تونل

نشریه انجمن تونل ایران

Tunnel

شماره۱۶، پاییز ۹۰

Iranian Tunnelling Association Magazine

www.irta.ir

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

تونل

نشـریه انجمن تونـل ایـران

شماره ۱۶ – پاییز ۱۳۹۰

بسمه تعالی

- سرمقاله ۲
- گزارش برگزاری نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل ۳
- اخبار ۸
- مروری بر تحلیل رفتار خزشی توده سنگ در تونل ۱۴
- مروری بر تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی ۲۱
- گوردخمه‌ها–سازه‌های زیرزمینی ایران باستان ۳۰
- چکیده مقالات منتخب نشریات ۳۵
- معرفی کتاب ۳۶
- رویدادهای تونلی ۳۷

www.irta.ir

شـرح روی جلد: تونل پردیس

صاحب امتیاز	انجمن تونل ایران
مدیر مسئول	دکتر مرتضی قارونی‌نیک
سر دبیر	دکتر سیامک‌هاشمی
زیر نظر	هیئت مدیره انجمن تونل ایران
هیئت تحریریه	دکتر محمد جواد جعفری، دکتر حسین سالاری‌راد، دکتر مصطفی شریف‌زاده، دکتر محمد حسین صدقیانی، دکتر اورنگ فرزانه، دکتر احمد فهیمـی‌فر، دکتر مرتضی قارونی‌نیک، دکتر حسین کنعانی‌مقدم، مهندس ابوالقاسم مظفری شمس، دکتر سیامک‌هاشمـی، دکتر علی یسـاقی
همکاران این شماره	مهندس امیرعبداله ایران زاده و مهندس محمد خسروتاش
امور اجرایی	نشرفن
تبلیغات	معصومه قره داغی
صفحه آرایی و طراحی جلد	الهه لطفی

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

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

- **نشـانی: خیابان کارگر شمالی– بالاتر از بیمارستان قلب– بعد از خیابان دوم– ساختمان –۴۶۷ طبقه –۵ واحد–۴۱ انجمن تونل ایران**

تلفن : ۶ – ۸۸۶۳۰۴۹۵ نمابر: ۸۸۰۰۸۷۵۴

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

برگزاری نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل

نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل با عنوان "فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار" در تاریخ‌های ۹ تا ۱۲ آبان در تهران برگزار شد. پس از توزیع فراخوان اولیه، همایش مورد استقبال گسترده‌ای قرار گرفت و تعداد ۴۷۰ چکیده مقاله به دبیرخانه همایش ارسال شد. پس از بررسی چکیده مقالات دریافت شده، حدود ۳۳۰ چکیده توسط کمیته علمی همایش مورد پذیرش قرار گرفت و سپس ۲۴۰ مقاله کامل به دبیرخانه واصل شد. به منظور حفظ کیفیت همایش هر مقاله توسط حداقل سه داور مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع ۱۳۰ مقاله کامل مورد پذیرش قرار گرفت. علاوه بر مقالات فوق از تعدادی از اساتید و متخصصان داخلی و خارجی برای ارایه سخنرانی در قالب مقالات محوری و کلیدی دعوت به عمل آمد. در مجموع، تعداد ۳۰ مقاله کلیدی و محوری و ۱۳۰ مقاله دیگر در محورهای مبانی شناسایی، مالی، قراردادی، مدیریت و فن‌آوری ساخت توسط متخصصین و کارشناسان داخلی و خارجی در این همایش ارایه شد. از بین این مقالات، تعداد ۳۱ مقاله به زبان انگلیسی و ۱۲۹ مقاله به زبان فارسی بودند. تعداد ۷۵ مقاله در سه سالن و در ۱۶ جلسه به موازات هم و ۸۵ مقاله به صورت پوستر ارایه شدند. مجموعه چکیده بلند مقالات همایش (به زبان انگلیسی) در قالب کتاب و لوح فشرده در اختیار شرکت کنندگان قرار گرفت. این مجموعه همچنین شامل متن کامل مقالات کلیدی و محوری می‌باشد.

در روز اول همایش چهار کارگاه آموزشی با عناوین مبانی طراحی در تونلسازی اتریشی (NATM1) و مبانی اجرایی در تونلسازی اتریشی (NATM2)، بهسازی زمین، و مدیریت پروژه‌های تونلسازی برگزار شدند که مورد استقبال علاقمندان قرار گرفت. در روز آخر نیز دو بازدید جداگانه از پروژه‌های تونل نیایش، و سد و نیروگاه سیاه بیشه انجام گرفت. همزمان با برگزاری همایش یک نمایشگاه تخصصی برگزار شد که ۳۶ شرکت و سازمان داخلی و خارجی در آن حضور داشتند که در طول همایش مورد بازدید تعداد زیادی از علاقمندان قرار گرفت. در این همایش بیش از ۱۲۰۰ نفر از دانشجویان، اساتید، متخصصان و دست اندرکاران صنعت تونل و علاقمندان این رشته شرکت کردند. همچنین متخصصانی از کشورهای آلمان، اتریش، ایتالیا، سوئیس، ژاپن، چین، کره جنوبی، تایلند، مالزی، هند و ترکیه در بخش‌های مختلفی از این همایش شرکت نمودند. امید است این همایش مورد استفاده متخصصان و علاقمندان این رشته قرار گرفته باشد و در دوره‌های آتی نیز شاهد برگزاری همایش‌های موفقی در رشته تونلسازی باشیم.

نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل برگزار شد

نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل با عنوان فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار، از نهم آبان ماه به مدت چهار روز در هتل المپیک تهران برگزار شد. این همایش با حضور با حضور مقامات و مسئولین صنعت تونل ایران، پروفسور In-Mo Lee (رئیس انجمن بین‌المللی تونل)، پروفسور Feng (رئیس انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ)، پروفسور Barla (سردبیر مجله بین‌المللی مکانیک سنگ و مهندسی سنگ) و پروفسور Zhao (دبیر مجله بین‌المللی تونل و فضاهای زیرزمینی) و برخی دیگر از چهره‌های سرشناس ملی و بین المللی و دست اندرکاران صنعت تونل ایران، اساتید و دانشجویان برگزار شد. در این همایش در رابطه با محورهای تحقیق و توسعه، مبانی شناسایی و طراحی فضاهای زیرزمینی و فن‌آوری ساخت آن‌ها و همچنین مباحث مالی، قراردادی و مدیریتی در پروژه‌های زیرزمینی مقالات و سخنرانی‌های متعددی ارائه شدند.

بهره‌گیری از آخرین فن‌آوری‌های ساخت تونل و فضاهای زیرزمینی با توجه به نیاز روزافزون کشور جهت دستیابی به توسعه‌ی پایدار از جمله اهداف این همایش عنوان شد. از جمله برنامه‌های جنبی این همایش می‌توان به برگزاری کارگاه‌های آموزشی و بازدید از پروژه تونل نیایش و سد و

نیروگاه سیاه‌بیشه اشاره کرد.

● احداث تونل در ایران باستان

ابوالقاسم مظفری (رئیس انجمن تونل ایران) در این همایش به تاریخچه تونـل و حفریات زیرزمینی در ایــران اشاره کرد و گفت: تاریخچه تونل و حفریات زیرزمینی در منطقه به ویژه ایران به ساخت فضاهای امن، معدن‌کاری و همچنین ساخت قنوات بر می‌گردد. وی با بیان اینکه، نخستین فضاهای زیرزمینی در دوران باستان برای ساخت خانه‌ها توسط ساکنان آن ایجاد شده است، گفت: اهمیت احداث تونل‌ها در دوران قدیم، تا بدین جاست که کارشناسان، کارهای احداث تونل در آن تمدن‌ها را نشانگر رشد فرهنگ و به ویژه رشد فنی و توان اقتصادی آن جامعه دانسته‌اند. مظفری اشاره‌ای به آیات متعدد قرآن کریم در این مورد کرد و ادامه داد: آیه‌ی ۸۲ سوره حجر در رابطه با قوم صالح می‌فرماید: «و کانوا ینحتون من الجبال بیوتا امنین»؛ آن‌ها قومی بودند که برای خطر در دل کوه‌ها برای خود خانه می‌ساختند، و یا در آیه‌ی ۱۴۹ سوره شعراء در رابطه با قوم ثمود می‌فرماید: « و تنحتون من الجبال بیوتا فرهین».

رئیس انجمن تونل ایران به معماری صخره‌ای و فضاهای ایجاد شده درون کوه‌ها و صخره‌ها به عنوان سکونت‌گاه‌ها در ایران اشاره کرد و توضیح داد: از این دست می‌توان روستای کندوان در آذربایجان شرقی را نام برد که به عنوان پناهگاهی در مقابل حمله‌ی مغول ایجاد شده و همچنان پس از گذشت سالیان، هنوز مسکن مردم است. مظفری به روستای حیله ور در ۲ کیلومتری روستای کندوان به عنوان نمونه‌ی دیگری از فضاهای زیرزمینی اشاره کرد و گفت: این مکان برای سکونت و در امان ماندن از حملات دشمنان ساخته شده بود و یا روستای میمند در استان کرمان، که دارای فضاهایی در دل کوه است و به عنوان پناهگاه ایجاد شده‌اند و از دوره اشکانیان قبایل کوچ نشین در این محل سکنی گزیدند. او با بیان اینکه تمدن‌های نخستین در زمینه‌ی معدن‌کاری به سرعت به اهمیت تونل‌ها به عنوان راه‌های دسترسی به کانی‌ها و مواد طبیعی پی‌بردند، گفت: وجود معادن قدیمی بسیار از جمله معادن زیرزمینی نخلک که سابقه‌ی بیش از دو هزار سال معدنکاری دارد، دلیلی براین مدعاست. به گفته رئیس انجمن تونل ایران، قنات یا کاریز که توسط مقنیان ایرانی اختراع شده است، از دیگر حفریات زیرزمینی است که می‌توان از آن نام برد. او با بیان اینکه قنات یک سیستم آبرسانی و یکی از راه‌های اصلی تامین آب شرب مناطق مسکونی و آب مورد نیاز برای کشاورزان و دامداری در نواحی خشک است، ادامه داد: پدیده‌ی قنات که امروزه شهرت جهانی پیدا کرده است، از ایران به بسیاری از کشورهای جهان انتقال یافته و در حدود ۳۴ کشور دیگر نیز مورد استفاده واقع شد. مظفری به ذکر نمونه‌هایی پرداخت و گفت: قنات معروف گناباد که داری عمقی حدود ۳۰۰ متر است، قنات وزوان که دارای سد زیرزمینی برای ثابت نگهداشتن جریان آب در فصول مختلف سال ساخته شده است. قنات زارچ یزد که بیش از ۷۰ کیلومتر طول دارد، نمونه‌هایی از شاهکارهای تونل‌سازی ایرانی هستند. به گفته‌ی مظفری قنات‌ها و تونل‌ها علاوه بر تامین آب

آشامیدنی و آب کشاورزی مورد نیاز برای به کار انداختن آسیاب‌هاب آبی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. رئیس انجمن تونل ایران ادامه داد: مجموعه‌ی آبی شوشتر که در سال ۱۳۸۸ به عنوان میراث جهانی در یونسکو به ثبت رسیده، نمونه جالبی است که آب کارون را از طریق تونل‌ها و کانال‌ها هدایت می‌کرده و آب مورد نیاز بیش از ۴۰ آسیاب را تامین می‌کرد.

● آمار تونلسازی در ایران

رئیس انجمن تونل ایران در بخشی دیگر از سخنان خود مروری بر صنعت تونلسازی ایران در شرایط موجود و برنامه‌ی توسعه‌ی آن براساس افق چشم‌انداز از دیدگاه آمار در سال ۱۴۰۴ کرد. او درباره‌ی راه‌های ساخته شده در کشور گفت: طول راه‌های ساخته شده در کشور بالغ بر ۱۹۳ کیلومتر است، این راه‌ها دارای ۲۵۶ دستگاه تونل به طول مجموع ۱۲۴ کیلومتر است که در این بین تونل کندوان از نخستین تونلهای راه بود که در بین سالهای ۱۳۱۴ و ۱۳۱۷ ساخته شد.

مظفری با بیان اینکه شاخص بین‌المللی راه ۲۵ است و این در حالی است که شاخص تعریف شده برای راه در کشور ما عدد ۱۲ است، گفت: به عبارت دیگر رسیدن به این شاخص باید حداقل معادل آنچه که تاکنون ساخته‌ایم، راه‌های جدید احداث کنیم.

رئیس انجمن تونل ایران، درباره راه‌آهن گفت: مجموع خطوط ریلی در حال حاضر ۱۲۱۵۰ کیلومتر است که شامل ۹۴۵۰ کیلومتر خطوط اصلی و ۲۷۰۰ کیلومتر خطوط فرعی است. به گفته‌ی مظفری طول تونلهای احداث شده در این خطوط بالغ بر ۱۶۵ کیلومتر است. مظفری توضیح داد: اولین پروژه در راه‌آهن ساخت راه‌آهن سراسری ایران بود که از سال ۱۳۰۶ آغاز شد و در سال ۱۳۱۷ به اتمام رسید. او گفت: طول کل خط سراسری از بندر ترکمن (در شمال) تا بندر امام (در جنوب) ۱۳۹۴ کیلومتر است. در طول مسیر ۲۲۴ تونل با مجموع ۸۴ کیلومتر ساخته شده است. رئیس انجمن تونل ایران، با بیان اینکه طول خطوط راه‌آهن باید بیش از سه برابر شود، اظهار داشت: شاخص تراکم خطوط راه‌آهن در حال حاضر ۵/۸ است که باید این شاخص در افق سند چشم انداز به ۱۸/۲ برسد.

رئیس انجمن تونل ایران، درباره منابع آب و انتقال حوضه به حوضه گفت: کشور ایران سرزمین خشک و نیمه خشکی است و دارای بارندگی ۲۵۰ میلی گرم در سال است. او پراکنش بارش را یکی از ویژگی‌های ایران دانست و گفت: به طوری که در مناطق کوهستانی غرب و زاگرس و شمال البرز بارش به بیش از یک‌هزار میلی‌متر و در مناطق مرکزی به کمتر از ۶۰ میلی‌متر می‌رسد. مظفری ادامه داد: از طرف دیگر پراکندگی جمعیت به گونه‌ای است که بیش از ۶۵ درصد از جمعیت کشودر در مناطقی هستند که دارای ۳۰ درصد از منابع آبی آن، انتقال آب حوضه به حوضه برای تعادل جمعیتی و توسعه‌ی پایدار کشور امری اجتناب ناپذیر است.

رئیس انجمن تونل ایران با بیان اینکه عبور از کوه‌های سربه فلک کشیده زاگرس و البرز و احداث تونل‌های طویل انتقال آب در نیم

قرن اخیر یکی از الزامات برنامه‌ریزی منابع آب کشور قرار گرفته است، گفت: در حال حاضر حدود ۴۰۰ کیلومتر تونل انتقال آب در حال بهره‌برداری و احداث است که تکمیل آنها نزدیک به ۴/۵ میلیارد متر مکعب آب منتقل می‌شود. او با بیان اینکه بلندترین این تونلها، تونل زاگرس است که طول آن بالغ بر ۴۹ کیلومتر است، گفت: طرح‌های مطالعه شده و ظرفیت انتقال آب در برنامه‌ریزی کلان آب کشور بالغ بر ۹ میلیارد متر مکعب است.

به گفته مظفری، به همین ترتیب می‌توان در زمینه‌ی ساخت سدها که تونلها یکی از بخش‌های اصلی کار را تشکیل می‌دهند و نیروگاه‌های زیرزمینی به سد و نیروگاه کارون ۳، مسجد سلیمان، سیاه بیشه، و دز اشاره کرد.

رئیس انجن تونل ایران به حمل و نقل ترافیک شهری اشاره کرد و ادامه داد: با افزایش جمعیت و مهاجرت روستاییان به کلان شهرهای کشور، حمل و نقل ریلی سهم بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. او توضیح داد: در حال حاضر در ۷ شهر بزرگ کشور، ۱۶۴ کیلومتر از خطوط مترو در دست بهره‌برداری و ۲۱۱ کیلومتر در حال ساخت است. این میزان باید تا پایان برنامه‌ی پنجم توسعه به ۲۵۰ کیلومتر و در افق چشم انداز به ۸۸۰ کیلومتر افزایش خواهد یافت. به گفته‌ی مظفری تونل‌های ترافیک شهری سهم قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهند. او به تونل‌های رسالت، توحید، صدر – نیایش و امیرکبیر در تهران و تونل کوهسار مهدی و تونل فضیلت در شیراز - تونل فضیلت با ۱۸/۹۶ متر عرض و ۱۲/۲۰ متر ارتفاع یکی از بزرگترین دهانه‌ی تونلهای شهری در ایران را دارا است) اشاره کرد. مظفری درباره‌ی انتقال فاضلاب، جمع‌آوری آبهای سطحی و تونل‌های تاسیسات گفت: در تهران ۲۶/۶ کیلومتر تونل انتقال فاضلاب اجرا شده است و ۱۲ کیلومتر تونل در دست ساخت است. مجموع تونل‌های اجرا شده و دست ساخت در این زمینه، بالغ بر ۳۰۰ کیلومتر برآورده می‌گردد.

رئیس انجمن تونل ایــران نتیجه گرفت: با توجه به آنچه بیان شد حدود یک‌هزار کیلومتر در زمینه‌های مختلف به جز تونــل‌ها و مغارهای مربوط به سدها و نیروگاه‌های برقابی در کشور تونل وجود دارد که در افق سند چشم انداز باید به ۲۵۰۰ کیلومتر افزایش یابد. به گفته مظفری کشورمان به طور متوسط سالیانه، به بیش از ۱۰۰ کیلومتر احداث تونل نیازمند است که برای انجام این امر مهم که یکی از مهمترین عوامل توسعه‌ی پایدار و جزو زیرساخت‌های حیاتی کشور است، باید مسئولین امر برنامه‌ریزی لازم به عمل آورند و صنعت تونلسازی کشور را مطابق با این نیازمندی، توسعه و گسترش دهند. او با بیان اینکه هم اکنون پیمانکاران ایرانی پروژه‌های تونلی مهمی را در کشورهای همسایه از جمله تاجیکستان، عراق و سوریه اجرا کرده‌اند، ادامه داد: همچنین مشاورین ایرانی تونل‌های طویلی را در کشورهای پاکستان و ارمنستان در دست اجرا دارند.

در ادامه‌ی این مــراسم، رئیس انجمن بین‌المللی تونــل (ITA)، پروفسور این مولی In-Mo Lee، به ایراد سخنرانی پرداخت و از فعالیت‌های انجمن تونل ایران و برگزاری این همایش قدردانی کرد.

● روند صعودی تونل سازی در کشور

آقای دکتر مصطفی شریف‌زاده (دبیر نخستین همایش آسیایی و نهمین ملی تونل) در مراسم افتتاحیه اولین همایش آسیایی و

نهمین همایش ملی تونل گفت: امیدوارم اولین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل مجال بهره‌مندی برای تبادل علم و تجربیات تونلسازی برای همه ما و شما باشد. شریف‌زاده با بیان اینکه رشد تونل‌سازی در پروژه‌های عمرانی، معدنی و انرژی، سبب تاسیس انجمن تونل ایران شده ادامه داد: به منظور برقراری ارتباط بین دست‌اندرکاران امور در تونل‌سازی در بخش‌های مختلف دولت، صنعت و دانشگاه تاسیس شد و در این راستا با برگزاری سخنرانی‌های ماهانه، انتشار خبرنامه، اطلاع‌رسانی از طریق صفحه تارنمای انجمن تونل ایران و نامه‌های الکترونیکی، فعالیت‌های متعددی انجام شده است. به گفته‌ی شریف‌زاده، یکی از مهمترین فعالیت‌های این انجمن برگزاری همایش‌های دو سالانه‌ی تونل است که تا به حال ۸ کنفرانس در مقیاس ملی برگزار شده است.

دبیر نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل ایران ادامه داد: با توجه به روند صعودی تونل‌سازی در کشور و منطقه و همچنین وجود متخصصین بومی مجرب پیرو هماهنگی‌های به عمل آمده با انجمن بین‌المللی تونل که انجمن تونل ایران نیز عضو آن است، برگزاری نهمین همایش ملی به همراه اولین همایش آسیایی تونل مورد تایید قرار گرفته است.

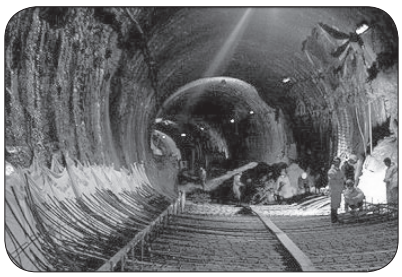
شریف‌زاده با بیان اینکه همایش حاضر به عنوان اولین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل نام‌گذاری شده است، ادامه داد: این همایش با همکاری انجمن بین‌المللی تونل و انجمن تونل ایران برگزار می‌شود و گفت: با توجه به جنبه‌های مختلف تاثیر تونل‌سازی و حفریات زیرزمینی در توسعه‌ی شهرها و کشورها این همایش با عنوان « فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار » نامگذاری شد.

دبیر نخستین همایش آسیایی تونل با بیان اینکه همایش حاضر، حاصل یک سال تلاش در کمیته علمی و اجرایی و انجمن تونل ایران و همچنین شرکت همایش سازان امروز است، گفت: این همایش در ۵ محور شامل تحقیق و توسعه، مبانی شناسایی و طراحی، فن‌آوری ساخت، مباحث مالی و قراردادی و مدیریتی، و سایر امور جانبی و خدمات فنی مرتبط با تونل سازی تدارک دیده شده است.

دکتر شریف‌زاده درباره‌ی برنامه‌های این همایش توضیح داد: این همایش در چهار روز تدارک دیده شده است. در روز اول نهم آبان ماه، چهار کارگاه آموزشی به موازات هم برگزار شدند. در روز دوم و سوم همایش مقارن با روزهای دهم و یازدهم آبان مقالات به صورت شفاهی و پوستر ارایه می‌شوند. همچنین در بعدازظهر روز اول همایش پانل تخصصی حفاری مکانیزه تشکیل شد. علاوه بر موارد فوق در این دو روز نمایشگاهی از دستاوردهای تونل سازی با حضور ۳۶ شرکت در دو سالن با مساحت ۷۵۰ متر مربع در کنار سالن‌های همایش دایر شده است. دبیر همایش، برنامه روز چهارم را مختص بازدید از پروژه‌های تونل نیایش، صدر و پروژهی سد و نیروگاه تلمبه‌ی ذخیره‌ای سیاه بیشه عنوان کرد.

وی اظهار امیداواری کرد تا همایش حاضر با بیان وضعیت موجود تونلسازی، انتقال تجارب و دانش فنی و تحکیم پیوندهای حرفه‌ای دست‌اندرکاران بتواند به عنوان مبنایی برای توسعه‌ی پایدار و برنامه‌ریزی برای پیشرفت‌های آتی حرفه تونل‌سازی باشد.

آغاز عملیات اجرایی ساخت تونل خط ۶ مترو با استفاده از دستگاه TBM



در مراسمی با حضور دکتر محمد باقر قالیباف شهردار تهران، عملیات اجرایی ساخت خط ۶ متروی تهران با استفاده از دستگاه حفار اتوماتیک آغاز و کارخانه قطعات پیش ساخته (سگمنت) این خط افتتاح شد. به گزارش آریا، خط ۶ متروی تهران به طول ۳۱ کیلومتر، با ۲۷ ایستگاه از شهرک دولت آباد در جنوب شرقی تهران آغاز می‌شود و تا سولقان در شمال غربی تهران ادامه خواهد یافت. بر اساس این گزارش، پروژه خط ۶ مترو در سه سال اجرا می شود که فاز نخست آن شامل ۱۰ ایستگاه به طول ۱۱ کیلومتر حدفاصل دولت آباد تا اتوبان شهید صیاد شیرازی است. همچنین فاز دوم این خط نیز با ۵ ایستگاه به طول ۵ کیلومتر حدفاصل اتوبان صیاد شیرازی و پارک لاله احداث خواهد شد و در نهایت فاز سوم با ۱۲ ایستگاه و ۱۵ کیلومتر طول حدفاصل پارک لاله تا سولقان اجرایی خواهد شد. شایان ذکر است، دستگاه حفار مورد استفاده در خط ۶ متروی تهران سالانه می تواند ۵ کیلومتر تونل را احداث و تحویل دهد که بر این اساس امید است احداث و توسعه این خط در کوتاه ترین زمان ممکن محقق شود.

۱۱ مهر ۱۳۹۰
خبرگزاری آریا

پایان عملیات احداث تونل انتقال کابل برق فشار قوی در بزرگراه شهید صدر

با تلاش دست‌اندرکاران امر، تونل انتقال کابل برق فشارقوی در بزرگراه شهید صدر به طول ۶۲۱۰ متر احداث شده و عملیات لاینینگ و عایق‌بندی آن مراحل پایانی خود را طی‌می‌کند. به گزارش آریا به نقل از روابط عمومی معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، عملیات اجرایی این تونل ۶/۲ کیلومتری که در مسیر خیابان‌های شهید اندرزگو، شهید لواسانی و بلوار ارتش احداث شده‌است، از روز هشتم اردیبهشت ماه آغاز و ظرف دو هفته آینده با اتمام عملیات لاینینگ و عایق‌بندی، کامل خواهد شد. در این تونل حدود ۳۸ کیلومتر کابل برق فشارقوی کشیده خواهد شد تا مقدمات جمع‌آوری ۷۷ دکل موجود فعلی در مسیر بزرگراه صدر فراهم‌شود.

عملیات کابل‌کشی در تونل مذکور از اوایل آبان‌ماه شروع‌شده و حداکثر ظرف ۲ ماه به پایان می‌رسد. برای ساخت تونل انتقال کابل برق فشارقوی که حدفاصل پست‌های برق قیطریه و ازگل قرار دارد، ۸۷۵۰۰ مترمکعب حفاری و ۹۵۰ تن آرماتوربندی صورت گرفته است. با احداث این تونل که جایگزین دکل‌های برق فشار قوی خواهد شد، ضمن کاهش اثرات زیانبار زیست‌محیطی ناشی از جریانات قوی مغناطیسی بر روی ساکنین مجاور مسیر و شهروندان عبوری از بزرگراه صدر، امکان عبور سایر تأسیسات شهری ازقبیل فیبر نوری، شبکه مخابرات و غیره ازطریق تونل مذکور فراهم می‌شود، ضمن اینکه منظر شهری در طول بزرگراه بهبود خواهد یافت.

۲۰ مهر ۱۳۹۰
خبرگزاری آریا

دستگاه حفار TBM برای حفر تونل کمکی ابوذر آماده شد

معاون فنی و مهندسی شرکت خاکریزآب از پایان مراحل آماده‌سازی و آزمایش قطعات دستگاه حفار TBM جهت آغاز عملیات حفر تونل کمکی کانال ابوذر خبرداد. به گزارش آریا به نقل از روابط عمومی معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، قدرت‌الله محمد نیاکان ضمن اعلام این خبر افزود: کلیه قطعات دستگاه حفار TBM پس از مونتاژ مورد بازدید و آزمایش قرارگرفته و از سلامت و عملکرد صحیح آنها درحین عملیات حفاری اطمینان حاصل شده است. نیاکان با بیان اینکه شرایط احداث شفت به عنوان یکی از پیش‌نیازهای فنی حفر تونل با رفع معارض ملکی موجود در میدان افسریه فراهم‌شده، یادآور شد: عملیات احداث شفت بین ۳ تا ۴ ماه به‌طول می‌انجامد و پس از آن با انتقال دستگاه حفار، بخش اصلی عملیات اجرایی پروژه آغاز می‌شود. معاون فنی و مهندسی شرکت خاکریزآب همچنین بااشاره به پوشیده‌شدن تونل از طریق سگمنت‌های پیش‌ساخته، از آغاز تولید این نوع سگمنت‌ها درآینده نزدیک خبر داد. تونل کمکی کانال ابوذر، تونلی به طول ۴ هزار و ۴۰۰ متر است که ظرفیت انتقال ۴۲ متر مکعب آب در ثانیه را خواهد داشت. این تونل ازمقابل بیمارستان نیروی هوایی ارتش در شرق بزرگراه بسیج آغاز و تا جنوب میدان بسیج ادامه می‌یابد.

۲۴ مهر ۱۳۹۰
خبرگزاری آریا

عملیات ساخت تونل زرین یزد آغاز شد

مدیر کل راه آهن یزد از آغاز عملیات ساخت تونل یزد و واریانت محور اردکان- چادر ملو خبر داد. به گزارش آریا، محمد دهقانپور گفت: عملیات اجرای واریانت (تغییر مسیر موقت برای اصلاح مسیر اصلی) محور اردکان- چادر ملو و ساخت تونل زرین برای حذف قوس ۴۵۰ و کاهش شیب و فراز مسیر و استفاده بهینه از ناوگان ریلی در دستور کار قرار گرفت. وی با بیان اینکه با ساخت تونل ۸۰۰ متری زرین و واریانتی به طول ۱۴ کیلومتر، قوس مسیر حذف و از شیب آن کاسته می شود افزود: تسهیل حمل مواد معدنی و کنستانتره از معدن بزرگ چادرملو به کارخانه‌های ذوب آهن، خط مواصلاتی راه آهن اصفهان مشهد و محل اتصال آن به راه آهن شرق از اهمیت این محور است. مدیر کل راه آهن یزد تصریح کرد: مدت اجرای این پروژه ۳ سال و اعتبار مورد نیاز آن ۲۷۰ میلیارد ریال برآورد شده است. دهقانپور افزود: با عملیاتی شدن این پروژه از ترافیک مسیر کاسته شده و بار قطار نیز افزایش می یابد. وی همچنین با اشاره به جابجایی بیش از ۷۴۵ هزار نفر در نیمه نخست امسال از رشد هشت و نیم درصدی عملکرد بخش مسافری راه آهن یزد نسبت به مدت مشابه پارسال خبر داد.

۲ آبان ۱۳۹۰
خبرگزاری آریا

حفاری بخش فوقانی تونل انحراف سد چم شیر با موفقیت به پایان رسید

مجری طرح چم شیر گفت: عملیات حفاری فوقانی تونل انحراف سد و نیروگاه چم شیر طی مدت هفت ماه با موفقیت به پایان رسید. به گزارش آریا، "حسین سلیمان بیگی" افزود: تونل انحراف طرح چم شیر به طول ۷۰۰ متر و قطر تمام شده ۱۲ متر طراحی شده است که گنجایش انحراف رودخانه زهره با سیلاب‌هایی با دبی ۲۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه را دارد. وی با بیان اینکه برای دسترسی به محل خروجی تونل انحراف، راه دسترسی به طول هفت کیلومتر احداث شده است، اظهار داشت: عملیات حفاری پرتال ورودی و خروجی تونل نیز با حجمی معادل ۳۰۰ هزار مترمکعب به پایان رسیده است. وی سپس طرح سد و نیروگاه چم شیر را یکی از طرح‌های فوق العاده منطقه برشمرد که نقش مهمی در توسعه چهار استان کهگیلویه و بویر احمد، فارس، بوشهر و خوزستان دارد. مجری طرح چم شیر با بیان اینکه سد چم شیر بیش از ۱۱۰ هزار هکتار از اراضی پایین دست را آبیاری می کند، یادآور شد: نیروگاه ۱۶۵ مگاواتی چم شیر نیز افزون بر تولید ۵۲۰ گیگاوات انرژی برق آبی در سال، موجب تنظیم فرکانس شبکه این منطقه می شود. وی از دیگر مزایای اجرای این طرح را تنظیم آب، بهبود کیفیت آب و مهار سیلاب‌های رودخانه زهره اعلام کرد. سد چم شیر با ارتفاع ۱۵۵ متر و مخزنی به حجم یک میلیارد و ۸۰۰ میلیون مترمکعب بر روی رودخانه زهره در ۲۵ کیلومتری شهرستان گچساران در حال احداث است.

۱ آذر ۱۳۹۰
خبرگزاری آریا

دستگاه حفر تونل مترو به میدان راه‌آهن رسید

دستگاه حفار خودکار تونل (TBM)، با حضور خبرنگاران و مدیران شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو) به ایستگاه راه‌آهن از خط۳ متروی تهران رسید. ساخت بخشی از تونل‌های خط ۳ متروی تهران حدفاصل منطقه قلعه‌مرغی تا جنوب چهارراه ولیعصر به صورت مکانیزه و توسط یک دستگاه حفار از نوع متعادل‌کننده فشار زمین با طول تقریبی ۱۲۰متر و قطر حفاری حدود ۱۹,۵ متر انجام می‌شود. این دستگاه در حال حاضر به ایستگاه راه‌آهن رسیده است. این دستگاه حفار روزانه قادر است حدود ۱۰ تا ۱۸ متر را حفاری کند.

در مراسمی که در عمق ۲۴ متری از زمین و با حضور کارکنان بخش حفاری که در دو سمت مسیر عبور دستگاه حفار قرار داشتند، برگزار شد،هابیل درویشی ضمن پاسخ به سؤالات خبرنگاران جزئیات اجرای تونل‌سازی در خط ۳ مترو را تشریح کرد و گفت: خط ۳ متروی تهران با طول تقریبی ۳۵کیلومتر و با ۲۸ایستگاه از کمربندی آزادگان آغاز شده و با گذر از بزرگراه سعیدی، میدان راه‌آهن، منیریه، چهارراه ولیعصر، بزرگراه صیاد تا میدان قائم امتداد دارد که عملیات اجرایی آن در حال اجراست. در حال حاضر در هر ۲۸ایستگاه این خط، کارکنان فعال هستند تا با سرعت، احداث این خط انجام شود. ساخت بخشی از تونل حدفاصل منطقه قلعه مرغی از میدان زمزم (ایستگاه B۳) تا چهارراه امیراکرم که جنوب چهارراه ولیعصر است، توسط دستگاه حفار انجام می‌شود. دستگاه حفار به کار گرفته شده در این بخش که یکی از ۴دستگاه حفار فعال در شهر تهران است، با قطر حفاری ۱۹/۹ متر، تونل‌سازی را برعهده دارد.وی در ادامه افزود: بیش از ۵۰کارگاه و بیش از ۳هزار نفر به‌صورت شبانه‌روزی در این ایستگاه‌ها کار می‌کنند.

هابیل درویشی ضمن اشاره به تخصص کارکنان ایرانی ابراز داشت: این برای نخستین بار است که دستگاه حفار وارد ایستگاه می‌شود، ضمن اینکه

از افتخارات ماست که این دستگاه تماما توسط متخصصان ایرانی کار می‌کند و روزانه قادر است به‌طور میانگین ۱۵متر را حفر کند؛ البته ما تا ۲۰ متر هم رکورد داشته‌ایم. درویشی در ادامه به هزینه نگهداری این دستگاه‌ها پرداخت و افزود: هزینه نگهداری این دستگاه‌ها در ماه بین ۳ تا ۵ میلیارد تومان است که با توجه به فعالیت ۳ دستگاه دیگر در تونل‌های متروی شهر تهران می‌توان گفت که هر ماه حدود ۲۰میلیارد تومان هزینه نگهداری این دستگاه‌ها می‌شود، ضمن اینکه هزینه حفر هر کیلومتر تونل هم در حدود ۵۰ میلیارد تومان برآورد می‌شود. مدیرعامل مترو در ادامه با بیان محاسن استفاده از این دستگاه‌ها ابراز داشت: از محاسن خیلی مهم این دستگاه‌ها عدم‌ریزش کارگاه‌هاست که با توجه به محل عملیات خط ۳ که بافت‌های سنتی در مسیر آن بسیار است، مؤثر و کارساز است. سرعت و دقت در اجرای کار هم از دیگر مزایای این دستگاه‌هاست که ما حتی بدون یک درصد خطا تونل را حفر می‌کنیم.

هابیل درویشی در ادامه به جزئیات زمان‌بندی خط ۳ اشاره کرد و گفت: خط ۳ طی ۳ بازه زمانی به بهره‌برداری می‌رسد. در فاز اول تا پایان امسال بهره‌برداری ۷۰ درصد از مسیر تا مصلای تهران محقق می‌شود که بر اساس پیش‌بینی‌های انجام گرفته تا نیمه سال آینده به چهارراه ولیعصر خواهیم رسید. فاز دوم که از کمربندی آزادگان تا چهارراه ولیعصر با طول ۱۲کیلومتر خواهد بود تا پایان سال ۹۱ به بهره‌برداری می‌رسد. فاز سوم هم تا پایان سال ۹۲ به اتمام می‌رسد، ضمن اینکه برای خط ۳ یک هزار و ۲۰ میلیارد تومان بودجه پیش‌بینی شده است. در پایان این مراسم تمام کارکنان این ایستگاه به همراه مدیر عامل شرکت مترو و مسئولان دیگر عکس یادگاری گرفتند.

شایان ذکر است که ۲ دستگاه دیگر حفار تونل، در خط ۷ مترو به کار گرفته شده‌اند. محل ورود دستگاه حفار پروژه خط ۷، تقاطع بزرگراه شهید نواب صفوی و خیابان قزوین در نظر گرفته شد؛ در این ارتباط شفت ورودی به طول ۲۰۰ متر، عرض ۱۷ متر و عمق ۲۳ متر در این منطقه احداث شد. قطعات این دستگاه به تهران حمل شد و در محل شفت، در عمق ۲۳ متری از زمین مونتاژ شد. تجهیزات و متعلقات این دستگاه پس از مونتاژ، مجموعه‌ای به طول بیش از یکصد متر را تشکیل داد که از یک طرف زمین را حفاری و خاک حاصله را به بیرون منتقل می‌کند و از طرف دیگر قطعات پیش ساخته بتونی را به‌طور اتوماتیک دریافت و نصب می‌کند.

پس از آن، یک دستگاه حفار تونل دیگر نیز در خط ۷ متروی تهران به کار گرفته شد. این دستگاه در کارگاه این خط واقع در تقاطع بریانک و بزرگراه نواب وارد خط مترو شد تا حفاری تونل خط۷متروی تهران را تکمیل کند.

خط ۷ متروی تهران به طول ۲۷کیلومتر و دارای ۲۵ ایستگاه است. این خط مترو از شهرک امیرالمؤمنین(ع) واقع در منطقه جنوب شرق تهران در امتداد شرقی - غربی آغاز می‌شود و پس از عبور از تقاطع محلاتی - ۱۷ شهریور و میدان محمدیه در تقاطع نواب - قزوین تغییر جهت داده و در امتداد جنوبی - شمالی مسیر آن ادامه دارد و به موازات تونل توحید و عبور از کنار برج میلاد در منطقه سعادت‌آباد، واقع در شمال غرب تهران پایان می‌یابد.

این خط با عمق حدود ۲۷ متر، عمیق‌ترین خط متروی تهران نیز محسوب می‌شود. پیش‌بینی شده فاز اول این خط سال آینده به بهره‌برداری برسد. شرکت مترو یک دستگاه دیگر حفر تونل را نیز در خط ۶ فعال کرده است. عملیات اجرایی ساخت خط ۶ متروی تهران با استفاده از دستگاه حفار اتوماتیک چندی پیش در دولت‌آباد شهرری آغاز شد. خط ۶ متروی تهران به طول ۳۱کیلومتر، با ۲۷ ایستگاه از شهرک دولت‌آباد در جنوب شرقی تهران آغاز می‌شود و تا سولقان در شمال‌غربی تهران ادامه می‌یابد.

پروژه خط ۶ مترو طی ۳ سال اجرا می‌شود که فاز نخست آن شامل ۱۰ ایستگاه به طول ۱۱ کیلومتر، حدفاصل دولت‌آباد تا بزرگراه شهید صیاد شیرازی است.همچنین فاز دوم این خط نیز با ۵ایستگاه به طول ۵ کیلومتر، حدفاصل بزرگراه صیاد شیرازی و پارک لاله احداث خواهد شد و درنهایت فاز سوم با ۱۲ ایستگاه و ۱۵کیلومتر طول، حدفاصل پارک‌لاله تا سولقان اجرایی خواهد شد.

۱۵ آذر ۱۳۹۰

همشهری آنلاین

افزایش جبهه‌های کاری پروژه تونل امیرکبیر به ۷ جبهه

متعاقب پیشرفت عملیات اجرایی در پروژه احداث تونل امیرکبیر، فعالیت‌های عمرانی در ۲ جبهه کاری جدید از شفت خیابان نیکنام به خیابان درودیان آغاز شد. به گزارش خبرگزاری آریا به نقل از روابط عمومی معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، مدیرعامل سازمان مهندسی و عمران شهر تهران ضمن اعلام خبر فوق افزود : از طول ۱۱۲۷ متری بخش‌های مختلف تونل امیرکبیر، تاکنون ۷۲۱ متر آن اجرا شده‌است. مهندس منصور درویشی در تشریح پیشرفت عملیات اجرایی در این پروژه، از اتمام عملیات سازه‌ای اصلاح بخشی از زیرگذر فعلی امیرکبیر خبرداد و گفت : این بخش از تونل امیرکبیر آماده اجرای تأسیسات و عملیات روسازی‌است. وی همچنین با اعلام اتمام عملیات حفاری در تونل جنوبی زیر مقطع عرضی خیابان ۱۷ شهریور، از پایان عملیات لاینینگ نهایی کف و واترپروفینگ این تونل خبرداد و گفت : در تونل شمالی این بخش نیز عملیات حفاری به طور کامل انجام‌شده و عملیات آرماتور بندی و بتن‌ریزی لاینینگ کف درحال اجرااست. مدیرعامل سازمان مهندسی و عمران شهر تهران با قابل‌قبول توصیف‌کردن پیشرفت عملیات اجرایی در تونل ۲۲۰ متری حدفاصل شرق خیابان ۱۷ شهریور تا غرب خیابان شکوفه، از پیشرفت ۹۸ درصدی عملیات خاکبرداری در این بخش‌از پروژه خبرداد و گفت: از مجموع ۳۴۴ شمع‌ستون مورد نیاز در این تونل ۲۸۵ شمع‌ستون به‌طور کامل اجرا شده‌است. به گفته درویشی، علاوه بر اجرای کامل دیوارمیانی و پیشرفت ۸۵ درصدی حفاری در بخش حدفاصل غرب خیابان شکوفه تا میدان کلانتری، عملیات اجرایی در سایر بخش‌ها نیز با سرعت مناسبی ادامه‌دارد. پروژه تونل امیرکبیر یک معبرشریانی مهم درجهت کاهش بارترافیکی یکی از پر رفت و آمدترین مناطق تهران (منطقه بازار) می‌باشد که ساخت یک پارکینگ طبقاتی و مجتمع تجاری نیز در بخش حدفاصل شرق خیابان هفده شهریور تا غرب خیابان شکوفه دیده شده‌است.

۱۶ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری آریا

جبهه اصلی تونل‌های شمالی و جنوبی نیایش به یکدیگر رسیدند

به‌دنبال پیشرفت عملیات حفاری در تونل‌های اصلی پروژه تونل نیایش، دو جبهه شرقی و غربی از تونل شمالی در محدوده خیابان مهیار (بعداز تقاطع خیابان ولیعصر (عج)) به‌یکدیگر متصل‌شدند. به گزارش خبرگزاری فارس، مازیار حسینی با اعلام این خبر، اتصال دقیق این دو جبهه کاری را نشانگر دقت تیم‌های اجرایی در عملیات‌حفاری و کنترل‌های مضاعف دستگاه نظارت خواند و افزود: با اتصال این دو جبهه، پرتال ورودی تونل شمالی در بزرگراه شهید آیت اله صدر با عبور از زیر بزرگراه مدرس، بلوار آفریقا و خیابان ولیعصر (عج) در آستانه اتصال به موقعیت پارک ملت قرار گرفت. حسینی با بیان اینکه عملیات اجرایی در تونل جنوبی نیز با روند مشابهی پیش‌می‌رود، از اتصال دو کارگاه اصلی از تونل جنوبی درحدفاصل خیابان آفریقا تا خیابان ولیعصر(عج) در روز یکشنبه ۲۰ آذرماه خبرداد و گفت: این طرح عظیم ملی، پیشرفت عملیات حفاری تونل نیایش به مرز ۷۰ درصد می‌رسد.

۲۰ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری فارس

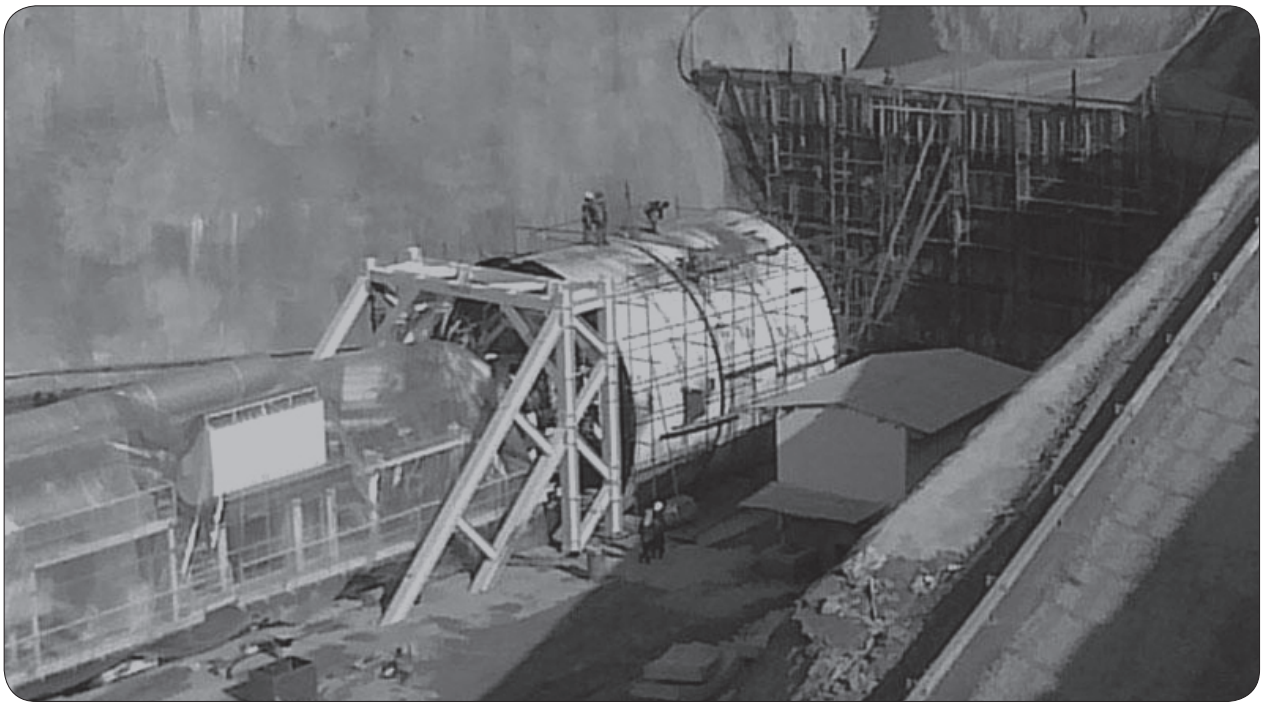
دستگاه حفار تونل مترو از زیر کریدور لوله‌های نفت عبور کرد

مدیرعامل سازمان قطار شهری اهواز گفت: دستگاه حفار تونل مترو با موفقیت از زیر کریدور لوله‌های نفت، در محل سه راه فرودگاه اهواز عبور کرد. عباس هلاکویی در گفت‌وگو با خبرنگار خبرگزاری دانشجویان ایران(ایسنا)- منطقه خوزستان- اظهار کرد: کریدور لوله‌های نفت شامل ۲۳ خط لوله‌ی مختلف فرآورده‌های نفت و گاز است که از سمت شرق به غرب سه راه فرودگاه، در عمق شش متری سطح زمین و با چهار متر فاصله از تاج تونل دستگاه TBM عبور می‌کنند. وی افزود: هنگام عبور دستگاه حفار از زیر کریدور لوله‌های نفت و گاز، ستاد بحران در منطقه تشکیل شد و نیروهای ایمنی، حوادث در حالت آماده‌باش کامل قرار داشتند و با همکاری مسئولان ذی‌ربط در شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب، دستگاه حفار تونل شماره‌ی یک در عمق ۱۷ متری با موفقیت از زیر لوله‌های نفت وگاز عبور کرد. هلاکویی خاطرنشان کرد: دستگاه حفار تونل مترو روز جمعه آینده وارد ایستگاه میدان فرودگاه می‌شود. ایستگاه میدان فرودگاه نخستین ایستگاهی است که تاکنون دستگاه TBM وارد آن شده است.

۲۱ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری دانشجویان ایران(ایسنا)

میزان حفاری مکانیزه تونل طبرسی مشهد افزایش یافت



میزان حفاری دستگاه اول TBMدر منطقه طبرسی مشهد به ۸ متر در روز رسید. به گزارش خبرگزاری فارس از مشهد به نقل از پایگاه اطلاع‌رسانی شهرداری مشهد، مسیر خط دو قطار شهری مشهد از خیابان‌های راه‌آهن، میدان‌شهدا و تقی‌آباد به عنوان نقاط شریانی شهر مشهد عبور و در نهایت در بولوار شهید فکوری خاتمه می‌یابد. این خط از انتهای طبرسی شمالی پایین دست روستای کشف شروع می‌شود و به بسیاری از کانون‌های جمعیتی آن منطقه سرویس‌دهی مستقیم داردکه بعضی از مراکز جمعیتی مجاور آن را طبقات محروم تشکیل می‌دهند و می‌توانند با طی کمترین فاصله به یکی از ایستگاه‌های خط دو دسترسی داشته باشند. شرکت قطار شهری شهرداری مشهد در راستای جلوگیری از کنده‌کاری در سطح خیابان برای حفر تونل در ساخت خط دو از دستگاه‌های حفار مکانیزه TBMاستفاده کرده که دستگاه اول از خیابان طبرسی شمالی حفاری خود را آغاز شده و دستگاه دوم نیز در بولوار شهید فکوری آغاز به کار می‌کند.

سرپرست شرکت قطار شهری مشهد، با اشاره به این موضوع که طول دستگاه‌های حفار ۱۱۰متر است، افزود: دستگاه اول حفار مکانیزه خط دو قطار شهری مشهد تاکنون ۳۰۰متر حفاری کرده و به ایستگاه اول خط دو که ایستگاه کشف‌رود است رسیده و پس از آماده‌سازی سازه‌های ایستگاه از این محل عبور کرده و به حفاری ادامه می‌دهد. مسعود بیژنی با بیان اینکه این دستگاه پس از حفاری تونل قالب‌های بتنی تونل(سگمنت) را نیز در محل نصب می‌کند، ادامه داد: میزان حفاری دستگاه اول TBM پس از نصب نوارهای نقاله برای حمل نخاله از هشت متر در روز به ۱۴متر در روز افزایش می‌یابد. وی تصریح کرد: دستگاه حفار دوم از ابتدای بلوار شهید فکوری در مرحله مونتاژ است و طی دو ماه آینده عملیات حفر تونل از این منطقه آغاز می‌شود. بیژنی با اشاره به این موضوع که دستگاه اول حفار از ۱۴تیرماه سال جاری عملیات حفاری را آغاز کرده است، اظهار داشت: دستگاه‌های حفار مکانیزه TBMخط دو قطار شهری مشهد از سمت شمال و جنوب حفاری می‌کند و در میدان راه‌آهن به یکدیگر می‌رسند. وی توجه به اینکه که خط دو قطار شهری مشهد ۱۴کیلومتر طول دارد، ادامه داد: این خط از ابتدای بولوار طبرسی آغاز با عبور از خیابان‌های طبرسی، بولوار مجلسی، راه‌آهن، شهیدهاشمی‌نژاد، میدان شهدا، دانشگاه و کوهسنگی به ابتدای بولوار شهید فکوری امتداد می‌یابد. بیژنی تاکید کرد: خط دو قطار شهری مشهد دارای ۱۳ ایستگاه است که مهمترین ایستگاه آن راه‌آهن برای تبادل سفر درون شهری و برون شهری، میدان شهدا به عنوان هسته مرکزی شهر و ایستگاه تبادل مسافر خطوط دو و سه و چهار و میدان شریعتی به عنوان ایستگاه تبادل مسافر خطوط یک و دو و ایستگاه کوهسنگی به لحاظ وجود منطقه تاریخی و تفریحی کوهسنگی است. وی تاکید کرد: عملیات اجرایی کلیه ایستگاه‌های خط دو آغاز شده و هم‌اکنون محدودیت‌های ترافیکی در این مناطق لحاظ شده است.

۲۱ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری فارس

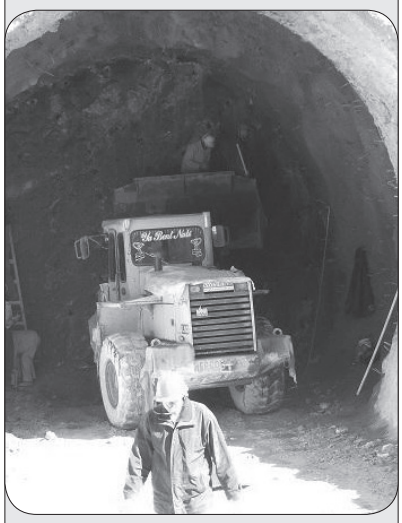
تونل زره در کیار ردیف اعتبار ملی می‌گیرد

استاندار چهارمحال و بختیاری گفت: احداث تونل زره در شهرستان کیار ردیف اعتبار ملی می‌گیرد. به گزارش خبرگزاری فارس از شهرکرد، علی‌اصغر عنابستانی سه‌شنبه شب در دیدار با جمعی از اعضای شوراهای اسلامی و کشاورزان دهستان مشایخ از توابع شهرستان کیار، اظهار داشت: عملیات اجرایی احداث تونل زره قبل از این با اعتبارات استانی آغاز و در ادامه متوقف شده بود. وی به دریافت مجوز کمیسیون ماده ۲۱۵ اشاره و تأکید کرد: از سال آینده برای احداث این تونل ردیف اعتبار ملی تعریف شده است. عنابستانی افزود: عملیات اجرایی احداث محور ارتباطی گورمیزه هم قبل از این مجوز کمیسیون ماده ۳۲ را اخذ کرده بود اما در ردیف‌های متفرقه بودجه قرار داشت. استاندار چهارمحال و بختیاری به نداشتن ردیف مستقل ملی برای احداث این پروژه اشاره و تصریح کرد: از سال آینده محور ارتباطی یاد شده جزو طرح‌های اولویت‌دار ملی قرار می‌گیرد و عملیات اجرایی آن با سرعت بیشتر و به طور جدی‌تر انجام می‌شود. وی افزود: گردنه زره یکی از محورهای قدیمی و سخت گذر چهارمحال و بختیاری به خوزستان و ایل راه عشایر کوچ روست که با حفر تونل در زیر آن علاوه بر حذف این گردنه حادثه خیز، فاصله مرکز بخش ناغان به شلمزار و شهر دهدز در خوزستان، ۳۲ کیلومتر کمتر می‌شود. عنابستانی اضافه کرد: تونل زره در جنوب شلمزار، مرکز شهرستان کیار و در زیر کوه زره و در ۳۵ کیلومتری شهرکرد واقع شده و تاکنون ۱۱۰ متر از این تونل هزار و ۳۰۰ متری حفر شده است. وی خاطرنشان کرد: هم اکنون محور ارتباطی شهرستان اردل با جاده خوزستان از طریق ناغان – گردنه باج‌گیران – دوپلان بوده که با احداث این محور جاده جدید و حذف گردنه پرحادثه باج گیران، مسیر ارتباطی اردل – خوزستان از لحاظ طولی ۲۵ کیلومتر و از لحاظ زمانی ۳۰ دقیقه کاهش می‌یابد. استاندار چهارمحال و بختیاری با بیان اینکه در این مسیر جدید یک دستگاه تونل به طول ۹۱۱ متر و تعدادی پل پیش بینی شده است، گفت: راه‌اندازی محور ارتباطی یاد شده فاصله ۲۳ کیلومتری اردل به منطقه میانکوه و مشایخ را به ۱۵ کیلومتر کاهش می‌دهد.

۲۳ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری فارس

حفاری تونل ۳۰۵ متری سد آبسرده بروجرد به اتمام رسید



به گزارش خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)، منطقه لرستان،علی امید سیفی، مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای لرستان در این مراسم که با حضور مدیرعامل شرکت مدیریت منابع آب ایران و مشاور وزیر نیرو انجام شد، گفت: سد آبسرده از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی در ۱۶ کیلومتری جنوب شهر بروجرد با حجم مخزن ۶۰ میلیون متر مکعب با ارتفاع ۸۰ متر از بستر رودخانه احداث می‌شود.

وی بیان کرد: این سد با هدف توسعه و بهبود ۸۴۰۰ هکتار اراضی کشاورزی و تأمین بخشی از آب شرب شهر بروجرد و توسعه گردشگری، کنترل سیلابهای بالادست و تولید شش مگاوات برق در حال اجراست. سیفی اظهار کرد: عملیات اجرایی در ابتدای سال ۸۹ آغاز شد و برآورد اعتبار اولیه مورد نیاز با در نظر گرفتن تجهیزات مورد نیاز نیروگاه و لوازم جانبی هزار میلیارد ریال بود که تا کنون ۷۱۰ میلیارد ریال هزینه شده است.

۲۶ آذر ۱۳۹۰

خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)

مروری بر تحلیل رفتار خزشی توده‌سنگ در تونل

ابوالفضل تاری‌فرد [۱]، مصطفی شریف‌زاده [۲]، حمید آقابابایی [۳]

دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی سهند- تبریز a_tarifard@sut.ac.ir
استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی- دانشگاه صنعتی امیر کبیر- تهران sharifzadeh@aut.ac.ir
دانشیار دانشکده مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی سهند- تبریز babaei@sut.ac.ir

چکیده

بررسی رفتار وابسته به زمان توده‌سنگ در تونل‌های حفر شده در توده‌سنگ‌های نرم، ضعیف، خردشده و حفریاتی که در معرض تنش‌های برجای بالا هستند، اهمیت بالایی دارد. با توجه به طول عمر سرویس‌دهی بالای حفریاتی مانند تونل‌های راه، رفتار خزشی توده‌سنگ دربرگیرنده باعث افزایش بار وارده بر سیستم نگهداری با گذشت زمان می‌شود. به منظور بررسی رفتار خزشی سنگ محققان مدل‌های خزشی مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند. انتخاب مدل رفتاری و پارامترهای مناسب برای توده‌سنگ از مهمترین بخش‌های تحلیل رفتار خزشی توده‌سنگ در حفریات زیرزمینی است. در این مقاله ابتدا مدل‌های خزشی ارائه شده، معرفی و مهمترین ویژگی مدل‌ها بررسی می‌شود. همچنین راه‌حل‌های مختلف تحلیلی، تجربی و عددی معرفی می‌شوند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد سطح تنش وارده و خواص فیزیکی و مکانیکی توده‌سنگ در رفتار خزشی توده‌سنگ و انتخاب مدل رفتاری مناسب تاثیر بالایی دارد. همچنین استفاده از تکنیک تحلیل برگشتی جهت برآورد صحیح پارامترهای مدل توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: خزش، حفریات زیرزمینی، مدلسازی عددی، مدل خزشی، پارامترهای مدل

۱- مقدمه

با گذشت زمان، همگرایی و فشار وارده بر سیستم نگهداری تونل افزایش می‌یابد. این افزایش عمدتاً بدلیل پیشروی جبهه‌کار و رفتار وابسته به زمان توده‌سنگ اطراف تونل است. رفتار وابسته به زمان توده‌سنگ که رفتار رئولوژیکی نامیده می‌شود در توده‌سنگ‌های نرم، ضعیف، به شدت خردشده و تونل‌هایی که در معرض تنش‌های برجای بالا هستند، اهمیت بالایی دارد[۱-۲]. بنابراین رفتار رئولوژیکی توده‌سنگ بایستی در طراحی بلندمدت و نگهداری حفریاتی که طول عمر سرویس‌دهی بالایی دارند، درنظر گرفته شود.

در سال‌های اخیر بررسی رفتار رئولوژیکی سنگ مورد توجه قرار گرفته و مطالعات مهمی با تمرکز بر رفتار خزشی سنگ انجام شده است. خزش تغییرشکل وابسته به زمان مواد جامد، تحت تنش‌های ثابت تعریف می‌شود که تغییرشکل وابسته به زمان با افزایش کرنش نشان داده می‌شود. این افزایش کرنش اغلب به تنش تفاضلی که سرعت خزش و نوع آنرا تعیین می‌کند بستگی دارد. اگر مصالح دارای خاصیت اتساعی نباشد حجم طی تغییرشکل ثابت خواهد ماند[۳].

برای توصیف رفتار خزشی سنگ مدل‌های مختلفی پیشنهاد شده است که می‌توان به مدل‌های ویسکوالاستیک، مدل‌های ویسکو الاستو - پلاستیک، مدل‌های تجربی و مدلهای ویسکوپلاستیک - آسیب اشاره کرد. همچنین به منظور تحلیل خزش در حفریات زیرزمینی، راه‌حل‌های مختلف تحلیلی، تجربی و عددی توسعه پیدا کرده‌اند. در این مقاله مدل‌های رفتاری ارائه شده، معرفی و مهمترین ویژگی آنها بررسی می‌شود. همچنین راه‌حل‌های مختلف تحلیلی، تجربی و عددی معرفی شده و روش‌های عددی که اخیراً به منظور تحلیل رفتار خزشی

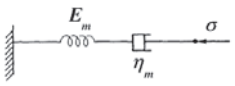
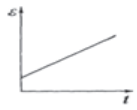
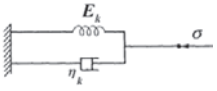
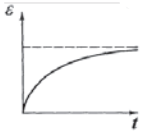
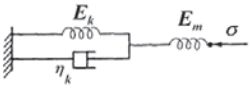
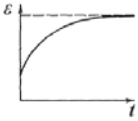
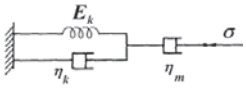
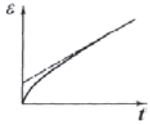
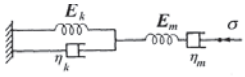
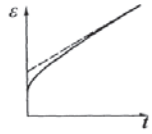
در حفریات زیرزمینی به کار برده شده‌اند، بررسی می‌شود.

۲- مدل‌های خزشی پیشنهاد شده برای سنگ

۲-۱- مدل‌های ویسکوالاستیک

مدل‌های ویسکوالاستیک مدل‌های رئولوژیکی ساده‌ای هستند که از ترکیب فنر و کمک‌فنر (Doshpot) تشکیل می‌شوند[۴-۵]. جدول ۱ انواع مدل‌های ویسکوالاستیک را نشان می‌دهد. در این مدل‌ها واحد کلوین مرحله اول خزش، فنر رفتار الاستیک آنی و کمک‌فنر واحد ماکسول، مرحله دوم خزش را مدل می‌کنند.

جدول ۱- مدل‌های خزشی ویسکوالاستیک

نام مدل	مدل مکانیکی	رابطه تنش - کرنش-زمان برای حالت یک‌بعدی		توصیف مدل
		فرمول	نمودار کرنش- زمان	
مدل ماکسول		$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_m} + \frac{\sigma . t}{3\eta_m}$		- تغییرشکل‌های آنی - مرحله دوم خزش
مدل کلوین		$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_m}\left[1 - exp\left(-\frac{E_k . t}{3\eta_k}\right)\right]$		- مرحله اول خزش
مدل تعمییم یافته کلوین (کلوین- وویت)		$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_m} + \frac{\sigma}{E_m}\left[1 - exp\left(-\frac{E_k . t}{3\eta_k}\right)\right]$		- تغییرشکل‌های آنی - مرحله اول خزش
مدل تعمیم یافته ماکسول		$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_m}\left[1 - exp\left(-\frac{E_k . t}{3\eta_k}\right)\right] + \frac{\sigma . t}{3\eta_m}$		- مرحله اول خزش - مرحله دوم خزش
مدل برگر		$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E_m} + \frac{\sigma}{E_m}\left[1 - exp\left(-\frac{E_k . t}{3\eta_k}\right)\right] + \frac{\sigma . t}{3\eta_m}$		- تغییرشکل‌های آنی - مرحله اول خزش - مرحله دوم خزش

مدل‌های ویسکوالاستیک در توصیف رفتار سنگ دارای محدودیت‌هایی هستند به طوری که این مدل‌ها نمی‌تواند شکست سنگ را مدل کند. همچنین همه تغییرشکل‌های وابسته به زمان تجربه شده با مدل‌های ویسکوالاستیک بعد از باربرداری قابل بازیابی هستند، اما در حقیقت همه تغییرشکل‌های که در سنگ رخ می‌دهد بعد از باربرداری قابل بازیابی نیست.

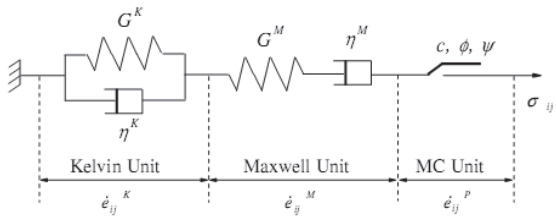
۲-۲- مدل‌های ویسکو الاستو-پلاستیک

با اضافه کردن جزء لغزنده به مدل‌های ویسکوالاستیک تا حدود زیادی محدودیت‌های مدل‌های ویسکوالاستیک برطرف شده است. جزء لغزنده نشان‌دهنده رفتار پلاستیک بوده و دارای یک مقاومت تسلیم از پیش تعیین‌شده است که در زیر آن تنش ویژه، لغزنده حرکت نمی‌کند. و اگر تنش بیشتر از این مقاومت تسلیم باشد، لغزنده حرکت کرده ولی به جای اولیه خود بر نمی‌گردد، به عبارت دیگر کرنش پلاستیک بعد از باربرداری

قابل بازیابی نیست[۵].

۲-۲-۱- مدل برگر با سطح تسلیم مور - کلمب (CVISC)

مدل CVISC از ترکیب مدل برگر با لغزنده پلاستیک به صورت سری، تشکیل شده است. این مدل با رفتار انحرافی ویسکوالاستو-پلاستیک و رفتار حجمی الاستو-پلاستیک شناخته می‌شود. رفتار انحرافی این مدل در شکل ۱ نشان داده شده است[۶].



شکل ۱- رفتار انحرافی مدل برگر با سطح تسلیم مور - کلمب

این مدل ضمن مدلسازی مراحل اول و دوم خزش تغییرشکل‌های پلاستیک آنی را نیز مدل می‌کند.

۲-۲-۲- مدل فرسایشی برگر

چارچوب این مدل شبیه مدل CVISC است با این تفاوت که چسبندگی و زاویه اصطکاک سنگ با گذشت زمان تغییر می‌کند. در این مدل فرض می‌شود که کاهش مقاومت توسط وضعیت تنش کنترل می‌شود. اگر وضعیت تنش از حد آستانه‌ای بیشتر شود چسبندگی و زاویه اصطکاک سنگ مطابق با رابطه ۲-۱ کاهش می‌یابد[۷].

$$\frac{dc}{dt} = -\omega_c R \ \ (R \geq R_{thr}, c \geq c_{res})$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -\omega_\phi R \ \ (R \geq R_{thr}, \phi \geq \phi_{res})$$

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2c\cos\phi + (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\phi}$$

$$\omega_c = \frac{c - c_{res}}{T_c}, \quad \omega_\phi = \frac{\phi - \phi_{res}}{T_c} \qquad (۱-۲)$$

R: ضریب تنش که فاصله وضعیت تنش جاری از پوش شکست مور-کلمب را نشان می‌دهد. اگر مقدار R از مقدار حدی ویژه R_{thr} بیشتر باشد چسبندگی و زاویه اصطکاک سنگ کاهش می‌یابند.

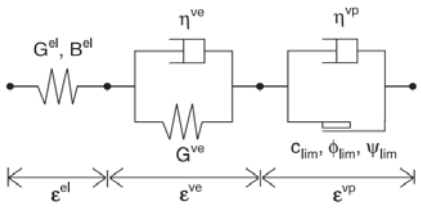
c_{res} و ϕ_{res} : چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی باقی‌مانده

T_c : عمر خزشی مورد انتظار که از نتایج آزمایشگاهی بدست می‌آید.

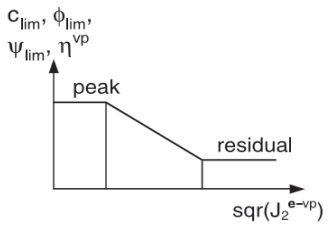
در واقع این مدل با کاهش چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی سنگ مرحله سوم خزش را مدل می‌کند.

۲-۲-۳- مدل ویسکو الاستو-پلاستیک با کرنش پلاستیک وابسته به زمان

در این مدل به منظور در نظر گرفتن کرنش‌های برگشت‌ناپذیر در مرحله دوم خزش و همچنین مرحله سوم خزش، کمک‌فنر با لغزنده پلاستیکی به صورت موازی ترکیب شده است[۸-۹]. شکل تصویر شماتیک مدل پیشنهاد شده را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۲ - الف) رفتار انحرافی مدل پیشنهاد شده ب) کاهش پارامترهای مکانیکی توده‌سنگ در مواجهه با پدیده خزش

در این مدل لغزنده پلاستیکی پوش حد ویسکوپلاستیک موهر- کلمب $F^{vp}(\sigma) = 0$ را نشان می‌دهد. تنش ثابت خیلی زیاد تا سرحد $F^{vp}(\sigma)$ تا زمانی که پارامترها (c, φ, ψ, η) ثابت هستند، خزش ثانویه را القا می‌کند. نرخ کرنش وابسته به مقدار ضریب ویسکوزیته η^{vp} (مربوط به المان ویسکوپلاستیک) است و بخش انحرافی را کمک‌فنر متحمل می‌شود. در واقع کمک‌فنر در این المان اثر زمان است.

اگر ضعیف شدن کمک‌فنر یا تقلیل حد تنش $F^{vp}(\sigma) = 0$

(ضعیف شدن لغزنده پلاستیک)، با افزایش کرنش‌ها همراه شوند، نرخ کرنش پلاستیک افزایش می‌یابد و منجر به مرحله سوم خزش و در نهایت گسیختگی می‌شود. در این مدل به منظور شبیه سازی مرحله سوم خزش و واقعیت کاهش پارامترهای مکانیکی توده‌سنگ در مواجهه با پدیده خزش، از یک تابع خطی که کاهش این مقادیر را در برابر افزایش کرنش‌های پلاستیک برشی نشان می‌دهد، استفاده شده است (شکل - ب) [۹].

۲-۳- مدل ویسکوپلاستیک Lemaitre

مدل ویسکوپلاستیک Lemaitre توسط پرزینا بر اساس تئوری overstress ارائه شد[۱۰]. این مدل مرحله اول خزش را که با کاهش نرخ کرنش ویسکوپلاستیک نسبت به زمان در تنش ثابت تعریف می‌شود، توصیف می‌کند. در این مدل نرخ کرنش کلی به دو بخش الاستیک لحظه‌ای و ویسکوپلاستیک تقسیم می‌شود (رابطه ۲-۲).

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{ij} &= \dot{\varepsilon}^{e}_{ij} + \dot{\varepsilon}^{vp}_{ij} \\ \dot{\varepsilon}^{vp}_{ij} &= \gamma\langle\phi(F)\rangle \frac{\partial G}{\partial \sigma_{ij}} \\ \langle\phi(F)\rangle &= 0 \qquad if: \phi(F) < 0 \\ \langle\phi(F)\rangle &= \phi(F) \qquad if: \phi(F) > 0 \end{aligned} \qquad (۲-۲)$$

G : پتانسیل ویسکوپلاستیک، F : تابع تسلیم استاتیک، : قانون جریان
γ : ضریب ویسکوزیته

۲-۴- مدل اصلاح شده Lemaitre

در سال ۲۰۰۵ پیلت مدل Lemaitre را برای سنگها اصلاح کرد. در این مدل، تئوری آسیب (Damage theory) و قانون ویسکوپلاستیک با هم ترکیب یافته‌اند که این مدل توانایی در نظر گرفتن کرنش‌های حجمی ویسکوپلاستیک و ناهمسانگردی آسیب مشاهده شده در آزمایش‌ها را دارا است[۱۱]. با استفاده از این مدل امکان پیش‌بینی گسیختگی تاخیری با تعیین زمان برای شکست را فراهم می‌کند. در این مدل با وارد کردن سطح تسلیم دراگر- پراگر به معادله رفتاری مدل ویسکوپلاستیک Lemaitre، مدل توانایی ارائه دادن اتساع و انقباض همراه با کرنش‌های ویسکوپلاستیک را پیدا می‌کند[۱۱-۱۲].

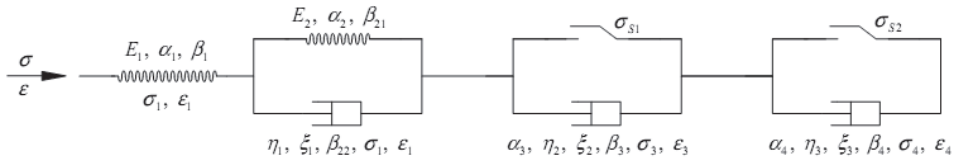
۲-۵- مدل کاهشی ناهمسانگرد القاء شده توسط برش

ونگ، با مطالعه تست‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نمونه ماسه‌سنگ ضعیف، مدل کاهشی ناهمسانگرد القاء شده توسط برش را برای مدلسازی رفتار ماسه‌سنگ ضعیف ارائه کرد[۱۳]. در این مدل با افزایش تنش‌های برشی مدول بالک و مدول برشی کاهش می‌یابد. همچنین با تعریف فاکتور ناهمسانگردی β تمایل سنگ به تغییرشکل‌های حجمی ناشی از برش، معرفی می‌شود. به اضافه به منظور بررسی رفتار تغییرشکلی وابسته به زمان، این مدل با مدل تعمیم یافته برگر ترکیب شده است. در نتیجه مدل پیشنهاد شده با ویژگی‌های زیر مشخص می‌شود:

۱- توانا در توصیف تغییرشکل‌های حجمی ناشی از برش
۲- تطبیق‌پذیر با تغییرشکل‌های وابسته به زمان
۳- فاکتور ناهمسانگردی β به عنوان شاخصی که آیا تغییرشکل‌های حجمی ناشی از برش انبساطی است یا انقباضی.

۲-۶- مدل خزشی با قابلیت در نظر گرفتن تاثیر رطوبت و دمای محیط

ژاو ینان، با در نظر گرفتن تاثیر رطوبت و دمای محیط در رفتار خزشی سنگ مدل رئولوژیکی مطابق با شکل ۲ پیشنهاد کرد. این مدل می‌تواند برای معادنی که عمق آنها زیاد و تاثیر دما و رطوبت در رفتار وابسته به زمان توده‌سنگ قابل ملاحظه است، مفید باشد[۱۴].



شکل ۲- مدل رئولوژیکی با درنظر گرفتن تاثیر رطوبت و دمای محیط

۳- روش‌های تحلیل خزش در تونل

به منظور توصیف تغییرشکل‌های وابسته به زمان یا خزش در تونل، روشهای مختلف تحلیلی، تجربی و عددی ارائه شده است. در این بخش به معرفی برخی از روش‌های تحلیلی و تجربی می‌پردازیم.

گنو و پنت در سال ۱۹۸۲ با استفاده از روش المان محدود تابعی برای همگرایی تونل بر حسب فاصله از سینه‌کار و زمان بدست آوردند (رابطه ۳-۱) [۱۵]. البته در این روش جوانب مهمی نظیر اثرات مربوط به اندرکنش زمین با سیستم نگهداری اعمال نشده بود.

$$C(x,t) = C_1(x) + C_2(t)$$
$$C(x,t) = C_{max}\left[1-\left(\frac{X}{X+x}\right)^2\right] + A\left[1-\left(\frac{T}{T+t}\right)^n\right] \qquad (۳-۱)$$

$C_1(x)$ همگرایی ناشی از پیشروی جبهه‌کار، $C_2(t)$ همگرایی ناشی از زمان، C_{max} حد نهایی همگرایی (مستقل از زمان) ناشی از سینه‌کار در فاصله $x = \infty$، X پارامتر وابسته به هندسه تونل (X=0.84R)، x فاصله از سینه‌کار، t زمان اندازه‌گیری، n و A پارامترهای ثابت و T پارامتر وابسته به زمان لادنی از جمله اولین کسانی بوده که سعی در وارد کردن زمان در منحنی واکنش زمین GRC کرده است. وی با تفاوت قائل شدن میان رفتار کوتاه مدت و دراز مدت یعنی لحاظ کردن اثر زمان بر تغییر پارامترهای مقاومتی توده‌سنگ معادلاتی را ارائه کرد که طی آن پاسخ توده‌سنگ در ضمن حفاری تونل در دو حالت متمایز کوتاه‌مدت و درازمدت قابل ترسیم می‌باشد. در این روش رفتار توده‌سنگ به صورت زیر فرض می‌شود[۱۶-۱۷].

۱- قبل از خرابی(Failure) رفتار توده‌سنگ الاستیک خطی در نظر گرفته شد.

۲- در محدوده خرابی مقاومت نهایی بر اساس معیار موهر-کلمب تعریف می‌شود.

۳- بعد از خرابی مقاومت توده‌سنگ به مقدار مقاومت باقی‌مانده کاهش پیدا می‌کند. رفتار توده‌سنگ در این محدوده بصورت کاملاً پلاستیک فرض می‌شود.

۴- در حالت الاستیک، کرنش‌های حجمی با استفاده از نسبت پواسون تعیین می‌شود. در خرابی و بعد از خرابی کرنش‌های حجمی با استفاده از قانون جریان و تئوری پلاستیسیته تعیین می‌شود.

۵- همه پارامترها وابسته به زمان فرض می‌شوند، ولی تنها مقادیر کوتاه مدت و بلندمدت پارامترها در آنالیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

همچنین وی سعی در وارد نمودن فاکتور زمان در تعیین فشار وارده از طرف زمین به پوشش تونل با استفاده از روش منحنی واکنش زمین GRC نمود. در این مطالعات وی فرض کرد که توده سنگ اطراف تونل با گذشت زمان دچار خزش طبق مدل غیرخطی ماکسول می‌شود که باعث افزایش فشار وارد بر پوشش نصب شده در تونل می‌شود[۱۷].

گودمن با فرض اینکه تونل دایره‌ای شکل در توده‌سنگ با رفتار خزشی برگر حفر شده و با در نظر گرفتن شرایط کرنش مسطح راه‌حل تحلیلی برای حالت تونل بدون سیستم نگهداری و تونل با سیستم نگهداری ارائه کرد. در روابط ارائه شده تغییرشکل‌های وابسته به زمان و فشاره قائم وارده بر سیستم نگهداری با گذشت زمان قابل محاسبه است[۱۸].

۴- روش‌های عددی تحلیل خزش توده‌سنگ

با توجه به محدودیت‌های موجود در روش‌های تحلیلی همچون شکل دایره‌ای و شرایط تنش هیدرواستاتیک و همچنین توسعه روش‌های عددی، محققان در سال‌های اخیر از روش‌های مختلف عددی مانند روش المان محدود (FEM)، روش تفاضل محدود (FDM) و روش المان مجزا (DEM) برای تحلیل خزش در محیط‌های پیوسته و ناپیوسته سنگی استفاده کرده‌اند. لذا در این قسمت مروری بر روش‌های عددی که اخیراً به منظور بررسی رفتار خزشی در حفریات زیرزمینی به کار برده شده‌اند، می‌پردازیم.

وانگ لیان، با استفاده از مدل CVISC تاثیر انواع سیستم نگهداری را در رفتار بلندمدت توده‌سنگ تونل Qinan توسط نرم‌افزار $FLAC^{2D}$ بررسی کرد. نتایج تحقیق وی بدین صورت است که جابه‌جایی دیواره تونل، عمق ناحیه پلاستیک و تنشهای اصلی با گذشت زمان در حالت سیستم نگهداری bolt-grouting در مقایسه با سیستم نگهداری anchor bolt-shotcrete و تونل بدون سیستم نگهداری به مقدار قابل توجهی کمتر است[۱۹].

پیلت برای پروژه تونل راه‌آهن سریع السیر فرانسه- ایتالیا که طی حفاری با توده‌سنگ بشدت خرد شده زغال خیز روبرو شده بود از مدل CVISC که شامل فرآیند کاهش مقاومت است، استفاده کرد. وی به منظور مدلسازی آسیب وابسته به زمان که نشان‌دهنده کاهش مقاومت نسبت به زمان است(مرحله سوم خزش)، چسبندگی توده‌سنگ را کاهش داد. هدف از مدلسازی عددی رفتار خزشی، بهینه کردن مقطع سیستم نگهداری تونل به منظور انتخاب ابعاد مناسب سیستم نگهداری است به همین جهت از تکنیک تحلیل برگشتی برای بدست آوردن پارامترهای ویسکوزیته مدل استفاده کرد[۲۰].

ژوان در مقاله‌ای که در سال ۲۰۰۸ منتشر شد از مدل فرسایشی برگر برای مدلسازی رفتار وابسته به زمان تونل اورشینو استفاده کرد. وی از تحلیل برگشتی و با استفاده از روش میانگین وزنی جهت برآورد واقعی پارامترها مطابق با اطلاعات ابزاربندی استفاده کرده است[۷].

بویدی از مدل ویسکوپلاستیک Lemaitre برای بررسی رفتار درازمدت گالری Mont Terri در نرم‌افزار $FLAC^{2D}$ استفاده کرند. در این تحقیق آنالیز برگشتی رفتار وابسته به زمان تونل که به مدت ۸ سال ابزاربندی شده بود انجام شد. در این تحقیق نتایج مدلسازی با نتایج کشیدگیسنج تطابق خوبی دارد ولی تنش نرمال محاسبه شده در تماس بین پوشش بتنی و توده‌سنگ در تاج تونل بیشتر از تنش‌های اندازه‌گیری شده است.

این اختلاف ممکن است در نتیجه عوامل زیر باشد.
- افزایش دما در بتن چند ساعت بعد از نصب
- انقباض بتن (shrinkage) بعد از گذشت چند ماه

پیلت از مدل اصلاح شده Lemaitre و با استفاده از کد المان محدود CAST3M برای مدلسازی سه‌بعدی رفتار بلندمدت گالری با تاکید ویژه بر توسعه وابسته به زمان زون آسیب حفاری ((Excavation Damage Zone (EDZ) استفاده کرد.

گالری برای انبار زباله‌های هسته‌ای مورد مطالعه قرار گرفت[۱۲]. در این تحقیق زون آسیب در دیواره تونل و توده‌سنگ با گذشت زمان گسترش می‌یابد. اما نصب سیستم نگهداری توسعه زون آسیب و ماکزیمم مقدار آسیب را کاهش می‌دهد. مدل عددی به کار رفته برای گالری نگهداری شده می‌تواند رفتار ساختاری سیستم نگهداری را در هر مرحله حفاری و طی مدت عمر گالری پیش‌بینی کند. همچنین مدلسازی عددی برهم‌کنش بین المان‌های پوشش بتنی و توده‌سنگ دربرگیرنده را نشان می‌دهد و اجازه می‌دهد تا تنش در سیستم نگهداری محاسبه شود. در این مدلسازی افزایش نیروی قائم به علت توسعه زون آسیب وابسته به زمان در توده‌سنگ نشان داده شده است که این نتایج در تعیین ضخامت سیستم نگهداری مهم است.

ونگ، برای بررسی رفتار وابسته به زمان تونل در منطقه Western Foothill of Taiwan که سنگ‌های رسوبی ضعیف غالب هستند و توده‌سنگ مسیر تونل بیشتر ماسه‌سنگ است از دو مدل ویسکوالاستیک برگر و مدل کاهشی ناهمسانگرد القاء شده توسط برش استفاده کرد. مدل پیشنهاد شده وارد نرم‌افزار ABAQUS شده و سپس برای ارزیابی تغییرشکل‌های تونل در حال ساخت به کار برده شد. در این مدلسازی کرنش‌های حجمی محاسبه شده توسط مدل پیشنهادی بیشتر از کرنش‌های حجمی محاسبه شده توسط مدل برگر است همچنین به علت توسعه زون انبساطی، جابجایی‌های محاسبه شده توسط این مدل بیشتر از مدل برگر است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری کوتاه بر مدل‌های پیشنهاد شده جهت تحلیل خزش انجام و خصوصیات مهم مدل‌ها بررسی شد. مدل‌های ویسکوالاستیک در توصیف رفتار سنگ دارای محدودیت‌هایی هستند بطوریکه این مدل‌ها نمی‌توانند شکست سنگ را مدل کند. همچنین همه تغییرشکل‌های وابسته به زمان تجربه شده با مدل‌های ویسکوالاستیک بعد از باربرداری قابل بازیابی هستند.

به منظور رفع محدودیت‌های مدل‌های ویسکوالاستیک محققان با ترکیب جسم لغزنده با فنر و کمک فنر سعی در مدلسازی کرنش‌های پلاستیک داشته‌اند. همچنین با کاهش پارامترهای مکانیکی توده‌سنگ و نیز با ترکیب مکانیک آسیب و مکانیک ویسکوپلاستیک مدلهای ارائه شده توانایی مدلسازی مرحله سوم خزش را پیدا کرده‌اند.

به منظور مدلسازی رفتار خزشی در حفریات زیرزمینی انتخاب مدل مناسب و پارامترهای آن نقش اساسی در صحت مدلسازی دارد. مدل انتخاب شده جهت مدلسازی رفتار توده‌سنگ باید دارای شرایط زیر باشد.

- بسته به سطح تنش موجود در منطقه مدل قادر به مدلسازی مرحله اول، دوم و حتی مرحله سوم خزش را داشته باشد.
- بتوان پارامترهای مدل را با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و نتایج برجا بدست آورد.

تکنیک آنالیز برگشتی به عنوان یکی از ابزارهای مهم جهت برآورد صحیح پارامترهای مدل توصیه می‌شود.

منابع:

[1] Zhu, W. and J. Zhao, Stability Analysis and Modelling of Underground Excavations in Fractured Rocks. 2004: Elsevier Geo-Engineering Book Series,VOLUME 1.
[2] Yu, C.-W., Creep Characteristics of Soft Rock and Modelling of Creep in Tunnel , 1998, Ph.D. Thesis, University of Bradford
[3] Sandrone, F., Analysis of pathologies and long term behaviour of the swiss national road tunnels. 2008, Ph.D. Thesis, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
[4] E.Goodman, R., Introduction to Rock Mechanics. Second Edition ed. 1989, New York: Wiley.
[5] A.Hudson, J. and J. P.Harrison, Engineering Rock Mechanics an Introduction to the Principles, ed. ۱۹۹۷ .۲۰۰۰: Pergamon
[6] Itasca Consulting Group, FLAC2D Fast Lagrangian Analysis of Continua. version 4, 2002.
[7] Guan, Z., et al., A new rheological model and its application in mountain tunnelling. Tunnelling and Underground Space Technology 2008. 23: p. 292–299.
[8] Sterpi, D. and G. Gioda, Visco-Plastic Behaviour around Advancing Tunnels in Squeezing Rock. Rock Mech Rock Engn, 2009. 42: p. 319–339.
[۹] فهیمی‌فر، احمد و پاک‌نیت، احسان، معرفی یک مدل رفتاری الاستوویسکوپلاستیک برای پیش‌بینی رفتار خزشی جدار تونل‌های دایره‌ای و مقایسه با مدل‌های موجود. پژوهشنامه حمل و نقل, ۱۳۸۹. سال هشتم (شماره اول).
[10] Perzyna, P., Fundamental problems in viscoplasticity. Advances in Applied Mechanics, 1966. Vol. 9: p.

243–377.

[11] Pellet, F., et al., A viscoplastic model including anisotropic damage for the time dependent behaviour of rock. INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS, 2005. 29: p. 941–970.

[12] Pellet, F., M. Roosefid, and F. Deleruyelle, On the 3D numerical modelling of the time-dependent development of the damage zone around underground galleries during and after excavation. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009. 24: p. 665–674.

[13] Weng, M.C., et al., Numerical modeling of tunnel excavation in weak sandstone using a time-dependent anisotropic degradation model. Tunnelling and Underground Space Technology, 2010. 25: p. 397–406.

[14] Yanan, G., et al., Visco-elastic-plastic model of deep underground rock affected by temperature and humidity. Mining Science and Technology, 2010. 20: p. 183–0187.

[15]Guenot, A. and M. Panet, analysis of convergence behind the face of a tunnel. 1982.

[16]LADANYI, B. and D.E. GILL, Design of tunnel linings in a creeping rock. International Journal of Mining and Geological Engineering, 1988. 6: p. 113-126

[17]Ladanyi, B., Direct determination of ground pressure of tunnel lining in non-linear viscoelastic rock. 13thCanadian Rock Mech. Symp, 1974: p. 126-132.

[18]Goodman, R., Introduction to Rock Mechanics. Second Edition ed. 1989, New York: Wiley.

[19]Lian-guo, W., L. Hai-liang, and Z. Jian, Numerical simulation of creep characteristics of soft roadway with bolt-grouting support J. Cent. South Univ. Technol, 2008. 15(s1): p. 391−396.

[20]Pellet, F.L., Contact between a Tunnel Lining and a Damage-Susceptible Viscoplastic Medium. CMES, 2009. vol.52, no.3: p. 279-295.

مروری بر تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی

روح اله بصیرت[۱]، حسین میرزایی[۲]
۱- دانشجوی ارشد مکانیک سنگ- دانشگاه امیرکبیر R.Basirat@aut.ac.ir
۲- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

سازه‌های زیرزمینی بخش جدایی‌ناپذیر زیرساخت‌های جامعه مدرن هستند و برای دامنه وسیعی از فعالیت‌ها و برنامه‌های کاربردی شامل مترو، راه‌آهن، ذخیره‌سازی مواد، فاضلاب و انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آن‌جایی که این سازه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار هستند، لذا باید در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی مقاوم باشند. هر چند با نگاه به گذشته، سازه‌های زیرزمینی نسبت به سازه‌های سطحی در برابر بارهای دینامیکی آسیب کمتری را متحمل شده‌اند، با این حال تحلیل دینامیکی این سازه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

در این مقاله انواع روش‌های تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی گردآوری شده و سپس این روش‌ها به سه دسته کلی تجربی، تحلیلی و عددی تقسیم‌بندی شده‌اند. در نهایت روند کلی هر یک از روش‌های فوق مورد مطالعه قرار گرفته و قابلیت‌ها و محدودیت‌های این روش‌ها ارزیابی شده‌اند.

کلمات کلیدی: تحلیل دینامیکی- سازه‌های زیرزمینی- تحلیل لرزه‌ای

۱- مقدمه

اصولاً ارتعاشات فقط بر اثر زلزله ایجاد نمی‌شوند، هرچند که زلزله سهم بیشتری در این ارتعاشات را دارا می‌باشد ولی حرکت قطارها در تونل‌های مترو و یا حرکت ماشین آلات در سطح زمین یا داخل تونل‌های راه ارتعاشاتی را به همراه دارد که در صورت عدم در نظر گرفتن آن‌ها خسارت‌هایی از قبیل نشست سطح زمین را به دنبال خواهیم داشت. این خسارات نه تنها هزینه‌های سنگینی را به دنبال دارد، بلکه جان افراد را نیز به مخاطره می‌اندازد.

از آنجاکه نیروهای دینامیکی از نظر مقدار و جهت و موقعیت در زمان تغییر می‌یابند، رفتار سازه‌ها در مقابل بارهای دینامیکی نیز وابسته به زمان خواهد بود و در بررسی مقدار تغییر شکل‌ها، نیروهای داخلی، تنش‌ها و کرنش‌های ایجاد شده در زمان باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین رفتار دینامیکی سازه‌ها برخلاف رفتار استاتیکی آن‌ها، جواب منحصر به فردی نخواهد داشت بلکه در هر لحظه از زمان، رفتار خاصی برای سازه موجود خواهد بود و این پاسخ را باید در طی زمان و در لحظه‌های متفاوت به دست آورد [۱].

۲- روش‌های تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی

انتخاب روش طراحی وابسته به میزان اهمیت آن سازه می‌باشد. به طوری که در بعضی از پروژه‌های مهم با روش‌های مختلفی اقدام به طراحی می‌نمایند و نتایج طراحی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود. در مورد طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی با توجه به این واقعیت که این سازه‌ها در برابر امواج لرزه‌ای، ایمن‌تر از سازه‌های سطح زمین می‌باشند، اگر اهمیت اقتصادی و استراتژیک پروژه‌های زیرزمینی را در نظر بگیریم، باز ضرورت طراحی لرزه‌ای تونل‌ها در برابر بارگذاری‌های لرزه‌ای مبرهن و آشکار خواهد شد.

۲-۱- روش‌های تجربی

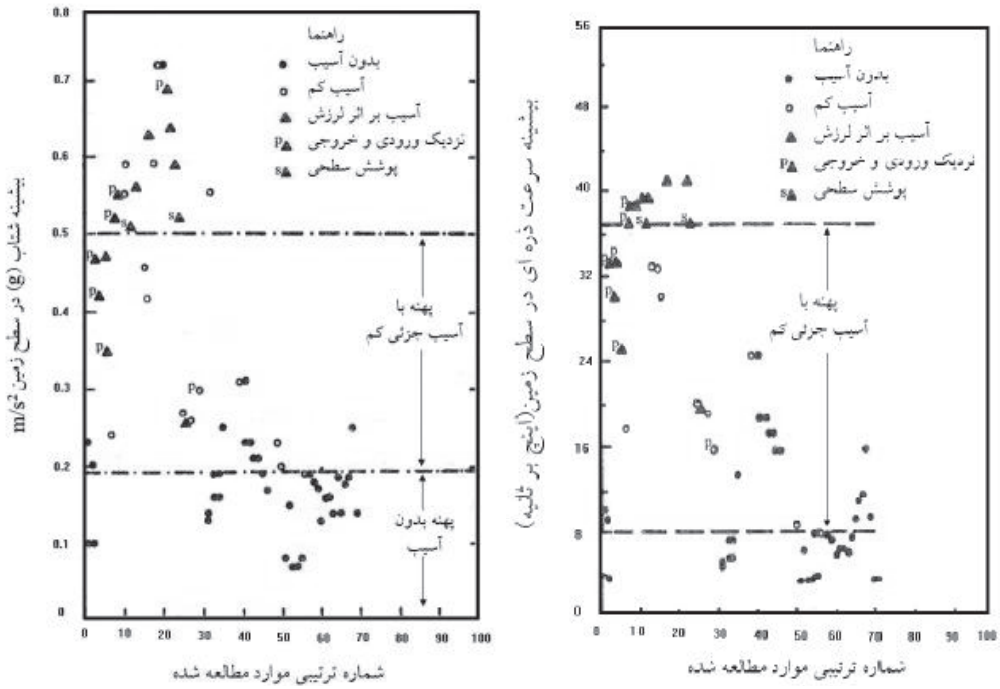
همان‌گونه که اشاره شد، اطلاعات ثبت شده در مورد اثرات زلزله بر فضاهای زیرزمینی در قیاس با سازه‌های سطحی بسیار کم است. با این حال در سال‌های اخیر، مطالعاتی درمورد خسارات ناشی از زلزله بر روی فضاهای زیرزمینی صورت گرفته است که از مهم ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات داودینگ و روزن در سال ۱۹۷۸، مطالعات اون و شول در سال ۱۹۸۱، مطالعات اوکاموتو در سال۱۹۸۴ در کشور ژاپن و مطالعات شارما و جوود در سال ۱۹۹۱ اشاره کرد. اکثر این مطالعات در ارتباط با درصد خسارت وارده به تونل‌ها در اثر وقوع زلزله می‌باشد. در این میان اون و شول پاسخ تونل به شرایط لرزه ای را توسط سه نوع تغییر شکل محوری، تغییر شکل انحنای تونل و تغییر شکل بیضوی تونل‌های دایره‌ای شکل یا کج شدگی تونل‌های مستطیلی شکل بیان کردند [۲و۳]. در زیر حاصل مطالعات و بررسی‌های انجام شده توسط محققان ارائه شده است.

جدول ۲-۱: خسارت ناشی از زلزله بر تونل‌هایی با پوشش‌های متفاوت (اوکاموتو-۱۹۸۴)

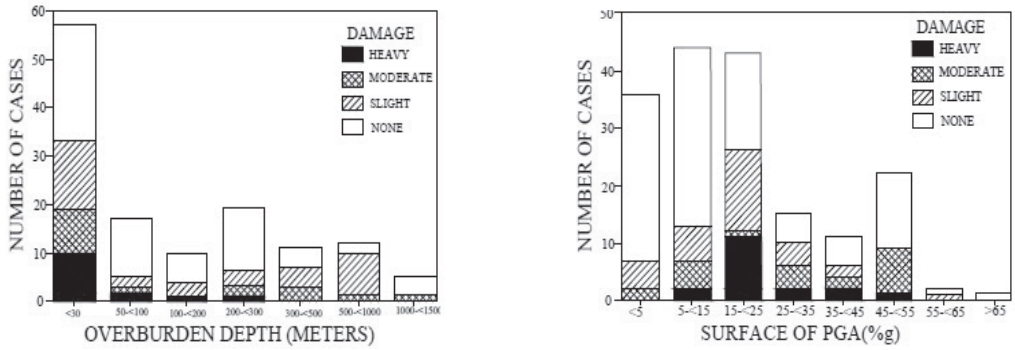
ضخامت پوشش (سانتیمتر)	نسبت خسارت
۴۰	٪۸۲
۳۰	٪۳۸
۲۰	٪۱۶

جدول ۲-۲: خسارت وارد بر تونل‌ها در محیط‌های مختلف (اوکاموتو-۱۹۸۴)

نوع سنگ	نسبت خسارت
سنگ سخت	٪۱۶
سنگ نرم	٪۴۰
سنگ درزه دار	٪۴۴
خاک یا خاک وشن	٪۶۱

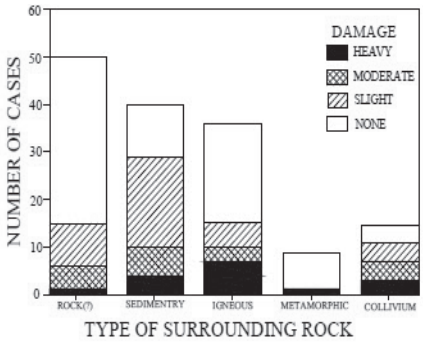


شکل ۲-۱: صدمات تونل و رابطه آن با (الف) بیشینهٔ سرعت ذره ای در سطح، (ب) بیشینهٔ شتاب (داودینگ و روزن-۱۹۷۸)

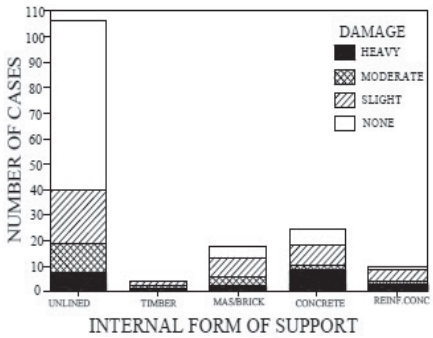


شکل۲-۲: اثر بیشینه شتاب افقی بر تخریب

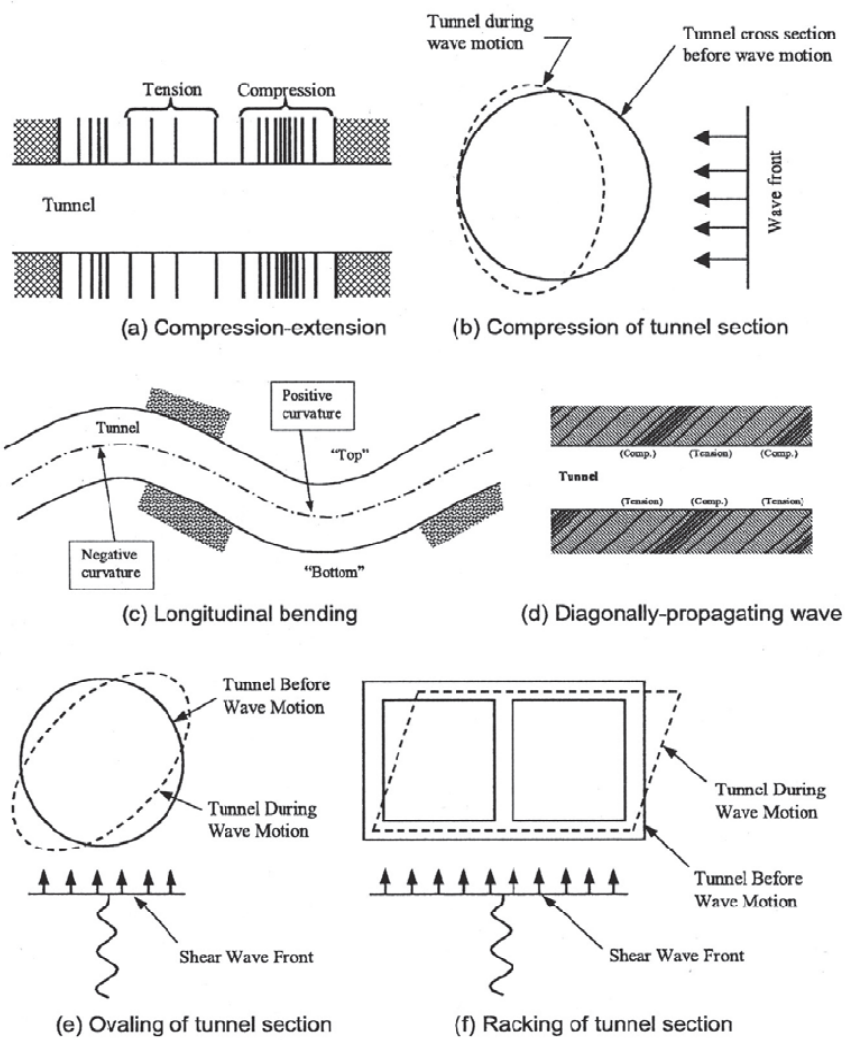
شکل۲-۳: اثر عمق روباره در تخریب ناشی از زلزله (شارما و جود۱۹۹۱)



شکل۲-۴: اثر نوع سنگ در برگیرنده بر تخریب



شکل۲-۵: اثر نوع نگهداری داخلی بر تخریب (شارما و جود۱۹۹۱)



بیضوی شدن مقطع تونل

کج شدگی مقطع تونل

شکل۲-۶: حالت‌های مختلف تغییرشکل تونل‌ها تحت بار لرزه‌ای (اون و شول ۱۹۸۱)

با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده که در بالا نیز به آن اشاره شد، می‌توان در مورد تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی به نکات زیر اشاره کرد :

۱- به طور کلی تونل‌ها در مقابل زلزله نسبت به سازه‌های سطحی پایدارتر می‌باشند؛ به علت این‌که جابجایی زمین، دامنهٔ حرکات، شتاب و سرعت ذره‌ای زمین، عموماً با زیاد شدن عمق، کاهش می‌یابد.

۲- خسارت وارده به تونل‌های حفاری شده، در خاک‌ها و سنگ‌های نرم، به مراتب بیشتر از خسارت وارده به تونل‌های موجود در سنگ‌های سخت می‌باشد.

۳- تونل‌های دارای پوشش و یا تونل‌هایی که در زمین‌های اطراف آن‌ها تزریق صورت گرفته است، دارای ایمنی بیشتری نسبت به تونل‌های بدون پوشش و تزریق نشده می‌باشند.

۴- حرکت گسل‌های متقاطع با تونل می‌تواند به عنوان یک پارامتر تشدیدکنندهٔ ناپایداری آن به شمار آید. شدت آسیب در اثر حرکت گسل‌ها می‌تواند از ترک‌های جزئی بر روی پوشش تا شکست و ریزش کلی باشد.

۵- بیشتر آسیب دیدگی‌ها در نزدیکی دهانه ورودی تونل‌ها اتفاق می‌افتد.

۶- پارامترهای زلزله مانند شتاب حداکثر زمین و فاصله تونل از مرکز کانونی زلزله در ارتباط مستقیم با خسارات وارده به تونل‌ها خوهند بود.

۲-۲- روش‌های تحلیلی

روش‌های ریاضی برای تخمین تنش‌ها و کرنش‌هایی که در اثر انتشار امواج لرزه‌ای، در سازه‌های زیرزمینی ایجاد می‌گردد، به کار گرفته می‌شوند. این روش‌ها بر اساس تئوری انتشار امواج در لایه‌های همگن، ایزوتروپ و الاستیک استوار هستند. این روش رفتار سازه را به دو صورت میدان آزاد و اندرکنش سنگ- سازه در نظر می‌گیرد و کرنش‌های محوری، خمشی و برشی لحظه‌ای را در هر مقطع از سازه مدفون ناشی از امواج فشاری، برشی و سطحی تعیین می‌کند. همچنین لنگر خمشی، نیروی برشی و نیروی محوری ایجاد شده در پوشش را مورد محاسبه قرار می‌دهد [۲].

روش‌های فرم بسته ریاضی جزو دقیق‌ترین روش‌های طراحی به شمار می‌آید. البته محدودیت حل مسائل پیچیدهٔ ژئومکانیکی توسط روش ریاضی همچنان وجود دارد. زیرا برای فرمول کردن مسائل عملی، ناگزیر از ساده‌سازی در شکل و شرایط مسائل می‌باشیم تا فرمول‌های ریاضی قابل ارائه و حل باشند. حال آن‌که، خطای ناشی از شروط ساده‌سازی تا حدودی قابل اغماض می‌باشد و عملاً در مسائل پیچیده نمی‌توان فقط از روش‌های ریاضی استفاده نمود.

از مهم ترین روش‌های تحلیل دینامیکی می‌توان به تغییر شکل‌های میدان آزاد و روش‌های اندر کنش سازه- محیط اشاره نمود. در روش اول تغییر شکل‌های میدان آزاد به حرکات القاء شده از عبور امواج لرزه در زمین بدون حضور سازه اطلاق می‌شود. این تغییر شکل‌ها اندرکنش میان سازه زیرزمینی و زمین اطراف را نادیده می‌گیرد. در این روش فرض می‌شود که سختی تونل نسبت به محیط دربرگیرنده آن به حدی کوچک است که تاثیری در تغییر شکل‌های ایجاد شده در زمین ندارد. سازه‌هایی با پوششی به ضخامت کم مانند شاتکریت در این گروه جای می‌گیرند. در این روش‌ها فرض می‌شود که میدان امواج لرزه به صورت صفحه‌ای است که دامنه آن در تمام نقاط یکسان بوده و تنها در زمان رسیدن متفاوت است. از این رو پدیده عدم سازگاری مکانی که منجر به بروز اختلافاتی در دامنه موج در راستای تونل می‌شود، صرف‌نظر می‌گردد. لذا بایستی در تفسیر نتایج حاصل از این روش‌ها احتیاط کرد [۴].

در روش دوم با در نظر گرفتن نسبت سختی سازه جایگزین با توده زمین حذف شده از محیط می‌توان تقریب خوبی از اندرکنش سازه-محیط و اعواج اعمال شده به سازه در اثر بروز زلزله بدست آورد .از مهم ترین این روش‌ها می‌توان به روش ونگ و پنزین اشاره کرد. در ادامه روابط تحلیل لرزه ای ونگ و پنزین ارائه شده است [۳].

در سال ۲۰۰۵ این روش‌ها توسط حشاش و همکارانش تکمیل شد. اصول این روش‌ها به‌دست آوردن تنش‌های مماسی و نرمال ناشی از بارهای دینامیکی و سپس اقدام به طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیر زمینی است. از معایب این روش‌ها می‌توان به محدودیت پارامترهای ورودی بارهای لرزه‌ای اعمال شده، محدودیت شکل سازه مورد بررسی، در نظر نگرفتن تاثیر درزه‌ها در امر انتشار امواج، درنظر نگرفتن فرکانس طبیعی سازه‌ها و محدودیت در انتخاب مدل رفتاری محیط اطراف تونل اشاره کرد [۳].

روابط ارائه شده در این نوع تحلیل برای تحلیل لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی بر اساس مدهای ارتعاش می‌باشند؛ بنابراین برای کامل شدن طراحی، بهتر است بعد از استفاده از این فرمول‌ها، رفتار سازه با روش‌های دیگر برای سایر مدهای ارتعاش نیز بررسی شود.

روابط تحلیلی ونگ (۱۹۹۳) در حالت لغزش کامل	روابط تحلیلی ونگ (۱۹۹۳) در حالت بدون لغزش
$\alpha^n = \frac{12E_lI(5-6\nu_m)}{d^3G_m(1-\nu_l^2)}$ $R^n = \frac{4(1-\nu_m)}{\alpha^n+1}$ $\gamma_{max} = \frac{V_s}{C_s}$ $\Delta d^n_{lining} = R^n \frac{\gamma_{max}d}{2}$ $T(\theta) = \frac{12E_lI\Delta d^n_{lining}}{d^3(1-\nu_l^2)}\cos^2(\theta+\frac{\pi}{4})$ $M(\theta) = \frac{6E_lI\Delta d^n_{lining}}{d^2(1-\nu_l^2)}\cos^2(\theta+\frac{\pi}{4})$	$\alpha = \frac{24E_lI(3-4\nu_m)}{d^3G_m(1-\nu_l^2)}$ $R = \frac{4(1-\nu_m)}{\alpha+1}$ $\Delta d_{lining} = R\frac{\gamma_{max}d}{2}$ $T(\theta) = \frac{24E_lI\Delta d_{lining}}{d^3(1-\nu_l^2)}\cos^2(\theta+\frac{\pi}{4})$ $M(\theta) = \frac{6E_lI\Delta d_{lining}}{d^2(1-\nu_l^2)}\cos^2(\theta+\frac{\pi}{4})$

روابط تحلیلی Penzien (۲۰۰۰) در حالت لغزش کامل	روابط تحلیلی Penzien در حالت بدون لغزش
$K_2=1+\frac{(F[(1-2\nu_m)(1-2\nu_m)c]-\frac{1}{2}(1-2\nu_m)^2+2)}{(F[(3-2\nu_m)+(1-2\nu_m)c]+c[\frac{5}{2}-8\nu_m+6\nu_m^2]+6-8\nu_m)}$ $T_{max} = K_2\frac{E_m}{2(1+\nu_m)}r\gamma_{max}$ $M_{max} = \frac{1}{6}K_1\frac{E_m}{(1+\nu_m)}r^2\gamma_{max}$	$C = \frac{E_m(1-\nu_l^2)r}{E_lt(1+\nu_m)(1-2\nu_m)}$ $F = \frac{E_m(1-\nu_l^2)r^3}{6E_lI(1+\nu_m)}$ $k_1 = \frac{12(1-\nu_m)}{2F+5-6\nu_m}$ $T_{max} = \frac{1}{6}k_1\frac{E_m}{(1+\nu_m)}r\gamma_{max}$ $M_{max} = \frac{1}{6}k_1\frac{E_m}{(1+\nu_m)}r^2\gamma_{max}$

پارامترهای ارائه شده در روابط تحلیلی Wang و Penzien:

C	ضریب تراکم پذیری پوشش تونل	Tmax	نیروی محوری ماکزیمم
E_1	مدول الاستیسیته پوشش تونل	Mmax	گشتاور خمشی ماکزیمم
ν_1	ضریب پواسن پوشش تونل	Vmax	نیروی برشی ماکزیمم
F	ضریب انعطاف پذیری پوشش تونل	maxγ	کرنش برشی ماکزیمم
T	ضخامت پوشش تونل	νm	ضریب پواسن محیط
I	ممان اینرسی پوشش تونل (بر واحد عرض)	Em	مدول الاستیسیته محیط
r	شعاع تونل	Δd	جابجایی مقطع پوشش

مقایسه نتایج دو روش تحلیلی Wang و Penzien نشان می‌دهد که این راه حل‌ها نتایج یکسانی را تحت شرایط لغزش کامل ما بین محیط اطراف و پوشش تونل فراهم می‌سازد. در حالی‌که نتایج حاصل از روش‌های عددی و تحلیلی به طور آشکارا این مطلب را اذعان می‌کند که راه حل **Wang** در مقایسه با روش Penzien تخمین واقعی‌تری برای نیروهای محوری در پوشش تونل در شرایط بدون لغزش بدست می‌آورد. از این رو پیشنهاد می‌شود تا راه حل Penzien برای تخمین نیروهای محوری تحت شرایط بدون لغزش به کار برده نشود [۳].

۲-۳- روش‌های عددی

کلی‌ترین روش حل پاسخ دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای، انتگرال عددی مستقیم از معادلات تعادل دینامیکی است. این کار با تلاش در جهت ارضای تعادل دینامیکی در نقاط مشخصی از زمان بر حسب جواب مشخصی در زمان صفر انجام می‌گیرد. اکثر روش‌ها از بازه‌های زمانی مساوی در $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \ldots, N\Delta t$ استفاده می‌کنند. تاکنون تکنیک‌های عددی بسیار متفاوتی مانند روش حل گام به گام، روش نیومارک در سال ۱۹۵۹، روش شتاب متوسط، ضریب θ ویلسون، استفاده از میرایی متناسب با سختی، روش تفاضل مرکزی و روش تفاضل محدود ارائه شده است، اما تمام این روش‌ها به طور اساسی در دو دسته روش‌های انتگرال‌گیری صریح و ضمنی قرار می‌گیرند.

روش‌های صریح نیازی به محل یک دستگاه معادلات خطی در هر گام ندارد. اساساً این روش‌ها از معادله دیفرانسیل در زمان t برای تخمین یک جواب در زمان $t+\Delta t$ استفاده می‌کنند. برای اکثر سازه‌های واقعی که شامل المان‌های سخت می‌باشند، گام زمانی بسیار کوچکی برای بدست آوردن یک جواب پایدار نیاز است. بنابراین کلیه روش‌های صریح نسبت به بعد گام زمانی به صورت مشروط پایدار هستند [۵].

روش جمع آثار مودها، تحلیل طیف پاسخ وتحلیل در حوزه فرکانس نیز از روش‌هایی بودند که در مورد تحلیل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی بوجود آمدند. هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند که در ادامه شرح خواهد داده شد.

روش جمع آثار مودها که محدود به تحلیل الاستیک خطی می‌باشد، پاسخ تاریخچه زمانی کاملی از تغییر مکان‌های گرهی و نیروهای اعضاء را تحت اثر بارگذاری خاص زمین لرزه خواهد داد. این روش دارای ۲ اشکال عمده می‌باشد. اول این‌که، این روش اطلاعات خروجی بسیار زیادی ایجاد می‌کند که ممکن است هزینه محاسباتی زیادی در انجام کلیه کنترل‌های ممکن در طراحی‌های وابسته به زمان داشته باشد. دوم این‌که، برای اطمینان از تحریک کلیه مودهای موثر اصلی، تحلیل باید برای چندین تحریک مختلف زمین لرزه انجام گیرد، چرا که طیف پاسخ یک زلزله در یک جهت مشخص تابعی هموار نمی‌باشد.

روش طیف پاسخ برای تحلیل لرزه‌ای و تخمین تغییر مکان‌ها و نیروهای اعضاء سیستم‌های سازه‌ای مزایای محاسباتی زیادی دارد. در این روش فقط مقادیر حداکثر نیروهای عضو و تغییر مکان‌ها در هر مود با استفاده از طیف طرح هموار شده که میانگین چندین تحریک زلزله می‌باشد، محاسبه می‌شوند.

البته استفاده از روش حل در حوزه فرکانسی برای تحلیل سازه‌های در معرض تحریک زلزله معایب زیر را دارد:

۱- دانش ریاضی بسیاری از مهندسان محدود است. همچنین صحت سنجی جواب‌ها مشکل است.

۲- بارگذاری زلزله، متناوب نمی‌باشد. بنابراین لازم است یک بازه زمانی بسیار بلند انتخاب گردد به طوری‌که جواب برای یک زلزله با طول زمانی محدود به طور کامل و قبل از اعمال همان زلزله در ابتدای بازه بارگذاری بعدی، میرا گردد.

۳- برای بارهای از نوع لرزه‌ای، این روش به لحاظ عددی کارا نمی‌باشد. تبدیل نتایج از حوزه فرکانس به حوزه زمانی، حتی با استفاده از روش‌های تبدیل سریع فوریه مستلزم هزینه محاسباتی بسیار زیادی است.

۴- روش مزبور محدود به حل سیستم‌های سازه‌ای خطی است.

۵- روشی که استفاده می‌شود توجیه کافی ریاضی برای برآورد حل غیرخطی مسائل پاسخ در محل و مسائل اندرکنش خاک- سازه ندارد. بطور نمونه، از این روش با استفاده از یک الگوی تکراری برای ایجاد معادلات خطی استفاده می‌شود. ترم‌های میرایی خطی پس از هر مرحله تکرار در برآورد استهلاک انرژی در خاک تغییر می‌کنند. لذا تعادل دینامیکی در درون خاک ارضا نمی‌شود [۵].

برای تشریح چگونگی استفاده از این روش‌ها، جواب معادله تعادل دینامیکی خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$M\ddot{u}_t + C\dot{u}_t + Ku_t = F_t \qquad (۱-۲)$$

استفاده مستقیم از سری تیلور، یک روش دقیق را برای بدست آوردن دو معادله اضافی زیر را فراهم می‌کند.

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t\dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2}\ddot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^3}{6}\dddot{u}_{t-\Delta t} + \ldots \qquad (۲-۲)$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + \Delta t\ddot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2}\dddot{u}_{t-\Delta t} + \cdots \qquad (۳-۲)$$

نیومارک حالت ساده شده این دو معادله را تلفیق نموده و آن‌ها را به شکل زیر نشان داد:

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2}\ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^3 \dddot{u} \qquad (۴-۲)$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \ddot{u}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t^2 \dddot{u} \qquad (۵-۲)$$

با فرض تغییرات خطی شتاب در هر گام زمانی، معادله زیر را می‌توان نوشت:

$$\dddot{u} = \frac{(\ddot{u}_t - \ddot{u}_{t-\Delta t})}{\Delta t} \qquad (۶-۲)$$

جایگزینی معادله فوق، معادله نیومارک را به شکل استاندارد زیر خواهد داد:

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{u}_{t-\Delta t} + (\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2 \ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^2 \ddot{u}_t \qquad (۷-۲)$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + (1-\gamma)\,\Delta t \ddot{u}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t \ddot{u}_t \qquad (۸-۲)$$

بعلت محاسبه زیاد روش‌های عددی، نرم افزارهایی ایجاد شدند که به حل این معادلات می‌پردازند و در نهایت پایداری سازه زیرزمینی را تحت بارهای دینامیکی با نمودارها و جداولی نشان می‌دهند.

۲-۳-۱- تمهیدات مدل‌سازی عددی

یکی از مهم ترین نکاتی که باید در این زمینه به آن توجه شود فرآیند مدلسازی دینامیکی سازه زیرزمینی است. باید توجه داشت که فرایند تحلیل دینامیکی بعد از تحلیل استاتیکی انجام می‌گیرد. در نتیجه در مدل استاتیکی کالیبره شده تغییراتی باید صورت گیرد تا مدل برای تحلیل دینامیکی آماده شود. بدین منظور مراحل پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه مورد نظر، انتخاب زلزله و تصحیح داده‌های شتاب‌نگاشت، طراحی مدل شامل ابعاد و اندازه‌های المان، آنالیز حساسیت با توجه به بحرانی‌ترین مقدار و اعمال شرایط مرزی مناسب در مسائل دینامیکی سازه‌های زیرزمینی امری ضروری است [۶]. برای نمونه در راهنمای نرم‌افزار FLAC که به روش تفاضل محدود عمل می‌کند به این موارد اشاره است.

در زیر روند فرآیند مدلسازی دینامیکی ارائه شده است [۷].

فرآیند مدلسازی دینامیکی	
۱) تصحیح داده‌های شتاب نگاشتی زلزله‌های انتخابی	۲) انتخاب ابعاد مدل
۳) انتخاب اندازه المان‌های مدل	۴) تعیین مرزهای دینامیکی
۵) انتخاب میرایی مدل	۶) تعیین فرکانس طبیعی مدل
۷) بارگذاری دینامیکی زلزله	۸) بررسی صحت تحلیل دینامیکی

الف) انتخاب زلزله و تصحیح داده‌های شتاب‌نگاشت

با فاصله گرفتن از کانون زلزله آنچه توسط دستگاه‌های شتاب‌نگاشت ثبت می‌گردد عموماً طول موج‌های بالای تشکیل دهنده موج لرزه است. اگر اطلاعات ثبت شده توسط شتاب نگاشتی که در نزدیکی کانون زلزله نصب شده است در دسترس باشد با تحلیل داده‌های ثبت شده در حوزه فرکانس، مکانیزم زلزله و عوامل دخیل در آن قابل بررسی خواهند شد. این گونه رکوردها در تحلیل‌های دینامیکی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که داده‌های شتاب‌نگاشتی از زلزله‌ای در اطراف سازه مورد نظر در دسترس باشد، می‌توان از آن جهت تحلیل دینامیکی سازه استفاده نمود. در غیر این صورت داده‌های زلزله‌ای مشخص را انتخاب نموده و با مقیاس کردن این داده‌ها بر اساس شتاب به‌دست آمده از مرحله پهنه بندی در گام قبل، اطلاعات مقیاس شده برای تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضریب مقیاس به صورت نسبت بیشینه شتاب هدف به بیشینه شتاب در زلزله انتخابی تعریف می‌شود. به علت این‌که شتاب نگاشت‌ها برای ثبت داده‌های زلزله نیاز به شوک اولیه دارند معمولاً اطلاعات اولیه هنگام رخداد زلزله ثبت نمی‌گردد. هر چند این زمان ثبت نشده از نظر بزرگی زلزله بسیار کوچک و قابل چشم‌پوشی است، اما باعث می‌گردد که در انتگرال‌گیری عددی از داده‌های شتاب برای رسیدن به رکوردهای سرعت و جابجایی، در این رکوردها خطا ایجاد گردد و این رکوردها در انتهای زمان زلزله صفر نشوند. در صورتی‌که در فرایند تحلیل دینامیکی سازه زیرزمینی از داده‌های شتاب‌نگاشت‌های واقعی استفاده شود، قبل از اعمال زلزله به مدل‌ها لازم است که اصلاحاتی در داده‌های زلزله اعمالی انجام گیرد. با اعمال فیلتر تصحیح خط مبنا این خطا در رکوردهای سرعت و جابجایی حذف می‌گردد. تصحیح خط مبنا معمولاً با افزودن یک موج با فرکانس خیلی پایین به رکورد تصحیح نشده اولیه حاصل می‌شود. موج افزوده شده با فرکانس پایین، می‌تواند یک چند جمله‌ای و یا تابع سینوسی با پارامترهای آزاد باشد و این پارامترها باید چنان اختیار شوند که نتیجه نهایی و مورد نظر به دست آید. داده‌های شتاب‌نگاشتی مقیاس شده و فیلترشده را می‌توان جهت تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار داد [۸].

ب) طراحی مدل

ابعاد مدل‌ها و اندازه المان‌ها در هر مدل به گونه‌ای انتخاب می‌گردند تا از اعوجاج موج زلزله در مدل جلوگیری شود. اعواج در انتقال موج زلزله در تحلیل دینامیکی بستگی به سرعت انتقال موج در محیط، محتوای فرکانسی زلزله مورد نظر و همچنین فرکانس ارتعاش آزاد مدل دارد. در اعمال شتاب زلزله به پایه مدل‌ها جهت جلوگیری از انعکاس امواج زلزله از سطح و از مرزهای مدل و همچنین جلوگیری از بازگشت آن‌ها به درون محیط حفر تونل، در طرفین مدل از مرزهای آزاد و در پایه مدل از مرز ویسکوز (آرام)

استفاده می‌شود. جهت اعمال بار دینامیکی زلزله و با توجه به وجود مرز ویسکوز در پایه مدل، ابتدا داده‌های شتاب زلزله اعمالی به رکورد تنش برشی تبدیل می‌شوند. سپس تنش برشی حاصل به صورت یک موج برشی که راستای حرکت آن به سمت سطح زمین است، به مدل‌ها اعمال می‌شود [۷].

ج) آنالیز حساسیت

ابتدا طراحی ابعاد مدل، اندازه المان‌ها، تعیین میرایی مدل و ... برای هر آنالیز با توجه به بحرانی‌ترین مقدار برای پارامتری که آنالیز حساسیت آن مورد نظر بود، انجام می‌شود. سپس با تغییر پارامتر مورد نظر و ثابت نگاه داشتن کلیه شرایط دیگر در مدل مانند اندازه المان‌ها، ابعاد مدل و ...؛ تغییرات در رکوردهای شتاب و جابجایی و سرعت در اطراف سازه زیرزمینی ثبت می‌گردند. درنهایت نمودار طیفی که متغیر مستقل آن تغییرات پارامتر مورد نظر و متغیر وابسته آن تغییرات در بیشینه مقدار ثبت شده برای رکوردهای شتاب و سرعت و جابجایی را نشان می‌دهد، حاصل می‌شوند[۷].

د) شرایط مرزی در مسائل دینامیکی

در واقعیت، محیط انتشار موج در اطراف فضاهای زیرزمینی، محیطی نامحدود می‌باشد؛ ولی در مدل‌سازی‌های عددی، مدل ایجاد شده محدود است. پس در این نوع مدل‌سازی‌ها باید با ایجاد شرایط مرزی خاص، ویژگی نامحدود بودن محیط انتشار موج را به وجود آورد؛ برای این منظور در روش‌های عددی، شرایط مرزی گوناگونی مانند مرزهای سازگار، ویسکوز، بنیادی و غیره برای مسائل دینامیکی به وجود آمده است و افراد زیادی نظیر لازمیر، کوهلیمیر، کاوسل برای فرمول بندی ایجاد مرزها، کوشش نموده‌اند. امروزه شرایط مرزی گوناگونی برای استفاده، فرمول‌بندی شده است[۲].

الف- شرط مرزی آرام

این شرط مرزی توسط "لایسمر" و "کالمیر" در سال ۱۹۶۹ ارائه شده است. این روش با اتصال میراگرهای مستقلی در گره‌های مرزی سبب می‌شود تا انرژی موج ورودی تقریباً به طور کامل جذب گردد و انعکاسی صورت نگیرد. مرزهای آرام تشکیل شده‌اند از میراگرهای مستقلی که در هر گره در جهات عمودی و برشی نصب می‌گردند. این میراگرها، نیروهای عمودی و برشی را مطابق با فرمول‌های زیر بر گره‌های مرزی اعمال می‌کنند.

(۹-۲)

$$\delta_n = -\rho \times C_p \times V_n$$

$$\delta_s = -\rho \times C_s \times V_s$$

که در این روابط VS وVn به ترتیب سرعت‌های عمودی و برشی گره در مرز، ρ دانسیتهٔ جرم، Cs و Cp سرعت‌های موج‌های S و P هستند. شرایط مرزی آرام را می‌توان در جهات X، Yو Z و یا در جهات عمودی و برشی اعمال نمود.

ب- شرط مرزی بی‌نهایت

این روش توسط کاندال و همکارانش در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شده است. در این روش میدان آزاد، به وسیلهٔ صفحات عمود بر محورهای X و Y مدل می‌شود. لازم به توضیح است که مرزهای متصل به میدان آزاد باید قائم و مستقیم‌باشد.

ه) میرایی مدل عددی در مسائل دینامیکی

مسالهٔ دیگری که باید در مدل سازی دینامیکی مورد توجه قرار گیرد، مسالهٔ میرایی مدل می‌باشد. هر سیستم دینامیکی دارای میرایی داخلی است که باعث اتلاف انرژی موج منتشره می‌شود. مقداری از میرایی، به علت افت انرژی در اثر لغزش در طول تماس بلوک‌های درون سیستم و قسمتی نیز بواسطهٔ افت اصطکاک درونی مواد بکر صورت می‌گیرد. مدل ریاضی میرایی باید چنان انتخاب شود که انرژی مستهلک شده در محاسبات عددی مشابه انرژی تلف شده در سیستم واقعی باشد. میرایی در سنگ و خاک به صورت وارفتگی است و به مسیر بارگذاری بستگی دارد؛ از این رو مدل کردن عددی آن، دشوار و تفسیر نتایج به‌دست آمده، آسان نمی‌باشد.

بعد از مشخص شدن پارامترهای مربوط به تحلیل دینامیکی، می‌توان رکوردهای تهیه شده در قسمت قبلی را به مدل اعمال نمود و نتایج را مورد بررسی قرار داد. نکتهٔ مهم اینکه با توجه به بالابودن تعداد گره‌های مدل و اضافه شدن گره‌های مربوط به نگهداری‌ها (شاتکریت و میل مهارها) و همچنین سه بعدی بودن تحلیل، زمان تحلیل کامپیوتری بسیار زیاد می‌باشد. برای غلبه بر این مشکل، باید از کامپیوترهای قوی‌تر استفاده نمود و تا حد امکان مدل را ساده اختیار کرد.

۳- نتیجه گیری

۱- بررسی وضعیت پایداری تونل‌ها و سایر سازه‌های زیرزمینی در اثر ارتعاشات، یکی از مسائل مهمی است که در هنگام طراحی باید به آن دقت ویژه‌ای شود. صرف نظر از هزینه سنگین ساخت واجرای تونل‌ها، چنانچه به مکانیزم‌های ارتعاشات توجه نشود، در صورت وقوع زلزله تونل‌ها دستخوش آسیب‌هایی می‌شوند که هزینه تعمیرات آنها نسبتاً سنگین خواهد بود.

۲- ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین معیار عملکرد سازه‌های زیرزمینی در برابر زلزله، روش‌های تجربی هستند. این روش‌ها بر پایه تجربیات، آزمایش‌ها و بررسی‌های انجام شده بر روی خرابی تونل‌ها در هنگام زلزله استوار

هستند. اگرچه روش‌های تجربی دینامیکی به خوبی روش‌های استاتیکی (به عنوان مثال روش‌های طبقه بندی مهندسی توده‌سنگ) توسعه نیافته‌اند، اما می‌توانند در سازه‌هایی با حساسیت کمتر و یا اولین مراحل تحلیل دینامیکی مورد استفاده واقع شوند.

۳- تحلیل دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای، شکل تعمیم یافته مستقیمی از تحلیل استاتیکی است. ماتریس‌های سختی الاستیک برای تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی یکسان هستند. فقط لازم است که جرم سازه در نقاط آن متمرکز گردد. اضافه شدن نیروهای اینرسی و نیروهای استهلاک انرژی، تعادل دینامیکی را ارضا خواهد نمود.

۴- روشن است که طراحی دینامیکی سازه‌های زیرزمینی بر پایه این پارامترها (مطالعات تجربی و روش‌های تحلیلی) از ابهام زیادی برخوردار بوده و چندان قابل اعتماد نیست. از این رو لازم است تا از روش‌های دیگر نیز استفاده شود. البته می‌توان از روش‌های تحلیلی به عنوان کنترل کننده ای برای روش‌های عددی استفاده کرد.

۴- منابع

[۱] چوپرا، آنیل، (۱۳۸۶)، "دینامیک سازه‌ها و تعیین نیروهای زلزله (مبانی و کاربرد) "، جلد اول، ترجمه شاپور طاحونی، چاپ سوم، انتشارات علم وادب

[۲] گشتاسبی، کامران، (۱۳۸۷)، "مبانی روش‌های طراحی و احداث تونل‌های راه و راه‌آهن در مناطق لرزه‌خیز" وزارت راه و ترابری، پژوهشگاه حمل و نقل، چاپ اول

[3] Youssef M.A. Hashash,Jeffrey J. Hook, Birger Schmidt -"Seismic design and analysis of underground structures- "Tunnelling and Underground Space Technology 16 - 2001

[۴] میکائیل، رضا، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری تونل راه‌آهن کوهین، محور قزوین-رشت "، دانشکده معدن- نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

[۵] ویلسون، ادوارد، (۱۳۸۵)، " تحلیل ۳بعدی استاتیکی و دینامیکی سازه‌ها "، ترجمه مهندس اکبری، چاپ اول، انتشارات دانش پژوهان برین

[6] Itasca Consulting Group Inc., FLAC2D, Version 4.0: Fast Lagrangian Analysis of Continua, User’s Manual, 1995.

[۷] صراطی، مهدی و موسوی، مهدی، (۱۳۸۸)، " بررسی تاثیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی محیط بر پاسخ دینامیکی سازه‌های زیرزمینی "، سومین کنفرانس مهندسی معدن، یزد

[۸] صراطی، مهدی و موسوی، مهدی، (۱۳۸۸)، "مروری بر فرایند تحلیل دینامیکی فضاهای زیرزمینی در FLAC2D"، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

گوردخمه‌ها - سازه‌های زیرزمینی ایران باستان

سیامک هاشمی (انجمن تونل ایران)

چکیده

مراسم تدفین درگذشتگان و چگونگی برخورد با متوفی بخشی از فرهنگ معنوی هر قوم محسوب می‌شود. در طول تاریخ باورهای متعددی در این زمینه ایجاد شده‌اند چرا که همه اقوام باستانی، اجساد را با دیدگاه یکسانی نمی‌دیدند. بسیاری از آداب مربوط به مردگان با تطهیر از آلودگی پیوند دارد. برخی اقوام اجساد را آلوده می‌دانستند و آنها را زود خاک می‌کردند یا می‌سوزاندند و برخی از تابوت یا خمره استفاده می‌کردند. تنوع موجود در شیوه‌های تدفین نشانه وجود عقاید مذهبی گوناگون در دوره‌های مختلف است. یکی از روش‌های تدفین در گذشته ایجاد فضاهای اتاقی شکل در کوه‌ها و صخره‌ها موسوم به گوردخمه بوده است. متن حاضر اقدام به معرفی تعدادی از این سازه‌های زیرزمینی می‌نماید.

مقدمه

دخمه در فارسی به معنی گور و قبر می‌باشد و با لفظ داغ به معنی سوزاندن از ریشه "دگ" در فارسی باستان است و مربوط به زمانی است که اقوام آریایی اجساد را می‌سوزانده‌اند و بدین ترتیب دخمه به معنای مکان سوزاندن بوده است. شاید رسم سوزاندن اجساد از هنگام پیدایش دین زرتشت منسوخ شد ولی لفظ دخمه به مفهوم محل قرار دادن متوفی یا محل دفن از گذشته باقی مانده است.

در کیش زرتشتی عناصر چهارگانه (آب، باد، آتش و خاک) مقدس بوده اند و پاک نگاه داشتن آن وظیفه همه افراد جامعه بوده است. آنان برای پاک نگه داشتن خاک، جسد متوفیان را در خاک نمی گذاشتند و سوزانیدن جسد را نیز روا نمی‌دانستند زیرا آتش را آلوده می‌کرد. این عقاید باعث تدفین اموات در برج‌های خاموشی معروف به دخمه شد. این مکان‌ها در محلی امن و به دور از مناطق مسکونی و در بالای کوه‌ها ایجاد می‌شدند. اجساد توسط حیوانات از بین می‌رفتند و استخوان‌های باقی مانده در زیر آفتاب پاک می‌شدند. سپس بقایا را در چاه یا گودالی به نام استودان می‌ریختند یا در تابوت سنگی، سفالی یا فلزی قرار می‌دادند تا عناصر آب و آتش و خاک را نیالاید (مهدی زاده، ۱۳۷۹).

واژه استودان یا استخواندان به معنای جایگاهی برای انباشتن استخوان اموات است و ترکیب دو واژه "استو" به معنی استخوان و "دان" به معنی محل نگهداری استخوان است. استودان‌ها گاه به صورت حفره‌هایی مکعبی شکل در درون سنگ کوه ایجاد می‌شدند که دهانه آنها پس از قرار گرفتن استخوان‌ها درون حفره‌ها با سنگ و آهک بسته می‌شدند.

برخی از این فضاهای ایجاد شده در داخل صخره‌ها و سنگ کوه‌ها دارای قبرهای سنگی می‌باشند و تحت عنوان گوردخمه شناخته می‌شوند. گوردخمه‌ها از جمله سازه‌های زیرزمینی باستانی هستند که به صورت فضاهای اتاقی شکل دست‌کند در بسیاری از نقاط ایران مشاهده می‌شوند. این سازه‌ها که گاه بسیار ساده و گاه با تزئینات فراوان در دل سنگ حفاری شده‌اند، در واقع مقبره‌هایی برای دفن متوفیان در دوران باستان بوده‌اند.

دسته بندی تاریخی گوردخمه‌ها

روش حفر گوردخمه‌ها در دوره‌های مختلف تاریخ ایران متفاوت بوده است و می‌توان آنها را به سه دوران ماد، هخامنشیان و پس از هخامنشیان دسته‌بندی کرد (سرفراز و بهمنی، ۱۳۸۱):

الف) ماد

گوردخمه‌های یافت شده از دوران مادها نوع تکامل یافته هنر اورارتویی (اقوام ساکن در اطراف دریاچه وان در محدوده ترکیه کنونی پیش از ورود آریایی‌ها) هستند. این گوردخمه‌ها برخلاف گوردخمه‌های دوره اورارتو، اغلب دارای نقوش برجسته و تزئینات معماری همچون ستون و نیم‌ستون بوده و بر اساس اهمیت فرد دفن شده و همچنین تاریخ ساخت، دارای نمای ورودی متفاوتی هستند.

برخلاف بسیاری گوردخمه‌های هخامنشیان که صاحبانشان مشخص هستند، گوردخمه‌های دوران ماد را نمی‌توان به شخص خاصی منسوب نمود. بسیاری از گوردخمه‌ها در طول تاریخ مورد دستبرد قرارگرفته‌اند و به همین دلیل نمی‌توان در رابطه با چگونگی تدفین یا ماهیت اشیاء همراه مرده در گوردخمه‌های این دوره، اظهار نظر نمود. بر اساس نمای ورودی می‌توان این گوردخمه‌ها را به سه دسته کلی تقسیم نمود (Von Gall, ۱۹۶۶):

۱) گوردخمه‌هایی که نمای ورودی آنها دارای ستون کامل و مجزا می‌باشند. از این جمله می‌توان به گوردخمه‌های فخریگاه، صحنه و دکان داود اشاره نمود.

۲) گوردخمه‌هایی که به جای در دوطرف نمای ورودی آن‌ها دو نیم ستون تزئینی در کوه کنده شده است. گوردخمه‌های داو دختر و آخور رستم نمونه‌هایی از این گوردخمه‌ها می‌باشند. همینطور گوردخمه قیزقاپان که در حال حاضر در کردستان عراق قرار گرفته است.
۳) گوردخمه‌های ساده که فاقد ستون یا نیم‌ستون بوده که با توجه به فضای محدود به احتمال زیاد فقط استودان بوده‌اند. گوردخمه‌های سکاوند، سرخده و دیره چند نمونه از این نوع گوردخمه‌ها می‌باشند.

ب) هخامنشیان

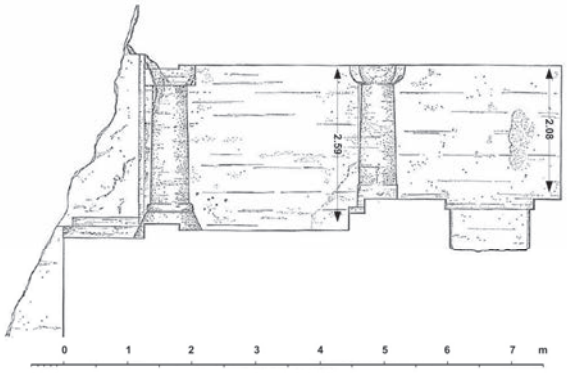
برخلاف گوردخمه‌های مادها، گوردخمه‌های هخامنشی دارای شکل یکسانی بوده و طرحی چلیپایی (صلیبی‌شکل) دارند. ورودی این گوردخمه‌ها اغلب در محل تلاقی دو خط صلیب قرار داشت و در اطراف آن بر روی خط افقی صلیب، نیم ستون‌هایی کنده شده بودند. قسمت بالایی صلیب شامل یک نقش برجسته ظریف و بخش پایینی آن معمولاً فاقد هر تزئینی بوده‌است.

ج) پس از هخامنشیان

پس از حمله اسکندر مقدونی به ایران و پیدایش سلسله‌های سلوکیان و اشکانیان، نقش مذهب در سلطنت بسیار کمرنگ شد. سلوکیان مذهبی متفاوت با ایرانیان داشتند. اشکانیان نیز عقاید متفاوتی داشته و مردگان خود را (بر خلاف زرتشتیان) به طرق گوناگونی دفن می‌کرده‌اند. به همین دلیل از این دوران گوردخمه‌ای به شکلی که در دوران مادها یا هخامنشیان برای شاهان ساخته می‌شده، یافت نشده است. در این دوران تنها دخمه‌های عمومی درون خاک یا سنگ برای رعایای زرتشتی ساخته می‌شد که پس از قرار دادن تعداد معینی از اجساد، درب آنها را با سنگ و آهک مسدود می‌کردند.
با ظهور ساسانیان، مذهب زرتشتی در ظاهر دوباره ارزش یافت ولی با این وجود، ساخت گوردخمه‌های دوران هخامنشی دیگر رواجی نیافت و ساخت دخمه‌های عمومی تا قرنها پس از حمله اعراب به ایران ادامه پیدا کرد.

گوردخمه فخریگاه

مقبره صخره‌ای فخریگاه در استان آذربایجان غربی و در ۱۰کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان مهاباد بر فراز کوهستانی در جنوب دریاچه ارومیه در دل کوه کنده شده است. اهالی محلی این دخمه را کوشک فرهاد می‌نامند ولی به نام فقره‌قا معروف است که احتمالا تغییر یافته "فرهادگاه" می‌باشد. این مقبره در تپه‌های جنوب روستایی موسوم به اندرقاش ایجاد شده است. نیمرخ جنوبی این تپه‌ها به طول بیش از یک کیلومتر، دیواره‌ای از جنس سنگ آهک با حداکثر ارتفاع ۷۰ متر و حداقل ۱۰ متر ایجاد نموده است. در بخش مرکزی این تپه‌ها، در ارتفاع ۲۰ متری بالای دیواره صخره‌ای دخمه‌ای به دست انسان ایجاد شده است.
آرامگاه در بالای صخره تسطیح شده‌ای قرار دارد که ارتفاع آن حدود ۴/۷۰ متر است. در جلوی ورودی فضایی به عمق ۱/۲۰ متر از دیواره قائم صخره در کوه کنده شده است. این مقبره تنها نمونه شناخته شده دربین کلیه آرامگاه‌های صخره‌ای دست‌کند ایران است که نما و فضای داخلی آن دارای ستون و بدون دیوار است. دور تا دور ایوان ستون‌دار را قاب‌بندی گودی به عرض ۲۲ سانتیمتر فراگرفته که انتهای دو طرف به روی سکوهای دوپله‌ای پیش ایوان ختم می‌شود
در پشت دو ستون ورودی فضای مستطیل شکلی به طول متوسط ۶/۲۵ متر و عرض ۲/۸۲ متر با سقف مسطح و افقی در سنگ کنده شده است. در سمت شرقی این فضا سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر در سنگ حجاری شده است. این سکو تا پله‌ای که فضای جلویی را به محل قرارگیری قبرها در بخش شمالی دخمه متصل می‌سازد و حدود ۵۰ سانتیمتر بالاتر از فضای جلویی قرار دارد، ادامه می‌یابد. این دو فضا به وسیله دو ستون با ارتفاع حدود ۲/۱۰ متر که در وسط پله ایجاد شده‌اند از یکدیگر جدا شده‌اند. دو ستون داخلی بلندتر از دو ستون واقع در ورودی دخمه هستند.
در سمت شرقی بخش شمالی دو قبر کوچک با ابعاد تقریبا یکسان ۱/۲۶×۰/۷۳ متر و در سمت غربی یک قبر بزرگ با ابعاد ۲/۵۰×۱/۲۷ متر درون سنگ کنده شده‌اند. باریک شدگی به‌جا مانده در دیواره داخلی گور بزرگتر نشان می‌دهد که در ابتدا همانند سمت شرقی، دو گور هم‌اندازه در سنگ کنده شده بودند که بعدها سنگ بین این دو تراشیده و برداشته شده است
(Huff,۱۹۷۱). عمق قبرها حدود ۸۵ سانتیمتر می‌باشد. لبه‌ای به عرض ۱۰ سانتیمتر و عمق ۱۷ سانتیمتر دور تا دور قبرها در سنگ کنده شده که به احتمال زیاد برای قرارگیری سنگ روی قبرها بوده است. هرتسفلد (۱۹۴۱) و گیرشمن (۱۹۶۴) نیز این دخمه را مربوط به دوره مادها می‌دانند و برای ساخت آن تاریخی بین قرن هفتم تا ششم پیش از میلاد پیشنهاد می‌کنند، در حالی که محققان دیگر پس از بررسی نظریات پیشین و ادامه مطالعات این گوردخمه را مربوط به دوره هخامنشیان دانسته‌اند (Von Gall, 1966; Huff, 1971).



برش طولی گوردخمه فخریگاه

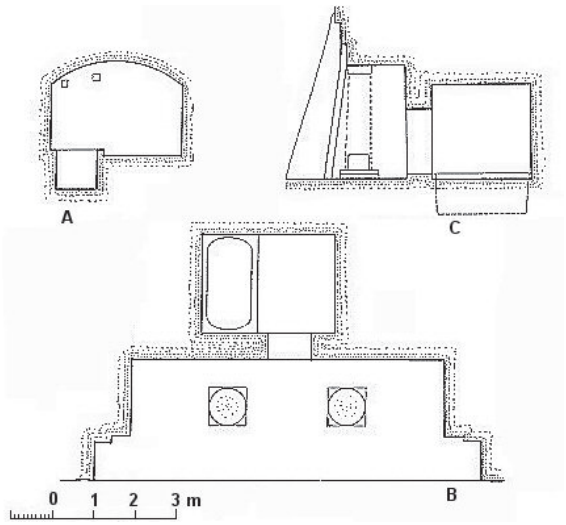
گوردخمه دکان داود

گوردخمه دکان داود در استان کرمانشاه و سه کیلومتری جنوب شرقی سرپل ذهاب قرار دارد. این دخمه که در ارتفاع ۱۰ متری از پایین صخره‌ای در داخل کوه ایجاد شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و آثار مشابه دیگر هرتسفلد این اثر را مربوط به دوره مادها دانسته است (Herzfeld,۱۹۴۱)، ولی جزئیات موجود بیشتر نشاندهنده ساخت این گوردخمه در دوره هخامنشیان می‌باشد (Gall,۱۹۶۶).

ورودی دخمه رو به جنوب است. این مقبره دارای ایوانی در جلو و مدخلی در وسط می‌باشد. طول ایوان در قسمت جلو ۹/۶۰ متر و در قسمت عقب ۷/۳۲ متر بوده و عرض آن ۱/۹۵ متر و ارتفاع آن ۲/۶۰ متر است. در دو طرف ورودی مقبره بقایای دو ستون دیده می‌شود که بدنه ستون‌ها به مرور زمان از بین رفته و تنها پایه‌ها و سرستون‌ها باقی مانده اند. پاستون‌ها ساده و به صورت مربعی به مساحت ۰/۸۳ مترمربع تراشیده شده‌اند که بقایای ستون‌های استوانه‌ای شکل بر روی آنها قابل مشاهده است.

ورودی وسط ایوان دارای عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۵ متر بوده و به اتاقی مستطیل شکل (با ابعاد ۲/۸۳ در ۲/۳۱ متر و ارتفاع ۲/۱۸ متر) منتهی می‌شود. در بدنه دیوارهای این اتاق ۵ تاقچه جهت قرار دادن نذورات در صخره تراشیده شده است. در سمت چپ کف اتاق، قبری به عمق ۷۰ سانتی متر کنده شده است. سقف این اتاق دارای تاقی هلالی است ولی سقف ایوان جلو اتاق، مسطح می‌باشد.

در ۸ متری زیر دخمه نیمرخ مردی تمام قد بر سنگ حجاری شده است. این نقش که دارای ابعاد ۱/۵۰ در ۰/۹۰ متر است به نام کِلِ داود شناخته می‌شود که به زبان کردی به معنی "سنگ قبر داود" می‌باشد. حجاری این پیکره به احتمال زیاد مدت‌ها بعد از ساخت گور دخمه انجام شده است.



A. مقطع عرضی B. نمای بالا
C. مقطع طولی گوردخمه دکان داود

گوردخمه داو دختر

دخمه دو دختر (داو دختر) در کوه اوتزی در شمال غربی ناحیه ممسنی و در ۶ کیلومتری فهلیان در استان فارس قرار دارد. نام این دخمه به معنی مادر و دختر یا دایه و دختر می‌باشد (میراث فرهنگی، ۱۳۱۶).

ارتفاع این بنا از پایین صخره نسبتا زیاد است و دسترسی به آن به سختی امکان دارد. در زیر نمای جلوی آرامگاه دیوار صاف عمودی به ارتفاع ۳ متر و پهنای ۵/۴۰ متر ایجاد شده است. نمای بیرونی این آرامگاه دارای دو جفت نیم ستون می‌باشد که در دو طرف ورودی آرامگاه قرار گرفته‌اند. این ستون‌ها و هفت نقش کنگره‌ای که در بالای آن حجاری شده‌اند از ویژگی‌های بنا می‌باشند. ورودی آرامگاه دارای عرض۹۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۸۰ سانتیمتر می‌باشد (سرفراز و بهمنی، ۱۳۸۱).

این دخمه که در داخل صخره سنگی تراشیده شده دارای دو اتاق مستطیل شکل می‌باشد. اتاق تحتانی که پشت ورودی اصلی قرار دارد حدود ۵/۴۰ متر طول و ۳/۵۰ متر عرض و ۳ متر ارتفاع دارد. ورودی اتاق فوقانی، که بعدها به این آرامگاه افزوده شد، در سمت چپ نما قرار دارد. طول این اتاق حدود ۷ متر، عرض آن حدود ۵ متر و ارتفاع آن ۱/۵۰ متر است.

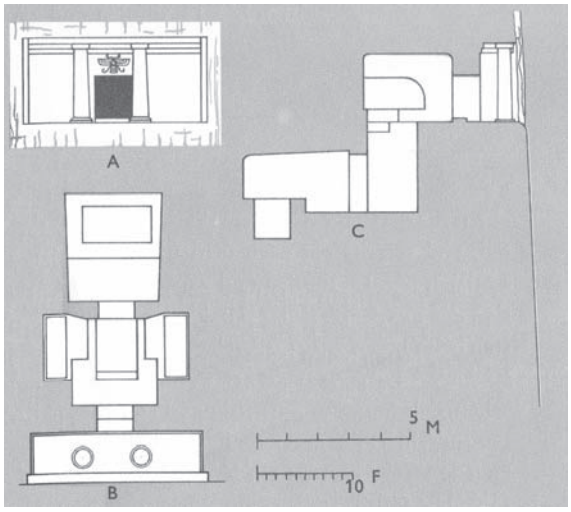
هرتسفلد که این گوردخمه را کشف کرد این دخمه را مربوط به اواخر دوره مادها می‌داند (Herzfeld,۱۹۴۱). گیرشمن این آرامگاه را متعلق به یکی از شاهزادگان هخامنشی دانسته است (Ghirshman,۱۹۶۴).

گوردخمه‌های صحنه

گوردخمه‌های صحنه در شمال شهر صحنه در استان کرمانشاه در منطقه‌ای به نام دربند و در بدنه کوه شوق‌علی به فاصله کوتاهی از یکدیگر حجاری شده‌اند. جهت دو گوردخمه متفاوت بوده و هر دو مشرف بر دره‌ای عمیق و رودخانه‌ای که از میان آن می‌گذرد، می‌باشند. گوردخمه بزرگتر معروف به مقبره کیکاوس می‌باشد و در بین اهالی محل به مقبره فرهاد و شیرین شناخته می‌شود و در زبان کردی شیرین گورا (شیرین بزرگ) نامیده می‌شود. دهانه این دخمه رو به سمت جنوب است و در ارتفاع ۱۲ متری از سطح زمین و ۵۰ متر از سطح رودخانه قرار دارد. در جلوی ورودی مقبره ایوان ستون‌دار مستطیل شکلی به طول ۵/۸۲ متر و عرض ۱/۷۵ متر وجود دارد و در بالای آن تصویر خورشید بالدار که علامت اهورامزدا می‌باشد مشاهده می‌شود. در دو طرف ورودی دو ستون سنگی وجود داشته که تنها پایه ستون‌ها به قطر ۵۵ سانتیمتر باقی مانده است. بعد از ایوان دو ستونی، ورودی مقبره به عرض ۱/۳۲ متر و ارتفاع ۱/۷۰ متر قرار دارد که به دهلیز یا اتاقی به طول ۳/۱۸ متر و عرض ۳ متر و ارتفاع ۲/۴۵ متر منتهی می‌شود. در هر یک از اضلاع شرقی و غربی این اتاق سکویی سنگی به طول ۲/۳۰ متر و عرض ۱/۰۵ متر و ارتفاع ۵۰ سانتی متر ایجاد شده است که درون آنها قبری به طول ۲/۱۵ متر و عرض ۸۲ سانتیمتر کنده شده است. در بین این دو سکو، مدخل مستطیل شکلی به ابعاد ۱/۴۵ در ۱/۹۰ متر وجود دارد که به طبقه

زیرین و مقبره اصلی مرتبط می‌شود. در وسط اتاق زیرین یک گودی به ابعاد ۲/۴۲ متر در ۱/۳۲ متر در داخل سنگ کنده شده که قبر صاحب مقبره بوده و در دو طرف آن دو قبر دیگر مخصوص نزدیکان متوفی درون سنگ تعبیه شده است. سقف اتاق اصلی این گور دخمه به صورت شیبدار و همانند شیروانی کنده شده است. در دیوار شمالی این اتاق، دو تاقچه کوچک در سنگ کنده شده است. بنا به نظر برخی محققین و با توجه به نحوه تراش سنگ این مقبره و شکل ستون‌ها، این گور دخمه به دوره مادها تعلق دارد (Herzfeld, ۱۹۴۱) و در حالی که برخی محققین دیگر آنرا مربوط به دوره هخامنشی می‌دانند (Von Gall,۱۹۶۶) .

در فاصله صد متری این‌دخمه، گور دخمه کوچکتری با سقف هلالی رو به شرق قرار دارد که در زبان کردی شیرین بوچکه (شیرین کوچک) نامیده می‌شود. مدخل ورودی این دخمه به طول ۱/۲۵ متر و بلندی ۸۰ سانتی متر می باشد. اتاق گوردخمه به طول ۲/۵ متر، عمق ۱/۶۵ متر و ارتفاع آن از کف تا بلندترین نقطه سقف ۱/۱۰ متر است (غلامعلی حاتم، ۱۳۸۱). با توجه به اینکه نوع تراش این گوردخمه شبیه گوردخمه بزرگتر می باشد، می‌توان نتیجه گرفت که این دو دخمه در یک دوره ساخته شده‌اند.



نما، مقطع عرضی و مقطع طولی گوردخمه صحنه

گوردخمه‌های سکاوند

گوردخمه‌های اِسحاق‌وند (که سکاوند نیز نامیده می‌شوند)، در ۲۵ کیلومتری جنوب غربی هرسین در دهستان چشمه کبود در شمال شرقی روستای ده نو و در نزدیکی روستای اسحاق وند در استان کرمانشاه قرار دارند. این مجموعه شامل سه گوردخمه است که در کنار یکدیگر در فضایی به طول کمی بیش از ۱۰ متر و در ارتفاعات مختلف درون کوه تراشیده شده‌اند و در میان اهالی با تام گوردخمه‌های فرهاد تاش نیز شناخته می‌شوند (گزارش میراث فرهنگی، ۱۳۸۶).

نمای ورودی دخمه‌ها مشابه یکدیگر می‌باشد و شامل یک ورودی لبه‌دار است ولی ابعاد گوردخمه‌ها با یکدیگر تفاوت دارد. گوردخمه سمت چپ بیشتر شبیه یک فرورفتگی به عمق ۸۴ سانتیمتر، طول حدود ۳ متر و عرض ۲/۱۰ متر است. گوردخمه وسطی به عمق ۱/۷۵ متر و عرض ۱/۶۳ متر می‌باشد. گوردخمه سمت راست که مرتفع‌تر از دو گور دخمه دیگر می‌باشد دارای مساحتی معادل ۲/۱۰ مترمربع است.

در بالای ورودی گوردخمه میانی، نقش مردی درون سنگ حجاری شده که آثار قلم و چکش از زمان حجاری آن هنوز هم قابل مشاهده است. گریشمن در کتاب خود این نقش را به عنوان تصویر پادشاه تشریح کرده که کمانی به نشان پادشاهی در دست دارد و به حالت نیایش مقابل مجمر آتش ایستاده است و در بالای سر او نقش خورشید بالدار مشاهده می‌شود. این نقش ۱/۸۷ متر بلندی دارد، مشعل حدود ۸۳ سانتیمتر آتشدانی ۹۴ سانتیمتر ارتفاع دارد. در طرف راست آتشدان تصویر شخصی به بلندی ۸۰ سانتیمتر حجاری شده که دست‌ها را به طرف بالا بلند نموده و نشانی در دست گرفته است. با توجه به روش‌های متفاوت حجاری نقوش موجود در محل این احتمال وجود دارد که نقش‌ها در دو دوره متفاوت حجاری شده‌اند. در مورد قدمت این گوردخمه‌ها نظرات دیگری نیز ارائه شده‌است. هرتسفلد با توجه به نقوش موجود آن را مربوط به سال ۵۲۲ پیش از میلاد و تصویر را متعلق به گوماتای مغ دانسته است (Herzfeld, ۱۹۴۱). گیرشمن نیز این گوردخمه را مربوط به ۷۰۰ تا ۶۰۰ سال پیش از میلاد ارزیابی نموده است (Ghirshman, ۱۹۶۴).

سه گوردخمه سکاوند

گوردخمه‌های نقش رستم

نقش رستم یکی از مهمترین و زیباترین آثار باستانی ایران است. این مجموعه در حدود ۶ کیلومتری پارسه (تخت جمشید) در کوه حاجی آباد معروف به کوه نقش‌رستم و در شمال مرودشت استان فارس قراردارد. سینه جنوبی کوه در اینجا به صورت پرده نمایشی بزرگ به بلندی ۷۰ متر و پهنای ۲۰۰ متر درآمده است. سمت راست این دیواره پرده نمایشی

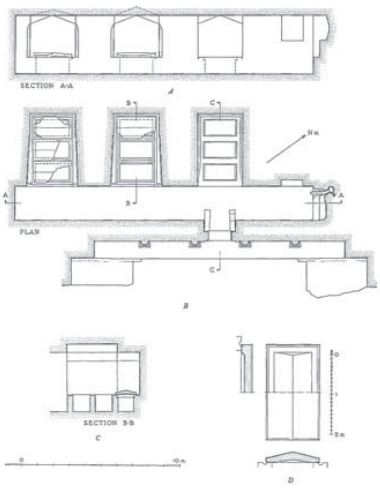
دیگری به پهنای ۳۰ متر ایجاد شده است. این منطقه یادمان‌هایی از ایلامیان، هخامنشیان و ساسانیان را در خود جای داده است.

آرامگاه چهار شاه هخامنشی در نقش رستم جای گرفته‌است. هر چهار آرامگاه شکلی صلیبی دارند و در دل کوه با ارتفاع قابل توجهی از سطح زمین قرار دارند. از بین چهار آرامگاه موجود، فقط آرامگاه داریوش‌اول کتیبه دارد. در شاخه بالایی آرامگاه، داریوش با لباس پارسی و کمان به دست روی سکویی سه پله ایستاده و در حال انجام مراسم است. تصویر فروَهر یا اهورامزدا در بالای سر و پیشاپیش وی قرار گرفته و داریوش دست خود را به علامت احترام رو به این تصویر گرفته است.

آرامگاه خشایارشای اول در سمت راست آرامگاه داریوش اول قرار دارد و بجز فقدان کتیبه و برخی اختلاف‌های جزئی در نقش‌های برجسته، کاملا مشابه آن آرامگاه است. آرامگاه خشایارشا بهتر از سایر آرامگاه‌ها حفظ شده است. آرامگاه اردشیر اول در سمت چپ آرامگاه داریوش اول قراردارد. آرامگاه داریوش دوم نیز غربی‌ترین آرامگاه هخامنشی نقش رستم است.

ورودی آرامگاه‌ها به شکل مربع است. شکل آرامگاه‌ها نیز مشابه است. راهروی داخل آرامگاه داریوش‌کبیر به درازای ۱۸/۷۲و پهنای ۳/۷۰ متر است (Schmidt,۱۹۷۰). در این آرامگاه ۹ تابوت سنگی وجود دارد که در یک ردیف در سنگ کنده شده و به داریوش کبیر، ملکه و سایر بستگان او تعلق دارد. درازا، ژرفا و پهنای این تابوت‌ها ۲/۱۰ × ۱/۰۵× ۱/۰۵ متر بوده و سرپوش هر یک از تابوت‌ها را قطعه سنگ بزرگی به ضخامت ۱۷/۵ سانتیمتر است تشکیل می‌دهد.

مقبره داریوش اول و نقش نبرد بهرام دوم.



آرامگاه داریوش اول در نقش رستم

منابع

۱- علی مهدی زاده، ۱۳۷۹، "مرگ و تدفین در دین مزدایی" فصلنامه علمی‌پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، بهار و تابستان ۱۳۷۹، شماره ۱۵۳ و ۱۵۴، صص ۳۵۳ تا ۳۶۹.

۲- علی‌اکبر سرفراز، و بهمن فیروزمندی، ۱۳۸۱، باستان شناسی و هنر دوران تاریخی ماد، هخامنشی، اشکانی، ساسانی، (تدوین: حسین محسنی - محمدجعفر سروقدی)، نشر عفاف.

3- Von Gall, H, 1966, “Zu den “Medischen” Felsgräbern in Nordwest Iran und Iraqi Kurdistan”, Archäologischer Anzeiger, pp 19-43.

4- Huff, D., 1971, “Das Felsgrab von Fakhrikah” Istanbuler Mitteilungen, Band 21, pp. 161-171.

E. Herzfeld, 1941, Iran in the Ancient East, London and New York.

۵- میراث فرهنگی ۱۳۱۶، پرونده ثبت آثار فرهنگی – تاریخی، دخمه سنگی دو دختر در تاریخ ۲۰ آذر ۱۳۱۶ با شماره ۲۹۹ در فهرست آثار ملی ایران.

6- Roman Ghirshman, 1964, Iran – Protoiranier Meder und Achämeniden, C.H.Beck Verlag, München.

۷- حاتم، غلامعلی، ۱۳۸۱، "گوردخمه‌ها در دوران مادها" نشریه هنر، شماره ۵۲، تابستان ۱۳۸۱، صص ۱۰۶ تا ۱۱۸.

۸- سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان کرمانشاه، ۱۳۸۶، پرونده ثبت گوردخمه اسحاق‌وند در تاریخ ۱۲ دی ماه ۱۳۸۶ به شماره ۲۰۴۹۲ در فهرست آثار ملی ایران

9- Schmidt E. F., 1970, Persepolis III: The Royal Tombs and other Monuments, Chicago - Oriental Institute Publications (OIP).

چکیده مقالات بین المللی

تحلیل برگشتی پارامترهای ژئوتکنیکی با استفاده از مدل بهسازی سه بعدی برای یک سازه زیرزمینی

T. Miranda, D. Dias, S. Eclaircy-Caudron, A. Gomes Correia, L. Costa, 2011, "Back analysis of geomechanical parameters by optimisation of a 3D model of an underground structure", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 6, (November 2011), Pages 659-673

یکی از مشکلات بزرگ مهندسان ژئوتکنیک در پروژه‌ها تخمین دقیق مقدار پارامترهای ژئوتکنیکی برای به کارگیری در طراحی و ساخت مدل می‌باشد. در بیشتر پروژه‌ها این مقادیر با استفاده از آزمون‌های ازمایشگاهی و برجا و همچنین با استفاده از روابط تجربی و روشهای طبقه بندی انجام می‌گیرد. ولی همه این روش‌ها دارای عدم قطعیت‌های متفاوتی همچون ناهمگنی‌های موضعی، معرف بودن نمونه برای آزمایشات و غیره می‌باشد. به منظور کاهش عدم قطعیت‌ها، مهندسان ژئوتکنیک می‌توانند از تحلیل‌های برگشتی یا از داده‌های رفتارنگاری برای تشخیص پارامترهای موجود در یک سازند استفاده نمایند. مقاله حاضر تحلیل برگشتی پارامترهای ژئومکانیکی بهینه شده توسط مدل عددی سه بعدی مغار برقابی Venda Nova II در پرتغال را تشریح می‌نماید. به این منظور دو روش بهینه سازی در نظر گرفته شده اند: یک آلگوریتم سنتی و یک آلگوریتم بهینه سازی نوین. در این فرآیند بهینه سازی، مقادیر جابجایی اندازه گیری شده توسط کشیدگی سنج‌ها در حین حفاری برای شناخت پارامترهای توده سنگ همچون مدول تغییرشکل پذیری E، و نسبت تنش K_0 به کار گرفته شدند. میزان دقت هر دو الگوریتم ارزیابی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. هر دو روش امکان بهسازی پارامترها را فراهم نموده و به شناخت ویژگی‌های توده سنگ کمک نمودند.

مکانیسم ریزش یک تونل کم عمق بر اساس معیار شکست غیر خطی هوک-براون

X.L. Yang, F. Huang, 2011, "Collapse mechanism of shallow tunnel based on nonlinear Hoek–Brown failure criterion", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 6, (November 2011), Pages 686-691

در این مقاله شکل ریزش یک تونل دایره ای شکل و کم عمق که با استفاده از نمودار مکانیسم گسیختگی جدیدی بر اساس تئوری حد بالا به دست آمده است، ارائه می‌شود. برای این تحلیل از معیار شکست غیرخطی هوک-براون استفاده شده است. با در نظر گرفتن فشار نگهداری، میزان پراکندگی انرژی با به کارگیری مکانیسم گسیختگی جدید و با استفاده از انتگرال گیری محاسبه شده است. با استفاده از روش واریاسون، رابطه ای برای تعریف معادله و ارتباط میان توزیع انرژی و نرخ کار تعریف می‌شود. نتایج تحلیل عددی ارائه شده و مکانیسم ریزش در تونل سطحی با در نظر گرفتن فشار نگهداری بررسی می‌شود. نتایج به دست آمده از این روش جدید با روش‌های پیشین مقایسه شده و نتایج نشان از همخوانی میان نتایج این روش‌ها را نشان می‌دهد. تاثیر عوامل مختلف بر مکانیسم گسیختگی جدید مورد بحث و بررسی قرار گرفته و روشی برای طبقه بندی تونل‌های کم عمق و عمیق ارائه می‌گردد.

بار ناشی از مچاله شوندگی بر سگمنت‌ها و تاثیر پر نمودن پشت سگمنت

M. Ramoni, N. Lavdas, G. Anagnostou, 2011, "Squeezing loading of segmental linings and the effect of backfilling", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 6, (November 2011), Pages 692-717

بروز بیش تنش (Overstressing) در پوشش‌های سگمنتی یکی از مخاطرات موجود در تونلسازی با TBM سپردار می‌باشد. موضوع فوق در این مقاله مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به طور خاص موضوع فشار زمین بر قطعات بتنی (سگمنت) که توسط یک دستگاه TBM سپردار (تک سپر) نصب شده‌اند بررسی می‌گردد. در ابتدا این موضوع از لحاظ سازه ای بررسی می‌شود و عوامل موثر در این اندرکنش مشخص می‌شوند. پس از آن تاثیر نوع سگمنت، محل نصب، و ضخامت میزان لایه پر کننده پشت سگمنت بر چگونگی اعمال بار بر سگمنت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم نحوه تعیین ضخامت لایه پر کننده که بستگی به شرایط تغییر شکل ناحیه حفاری شده دارد، از طریق شبیه‌سازی بررسی می‌شود. در بخش سوم تعدادی روش تجربی با در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین، تنش اولیه، پوشش سگمنتی، و ویژگی‌های مصالح پرکننده پیشنهاد می‌شوند تا با استفاده از آنها بتوان به سرعت و با دقت در رابطه با نگهداری مورد نیاز تصمیم گیری نمود.

معرفی کتاب

عنوان: فضاهای زیرزمینی برای توسعه پایدار (مجموعه چکیده مقالات و مقالات کلیدی و محوری نخستین همایش آسیایی و نهمین همایش ملی تونل)

تدوین: ابوالقاسم مظفری، مصطفی شریف‌زاده، سیامک‌هاشمی

تاریخ چاپ: پاییز ۱۳۹۰

ناشر: انجمن تونل ایران

این مجموعه مقالات شامل متن کامل ۳۰ مقاله کلیدی و محوری و چکیده بلند ۱۳۰ مقاله در زمینه‌های زیر می‌باشد:

- تحقیق و توسعه
- مبانی شناسائی و طراحی
- فضاهای زیرزمینی و فن‌آوری ساخت آنها
- مباحث مالی، قراردادی و مدیریتی در پروژه‌های زیرزمینی
- سایر موارد

رویـــدادهای تونـــل

13th World Conference of ACUUS

7-9 November 2012 - Marina Bay Sands Singapore
Themed "Underground Space Development - Opportunities and Challenges", ACUUS 2012 Singapore will focus on the new opportunities amid a re-focus on developing the urban underground space as part of sustainable development, and the many challenges and issues that planners, developers, and engineers face.

The conference will cover the following main topics:

- Architectural design for liveable underground space
- Safety, health, and the environment
- Legal framework and government policies
- Reasons for going underground
- Cost-benefit-analysis
- Socio-economic issues
- Site investigation and geo-planning
- Geotechnical and rock engineering
- Innovations and technology advancement
- Research and support
- Underground transport systems
- Deep caverns and mined space
- Industrial and commercial applications
- Underground space as a strategic resource
- Utilisation of underground space and case studies

Conference Secretariat:
Ms Jaslyn Tan
Tel : (65) 6271 2453
Fax : (65) 6271 2439
Email : info@acuus2012.com
Web : www.acuus2012.com

2012 - International Tunnelling Awards Ceremony

29 November 2012 | Toronto (Canada)

Categories:

- Tunnel Design Firm of the Year
- Tunnelling Contractor of the Year
- Tunnel Adviser of the Year
- Programme Manager of the Year
- Product / Equipment Innovation of the Year
- Technical Innovation
- Tunnelling Project of the Year (Less than $100M)
- Tunnelling Project of the Year (Between $100M and $1BN)
- Major Tunnelling Project of the Year (Over $1BN)
- Environmental Initiative
- Safety Initiative
- Young Tunneller of the Year
- Lifetime Achievement

Contact:
Georgina Drake (Event Manager)

Email:georgina.drake@emap.com

Web:
http://www.tunnellingawards.com/home

Tunnel Fall 2011, No.16

Iranian Tunnelling Association Magazine

IN THE NAME OF GOD

- Editorial 2
- Report of the first Asian and ninth Iranian Tunnelling Symposium held in November 2011 3
- News 8
- A review on methods for creep analysis of rock masses in tunnels 14
- A review of dynamic analyses of Underground Structures 21
- Ancient Underground Tombs in Iran 30
- Selected International Paper Abstracts 35
- Book Review 36
- Tunnelling Events 37

IranianTunnelling Association	Proprietor
Dr. M. Gharouni Nik	Director
Dr. S. Hashemi	Chief Editor
Board of Directors of Iranian Tunnelling Association	Supervised By
,Dr. A. Fahimifar, Dr. O. Farzaneh, Dr. M. Gharouni Nik ,Dr. S. Hashemi, Dr. M. Jafari, Dr. H. Kanani Moghaddam ,Mr. A. Mozaffari Shams, Dr. M. Sadaghiani Dr. H. Salari Rad, Dr. M. Sharifzadeh, Dr. A. Yasaghi	Editorial Board
Mr.A. Iranzadeh, Mr.M. Khosrotash	Other Contributors
Nashr-e-Fan	Executive Producer

www.irta.ir

بسمه تعالی

انجمن تونل ایران

فرم تقاضای عضویت

(اعضای حقیقی)

محل الصاق عکس

۱- نام خانوادگی: ۲ - نام:	*Surname:* *First Name:*
	کد عضویت: شماره عضویت:

۳ ـ تاریخ و محل تولد:	۴ ـ شماره شناسنامه و محل صدور:

۵- نشانی	محل کار:	کدپستی:
	منزل:	کدپستی:
	پست الکترونیکی (**Email**):	
۶- تلفن	محل کار:	دورنگار:
	منزل:	همراه:

۷- سوابق تحصیلی دانشگاهی:

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

۸- سوابق تجربی و کاری در زمینه تونل و سازه های زیرزمینی:

تاریخ		سازمان یا شرکت	نام طرح	مسئولیت
از	تا			

۹ ـ سوابق علمی (تدریس و تحقیق در دانشگاهها و سایر موسسات آموزش عالی):

عنوان درس یا تحقیق	محل انجام	سال

۱۰ -آثار علمی، تحقیق، تألیف، ترجمهٔ کتابها و مقالات: (در صورت نیاز برگ اضافه ضمیمه نمایید)

عنوان	تاریخ و محل نشر

۱۱- آشنایی و میزان تسلط به زبانهای خارجی				۱۲- عضویت در سازمان ها و کمیته های ملی و جهانی		
زبان	میزان تسلط			نام سازمان، کمیته و	تاریخ	
	عالی	خوب	متوسط		از	تا

۱۳- داوطلب عضویت:	پیوسته ☐	وابسته ☐	دانشجویی ☐

۱۴- مدرک لازم	۱- تصویر شناسنامه ۲- دو قطعه عکس 4*3 ۳- تصویر آخرین مدرک تحصیلی یا گواهی اشتغال به تحصیل ۴- گواهی سوابق کار بخصوص در صنعت تونل	حق عضویت	حقوقی ۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال پیوسته ۲۰۰,۰۰۰ ریال وابسته ۱۰۰,۰۰۰ ریال دانشجویی ۴۰,۰۰۰ ریال
تاریخ تکمیل فرم:	نام و نام خانوادگی / امضاء:		

آیین نامه عضویت در انجمن

انواع و شرایط عضویت در انجمن عبارتند از:

عضویت پیوسته

اعضای پیوسته انجمن بایستی حداقل یکی از شرایط زیر باشند.

۱ - موسسان انجمن

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

۳ - اشخاص با درجه کارشناسی ارشد و بالاتر در رشته‌های مرتبط و پایان نامه در زمینه تونل با حداقل یک سال سابقه کار مفید در صنعت تونل‌سازی

۴ - اشخاص با درجه کارشناسی در رشته مرتبط با حداقل ۴ سال سابقه کار مفید در صنعت تونل سازی

۵ - اشخاص با درجه کارشناسی در سایر رشته‌ها با حداقل ۵ سال سابقه کار مفید در صنعت تونل سازی

تبصره ۱ : رشته‌های مرتبط به صنعت تونل سازی شامل: مهندسی عمران – مهندسی معدن – زمین شناسی مهندسی زمین شناسی – مهندسی برق – مهندسی مکانیک – مهندسی نقشه برداری و شاخه‌های وابسته می باشد.

عضویت وابسته

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

عضویت دانشجویی

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

عضویت افتخاری

شخصیت‌های ایرانی و خارجی که مقام علمی آنان در زمینه‌های مرتبط با صنعت تونل سازی حایز اهمیت خاص باشد و یا در پیشبرد اهداف انجمن کمک‌های موثر و ارزنده ای نموده باشند می توانند به عضویت افتخاری انجمن، انتخاب شوند.

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

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