به کاهش می باشد. دو سیستم RMR و Q برآوردهای واقع بینانه ای برای مدلسازی ها ارائه می دهند. همچنین از طریق اندازه گیری و تفسیرهای لرزه ای می توانند در تفسیر ویژگیهای نواحی دست خورده کمک نمایند [۵].

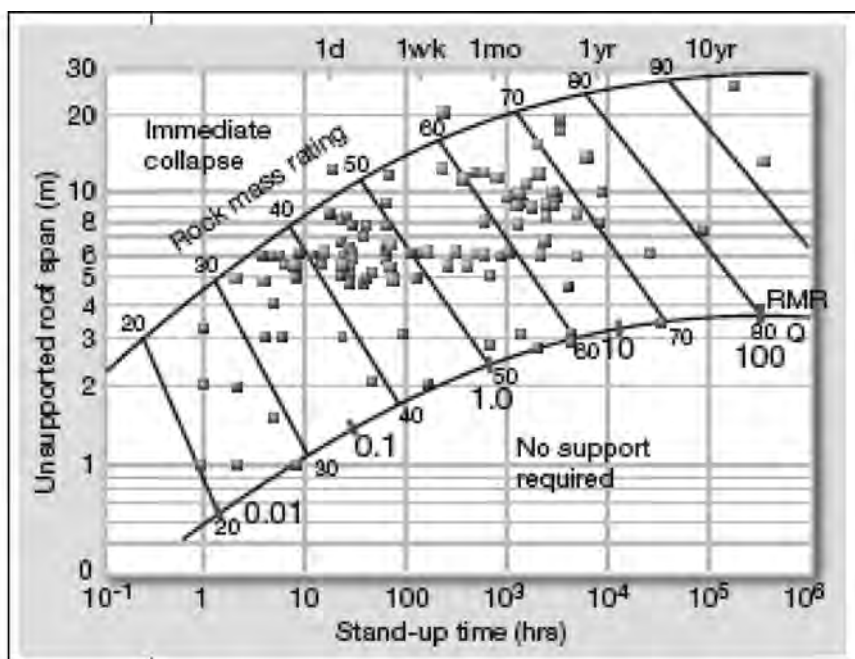
۳- در دوران ساخت، رفتارنگاری مناسب و ثبت نتایج حاصل از یک و یا هر دو سیستم طبقه بندی توده سنگ در کمی نمودن شرایط توده سنگ و انتخاب نگهداری مناسب، امری ضروری می باشد و خصوص در شرایطی از قبیل تغییر در طراحی های حین کار، ارزش این سیستمها بیشتر نمود می یابد. جمعی از منتقدان این روش ها همچون *Pell & Bertuzzi* [۶]، استفاده از تئوری کاربردی مکانیک تیرها را ارجح تر دانسته و موفقیت استفاده از این تئوری را در ۷ مورد از ۹ مورد از طراحی های تونل و مغار انجام شده در سیدنی استرالیا را اعلام داشته اند. حال آنکه با فرض بکارگیری مناسب این سیستمها، براساس گزارشات موجود، نگهداری حاصل شده از روش تئوری تیر، سنگینتر از روش Q بوده است. نمونه دیگری که در انتقاد از روش Q به کار گرفته شده است، معزل ریزش در لایه های ماسه سنگی بوده که آن هم به دلیل حذف تزریق بولت ها بر خلاف پیشنهاد سیستم Q می باشد که انتقاد مطرح شده به هیچ وجه مبنای علمی ندارد. مرجع آنها [۷] که حمایت کننده انتقاد مطرح شده فوق می باشد، باید با دقت زیادی مورد بررسی قرار گیرد چرا که دو دیدگاه متفاوت در مورد این دو نشریه وجود دارد.

۴- با توجه به تغییر تکنولوژی نسبت به ۳۵ سال پیش که این روش ها برای اولین بار مطرح شده اند، این روش ها نیز باید به روز شوند. به عنوان نمونه می توان به استفاده از شاتکریت مسلح به الیاف به جای استفاده از شاتکریت مسلح با شبکه توری، اشاره نمود [۸ و ۹] (شکل ۲ ملاحظه شود).

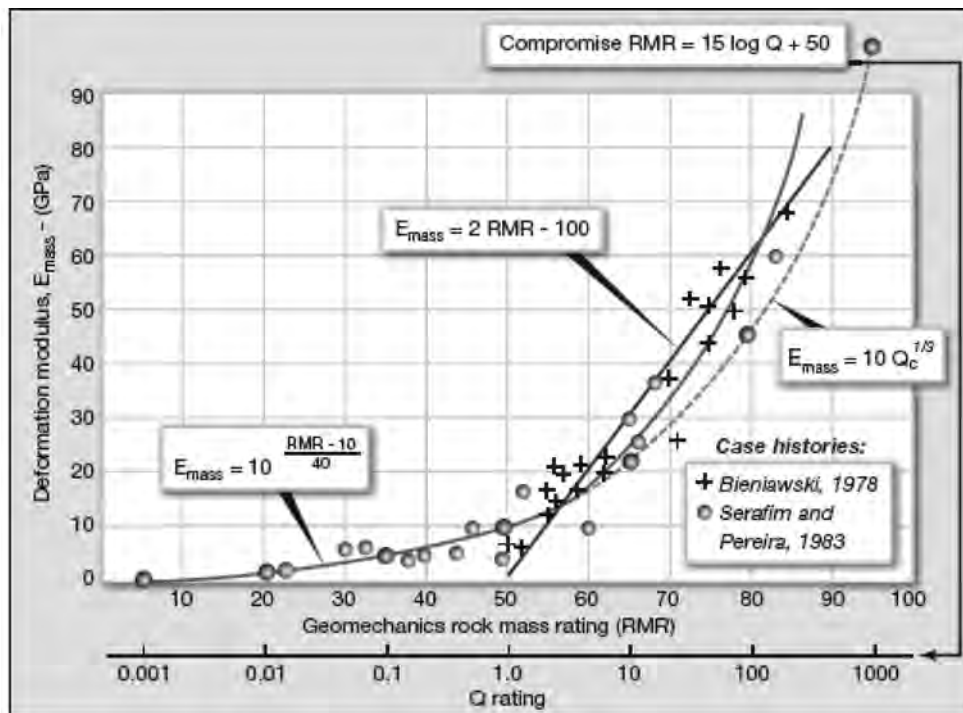
۵- روش های RMR و Q قابل کاربرد در توده سنگ های بسیار ضعیف نیز همچون توده سنگ های بسیار خو قابل کاربرد بوده و



شکل ۲: چارت مربوط به سیستم نگهداری (Barton & Grimstad) به همراه روابط همبستگی مابین RMR و Q



شکل ۳: نمودار زمان خود ایستایی برحسب RMR (Bieniawski) و تبدیل RMR به Q (Barton). نقاط مربوط به نتایج حاصل از تونل ها و معادن می باشند.



شکل ۴: مدول تغییر شکل پذیری استاتیکی E_m بر حسب RMR و Q (داده ها و روابط مربوط به RMR توسط Bieniawski و رابطه Q توسط Barton ارائه شده است).

در رابطه با مطلب فوق باید یادآور شد که مطلب مذکور توسط افرادی مطرح شده که تئوری تیر را برای طراحی تونل در مصالح متغیر و پیچیده ای همچون سنگ را ترجیح داده و ملاک قرار می دهند. مسلم است که مقادیر Q و RMR تا حدود زیادی وابسته به تفاسیر می باشد و البته لازم است در سایر موارد از جمله تئوری تیر نیز از این تفاسیر استفاده شود.

ده دستورالعمل در استفاده از سیستمهای طبقه بندی RMR و Q
به منظور جلوگیری از سوء تفهیم در درک مفاهیم این دو سیستم و نیز موارد کاربرد آنها، در ادامه ۱۰ اصل اساسی در استفاده صحیح از این دو سیستم معرفی می شوند.

- ۱- حصول اطمینان از ماهیت کمی پارامترها باید به صورت کمی و نه توصیفی و از طریق اطلاعات حاصل از انجام آزمایشات برطبق استاندارد، زمین شناسی ساختمانی منطقه، لاگ گمانه ها و اجرای گالری های اکتشافی، برداشت های سطحی و لرزه نگاری (برای حالاتی که گمانه ها به دلایلی به تعداد کافی وجود ندارد)، تعیین گردند.
- ۲- از الگو و روش صحیح ارائه شده برای طبقه بندی توده سنگ به روش های RMR و Q و تعیین دامنه تغییرات و مقدار میانگین تبعیت شود.

بنابراین ادعای غیروابسته بودن پارامترهای در نظر گرفته شده با رفتار سنگ در این سیستمها، از جانب Riedmuller و همکارانش بی معنا می باشد. به عنوان مثال در سیستم Q نسبت I_r/I_a تخمین مناسبی از ضریب اصطکاک داخلی (که با توجه به تعداد زیادی آزمایش برش برجا بر روی ناپیوستگی های دارای پر شدگی تایید شده است) خواهد بود (شکل ۱). اگرچه این دو پارمتر به طور غیر مستقیم تعیین می شوند و لی ترکیب آنها، میزان واقعی مقاومت برشی و درک صحیحی از ناپایداری های محتمل را نشان می دهد. همچنین این پارامترها به جزئیات مقاومت برشی حساس بوده و به صورت $(\phi + \alpha)$ و $(\phi - \alpha)$ به ترتیب برای سه حالت مختلف رفتار برشی متسع شونده، غیر متسع شونده و منقبض شونده می باشد. واضح است این جزئیات مستقیماً وابسته به رفتار سنگ می باشند.

در مقاله دیگری [۶] این نگرانی توسط Pells & Bertuzzi ابراز شده که «... روش های طبقه بندی برای برقراری ارتباط مناسب هستند ولی نباید به عنوان ابزار اصلی طراحی نگهداری اصلی به کار گرفته شوند. مقادیر Q و RMR داده های واقعی مربوط به زمین شناسی مهندسی توده های سنگ نمی باشند. آنها تا حدود زیادی وابسته به تفاسیر می باشند و به همین دلیل نباید در لاگهای زمین شناسی یا نقشه های استخراجی تونل ها درج شوند».

منابع

1. ZT Bieniawski, 1978. Determining rock mass deformability. *Int Journal of Rock Mech & Min Sci.* 15.
 2. ZT Bieniawski, 1989. *Engineering rock mass classifications: a complete manual.* John Wiley & Sons, New York.
 3. N Barton, 1995. The influence of joint properties in modelling jointed rock masses. Keynote Lecture, 8th ISRM Congress (Tokyo), Balkema, Rotterdam.
 4. N Barton, 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int Journal of Rock Mech & Min Sci.* 39.
 5. N Barton, 2006. *Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy.* Taylor & Francis, UK & Netherlands.
 6. P.J.N Pells & R Bertuzzi, 2007. Limitations of rock mass classification systems, *T&TI*, April '07, p33.
 7. A Palmström & E Broch, 2006. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q system. *TUST*, 21, p21.
 8. E Grimstad & N Barton, 1993. Updating of the Q-System for NMT. *Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete - Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support* (eds Kompen, Opsahl and Berg). Norwegian Concrete Association, Oslo.
 9. N Barton & E Grimstad, 1994. The Q-system following twenty years of application in NMT support selection. *43rd Geomechanics Colloquy*, Salzburg, Felsbau, 6, p428.
 10. N Barton, 2000. *TBM Tunnelling in Jointed and Faulted Rock.* Balkema, Rotterdam.
 11. ZT Bieniawski, B Celada & JM Galera, 2007. Predicting TBM excavability. *T&TI* September '07, p25.
 12. RE Goodman, 2007. *Geomechanics according to G. Riedmiller (1940-2003).* *T&TI*, March '07, p47.
- ۳- به کارگیری هر دو روش و مقایسه نتایج حاصله با بکارگیری حداقل دو رابطه همبستگی موجود مابین این سیستمها که در منابع متعددی ارائه شده اند [۲] و [۴].
- ۴- تعیین سیستم نگهداری (شکل ۲). سیستم نگهداری که بر اساس Q تعیین می گردد می تواند به عنوان سیستم نگهداری نهایی قلمداد شود به شرطی که بولت و شاتکریت مصرفی از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند.
- ۵- تعیین زمان خود ایستایی (شکل ۳) و مدول توده سنگ برای مدلسازی (شکل ۴). ممکن است در اعماق زیاد مدول وابسته به تنش مورد نیاز باشد.
- ۶- انجام مدلسازی عددی در شرایط خاص (دهانه وسیع و شرایط ویژه) و حصول اطمینان از کفایت اطلاعات موجود.
- ۷- تکرار مجدد فرآیند طراحی و درخواست اطلاعات اکتشافی بیشتر و آزمایش های لازم در صورت کمبود اطلاعات مورد نیاز
- ۸- در نظر داشتن فرآیند ساخت و در مورد مطالعات امکان سنجی حفاریات با TBM و تعیین نرخ پیشروی به کمک روش های QTBM و RME
- ۹- حصول اطمینان از اینکه اطلاعات مربوط به ویژگیهای توده سنگ در گزارشات اولیه ژئوتکنیکی ذکر شده اند (شامل کلیه روش ها، فرضیات و ویژگیهای طراحی)
- ۱۰- استفاده از روش های RMR و Q در حین ساخت و همگام با پیشرفت پروژه به منظور مقایسه شرایط پیش بینی شده با شرایط واقعی و اعمال تغییرات لازم در طراحی مطابق با شرایط موجود.
- لازم به یادآوری است که انجام آزمون های آزمایشگاهی نیز باید با دقت و بر اساس استانداردها و نیز با در نظر گرفتن بودجه کافی صورت پذیرد. این نکته حائز اهمیت می باشد که مهندسان و زمین شناسان به عنوان یک تیم با یکدیگر همکاری نمایند و با یکدیگر و کارفرما در ارتباط مداوم باشند.

نتیجه گیری

بعد از ۳۵ سال سابقه در کاربرد روش های RMR و Q در تونلسازی و معدنکاری، این دو سیستم به عنوان مفیدترین و مؤثرترین روش های تجربی در طراحی از طریق تعیین کیفیت توده سنگ، تخمین خصوصیات توده سنگ و تعیین سیستم نگهداری در تونل ها می باشند. لازم به یادآوری است که باید این روش ها را برای آنچه ارائه شده اند به کار گرفت و از مطالعات موردی نیز درس گرفت.

در پایان به این جمله مشهور اشاره می گردد که: «آنچه نمی دانی تو را به دردسر نمی اندازد بلکه آنچه تصور می کنی که خوب می دانی برایت دردسر ایجاد می کند».

چکیده مقالات منتخب نشریات

تحلیل الاستیک میدان تنش - جابجایی ناشی از بار زمین و فشار داخلی در یک تونل دایروی پوشش دار و عمیق

Shu-cai Li, Ming-bin Wang, 2008, "Elastic analysis of stress-displacement field for a lined circular tunnel at great depth due to ground loads and internal pressure". Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 23, Issue 6, November 2008, Pages 609-617.

در این مقاله یک راه حل کرنش صفحه ای الاستیک برای تنش ها و جابجایی های ناشی از بار یکنواخت زمین و فشارهای داخلی در اطراف یک تونل دایروی پوشش دار در مصالح همسان ارائه شده است. در این تحقیق با استفاده از تئوری Muskhelishvili عملکردهای پیچیده تنش و جابجایی به شکل مناسبی ارائه می شوند. سپس با توجه به اینکه تنش ها و جابجایی ها در امتداد مرزها پیوسته می باشند، علاوه بر مقایسه توان دو طرف معادله، روابط مذکور به نحوی ساده می شوند که از طریق معادلات خطی جبری قابل حل باشند. بدین طریق پتانسیل های پیچیده پوشش و مصالح اطراف آن به طور دقیق تعیین می شود. تحلیل حساسیت نشان می دهد که در صورتی که ضخامت پوشش سخت زیاد باشد احتمال ایجاد تنش های کششی در دهانه تونل و سطح مشترک پوشش و مصالح وجود دارد. علاوه بر موارد فوق نشان داده می شود که اگر نسبت فاصله نقاط مورد بررسی به محور تونل و شعاع خارجی پوشش بین ۱ و ۲ باشد، تغییر تنش ها در مصالح به میزان زیادی به میزان سختی نسبی و ضخامت پوشش بستگی دارد. نتایج نشان می دهد که اگر مقادیر سختی نسبی و ضخامت پوشش بیش از اندازه کوچک یا بزرگ باشند، بر پایداری سازه تاثیر خواهند گذاشت. به منظور تایید صحت راه حل به دست آمده مقایسه ای با روش Kirsch نیز انجام گرفته و در متن ارائه شده است.

رابطه میان همگرایی تونل یا پارامترهای عملیاتی دستگاه TBM و اندازه تراشه ها در تونل قمرود

E. Farrokh, J. Rostami, 2008, "Correlation of tunnel convergence with TBM operational parameters and chip size in the Ghomroud tunnel, Iran". Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 23, Issue 6, November 2008, Pages 700-710.

ارزیابی تاثیر ویژگی های توده سنگ بر عملیات تونل سازی به خصوص در صورت استفاده از دستگاه TBM دارای اهمیت زیادی می باشد. این موضوع یک بخش جدایی ناپذیر در انتخاب دستگاه و پیشبینی عملکرد آن در مراحل طراحی و مناقصه می باشد. رفتارنگاری و تحلیل شرایط زمین در حین ساخت نیز مهم می باشد به طوری که اپراتور دستگاه بتواند اقدامات پیشگیرانه را در شرایط نامساعد زمین شناسی به کار گیرد. این کار نیاز به تغییر پارامترهای عملیاتی دستگاه TBM همچون فشار رانشی دستگاه و نرخ نفوذ دارد تا بدین طریق جلوی مشکلات بالقوه ای همچون ریزش جبهه کار، همگرایی بیش از حد و در نتیجه گیر کردن دستگاه و بروز تاخیرات طولانی، گرفته شود. همگرایی دیواره های تونل یک عملکرد ناشی از مشخصات توده سنگ، تنش های برجا، ابعاد حفاری، و نرخ نفوذپذیری بوده و یکی از عوامل اصلی در انتخاب دستگاه های سپردار در تونل های سنگی عمیق می باشد. در این مقاله با تکیه بر مطالعه موردی تونل انتقال آب قمرود که به وسیله یک دستگاه TBM تلسکوپی در حال ساخت می باشد، اهمیت تاثیر پارامترهای توده سنگ بر همگرایی تونل و نیاز به بیش حفاری و روغنکاری سپر جهت جلوگیری از گیر کردن آن در حین حفاری، مورد بررسی قرار می گیرد. نتیجه تحلیل های اولیه مشاهدات محلی نشان می دهد که میزان همگرایی تونل می تواند رابطه مستقیمی با میزان پودر سنگ و قطعات درشت سنگ موجود در باطله های حفاری داشته باشد. همچنین نشان داده شده که همگرایی تونل با گشتاور و فشار رانشی و نیز نرخ نفوذ رابطه دارد. مقاله حاضر روابط مذکور را بررسی نموده و نتایج تحلیل ها و نیز فرمول های به دست آمده از آن را ارائه می نماید.

پیشبینی نواحی پر خطر زمین شناسی در جلوی جبهه کار با استفاده از روش لرزه ای و شبکه های عصبی مصنوعی

A. Alimoradi, A. Moradzadeh, R. Naderi, M. Zad Salehi, A. Etemadi, 2008, "Prediction of geological hazardous zones in front of a tunnel face using TSP-203 and artificial neural networks", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 23, Issue 6, November 2008, Pages 711-717.

هدف از این تحقیق بهبود روش های پیشبینی خطرات ساختارهای ژئوتکنیکی در جلوی جبهه کار تونل می باشد. روش عملکرد با مطالعه موردی تونل انتقال آب چشمه روزیه نشان داده می شود. مطالعات و بررسی های ژئوتکنیکی با استفاده از روش پیشبینی لرزه ای تونل (TSP-203) در طولی معادل ۶۸۴ متر از این تونل ۳۲۰۰ متری در عمق ۶۰۰ متری انجام شده و گزارش شده اند. نتایج به دست آمده در یک شبکه عصبی مصنوعی به کار گرفته شدند تا بدین طریق رابطه غیر خطی و ناشناخته بین نتایج پیشبینی لرزه ای تونل و نتایج به دست آمده از طبقه بندی RMR مشخص شود. این تحقیق نشان می دهد که شبکه های عصبی مصنوعی با دقت زیادی قادر به پیشبینی نواحی ضعیف زمین شناسی در جلوی جبهه کار می باشند.

کمی نمودن جریان حلقوی در خطوط لوله آب پوشش دار

Reda M. Bakeer, V. Firat Sever, 2008, "Quantification of annular flow in lined pipelines", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 23, Issue 6, November 2008, Pages 727-733.

مقاله حاضر سعی در کمی نمودن میزان جریان در فضای بین پوشش پلیمری و لوله اصلی در حال تخریب را دارد. اندازه نامناسب پوشش منجر به ایجاد جریان حلقوی میان قطعات پوشش در مسیر فاضلاب شده و در نتیجه باعث افزایش شدت جریان در سیستم جمع آوری فاضلاب می شود. نتایج به دست آمده از آزمایشات تمام مقیاس انجام شده در ۱۲ خط لوله که دارای چهار نوع پوشش متفاوت بوده اند نشان می دهد که در همه این خطوط لوله، فواصلی بین لوله اصلی و پوشش آن وجود داشته است. این فواصل باعث ایجاد جریان های حلقوی متفاوتی در خطوط لوله شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایشات تمام مقیاس مذکور، یک رابطه ریاضی میان جریان حلقوی در یک خط لوله پوشش دار و فاصله موجود پوشش و لوله اصلی پیشنهاد شده است. رابطه میان نرخ جریان حلقوی و میانگین فاصله بین لوله و پوشش به اختلاف فشار در نقاط ابتدایی و انتهایی مسیر خط لوله دارد. همچنین میانگین فاصله بین لوله و پوشش به عوامل متعددی همچون رواداری، نقص لوله و پوشش، یا شرایط لوله اصلی و کیفیت نصب پوشش بستگی دارد. در این مقاله معادلات به دست آمده برای نشان دادن ارتباط میان جریان حلقوی و میانگین فاصله بین لوله و پوشش با اختلاف فشارهای کم و زیاد ارائه شده است.

ارزیابی تزریق در پوشش تونل با استفاده از روش انعکاس موج ضربه

D.G. Aggelis, T. Shiotani, K. Kasai, 2008, "Evaluation of grouting in tunnel lining using impact-echo", *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 23, Issue 6, November 2008, Pages 629-637.

یکی از روش های استخراج تونل استفاده از سپرها می باشد. پس از حفر تونل، قطعات بتن مسلح برای نگهداری خاک یا سنگ اطراف تونل به کار گرفته می شود. سپس عملیات تزریق به منظور ایجاد چسبندگی و تماس بین قطعات بتنی و زمین صورت می گیرد. ارزیابی کیفیت تزریق انجام شده از طریق آزمایشات کششی و مغزه گیری از نوع مخرب بوده و در ضمن زمان بر و هزینه بر می باشد. در این تحقیق از اصابت چکش با سطح صفحات بتنی و ثبت موج انعکاسی به وسیله شتاب سنج فرکانس پایین برای ارزیابی کیفیت تزریق استفاده شده است. به کار گیری مشخصات دامنه زمانی، محتوای طیف، و تغییر موج ضربه، میزان تاثیر تزریق را مشخص نموده و نتایج به دست آمده نشان می دهد که استفاده از روش انعکاس موج ضربه با توجه به سرعت و دقت آن روش مناسبی برای ارزیابی کیفیت تزریق می باشد.

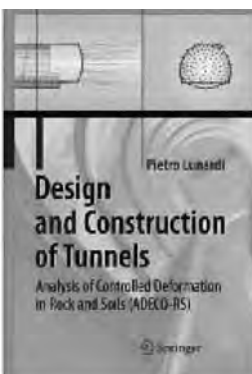
معرفی کتاب



توده سنگها ساخته می‌شود، شناخت روشهای بهسازی توده سنگها ضروری است.

هدف از این کتاب معرفی اصول تزریق به روش سنتی و معرفی روش جدید تزریق در توده سنگ به نام «عدد شدت تزریق» (GIN) است. برای این منظور ابتدا مبانی روش تزریق سنتی در توده سنگها و عوامل مؤثر در آن بیان شده‌اند. سپس اصول تزریق به روش عدد شدت تزریق (GIN) در توده سنگها معرفی و در ادامه تزریق به روش سنتی و روش جدید با هم مقایسه شده است. در نهایت چند مطالعه موردی از کاربرد روش عدد شدت تزریق برای بهسازی توده سنگ بیان شده است.

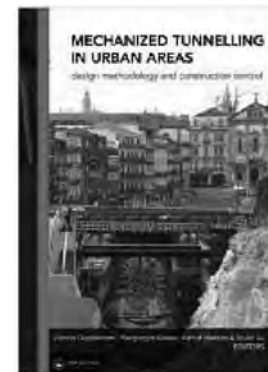
عنوان: Design and Construction of Tunnels: Analysis of Controlled Deformations in Rock and Soils (ADECO-RS)
تالیف: Pietro Lunardi
ناشر: Springer
تاریخ انتشار: ۲۰۰۸



مطالب این کتاب چگونگی استفاده از تحلیل تغییر شکل کنترل شده سنگ و خاک در طراحی و ساخت تونل‌ها را تشریح می‌نماید. این روش تحلیل به طور مشخصی میان مراحل طراحی و ساخت تفاوت قائل شده و امکان انجام پیشبینی‌های دقیق زمان و هزینه‌های مورد نیاز ساخت را فراهم می‌سازد. در این روش پس از آنکه ناحیه پیشروی (ناحیه جلوی جبهه کار) با

استفاده از روش‌های معمول به طور مقدماتی و موقت نگهداری شد، از این ناحیه برای پایدارسازی کوتاه و بلند مدت تونل استفاده می‌شود. بدین طریق امکان پیشروی تونل با توجه به شرایط دشوار تنش-کرنش که از پیش تعیین شده‌اند، مطابق با برنامه زمان بندی وجود خواهد داشت.

عنوان: Mechanized Tunnelling in Urban Areas
ویرایش: Vittorio Guglielmetti, Ashraf Mahtab, Shulin Xu, Piergiorgio Grasso
ناشر: Taylor & Francis
تاریخ انتشار: ۲۰۰۷



در دو دهه اخیر استفاده از روش‌های حفاری مکانیزه برای تونل‌سازی با توجه به افزایش تعداد تونل‌های راه آهن و مترو رو به فزونی گذاشته است. این کتاب مخاطرات ویژه ساخت تونل در مناطق شهری از جمله زمین‌های ضعیف، بالاتر بودن سطح آب نسبت به تونل، تشست‌هایی که منجر به خسارت دیدن ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های سطح زمین می‌شود را مورد بررسی قرار می‌دهد. به علاوه به کارگیری فنونی که باعث پایداری تونل‌ها و کاهش تشست‌های سطحی می‌شود در این کتاب مرور می‌شوند. همچنین مطالبی همچون شناسایی دقیق ویژگی‌های زمین، ارزیابی و کدیریت ریسک از مرحله طراحی تا مرحله تعمیر و نگهداری، نحوه انتخاب صحیح دستگاه TBM و نحوه برنامه ریزی برای پیشروی تونل، روش‌های ویژه حفاری، و نیز رفتارنگاری پارامترهای حفاری در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرند.

عنوان: تقویت توده سنگ‌ها با دوغاب‌های پایه سیمانی در روش عدد شدت تزریق (GIN)
گردآوری و تالیف: دکتر مصطفی شریف زاده، مهندس محمد حسین خسروی، مهندس سعید نودهی
ناشر: جهاد دانشگاهی (واحد صنعتی امیر کبیر)
تاریخ انتشار: ۱۳۸۷

امروزه عملیات مهندسی تزریق برای بهسازی توده سنگ اعم از تحکیم و آب‌بندی در طرح‌های عمرانی و معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تزریق در سنگها به دلیل نوع ناپیوستگی‌ها و ارتباط بین آنها با تزریق در خاکها تفاوت بنیادی دارد. برای تزریق در سنگ نه تنها وجود ناپیوستگی‌ها بلکه ارتباط بین ناپیوستگی‌ها نیز حائز اهمیت است. با توجه به حجم زیاد پروژه‌های در دست مطالعه و اجرا در کشور از قبیل سد سازی، تونل‌سازی، معدنکاری و نظایر آنها که بطور عمده در

رویدادهای تونل

Shotcrete for Underground Support XI

June 7 - 10, 2009, Davos Congress Center, Davos, Switzerland

Topics:

Design for underground support using shotcrete and other support components.

Shotcrete making materials.

Steel and synthetic fibre reinforcement.

Testing and properties of plastic and hardened shotcrete.

Testing for toughness of fibre reinforced shotcretes.

Design, specification and testing for durability of shotcrete.

Shotcrete batching, mixing supply and application equipment.

Application of shotcrete using hand nuzzling, remote arms and robotic control.

Shotcrete Quality Assurance (QA) and Quality Control (QC).

Case history examples of innovative shotcrete projects

Health, safety and environmental issues relating to shotcrete use.

Email: info@engconfintl.org

Website: <http://www.engconfintl.org/9as.html>

Swiss Tunnel Congress – STC2009

17-19 June 2009, Lucerne - Switzerland, FGU-Swiss Tunnelling Society

Website: <http://www.swisstunnel.ch>

کنفرانس هشتم تونل

کنفرانس هشتم تونل با عنوان «فضاهای زیرزمینی برای ایمنی، محیط‌زیست و انرژی» با همکاری: انجمن تونل ایران و دانشگاه تربیت مدرس در تاریخ های ۲۹ - ۳۱ اردیبهشت ۸۸ در محل دانشگاه تربیت مدرس برگزار می شود.

انجمن تونل ایران با تجربه برگزاری چندین کنفرانس علمی و ارتباطات علمی با مجامع صنعتی تونل از تمامی دانشمندان، متخصصان و نخبگان علمی، اساتید، دانشجویان و شرکتهای مهندسی مشاور، پیمانکاری و تولید ماشین‌آلات و تجهیزات و تأسیسات در زمینه تونل و فضاهای زیرزمینی برای شرکت در هشتمین کنفرانس تونل ایران دعوت بعمل می‌آورد.

محورهای مباحث و مقالات کنفرانس

تحقیق و توسعه؛ برنامه‌ریزی، بررسی و طراحی فضاهای زیرزمینی؛ تکنولوژی ساخت فضاهای زیرزمینی؛ مدیریت قراردادی؛ ملاحظات اجتماعی و زیست محیطی و مسایل ایمنی-معیارها و استانداردها

دبیرخانه کنفرانس: خانه تونل ایران

تهران، خیابان کارگر شمالی، ساختمان ۴۶۷، واحد ۴۱. تلفن: ۸۸۶۳۰۴۹۵ تلفکس: ۸۸۰۰۸۷۵۴

Web: <http://www.8irtc.ir> Email: info@8irtc.ir

Shotcrete for Africa

2-3 March 2009, Johannesburg, SANCOT/SAIMM (The Southern African Institute of Mining and Metallurgy)

Topics:

Nozzleman accreditation,

'Wet' and robotic shotcreting,

Specifications, durability and curing,

Materials selection and testing

Email: raymond@saimm.co.za

Website: <http://www.saimm.co.za/0903shotcrete.asp>

Tunnel

Autumn 2008, No. 4

Iranian Tunnelling
Association Magazine

IN THE NAME OF
G O D

Editorial	2
The 8th Iranian Tunnelling Conference	3
News	4
The history of support design for underground spaces (part 2)	8
Blasting Technology – Improving the quality of excavation	13
Ground-Liner interaction in rock tunneling	19
A new method for calculating air leakage in the design of underground ventilation	28
RMR and Q – Setting records straight	34
Selected international paper abstracts	40
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 management

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

Editorial Board

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

Nashr-e-Fan

Executive Producer