DAM AND TUNNEL CONFERENCE & EXPO همایش و نمایشگاه سد و تونل
ششمین همایش و نمایشگاه سد و تونل ایران
The 6th Dam and Tunnel Conference & Exhibition
16 - 17 February 2021
۲۸ -۲۹ بهمن‌ماه ۱۳۹۹

تشکیل زون تخریب ناشی ازحفاری مکانیزه در سنگ سخت با تنش بالا

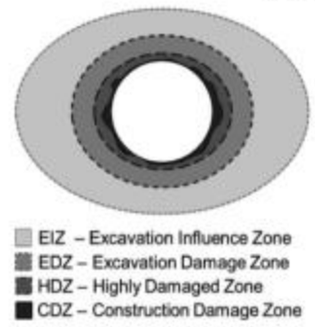
بهروز درودیان موحد، کاوه آهنگری، علی نورزاد

چکیده:

برآورد تشکیل زون آسیب در توده سنگ جداره فضای حفاری زیرزمینی از دیدگاه‌های مختلفی حائز اهمیت است. تخریب و آسیب به توده سنگ در دو حالت ایجاد می‌شود. الف) آشفتگی ناشی از عملیات چالزنی و انفجار ب) توسعه ترک به واسطه تغییر سطح تنش در توده سنگ. آشفتگی ناشی از حفاری مکانیزه در توده سنگ پیرامون مقطع حفاری به حداقل می‌رسد. ولی در سنگ سخت تحت تنش بالا بدلیل تغییر سطح تنش، جداره حفاری دچار آسیب و ترک می‌شود که تحت عنوان پوسته‌شدگی (Spalling) نامیده می‌شود. بروز این پدیده سبب اخلال در عملکرد حفاری دستگاه TBM خصوصاً از نوع گریپردار می‌شود. در این تحقیق سعی گردیده تا بروز این آسیب در حفاری مکانیزه با قطرهای مختلف تحت تنش‌های متفاوت مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱ زون تخریب

مطابق تحقیقات صورت گرفته تاکنون، زون تخریب به سه مجموعه تقسیم می‌شود: ۱- ناحیه به شدت تخریب شده، ۲- زون تخریب که به‌صورت یک زون انتقالی پیوسته ترک‌های محدود و غیر قابل رویت با چشم در آن ایجاد می‌شود، ۳- محدوه تاثیر تنش یا کرنش که صرفاً تغییر شرایط الاستیک می‌باشد به نام زون تاثیر ناشی از حفاری نامیده می‌شود.

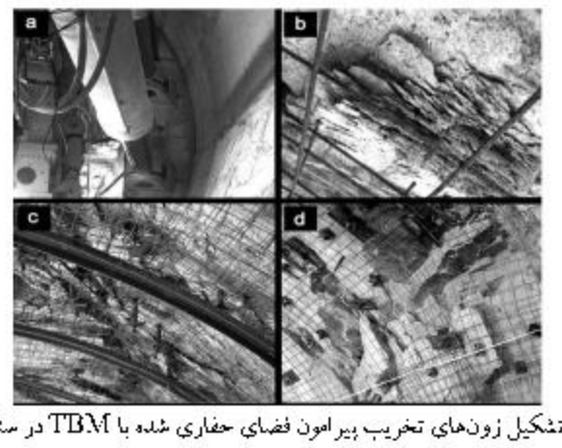


تعریف مناطق تخریب پیرامون فضای حفاری دایره ای

مارتین و همکاران در سال ۱۹۹۹ با استفاده از معیار شکست هوک-براون نسبت به تعیین عمق تجربی شکست ورقه ای اقدام نموده اند. این یافته‌ها در زمینه مطالعه پایداری تونل در سنگ‌های تحت تنش‌های بالا از سوی محققین دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا دیدریچس و همکاران در سال۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ رابطه هوک-براون را در زمینه بررسی آسیب به تودهسنگ پیرامون فضای تونل ناشی از حفاری در سنگ تحت تنش‌های بالا را با ارائه رویکرد DISL مورد ارزیابی قرار داده‌اند.

۲ مطالعه زون تخریب درحفاری دایره‌ای

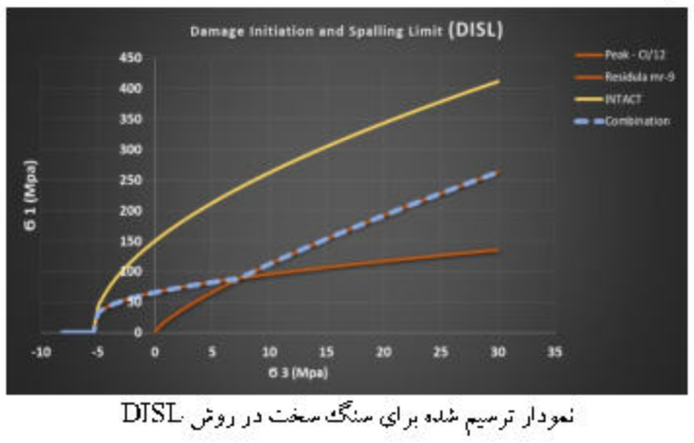
پوسته شدن سنگ در حفاری با TBM با روباره‌های تا ۱۵۰۰ متر در سنگ‌های سخت گرانیت و گنایس مشاهده شده است. از جمله آنها می‌توان به پروژه مترو آلپاین، تونل گتارد در سویس و همچنین پروژه تونل تورین لیون با روباره بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ را می‌توان نام برد که با پدیده پوسته شدگی در طول مسیر مواجه بوده اند.



وقوع پدیده پوسته شدگی و تشکیل زون‌های تخریب پیرامون فضای حفاری شده با TBM در سنگ سخت گنایس و گرانیت

۳ روش DISL

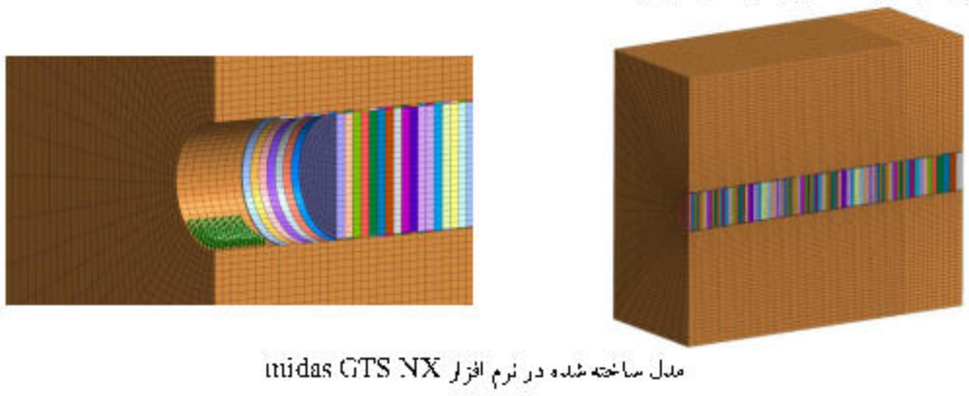
روش DISL که با جزئیات از سوی دیدریچس در سال ۲۰۰۷ مورد بحث قرار گرفته مبتنی بر بکارگیری معادله شکست تغییر یافته هوک – براون در تفسیر نمودار تنش σ_3-σ_1 است.



نمودار ترسیم شده برای سنگ سخت در روش DISL

٤ مدلسازی عددی

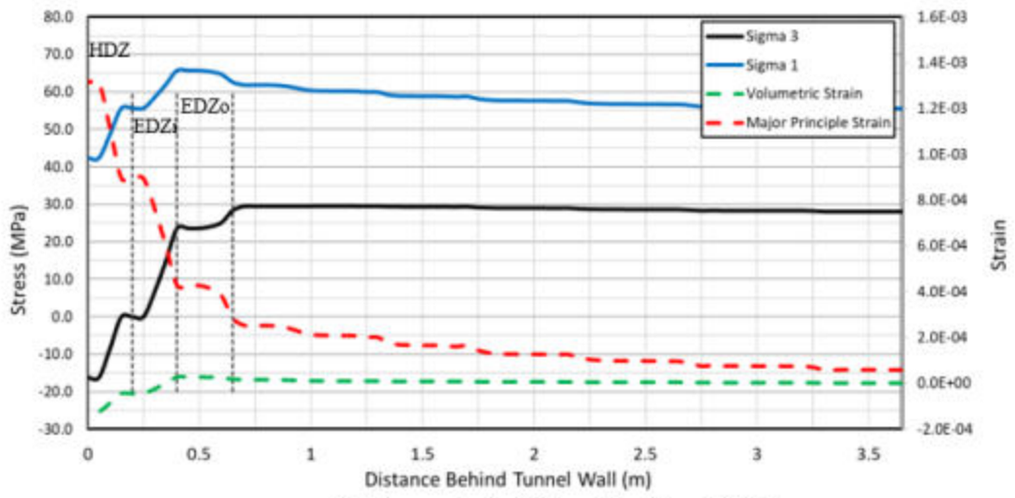
برای این تحقیق از مدلسازی عددی با نرم‌افزار تحلیل سه بعدی اجزای محدود به نام midas GTS NX استفاده شده است. به نحوی که مراحل حفاری مکانیزه در مدل تعریف شده است. تعیین هندسه مدل بر اساس انتخاب قطرهای معرف اعم از ۳، ۷ و ۱۱ متری به انجام رسیده است. این مقادیر قطر تمام شده تونل است که بر اساس قطر حفاری، ضخامت گروت و ضخامت سگمنت بدست آمده است. در تهیه مدل مراحل حفاری مکانیزه اعم از طول رینگ گذاری، طول شیلد و وزن دستگاه لحاظ شده است.



مدل ساخته شده در نرم افزار midas GTS NX

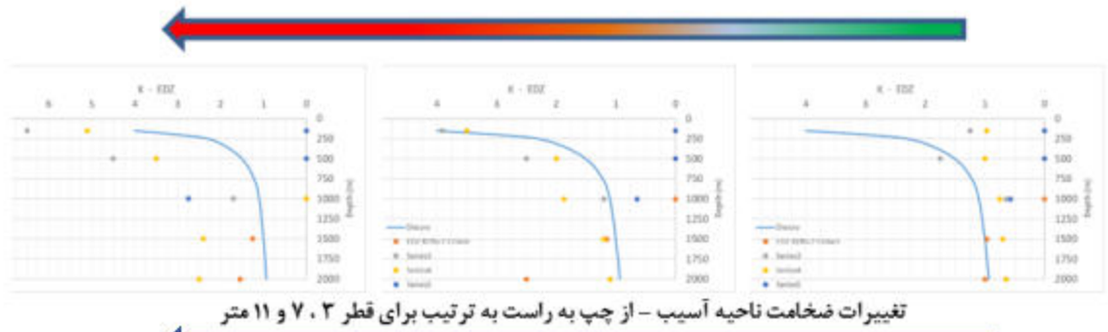
از جمله پارامترهای کلیدی برای بررسی شرایط توده سنگ در اطراف فضای حفاری کنترل تغییر تنش‌های اصلی، جابجایی در جهت‌های مختلف، زون‌های پلاستیک و در نهایت کرنش حجمی در توده سنگ بوده است. خصوصاً اینکه کرنش حجمی با توجه به نیاز به اثر توسعه ترک در دو فاز مختلف کرنش حجمی الاستیک و کرنش ناشی از افزایش حجم ترک مورد بررسی قرار گرفته است.

در اقطار مختلف تحلیل‌های صورتگرفته، مقدار تنش اصلی حداکثر و حداقل در مقابل کرنش حجمی و کرنش اصلی ترسیم گردید تا بتوان نسبت به بررسی کرنش ترک در پیرامون فضای حفاری مکانیزه اظهار نظر نمود. با اندازه‌گیری مقدار کرنش حجمی چنانچه روند تغییر کرنش مثبت و در جهت انقباض باشد، این تغییر به معنای رفتار الاستیک توده سنگ می‌باشد و چنانچه تغییر کرنش حجمی به سمت منفی شدن و در جهت انبساط باشد، این موضوع به معنای شروع تخریب و کرنش ترک‌های ایجاد شده در توده سنگ می‌باشد.

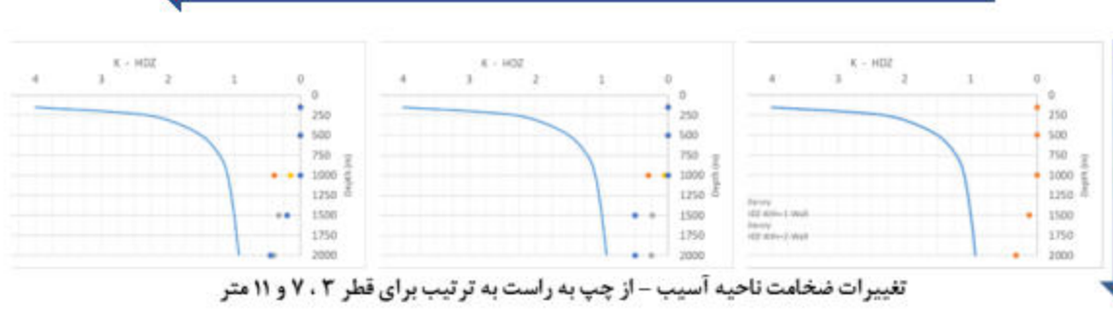


اندازه‌گیری مقادیر تنش و کرنش اصلی به همراه کرنش حجمی

مهمترین نکته در شناسایی زون تخریب ناشی از حفاری مکانیزه در سنگ سخت تحت تنش بالا، بررسی امکان حفاری مکانیزه با دستگاه‌های گریپردار می‌باشد چرا که پیشروی و استقرار این نوع دستگاه، نیازمند اتکایی مناسب می‌باشد و چنانچه تحت اثر شرایط ذکر شده توده سنگ دچار پوسته‌شدگی در اطراف فضای حفاری گردد، عملاً پیشروی این نوع از دستگاه‌های TBM که نیازمند اتکای جک‌های تراست به جداره فضای حفاری می‌باشد، با چالش جدی مواجه خواهد بود که این مسئله به ازای اقطار و سطح تنش مختلف در سنگ سخت مورد ارزیابی قرار گرفته و در ادامه نتایج آن ارائه شده است.



تغییرات ضخامت ناحیه آسیب – از چپ به راست به ترتیب برای قطر ۳، ۷ و ۱۱ متر



تغییرات ضخامت ناحیه آسیب – از چپ به راست به ترتیب برای قطر ۳، ۷ و ۱۱ متر

همانطور که ملاحظه می‌شود ضخامت ناحیه آسیب در اعماق کم ولی با شرایط تکتونیک فعال که سبب بالا رفتن میزان نسبت تنش افقی به قائم می‌شود، افزایش یافته و با روند نمودار شوری جهت تعیین نسبت تنش افقی به قائم در روباره‌های مختلف همخوان می‌باشد. مقدار ضخامت زون به شدت تخریب شده (IDZ) صرفاً بر اساس افزایش عمق و قطر تونل اضافه خواهد شد. این مقدار در روباره بالاتر از ۱۰۰۰ متر از قطر ۳ الی ۱۱ متری بین ۱۰ تا ۵۰ سانتیمتر افزایش خواهد یافت که این ناحیه عملاً کارکرد دستگاه گریپردار را با مشکل مواجه می‌سازد.

۵ نتیجه‌گیری

بر اساس روش DISL و بهره گیری از مدل عددی سه بعدی، می‌توان ضخامت زون تخریب ناشی از تغییر سطح تنش در پیرامون فضای حفاری را بدست آورد. تعیین این ناحیه از سه منظر به شرح زیر اهمیت دارد.

۱- با توسعه و کرنش ترک، میزان نفوذپذیری توده سنگ افزایش می‌یابد و این موضوع خصوصاً در توده سنگ‌های تحت فشار آب زیرزمینی و همچنین موقعیت‌هایی که لازم است تونل به صورت آببند تحویل داده شود، بسیار حائز اهمیت می‌باشد و می‌توان از این طریق ضمن بررسی امکان تشکیل این نواحی، میزان ابعاد آن برای اجرای تزریق‌های تحکیمی در دستور کار قرار گیرد.

۲- نکته بعدی از بابت لزوم بررسی شرایط توسعه و تغییر شکل در اطراف فضای حفاری، شریط نصب ابزار دقیق می‌باشد که لازم است برای کنترل نقطه صفر، نصب ابزار در فاصله مشخصی از جداره تونل به انجام رسد. با توجه به تعیین ناحیه آسیب (EDZ) در شرایط مختلف تکتونیکی و عمق قرارگیری تونل به ازای قطرهای مختلف حفاری، می‌توان نسبت به تعیین ضخامت ناحیه آسیب در سنگ سخت تحت تنش بالا از نمودار ارائه شده در بخش ۶-۱ استفاده نمود.

۳- مهمترین نکته در کنترل موضوع توسعه مقدار ترک و پوسته‌شدگی در جداره تونل، انتخاب دستگاه‌های گریپردار برای حفاری تونل می‌باشد. چرا که این نوع از دستگاه‌های TBM برای امکان استقرار و حفاری نیازمند اتکای مناسب از طریق جک زدن به جداره پایدارتونل می‌باشند که در صورت بروز شرایط پوسته‌شدگی، عملاً عملکرد این نوع دستگاه با مشکل مواجه می‌شود.

۴- شرایط پوسته شدگی سنگ در تونل‌های عمیق و کم عمق تحت تکتونیک فعال (نسبت تنش افقی به قائم بالا) مورد بررسی قرار گرفت که مطابق نتایج حاصله میزان ضخامت زون آسیب (EDZ) با افزایش مقدار K و همچنین قطر تونل ارتباط مستقیم دارد. همچنین ضخامت ناحیه به شدت تخریب شده (IDZ) صرفاً بر اساس افزایش عمق و قطر تونل اضافه خواهد شد. این مقدار در روباره بالاتر از ۱۰۰۰ متر از قطر ۳ الی ۱۱ متری بین ۱۰ تا ۵۰ سانتیمتر افزایش خواهد یافت که این ناحیه عملاً کارکرد دستگاه گریپردار را با مشکل مواجه می‌سازد.