



بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹ The 23rd Symposium of Geological Society of Iran 10-11 November, 2020



تحلیل عددی رفتار تغییر شکل پذیری تونل واقع در توده سنگ درزه دار (مطالعه موردی: تونل آب بر سد سیمره)

محمد القاصی چگنی

دانشجوی مقطع دکترای، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان

نتیجه گیری

یکی از روشهای موثر بررسی رفتار مهندسی سنگ استفاده از روشهای عددی است. در مدل تونل آب بر سیمره از کیلومتر ۱۲۵۲ الی ۱۲۷۲ با توجه به برداشت درزه های توده سنگ پس از حفاری به روش اسکن لاین، فرایند آماری بر روی آنها برای دست آوردن دسته درزه های معرف موجود در این بازه انجام پذیرفت. سپس این دسته درزه های معرف در نرم افزار 3DEC اعمال شد. در مرحله بعد شرایط اولیه و مرزی بر روی مدل ساخته شده تعریف گردید و در نهایت با انجام تحلیل عددی، حداکثر جابجایی ۵/۶ میلیمتر در راستای Z و ۵/۰- میلیمتر در جهت X در محل سقف تونل محاسبه گردید. این جابجایی ها با جابجایهای اندازه گیری شده در ایستگاه پین همگرایی کیلومتر ۱۲۶۸ که میزان جابجایی در راستای Zرا حداکثر ۳ میلیمتر و در راستای X را ۱/۰- میلیمتر در محل سقف تونل اندازه گیری نموده است، مقایسه شد که همخوانی مناسبی بین این دو بدست آمد، زیرا که مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر محاسبه شده نزدیک می باشند. این همخوانی نشان دهنده صحت عملکرد مدل سازی عددی انجام شده می باشد. در هر دو صورت نتایج به دست آمده ازتحلیل عددی و جابجایهای اندازه گیری شده توسط ابزار بندی، تونل پایدار بوده و مشکلی در خصوص پایداری آن مشاهده نگردید. پیشنهاد می گردد در مراحل بعد با اضافه کردن فاکتور آب به مدل و درون درزه ها و محاسبه میزان نشست، یک تحلیل توامان برای مقایسه بین مدل سازی تاثیر جریان سیال در مقادیر جابجایی محاسبه شده و اندازه گیری شده انجام پذیرد.

مواد و روش کار

به منظور بررسی تاثیر ناپیوستگی های موجود در توده سنگ بر تغییر شکل پذیری تونل، نیاز به داشتن اطلاعاتی دقیق از تعداد و جهت داری آنهاست. منطقه مذکور شامل تعداد زیادی درزه است که به روش خط برداشت (Scan line) اطلاعات آنها جمع آوری شده است. در مرحله بعد به منظور تعیین تعداد دسته درزه های غالب در منطقه، از نرم افزار Dips استفاده شده است. مطالعه و تحلیل درزه ها نشان می دهد که منطقه مذکور شامل سه دسته درزه غالب است

بحث

مقدمه

به دلیل وجود انواع ناپیوستگی در توده سنگ، بررسی وضعیت پایداری حفاریات واقع در آن (مانند یک تونل)، رفتار تغییرشکل‌پذیری محیط قبل و بعد از انجام عملیات حفاری عموماً پیچیده و نامشخص است. در این موارد می‌توان از مدل‌سازی به عنوان روشی سریع و قدرتمند در طراحی انواع سازه‌های مهندسی سنگ با اهداف گسترده، بهره برد. به همین دلیل توسعه و استفاده از روش‌های عددی به منظور مدل‌سازی و حل مسائل مذکور، روز به روز طیف گسترده‌تری را شامل می‌شود [۱]. روش المان محدود (FEM)، تفاضل محدود (FDM) و المان مرزی (BEM) از جمله مهم‌ترین روش-های عددی موجود در محیط‌های پیوسته و روش اجزای مجزا (DEM) نیز روش پرکاربرد در محیط‌های ناپیوسته‌ای نظیر توده سنگ درزه‌دار است. درزه‌ها معمولاً از نظر تعداد دارای فراوانی بالاتری نسبت به سایر ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ هستند که می‌توان آنها را به شکل های مختلف توسط روش اجزای مجزا مدل‌سازی نمود [۲]. توسط این روش، المان‌ها به عنوان بخشی از بلوک‌های سنگی سخت یا تغییرشکل پذیر تلقی شده که طی مراحل مختلف تحلیل تنش-جابجایی، روند حرکت آنها شناسایی و به روز رسانی می‌شود. 3DECاز جمله شاخص‌ترین کدهای عددی بر پایه روش اجزای مجزا است که می‌توان از آن برای حل مسائل مختلف موجود در علوم زمین در حالت سه بعدی استفاده نمود [۴]- [۳]. استفاده از روش عددی اجزای مجزا به کمک نرم افزار مذکور طی سالهای گذشته در تحلیل پایداری و طراحی سیستم نگهداری انواع فضاهای زیرزمینی استفاده شده است [۱۲-۱۵].

در این تحقیق با هدف بررسی رفتار تغییر شکل پذیری تونل واقع در توده سنگ درزه‌دار، از روش عددی اجزای مجزا استفاده شده است. بدین منظور پس از برداشت درزه‌های موجود در تونل آب‌بر سد و نیروگاه سیمره، دسته درزه‌های قالب در منطقه توسط نرم‌افزار Dips تعیین شده است. در مرحله با ساخت مدل سه‌بعدی توده سنگ، به کمک نرم‌افزار 3DEC تحلیل پایداری و تغییر شکل پذیری تونل مذکور انجام شده است. در پایان نیز نتایج مدل‌سازی عددی انجام شده با اطلاعات بدست آمده از ابزاربندی تونل مقایسه شده است.

پروژه سد و نیروگاه سیمره در حدود ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره شهر و در ۱۰۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ایلام واقع شده. تونل آب بر سد و نیروگاه سیمره، آب را از مخزن سد به سمت نیروگاه منتقل می‌کند. این تونل دارای سطح مقطع دایره ای، به قطر تمام شده ۱۱ متر می‌باشد که به روش چال زنی و آتشباری و به طول ۱۵۴۶ متر حفاری شده است. به دلیل کامل تر بودن اطلاعات زمین شناسی و ژئومکانیکی در کیلومتر ۱۲۵۲ تا ۱۲۷۲ تونل، کلیه تحلیل های انجام شده در این تحقیق در این بازه مکانی (یعنی طولی با اندازه ۲۰ متر) در تونل انجام شده است. بطورکلی تونل مذکور در سازند آهک آسماری قرار گرفته و شامل درزه های متعددی است که از سمت شمال غربی به جنوب شرقی امتداد یافته اند.

۱. شرایط اولیه و مرزی مدل

شرایط اولیه، شامل شرایطی است که پیش از تغییرات زمین، در مدل ایجاد می‌گردد. همچنین وضعیت جابجایی در مرزهای مدل، در شرایط مرزی تعیین می‌شود. برای تعریف و اعمال این شرایط به مدل، باید سعی گردد شرایط موجود در مدل به واقعیت نزدیک باشد. تونل مذکور در محل مورد مطالعه در عمق ۱۲۲ متری از سطح زمین واقع شده است. در این تحقیق بر اساس ابعاد مدل در نظر گرفته شده، برای تاثیر بار ناشی از ارتفاع روباره تونل، تنش معادل ۳ مگاپاسکال در جهت Zدر مدل اعمال شده است. همچنین با توجه به مقدار ضربه پواسون توده سنگ (۰/۲۵)، تنش‌های برجای افقی برابر با یک سوم تنش‌های برجای عمودی، به عنوان شرایط اولیه در مدل تعریف شده است. لازم به ذکر است در این حالت نیروی نقل با فرض اینکه موثرترین تنش اعمالی، تنش حاصل از وزن توده سنگ بر محدوده تونل باشد، اعمال گردید. در مرحله بعد پس از تعریف و اعمال شرایط اولیه به مدل، شرایط مرزی مدل با ثابت نمودن میزان جابجایی‌ها در جهات X، Y و Z در محدوده‌ای به فاصله چهار برابر شعاع تونل و در قسمت‌های راست، چپ و زیر تونل، اعمال شده است.

۲. پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ

معمولاً نوع و تعداد پارامترهای مقاومتی و تغییرشکل پذیری سنگ و درزه برای تعریف توده سنگ، بر اساس معیار شکست در نظر گرفته شده در مدل‌سازی تعیین می‌گردد. در این تحقیق از معیار موهر-کلمب برای تعریف مدل رفتاری ماده سنگ در منطقه پلاستیک اطراف حفریه استفاده شده است. در حفر تونل، زمانی که از روش چالزنی و آتشباری استفاده می‌شود، بر اثر تنش ایجاد شده در اثر انفجار، یک منطقه پلاستیک اطراف تونل تشکیل می‌گردد که با معیار مذکور قابل مدل شدن است. همچنین بر اساس شرایط درزه داری منطقه و اطلاعات موجود، مدل رفتاری بارتن-باندیس برای تعریف رفتار تغییر شکل پذیری درزه‌های موجود در منطقه در نظر گرفته شده است. بر پایه مدل‌های رفتاری در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی توده سنگ، در جدول ۲ مقادیر پارامترهای ژئومکانیکی تخصیص یافته به سنگ و درزه در مدل آورده شده است. این مقادیر از انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاه روی توده سنگ و نمونه‌های سنگی بدست آمده است.

3. نتایج تحلیل تنش-جابجایی

با ساخت مدل و به تعادل رساندن آن، برای تعیین مقدار تغییر شکل پذیری توده سنگ اطراف تونل از تحلیل تنش-جابجایی در دو مرحله قبل و بعد از نصب سیستم نگهداری تونل استفاده شده است. بدین منظور سعی شده است، محدوده مورد مطالعه تونل، در چهار مرحله ۵ متری ایجاد و شبیه‌سازی گردد. در مدل‌سازی تونل پس از هر مرحله حفاری، نگهداری تونل توسط پنج سنگ‌های تمام تزریق به طول 6 متر از جنس فولاد AIII به قطر 32 میلی‌متر با مقاومت گسیختگی 400 نیوتن بر متر مربع و مقاومت برشی دوغاب 10 مگاپاسکال با الگوی نصب در شبکه ای به ابعاد یک در یک متر در سقف تونل، انجام شده است.

در پایان اجرای مدل، مقادیر جابجایی بدست آمده توسط نرم‌افزار در سقف تونل در جهات x، y و Zمحور مختصات بدست آمده است. حداکثر مقدار جابجایی در راستای Z و به میزان 5/6 میلی‌متر می‌باشد. تغییرات جابجایی بعد از رسیدن به مقدار ماکزیمم در سه راستا تقریباً ثابت می‌گردد که این نشان دهنده تکمیل فرایند حل مدل در این مرحله است.

4. اعتبار‌سنجی نتایج

در این مرحله به منظور اعتبار‌سنجی، نتایج بدست آمده از روش عددی با مقادیر انداز‌گیری شده ابزار دقیق نصب شده در تونل مذکور مقایسه شده است. بدین منظور از اطلاعات یک متر همگرایی‌سنج که در کیلومتر 1268 تونل نصب شده، استفاده شده است. همگرایی‌سنج مذکور با آرایش 5 نقطه‌ای، یکی در سقف (نقطه T) و چهار عدد دیگر در دیواره راست (نقاط R1 و R2) و چپ (نقاط L1 و L2) تونل نصب شده اند. قرانت مترها نیز پس از گذشت 24 ساعت از نصب شروع شده و طی مدت زمان 14 ماه و با دقت قرانت 1/0 میلیمتر انجام شده است.

جدول ۲. پارامترهای مکانیکی سنگ و درزه محدوده مورد مطالعه [۱۳]

پارامتر	φ	E	ν	UCS	C	γ	φj	jkn	jks	JRC	JCS
واحد	Degree	GPa	-	MPa	MPa	Kg/m ³	Degree	GPa/m	GPa/m	-	MPa
مقدار	۴۶٫۴۸	۲۶	۰/۲۵	۱۲۰	۰/۲۵	۲۵۰۰	۲۶	۱۰	۲	۸	۱۰۵

[1] Jinga .L, Hudson. J.A. Numerical methods in rock mechanics, Civil Zone review papers', International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39- 409–427.2002.

[2] Cundall PA. Formulation of a three-dimensional distinct element model-Part I: a scheme to detect and represent contacts in a system composed of many polyhedral blocks. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr; 25(3):16–107, 1988.

[3] Cundall PA, Hart RD. Development of generalized 2-D and 3-D distinct element programs for modelling jointed rock. ITASCA Consulting Group, Misc. paper SL-1-85. US Army Corps of Engineers, 1985.

[4] Hart RD, Cundall PA, Lemos JV. Formulation of a three dimensional distinct element method—Part II: mechanical calculations for motion and interaction of a system composed of many polyhedral blocks. Int J Rock mech Min Sci Geomech Abstr; 25(3):25-117, 1988.

[5] Barton N. Modeling jointed rock behaviour and tunnel performance. World Tunneling; 4(7):414–6, 1991.

[6] Jing L, Stephansson O. Distinct element modelling of sublevel stoping. Proceedings of the Seventh International Congress of ISRM, vol. 1. Aachen, Germany, p. 741–6, 1991.

[7] Nordlund E, R (ed)berg G, Jing L. Determination of failure modes in jointed pillars by numerical modelling. In: Myer, Cook, Goodman, Tsang, editors. Fractured and jointed rock masses. Rotterdam: Balkema, p. 345–50, 1995.

[8] Souley M, Hommand F, Thoraval A. The effect of joint constitutive laws on the modelling of an underground excavation and comparison with in-situ measurements. Int J Rock Mech Min Sci; 34(1):97–115, 1997.

[9] Nalini R, Velada Rama Sastery and et al., Behaviour of tunnel and surrounding strata using 3DEC numerical modeling: A case study of an U/G metro rail project, International Journal of Earth Sciences and Engineering, December 2012.

[10] Nalini R, Velada Rama Sastery,Shivashankar R. Study of Surface Displacements on Tunnelling under Buildings Using 3DEC Numerical Modelling, International Scholarly Research Notices Volume 2014, Article ID 828792, 13 pages, 2014.

[11] ITASCA Consulting Group, Inc. 3DEC Manual, 1994.

[۱۲] شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، گزارش تحلیل مرحله نخست آگیری سد سیمره، ۱۳۹۰.

[۱۳] شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، گزارش مکانیک سنگ ساختمان سد سیمره (تأخیه بندی ژئومکانیکی پی و تکیه گاه ها)، ۱۳۸۷ .

[۱۴] شرکت پایاب کوثر، گزارش رفتارنگاری تونل آب بر نیروگاه سیمره، ۱۳۸۷.