

اثر هاله خرد شده در حفاری انفجاری بر تحلیل عددی سه بعدی تغییر شکل های تونل با نگرشی ویژه بر کیلومتر ۱۰ تونل گاوشان

حمید بهرامی^{۱*}، علی ارومیه‌ای^۱، مرتضی احمدی^۱ و سمانه سلیمانی^۱

^۱گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۱گروه مکانیک سنگ، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۸/۰۸

چکیده

بررسی پایداری فضاهای زیرزمینی پیش از حفاری و با توجه به میزان تغییر شکل های نهایی، از ملزومات طراحی است. در مدل سازی های مختلف یا تحلیل های تجربی، محدوده اطراف بخش حفر شده به شکل یک پارچه به صورت محیط پیوسته یا ناپیوسته، مدل و تحلیل می شود. به نظر می رسد در حفاری انفجاری به علت تخریبی که بسته به نوع انفجار، جنس توده سنگ و غیره رخ خواهد داد، ناحیه پیرامونی یکپارچه نباشد. در این تحقیق، ناحیه ای تخریب یافته به نام "هاله خرد شده" در اطراف تونل در نظر گرفته شد تا مدل سازی در دو حالت یک پارچه (بدون وجود هاله خرد شده) و بار دیگر با اعمال هاله خرد شده در اطراف آن انجام شود. روش المان مجزای سه بعدی که نسبت به دیگر روش های عددی، از همخوانی بیشتری با محیط ناپیوسته توده سنگ برخوردار است، انتخاب و با استفاده از نرم افزار 3DEC 4.0 به مدل سازی تغییرات ناشی از پیشروی پرداخته شد. مطالعه موردی تونل گاوشان که در حدود کیلومتر ۱۰ از دهانه ورودی در گابروهای سری افیولیتی با پارامترهای مقاومتی به نسبت خوب حفر شده، انجام شد. شرایط مناسب نصب ابزار دقیق و از سویی عدم اجرای پوشش بتنی در بخش یاد شده باعث ثبت بهینه رفتار طبیعی زمین در این ناحیه شده و کنترل دقیق تر نتایج را فراهم شده است. بررسی خروجی ها حاکی از همخوانی بیشتر مدلی که اطراف آن هاله خرد شده اعمال شد با نتایج ابزار دقیق است.

کلید واژه ها: هاله خرد شده، حفاری انفجاری، تحلیل عددی، 3DEC تونل گاوشان.

*نویسنده مسئول: حمید بهرامی

۱- مقدمه

۱-۱. ویژگی های عمومی محدوده مطالعاتی

تونل انتقال آب گاوشان، بخشی از طرح ملی گاوشان شامل سد، سرریز، تونل و شبکه آبیاری-زهکشی در شمال خاوری شهرستان کامیاران در استان کردستان می باشد. دهانه ورودی در محل مخزن سد با مختصات $35^{\circ} 0' 50''$ شمالی و $46^{\circ} 58' 6''$ خاوری و تراز از ۱۳۲۶ متر از سطح آب های آزاد قرار دارد. هدف این تونل انتقال آب به اراضی دشت های یله‌ور و میان‌دریند به مساحت ۳۰۰۰۰ هکتار و تأمین ۶۳ میلیون مترمکعب آب شرب شهر کرمانشاه در سال است. از نظر زمین شناسی تونل در مسیر خود از بخش وسیعی از سری افیولیتی ناحیه سندج-سیرجان، شیل های آهکی پرمین و بخشی از واحدهای سنگ چینه‌ای زاگرس عبور می نماید (خسروی و همکاران، ۱۳۷۶). محدوده مدل سازی در بخشی از این مسیر، در طول ۴۰ متری از کیلومتر ۱۰/۰۸ الی ۱۰/۱۲ تونل گاوشان واقع شده که شامل توده سنگ های گابرویی است، به روش انفجاری حفاری شده و دارای مقطع نعل اسبی است (شکل ۱).

۱-۲. مروری بر مطالعات انجام شده

مدل سازی عددی در حقیقت به کارگیری روش های عددی ریاضیاتی در علوم فنی و مهندسی است تا با استفاده از آنها به شبیه سازی شرایط واقعی از اجسام و محیط در فضای مجازی رایانه پرداخته شود. مدل سازی عددی در محیط های ناپیوسته، مستلزم انطباق روش عددی به کار گرفته شده با ماهیت چنین محیط هایی است. (Zienkiewicz et al. (1994 روش المان های محدود (Finite Elements) را در محیط ناپیوسته توده سنگ، به سبب لغزش گره ها (Nodes) روی هم در اثر تغییر شکل بلوک ها یا جابه جایی ها در محل درزه ها، ناکارآمد دانستند (Zienkiewicz and Taylor, 1994). تغییرات در حفاری های زیرزمینی یکسان نبوده و یک نقطه الزاماً هم رفتار یا نقاط مجاور خود نخواهد بود. به همین دلیل المان های مرزی (Boundary elements) به سبب به کارگیری پارامترهای مرزی محیط و تعمیم مدل

رفتاری آنها به کل محیط هر چند که روش های سریع و ساده تری است، اما در مدل نمودن محیط های ناپیوسته مورد توجه قرار نگرفت (Pande and Williams, 1990). روش های المان مجزا (Distinct element) و تفاضل محدود (Finite difference) با سبانی مشابه و توانایی بررسی محیط های شامل بخش های مجزا از هم (مانند بلوک های سنگی در توده سنگ درزه دار) به عنوان مناسب ترین راه حل های موجود برای شبیه سازی توده سنگ های درزه دار شناخته شدند (Bell, 1992). به موازات استفاده از روش های عددی همخوان با محیط ناپیوسته، تبدیل شبیه سازی دو بعدی به سه بعدی برای دستیابی به تحلیل های دقیق تر، نیاز بود و سپس بر این اساس، نرم افزارهایی بر پایه روش های عددی سه بعدی ارائه شد (Witke, 1990). مقایسه بین نتایج مدل سازی دو بعدی و سه بعدی برای بررسی مسیر تنش در اطراف تونل دایروی انجام گرفت و بر ناکافی بودن مدل سازی دو بعدی در چنین محیط هایی تأکید شد. همچنین بیان شد که مدل سازی سه بعدی توانایی پوشش نتایج تحلیل های دو بعدی را نیز دار است (Barla, 2000). به نظر (Eberhardt, 2001)، تحلیل سه بعدی، بررسی دقیق تری را از توزیع تنش در انتها و لبه های حفاری ممکن می سازد. وقتی تونل در شرایط زمین شناسی پیچیده پیشروی کند، آگاهی توزیع سه بعدی تنش ضروری تر است (Eberhardt, 2001).

Cheng & Liu (1990) نتایج ابزاربندی را با مدل سازی مغار کم ژرفای یک نیروگاه که با استفاده از روش تفاضل محدود دو بعدی، در توده سنگ با مقاومت متوسط که به روش انفجاری حفر شده است، مقایسه نمودند. در نهایت بیان شد که به دلیل اثر انفجار و تغییر شکل های ناشی از حفر، در سترایی از توده سنگ محصورکننده تونل افزایش شکستگی ها باعث شد تا تغییر شکل های توده سنگ نسبت به مدل بیشتر باشد (Cheng and Liu, 1990). اما در مطالعات فوق محیط پیوسته در نظر گرفته شد، تأثیر درزه ها در آن دیده نشده و تغییرات به صورت دو بعدی مدل شد. Hoek & Brown (2002) براساس مطالعات آنها و نیز بررسی پروژه های

نرم افزار 3DEC 4.0 (3dimensional Distinct Element Codes) مجموعه ای کامل از کدهای المان مجزای سه بعدی (3d Distinct Element method) برای مدل سازی محیط های ناپیوسته است که بلوک های تغییر شکل پذیر را به کمک المان های تفاضل محدود مش بندی می نماید. این نرم افزار به سبب مدل سازی رفتارهای متنوع توده های سنگی و همچنین توانایی محاسبه کرنش غیر صفحه ای مرتبط با سه بعدی بودن روش عددی پوشش دهنده، در بیش از سیصد پروژه مهم تحقیقاتی دنیا مورد استفاده قرار گرفته است و پس از تولید آن در سال ۱۹۹۸ تا کنون سه مرحله تکامل داشته است (Itasca Co., 2002).

۲-۲. ایجاد هندسه مدل

مطابق آنچه در مقدمه بیان شد، ناحیه برگزیده برای مدل سازی (به طول ۴۰ متر) شرایط ایده آل ابزار بندی را داراست و از سویی پارامترهای مورد نیاز برای ورود به مدل در این ناحیه به طور کامل قابل دسترسی است. در این طول، هندسه طرح اعم از شکل دهانه تونل و ابعاد آن یکسان بوده و شیب آنقدر کم است (۰/۰۵ درصد) که تونل در این طول کوتاه، افقی در نظر گرفته شد. شعاع تونل در نیم دایره بالایی ۲/۹۵ متر و مرکز آن نیز ۲/۹۵ متر از کف بالاتر است. کف تونل ۴/۷ متر عرض دارد و تونل نسبت به راستای مسیر متقارن است (شکل ۴-الف).

در صفحه عمود بر مسیر تونل، حدود نهایی دور مدل حداقل معادل مسافتی در نظر گرفته می شود که ممکن است در اثر حفاری دستخوش تغییر شکل گردد (ناحیه مغشوش). به طور معمول ابعاد ناحیه مغشوش دور تونل در حفاری که فاقد تقاطع است معادل ۵ برابر شعاع در نظر گرفته می شود (Hoek, 2000). بنابراین با توجه به بیشینه شعاع در تونل (۲/۹۵ متر) در جهات x و y نسبت به مرکز تونل، مرزهای بلوک ۱۵ متر دورتر در نظر گرفته شد. در مسیر تونل، پیش از آن که سینه کار به نقطه کنترلی برسد، بسته به نوع سنگ در حدود ۰/۵ تا ۱/۵ برابر قطر تونل در نقطه کنترلی تغییر شکل آغاز می شود. این تغییرات تقریباً ۳۳٪ تغییر شکل های نهایی پیش بینی شده است (Hoek et al., 1995). بر همین اساس جهت اطمینان بیشتر، از ۱/۷ برابر قطر تونل نرسیده به نقطه کنترلی (Control point)، شروع محدوده مدل در نظر گرفته شد که این فاصله معادل ۱۰ (-) متر می باشد. به طور معمول پس از نقطه کنترلی جهت حفاری در سنگ های الاستیک ۲ تا ۳ برابر D (قطر تونل) و سنگ های پلاستیک تا چندین برابر D مرز جابه جایی نهایی خواهد بود (Gercek and Unlu, 2003). با این که توده سنگ گابرو با کیفیت خوب خود در دسته اول جای می گیرد اما برای اطمینان، این فاصله تا ۵ برابر D افزایش داده شد. در نهایت حدود Z یا محدوده طولی حفاری ۴۰ متر، بین ۱۰- تا ۳۰ متر نسبت به نقطه هدف در نظر گرفته شده است (شکل ۴-ب).

با توجه به شباهت وضعیت توده سنگ گابرو در ۴۰ متر محدوده مدل سازی ستبرای هاله به طور ثابت یک متر پیشنهاد شد تا ضمن پاسخگویی به پرسش اصلی تحقیق (حساسیت یا عدم حساسیت مدل به هاله)، مراحل بسیار زمان بر مدل سازی به ۲۰ مرحله (شامل ۴ مرحله کالیبراسیون، ۸ مرحله حفاری بدون وجود هاله و ۸ مرحله حفاری با وجود هاله خرد شده) کاهش یابد. وجود هاله تنها تفاوت هندسی این مدل با مدل یک پارچه است.

۲-۳. پارامترهای ژئومکانیکی ورودی به مدل (ویژگی های مواد و ناپیوستگی ها) یکی از مهم ترین مسایل در تحلیل های مهندسی سنگ، ورود اطلاعات زمین شناسی صحیح می باشد و داده های بی دقت مدل ها را دچار اشتباه و نقص خواهد کرد (Hoek, 2000). نرم افزار 3DEC دارای دو مدل رفتاری معیار لغزش کولومب یا برخورد محیط (Area contact joint model) و مدل درزه به طور پیوسته تسلیم پذیر (Continuously Yielding joint model)، برای درزه ها است (Itasca Co., 2002). مدل مورد استفاده در تحقیق "لغزش کولومب" می باشد که برای بلوک های

مرتبط، بیان کردند در حفاری انفجاری بسته به نحوه کنترل انفجار و نوع سنگ در مقطع عرضی، ناحیه ای به ستبرای حدود ۲ تا ۳ متر اطراف تونل به عنوان ناحیه به هم ریخته وجود دارد. آنها برای محاسبه ویژگی های مکانیکی این منطقه، فاکتوری به نام فاکتور به هم ریختگی (Disturbance) را مطرح و در آخرین به روزرسانی معیار شکست خود منظور نمودند (Hoek and Brown, 2002). با این وجود به کارگیری این ناحیه در تجربه های مدل سازی، تاکنون دیده نشده است.

۳-۱. هدف از انجام تحقیق

به نظر می رسد نادیده گرفتن چنین ناحیه ای در ایجاد بخشی از اختلافات میان نتایج شبیه سازی ها و شرایط واقعی زمین مؤثر باشد. لذا منطقه تخریب یافته در تحقیق پیش رو به نام "هاله خرد شده" نامگذاری و در تحلیل های سه بعدی تغییر شکل ها در نظر گرفته شد. از سویی مدل سازی سه بعدی در محدوده مطالعاتی، نیاز مدیران طرح را در پیش بینی وضعیت جبهه کار و برآورد تغییر شکل های ناشی از حفاری، برطرف می ساخت. تحقیق حاضر سعی دارد تا اثر هاله خرد شده در حفاری انفجاری را بر تحلیل عددی سه بعدی تغییر شکل های تونل گاو شان در ۱۰ کیلومتر و در گابرو های سری افیولیتی زون ساختمانی سندج- سیرجان بررسی نماید.

۴-۱. سیستم کنترل نتایج

نحوه ابزار بندی طرح از موارد نادری است که اختلاف زمانی پیشروی سینه کار با نصب ابزار کم، فاصله ابزارها از یکدیگر کوتاه، تنوع ابزار زیاد و شرایط نصب و نگهداری فنی آن به طور علمی مورد توجه بوده است (کیانی، ۱۳۸۴). با وجود چنین شرایط مطلوب، سوابقی از تحلیل عددی محیط ناپیوسته در طرح تونل موجود نیست. از میان این ابزار، نتایج همگرایی سنج ها (Convergenciometers) و کشش سنج ها (Extensometers) بیش از دیگر ابزار مورد استفاده قرار گرفت. محدوده مورد نظر برای مدل سازی فاقد پوشش بوده است، بدین ترتیب که پوشش بتنی در فاصله ۳۰ متری از سینه کار اجرا نشده و ۳۰ متر پس از سینه کار نیز وضعیت مشابه داشته است. این امر به نزدیکی بیشتر داده های ابزار دقیق به رفتار طبیعی زمین منجر شده و شرایط کنترلی مناسبی را مهیا نموده است. نقاط کنترلی در سه محل روی صفحه کنترل (Control plate) عمود بر امتداد تونل، یکی در سقف و دوتا نقطه دیگر مقابل هم در دو دیواره چپ و راست در ارتفاع ۲/۵ متری از کف تونل قرار دارد. مراحل پیشروی (حفاری) مدل بر اساس فواصل ۵ متری (تقریباً معادل ۲ مرحله انفجار) تنظیم شد (شکل ۲).

۲-۲. روش انجام تحقیق

به طور کلی برای مدل سازی تغییر شکل ها در محدوده ۱۰ کیلومتر تونل گاو شان، دو حالت در نظر گرفته شد. در حالت اول طبق روند امروزی مدل سازی ها، ناحیه اطراف تونل به صورت توده سنگی یکپارچه اما دارای درزه منظور شد و در حالت دوم، ناحیه ای به ستبرای ۱ متر به عنوان هاله خرد شده حاصل از اثر آتشیاری در اطراف تونل، مابین فضای حفاری شده و توده سنگ یکپارچه درزه دار در نظر گرفته شد (شکل ۳).

۲-۱. انتخاب روش عددی و نرم افزار مورد استفاده در تحقیق

همان گونه که در مقدمه نیز اشاره شد، این بخش نخستین گام در مدل سازی اصولی است. روش های المان مجزا در بررسی مدلی شامل بخش های جدا از هم مانند بلوک های سنگی در توده سنگ درزه دار نسبت به دیگر روش های عددی مناسب تر است. از سویی، گفته شد که بررسی کرنش های غیر صفحه ای در محیطی که سینه کار توسط عارضه هایی مانند درزه به بخش حفاری نشده مرتبط است ضروری است. جابه جایی نهایی در این حالت برآیند جابه جایی های عمودی، افقی و غیر صفحه ای خواهد بود (Eberhardt, 2001). بر این اساس روش عددی به کار رفته در تحلیل حاضر، روش المان مجزای سه بعدی می باشد.

سپس با استفاده از رابطه $\sigma = K \cdot \epsilon$ (Hoek, 2000) تنش‌های افقی (σ_3) نیز اعمال شد. کالیبراسیون مدل با سه هدف اساسی پیگیری شد. پیش از اعمال تغییرات (پیشروی در هر مرحله)، باید مدل به تعادل رسانده شود. پس از مشخص شدن ابعاد هندسی و مقدار نیروهای بر جای حاکم بر مدل، این نیروها بدین منظور اعمال شد تا مدل به تعادلی برسد که زمین در طبیعت به آن رسیده است. مادامی که مدل در حال پاسخگویی به نیروها و رسیدن به تعادل است، از نیروهای حاکم بر مدل با عنوان نیروهای نامتعادل کننده (Unbalanced Forces) یاد می‌کنند. این نیروها کم کم با واکنش مدل به آنها تحلیل رفته و به صفر نزدیک شده اما هیچ‌گاه صفر نمی‌شوند. در این حالت می‌توان جابه‌جایی‌های باقیمانده را صفر نمود. پس از هر مرحله پیشروی دوباره این نیروها فعال می‌شوند که باید عمل متعادل ساختن و حذف جابه‌جایی‌های باقی‌مانده را یک بار دیگر انجام داد. این عمل در اجرای هر ۱۶ مرحله مدل‌های تحقیق (شکل ۵) و نیز در مدل‌های ساده آزمایشی تکرار شد.

هدف دیگر کالیبراسیون بررسی صحت عملکرد نرم افزار بوده است که در این راستا، مدل آزمایشی ساده‌ای توسط داده‌های حالت یک‌پارچه با مش‌بندی ۳ متری که در آن تنها یک دسته درزه تعیبه شد (شکل ۶-الف) به تعادل رسید و تنش‌های برجا در آن محاسبه شد (شکل ۶-ب). سپس در یک مرحله، کل تونل حفاری و نتایج تغییرات تنش استخراج گردید (شکل ۶-ج). با توجه به تغییرات فاحش در توزیع تنش و از سویی حالت نامتوازن این توزیع با وجود شکل متعادل تونل و محیط همگن (گابرو)، تأثیر ناپیوستگی و صحت عملکرد نرم افزار مورد پذیرش قرار گرفت. نتایج مذکور با مدل‌های پیش‌فرض موجود در مستندات نرم‌افزار نیز همخوان بود.

مدل ساده یاد شده، در هدف نهایی کالیبراسیون یعنی انتخاب مش بهینه نیز استفاده شد. هرچند با کاهش ابعاد مش دقت نتایج بیشتر خواهد شد اما با توجه به زمان‌بر شدن مدل با کوچک نمودن مش‌ها و از سویی کثرت حفاری، مش‌ها نمی‌بایست آنقدر کوچک باشد که زمان‌بندی مطالعات را دچار مشکل نماید. بدین منظور مش‌بندی در سه اندازه دیگر با ابعاد ۱، ۰/۵ و ۰/۴ متری نیز انجام و نتایج با هم مقایسه شد. فاصله نتایج در مدل‌های با مش‌بندی ۳ متری نسبت به ۰/۵ متر به مراتب بیشتر از نتایج مش‌بندی ۰/۴ متری به ۰/۵ متر می‌باشد. از سویی اختلاف نتایج مابین مش‌های ۰/۴ و ۰/۵ متری به قدری ناچیز بود که می‌شد از آن صرف نظر نمود. لذا در نهایت مش‌های با اندازه ۰/۵ متر به عنوان انتخاب بهینه وارد مرحله اجرا شد. جدول ۳ میزان تنش در سقف با مش‌بندی مختلف را نشان می‌دهد.

۲-۵. اجرای مدل و دریافت نتایج نهایی

پس از مش‌بندی و حذف نیروهای نامتعادل کننده، حفاری در هر دو حالت (یکپارچه و دارای هاله خردشده) و هر کدام در ۸ مرحله پیشروی ۵ متری (۲ مرحله پیش از رسیدن به سینه کار و ۶ مرحله پس از آن) انجام گرفت. در هر مرحله خروجی‌ها به شکل جابه‌جایی در جهات مختلف در نقاط هدف در مرز بازگشایی ثبت شد. در جدول ۴ میزان جابه‌جایی برآیند برای حالت یکپارچه و جدول ۵ با در نظر گرفتن هاله خرد شده ارائه شده است. داده‌های مدل‌سازی با نتایج ایزاردقیق (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۴) مقایسه شد و بر این اساس نمودارهای شکل ۷ ارائه شده است.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق بیشترین جابه‌جایی برآیند حاصل از پیشروی درون میدان تنش لیتواستاتیک، در سقف (در حدود ۱۰ میلی‌متر) و پس از آن در دیواره‌های

دارای سطح تماس، مناسب است. این مدل جابه‌جایی درزه را توسط از دست دادن مقاومت‌های برشی و چسبندگی، در شکست‌های کششی یا برشی شبیه‌سازی می‌نماید. مدل "درزه به‌طور پیوسته تسلیم‌پذیر، مدل بسیار پیچیده‌ای است که رفتار سست‌شدگی پیوسته را به صورت تابی از جابه‌جایی برشی پلاستیک شبیه‌سازی می‌نماید. طبیعت نواحی افیولیتی، درزه‌های پرشیب و گاه قائم را نشان می‌دهد (Alavi, 1994) و از لحاظ زمین‌ساختی به هم ریخته است. بدین ترتیب درزه‌نگاری سیستماتیک از محدوده مطالعاتی به عمل آمد و سه دسته درزه عمده حاصل شد (جدول ۱). ویژگی‌های مکانیکی دسته درزه‌ها برای مدل نیز از گزارشات طرح استخراج و ارائه شده است.

3DEC توانایی اجرای ۴ نوع مدل رفتاری از سنگ را دار است که به ترتیب عبارتند از مدل الاستیک همسان (Elastic, Isotropic Model)، مدل الاستیک ناهمسان (Elastic, Anisotropic Model)، مدل موهر-کولمب (Mohr-Coulomb Model) و مدل پلاستیک دو خطی نرم‌شدگی / سخت‌شدگی کرنش درزه همه جا حاضر (Plastic Bilinear Strain Hardening/Softening Ubiquitous-Joint Model).

رفتار سنگ در دو دسته اول جای نمی‌گیرد و برای مدل‌سازی رفتار نوع چهارم نیز نرم افزار به بیش از ۳۵ نوع پارامتر نیاز دارد که با وجود شرایط آزمایش موجود امکان دستیابی به تمامی این پارامترها وجود نداشت. با این توصیف، همخوان‌ترین مدل رفتاری توده سنگ که پارامترهای حاصل از آزمایش‌ها و برداشت‌های میدانی حاضر را پوشش می‌داد، مدل موهر-کولمب می‌باشد که در تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور پارامترهای سنگی موجود، در حد توان بازنگری شد.

همانگونه که در پیشینه مطالعات ذکر شد، در اطراف تونلی که تحت انفجار حفاری پیشروی می‌کند، همواره ناحیه به هم ریخته‌ای با پارامترهای مقاومتی ضعیف‌تر از توده سنگ میزبان وجود دارد. این تغییر کیفی در قالب تعدیل فاکتور D یا فاکتور به هم ریختگی توسط (Hoek, 2002)، در آخرین به‌روزرسانی معیار شکست خود (Hoek and Brown, 2002)، در نظر گرفته شد. تعدیل پارامترهای معیار شکست هوک-براون به موهر-کولمب (Hoek, 1990) باعث شد تا نرم‌افزار Roclab 1.0 با بهره‌جویی از روابط این تعدیل، نیازهای مدل رفتاری در نرم‌افزار 3DEC را فراهم آورد. در جدول ۲ پارامترهای ژئومکانیکی سنگ گابرو و همچنین پارامترهای ژئومکانیکی هاله خردشده (C و ϕ) که با استفاده از نرم‌افزار Roclab 1.0 تعدیل شد (Rocscience gr., 2002) و سایر پارامترهای مرتبط ارائه شده است. کف تونل در مقطع مورد بررسی از سطح آب زیرزمینی بالاتر می‌باشد در نتیجه مدل خشک در نظر گرفته شد.

۲-۴. شرایط مرزی و کالیبراسیون نرم افزار

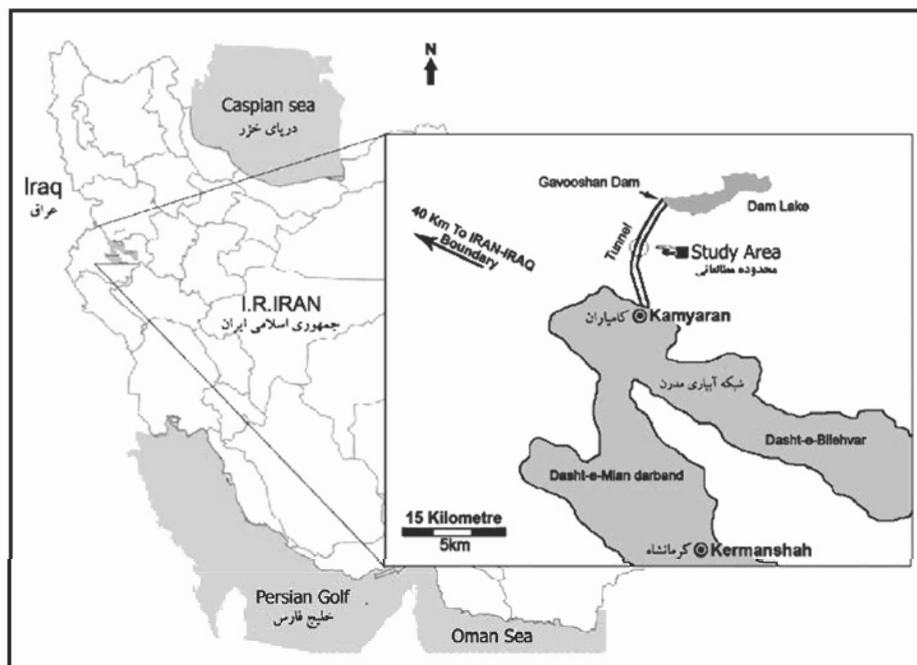
با توجه به هندسه مدل و به منظور همخوان سازی شرایط مدل با وضعیت طبیعی، مرزهای جانبی مدل در جهت عمود بر صفحات مرزی ثابت شد (مرز غلنگی). مرز پایینی در تمام جهات ثابت و در مرز بالایی تنش معادل تنش ثقلی رویاره اعمال شد. میزان تنش عمودی بر اساس ژرفای ۴۳۰ متر رویاره که به طور کامل از سنگ گابرو است، بر اساس رابطه $\sigma = p \cdot g \cdot h$ محاسبه شد. در این رابطه σ تنش عمودی یا گرانشی، p چگالی، g شتاب گرانش و h ژرفای رویاره است (Hoek, 2000). σ_3 برای این اساس در هر دو مدل به سبب تفاوت ناچیز (۰/۰۰۵ Mpa) معادل ۱۲/۱۳ مگاپاسکال محاسبه و استفاده شد. تنش‌های افقی برجا (σ_1) که بر اساس دستگاه مختصات شکل ۲ در جهات x و z عمل می‌نمایند بر اساس ضریب K (نسبت تنش) از میزان تنش عمودی حاصل می‌شوند. از رابطه $K = 0.25 + 7E_2 / (0.001 + 1/Z)$ (Sheory, 1994) می‌توان برای محاسبه ضریب K استفاده نمود. در این رابطه Z ژرفای رویاره، E_2 مدول تغییر شکل‌پذیری میانگین لایه‌های بالایی است. مقدار K برابر ۰/۵ محاسبه و

واضح و آشکار است. لذا پیشنهاد می‌شود چنانچه حصول ویژگی‌های ژئومکانیکی هاله در مدل‌سازی‌های مشابه وجود دارد، این ناحیه به‌هم‌ریخته در مدل‌ها اعمال گردد و در صورت نبود داده‌ها، همواره اختلاف ناشی از در نظر نگرفتن آن در مدل با شرایط طبیعی مدنظر باشد. اگرچه نتایج مدل دارای هاله با شرایط واقعی اختلاف جزئی دارد اما همین میزان اختلاف را می‌توان از دو مورد اساسی تر متصور بود. مورد اول می‌تواند دقت آزمایش‌ها و خطای احتمالی پیش از ورود ویژگی‌های مواد و محیط، و مورد دوم که به نظر مؤثرتر می‌نماید حساسیت مدل به میزان ستبرای هاله باشد. چنانچه اطلاعات ورودی با تقریب بالایی دقیق باشد می‌توان در مطالعات مشابه صرفاً ستبرای هاله را در نقاط کنترلی آنقدر تغییر داد تا نتایج با ابزار بندی منطبق گردد. بدین ترتیب پیش‌بینی می‌شود که هندسه هاله نیز قابل برآورد باشد.

۴- سپاسگزاری

مؤلفان بر خود وظیفه می‌دانند تا بدین وسیله کمال سپاس خود را از مجری طرح شرکت سهامی آب منطقه‌ای باختر کشور و همچنین از شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، به خاطر مساعدت‌های بی‌دریغشان برای پیشبرد تحقیق بیان نمایند.

راست و چپ (به ترتیب دو حدود ۳/۵ و ۳ میلی‌متر) اتفاق افتاده است. جابه‌جایی نهایی بیشینه (سقف)، در هر دو مدل و نیز یافته‌های ایزار بندی در فاصله‌ی معادل دو و نیم برابر قطر تونل (۱۵ متر) پس از سینه کار تقریباً نسبت ثابتی پیدا می‌کند و به مقدار نهایی خود می‌رسد. از سوی دیگر فاصله شروع تغییر شکل‌ها قبل از رسیدن به سینه کار در تمامی مدل‌ها تقریباً معادل ۱/۵ برابر قطر تونل یعنی ۹ متر می‌باشد. بر اساس میزان جابه‌جایی بیشینه، فاصله تثبیت آن نسبت به جبهه کار و نیز فاصله شروع تغییر شکل‌ها، توده سنگ مدل شده در دسته سنگ‌های الاستیک و مقاوم قرار می‌گیرد. نسبت جابه‌جایی در سقف در ابتدای پیشروی (زمانی که هنوز سینه کار به اندازه ۱/۵ برابر قطر تونل یا آن فاصله دارد) به جابه‌جایی نهایی آن (بیشینه جابه‌جایی)، بر اساس نتایج مدل یکپارچه ۱۰٪ و حالتی که هاله خرد شده در نظر گرفته شد ۱۸٪ باشد. در حالی که نسبت یاد شده در سنگ‌های ضعیف به لحاظ مقاومتی به مراتب بیشتر است، چنین نسبتی مقاومت قابل قبولی را از توده سنگ مدل شده نشان می‌دهد. به‌طور کلی آنچه نمودارهای حاصل بیان می‌دارد انطباق بهتر داده‌های منتج از مدل‌سازی با اعمال هاله خرد شده با شرایط واقعی زمین (نتایج ایزار بندی) است. بدین ترتیب سؤال اصلی تحقیق با این پاسخ روبروست که حساسیت مدل به چنین هاله‌ای



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی

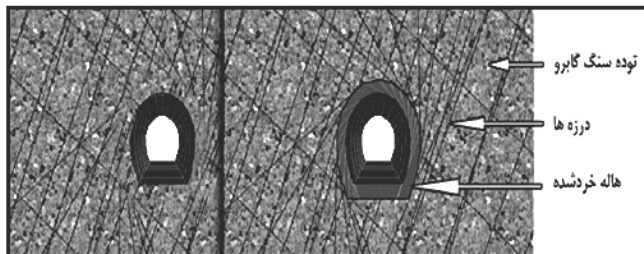
جدول ۱- ویژگی‌های هندسی و مکانیکی درزه‌های منطقه

دسته درزه	شیب ظاهری در مقایسه با امتداد تونل	جهت شیب نسبت به شمال	Kn سختی نرمال (MPa/mm)	Ks سختی برشی (MPa/mm)	مقاومت کششی (MPa)	C چسبندگی (MPa)	∅ (درجه)
(خسروی و همکاران، ۱۳۷۶)							
۱	۶۸/۴	۲۳۶	۱/۶۴۲	۴/۴۶۱	۰/۲۳	۰/۹۰	۳۲/۸
۲	۷۵/۵۱	۳۲۵	۱/۰۵۲	۲/۸۶۱	۰/۱۵	۰/۷۸	۱۸
۳	۴۸/۳۲	۱۴۲	۱/۰۹۲	۴/۱۴۰	۰/۱۹	۰/۸۶	۲۴

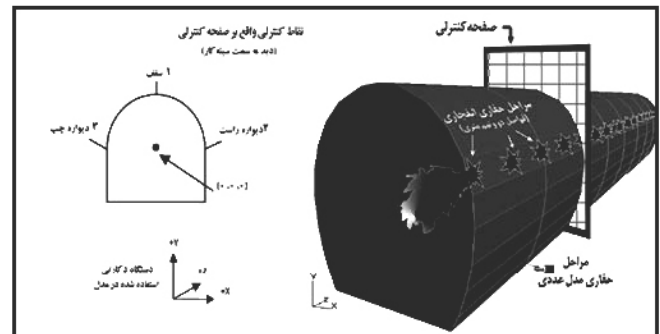
جدول ۵- مقادیر جابه‌جایی در هر مرحله حفاری در مدل دارای هاله خرد شده

مقطع حفاری شده	۱-۵ تا متر	۵ تا نقطه هدف در مرز بازگشایی	نقطه هدف در مرز بازگشایی تا ۵ متر	۵ تا ۱۰ متر بعد از نقطه هدف	۱۰ تا ۱۵ متر بعد از نقطه هدف	۱۵ تا ۲۰ متر بعد از نقطه هدف	۲۰ تا ۲۵ متر بعد از نقطه هدف	۲۵ تا ۳۰ متر بعد از نقطه هدف
۱- مقادیر جابه‌جایی سقف، نقطه هدف در مرز بازگشایی (و ۳/۱ و ۰) (X, Y, Z)								
جابه‌جایی برآیند	۰/۳۲۵	۲/۲۵۶	۵/۵۴۲	۶/۵۷۵	۹/۵۷۶	۱۰/۴۱۷	۱۰/۵۱۷	۱۰/۵۳۴
نتایج ابزار بندی				۱۰/۳۸۲	۱۱/۱۸۴	۱۱/۸۸۸	۱۲/۰۹۰	۱۲/۰۹۲
۲- مقادیر جابه‌جایی دیواره راست، نقطه هدف در مرز بازگشایی (و ۵- و ۰/۷۴ و ۰) $(X, Y, Z=۴/۰۶)$								
جابه‌جایی برآیند	۰/۴۸۹	۰/۷۲۷	۱/۶۳۰	۲/۸۱۴	۳/۱۸۲	۳/۳۵۸	۳/۴۴۷	۳/۴۵۲
نتایج ابزار بندی				۳/۶۲۵	۳/۸۹۰	۴/۰۹۲	۴/۱۸۹	۴/۱۹۱
۳- مقادیر جابه‌جایی دیواره چپ، نقطه هدف در مرز بازگشایی (و ۵- و ۰/۷۴ و ۰) $(X, Y, Z=۴/۰۶)$								
جابه‌جایی برآیند	۰/۲۴۷	۰/۸۱۰	۲/۰۲۶	۲/۷۴۴	۲/۸۷۴	۳/۰۴۸	۳/۰۸۱	۳/۰۸۳
نتایج ابزار بندی				۴/۴۸۱	۵/۰۸۴	۵/۳۹۰	۵/۴۳۰	۵/۴۳۳

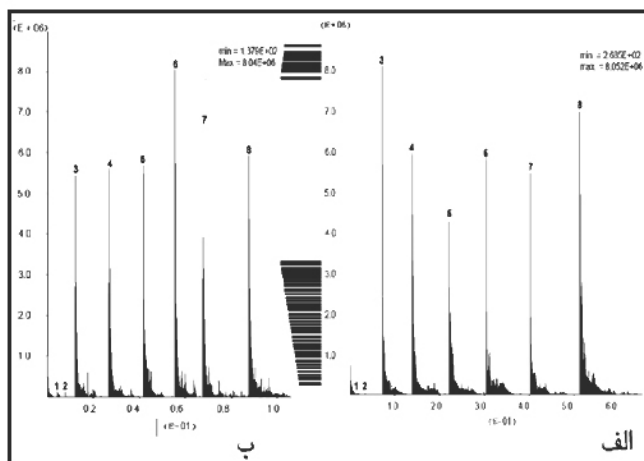
* مقادیر به میلی‌متر است. چارچوبهای خالی در نتایج ابزار بندی به سبب عدم نصب ابزار پیش از حفاری است.



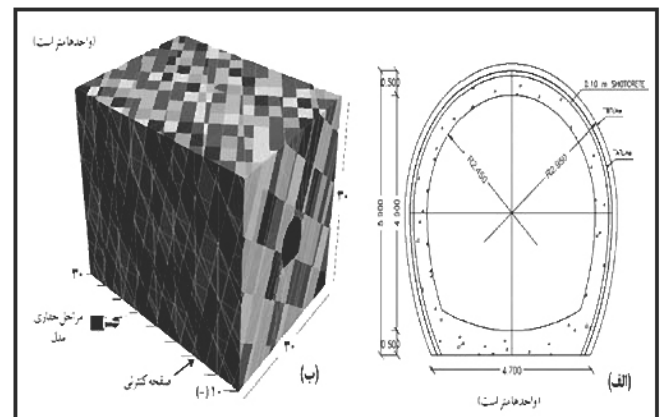
شکل ۳- مدل‌های دارای هاله خردشده (راست) و یکپارچه (چپ) استفاده شده در تحقیق



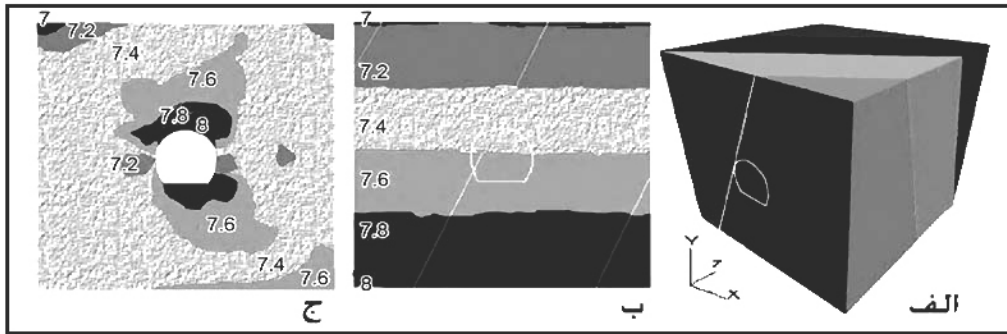
شکل ۴- موقعیت صفحه و نقاط کنترلی، دستگاه مختصات و مقایسه مراحل حفر مدل با مراحل انفجار



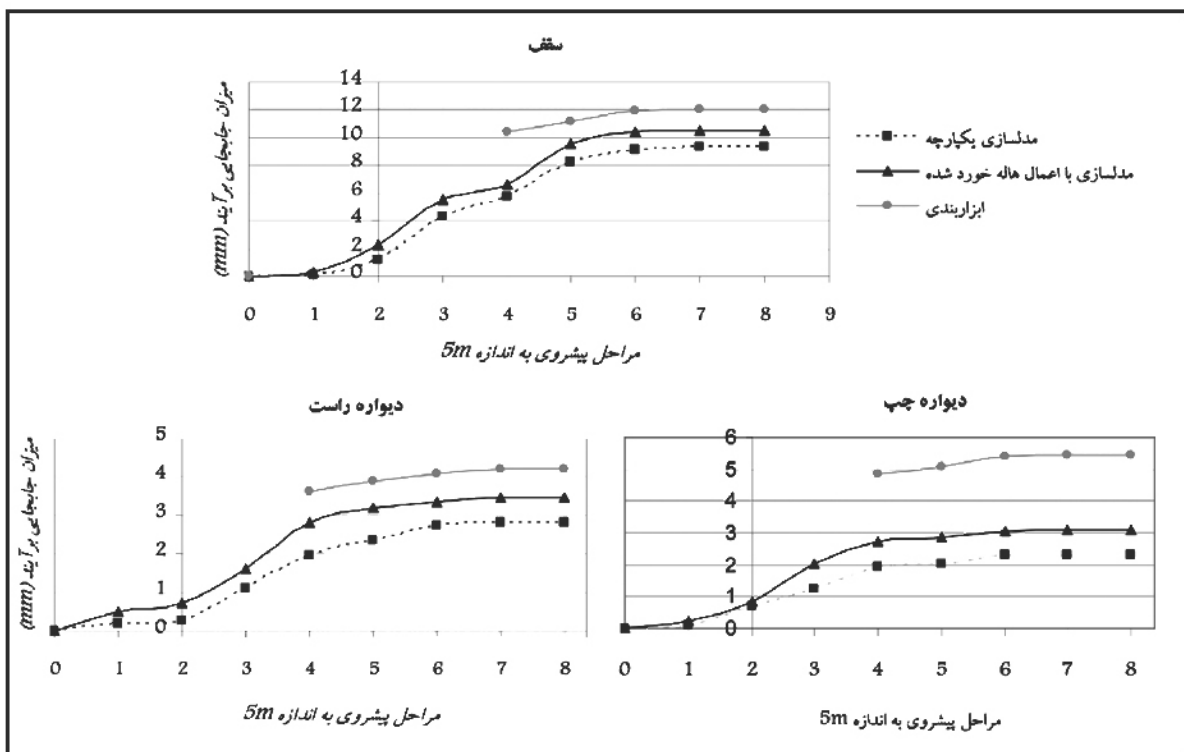
شکل ۵- الف) وضعیت نیروهای نامتعادل کننده در هر مرحله از پیشروی در مدل یکپارچه ، ب) دارای هاله خرد شده (متری). واحدها برحسب نیوتن است و صفحه کنترلی در آغاز مرحله سوم قرار دارد



شکل ۶- الف) ابعاد طراحی مقطع تونل ب) حدود هندسه، مراحل حفاری و موقعیت صفحه کنترلی مدل



شکل ۶- الف) مدل با یک دسته دوزه برای بررسی عملکرد نرم افزار، ب) وضعیت تنش های برجا پیش از حفاری ج) پس از حفاری



شکل ۷- نمودارهای مقایسه ای نتایج مدل سازی با ابزار بندی

کتابنگاری

خسروی، ح.، شبیری، ج. و نقابت شیرازی، ن.، ۱۳۷۶- "گزارش زمین شناسی مهندسی و مکانیک سنگ طرح تونل انتقال آب سد گاوشان و تونل های دسترسی به آن". مطالعات مرحله دوم. مهندسی مشاور مهتاب قدس.

کیانی، ر.، ۱۳۸۴- "بررسی ابزار بندی در تونل گاوشان، با نگرشی ویژه به رفتار ناحیه سرپانتینیت". مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. تهران. دانشگاه تربیت مدرس.

مهندسین مشاور مهتاب قدس، نظارت مقیم کارگاه تونل گاوشان، ۱۳۸۴- "گزارش روزانه ابزار بندی تا تاریخ ۱۳۸۴/۱۱/۱۵".

References

- Alavi, M., 1994 - "Tectonic of zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretation". Journal of Tectonophysics, Vol.229. PP 211-238.
- Barla, M.,2000-"Stress paths around a circular tunnel".Rivista Italiana di Geotecnica,Italian geotechnical journal, Vol. 34, Part. 1, PP.53-58.
- Bell, F.G., 1992 - "Engineering in rock masses". Butterworth-Heinemann Ltd. 580 p.
- Cheng, Y.and Liu, S., 1990-"Power caverns of the Mingtan Pumped Storage Project, Taiwan". In Comprehensive Rock Engineering. (ed. J.A. Hudson), Oxford: Pergamon, 5, PP 111-132.
- Eberhardt, E.,2001-"Numerical modeling of three-dimension stress rotation ahead of an advancing tunnel face". International J. Rock Mech. & Min. Sci. vol. 38. PP 499-518.
- Gercek, H. and Unlu, T., 2003-"Effect of Poisson's ratio on the normalized radial displacements occurring around the face of a circular tunnel". Tunneling and underground Space Technology, (18). PP 547- 553.
- Hoek, E., 1990-"Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion". Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci & Geomechanics Abstracts. 12 (3), 227-229.
- Hoek, E., 2000 - "Rock Engineering (Course notes by Evert Hoek)". Evert Hoek Consulting Engineer Inc. 313 p.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 2002 - "The Hoek-Brown failure criterion - a 2002 update". Roclab User's guide. Rocscience Inc. 27 p .
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F., 1995 - "Support of underground excavation in hard rocks". Rotterdam: A.A. Balkema Pub. 369 p.
- Itasca Consulting Group, 2002 - "3DEC- 3Dimensional Distinct Element Code, Ver. 4.0, User's Manual". Minneapolis: Itasca Consulting Group Inc. 1028 p.
- Pande, G.N. and Williams, J.R., 1990 - "Numerical Methods in Rock Mechanics". John Wiley & Sons Ltd. 419 p.
- Rocscience group, 2002 - "Roclab: rock mass strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion, User's guide". Rocscience Inc. 27 p .
- Sheory, P.R., 1994 - "A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock". Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 31(1), 23-34.
- Wittke, W., 1990 - "Rock mechanic- theory and applications with case histories". Springer Inc. 1074 p.
- Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L., 1994 - "The finite element method". London: McGraw-Hill Ltd. 700 p.

surface in ore area. On this base, if the amount of sum of standard normalized data of supergen ore to hypogens ratio is larger than one, we can conclude that the main ore bodies exist in the depth and it conserved from erosion processes.

Key words: Geochemical Investigation, Porphyry Copper and Molybdenum deposit, Composite Haloes, Kahang

For Persian Version see pages 51 to 56

*Corresponding author: M. Farmahini Farahani; Email: fm_farahani@yahoo.Com

Effect of Crashed Areola during Blast Advancing on 3dimention Numerical Analysis of Tunnel's Displacements "With Respect to 10th km of Gavooshan Tunnel"

H. Bahrami^{1*}, A. Uromiahy¹, M. Ahmadi² & S. Soleymani¹

¹Engineering Geology Department, Faculty of science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

²Rock Mechanic Department, Faculty of Engineering, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

Received: 2006 July 30

Accepted: 2008 October 29

Abstract

In a perfect design of underground spaces, amount of total displacement from the point of stability analysis is fundamental. In empirical and numerical stability analysis periphery of excavated area is consider as a continued mass. When an underground space is excavated by blasting process, so periphery of tunnel is damaged by that process. As a result, those materials are not continued. In this research this area named "Crashed areola". 3 dimensional distinct element methods has more adapted with this area, while compared to other numerical methods. 3DEC 4.0 which is based on this method was chosen as a numerical codes. 10th kilometers of Gavooshan tunnel which is water conveyance tunnel is considered as a case study. The part of this tunnel which studied in this research is surrounded by ophiolitic gabbro rock mass. For modeling of this tunnel two conditions were considered, first with continue media of rock mass and second discontinue media so called crash areola. One of the advantages of this part of tunnel is installation of instrumentation with very scientific methods and absence of lining in the other hand. The outputs of numerical solution were shown that modeling by considering crash areola is near to data collection by instrumentations.

Keywords: Crashed areola, Blast advancing, Numerical modeling, 3DEC, Gavooshan tunnel.

For Persian Version see pages 57 to 64

*Corresponding author: H. Bahrami; E-mail: Bahrami22@yahoo.com.