# تونل

نشریه انجمن تونل ایران

# Tunnel

شماره۱۵، تابستان ۹۰

Iranian Tunnelling Association Magazine

www.irta.ir

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

# تونل

نشـریه انجمن تونـل ایـران

شماره ۱۵ - تابستان ۱۳۹۰


بسمه تعالی

- سرمقاله ..... ۲
- اخبار ..... ۳
- پیش‌بینی میزان نشست تونل خط ۳ مترو تهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ..... ۱۱
- مکانیسم تغییر شکل و فرآیند حفاری در محل تقاطع فضاهای بزرگ در مسیر سنگ‌های نرم و عمیق ..... ۲۱
- سکونتگاه‌های زیرزمینی در ایران ..... ۲۹
- چکیده مقالات منتخب ..... ۳۳
- رویدادهای تونلی ..... ۳۵


www.irta.ir

**شـرح روی جلد: تونل رسالت**

| | |
|---|---|
| **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**

# فضاهای زیرزمینی تاریخی

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. البته فضاهای زیرزمینی محدود به ساخت فضاهای بلند همچون قنات و تونل‌ها نبوده است. احتمالا نخستین فضاهای زیرزمینی در دوران باستان فضاهای اتاقی شکلی همچون غارها بوده‌اند که به صورت طبیعی ایجاد شده و به دست انسان توسعه یافته یا با انجام حفریات توسط ساکنان ایجاد شده‌اند. این امر نشانگر این است که آنها با تلاش‌هایشان در ایجاد حفریات به دنبال راهی برای بهبود شرایط زندگی خود بوده‌اند.

ایران سرزمینی گسترده در آسیای جنوب غربی است که همانند پلی سه قاره آسیا، اروپا و آفریقا را به هم متصل می‌کند. این جایگاه ویژه، سرزمین ایران را به چهار راه تمدن و گذرگاهی برای دسترسی شرق و غرب جهان به یکدیگر تبدیل کرده است، به گونه‌ای که تاثیر اندیشه‌های مردم این سرزمین بر تمدن‌ها و فرهنگ و آداب مردم دیگر بخش‌های جهان امری پذیرفته و اثبات شده است. اقوام باستانی ایران تبحر خاصی در انواع علوم و فنون زمان خود از جمله طب، ریاضیات، نجوم، ادبیات، فلسفه و هنر داشته‌اند و به پیشرفت‌های چشمگیری دست یافته‌اند. این امر در زمینه‌های مهندسی نیز صادق می‌باشد. استفاده از مصالح سنگی که از هزاران سال پیش در ساخت خانه‌ها به صورت پی سنگی و دیوارهای سنگ چین، و بعدها در ساخت ستون‌ها و سردرها به کار گرفته می‌شد، استفاده از خاک در ساخت بناها، سفال‌سازی و سرامیک‌سازی، یا استفاده از ملات‌های آهک و گچ، و ساروج نشاندهنده پیشرفت مهندسی در ترکیب با هنر ایرانی بوده است.

در ایران ساخت و استفاده از فضاهای حفاری شده در زیر زمین از گذشته‌های دور تا کنون رواج داشته است. کاربرد فضاهای زیرزمینی دامنه گسترده‌ای از ایجاد منازل، عبادتگاه‌ها، ساخت دخمه‌ها و مقابر، تا حفر تونل برای انتقال آب، یا به عنوان گذرگاه را شامل می‌شد. بقایای صدها سازه زیرزمینی با اهداف و کاربری‌های مختلف در اقصی نقاط ایران که هنوز پس از گذشت قرن‌ها باقی مانده‌اند دلیلی بر این ادعا است. در بخشی از این شماره و شماره‌های آتی نشریه تونل سعی بر این خواهد بود تا با مرور کوتاهی بر انواع این سازه‌ها، تاریخچه ساخت فضاهای زیرزمینی در ایران به علاقمندان معرفی شود.

اخبار

## تونل سوم کوهرنگ تا پایان سال جاری به بهره‌برداری می‌رسد

معاون برنامه‌ریزی استاندار اصفهان گفت: با توجه به عملیات اجرایی تونل سوم کوهرنگ از سال ۷۴ تاکنون، تونل سوم کوهرنگ تا پایان امسال به بهره‌برداری می‌رسد. به گزارش خبرگزاری فارس از اصفهان، علیرضا همدانیان در بازدید از تونل سوم کوهرنگ اظهار داشت: حدود ۱۱۱ متر از حفاری این تونل باقی مانده است که ظرف هشت الی ۹ ماه آینده به اتمام می‌رسد. وی با بیان اینکه کارفرمای این پروژه شرکت آب منطقه‌ای اصفهان است، افزود: در این پروژه ۳۰۰ نفر اعم از کارگر و کادر فنی در سه شیفت کاری مشغول به فعالیت هستند. همدانیان نوع ساختار و پیچیدگی کار این تونل ۲۳،۵ کیلومتری را یادآور شد و ادامه داد: علت طولانی شدن حفاری این تونل برخورد با گسل‌های مختلفی از جمله ماسه و گل و لای بوده است. وی اضافه کرد: این تونل زمینه انتقال ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب را در سال به استان اصفهان فراهم می‌سازد. معاون برنامه‌ریزی استاندار اصفهان با بیان اینکه ۹۹،۵ درصد از کار آزادسازی و حفاری این تونل انجام شده است، بیان داشت: رسانه‌ها باید اطلاعات کاملی در این خصوص در اختیار مردم قرار دهند. مدیر عامل شرکت آب منطقه‌ای اصفهان نیز در ادامه گفت: عملیات اجرایی سد کوهرنگ سه آغاز شده و تاکنون ۱۵ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است. محمدعلی طرفه با بیان اینکه این سد در چهار سال آینده به بهره‌برداری میرسد، اضافه کرد: با احداث این سد ظرفیت انتقال آب از کوهرنگ سالانه به ۲۵۰ میلیون مترمکعب خواهد رسید. وی اظهار داشت: ریزش در تونل سوم کوهرنگ، اتمام عملیات را سخت کرده اما در آینده نزدیک شاهد بهره‌برداری از آن خواهیم بود.

۱۳۹۰/۰۴/۰۳

خبرگزاری فارس

## پیشرفت ۲۰ درصدی ساخت تونل صدر – نیایش

شهردار تهران ضمن بررسی مشکلات احداث تونل نیایش خواستار اجرای دقیق زمان‌بندی پروژه و نظارت بیشتر بر اجرای کیفی آن شد. قالیباف گفت: امیدوارم مسئولان اجرای پروژه با توجه به توصیه‌های مشاوران از تجاربی نظیر احداث تونل مترو نیز بهره بگیرند. وی با اشاره به فعالیت‌های مثبت انجام شده در این پروژه اظهار داشت: هر چه زودتر این پروژه تمام شود هم به نفع عوامل اجرایی، پیمانکاران و در نهایت شهروندان تهرانی است. قالیباف پیشرفت ۲۰ درصدی پروژه را بیانگر عزم جدی دست‌اندرکاران این طرح برای اجرای دقیق زمان‌بندی دانست و گفت: همه باید تلاش کنیم تا دقت را فدای سرعت نکنیم. توصیه من سرعت در اجرای پروژه در عین توجه به دقت است. شهردار تهران افزود: باید سعی کرد مزاحمت‌هایی که در طول احداث تونل نیایش و بزرگراه طبقاتی صدر برای ساکنین محل ایجاد می‌شود به حداقل برسد. وی با تاکید مجدد بر سرعت کار به همراه دقت در پروژه خواستار آن شد تا برخی تبعات ناشی از احداث پروژه‌های اینچنینی همچون تولید آلودگی‌صوتی برای مجاوران طرح کاهش یابد و ساکنین محلی کمتر در معرض این قبیل مشکلات باشند. در حال حاضر بخش تونل پروژه صدر- نیایش هم‌اکنون در ۲۸ جبهه‌کاری فعال است که ۱۱ جبهه مربوط بـه بخش شرقی و ۱۷ جبهه مربوط به بخش غربی تونل است.

۱۳۹۰/۰۴/۱۵

همشهری آنلاین

## فعـال شدن پـروژه عملیات حفـاری تونـل بناف

در جلسه مسئولان شهرستان کازرون با معاون وزیر راه و شهرسازی بر فعال شدن پروژه عملیات حفاری تونل بناف تاکید شد. به گزارش خبرگزاری فارس از کازرون، در جلسه‌ای که با حضور کاوس رئیسی فرماندار کازرون، غلامرضا دهقان ناصرآبادی نماینده مردم کازرون در مجلس شورای اسلامی و احمد صادقی معاون وزیر راه و شهرسازی و مدیرعامل شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور برگزار شد در مورد فعال شدن عملیات حفاری تونل بناف کازرون بحث و گفت‌وگو شد. در این نشست کاوس رئیسی فرماندار کازرون اظهار داشت: در عین حال مساعدت و دستورات موکد و موثر وزیر راه و ترابری در مورد اجرای پروژه تونل بناف (محرم) که تحقق آن آرزوی به حق و دیرینه مردم شهرستان کازرون بوده، بیش از چهار ماه عملیات اجرایی این پروژه متوقف و نارضایتی مردم را به دنبال داشته است. وی خواستار فعال شدن پروژه عملیات حفاری تونل محرم شد و افزود: مردم شهیدپرور شهرستان کازرون پیگیری‌های بسیاری نسبت به این موضوع صورت داده‌اند و رئیس جمهور نیز بر تسریع درروند اجرایی آن تاکید داشته است. رئیسی اضافه کرد: وزیر راه و شهرسازی دستور فعال شدن پروژه عملیات حفاری تونل محرم (بناف) را داده است. در این جلسه همچنین در مورد ضرورت احداث پل عابر پیاده و روگذر در تقاطع جاده دوان و جاده اصلی کازرون بحث و گفت‌وگو شد و این مسئله مورد تاکید قرار گرفت. در ادامه این جلسه احمد صادقی معاون وزیر راه و شهرسازی دستور لازم مبنی بر احداث پل عابر پیاده و روگذر در تقاطع جاده دوان و جاده اصلی کازرون را صادر کرد.

۱۳۹۰/۰۴/۱۸

خبرگزاری فارس

## آغاز عملیات اجرایی تونل محـــــرم در شیـــــراز

با حضور معاون وزیر راه و شهرسازی عملیات اجرایی تونل محرم آغاز شد. به گزارش خبرگزاری فارس از کازرون، احمد صادقی معاون وزیر راه و شهرسازی به همراه حسن فدایی مدیرکل راه و ترابری استان فارس و مسئولان محلی شهرستان کازرون از پروژه‌های راه‌سازی در محور شیراز ـ کازرون، کازرون – بوشهر، تونل‌های محرم، تنگ ترکان، و روشنایی تونل‌های جاده جدیدکازرون به ارژن بازدید کردند. در این بازدید معاون وزیر راه و شهرسازی دستور فعال شدن عملیات اجرای تونل محرم را داد که با این دستور، عملیات اجرایی این تونل نیز آغاز شد. همچنین کلنگ جاده شهرنجان

ـ پریشان متصل به جاده اصلی کازرون به شیراز نیز به زمین زده شد. در حاشیه این مراسم حسن فدایی مدیرکل راه و ترابری استان فارس در گفت‌وگو با خبرنگاران اظهار داشت: این پروژه رهایی جلگه شمالی دریاچه پریشان به جاده جدید کازرون – شیراز بوده که اعتبار اولیه آن ۳۵۰ میلیون تومان است. وی اعتبار مورد نیاز این پروژه را ۴ میلیارد تومان برشمرد و افزود: این جاده جزو شریان‌های روستایی بوده و با احداث آن ۱۸ روستا از بن‌بست خارج می‌شوند. کاوس رئیسی فرماندار کازرون نیز با بیان اینکه ۱۷ هزار نفر نافع جاده شهرنجان ـ پریشان به جاده اصلی کازرون ـ شیراز هستند گفت: این جاده به طول ۵ هزار و ۵۰۰ متر بوده که حدود ۸۰۰ هزار متر خاکبرداری دارد و حدود حدود ۶۰ کیلومتر فاصله و مسیر این روستاها به شیراز کاهش می‌یابد. وی از در حال اجرا بودن تقاطع حاجی آباد خبر داد و تصریح کرد: معاون وزیر راه و شهرسازی دستور اقدام سریع‌تر نسبت به انجام ۸ کیلومتر باقیمانده محور نودان به قائمیه و بررسی مطالعات آزادراه شیراز ـ بوشهر را صادر کرد.

۱۳۹۰/۰۴/۲۲

خبرگزاری فارس

## پیشرفت ۴۸ درصدی روشنایی تونل‌های جم به سیراف

سرپرست اداره راه و ترابری شهرستان جم از پیشرفت ۴۸ درصدی روشنایی تونل‌های جم به سیراف خبر داد. به گزارش خبرگزاری فارس از عسلویه، صادق غلامی در بازدید از پروژه روشنایی تونل‌های هفتگانه بزرگراه جم به سیراف اظهار داشت: اداره کل راه و ترابری استان بوشهر در دو سال اخیر در احداث بزرگراه و تجهیز راه‌های اصلی تلاش زیادی داشته و در شهرستان جم نیز اقدامات بسیار مناسبی صورت گرفته است. وی افزود: برای رشد و پیشرفت در سال جهاد اقتصادی باید زیرساخت‌های توسعه را هموار کنیم و بدون تردید توسعه و تجهیز راه‌ها و ایجاد ایمنی در جاده‌های شهرستان، گام موثری در رشد و رونق شهرستان خواهد بود. سرپرست اداره راه و ترابری شهرستان جم از پیشرفت ۴۸ درصدی روشنایی تونل‌های جم به سیراف خبر داد و خاطرنشان کرد: پروژه روشنایی تونل‌های محور جم به بندر سیراف و بالعکس در وضعیت بسیار مطلوبی است و در حال حاضر این پروژه بیش از ۴۸ درصد پیشرفت فیزیکی دارد. غلامی تصریح کرد: اعتبار این پروژه بسیار مهم ۳۰ میلیارد ریال است که اعتبار این پروژه از محل اعتبارات سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جنوبی تامین شده است. این مسئول متذکر شد: تعداد هفت تونل در این محور وجود دارد که طول این هفت تونل مجموعا ۲۷۰۰ متر است و برای راه‌اندازی به موقع این تونل‌ها تلاش زیادی انجام شده است. وی در ادامه ابراز داشت: سه تونل از این تونل‌ها در حوزه اداره راه و ترابری شهرستان جم قرار دارد که طول این سه تونل بیش از ۱۵۰۰ متر است. سرپرست اداره راه و ترابری شهرستان جم عنوان کرد: تعداد چهار تونل نیز در حوزه راه و ترابری شهرستان کنگان قرار دارد که طول این چهار تونل نیز ۱۲۰۰ متر است. غلامی یادآور شد: انتقال شبکه برق برای روشنایی تونل‌ها از سه‌راهی بندر سیراف به طول هشت کیلومتر انجام خواهد گرفت که در حال انجام مناقصه است و به زودی عملیات اجرایی آن آغاز می‌شود. این مسئول تصریح کرد: این پروژه نقش اساسی در ایمنی و عبور و مرور محور جم و بندر سیراف دارد و هدیه بزرگی از طرف سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس به مردم شریف شهرستان‌های جم و کنگان است.

۱۳۹۰/۰۴/۲۷

خبرگزاری فارس

# احداث تونل‌های دو طبقه برای انتقال خط آهن تهران تبریز به زیر زمین

وزیر راه و شهرسازی برای دومین بار از پروژه انتقال ریل راه‌آهن به زیر زمین در مناطق ۱۷ و ۱۸ تهران بازدید کرد و از نزدیک در جریان عملیات اجرایی این پروژه و تونل‌های دو طبقه در حال احداث آن قرار گرفت. به گزارش خبرنگار باشگاه خبری فارس علی نیکزاد در این بازدید که صاحب‌محمدی معاون وزیر و مدیر عامل شرکت راه آهن وی را همراهی می کرد با حضور در بخش‌های مختلف پروژه انتقال خط آهن به زیر زمین در مناطق ۱۷ و ۱۸ تهران بر نحوه اجرا این پروژه نظارت و هماهنگی لازم را برای تسریع در انجام این پروژه انجام داد.

بنابر این گزارش عملیات اجرایی این پروژه از مهرماه سال ۱۳۸۷ آغاز شده است و با اجرای آن خط آهن محور تهران- تبریز از پل نواب (تقاطع قلعه مرغی) تا بازار آهن شادآباد به زیر زمین منتقل می شود و با بهره برداری از آن موجبات کاهش ترافیک و آلودگی صوتی و زیست محیطی برای ساکنان مناطق ۱۷ و ۱۸ تهران فراهم خواهد شد.

معاون وزیر راه و شهرسازی و مدیر عامل شرکت راه‌آهن در این بازدید با توجه به تأکید رئیس‌جمهوری، وزیر راه و شهرسازی و سایر مسئولان در تسریع پروژه انتقال خط آهن به زیرزمین با طول حدود ۱۰ کیلومتر و ساخت تونل در منطقه ۱۷و۱۸ تهران اظهار داشت: اگر چه از سال ۸۸ این پروژه با مشکلات اعتباری روبه‌رو بود اما سال گذشته و امسال تلاش بسیاری برای حل این مشکل صورت گرفت. مدیرعامل راه‌آهن افزود: با توجه به پیش‌بینی‌های دولت، از جمله در نظر گرفتن ردیف اعتباری در بودجه سنواتی، پروژه مذکور دیگر مشکل تأمین اعتبار نخواهد داشت. وی تصریح کرد: اتمام پروژه مذکور با اعتباری بیش از ۳۰۰ میلیارد تومان انجام می‌شود و مشکل اعتباری در ساخت این پروژه وجود ندارد. معاون وزیر راه و شهرسازی با اشاره به اینکه بیشترین پیشرفت فیزیکی پروژه مذکور در سال جاری انجام خواهد شد، گفت: البته تاکنون تمامی مسائل درخصوص معارضین فاضلاب، آب، برق و مسائل مرتبط در مسیر پروژه ساماندهی و تعیین تکلیف شده است. مدیرعامل راه‌آهن در پایان از بهره‌برداری کامل پروژه انتقال خط آهن تهران- تبریز به زیرزمین تا سال آینده خبر داد. بر اساس طرح اولیه راه آهن تهران - تبریز از پل نواب به زیر زمین منتقل و بعد از عبور از گذرگاه‌های مختلف در بزرگراه آیت الله سعیدی از تونل خارج می شد که با توجه به خواسته‌های مکرر مردم و ساکنین منطقه برای تطویل تونل، در بازدید مجدد رئیس جمهوری از این پروژه درسال ۱۳۸۸ قرار شد طول این تونل به ۱۰ کیلومتر افزایش یابد. در این پروژه قطار در دو باند رفت و دو باند برگشت از تونل استفاده می‌کند، ضمن اینکه عرض تمام شده تونل ۲۳ متر و ارتفاع آن ۷,۲۰ متر است و علاوه بر این مشخصات امکان استفاده از قطار برقی هم در این تونل وجود دارد. کانال فاضلاب بزرگ شهر تهران، کانال انتقال بنزین فرودگاه مهرآباد، لوله اصلی انتقال نفت، لوله‌های فشار قوی برق و لوله‌های آب از این مسیر عبور می کنند که رفع هر کدام از این معارضین مشکلات زیادی بر سر اجرای این پروژه به وجود آورده بود. بنا بر این گزارش در بزرگراه آیت الله سعیدی تونل به دو طبقه تبدیل شده است طوری که از یک طبقه برای هدایت معارضین و تاسیسات و از طبقه زیرین آن برای عبور قطارها استفاده می شود و در بخش اضافه شده پروژه به طول حدود چهار کیلومتر هم معارض وجود دارد که برای هدایت آن هم تونل دیگری به صورت دو طبقه احداث می شود.

۱۳۹۰/۰۴/۳۱

خبرگزاری فارس

# اجرای پروژه‌های تونل‌سازی شیراز سرعت می‌گیرد

شهردار شیراز با اشاره به اتمام ساخت تونل سعدیه تا پایان سال ۹۰ و اتمام ساخت تونل‌های دوقلوی کوهسار تا پایان سال ۹۱، گفت: اجرای پروژه‌های تونل‌سازی شیراز سرعت می‌گیرد.
به گزارش خبرگزاری فارس از شیراز، علیرضا پاک‌فطرت بعد از ظهر امروز در دیدار مدیرعامل مؤسسه قرب قائم وابسته به قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیا با وی به تأثیر مثبت تونل‌های سعدیه و کوهسار مهدی بر شبکه بزرگراهی شیراز اشاره و ابراز امیدواری کرد که با پایان یافتن عملیات اجرایی این طرح‌های بزرگ عمرانی شاهد تحول چشمگیری در شیراز باشیم.
شهردار شیراز اظهار داشت: تونل سعدیه با ابعاد منحصر به فرد در سطح کشور و خاورمیانه، دسترسی به شرق شهرک سعدی و آرامستان بهشت احمدی را تسهیل کرده و آرامگاه سعدی را از بن‌بست خارج میکند. وی همچنین با اشاره به تونل‌های کوهسار مهدی، افزود: این تونل‌ها به صورت دوقلو در حال ساخت است و با یک کیلومتر طول، بولوار جمهوری اسلامی را به غرب شیراز متصل می‌کند. محمد ابوالحسنی مدیرعامل مؤسسه قرب قائم وابسته به قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیا نیز در این نشست با تأیید مباحث مطرح شده در مورد اهمیت این تونل‌ها برای آینده شیراز قول مساعد داد که تونل سعدیه تا پایان سال ۹۰ و تونل‌های دوقلوی کوهسار تا پایان سال ۹۱ در صورت تأمین اعتبار، تکمیل و آماده بهره‌برداری شوند.

۱۳۹۰/۰۴/۳۱
خبرگزاری فارس

# آغاز روز شمار بررسی وضعیت هوای داخل تونل‌های مترو

رئیس کمیسیون توسعه و عمران شورای اسلامی شهر تهران گفت: شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری از امروز به مدت یک ماه از نقاط مختلف مترو نمونه‌برداری می‌کند. حمزه شکیب در گفت‌وگو با خبرنگار اجتماعی فارس، درباره نتیجه جلسه کمیسیون توسعه و عمران شورای شهر مبنی بر گزارش مدیر شرکت بهره‌برداری مترو درباره وضعیت هوای داخل تونل و سلامتی کارکنان مترو، گفت: با توجه به بحث‌هایی که درباره وضعیت هوای داخل تونل و بروز ناراحتی‌هایی برای برخی کارکنان مترو مطرح شده بود تصمیم گرفتیم از مدیرعامل شرکت بهره‌برداری برای حضور در کمیسیون عمران شورا دعوت کنیم. وی افزود: طبق گزارش شرکت بهره‌برداری مترو، اعلام شد که به طور کلی ۲ نوع لنت در مترو استفاده می‌شود؛ یکی از آنها لنت‌هایی است که در فضای باز مانند خط ۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد و دیگری لنت‌های است که در داخل تونل استفاده می‌شود. رئیس کمیسیون توسعه و عمران شورای اسلامی شهر تهران خاطر نشان کرد: از هر دو لنتی که نمونه آن را آورده بودند از آزبست استفاده نمی‌شد. وی ادامه داد: در توضیحات مدیرشرکت بهره‌برداری گفته شد که وضعیت هوای داخل تونل می‌تواند تحت تأثیر سه عامل باشد؛ نخست وضعیت هوای بیرون است که می‌تواند به داخل تونل راه یابد؛ دوم اینکه آلودگی می‌تواند ناشی از استحکاک چرخ و ریل باشد و عامل دیگر می‌تواند به دلیل کارهای عمرانی باشد که در خطوط دیگر انجام می‌شود و به داخل تونل راه پیدا می‌کند. شکیب اظهار داشت: اما تونل‌های مترو سیستم‌هایی دارد که می‌تواند هوا را تهویه کند و این تهویه هوا به گونه‌ای است که می‌تواند هوای سالم‌تر و بهتری را نسبت به هوای داخل تونل ایجاد کند. وی با بیان اینکه بر اساس گزارشی که ارائه شد سال‌ها است در شرکت بهره‌برداری از سیستم کنترل سلامتی کارکنان و وضعیت هوا استفاده می‌شود، تصریح کرد: موضوع دیگری که مطرح شد این بود که هوای داخل تونل اگر از هوای بیرون بهتر نباشد حداقل با شرایط بیرون یکسان است. رئیس کمیسیون توسعه و عمران شورای اسلامی شهر تهران خاطر نشان کرد: کمیسیون عمران تصمیم گرفت شرکت کنترل کیفیت هوا شهر تهران را موظف کند ظرف مدت یک ماه از نقاط مختلف مترو نمونه‌برداری کنند و آنها را برای شورا بیاورد تا این کمیسیون آن را تحلیل کند. وی با بیان اینکه گزارش ارائه شده قانع‌کننده بود، گفت: از امروز روزشمار یک ماهه برای ارائه نتیجه این بررسی‌ها آغاز می‌شود.

۱۳۹۰/۰۵/۰۳
خبرگزاری فارس

# تونـــل قطعه ۲ سد خداآفرین به بهره‌برداری رسید

طی مراسمی با حضور استاندار آذربایجان شرقی، نماینده مردم کلیبر و خداآفرین در مجلس و مسئولان محلی، بهره‌برداری از تونل قطعه دو خداآفرین در مجاورت سد خداآفرین در نوار مرزی آغاز شد. به گزارش خبرگزاری فارس از تبریز به نقل از روابط عمومی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، فرماندار شهرستان خداآفرین، در این مراسم احداث سد خداآفرین و پروژه‌های جانبی آن را مصداق واقعی توزیع عدالت در کشور توصیف کرد و گفت: تاکنون نزدیک به ۳ هزار و ۵۰۰ میلیارد ریال در طرح سد خداآفرین و پروژه‌های جانبی آن هزینه شده است. رضا زاهدنیا بهره برداری از تونل قطعه دو خداآفرین را به عنوان یکی از ثمرات سرمایه‌گذاری‌های انجام یافته توسط دولت در این منطقه مورد اشاره قرار داد و ضمن تاکید بر ضرورت وجود راه‌های ارتباطی مناسب برای رشد و توسعه اقتصادی منطقه اظهار امیدواری کرد: احداث این تونل پراهمیت باعث رفت و آمد روان و کاهش تصادفات رانندگی شود. مدیرعامل شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی با اشاره به اینکه سد خداآفرین به عنوان یکی از بزرگ‌ترین سدهای استان و کشور مایه خیر و برکات زیادی در منطقه است، برخی مشخصات فنی آن را تشریح کرد و گفت: طرح سد خداآفرین شامل پروژه‌های متعددی از جمله راه‌های ارتباطی جایگزین، جاده جانانلو کلیبر، سد تنظیمی قیزقلعه سی، شبکه پایاب، شهرک اسکان، بدنه سدونیروگاه است که راه جایگزین در قالب چهار قطعه ارتباطی مجموعاً به طول ۴۶ کیلومتر در مجاورت سد مخزنی خداآفرین اجرا می شود که تونل دو بانده قطعه دو به قطر ۱۱متر و طول ۷۴۵ متر بخشی از این پروژه است. ارسلان هاشمی در ادامه ضمن تشریح برخی مشخصات فنی و حجم عملیات عمرانی انجام شده در این پروژه به آثار اقتصادی و اجتماعی تونل قطعه دو خداآفرین اشاره کرد و گفت: کاهش مصرف سوخت، کاهش زمان سفر و کاهش تصادفات رانندگی، سهولت ترانزیت کالا در نوار مرزی و فراهم شدن زیرساخت‌های لازم برای سرمایه‌گذاری و شکوفایی منطقه از مزایای این پروژه است.

۱۳۹۰/۰۵/۰۴

خبرگزاری فارس

# تونـــل حیاتـــی استقلال تاجیکستـــان با کمک ایـــران تکمیل می‌شود

وزارت حمل‌ونقل تاجیکستان اعلام کرد که شرکت ساختمانی "سنگاب" جمهوری اسلامی ایران در تکمیل تونل "استقلال" با تاجیکستان همکاری خواهد کرد. به گزارش خبرنگار خبرگزاری فارس در دوشنبه، طرح تکمیل تونل حیاتی "استقلال" تاجیکستان، با هزینه‌ای بالغ بر شش میلیون دلار اجرا خواهد شد که ۵۰ درصد آن در قالب کمک جمهوری اسلامی ایران به تاجیکستان است. دفتر مطبوعاتی وزارت حمل‌ونقل تاجیکستان با صدور اطلاعیه‌ای ضمن تایید این خبر افزود: عملیات تعمیر و تکمیل این طرح، از اول ماه اگوست (مطابق با ۱۰ مرداد) آغاز شده و در مدت پنج ماه به پایان خواهد رسید. به گفته این منبع، شرکت ایرانی "سنگاب"، هم‌اکنون در حال انتقال ماشین آلات و تجهیزات تهویه و روشنایی به محل کارگاه این تونل است. عملیات حفاری تونل پنج کیلومتری "استقلال"، واقع در ۶۰ کیلومتری شمال پایتخت تاجیکستان، در ارتفاعات صعب‌العبور این کشور، با مساعدت مالی ایران در سال ۲۰۰۶ میلادی

به پایان رسید. ایران بر اساس توافقات اولیه بین تهران و دوشنبه، بیش از ۳۱ میلیون دلار برای اجرای این پروژه در نظر گرفته بود که ۲۱ میلیون و ۲۰۰ هزار دلار آن در قالب وام بلند مدت تهران به دوشنبه بود که عملیات حفاری آن طی ۳ سال توسط شرکت ایرانی سابیر بین الملل انجام شد. اگر چه پنج سال پیش مراسم بهره‌برداری از این تونل برگزار شد، ولی به دلیل عدم نصب تجهیزات تهویه و روشنایی در داخل تونل، کار رفت و آمد خودروها از این مسیر به سختی انجام می‌گیرد. وزارت حمل ونقل تاجیکستان در این اطلاعیه تصریح کرده است: از روز دوشنبه هفته جاری حرکت وسایل نقلیه از طریق این تونل، ممنوع شده و رانندگان کامیون‌ها و خودروها باید از مسیر گردنه انزاب که در گذشته از آن تردد می‌کردند، عبور کنند و تنها در صورت بارش برف سنگین می‌توانند از مسیر این تونل تردد کنند. تاجیکستان با احداث این تونل در چهار سال پیش توانست ارتباط بین شمال جنوب کشور را که همه ساله در فصل سرد سال براثر بارش برف سنگین به کلی قطع می‌شد، به صورت دائمی برقرار کند.

۱۳۹۰/۰۵/۰۹

خبرگزاری فارس

# بهـــره‌بـرداری از آزادراه زنجـان تبـــریـز با اتمـــام تونـــل شبلـی

مدیرعامل شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل‌ونقل از اتمام عملیات تکمیل تونل شبلی در آزادراه زنجان تبریز خبر داد و گفت: قطعه سرچم - بستان‌آباد - قزل‌چه میدان در این مسیر آزادراهی به بهره‌برداری رسید.

احمد صادقی در گفت‌وگو با خبرنگار فارس ضمن اشاره به اینکه یکی از برنامه‌های اساسی وزارت راه و شهرسازی ایجاد ظرفیت‌های جدید حمل و نقلی برای روان‌سازی ترافیک و کاهش سوانح جاده‌ای و رانندگی است، اظهار داشت: در راستای ایجاد ظرفیت برای تردد خودروها و کاهش ترافیک، توجه به توسعه احداث آزادراه‌ها مدنظر وزارت راه است که دارای عرض مناسب بوده و میزان سرعت در آنها بالا است.

معاون وزیر راه و شهرسازی ضمن اشاره به اینکه رئیس‌جمهور و وزیر راه و شهرسازی در مراسم افتتاح قسمتی از آزادراه زنجان-تبریز حضور دارند، تصریح کرد: یکی از آزادراه‌های مهم که مرکز کشور را به شمال‌غرب متصل می‌کند آزادراه زنجان ـ تبریز است که در دست احداث بوده و امروز قطعه سرچم - بستان‌آباد - قزل‌چه میدان در این مسیر آماده بهره‌برداری است.

صادقی ضمن اشاره به تکمیل تونل شبلی در این مسیر آزادراهی، خاطرنشان کرد: طول این محور ۱۸۸ کیلومتر بوده و بیش از ۴ هزار میلیارد ریال برای احداث آن هزینه شده است. مدیرعامل شرکت ساخت و توسعه زیربناهای حمل و نقل کشور خاطرنشان کرد: سال‌های قبل قسمتی از این مسیر ساخته شده و زیر بار ترافیک رفته بود.

به گزارش فارس آزادراه، راهی است که خطوط رفت و برگشت آن از یکدیگر جدا بوده و هیچگونه تقاطع همسطح ندارد، ورود و خروج از آن محدود بوده و اغلب با پرداخت عوارض همراه است. بنا بر این گزارش آزادراه زنجان - تبریز یکی از محورهای شمال‌غرب کشور به شمار می‌رود که افتتاح آن با چالش‌های بسیاری مواجه بود و به علت اختلاف نظر بین دستگاه‌های مربوطه افتتاح آن در سال ۸۵ چندین نوبت به تعویق افتاد و در هر نوبت علت این تعویق، کامل نبودن مراحل احداث آزادراه از لحاظ نصب علامت‌های ترافیکی و نیز گاردریل‌ها عنوان می‌شد.

بنابراین گزارش آزادراه "زنجان - تبریز " اولین آزادراه کوهستانی کشور به طول ۲۸۵ کیلومتر است که در سه فاز به اجرا در آمده است که فاز اول آن از زنجان تا سرچم به طول ۸۵ کیلومتر، فاز دوم آن به طول ۱۶۸ کیلومتر از سرچم تا بستان آباد و فاز سوم آن نیز از بستان آباد تا تبریز به طول ۳۲ کیلومتر است.

۱۳۹۰/۰۵/۰۹

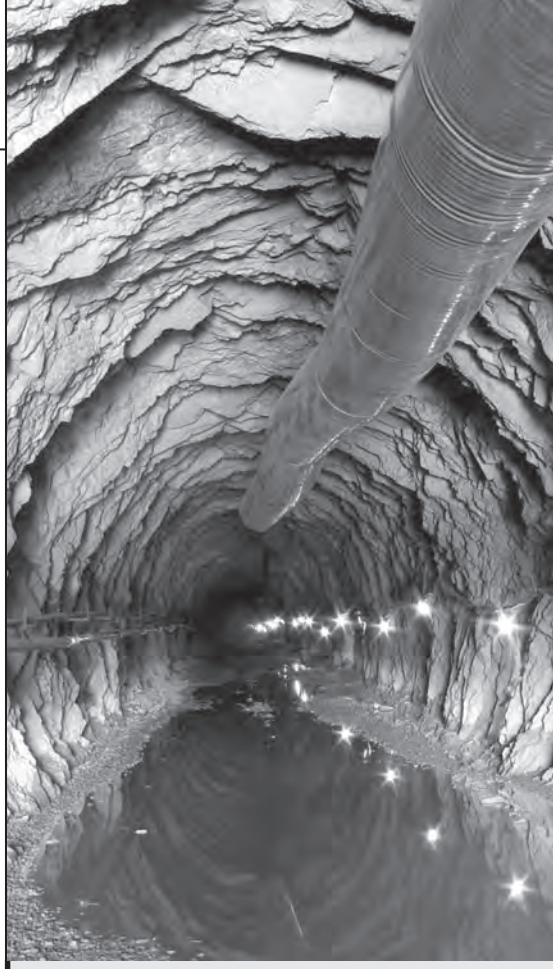
خبرگزاری فارس

# میـــدان شهـــدای مشهـــد یک مرکز متمایز شهـــری است

مدیر روابط عمومی طرح بزرگ میدان شهدا مشهد گفت: تونل تاسیسات شهری در سه نقطه از طرح بزرگ میدان شهدا احداث شده که محدوده طرح بزرگ میدان شهدا را به یک نقطه متمایز شهری تبدیل کرده است.

به گزارش خبر گزاری فارس از مشهد، رامین آرمات در گفت‌وگو با خبرنگاران ضمن یادآوری اهمیت ایجاد تونل انرژی در شهرهای در حال توسعه با تاکید بر ضرورت به کارگیری تونل تاسیسات در پروژه‌های شهری اظهار داشت: در شهرهای امروزی شبکه گسترده‌ای از تاسیسات مختلف نظیر آب، برق، گاز و لوله‌های جمع آوری فاضلاب وجود دارد، در اغلب اوقات محل و عمق کارگذاری تاسیسات بسیار ضعیف انجام شده است. مدیر روابط عمومی طرح بزرگ میدان شهدا مشهد ادامه داد: تعداد دفعات مورد نیاز برای انجام تعمیرات، یا اقدامات توسعه‌ای که نیاز به آسفالت شکافی معابر دارد، افزایش یافته و باعث ایجاد مشکلات ترافیکی، تحمیل هزینه‌های سنگین بر شهر و شهروندان و نازیبایی چهره شهر می‌شود.

وی با بیان اینکه استفاده از تونل تاسیسات شهری از چند دهه قبل در اکثر کشورهای پیشرفته جهان مورد توجه قرار گرفته است، گفت: در داخل کشور ما نیز از چند سال



قبل اقداماتی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به تونل تاسیسات شهری طرح بزرگ میدان شهدا که برای نخستین‌بار در کلان شهر مشهد اجرا شده است، اشاره کرد. مدیر روابط عمومی طرح بزرگ میدان شهدا ساخت این تونل تاسیسات شهری در بخش اجتماعی و اقتصادی را دارای آثار مثبت زیادی دانست و افزود: شاخص‌هایی همچون ایجاد شغل و درآمد، افزایش تسهیلات رفاهی، بهبود سیستم حمل و نقل شهری و حفظ آرامش و چهره زیبای شهر از آن جمله‌اند و در بخش فیزیک و شیمیایی نیز تونل انرژی برخی فواید را داراست که از آن جمله می‌توان به جلوگیری از آلودگی صوتی و بصری بهداشتی ناشی از حفاری‌های مکرر و فراهم شدن امکان دسترسی به موقع سریع و آسان به تاسیسات شهری اشاره کرد.

آرمات افزود: تونل تاسیسات شهری میدان شهدا مشهد در سه نقطه این طرح از جمله امتداد زیرگذرهای غربی و شرقی، همچنین خیابان صاحب الزمان (عج) اجرا شده است؛ لازم به ذکر است طول تونل مشترک انرژی در این طرح به طول ۳ کیلومتر و ابعاد ۳٫۸ در ۳٫۸ متر است.

۱۳۹۰/۰۵/۱۴

خبرگزاری فارس

## اجرای فاز دوم استحکام بخشی تونـــل بلیتـــی

مدیر پایگاه جهانی سازه‌های آبی شوشتر از اجرایی شدن فاز دوم استحکام بخشی تونل بلیتی در آینده نزدیک خبر داد. به گزارش خبرگزاری فارس از شوشتر، امین محمودزاده در بازدید از تونل بلیتی اظهار داشت: تونل بلیتی در برخی از قسمت‌ها شرایط مناسبی ندارد و به این دلیل اهمیت اجرایی شدن این پروژه برای پایگاه سازه‌های آبی شوشتر بسیار زیاد است.

وی با اشاره به اینکه این تونل در سال‌های گذشته استحکام بخشی شده است، افزود: این تونل بیش از ۳۴۰ متر طول دارد که در گذشته ۱۵۰ متر از آن استحکام بخشی شده است و در این پروژه بخش‌های بحرانی این اثر تاریخی استحکام بخشی خواهد شد.

محمودزاده مسئول اجرای این بخش از پروژه را سازمان آب و برق خوزستان عنوان کرد و گفت: تا کنون بیش از ۲۵ تا ۳۰ درصد از این اثر تاریخی استحکام بخشی شده است و مابقی قسمت‌های آسیب دیده نیز قرار است در فاز دوم و نهایی این پروژه اجرایی شود. مدیر پایگاه جهانی سازه‌های آبی شوشتر با اشاره به اینکه با سازمان آب و برق خوزستان برای اجرای این پروژه توافق نهایی حاصل شده است، گفت: سازمان آب وبرق خوزستان برای اجرای این پروژه اعتبار مناسبی در نظر گرفته است و قرار است در این پروژه بیش از ۲٫۱ میلیارد تومان اعتبار هزینه کند.

محمودزاده تصریح کرد: این اثر به دلیل اینکه در زیر مناطق مسکونی شهر شوشتر مستقر است در صورت هر گونه تخریب و یا نشست می‌تواند مشکلات بسیار زیادی برای مردم ایجاد کند و به این دلیل استحکام بخشی این اثر اهمیت بسیار زیادی دارد. تونل بلیتی در سمت شرقی «مجموعه آسیاب‌ها و آبشارها» قرار دارد و کار این تونل آبرسانی از پشت پل بند گرگر به آسیاب‌های ضلع شرقی مجموعه و هدایت حجمی از اضافه آب رودخانه برای جلوگیری از آسیب رسیدن به مجموعه است. بلیتی نام منطقه‌ای در وجه شرقی شوشتر است و از آنجا که تونل از زیر این منطقه عبور می‌کند به همین نام شناخته می‌شود، از تونل بلیتی تعدادی کانال منشعب می‌شود که در حال حاضر تمام آنها مسدود و فقط مسیر یکی از آنها باز است.

۱۳۹۰/۰۵/۱۶

خبرگزاری فارس

## تونل‌های ماشین‌رو سد هراز تا شهریور ماه سال جاری بهره‌برداری می‌شوند

نماینده مردم آمل در مجلس گفت: تا شهریور ماه سال جاری سه تونل انحرافی سد هراز به بهره‌برداری رسیده و اتومبیل‌ها به داخل آن هدایت می‌شوند. به گزارش خبرگزاری فارس از آمل، عزت‌الله یوسفیان‌ملا امروز در سخنان پیش از خطبه دومین جمعه ماه مبارک رمضان سال ۹۰ در جمع نمازگزاران شهرستان آمل اظهار داشت: آمل هم‌اکنون از صنعتی‌ترین شهرهای استان است که به تنهایی ۴۷ درصد صنعت مازندران را در خود گنجانده است. وی افزود: سد بزرگ هراز از بزرگ‌ترین پروژه‌های ملی شمال کشور محسوب می‌شود که در ابتدای بازگشایی‌اش ۹۶ هزار هکتار از اراضی شالیزاری تامین می‌شوند. نماینده مردم آمل در مجلس شورای اسلامی با اعلام اینکه سه تونل انحرافی بسیار سنگین برای این طرح تعریف شده بود، افزود: هم‌اکنون این تونل‌ها به پایان رسیده و سعی داریم تا شهریور ماه سال جاری با هدایت اتومبیل‌ها به این تونل از آن بهره‌برداری کرده تا پایه‌های سد را آغاز کنیم. وی با بیان اینکه وزارت ورزش و جوانان برای سرمایه‌گذاری بر روی سد هراز رضایت خود را نشان داده، اضافه کرد: طول این سد حدود ۱۱٫۵ کیلومتر است که وزارت ورزش و جوانان برای ایجاد امکانات قایقرانی در سطح حرفه‌ای و تمرینات تیم ملی بر روی آن اعلام آمادگی کرده تا سرمایه‌گذاری‌های لازم را انجام دهد. وی با تاکید اینکه اگر این پروژه با سرعت فعلی به کار خود ادامه دهد و اتفاق ناخواسته‌ای در اجرای

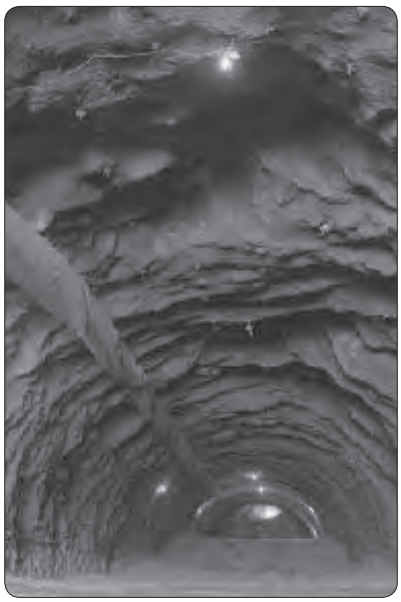
پروژه ایجاد نشود تا سه سال آینده کار احداث سد به پایان می‌رسد. یوسفیان‌ملا با اعلام اینکه سد هراز تنها سدی است که آب شرب پنج شهر و روستاهای اطراف آمل را تامین می‌کند، گفت: سدهای نظیر آن در منطقه همانند سد لار فقط برای آب شرب استفاده می‌شود ولی سد هراز علاوه بر آب شرب، در بخش کشاورزی و تولید برق نیز کارایی بسزایی دارد. وی ادامه داد: تمام آب شرب آمل و روستاهای آن، محمودآباد، فریدونکنار، سرخرود و بخش‌هایی از نور و بابل توسط این سد تامین می‌شود و سه کانال هراز پی، دابودشت و لیتکوه باری آن در سطح شهرستان طرح‌ریزی شده است.

۱۳۹۰/۰۵/۲۱

خبرگزاری فارس

## افتتـــاح ۳ تونل در محور پاتاوه به دهـــدشت تا اوایل آذر ماه امســـال محقق می‌شـــود

فرماندار کهگیلویه گفت: تا اوایل آذر ماه سال جاری و به همت کارفرمایان سلحشور قرارگاه خاتم، ۳ دهنه تونل اصلی در جاده پاتاوه دهدشت افتتاح می‌شود. نصرت‌الله انصاری در حاشیه بازدید از تونل کوه پاد، در گفت‌وگو با خبرنگار فارس در یاسوج اظهار داشت: سه دهانه تونل موجود در مسیر چاروسا به دهدشت تا ۵ آذر امسال به بهره‌برداری می‌رسند. فرماندار کهگیلویه افزود: این تونل‌ها از سخت‌ترین پروژه‌های موجود در کشور هستند که با افتتاح آن‌ها، بخش چاروسا و دیشموک از طریق این جاده به دهدشت وصل می‌شوند. وی بیان داشت: این جاده به عنوان کریدر شمال به جنوب مطرح است که کیلومتر مسیر میان یاسوج به دهدشت را به شکل قابل توجهی کاهش می‌دهد. فرماندار کهگیلویه بیان داشت: در مسیر ۶۳ کیلومتری میان یاسوج تا دهدشت، ۱۰ تونل وجود دارد که با اتمام



این تونل‌ها و بهره‌برداری از این جاده، مسیر توسعه استان کهگیلویه و بویراحمد کوتاه‌تر می‌شود. مقام اجرایی در شهرستان کهگیلویه اظهار داشت: هم‌اکنون ۸۵ درصد از این سه دهانه تونل بین قلعه دختر و دهدشت به پایان رسیده که با تعهد پیمانکار این پروژه، در ۵ آذر به طور کامل به بهره‌برداری می‌رسند و مردم قلعه‌دختر، جاورده، قلعه رئیسی و دیشموک می‌توانند از این مسیر تردد کنند. انصاری مسیر کنونی دهدشت به چاروسا را دارای پیچ‌های بسیار خطرناک در قلعه گل دانست و ادامه داد: با بهره‌برداری از این تونل‌ها نیازی به تردد از مسیر پر پیچ و خم گذشته وجود ندارد. وی با بیان این که ۱۰۰ میلیارد تومان برای ۶۳ کیلومتر از این پروژه پیشنهاد اولیه شد، اضافه کرد: اعتبارات این جاده ملی بوده و پیمانکار آن سپاه پاسداران است. فرماندار کهگیلویه خاطرنشان کرد: این سه دهانه تونل نزدیک به هم و به طول ۲ هزار و ۷۰۰ متر هستند که با توجه به کوهستانی بودن این منطقه، عملیات تونل‌سازی بسیار سخت بوده ولی امیدواریم این تونل‌ها تا ۵ آذر به پایان برسند.

۱۳۹۰/۰۵/۲۳

خبرگزاری فارس

## پیشرفت‌فیزیکی‌ساخت تونل۶کیلومتری‌انتقال برق۲۳۰کیلوولت‌بزرگراه صدر به۷۰درصد رسید

عملیات مربوط به حفر تونل جایگزین دکل‌های انتقال برق فشارقوی ۲۳۰ کیلوولت میان بزرگراه صدر به مرز ۷۰ درصد رسید و اگر همین روال و سرعت اجراء حفظ شود، امکان جابجایی و حذف ۷۷ دکل برق مستقر در بزرگـراه صـدر از اواسـط پاییـز امسـال میسر خواهد شد. به گزارش ایسنا، دکتر مازیارحسینی، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران افزود: تونل انتقال کابل برق فشارقوی از پست برق ازگل در شرقی‌ترین بخش این مسیر آغازشده و پس از عبور از بلوار اوشان، بلوار ارتش و خیابان‌های پاسداران، شهید لواسانی و شهید اندرزگو، با طی مسافتی در حدود ۶ کیلومتر به پست برق قیطریه می‌رسد. وی افزود : هم اکنون حدود ۷۰ درصد از کار حفر این تونل که به‌صورت عایق کامل اجرا خواهد شد، انجام شده و بیش‌از ۶۰ درصد از کل کابل‌های مورد نیاز نیز در داخل کشور تولید شده‌است که ۱۲ درصد آن مرحله تست نهایی را پشت‌سر گذاشته‌است. معاون فنی و عمرانی شهرداری تهران افزود : همچنین در مورد ساخت بزرگراه دوطبقه صدر نیز قابل‌ذکر است که درحال‌حاضر طرح نهایی پایه‌های اصلی پل و طراحی سیویل تقاطع بزرگراه شهیدبابایی با بزرگراه امام‌علی(ع) انجام‌شده و شمع‌های قطعه اول از قطعات چهارگانه پل صدر به‌عنوان یکی از قسمت‌های مهم پروژه درحال‌اجرا است. وی ادامه داد : شاید برای مردم جالب باشد که بدانند در زیر هر پایه از پل صدر ۸ شمع بتنی با قطر ۱۲۰سانتیمتر و عمق متوسط ۱۵ متر که معادل ارتفاع یک ساختمان ۵ طبقه است، در زیر زمین احداث می‌شود.

۱۳۹۰/۶/۲۰

خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا)

# پیش‌بینی میزان نشست تونل خط ۳ متروتهران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

دانیال ذوالفقاری[۱]، ابوذر دارابی[۲]، محمدرضا یاقوتی[۳]

۱- شرکت مهندسی سپاسد zolfaghari.danial@gmail.com

۲-کارشناس ارشد استخراج معدن، دانشگاه آزاد تهران واحد علوم وتحقیقات darabi.imeo@gmail.com

۳- شرکت مهندسی سپاسد mrezay69@gmail.com

**چکیده**

*احداث تونل در مناطق شهری به سادگی فضاهای غیرمسکونی نیست. احداث تونل‌های سطحی، در نواحی متراکم و پرازدحام شهری با موانع و مشکلاتی روبرو می‌شود که یکی از آن‌ها، مسئله نشست است. تونل‌های مترو عموماً در اعماق کمتر از ۲۰ متر و در محیط‌های آبرفتی حفر می‌شوند که وجود سازه‌های فوقانی، حفر و نگهداری و پیش‌بینی رفتار زمین را دشوار می‌کند. در این تحقیق بررسی میزان نشست تونل خط ۳ مترو تهران صورت پذیرفته است. ابتدا به دلیل سهولت، ارزانی و نیاز به اطلاعات اندک زمین و تونل از روش‌های تجربی برای پیش‌بینی میزان نشست قبل از اینکه تونل حفر شود، استفاده گردید و سپس پیش‌بینی میزان نشست این تونل توسط شبکه عصبی مصنوعی انجام پذیرفت. تونل که با روش سنتی NATM حفر می‌شود، مورد بررسی قرارگرفته و میزان نشست سطح زمین پیش‌بینی و نتیجه حاصله با مقدار واقعی مقایسه شده است. میزان اختلاف مقدار پیش‌بینی شده با مقدار واقعی کم و قابل قبول می‌باشد. پیش‌بینی مورد نظر، کمک شایانی در طراحی مناسب تونل، قبل از مرحله حفاری می‌کند. اطلاعات ورودی شامل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص، ضریب پواسون و همگرایی بوده که نتایج تطابق خوبی را میان این مقدار حاصله با رابطه پک نشان می‌دهد. نتایج حاصله حاکی از آن است که شبکه عصبی مصنوعی، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی میزان نشست تونل‌های مترو تهران می‌باشد.*

***کلمات کلیدی:*** *پیش‌بینی نشست، تونل خط ۳ متروی تهران، شبکه عصبی مصنوعی، NATM*

## ۱- مقدمه

از میان کلیه فعالیت‌های مهندسی، حفر تونل و به طور کلی فضاهای زیرزمینی، بیش از همه نیاز به بررسی دقیق و تحلیل مناسب دارد. زمین‌های سست و ریزشی، خردشده و گسل‌خورده، هوازده و متورم و همچنین آبدار بیشترین مشکلات را برای حفر تونل به وجود می‌آورند. این در حالی است که در بسیاری موارد، انتخاب زمین مناسب از حیطه ما خارج است. اغلب تونل‌های مترو از مناطق شهری و زیر پی سازه‌های سطحی و از کنار تاسیسات مهم شهری و در عمق کمی می‌گذرند و نمی‌توان مسیر آنها را برای رسیدن به زمین قابل اطمینان به مقدار زیادی تغییر داد. در این حالت است که اهمیت تحلیل مناسب، نگهداری و روش احداث سازگار و ابزاربندی آشکار می‌شود.

مسئله نشست از جمله عوامل مهم در احداث تونلها در مناطق شهری است. برای کنترل نشست باید به‌ترتیب مراحل پیش‌بینی، پیش‌گیری و محافظت صورت پذیرد. روش‌های جلوگیری و کنترل نشست، بستگی به روش‌های پیش‌بینی نشست دارد که این امر اهمیت پیش‌بینی میزان نشست را نشان می‌دهد.

توانایی در پیش‌بینی تأثیرات استخراج و نشست ناشی از آن، یکی از مهم‌ترین مراحل، در احداث تونل‌های سطحی، از جمله خطوط متروی شهری می‌باشد. در این تونل‌ها که عموماً در اعماق کمتر از ۲۰ متری سطح زمین، در محیط‌های آبرفتی با مقاومت و چسبندگی کم حفر می‌شوند، رهایی تنش در اطراف تونل، سریع‌تر صورت می‌پذیرد.

از روش‌های مختلف مؤثری در تحلیل پایداری تونل، تعیین ضریب اطمینان و همچنین پیش‌بینی میزان نشست استفاده می‌شود. هدف از انجام این پروژه محاسبه و پیش‌بینی نشست سطح زمین با روابط تئوریک و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با در نظرگیری مشخصات خاک و هندسه تونل است (متاسفانه بدلیل نبود اطلاعات کافی از مشخصات شیوه حفاری از قبیل گام پیشروی و زمان ترخیص تنش و مراحل حفاری از این ویژگی در ورودی شبکه عصبی استفاده نشده است). در نهایت با مقایسه نتایج این دو روش با مقدار واقعی روش مناسب برای پیش‌بینی نشست ارائه می‌گردد.

## ۲- معرفی خط سه مترو تهران

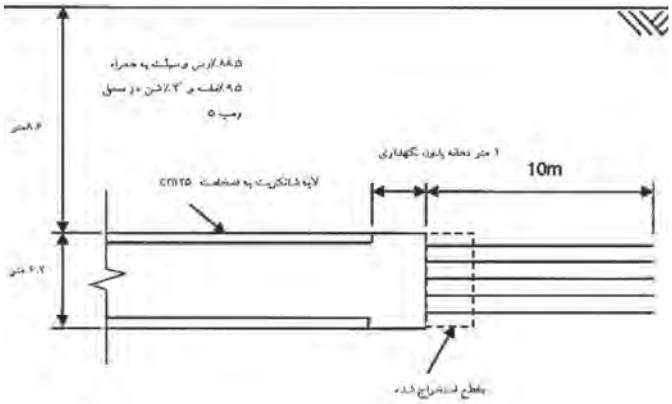
طرح خط ۳ متروی تهران که طبق برنامه بایستی در سال ۱۳۹۳ به بهره‌برداری برسد، دارای ۵ فاز، ۲۳ ایستگاه زیرزمینی و مسیری بطول ۲۴ کیلومتر و ۷ ایستگاه روزمینی و مسیری به طول ۱۱ کیلومتر خواهد بود. خط ۳ مترو تهران از بزرگراه لشکرک در شمال‌شرقی تهران آغاز می‌شود و تا بزرگراه آزادگان به سمت اسلامشهر ادامه می‌یابد که با طول تقریبی ۳۵ کیلومتر، ۳۰ ایستگاه دارد که هم اکنون در میادین منیریه، ولیعصر(عج)، فاطمی، راه‌آهن و خیابان بهشتی، آزادگان و نعمت‌آباد کارگاه‌های ساخت تونل‌های مترو تجهیز شده است.

در فاز نخست، پنج ایستگاه خط ۳ حد فاصل تقاطع این خط با خطوط ۱ و۴ یعنی از خیابان شهید بهشتی تا چهارراه ولیعصر(عج) به بهره‌برداری می‌رسد. برای ادامه خط ۳ مترو از شریعتی تا ازگل، سه مسیر امام علی (ع)، استاد حسن بنا و صیاد شیرازی پیشنهاد شده بود که سرانجام مسیر بزرگراه صیاد شیرازی برای ادامه این خط برگزیده شد. در فاز دوم، توسعه خط سه از چهاراه ولیعصر(عج) تا راه‌آهن و آزادگان صورت می‌گیرد و در فاز سوم این خط از خیابان شریعتی تا ازگل ادامه می‌یابد، مقطع مورد بررسی در خط ۳ مترو تهران به صورت نعل‌اسبی بوده و به روش اتریشی و تمام مقطع حفر می‌شود و در صورت تکمیل، ظرفیت تحت پوشش قرار دادن روزانه یک میلیون سفر را دارد. تونل مذکور با گام پیشروی ۱ متر و بصورت دستی و تمام مقطع در طی ۲۴ ساعت حفاری می‌شود، پس از حفر به محض شروع گام جدید، عملیات نگهداری با ۲۵ سانتی‌متر شاتکریت مسلح آغاز می‌گردد [۱].

## ۳- وضعیت کلی زمین‌شناسی تونل مترو خط۳ تهران، محدوده رمپ ۵ و ۹

منطقه در جنوب تهران نسبتاً هموار می‌باشد. وضعیت طبیعی منطقه قبلاً به صورت تپه ماهوری بوده که صاف شده است. مسیرهای رودخانه‌های قبلی و آبراه‌ها توسط خاک پر شده‌اند. وجود خاک دستی در گمانه‌های حفر شده به عمق‌های مختلف این موضوع را اثبات می‌نماید. در برخی قسمت‌ها که خاک جابجا شده دارای بافت شبیه خاک طبیعی است و تشخیص آن عملاً غیرممکن می‌باشد. در جنوب تهران شبکه‌های نامنظمی از قنات‌ها در ترازهای مختلف وجود داشته که امروزه قسمت عمده آنها متروکه شده و ریزش نموده است. شکل ۱ هندسه تونل و شرایط حفر را نشان می‌دهد.

براساس طبقه‌بندی رسوبات تهران، در گزارش‌های سازمان زمین‌شناسی ایران، سیلت‌های رسی کهریزک مربوط به آبرفت‌های Bs منطقه را پوشانده و معادل سازند آبرفتی ناهمگن شمال تهران Bn می‌باشد. این رسوبات در گستره ری و کهریزک بوسیله پوشش نازک و نامنظم رسوبات دانه‌ریز آبرفت‌های کنونی (D) پوشیده شده است. در جدول۱ نتایج مطالعات ژئوتکنیکی و دانه‌بندی در محدوده مورد بحث ارائه شده است [۱].




**شکل ۱- هندسه تونل و شرایط حفر [۱].**

**جدول ۱ - نتایج مطالعات ژئوتکنیکی و دانه‌بندی در محل گمانه ۵ در اعماق مختلف [۱]**

| رس و سیلت | ماسه | شن | نوع نمونه‌گیری | عمق (m) | LL | PI | Cc | D۱۰۰ | D۶۰ | D۳۰ | D۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ٪۶۴/۳۰ | ٪۲۴/۶۷ | ٪۱۱/۰۳ | Spt۱ | ۱-۱/۴۵ | ۲۶ | ۸ | <۱ | ۶/۷۳ | ۰/۰۶۳۱ | ۰/۰۱۱۶ | ۰/۰۰۷۷ |
| ٪۹۹/۷ | ٪۰/۳۰ | ٪۰ | Spt۲ | ۶/۵-۹/۹۵ | ۲۶ | ۱۰ | <۱ | ۰/۴۲ | ۰/۰۲۷۶ | ۰/۰۰۷۹ | ۰/۰۰۶ |
| ٪۹۵ | ٪۳/۸ | ٪۱/۲ | Spt۵ | ۱۱-۱۱/۴۱ | ۳۱ | ۱۳ | <۱ | ۶/۷۳ | ۰/۰۳۰۲ | ۰/۰۰۸۷ | ۰/۰۰۷۴ |
| ٪۸۸/۶ | ٪۹/۷ | ٪۱/۷ | Spt۶ | ۱۴/۵-۱۴/۹۵ | ۳۰ | ۱۲ | <۱ | ۶/۷۳ | ۰/۰۲۳۹ | ۰/۰۰۸۴ | ۰/۰۰۷۴ |

پارامترها از چپ به ترتیب اندازه‌ای از ذرات است که ۱۰٪، ۳۰٪، ۶۰٪، ۱۰۰٪ ذرات از آن کوچکتر است. PI ، LL حد روانی و شاخص خمیری هستند.

نتایج آزمایش سه‌محوری بدون تحکیم و زهکشی UU (رطوبت طبیعی) با سرعت بارگذاری ۰/۱ mm/min و شیر زهکشی باز جهت بدست آوردن مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مطابق با رابطه موهر-کلمب برابر ۰/۲۲ Kg/cm2 و ۳۷/۵ درجه بدست آمده‌اند. خلاصه پارامترهای مقاومتی خاک طبیعی قابل استفاده در محاسبات در جدول ۲ ارائه شده است. حین آزمایش تحکیم برخی از نمونه‌های خاک طبیعی، فشار تورمی حدود ۲۱ Kg/cm را نشان می‌دادند. مقدار ضریب پواسون نیز با شرایط موجود ۰/۴ منظور شده است.

**جدول ۲- نتایج آزمایش‌ها و پارامترهای مقاومتی خاک [۱]**

| تحکیم یافته | | آزمایش برش مستقیم | | تحکیم و زهکشی شده CD | | بدون تحکیم و زهکشی UU | | $\gamma_{dry}\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$ | ω(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cr | Cc | $\phi$ | C | $\phi^0$ | C | $\phi$ | C | | |
| ۰/۰۱۷ | ۰/۱۴۴ | ۴۰ | ۰/۱۲ | ۳۵ | ۰/۱۶ | ۳۷/۵ | ۰/۲۲ | ۱۶۸۰-۱۸۲۰ | ۱۵-۱۹ |

مقدار مدول الاستیسیته نمونه‌ها نیز به روش آزمایشگاهی، $Kg/cm^2$ ۱۸۰ و به روش برجا با آزمایش منارد (Manard)، ۳۱۳ $Kg/cm^2$ بدست آمده و این مقدار مورد استفاده در تحلیل قرار گرفته است. همچنین برای ماسه‌ها و رس‌هایی که بطور عادی تحکیم یافته‌اند K دامنه‌ای بین ۰/۴ و ۰/۵ دارد و مطابق رابطه (۱) تابعی از زاویه اصطکاک داخلی ($\phi$) است. سایر پارامترهای مورد تحلیل درجدول ۳ ارائه شده است که مشخصات مربوط به هندسه تونل، خصوصیات زمین و نگهداری را شامل می‌شود.

$$K = 1 - \sin\phi = 1 - \sin 37.5 = 0.4364 \qquad (۱)$$

**جدول ۳- خصوصیات هندسی و ژئومکانیکی مربوط به تونل و خاک دربرگیرنده [۱]**

| توضیحات | مقدار | توضیحات | مقدار |
|---|---|---|---|
| پارامتر عرض گود (اریلی و نیو ۱۹۸۲) | $K_W$ =۰/۵ | مدول الاسیته خاک (MPa) | E=۱۷/۶۵ |
| افت زمین (بوورز۱۹۹۴ ونایر و تیلور ۱۹۹۸) | $V_L$ =٪۱ | مدول الاسیته بتن (MPa) | $E_C$=۲۰۷۰۰۰ |
| شعاع تونل (m) | R= ۳/۰۲۵ | سختی نگهداری (MPa) | $K_C$ =۱۹۵۶/۰۲ |
| گام پیشروی(m) | X= ۱ | ضخامت بتن (m) | $t_c$ =۰/۲۵ |
| زاویه گود نشست نسبت به خط گذرا از مرکز | $\beta$ = ۰/۸۳ | فشار نگهداری (MPa) | $P_S$ =۱/۹۸ |
| زاویه مربوط به نشست صفر (ساگاستا و اتو ۱۹۸۲) | $\eta$ = ۵۵ | مقاومت تک‌محوری بتن (MPa) | $\sigma_{CC}$ = ۲۵ |

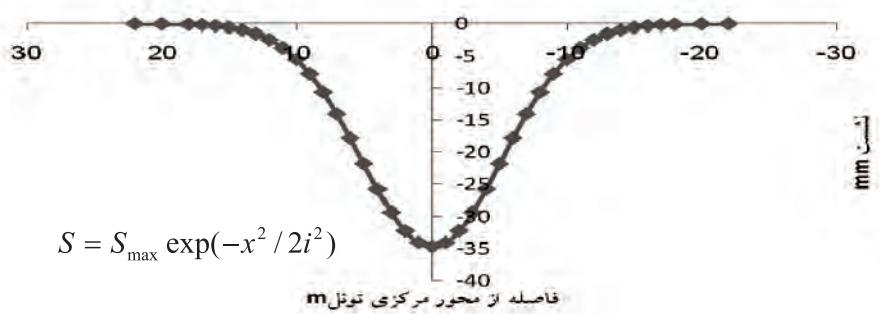
**۴- پیش‌بینی نشست با روابط تئوریک**

با استفاده از مقادیر مناسب بدست آمده برای روابط تجربی (ارائه شده در جدول ۳)، نتایج میزان نشست و همگرایی با استفاده از روابط تجربی موجود، در جدول ۴ ارائه شده است.

**جدول ۴- نتایج تحلیل تئوریک نشست و همگرایی براساس روابط تجربی [۲]**

| توضیحات | | $\lambda$ | نتایج محاسبات |
|---|---|---|---|
| حجم کل نشست زمین (پک۱۹۶۹)- (دبیر۱۹۶۹) | | ۰/۲۴-۰/۲۸۷۷ | $V_S$ |
| کاهش حجم الاستیک (دبیر ۱۹۶۹) | | ۰/۲۴۰۳ | $\Delta V_e$ |
| فاصله نقطه عطف از خط مرکز m (ساگاستا و اتو ۱۹۸۲) | $i/R = \eta \times \left[1.05 \times Z/D - 0.42\right]$ | ۵/۰۹ | $i$ |
| مایر ۱۹۹۸ | $i = \left[0.175 + 0.325(1 - ZZ_{)})\right]Z_0$ | ۵ | $i$ |
| اشمیت ۱۹۸۱ | $\frac{i}{R} = (\frac{z_o}{2R})^{0.8}$ | ۴/۵۲ | $i$ |
| پک ۱۹۶۹ | $i = R(Z/D)^{0.8}$ | ۴/۵۲ | $i$ |
| اویلی نیو ۱۹۸۲ | $i = 0.43Z_0 + 1.1 \Rightarrow for 3 \le Z_0 \le 34m$ | ۵ | $i$ |
| پک ۱۹۶۹ (mm) | $S_{\max} = 0.0126V_L(R)(Z_0/2R)^{0.8}$ | ۴۳/۳ | $S_{\max}$ |
| پک (mm) | $S = S_{\max}\exp(-x^2/2i^2)$ | ۳۹/۸ | $S_{\max}$ |
| رانکین (mm) | $S_{\max} = 0.0126V_L R^2/i$ | ۲۵/۹ | $S_{\max}$ |
| پنت ۱۹۹۵(mm) | | ۶/۵-۷/۲ | $U$ |
| درصد ترخیص تنش قبل از نصب نگهداری(گام پیشروی ۱ متر) پنت ۱۹۹۵ | | ٪۳۹ | $\lambda$ |

$\eta$ :در جدول ۳ توضیح داده شده است.




**شکل ۲- منحنی نشست طبق رابطه تجربی پک ۱۹۶۹**

تغییرات فشار نگهداری و جابجایی دیواره براساس رابطه پنت (Panet) ۱۹۹۵ در جدول ۵ ارائه شده است [۳ و ۴].

$$U_r = \left[\frac{R^2}{r}\right]\left[\frac{1+\nu}{E}\right]\left(P_V - P_S\right) \quad (۲)$$

که روی دیواره PS ، R=r و PVفشار نگهداری و فشار روباره می‌باشد.

$$P_{Sc\max} = \sigma_{CC}\Big/2\left[1-\left(r_i - t_c\right)^2\Big/r_i^2\right] = 10\left[1-\left(3.025-0.25\right)^2\Big/3.025^2\right] = 1.58Mpa \quad (۳)$$

$$K_C = \frac{E_C\left[\left(r_i^2-(r_i-t_C)^2\right]\right.}{\left(1+\nu_C\right)\left[\left(1-2\nu_C\right)r_i^2+\left(r_i-t_C\right)^2\right]} = 1956.02Mpa \quad (۴)$$

$$U = U_{io} + {P_{SC}}^* r_i\Big/K_C = 4.75 + 2.45 = 7.20mm \quad (۵)$$

**جدول۵-تغییرات همگرایی برحسب تغییرات فشار نگهداری بر اساس رابطه (۲)**

| $P_{SC.Support}$(MPa) | ۰ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷۵ | ۱ | ۱/۲۵ | ۱/۵ | ۱/۷ | ۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U$(mm) | ۵۵/۳ | ۴۵/۶ | ۳۹ | ۳۱ | ۲۲/۸ | ۱۴/۶ | ۶/۵ | ۳ | ۰/۰۶ |

روابط تئوری جهت محاسبه نشست در جلو و پشت جبهه‌کار به صورت زیر می‌باشد[۳].

$$\begin{aligned} U_a &= U_0 + A_a\left[1-\exp\left(-B_a X\right)\right] \\ A_a &= -0.22\nu - 0.19 \\ B_a &= 0.73\nu + 0.81 \end{aligned} \quad (۶)$$

بطور تئوریک بایستی $U_a$ به ازای مقادیر بزرگ $X = |x|\big/R$، به صفر برسد، برای این منظور باید $A_a = -U_a$ یا برابر رابطه بالا شود. $B_a$ ثابت وابسته به ضریب پواسون است و از تحلیل آماری نتایج حاصل می‌شود. روابط برای پشت سطح پیشروی نیز با $r^2 = 0.9987$ به‌صورت زیر ارائه شدند[۳].

$$\begin{aligned} U_b &= U_0 + A_b\left[1-\left(B_b\big/B_b + X\right)^2\right] \\ A_b &= -0.22\nu - 0.81 \\ B_b &= 0.39\nu + 0.65 \end{aligned} \quad (۷)$$

تاکنون تعدادی تحقیقات با محوریت تخمین مقدار نرمال شـده ($U_r\big/U_r^{\infty} = LDP$) یا اثر آن بر تنش‌های هیدرواستاتیک منطقه اطراف تونل دایره‌ای انجام گرفته که باعث پیشنهاد روابط زیر برای مناطق پشت سطح پیشروی توسط پنت (۱۹۹۳) و گیونت (Giunet) (۱۹۸۲) بر پایه تحلیل المان محدود گردید [۴].

$$\frac{U_r}{U_r^{\infty}} = 0.28 + 0.72\left[1 - \left(\frac{0.84}{0.84 + x/R}\right)^2\right] \qquad (۸)$$

که $x \geq 0$ فاصله از سطح پیشروی است. کوربتا (Corbetta) و همکارانش (۱۹۹۱) بر پایه تحلیل کرنش الاستیک، رابطه تجربی متفاوتی را ارائه کردند [۳].

$$\frac{U_r}{U_r^{\infty}} = 0.29 + 0.71\left[1 - \exp\left(-1.5\, x/R\right)^{0.7}\right] \qquad (۹)$$

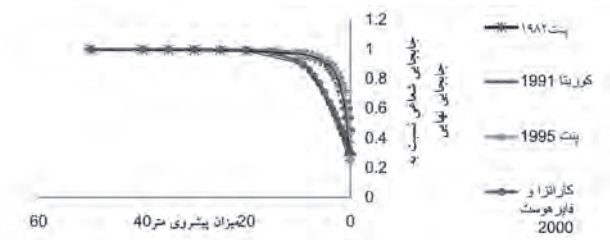
و در سال ۱۹۹۵ پنت رابطه جایگزین دیگری را پیشنهاد نمود [۳].

$$\frac{U_r}{U_r^{\infty}} = 0.25 + 0.75\left[1 - \left(\frac{0.75}{0.75 + x/R}\right)^2\right] \qquad (۱۰)$$

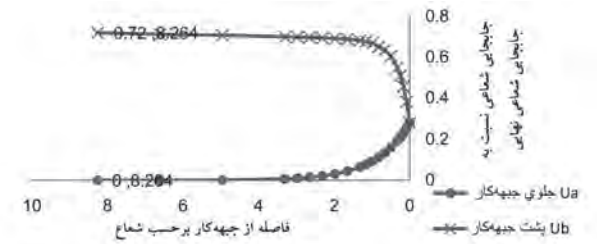
کارانزا تورس (Carranza) و فایرهوست (Fairhurst) (۲۰۰۰) یک رابطه تجربی بر پایه تحقیقات هوک (Hoek)، برای تخمین مقدار نرمال شده LDP، در مناطق جلوی سطح پیشروی $x \leq 0$ و پشت سطح پیشروی $x \geq 0$ تونل ارائه دادند [۳].

$$U = \frac{U_r}{U_r^{\infty}} = \left[1 + \exp\left(\frac{-x/R}{1.10}\right)\right]^{-1.7} \qquad (۱۱)$$

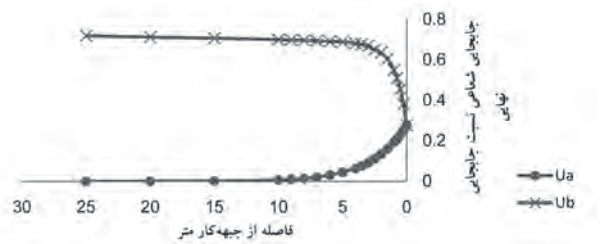
بایستی یادآوری نمود که روابط ۵، ۶ و ۷ برای رفتارهای الاستیک و رابطه ۸ برپایه اطلاعات صحرایی انجام شده توسط چرن و همکارانش (Chern) (۱۹۹۸) می‌باشد. طبق روابط، تغییرات نسبت U جابجایی در امتداد جهت طولی تونل تحت تاثیر فاصله بر حسب شعاع ($x/R$) تونل است. در روابط بالا مقدار پیش دگرشکلی الاستیک ($U_0$) از ۰/۲۵ تا ۰/۳۰۸ متغیر است که با مقادیر گزارش شده توسط سایر پژوهشگران تطابق دارد.
نکته حائز اهمیت اینکه تاکنون رابطه‌ای ارائه نشده است که مقدار پیش‌دگرشکلی الاستیک ($U_0$) را نیز مدنظر قرار دهد[۴]. شکلهای ۳، ۴ و ۵ نتایج تحلیل مقطع مورد نظر را نشان می‌دهند




**شکل ۳- تاثیر پیشروی بر روی نسبت جابجایی شعاعی به جابجایی نهایی در نقطه‌ای پشت سینه‌کار در محدوده رمپ ۵ مترو خط ۳ تهران**




**شکل ۴- تاثیر پیشروی برحسب شعاع بر روی جابجایی نرمال شده در پشت و جلوی سینه‌کار در محدوده رمپ ۵ مترو خط ۳ تهران**




**شکل ۵- تاثیر پیشروی برحسب متر بر روی جابجایی نرمال شده در پشت و جلوی سینه‌کار در محدوده رمپ ۵ مترو خط ۳ تهران**

جابجایی شعاعی در پشت سطح پیشروی افزایش می‌یابد و به سرعت به مقدار مفروض کرنش صفحه‌ای ($U_r^{\infty}$) در فاصله مشخصی از سطح پیشروی (شکل۴) که تقریباً در فاصله ۳ برابر قطر (دقیقاً ۵/۷ برابر شعاع) تونل می‌رسد و در فاصله ۳ برابر شعاع یا ۱/۵ برابر قطر در جلوی سینه‌کار به مقدار صفر برای این تونل می‌رسد.

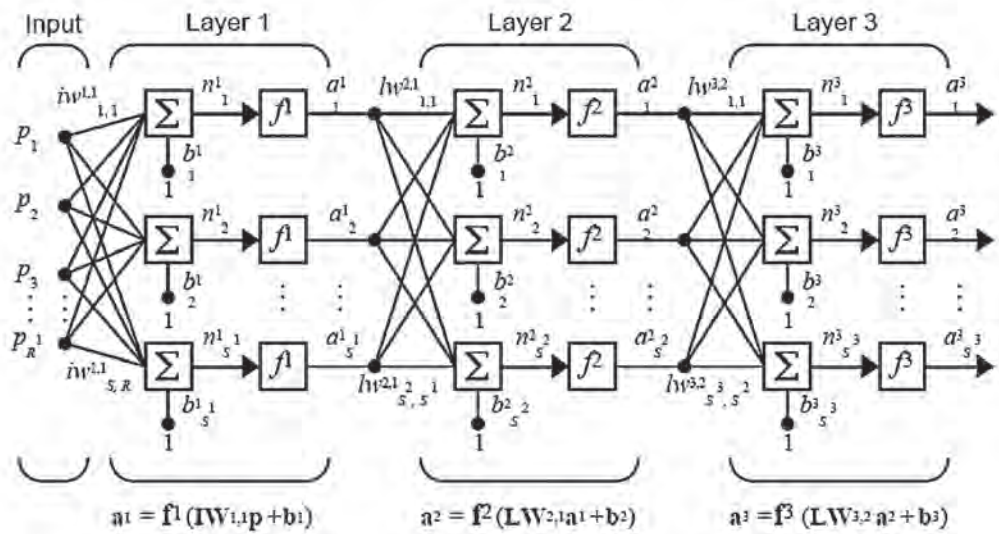
## ۵- شبکه‌های عصبی مصنوعی

### ۵-۱- کلیات

شبکه‌های عصبی را می‌توان با اغماض زیاد، مدل‌های الکترونیکی از ساختارهای عصبی مغز انسان نامید. نظر عموم کارشناسان تکنولوژی اطلاعات بر آن است که مدل‌های جدید محاسباتی که براساس شبکه‌های

عصبی بنا می‌شوند، جهش بعدی صنعت تکنولوژی اطلاعات را شکل می‌دهند. فرآیند ذخیره‌سازی اطلاعات به صورت الگو تجزیه و تحلیل مربوطه، اساس روش نوین محاسباتی را تشکیل می‌دهد. این حوزه از دانش محاسباتی به هیچ وجه از روش‌های برنامه‌نویسی سنتی استفاده نمی‌کند و به جای آن از شبکه‌های بزرگی که به صورت موازی آرایش شده‌اند و تعلیم یافته‌اند، بهره می‌جوید. اطلاعات به صورت متن توسط شبکه‌های عصبی پردازش می‌شوند. براین اساس چناچه بخشی از سلول‌ها شبکه حذف شوند و یا عملکرد نادرستی داشته باشند باز هم احتمال رسیدن به پاسخ صحیح وجود دارد. اگر چه این احتمال برای تمام ورودی‌ها کاهش یافته ولی برای هیچ یک از بین نرفته است [۵].

ساختار اتصالات در یک شبکه، شامل اتصالات درون لایه‌ای و برون لایه‌ای است. رفتار شبکه نیز شدیداً وابسته بین اجزاء است. در حالت کلی، در شبکه‌های عصبی، سه نوع لایه نرونی (لایه ورودی، لایه‌های پنهان، لایه خروجی) وجود دارد. هر سه لایه از یک شبکه، به وسیله وزن‌ها و در واقع اتصالات با هم ارتباط می‌یابند. در شبکه‌های عصبی، در مجموع چهار نوع اتصال و یا پیوند وزنی وجود دارد؛ پیشرو، پسخور، جانبی و تأخیر زمانی.
در سال ۱۹۸۶ تحول مهم علم شبکه عصبی همراه با الگوریتم پس انتشار خطا (Back Propagation Error) روی داد. این روش آموزش که توسط رمرهات (Rummerhurt) ابداع گردید خلأ بزرگ آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه را مرتفع ساخت [۶].




**شکل ۶- ساختار نمونه از شبکه‌عصبی با چندین لایه [۶]**

یکی از ملاحظات مهم در شبکه‌های عصبی مصنوعی، استفاده مناسب از الگوریتم‌های یادگیری (Learning Algorithm) است. مسیر کلی الگوریتم یادگیری به این صورت است: به وزن‌ها مقدار اولیه داده می‌شود و پارامترهای دیگر به صورت تصادفی مقدار می‌گیرند. سپس بردار ورودی و خروجی مورد نظر خوانده شده و خروجی واقعی با محاسبات رو به جلو از میان لایه‌ها محاسبه می‌گردد. وزن‌ها از طریق محاسبات معکوس از لایه خروجی به لایه‌های پنهان، تغییر می‌یابند. این رویه برای کل مجموعه بردارهای ورودی تا زمانی که خروجی‌های واقعی و مورد نظر با خطایی از پیش تعیین شده مورد توافق قرار گیرند، تکرار می‌شود. گاهی اوقات، بسته به وزن‌های تصادفی اولیه و پارامترهای شبکه، شبکه به سطح کارایی رضایت بخشی نخواهد رسید. در این صورت، باید وزن‌های تصادفی جدید تولید شوند و ممکن است نیاز باشد قبل از آموزش مجدد پارامترها، شبکه نیز مجدداً تنظیم شود [۵].

**۵-۲- پیش‌بینی نشست با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی**

شبکه‌های عصبی به دلیل انعطاف و قابلیت یادگیری بالا، بعنوان سیستم‌های یادگیر، دارای توانایی هستند که از گذشته بیاموزند و رفتار خود را حین یادگیری بهبود بخشند. لذا می‌توان از این تکنیک به منظور پیش‌بینی نشست متناسب با خصوصیات هندسه تونل و خواص ژئومکانیکی زمین پیرامون تونل کمک گرفت. با بکار بردن این تکنیک و با استفاده از موارد اجرایی مشابه، شبکه جهت تعیین الگوی مناسب آموزش یافته و در محل اجرا با توجه به پارامترهای ساختگاه فضا، نشست حداکثر پیش‌بینی می‌شود.
داده‌های مورد نیاز بر حسب نوع مسأله می‌تواند با روش‌هایی مانند استفاده از داده‌ها و آمارهای موجود، انجام آزمایشات و استفاده از نرم‌افزارها تولید گردید. اطلاعات جمع‌آوری شده علاوه بر داده‌های تونل خط ۳ مترو تهران، مربوط به ۵۱ مورد است که شامل تعدادی از تونل‌های سایر خطوط مترو تهران، کرج، اهواز، تبریز، استانبول، هیت تاون و چندین تونل دیگر می‌باشد که به لحاظ عمق، جنس خاک و روش حفاری تقریباً مشابه‌اند. به منظور

تهیه مدل، در ابتدا فاکتورهای مؤثر موجود در ارتباط با نشست تعیین شده و سپس از داده‌های رفتارنگاری نشست نیز استفاده می‌گردد.
در جمع‌آوری داده‌ها، انتخاب پارامترهای ورودی شبکه بایستی مورد توجه قرار گیرد. در صورتیکه پارامترهای ورودی شبکه به درستی انتخاب شوند، با در اختیار داشتن موارد لازم برای آموزش شبکه و استفاده از الگوریتم آموزشی مناسب، شبکه قادر خواهد بود روابط پیچیده بین ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه را به خوبی فراگیرد. این در حالی است که ارائه نتایج توسط این شبکه‌ها به سرعت انجام می‌گیرد. همچنین استفاده و روش‌کار نیز بسیار راحت‌تر از حل فرمول‌های پیچیده خواهد بود. به عبارتی نتیجه و هدف بایستی متأثر از پارامترهای ورودی انتخاب شده باشد تا بتواند با توجه به داده‌های آموزشی وارد شده حین یادگیری، بهترین ارتباط را بین پارامترها برقرار نموده و مناسب‌ترین جواب را تخمین بزند.
در تحقیقی که برای پیش‌بینی میزان همگرایی تونلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفته است؛ چسبندگی، زاویه اصطکاک، مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری تک‌محوره از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر میزان همگرایی تونل شناخته شده‌اند [۷].
همان‌طور که گفته شد اطلاعات مورد استفاده، شامل کلیه پارامترهایی مؤثر موجود در مسئله مورد نظر و پارامترهای که هدف بدست آوردن آنها است، می‌باشد. پارامترهایی که برای تغذیه و استفاده در مدل‌سازی رفتار زمین حین حفاری و پیشروی تونل در نظر گرفته شده است، ۵ پارامتر – قابل دسترس- بعنوان عوامل مؤثر در ارتباط با نشست می‌باشد (استفاده از نسبت Z/D). این پارامترها در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

**جدول ۶- معرفی پارامترهای ورودی و پارامتر هدف در مدل‌سازی**

| توصیف پارامتر ورودی | چسبندگی | زاویه اصطکاک | مدول الاستیسیته | قطر تونل | روباره | نشست |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره ورودی - خروجی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | خروجی |

کلیه پارامترهای ورودی بایستی به صورت عددی باشند و بزرگی مقادیر تخصیص یافته، تأثیری در مسیر مدل‌سازی با شبکه‌عصبی ندارد، زیرا در یافتن جواب بهینه توسط مدل ساخته شده، شبکه بر مبنای تغییر و تنظیم مقادیر وزنی و بردارهای بایاس عمل می‌کند. به منظور مدل‌سازی نشست با استفاده از شبکه‌عصبی، در اولین گام داده‌ها به سه بخش داده‌های آموزشی و آزمون و اعتبارسازی تقسیم می‌گردد. ٪۲۵ داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب و در مجموعه داده‌های آزمون قرار گرفته، ٪۲۵ داده‌ها در مجموعه داده‌های اعتبارسازی و ٪۵۰ داده‌ها نیز جهت آموزش شبکه برای مدل‌سازی به کار گرفته شده است.
هدف از آموزش شبکه عصبی، تعیین پارامترهای بهینه شبکه از قبیل تعداد لایه‌ها، نرون‌های لایه‌های مخفی، تابع انتقال لایه‌ها و مقادیر وزن‌ها برای دستیابی به بهترین شبکه جهت مدل‌سازی تابع هدف است.
قانون یادگیری در واقع روندی است که توسط آن ماتریس وزن‌ها و بردار بایاس شبکه عصبی، تنظیم می‌شوند. هدف قانون یادگیری، آموزش شبکه‌عصبی جهت کار مشخصی است. شبکه‌های عصبی در حین آموزش، پس از هر تکرار الگوریتم یادگیری، از محیط، شرایط و هدف کار خود بیشتر مطلع می‌گردند. از آنجا که مقدار خروجی متناظر با بردار ورودی تعیین شده و مشخص است و در شبکه وارد می‌شود بهترین نوع یادگیری از نوع یادگیری با ناظر است. در میان قوانین یادگیری با ناظر، الگوریتم پس انتشار خطا از طریق لایه‌های شبکه و در خلاف مسیر ارتباطی وزن نرون‌ها، مقدار خطای حاصل از محاسبه رفت را در مسیر برگشت توزیع کرده، با ایجاد یک روش محاسباتی کارا، کاربرد ANNS در محاسبات مهندسی را بطور قابل توجهی تقویت و وسیع کرده است. با توجه به معلوم بودن تابع هدف و استفاده از یادگیری با ناظر، بهترین قانون جوابگوی این سیستم، پس انتشار خطا محسوب می‌شود که در نتیجه در این تحقیق بعنوان قانون یادگیری شبکه‌ها به کار گرفته شده است.
در مسائل تخمین علوم مهندسی، شبکه‌ها با یک یا دو لایه مخفی و تعداد نرون کافی در لایه‌های مخفی خود مناسب می‌باشند. برای تعیین توابع نرون‌ها با بررسی توابع مختلف مشخص گردید که تابع سیگموئید کارایی مناسبی دارد، لذا از این تابع بعنوان تابع انتقال استفاده گردید [۶].
برای بررسی کارایی شبکه‌ها با معماری متفاوت و مقایسه آنها با هم و قضاوت در انتخاب بهترین شبکه، نیاز به معیاری است که بر اساس آن بتوان کارایی شبکه را مورد بررسی قرار داد به این منظور از مقادیر خطاها استفاده می‌شود.
خطای مطلق (Ea): این خطا نشان‌دهنده مقدار خطا در کل مجموعه مورد نظر است. هر چه مقدار این خطا کمتر باشد، نشان از تفاوت کمتر بین داده‌های تخمین زده شده توسط مدل و داده‌های واقعی دارد.

$$E_a = |M_B - P_B| \qquad (۱۲)$$

که MB = میانگین مقادیر نشست اندازه‌گیری شده، PB = میانگین مقادیر نشست تخمین زده شده است.
درصد خطای مطلق (Er) که شاخص بیان کننده درصد خطا در کل مجموعه مورد نظر و برابر است با:

$$E_r = \left(\frac{|M_B - P_B|}{M_B}\right) \times 100 \qquad (۱۳)$$

جذر متوسط مربعات خطا (RMSE): این شاخص نیز نشان دهنده متوسط خطا بین نتایج بدست آمده از آنالیزها و خروجی مدل‌ها می‌باشد، با این تفاوت که تمرکز بیشتری بر روی خطاهای بزرگتر دارد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{N}(O_i - T_i)^2}{N}} \qquad (۱۴)$$

که Oi ، Ti به ترتیب مقدار تخمین زده شده و مقدار واقعی اندازه‌گیری شده است و N نیز تعداد زوج داده‌های موجود می‌باشد. هرگاه مقدار خطای مقادیر واقعی و تخمین زده شده از خطای شبکه کمتر باشد، نشان از مناسب بودن معماری شبکه و مراحل آموزش آن دارد. به عبارتی بیانگر آن است که شبکه با مقدار خطای گفته شده بهترین جواب ممکن را برای مدل‌سازی تابع هدف، تخمین می‌زند [۶].

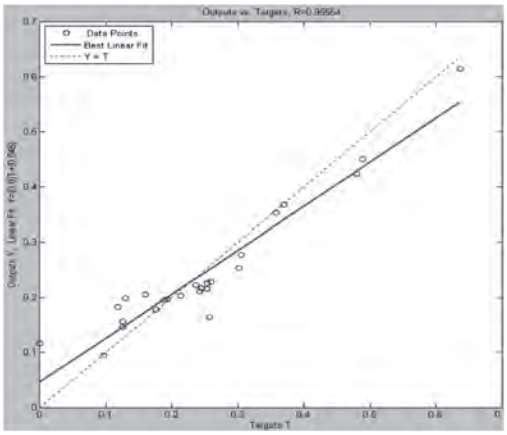
در نهایت شبکه بهینه بدست آمده در این تحقیق، شبکه‌ای با یک لایه مخفی با تعداد ۱۷ نرون می‌باشد و بهترین تابع انتقال آن، تابع انتقال Logsig می‌باشد که با سعی و خطا بدست آمده که ضریب همبستگی در بخش آموزش ۰/۹۵۵، آزمون ۰/۹۶۸، اعتبارسنجی ۰/۹۷۸ و کل داده‌ها ۰/۹۶۷ می‌باشد. جدول ۷ مشخصات شبکه را توصیف می‌کند. به منظور استفاده بهینه از روش شبکه‌های عصبی، از اطلاعات مربوط به ۵۲ تونل که به لحاظ روش حفاری، هندسه تونل و جنس زمین مشابه می‌باشند، استفاده شده است که این امر باعث بالا رفتن ضریب همبستگی، کاهش خطا و نزدیک شدن نتایج به واقعیت می‌شود. البته آنچنان که در مقدمه ذکر شد تعدادی از خصوصیات روش حفاری از قبیل گام حفاری، زمان ترخیص تنش و فشار نگهداری در داده‌های ورودی لحاظ نشده است.

**جدول ۷- مشخصات شبکه عصبی مورد استفاده**

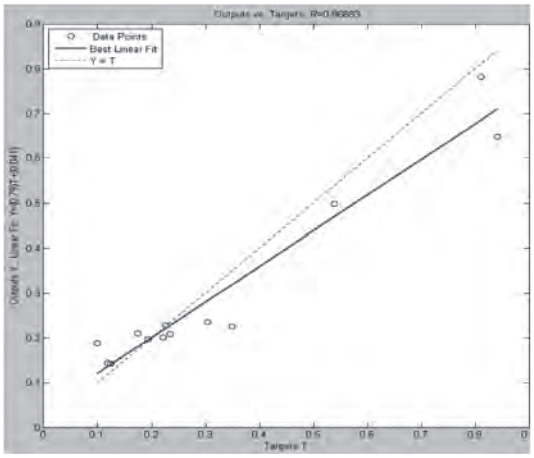
| ساختار شبکه | تابع انتقال | $E_r$ | $E_a$ | RMSE |
|---|---|---|---|---|
| ۳-۱۷-۱ | L-T-P | ۰/۲۰۵۹ | ۰/۰۰۶۴۶ | ۰/۱۴ |

ساختار شبکه عصبی مورد استفاده برای پیش‌بینی نشست تونل خط ۳ مترو تهران در جدول ۷ ارائه شده است.

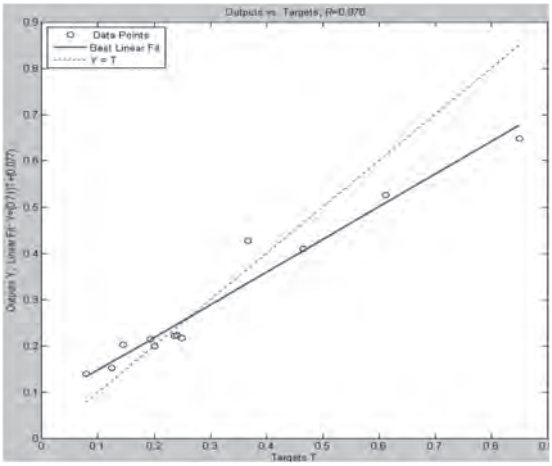
شکلهای ۷ الی ۱۰ به ترتیب ارزیابی بین نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی توسط شبکه عصبی در مجموعه داده‌های آموزش، آزمون، اعتبارسازی وکلیه داده‌ها را نشان می‌دهند.



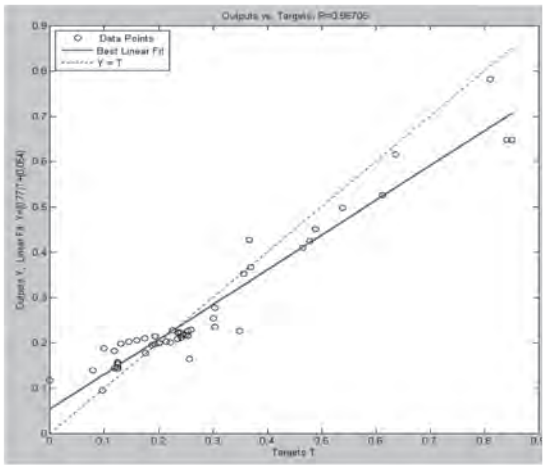

**شکل ۷- ارزیابی نتایج حاصل از شبکه‌عصبی و داده‌های واقعی در مجموعه داده‌های آموزش (خط ۳ مترو تهران)**




**شکل ۸- ارزیابی نتایج حاصل از شبکه‌عصبی و داده‌های واقعی در مجموعه داده‌های آزمون (خط ۳ مترو تهران)**




**شکل ۹- ارزیابی نتایج حاصل از شبکه‌عصبی و داده‌های واقعی در مجموعه داده‌های اعتبارسازی (خط ۳ مترو تهران)**




**شکل ۱۰- ارزیابی نتایج حاصل از شبکه‌عصبی و داده‌های واقعی در مجموعه کل داده‌ها (خط ۳ مترو تهران)**

با توجه به نتایج بدست آمده از شبکه عصبی که نشست را برابر با ۳۰/۵۳۴ میلیمتر با خطای ۰/۱۴ و ضریب همبستگی ۹۶/۷٪ پیش‌بینی کرده است، می‌توان گفت که شبکه عصبی مصنوعی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی نشست در تونل‌های کم‌عمق مترو در محیط‌های رسوبی می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از روش‌های تجربی و شبکه‌عصبی با مقدار واقعی نشست در جدول ۸ ارائه شده است.

**جدول ۸- مقادیر بدست آمده نشست حداکثر توسط روشهای مختلف**

| میزان نشست (mm) | | |
|---|---|---|
| مقدار واقعی | روش تجربی | شبکه عصبی |
| ۳۳/۶۵ | (پک ۱۹۶۹) ۳۵/۱ | ۳۰/۵۳۴ |

## ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همان‌طوری که در جدول ۸ مشاهده می‌شود نتایج بدست آمده از روابط تجربی و شبکه عصبی مصنوعی، اختلاف ناچیزی با واقعیت دارند که علت آن را می‌توان در عدم اعمال گام پیشروی، مدت زمان ترخیص تنش تا نصب نگهداری، فشار سیستم نگهداری و برخی پارامترهای اساسی خاک در روابط تجربی دانست. همچنین نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهند که شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند بعنوان ابزاری مناسب در جهت پیش‌بینی نشست تونل‌های متروی تهران استفاده شوند.

شایان ذکر است که در صورت وجود اطلاعات کافی (عدم اضافه نمودن داده‌های سایر تونل‌های مورد مطالعه و صرفاً بکارگیری داده‌های تونل مترو خط ۳) شبکه عصبی دارای جواب دقیق‌تری خواهد بود.

برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد تا از تمام داده‌های یک پروژه استفاده شده و همچنین گام پیشروی و فشار سیستم نگهداری به همراه زمان ترخیص تنش نیز اعمال شوند تا بتوان نتایج دقیق‌تری از شبکه عصبی حاصل نمود.

در نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، قابلیت اینکه روابط و نحوه واردسازی اطلاعات توسط کاربر انجام پذیرد وجود دارد، می‌توان از مدل‌های لگاریتمی، توانی و غیره این نرم‌افزار بطور تلفیقی با شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمود تا ضریب همبستگی و خطا بهبود یابد.

برای تعیین میزان تاثیر هر یک از پارامترهای ورودی در مقادیر نشست سطحی، آنالیز حساسیت با استفاده از شبکه‌های عصبی موجود در نرمافزار SPSS می‌تواند کمک شایان توجهی نماید.

## ۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، از مساعدت بی‌دریغ جناب آقای دکتر کاوه آهنگری مدیر گروه کارشناسی ارشد مهندسی معدن دانشگاه علوم و تحقیقات تهران و آقایان مهندس عباسی و مهندس مهری در شرکت جهاد توسعه منابع آب کمال تشکر را دارند.

## ۸- مراجع

۱-گزارش زمین‌شناسی و نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی مربوط به پروژه خط ۳ مترو تهران در محل انتهای پارکینگ خواجه‌وند-رمپ۵، ۱۳۸۷

۲-وفائیان، محمود، الگوی دگرشکلی‌های خاک بر اثر احداث تونل دایره‌ای در آن، هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۲).

3-Unlu T, Gercek H. 2003 Effect of Poisson’s ratio on the normalized radial displacements occurring around the face of a circular tunnel, Department of mining engineering, Zonguldak Karaelmas University, Turkey.

4-Descoudres F. 1974 Analyse tridimensionelle de la stabilite´ d’un tunnel au voisinage du front de taille dans une roche e´lastoplastique. Advances in Rock Mechanics, Proceedings of the 3rd International Congress on Rock Mechanics, ISRM, Vol. 2, pp.1130–1135.

5- Hagan, M.T., Bemath, H.B., Bael, M., Neural Networks Design, Pws Newyork, pp. 1-50

6- Demuth, H., Beal, M., Neural Networks Toolbox User Guide, the Math Works. Inc, Natick, mass, 2001.

7- S. Mahdevari, S.R. Torabi. 2012, Prediction of tunnel convergence using Artificial Neural Networks, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 28, March 2012, Pages 218-228.

# مکانیسم تغییر شکل و فرآیند حفاری در محل تقاطع فضاهای بزرگ در مسیر سنگ‌های نرم و عمیق

علی‌نقی دهقان *[۱]، حمیدرضا دهقان [۲]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک سنگ و عضو باشگاه پژوهشگران جوان،
دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، a.dehghan@srbiau.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان،

**متن حاضر ترجمه مقاله زیر است:**

Li, G., He, M., Zhang, G., and Tao, Z., 2010, "Deformation mechanism and excavation process of large span intersection within deep soft rock roadway", In: Mining Science and Technology, No. 20, pp. 28-34.

**چکیده**

*نرم افزار FLAC3D برای شبیه‌سازی و تحلیل عددی جابجایی‌ها، تنش‌ها، و مشخصات توزیع زون پلاستیک در محل تقاطع یک فضای بزرگ در مسیرسنگ‌های نرم و عمیق بعد از عملیات حفاری در سنگ استفاده شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که دو عامل بر روی پایداری مسیر در نقاط محل‌های تقاطع تاثیر گذار می‌باشد، یکی زاویه میان تنش افقی و امتداد محوری از مسیر و دیگری زاویا در نقاط محل تقاطع می‌باشد. این نتایج بر پایه مطالعاتی می‌باشد که به صورت زیر انجام شده است: اول; مکانیزیم شکست در محل یک تقاطع فضای بزرگ تحلیل گردید و سپس یک مدل مکانیکی از یک ستون سنگی در یکی از نقاط محل تقاطع ایجاد گردید.*

*در پایان این تحلیل، مشخصه‌های شکست از قسمت‌های بحرانی در محل تقاطع فضای بزرگ بدست آمد. با توجه به بدست آمدن این مشخصه‌ها از مکانیزم شکست، یک روش نگهداری جدید، بعنوان مثال، تکنولوژی کنترل دوبل بولت (DBCT) پیشنهاد گردید. بوسیله روش شبیه‌سازی عددی، DBCT می‌تواند بطور موثر تغییر شکل سنگ‌های اطراف فضای حفاری شده را در محل نقاط تقاطع مسیر کنترل کند.*

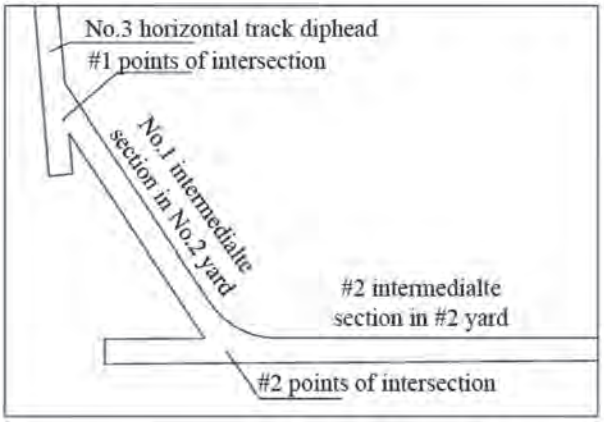
***کلمات کلیدی:*** *عمیق، سنگ نرم، محل تقاطع، شبیه سازی عددی*

۱- مقدمه

افزایش تقاضا برای انرژی و عمق معدنکاری، همزمان با کاهش تدریجی در منابع (ذخایر) کم عمق اتفاق افتاده است. معادن هم در کشور ما و هم در خارج از کشور به طور تدریجی مجبور به استخراج در نقاط عمیق می‌باشند. با افزایش عمق معدنکاری و تاثیر تنش بالای زمین، بروز مسائل و مشکلات در سنگ‌های نرم جدی‌تر خواهد بود. درجه تخریب اتاق‌های زیرزمینی افزایش پیدا کرده و خطر ایجاد شده (تحمیل شده) روی سنگ‌های اطراف در محل‌های تقاطع فضای بزرگ جدی تر شده و به دنبال آن مشکل نگهداری فضای زیرزمینی خواهیم داشت[۴-۱]. شرایط تنش در سنگ‌های اطراف در فرآیند تونلسازی، به دلیل تمرکز این تنش‌ها پیچیده می‌باشد. بسیاری مسائل و مشکلات به دلیل کمبود بودجه می‌باشد، اما استخراج و تولید به علت عدم توجه به حفظ ایمنی در معرض خطر قرار گرفته است [۱۶-۵]. بنابراین، ما بایستی پایداری سنگ‌های اطراف را تا زمانی که مسیر در دست ساخت می‌باشد، کنترل کنیم. این موضوع یک مشکل مبرم می‌باشد که بایستی به سرعت حل گردد.

## ۲- شرایط زمین‌شناسی

سطح #۳ در معدن #۵ در منطقه Hebi (یک قسمت از مسیر جاده می‌باشد که در عمق ۷۵۵ تا ۷۶۱ متری قرار دارد). ناحیه #۲ مسیری است که پس از عبور از یک محدوده به سطح #۳ متصل می‌شود. ناحیه #۲ زیر رگه زغالی II1 در یک فاصله قائم به رگه زغالی II1 به ضخامت تقریبی ۶ تا ۱۲ متر قرار دارد. مشخصات سنگ‌شناسی ناحیه #۲ مادستون سیلتی و مقداری ماسه‌سنگ می‌باشد. چون مسیر جاده نزدیک به محور ناودیس و در عمق قرار گرفته است، تنش زمین زیاد بوده و دیوار سنگی بشدت متلاشی شده و بنابراین از نظر لیتولوژیک ضعیف می‌باشد. مسیری که ما مورد بررسی قرار دادیم شامل محدوده #۲ و محل تقاطع #۱ در سطح #۳ diphead می‌باشد. کل طول مسیر ۱۴۰ متر می‌باشد. نقشه مسیر در شکل ۱ نشان داده شده است و پروفیل آن در شکل ۲ نشان داده شده است.




شکل ۱: محل تقاطع #۱ و #۲ و پلان مسیر معدن زغال #۵

| Stratum system | Depth (m) | Thick (m) | Histogram | Name | Describe of lithology |
|---|---|---|---|---|---|
| Shanxi Group | 663.23 | 12.00 | | Medium sandstone | Indirect roof,grayish brown medium-grain quartz and feldspar sandrock, rich in dull colour mineral, benefication muscovite-schist, calcareous cement |
| | 675.23 | 3.00 | | Chiltern mudstone | Immediate roof, dark grey or ashblack mudstone,or sandy mudstone, local for sandstone, lithologic dense |
| | 678.23 | 0.30 | | Carbon mudstone | False roof, black or ashblack, easily broken |
| | 678.25 | 8.50 | | $II_1$ coal | Black, massive and mealiness, glassy lustre, gangul interlayer at the bottom of individual coal seam |
| | 686.75 | 2.90 | | Chiltern mudstone | Ashblack mudstone or black sandy mudstone, rich in phytolite, clip coal line, local for medium-grain sandstone and post stone, calcareous cement |
| | 689.65 | 9.04 | | Medium sandstone | Indirect roof,grayish brown medium-grain quartz and feldspar sandrock, contain black mineral and mudstone inclusion |
| | 698.69 | 10.35 | | Chiltern mudstone | Dark gray sandy mudstone, contain phytolite, clip a small amount siderite |
| | 709.04 | 0.30 | | Limestone | Dark gray lime rock, graniphyric, growth feature turn into siderite |
| | 709.34 | 10.30 | | Arenopelitic interbedding | Chief component is ashblack mudstone and dark gray medium-grain sandstone and post stone, mudstone contains bull's-eye |
| | 719.64 | 10.30 | | Limestone | Dark gray lime rock, microcrystalline-phanerocrystalline, rich in zoolite, structure with stylolite line, horizon stabilization |

شکل ۲: پروفیل لایه‌بندی از معدن زغال #۵

مطابق بررسی‌های صحرایی، مسیر به شکل یک ساقه و قوس گرد می‌باشد. ابعاد آنها به صورت زیر می‌باشد:

۱- Track diphead: ۳۸۰۰ میلی‌متر عرض در ۳۴۰ میلی‌متر ارتفاع

۲- Intermediate section بخش میانی #۱ و #۲ در ناحیه #۲: ۳۸۰۰ میلی‌متر عرض در ۳۴۶۰ میلی‌متر ارتفاع

۲- نقاط تقاطع #۱ و #۲: ۷۷۰۰ میلی‌متر عرض و ۵۲۰۰ میلی‌متر ارتفاع.

## ۳- آنالیز شبیه‌سازی عددی

### ۳-۱- مدل هندسی زمین‌شناسی

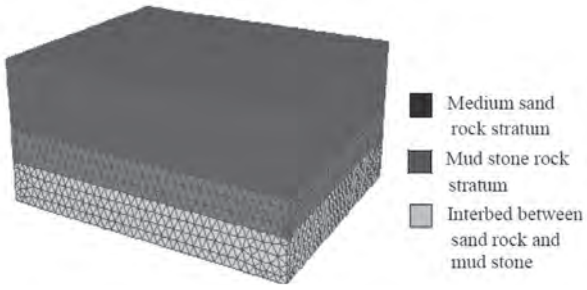
بدین ترتیب برای درک بهتر از شرایط بعد از حفاری محل تقاطع فضای بزرگ، به وسیله مطالعه بیشتر از مکانیسم تغییرشکل در دو نقطه از محل تقاطع، توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها از ناحیه #۲ شبیه‌سازی شده است. یک مدل سه بعدی به وسیله دو نرم‌افزار ANSYS و Flac۳D برای شبیه‌سازی حالت دینامیکی بعد از مسیر حفاری شده، ساخته شده است.

مدل از یک عدد بزرگی از المان‌های تترائدری که شامل ۲۳۹۳۵۳ گره (تقریباً ۲۴۰۰۰) و ۱۳۰۷۲۹ المان (تقریباً ۱۳۱۰۰۰) ساخته شده است. عرض مدل (محور x) ۵۶ متر، طول آن (محور y) ۷۰ متر و ارتفاع آن (محور z) ۳۰ متر است.

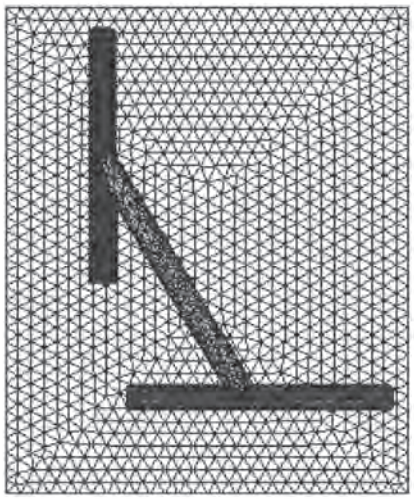
جابجایی افقی مدل در هر دو کناره مدل به صفر ثابت شده و همچنین در کف مدل نیز این کار انجام شده است. سطح بالایی مدل به عنوان یک مرز فشاری در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب برای شبیه‌سازی کردن وزن مرده توده‌سنگ بالای مسیر، یک بار به مقدار ۱۷/۶۴ مگاپاسکال برروی مدل اضافه شده است. معیار مقاومتی مورد استفاده برای مواد مور- کولمب می‌باشد.

جدول ۱ پارامترهای مکانیکی و فیزیکی از توده‌سنگ را نشان می‌دهد.

ضریب تنش جانبی (امتدادافقی) ۰/۸۵ و بار ۱۵ مگاپاسکال می‌باشد که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.




**شکل ۳: مدل مهندسی زمین شناسی**



**شکل ۴: مدل مسیر در نقاط محل تقاطع #۱ و #۲ در ناحیه #۲**

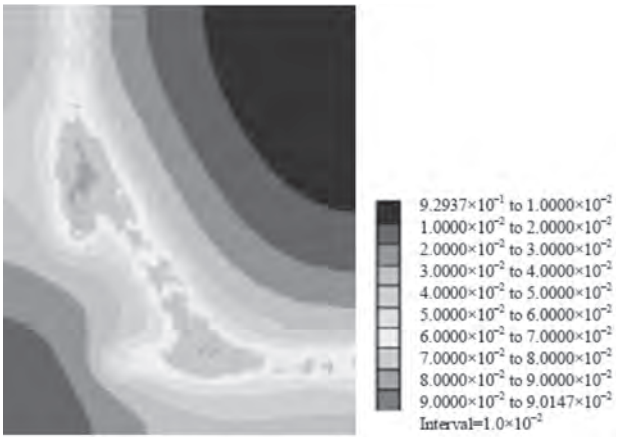
**جدول ۱: پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مهندسی توده سنگ در معدن زغال #۵**

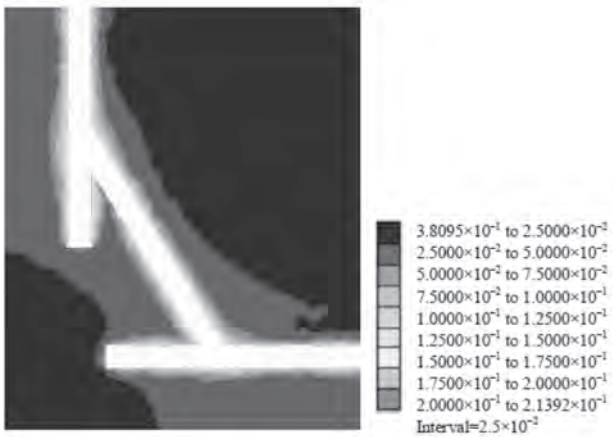
| No. | Mark | Name of lithologic | Bulk density (kg/m³) | Bulk modulus (GPa) | Shear modulus (GPa) | Tensile strength (MPa) | Cohesive strength (MPa) | Internal friction angle (°) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ■ | Medium sand | 2640 | 3.6 | 3.1 | 2.6 | 3.0 | 36 |
| 2 | ■ | Mud stone | 2230 | 1.2 | 2.6 | 0.133 | 0.52 | 23 |
| 3 | ■ | Sandy mud | 2550 | 1.4 | 2.3 | 1.56 | 2.0 | 30 |

### ۳-۲- آنالیز شبیه‌سازی عددی

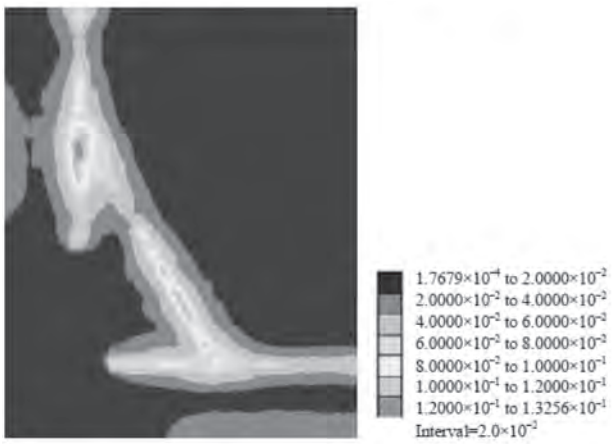
۳-۲-۱- آنالیز توزیع مناطق جابجایی‌ها

شکل ۵ توزیع مناطق جابجایی بر پایه نتایج شبیه‌سازی عددی بعد از حفاری مسیر را نشان می‌دهد. با توجه به مناطق جابجایی می‌توان دید که توزیع جابجایی بین سقف و کف در نقطه #۱ در محل تقاطع، بزرگتر از نقطه #۲ است و مقدار جابجایی آن نیز بزرگتر از نقطه #۲ که بوسیله داده‌های رفتارنگاری که بعداً اندازه‌گیری شده است می‌باشد. علاوه بر آن جابجایی NBZ (ستون سنگی در چهاراه‌های مسیر) در نقطه #۱ محل تقاطع بزرگتر از نقطه #۲ است (بطوریکه محدوده‌ای از جابجایی طولی از نقطه #۱ محل تقاطع است). از این تحلیل مشخص می‌شود که محدوده توزیع مناطق جابجایی اطراف سنگ احاطه‌کننده در طول مسیر Track diphead بطور واضح بزرگتر از ناحیه افقی است.




(b) Displacement at intersection sides



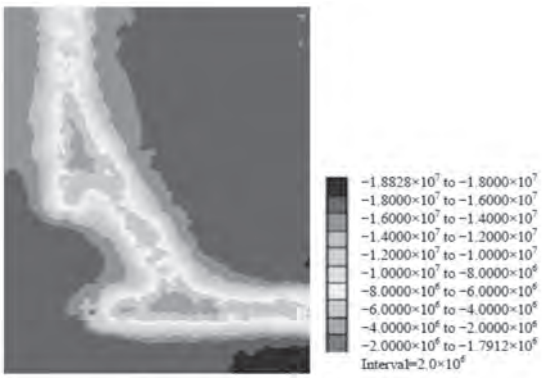

(c) Displacement of intersection floor

**شکل ۵: توزیع زونهای جابجایی**

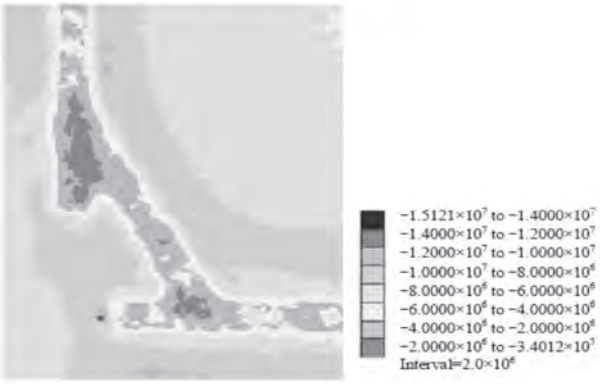
۳-۲-۲- نقش توزیع میدان تنش

از نتایج تحلیل عددی، توزیع میدان تنش کف، سقف و دیواره‌های مسیر در شکل ۶ نشان داده شده است. از توزیع میدان‌های تنش می‌توان دید که محدوده رهاسازی تنش در نقطه #۱ از محل تقاطع گسترده‌تر از منطقه #۲ است. به عنوان مثال شعاع قوس در نقطه #۱ از محل تقاطع به طور مشخص بزرگتر از منطقه #۲ است. یک محدوده وسیعتری از تنش کششی متمرکز شده در نقطه #۱ از محل تقاطع وجود دارد که ماکزیمم تنش کششی آن چندین بار بزرگتر از سنگ است. همچنین تنش کششی در نقطه #۱ از محل تقاطع بزرگتر از #۲ است. زاویه نقطه #۱ از محل تقاطع ۳۰ درجه اما در نقطه #۲ ۶۰ درجه است.

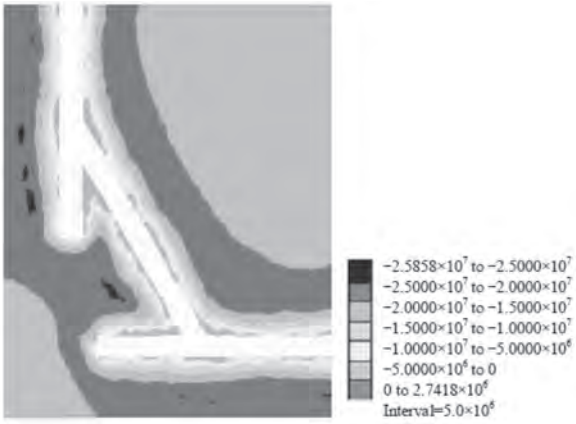
از توزیع تنش می‌توان دریافت که تأثیر تنش اضافه روی نقطه #۱ در محل تقاطع، بزرگتر از نقطه #۲ است. از محدوده توزیع تنش سقف مسیر می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر تنش اضافه شده بین نقاط #۱ و #۲ از محل تقاطع آشکار و مشهود نیست. به عنوان مثال محل‌های تقاطع تنش‌ها واضح نیستند و هیچ آشفتگی به عنوان یک پدیده پس از حفاری وجود ندارد. بنابراین شعاع آزادسازی تنش در Track diphead بزرگتر از ناحیه #۲ افقی است و موازنه شدن تنش‌ها در سنگ‌های احاطه‌کننده به نواحی عمیق‌تر مربوط می‌شود.



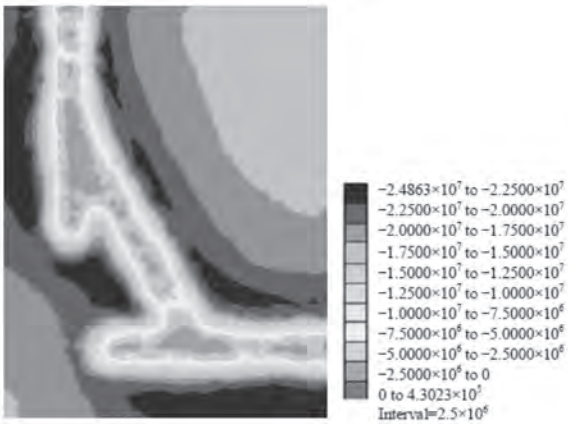

(a) SXX stress distribution of junction roof



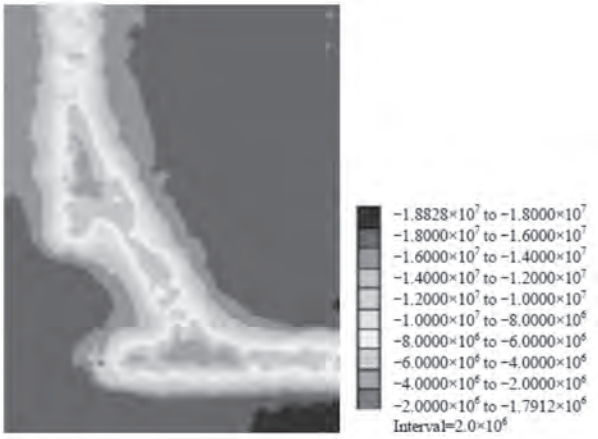

(b) SYY stress distribution of junction roof



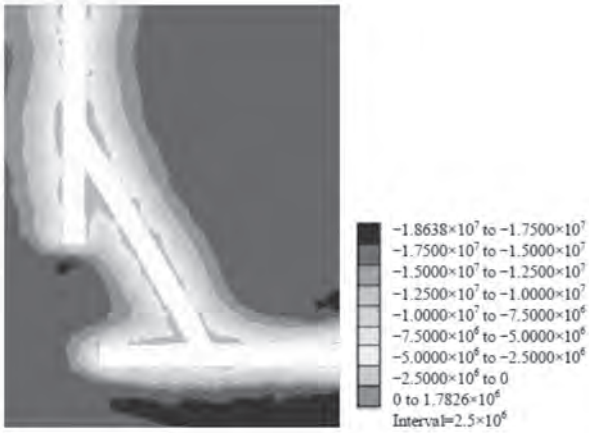

(f) SZZ stress distribution at side of intersection



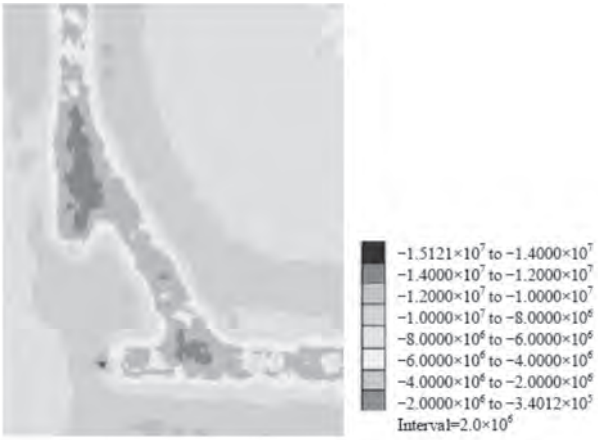

(c) SZZ stress distribution at roof of intersection



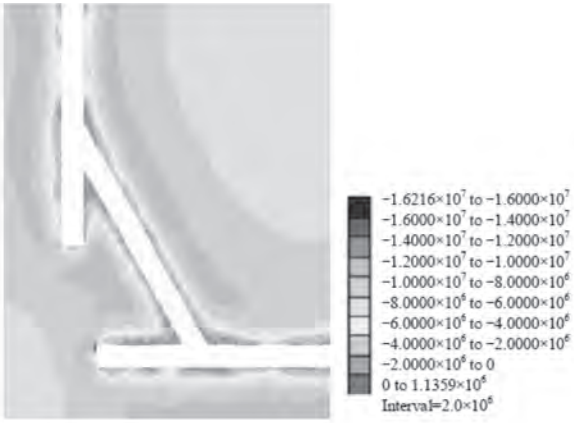

(g) SXX stress distribution at floor of intersection



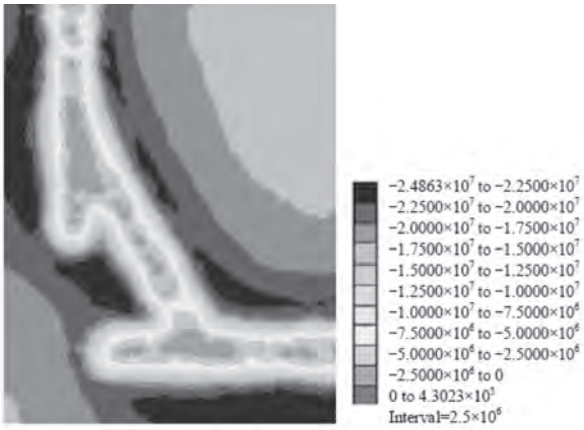

(d) SXX stress distribution at side of intersection




(h) SYY stress distribution at floor of intersection




(e) SYY stress distribution at side of intersection

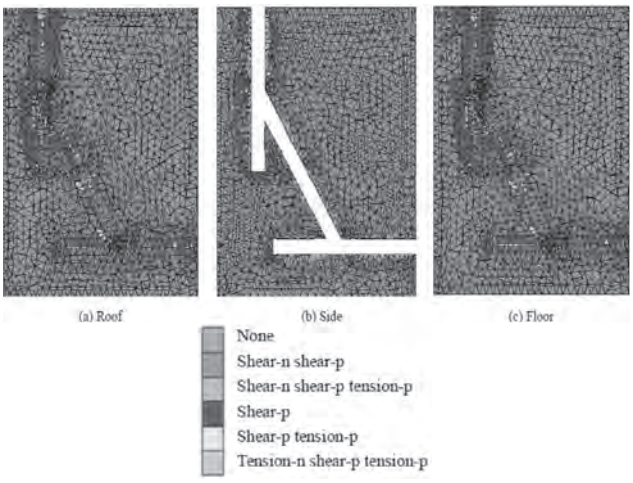



(i) SZZ stress distribution at floor of intersection

**شکل ۶: توزیع زون تنش در کف، سقف و دیواره‌های مسیر**

۳-۲-۳- نقش توزیع مناطق پلاستیک

نتایج تحلیل عددی، توزیع زون پلاستیک کف، سقف و دیواره‌های مسیر در شکل ۷ نشان داده شده است. از توزیع زون پلاستیک می‌توان نتیجه گرفت که تعداد واحدها در مناطق کشش و برش از تخریب هر دو دیواره Track diphead بزرگتر از ناحیه افقی می‌باشد. بررسی سقف و کف مسیر، ناحیه توزیع پلاستیک در نقطه #۱ بزرگتر از نقطه #۲ است. تعداد واحدهای تخریب در #۱ NBZ بزرگتر از ناحیه #۲ است.




**شکل ۷:توزیع زون پلاستیک در کف، سقف و دیواره‌های مسیر**

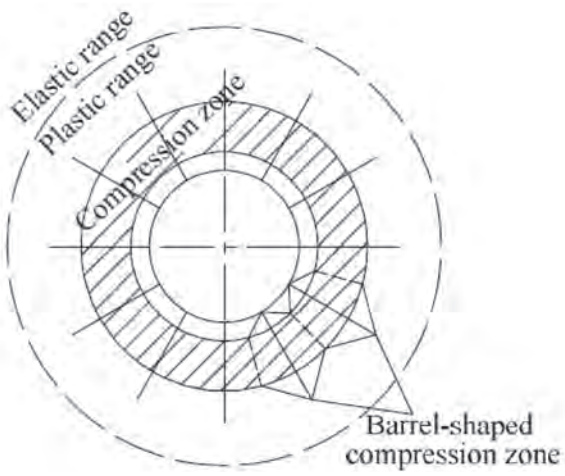
۳-۲-۴- تحلیل بخش کلیدی

از تحلیل انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که دو عامل اصلی در پایداری مسیر در نقاط تقاطع وجود دارد. برای مثال: ۱- زاویه میان تنش افقی و امتداد محوری مسیر ۲- زاویه میان دو نقطه از محل تقاطع. هر دو عامل تأثیر زیادی روی دگرشکلی و شکست دارند، به طوریکه این دو عامل برای هر دو نقطه محل تقاطع نسبت به نقاط دیگر متفاوت می‌باشد. به علاوه به‌هنگام طراحی نگهداری مسیر diphead، می‌توان مقاومت کششی و برشی بدنه نگهداری را تقویت کنیم. خصوصاً نقطه #۱ از محل تقاطع که در این پروژه بعنوان بخش کلیدی معرفی می‌گردد زاویه آن ممکن است روی پایداری مسیر تأثیر گذارده باشد، از اینرو باید به دقت در طول طراحی و ساخت آن را تحت نظر داشت.

## ۴- آنالیز مکانیسم دگرشکلی / تغییرشکلی در نقاط تقاطع

### ۴-۱- مکانیسم شکست نقاط تقاطع در مسیر فضای بزرگ

تئوری قوس ترکیبی (Combination arch) پیشنهاد می‌دهد که هنگامی که آنکور پیش تنیده در یک زون شکست از سنگ‌های اطراف در مسیر نصب می‌شود، توزیع تنش مخروطی‌شکلی در هر دو انتهای بولت سقف ظاهر خواهد شد. اگر گروه میله آنکور در پیرامون مسیر طوری مرتب شوند که فاصله میان میله‌های آنکور به اندازه کافی کوچک باشد، توزیع تنش مخروطی‌شکلی به وسیله هر میله آنکور تشکیل شده و یک زون فشارشی یکنواخت نیز شکل می‌گیرد. برای مثال یک آرک فشرده شده می‌تواند بار شعاعی زیادی از سنگ شکسته‌شده را تحمل کند. سنگ توسط کمان آرک فشرده شده و فشار را در امتدادهای مماسی و شعاعی که در یک حالت تنش سه‌بعدی است تحمل می‌کند. این پدیده باعث افزایش مقاومت در سنگ‌های احاطه کننده و افزایش قدرت نگهداری خواهد شد که در شکل ۸ نشان داده شده است.



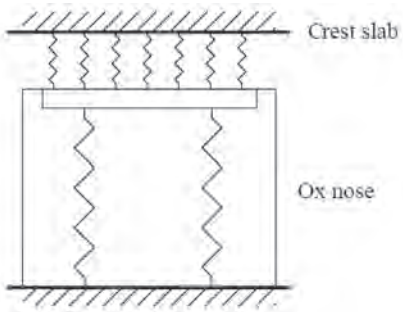

**شکل ۸: طرحی از یک آرک ترکیبی بولت**

از اینرو راهی برای بالابردن قابلیت نگهداری میله آنکور افزایش ضخامت آن می باشد، که باعث ایجاد مقاومت بیشتردر آرک فشرده شده می‌شود. اما به علت طول میله آنکور که حدود ۱/۶ تا ۲/۵ متر می‌باشد، زیاد کردن ضخامت آرک فشرده شده مشکل خواهد بود. اگر مقطع مسیری که به وسیله بولت‌ها و شبکه توری (وایرمش) نگهداری شده خیلی بزرگ باشد، نسبت بین قطر و ضخامت (r/t) قوس فشار، خیلی بزرگ خواهد

شد که قدرت نگهداری آن مناسب نخواهد بود. معمولاً فضای یک مقطع مسیر واحد خیلی کوچک است، به طوری که نرخ r/t می‌تواند با نیازهای سیستم نگهداری سازگار باشد. از اینرو برای نقاط عمیق در محل تقاطع و حتی برای مقطع‌های کوچک در یک مسیر اصلی و ورودی‌های شاخه‌ای کوچک، بدون نگهداری از یک ستون سنگی میانی و مقاوم، مسیر اصلی و ورودی‌های شاخه‌ای با نتایجی که شعاع r/t خیلی بزرگ خواهد بود و سقف ستون سنگی نشست خواهد کرد، مطابقت دارد. بنابراین برای نگهداری یک ستون سنگی (در قسمت وسط) در نقاط تقاطع و بالا بردن نگهداری روی بخش محلی از مسیر مهم است.

**۴-۲- ترک‌های فشارشی و تورم جانبی ستون سنگی میانی**

ستون سنگی میانی به عنوان مولفه اصلی نگهداری فضای میانی در مسیر فضای بزرگ در نظر گرفته شده است که ویژگی یک نگهداری الاستیک را برای سقف مسیر ایجاد می‌کند این خاصیت از سیستم نگهداری هنگامی که اندرکنش میان سیستم نگهداری و دگرشکلی سنگ‌های احاطه کننده را محاسبه می‌کنیم، مشخص می‌گردد. مدل مکانیکی یک ستون سنگی میانی در یک نقطه در محل تقاطع در شکل ۹ نشان داده شده است.

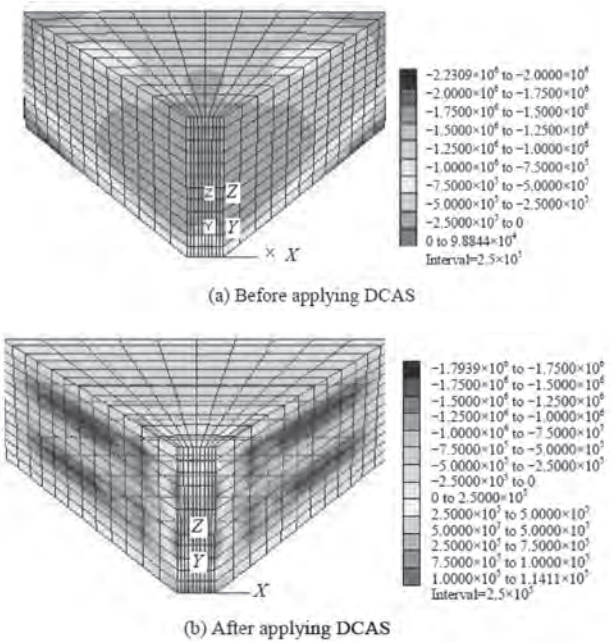



**شکل ۹: مدل مکانیکی از ستون سنگی میانی در محل تقاطع مسیر**

عمق زون ترکدار در اطراف نقطه محل تقاطع چندین بار به علت ضربات تحمیل‌شده به وسیله عمل آتشباری روی سنگ ستون میانی افزایش یافته است. سنگ در این مقطع کاتاکلاستیک خواهد شد. سنگ‌های کاتاکلاستیک از ترک‌های نفوذی اصلی تحت عمل فشار قائم تشکیل خواهند شد. این ترک‌ها سنگ‌های بکر را به ستون‌های مستقل سنگی تقسیم کرده که در این حالت نسبت طول به عرض آنها افزایش یافته و پایداری توده‌سنگ را قبل از آنکه بتواند به مقاومت بهینه خود برسد، کاهش می‌دهد. بنابراین این تقویت موقعیت‌های کلیدی در نقاط محل تقاطع برای محدود کردن گسترش ترک‌های قائم اصلی مهم است.

**اصول تقویت DCAS**

اصول نگهداری (Double-Control Anchor Rod Support) DCAS به منظور افزایش محدودیت‌های جانبی افقی و بهبود بخشیدن به حالت تنش در ستون سنگی میانی است. DCAS از میله‌های آنکور ساخته‌شده که معمولاً از جنس میله‌های فولادی تغییرشکل یافته هستند. DCAS که در دو طرف ستون سنگی میانی نصب شده‌اند به منظور بهبود بخشیدن به شرایط تنش افقی و افزایش تنش سه‌بعدی می‌باشد. نتایج تحلیل‌های عددی این نتیجه را می‌دهد که DCAS می‌تواند ظرفیت نگهداری ستون سنگی میانی در مسیر افزایش دهد. شکل ۱۰ توزیع تنش افقی یک ستون سنگی میانی قبل و بعد از نگهداری یک DCAS را نشان می‌دهد.




**شکل ۱۰: مقایسه تنش افقی در ستون سنگی میانی قبل و بعد از اعمال DCAS**

**۶- نتیجه‌گیری**

۱- مطابق با شبیه‌سازی عددی از فرآیند حفاری نقاط در محل تقاطع از یک مسیر حفاری بزرگ و عمیق دو عامل اصلی ضریب پایداری نقاط در محل تقاطع را تعیین می‌کنند: الف) زاویه میان تنش افقی و امتداد محور مسیر و دیگری ب) زاویه میان نقاط در محل تقاطع با مسیر. این دو فاکتور اصلی یک نقش اصلی در خطر دگرشکلی در نقاط محل تقاطع را ایفاء می‌کنند.

۲- تحلیل یک مکانیسم شکست توسط یک مدل مکانیکی در نقاط محل تقاطع انجام شده و موقعیت کلیدی و خصوصیات شکست این نقاط به دست آمده است.

۳- نصب DCAS برای نقاط محل تقاطع در یک مسیر فضای بزرگ و

عمیق پیشنهاد شده است و از نتایج پیشنهادی عددی نتیجه می‌شود که یک DCAS می‌تواند این وضعیت کلیدی را خصوصاً در نقاط محل تقاطع کنترل کند.

**منابع**

[1] He M C. Present state and perspective of rock mechanics in deep mining engineering. In: Proceedings of the 8th Rock Mechanics and Engineering Conference. Beijing: Science Press, 2004: 88-94. (In Chinese)

[2] He M C, Xie H P, Peng S P, Jiang Y D. Study on rock mechanics in deep mining engineering. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803-2813. (In Chinese)

[3] He M C. Conception system of deep and evaluation index for deep engineering. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2854-2858. (In Chinese)

[4] Sellers E J, Klerck P. Modeling of the effect of discontinuities on the extent of the fracture zone surrounding deep tunnels. Tunneling and Underground Space Technology, 2000, 15(4): 463-469.

[5] Kidybinski A, Dubinski J. Strata Control in Deep Mines. Rotterdam: A A Balkema Publishers, 1990.

[6] Xu X L, Zhang N. Study of control process deformation behavior of soft rock drift under rich water condition. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(3): 298-302. (In Chinese)

[7] Sun X M, He M C. Numerical simulation research on coupling support theory of roadway within soft rock at depth. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(2): 166-169. (In Chinese)

[8] He M C, Jing H H, Sun X M. Soft Rock Engineering Mechanics. Beijing: Science Press, 2004. (In Chinese)

[9] He M C, Yuan H S. Theory and Practice of Bolt Support in Chinese Coal Mine. Beijing: Science Press, 2004. (In Chinese)

[10] He M C, Sun X M. Support Design and Construction Guide of Soft Rock Roadway Engineering in Chinese Coal Mines. Beijing: Science Press, 2004. (In Chinese)

[11] He M C, Li G F, Ren A W, Yang J. Analysis of the stability of intersecting chambers in deep soft-rock roadway construction. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2): 167-170. (In Chinese)

[12] Zhu W S, He M C. Surrounding Rock Stability and Rock Mass Dynamic Construction Mechanics under Complicated Condition. Beijing: Science Press, 1996. (In Chinese)

[13] Zhu W S, Li S C, Bai S W. Some developments of principles for construction process mechanics and some case history studies. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(10): 1586-1591. (In Chinese)

[14] Guo Z B. Bolt-Mesh-Anchorline-Truss Coupling Support Principle and Technology in Deep Softrock Coal Mine of Tertiary [Ph.D. dissertation]. Beijing: China University of Mining & Technology, 2006. (In Chinese)

[15] Qian Q H. The characteristic scientific phenomena of engineering response to deep rock mass and the implication of deepness. Journal of East China Institute of Technology, 2004, 3(1): 1-5. (In Chinese)

[16] He M C, Qi G, Liu Y G. Application of bolt-mesh-anchor line grouting combined support in deep rock roadway repair engineering. In: Proceedings of the 2nd Rock Soil and Engineering Conference. Beijing: Science Press, 2006: 37-42. (In Chinese)

# سکونتگاه‌های زیرزمینی در ایران

سیامک هاشمی (انجمن تونل ایران)

**چکیده**

*غارها از جمله نخستین سکونتگاه‌های انسان بوده است و بسیاری از غارهای طبیعی به دلیل دارا بودن موقعیت ویژه مسکونی و دفاعی به عنوان سکونتگاه مورد استفاده قرار می‌گرفتند. برخی از غارها نیز با هدف ایجاد دژهای دفاعی و سکونتگاه‌های دائمی، به طور کامل به دست انسان در دل صخره‌ها و کوه‌ها ایجاد می‌شدند. صرفنظر از نحوه ساخت، بررسی سکونتگاه‌های زیرزمینی علاوه بر جنبه‌های تاریخی، روند تکامل فرهنگی و همچنین هنر و معماری اقوام گذشته را تشریح می‌نماید. متن حاضر به مرور تعدادی از سکونتگاه‌های زیرزمینی در ایران می‌پردازد.*

**۱. مقدمه**

همانگونه که در قرآن کریم آمده است "و خدای برای آسایش شما از گرما سایه‌بانها از درختان و سقف و دیوار و کوه‌ها مهیا ساخت و از غارهای کوه پوشش و اتاقها برایتان قرار داد تا از سرما و گرما پناه گیرید" (سوره نحل آیه ۸۱)، غارها نخستین نوع اسکان انسان‌ها بوده است. بسیاری از غارهای طبیعی به دلیل دارا بودن موقعیت ویژه مسکونی و دفاعی، با تغییراتی که توسط انسان در آنها ایجاد می‌شده، به عنوان سکونتگاه مورد استفاده قرار می‌گرفتند. ساخت منازل در سنگ طبیعی از طریق حفر و کندن فضاهای مورد نظر به معماری صخره‌ای معروف است که می‌توان آن را از دیدگاه چگونگی ساخت به دو دسته تقسیم کرد (سرفراز و فیروزمندی، ۱۳۸۹):

در نوع اول، درون صخره‌های مجزا از هم، فضاها به صورت یکپارچه و مستقل ایجاد می‌شدند که هرکدام به یک واحد تبدیل می‌شده است. در این نوع معماری، امکان تعبیه پنجره و نورگیر و حتی تزئین بنا نیز وجود داشته است.

در نوع دوم، بناها در صخره‌های کوه‌ها و تپه‌ها با ایجاد و گسترش حفراتی ایجاد می‌شدند و بنابراین امکان ایجاد تزئینات و نورگیر و تمهیدات تهویه همچون نوع اول وجود نداشته است.

در ادامه متن نمونه‌هایی از سکونتگاه‌های زیرزمینی در ایران مرور می‌شود.

**روستای حیله ور**

در استان آذربایجان‌شرقی و در ۲ کیلومتری غرب کندوان و درکنار جاده کندوان به اسکو، بقایایی از روستایی کهن به نام حیله ور قرار دارد.

این روستا در پای یکی از ارتفاعات شمال غربی مجموعه آتشفشانی سهند در داخل رسوبات آتشفشانی کنده شده است. در پی فعالیت آتشفشانی کوه سهند مقادیر زیادی گدازه، خاکستر و قطعات پومیس از دهانه آن خارج شده و باعث تشکیل سنگ‌های منطقه گردید. این سنگ‌ها جورشدگی منظمی ندارند و گاه سخت و گاه سست می‌باشند. در جاهایی که مقاومت کافی وجود داشته مخروط‌های سنگی ایجاد شده‌اند. این روستا از بیش از ۵۰ باب خانه مدفون شده در دل زمین تشکیل شده که با قلم و تیشه در سنگ کنده شده‌اند. خانه‌ها طوری ساخته شده‌اند که از فاصله نه چندان نزدیک نیز قابل رویت نیستند، به این دلیل به آن حیله‌ور می‌گویند. این روستا بعد از حمله مغول در قرن هفتم هجری خالی از سکنه شد. به احتمال زیاد بسیاری از اهالی این روستا پس از حمله مغول از حیله ور نقل مکان کرده و در دشت کوچک مقابل کندوان سکنی گزیدند (همایون، ۱۳۵۶).

شرایط جوی مانند باد و باران و جاری شدن سیلاب‌ها باعث تخریب خانه‌ها و پوشیده شدن آنها با گل و خاک شده است. همین موضوع راه ورودی برخی از آنها را نامشخص کرده است. هم‌اکنون برخی از این خانه‌ها پاکسازی و مرمت شده‌اند. شیوه معماری حیله‌ور تا حدود زیادی کاربرد زیستی و دفاعی داشته است. در ساخت واحدهای موجود در این مجموعه نگهداری از دام‌ها مورد توجه بوده و طویله‌ها بخش مهمی از فضای اصلی را تشکیل می‌داده است و اغلب علاوه بر محل سکونت انسانی دارای آغل نیز می‌باشند. تعدادی از این خانه‌ها دو طبقه هستند. وسعت برخی از اتاقها بیش از ۵۰ مترمربع است. ارتفاع اتاقها ۱۵۰ تا ۱۹۰ سانتیمتر است. در اتاق برخی از این خانه‌ها محلی برای گذاشتن شمع یا چراغ تعبیه شده است. همچنین در ارتفاع نیم‌متری ازکف اتاق‌ها و در روی دیوار، شیارهایی به عرض ۳۰ سانتیمتر، دور تا دور اتاق کنده شده است که به نظر می‌آید برای انتقال آب باران و همچنین رطوبت داخل خانه کاربرد داشته است و از خیس شدن کف اتاق جلوگیری می‌کند. بخش‌هایی که در طول سالیان در اثر جریان آب یا عوامل دیگر دچار فرسایش شده بود، توسط ساکنان با ساخت دیوارهای سنگی مرمت و بازسازی گردید.

اطلاعات دقیقی درباره تاریخ حیله‌ور در دست نیست. آثار یافت شده در این محل همچون سفال‌های ساده و لعابدار مربوط به دوره ایلخانی تا صفوی بوده است.

تصاویری از واحدهای مسکونی روستای حیله ور

**روستای کندوان**

روستای کندوان، که در زبان محلی کندوجان نامیده می‌شود، در حدود ۵۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز و ۲۰ کیلومتری جنوب شرق اسکو در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. این روستا در دامنه شمالی ارشد داغ و قسمت غربی رشته کوه سهند قرار دارد. این روستا یکی از نمونه‌های شگفت‌انگیز معماری صخره‌ای و دست‌کند در جهان است که با وجود قدمت زیاد، هنوز محل سکونت انسان می‌باشد.

اهالی کندوان به احتمال زیاد در ابتدا ساکن روستای حیله‌ور بودند و در قرن هفتم هجری و در زمان حمله مغول به دشت مقابل روستای امروزی کندوان عزیمت کردند. این محل پیش از این تاریخ، ییلاق ساکنان دهات اطراف بوده است. سفال‌های یافت شده در این دشت نیز نشان می‌دهد که این محل تا زمان ایلخانیان مسکونی بوده است.

به دلیل مناسب بودن محل از لحاظ دفاعی و مقابله با بیگانگان و با توجه به استحکام صخره‌های کله قندی، به تدریج حفره‌هایی در داخل سنگ‌ها کنده شد که به مرور زمان گسترش یافته و به سکونتگاه دائمی اهالی تبدیل شد. خانه‌های این روستا که در داخل توده‌سنگ‌هایی از جنس توف حفاری شده‌اند، از دور به شکل مخروط‌هایی سنگی دیده می‌شوند و در زبان محلی «کران» نامیده می‌شوند. با افزایش جمعیت تعداد کران‌های بیشتری برای سکونت در لاهارهای کوه سهند (جریان گل و مواد آتشفشانی) حفر شدند.

در رابطه با طرز تشکیل نمای کله‌قندی این روستا، عقیده بر این است که لاهار آتشفشان سهند که بیشتر از قطعات پومیس گرد و گوشه‌دار، متخلخل همراه با کمی از قطعات ریزسنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده بود، در یک خمیر خاکستری روشن که بیشتر ترکیب اسیدی داشته جای گرفته‌اند. پس از فعالیت آتشفشانی سهند و خروج مقادیر زیاد پومیس و خاکستر اسیدی، بارندگی‌ها و سیلاب‌ها، موجب جریان کلی غلیظ و حمل خاکسترها شده که منجربه تشکیل سنگ‌ها منطقه کندوان شده‌اند. این تشکیلات در کندوان بیش از ۱۰۰متر ضخامت داشته که با فرسایش ناشی از نیروی مکانیکی آب، منظره‌ای بریده بریده به صورت مخروط تشکیل داده‌اند. شیارهای متعددی که در اصل مسیر آب‌روهای طبیعی می‌باشند، کران‌ها را از یکدیگر جدا کرده و شکل طبیعی کوچه‌های روستا را ایجاد نموده‌اند. بر روی برخی از این شیارها (کوچه‌ها) پل‌های چوبی ساخته شده‌اند که دو کران را به یکدیگر متصل می‌نمایند. کران‌ها در جهت غربی-شرقی گسترش یافته و بیشتر در قسمت شرقی متمرکز شده‌اند، ضمن اینکه فضاهای ورودی و داخلی آنها اغلب رو به جنوب ایجاد شده‌است. ارتفاع برخی کران‌ها به بیش از ۳۰ تا ۴۰ متر نیز می‌رسد.

در داخل این صخره‌های مخروطی شکل، بسته به نیاز ساکنان و تا

نمای روستای کندوان

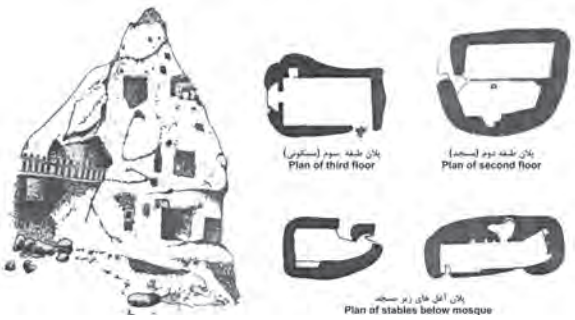
جایی که امکان کندن سنگ‌ها وجود داشت، فضاهایی ایجاد می‌شدند و تقسیماتی در داخل کران‌ها صورت می‌گرفت. در سال‌های اخیر با استفاده از مصالحی همچون سنگ، چوب، آجر و ملات، فضاهایی به کران‌های صخره‌ای افزوده شده است.

در حالت کلی برای ایجاد فضاهای قابل استفاده برای سکونت یا نگهداری احشام یا کاربردهای دیگر همچون انبار، سازندگان مجبور به پیروی از طبیعت و شکل و ساختار کران‌ها بوده‌اند. فضاهای ایجاد شده نیز تنها برای جوابگویی به عملکرد مورد نظر در داخل سنگ کنده و تکمیل شده‌اند و از احداث فضاهای اضافی و غیرقابل استفاده اجتناب شده است. سازندگان با توجه به شکل مخروطی کران‌ها و حجم آنها قادر به ایجاد یک یا چند طبقه در هر کران بوده‌اند. هر فضا به طور مستقیم با بیرون ارتباط دارد و طبقات از داخل با یکدیگر ارتباط ندارند. بیشتر کران‌ها دارای دو طبقه می‌باشند ولی در برخی سه یا چهار طبقه نیز ایجاد شده است. طبقات اول اغلب کم نورتر بوده و دارای وسعت بیشتر و دسترسی آسان‌تری نیز می‌باشند و به همین دلیل به عنوان آغل استفاده می‌شدند. طبقات بالاتر بیشتر جنبه مسکونی دارند. طبقات مسکونی به شکل اتاق‌هایی ایجاد می‌شدند که دارای فضایی صندوق‌مانند برای نگهداری اسباب و اثاثیه می‌باشد. علاوه بر ورودی‌ها و نورگیرها و پنجره‌ها، سکوها و تاقچه‌هایی نیز در سنگ کنده می‌شدند. هر فضا (یا اتاق) دارای حداقل نورگیر می‌باشد. به دلیل ضخامت بیشتر دیوار کران‌ها در طبقات پایین، نورگیرها اغلب در طبقات بالاتر ایجاد می‌شدند. با توجه به ضخامت دیوارها و جنس سنگ کران‌ها، این فضاها تقریبا عایق بوده و در تابستان و زمستان دارای دمای مطبوعی می‌باشد چرا که تبادل حرارت میان داخل و هارج کران چندان محسوس نیست.

تعداد خانه‌ها در حدود ۱۰۰ واحد تخمین زده می‌شود.

یکی از کران‌های معروف این روستا کران مسجد قدیمی روستا است که تقریبا در میانه روستا قرار دارد و یکی از بزرگترین کران‌های منطقه می‌باشد. این کران دارای سه طبقه مجزا است. طبقه اول آغل، طبقه دوم فضای مسجد، و طبقه سوم آن مسکونی است. ورودی مسجد به وسیله یک پل به کوچه متصل می‌شود و فضای داخل آن به وسیله یک نرده چوبی به دو قسمت مجزا برای خانم‌ها (به ابعاد ۱۲/۲۰×۴/۹۰ متر) و آقایان (به ابعاد ۱۲/۰×۴/۵ متر) تقسیم شده است. ارتفاع این طبقه به طور متوسط حدود ۱/۹۰ متر است. به دلیل بزرگی این فضا، یک ستون سنگی به قطر ۵۰ سانتیمتر از جنس کران در وسط این طبقه به منظور جلوگیری از ریزش سقف تراشیده شده است.

از جمله کران‌های معروف روستای کندوان، کران معروف به معتمد است که از چهار طبقه تشکیل شده است. طبقه اول و دوم به عنوان آغل استفاده می‌شدند، طبقه سوم شامل انبار و نانوایی بوده و طبقه چهارم نیز بخش مسکونی این کران است. طبقه چهارم از دو بخش بیرونی و اندرونی تشکیل شده است. قسمت بیرونی دارای یک ایوان می‌باشد که در انتهای یک پلکان قرار دارد. در شمال آن یک اتاق با ابعاد ۳×۴/۵ متر واقع شده که به عنوان محل پذیرایی استفاده می‌شود و از طریق یک راهروی ۲/۲۰×۴ متری به ایوان متصل می‌شود. دو نورگیر در داخل این اتاق تعبیه شده است. در سمت غربی این اتاق، بخش اندرونی قرار دارد.




**پلان و مقطع عرضی مسجد روستای کندو**

**روستای میمند**

روستای میمند با وسعتی معادل ۴۲۰ کیلومتر مربع در ۳۷ کیلومتری شمال شرق شهر بابک در استان کرمان واقع است. این شهرستان از شمال به شهرستان رفسنجان و از جنوب به شهرستان سیرجان محدود می‌شود. مهمترین ارتفاعات منطقه دو قله تیرکوه و گردکوه به فاصله چند کیلومتری در شمال است که دنباله کوه‌های مرکزی ایران می‌باشند. اغلب کوه‌های منطقه دارای رسوبات آذرین هستند که به وسیله جریان رودخانه از ارتفاعات شسته شده و با سنگ‌های رسوبی و آهکی در هم آمیخته‌اند. این مواد مهمترین مصالح معماری صخره‌ای منطقه را تشکیل می‌دهند. مهمترین منابع آب منطقه را سه رودخانه فصلی به نام‌های مورنگ، لاخیس، و لاخورین و همچنین چند رشته قنات و دو چشمه آب شیرین تشکیل می‌دهند.

دهستان میمند در فصل مشترک دو تپه با شیب نسبتا تند که ارتفاع متوسط آنها از خط القعر تا خط الراس در حدود ۶۰ متر است قرار دارد. ترکیب دو تپه و فصل مشترک آنها به روستا شکلی شبیه یک قیف می‌دهد و سکونتگاه‌های میمند به صورت حفره‌هایی درون دیواره‌های شیب‌دار این تپه‌ها قرار گرفته است.

باستانی پاریزی در کتاب «پیغمبر دزدان» این روستا را چنین توصیف می‌کند (پاریزی، ۱۳۲۴): "میمند از دهات معروف و قدیمی شهر بابک است. تمام اتاق‌های این ده در دامنه کوهی کنده شده و خانه‌ها در دل سنگ است و هر کوچه که در دل کوه می‌رود سه یا چهار اتاق دارد و مجموعا قریب سیصد کوچه در دل سنگ فرو برده‌اند و به همین سبب خانه‌ها دودکش و بخاری ندارد و بدون منفذ است. این ده از جهت تاریخی واقعا از آثار اولیه تمدن بشری محسوب می‌شود. در واقع یک آسمان‌خراش موربی است که هزاران سال است در دل سنگ کنده شده است".

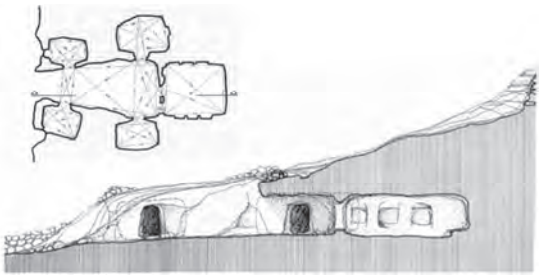
این مجموعه علاوه بر سکونت جنبه دفاعی نیز داشته است. کرمان در طی قرون مختلف مورد تاخت و تاز اقوام گوناگون قرار گرفته و قبایل متعددی به

میمند که از نظر دفاعی مانند قلعه‌ای مستحکم بود، پناه می‌آوردند (همایون، ۱۳۵۲).

لایه آذرین ضخیمی که بر روی روستا وجود دارد، مانند دژی طبیعی از نفوذ به روستا جلوگیری می‌کند. حجاران میمندی با استفاده از شیب ملایم کوه و با استفاده از وسایل ابتدایی اقدام به ساخت این مجموعه نمودند که در نهایت منجر به تشکیل دهکده‌ای با فضاها و عناصر لازم شد. این عناصر شامل محله‌ها، کیچه‌ها (کوچه‌ها)، مساکن (شامل نشیمن، انباری، و طویله)، مسجد، حمام، و مدرسه می‌باشد. بیش از ۳۰۰ واحد دست‌کند این روستا هنوز هم سکونتگاه اهالی می‌باشد. واحدهای مسکونی روستا به صورت پراکنده و نامنظم در سطح شیبدار تپه‌ها به طور متوسط در دو و گاه در پنج تراز مختلف ایجاد شده‌اند. در گویش محلی به راه دسترسی این خانه‌های صخره‌ای «کیچه» گویند که هر یک به‌طور متوسط منتهی به ۳ تا ۴ اتاق می‌شود. سازندگان روستا برای ساخت برخی خانه‌ها تا ۲۵ متر به درون کوه نفوذ کرده‌اند. اغلب فضاها نیمه تاریک بوده و تنها از طریق ورودی نور می‌گیرند. در خانه‌های صخره‌ای میمند تبادل حرارتی، آسایش دائمی مردم را سبب شده است به صورتیکه این خانه‌ها در تابستان خنک و در زمستان کاملا گرم می‌شوند.

**تصاویری از روستای میمند**

از سازه‌های جالب توجه دراین روستا، حمام است که برای ایجاد آن که دارای مساحتی حدود ۱۲۰ مترمربع است، ابتدا دو اتاق در دل کوه تراشیده شده و در مراحل بعدی با استفاده از سنگ‌لاشه و ملات ساروج دیوارچینی انجام و قسمت‌های مختلف حمام را ایجاد شده است. همچنین فضای مدرسه صخره‌ای ۱۸ متر و عرض آن بین ۶ تا ۱۵ متر متغیر است، مدرسه میمند دارای پنج فضای کلاس و دفتر است. مسجد نیز که با تغییر در چند واحد مسکونی ایجاد شده است، حدود ۱۲۰ متر مربع وسعت دارد. شکل ظاهری مسجد مدور و منظم است. دسترسی به صحن مسجد با عبور از راهرویی به پهنای ۱/۵ متر که پشت ورودی قرار دارد، امکان‌پذیر است. سقف مسجد بر روی سه ستون سنگی به ارتفاع ۲ متر بنا شده است و محراب مسجد میمند نیز به طرز هنرمندانه‌ای در سنگ حک شده و ارتفاع آن حدود یک متر است.



**برش طولی و پلان مدرسه قدیمی روستای میمند**

**منابع**

سوره نحل آیه ۸۱، قرآن کریم، ترجمه مهدی الهی قمشه‌ای، چاپ چاپخانه کتیبه، نوبت دوم، سال ۱۳۶۸.

محمد ابراهیم باستانی پاریزی، ۱۳۲۴، پیغمبر دزدان، (چاپ هفدهم، تهران: نشر علم، ۱۳۸۲).

علی اکبر سرفراز و بهمن فیروزمندی، ۱۳۸۹، باستان شناسی و هنر دوران تاریخی ماد، هخامنشی، اشکانی، ساسانی، انتشارات مارلیک، چاپ ششم، تهران.

غلامعلی همایون، ۱۳۵۶، "روستای کندوان" مجله بررسی‌های تاریخی، شماره ۶۹، صفحه ۱۵۵ تا ۲۱۶.

غلامعلی همایون، ۱۳۵۲، "شناخت هر چه وسیعتر روستای میمند کرمان"، دو ماهنامه بررسی‌های تاریخی، شماره ۴۸، صص ۲۴۵ تا ۲۷۷.

# چکیده مقالات بین المللی

**ارزیابی ریزش‌های مخاطره‌آمیز در تونل‌های دایروی به روش‌های تحلیلی و عددی**

M. Fraldi, F. Guarracino, 2011, "Evaluation of impending collapse in circular tunnels by analytical and numerical approaches", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 4, (July 2011), Pages 507-516

برمبنای روش تحلیلی صریح که اخیراً توسط مؤلفین پیشنهاد شده است، مقایسه‌ای با روش عددی برای پیش‌بینی شکست پلاستیک در تونل‌های دایروی گزارش شده است. درحقیقت، مدلسازی عددی برای ارزیابی شکست پیشرونده که منجربه ریزش در تونل‌ها می‌شود، بسیار پیچیده بوده و نیازمند دقت بسیار زیادی در مدلسازی مسأله و تفسیر نتایج است. به منظور تهیه یک راهنما برای مهندسینی که با مسائل مربوط به سنگ مواجه‌اند، مثال‌هایی با استفاده از سه نرم‌افزار تجاری ارائه شده و به صورت تفصیلی مورد بحث قرارگرفته‌اند و نیز با نتایج تحلیلی مقایسه شده‌اند.

**روش همگرایی- همجواری برای طراحی سیستم تقویت کننده سینه‌کار تونل با استفاده از پیچ‌سنگ‌های افقی**

Daniel Dias, 2011, "Convergence-confinement approach for designing tunnel face reinforcement by horizontal bolting", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 4, (July 2011), Pages 517-523

تقویت زمین با استفاده از پیچ‌سنگ روشی روبه رشد می‌باشد. این روش به دلیل ایجاد یک سیستم مقاومتی با دوام، امکان استفاده از زمین‌های ضعیف در محیط‌های حساس را فراهم ساخته است. همچنین می‌توان از آن برای تسلیح سینه‌کار تونل استفاده کرد.

شبیه‌سازی عددی چنین فعالیتی به خصوص در شرایط وجود پیچیدگی‌های زمین‌شناسی نیازمند تجربه زیاد و کار سنگین می‌باشد. در زمان مراحل اولیه یک پروژه، وجود مدل‌های ساده برای برآورد کارایی سیستم تقویت کننده ضروری به نظر می‌رسد.

مدل‌های ساده‌سازی شده موجود برای بررسی بهینه چنین سیستمی تطبیق داده نشده‌اند؛ یک شیوه نوین برمبنای روش همگرایی- همجواری در این مقاله پیشنهاد و آزمایش شده است.

**یک روش نوین برای پیش‌بینی عملکرد TBM سنگ سخت برای برنامه‌ریزی پروژه**

J. Hassanpour, J. Rostami, J. Zhao, 2011, "A new hard rock TBM performance prediction model for project planning", Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 26, Issue 5, (September 2011), Pages 595-603

در بین تمام روش‌های مدل‌های استفاده شده برای پیش‌بینی عملکرد ماشین حفر تونل در سنگ‌های سخت، دو روش برجسته‌تر بوده و معمولاً در صنعت استفاده می‌شوند. این مدل‌ها، مدل نیمه نظری مدرسه معدنی کلرادو و مدل تجربی دانشگاه علم و تکنولوژی تروندهایم نروژ(NTNU) می‌باشند. از آنجاییکه هریک دارای مزایا و زمینه کاربرد مخصوص به خود هستند، انجام پیش‌بینی دقیق‌تر با اصلاح یکی از مدل‌های موجود یا معرفی یک مدل جدید مدنظر قرارگرفته است. به این منظور، مجموعه‌ای از داده‌های عملکرد واقعی ماشین مربوط به پروژه‌های مختلف حفر تونل با TBM در سنگ سخت، برای بسط یک مدل جدید پیش‌بینی عملکرد TBM،گردآوری و تحلیل شده است. برای تحلیل اطلاعات موجود و معرفی یک معادله جدید با استفاده از مدل‌های آماری، روابط بین پارامترهای مختلف زمین‌شناسی و پارامترهای عملیاتی TBM بررسی شده است. نتایج تحلیل مبین آن است که رابطه محکمی بین پارمترهای زمین‌شناسی (همچون UCS، فاصله‌داری درزه و RQD) و پارامترهای عملیاتی TBM به خصوص شاخص نفوذ برجا (FPI) وجود دارد. در این مقاله، یک روش طبقه‌بندی قابلیت برش و یک نمودار تجربی جدید، برای برآورد مقدماتی قابلیت برش توده‌سنگ و عملکرد TBM پیشنهاد شده است.

**نشانگر قابلیت انتقال هیدرولیکی توده سنگ درزه‌دار بدست آمده از آزمایش پکر برای تخمین نرخ جریان ورودی به تونل**

Joon-Shik Moon, 2011, "Representativeness of jointed rock mass hydraulic conductivity obtained from packer tests for tunnel inflow rate estimate", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 48, Issue 5, (July 2011), Pages 836-844

در فعالیت‌های فعلی مهندسی، جریان آب ورودی به داخل تونل در توده‌سنگ‌های درزه‌دار با استفاده از قابلیت انتقال هیدرولیکی معادل تخمین زده می‌شودکه معمولاً ازآزمایش پکر بدست می‌آید. در یک توده‌سنگ درزه‌دار، البته، نرخ جریان در فاصله پکرها عموماً توسط قابلیت انتقال هیدرولیکی درزه‌هایی کنترل می‌شودکه فاصله پکرها را قطع می‌کنند و به نوبه خود به مشخصات درزه و تنش مؤثر قائم درزه وابسته است. اگر حالت تنش، یا شرایط زمین‌شناسی درزه‌هایی که فاصله پکر را قطع می‌کنند خیلی با شرایط درزه‌هایی که تونل را قطع می‌کنند، متفاوت باشد، قابلیت انتقال معادل تخمین زده شده از آزمایش ممکن است معیار مناسبی برای تخمین نرخ جریان آب ورودی به تونل نباشد. در این مقاله، تأثیر محتمل ناشی از تفاوت در شرایط توزیع تنش و مشخصات زمین‌شناسی درزه‌های پیرامون فاصله پکر و درزه‌های دربرگیرنده تونل برپایه مفهوم رفتار دوگانه هیدور- مکانیکی درزه‌ها مورد بحث قرار گرفته است. همچنین تأثیر ناهمسانگردی مشخصات توده‌سنگ درزه‌دار دربرگیرنده فاصله پکر با استفاده از روش عددی و پارامتریک و با استفاده از روش اجزای مجزا مطالعه شده است. برمبنای نتایج تحلیل‌های عددی و نیز مرور منابع، رهنمودها و پیشنهاداتی برای انجام آزمایش پکر ارائه شده است.

**همگرایی تونل‌های دایروی در توده‌سنگ‌های الاستیک خمیری (الاستوپلاستیک) با معیار شکست غیرخطی و قانون جریان غیرپیوسته**

A. Serrano, C. Olalla, I. Reig, 2011, "Convergence of circular tunnels in elastoplastic rock masses with non-linear failure criteria and non-associated flow laws", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 48, Issue 6, (September 2011), Pages 878-887

در این مقاله یافته‌های جدید در رابطه با پلاستیسیته غیرپیوسته برای مطالعه همگرایی در تونل‌ها ارائه شده است. بر رفتار الاستیک- خمیری توده‌های سنگی با معیار مقاومتی خطی و غیرخطی و قوانین جریان ناپیوسته تمرکز شده است. تلاش شده است تا «منحنی مشخصه توده‌سنگ» برمبنای روش همگرایی- همجواری ترسیم شود و نتایجی که به این روش به دست آمده‌اند با نتایج سایر روش‌های محاسباتی مقایسه شده‌اند. عبارات ریاضی مشروح برای اجرا در برنامه‌های صفحه‌باز کامپیوتری ارائه شده‌اند.

**مطالعه عددی تأثیر تنش محصورکننده بر خردشدگی سنگ توسط تیغه‌های TBM**

Hongsu Ma, Lijun Yin, Hongguang Ji, 2011, "Numerical study of the effect of confining stress on rock fragmentation by TBM cutters", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 48, Issue 6, (September 2011), Pages 1021-1033

در این مقاله تأثیر تنش محصورکننده برخردشدگی سنگ در زیر تیغه‌های TBM با استفاده از مدلسازی عددی بررسی شده است. درآغاز، برمبنای مشخصه منحنی نیرو- نفوذ، شرایط تنش محصورکننده در تونلسازی TBM با استفاده از شاخص محصورشدگی که بصورت نسبت تنش محصورکننده به مقاومت فشاری تک‌محوری تعریف می‌شود، به سه طبقه کلی طبقه‌بندی می‌شود. سپس فرآیند خردایش در تنش‌های محصورکننده مختلف ناشی از تیغه‌های TBM با استفاده از مفهوم میکرومکانیک برپایه روش عددی مطالعه می‌شود. مشخص شده است که تنش محصورکننده تأثیر جدی بر عوامل کلیدی خردایش سنگ شامل نیروی چیپس‌کننده، زاویه ترک، طول مؤثر ترک و پراکندگی انرژی دارد. به خصوص نیروی چیپس‌کننده و زوایه ترک با رشد نسبت محصورشدگی افزایش می‌یابند. هرچند، برای طول مؤثر ترک یک نسبت نسبت محصورشدگی بحرانی وجود دارد که درآن به حداقل می‌رسد. ازاینرو، وقتی نسبت محصورشدگی ازمقدار بحرانی بزرگتر باشد، منجربه توسعه خردایش سنگ می‌شود و برعکس. در مورد مصرف انرژی نیز، به صورت مشابه، چنین نسبت محصورشدگی بحرانیی یافت شده است که درآن انرژی ویژه به مقدار حداکثر خود می‌رسد. در این مقاله برای مشاهدات صحرائی که درآنها شرایط تنش محصورکننده منجربه تسهیل خردایش سنگ توسط تیغه‌های TBM شده است، تفسیر و توضیح ارائه شده است.

# رویدادهای تونل

**1st Eastern European Tunnelling Conference**

18- 21 September 2012 | Budapest (Hungary)

**Main topics of the Conference and Exhibition:**
- Research
- Contractual practices in underground construction
- Health, Safety and Risk of underground structures
- Maintenance and repair of underground structures
- Immersed and floating tunnels
- Use of Sprayed Concrete
- Mechanization of underground excavations
- Underground and environment
- Long and great depth tunnels
- Training - Conventional tunnelling
- Urban problems - Underground solutions

**Organization**:
Hungarian Tunneling Association
H-1024 Budapest, Lövõház utca 37.

Email: info@ita-hun.hu
Tel: +36 1 345-9526
Fax: +36 1 345-9550
Web:http://www.eetc2012budapest.com/

**Deformation mechanism and excavation process of large span intersection within deep soft rock roadway**

17 - 20 October 2012 | Montreal (Canada)
**Technical Themes:**
Practitioners and researchers are invited to submit TAC 2012 Montreal abstracts in any of the following broad topic areas/themes:
- Tunnel Excavation: TBMs and Conventional Tunnelling
- Investigations and Design
- Underground Spaces and Tunnel Construction Projects
- Aging of Tunnels: Monitoring and Renovation
- Methods and Products for Tunnel Maintenance
- Assessment of Underground Structures Condition
- Urban Tunnelling
- Contractual Aspects of Tunnelling Projects

**Contact:**
Wayne Gibson, (Conference Manager)
Email: info@tac2012.ca
Tel: (604) 241-1297
Fax: (604) 241-1399
Web: http://www.tac2012.ca/

**Short Course: Breakthrough in Tunnelling**
19-21 September | Boulder (CO), USA
Contact:
Levent Ozdemir
780 Kachina Circle
Golden, CO 80401
Phone: 303.526.1905 (work) and 303.999.1390 (cell)
Email: lozdemir1977@aol.com
Web: http://csmspace.com/events/tunneling/

Tunnel Summer 2011, No.15

Iranian Tunnelling Association Magazine

# IN THE NAME OF GOD


- Editorial ..... 2
- News ..... 3
- Estimating the settlement of Tehran's Metro Line 3 Tunnel using Artificial Neural Networks ..... 11
- Deformation mechanism and excavation process of large span intersection within deep soft
- rock roadway ..... 21
- Underground dwellings in Iran ..... 29
- Selected International Paper Abstracts ..... 33
- Tunnelling Events ..... 35

| | |
|---|---|
| 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<br>,Dr. S. Hashemi, Dr. M. Jafari, Dr. H. Kanani Moghaddam<br>,Mr. A. Mozaffari Shams, Dr. M. Sadaghiani<br>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:<br>۲ - نام: | *Surname:*<br>*First Name:* |
| | کد عضویت:<br>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<br>۲- دو قطعه عکس 4*3<br>۳- تصویر آخرین مدرک تحصیلی یا گواهی اشتغال به تحصیل<br>۴- گواهی سوابق کار بخصوص در صنعت تونل | حق عضویت | حقوقی ۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال<br>پیوسته ۲۰۰,۰۰۰ ریال<br>وابسته ۱۰۰,۰۰۰ ریال<br>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.**

# بسمه تعالی

## انجمن تـونل ایـــران
## فـــرم تقـاضـای عضویت
## (اعضای حقوقی)

کد عضویت:
شماره عضویت:

**الف ـ مشخصات :**

| نام : | شماره ثبت : | تاریخ ثبت : |
|---|---|---|

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

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

زمینه فعالیت :

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

سوابق پروژه‌ها و فعالیت‌های مؤسسه :

| ردیف | عنوان پروژه | زمان اجراء | | کارفرما | محل |
|---|---|---|---|---|---|
| | | از | تا | | |
| | | | | | |

نشانی دفتر مرکزی :
تلفن :
دورنگار :
آدرس الکترونیکی (***Email***) :

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

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

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

نام و امضاء مدیرعامل : مهر شرکت : تاریخ:

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

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

# لیست سمینارهای برگزار شده و موجود در دفتر انجمن تونل ایران

| ردیف | عنوان سمینار | ارائه کننده سمینار | تعداد CD/DVD | هزینه تکثیر (ریال) |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | مجموعه مقالات کنفرانس اول تا هشتم تونل | ..... | ۱ | ۵۰،۰۰۰ |
| ۲ | ظرفیت – ایمنی – سرعت اجراء، طراحی و ساخت متروی مشاعر مقدسه در مکه | دکتر کاشانی | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۳ | تونل راه‌آهن تهران – تبریز در منطقه ۱۷ تهران، تجربه‌ای از تونلهای کند و پوش در محیطهای شهری | مهندسین مهدی ملکی و رشید گرانمایه | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۴ | کارگاه آموزشی یک روزه مهندسی قنات | ..... | ۸ | ۲۰۰،۰۰۰ |
| ۵ | زلزله و سازه‌های زیرزمینی | مهندس مهین راد | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۶ | تحلیلی عملکرد واقعی $TBM$ با سپر تلسکوپی در حفاری ۱۸ کیلومتر تونل قمرود | دکتر جعفر حسن‌پور – مهندس مهدی ذوالفقاری | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۷ | اهمیت رفتارنگاری در ساخت تونلهای شهری و بهینه سازی روشهای اجرا – مطالعه موردی متروی کرج | مهندس محمد خسروتاش و همکاران | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۸ | لزوم مطالعات ژئوفیزیک در احداث فضاهای زیرزمینی | مهندس علیرضا فرازمند | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۹ | تأثیر پارامترهای مکانیک سنگ بر روی عملکرد $TBM$های سنگ سخت | دکتر احمد رمضان زاده | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۰ | روش اجرای تونلهای غرقابی – مطالعه موردی – تونل مرمره | مهندسین مظفری و همزه‌ابیارزنی | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۱ | نوآوری در صنعت حفاری تونل در ابعاد بزرگ با توجه به وضعیت دشوار زمین‌شناسی | دکتر رودیگر ارنست | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۲ | مدیریت پروژه های بزرگ – مطالعه موردی مدیریت پروژه خط ۲ متروی مشهد | مهندس علی همتی شعبانی | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۳ | طراحی تونل در زمینهای مجاله شونده | پروفسور اشلایس | ۴ | ۸۰،۰۰۰ |
| ۱۴ | ایمنی در تونلهای گازدار (تجربه تونل البرز) | دکتر محمدجواد جعفری | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۵ | استفاده از شاتکریت بعنوان پوشش نهایی تونلها | مهندس فلاحت پیشه | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۶ | بررسی عملکرد $TBM$ در ده کیلومتر ابتدای تونل کرج | مهندس حمیدرضا توکلی | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۱۹ | کارگاه آموزش تونلسازی در سنگهای درزه‌دار و محیطهای شهری | پروفسور نیکولاس بارتون<br>پروفسور والتر وینکه | ۱ | ۵۰،۰۰۰ |
| ۲۰ | تجربیات حاصل از حفاری تونل‌های بلند در سازندهای مشکل‌ساز زاگرس | مهندس خسروتاش و همکاران | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۱ | روش‌های نوین ساخت ایستگاههای زیرزمینی مترو | دکتر محمدحسین صدقیانی | ۱ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۲ | مروری بر عملیات مونتاژ و راه اندازی دستگاههای $TBM$پروژه قطار شهری شیراز و تجربیات حاصل از آن | مهندس خسروتاش و همکاران | ۵ | ۱۰۰،۰۰۰ |
| ۲۳ | روشهای جدید بهسازی، مرمت و آب بندی در فضاهای زیرزمینی | دکتر سید حسن صحرانورد | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۴ | معیارهای جدید ایمنی در تونلهای شبکه حمل و نقل اروپا | دکتر محمدجواد جعفری | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۵ | علل ریزش دهانه ورودی تونل سعادت شهر (بین مسیر شیراز و اصفهان) و مقایسه روشهای حفاری و نگهداری این بخش | مهندسین حاج حیدری و مهرابی | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۶ | مدیریت طرح و ساخت تونلهای بلند و عمیق انتقال آب | مهندسین غلامرضا شمسی و گرشاسب خزائنی | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۷ | ماشین آلات حفر تونل | مهندس مظفری و مهندس مرتضی همزه | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۲۸ | روش‌های اندازه‌گیری و رفتارسنجی در تونل | دکتر مرتضی قارونی‌نیک | ۲ | ۳۰،۰۰۰ |
| ۲۹ | نقش پایگاهای اطلاعات ژئوتکنیک در مطالعات اولیه فضاهای زیرزمینی | دکتر کلانتری، دکتر مجتبی کشفی | ۲ | ۳۰،۰۰۰ |
| ۳۰ | دستاوردهای پروژه تونل کندوان | دکتر صدقیانی | ۲ | ۳۰،۰۰۰ |
| ۳۱ | مبانی طراحی تونلهای آزاد راه تهران – شمال | دکتر یساقی و دکتر سالاری راد | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۳۲ | تعیین پارامترهای اصلی سپرها (شیلدها) برای حفاری تونل | دکتر شکاری یزدی | ۲ | ۴۰،۰۰۰ |
| ۳۳ | تاثیر اطلاعات ژئوتکنیکی در ریسک پذیری قراردادهای تونل و فضاهای زیرزمینی | دکتر صدقیانی | ۲ | ۳۰،۰۰۰ |
| ۳۴ | بررسی ویژگیها و مشکلات اجرایی تونل آبرسانی کوهرنگ ۳ | دکتر لیتکوهی | ۲ | ۳۰،۰۰۰ |