Archive of SID

تحلیل پایداری تونل امام رضا در جاده اردبیل سرچم با استفاده از نرم افزار plaxis

علیرضا افرادی

دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی معدن ،واحد قایمشهر ، دانشگاه آزاد اسلامی ،قایمشهر ، ایران

alirezaparsi804@yahoo.com

سیامک رضازاده

استادیار و مدیرگروه معدن و زمین شناسی، واحد قایمشهر ، دانشگاه آزاد اسلامی ،قایمشهر ، ایران

siamak.rezazadeh@yahoo.com

چکیده

ساختارهای زمین‌شناسی، وضعیت تنش‌ها، شرایط آب‌های زیرزمینی، نقش نیروی گرانی وعملکرد فرایندهای ژیودینامیکی به تنهایی می‌تواند تاثیری منفی برسازه مهندسی یا طرح عمرانی داشته باشند. بنابراین به علت شرایط متفاوت زمین‌شناسی و زمین ساختی محل‌های مختلف نباید انتظار داشت که روش‌ها و راه حل‌های ارایه شده و کاربرد آن ها مشابه باشند و یا منجر به نتیجه‌ای یکسان گردند. به همین دلیل روش‌های تحلیل پایداری و طراحی در پیش‌بینی سیستم نگهدارنده تونل‌ها متنوع و با دیدگاه‌های متفاوت است. که برای طراحی یک تونل نیاز به آگاهی از شرایط زمین‌شناسی و ژیوتکنیکی آن است تا بتوان با توجه به مشاهدات و نتایج حاصل از این بررسی‌ها و با استفاده از روش‌ها و سیستم‌های طبقه‌بندی ژیومکانیکی توده سنگ اقدام به پایدارسازی نمود. خاک های محل تونل از نوع ریزدانه (سیلت و رس) می‌باشد. که عمده این خاک ها در زواره تونل و قسمت‌های اولیه تونل می‌باشد .حفاری تونل با استفاده از عملیات چال و انفجار و در دو مرحله اجرا می‌شود. مرحله اول شامل طراحی و اجرای سازه اولیه در بخش فوقانی با ارتفاع ۵/۵ متر و با مقطع نیم‌دایره و مرحله دوم شامل حفاری تحتانی به شکل مقطع مستطیلی به ارتفاع ۳ متر و عرض ۷/۳۴ اجرا و سپس پایدارسازی می‌شود. مقطع با مدل سازی توام توده و سازه نگهدارنده به کمک نرم‌افزار (پلکسیز ۷,۲) به روش عددی المان‌های محدود تحلیل شده است.نتایج نشان می دهد حداکثر تغییر مکان‌های افقی توده زمین در اثر حفاری بخش کناری دوم در قسمت تحتانی و دور شدن سینه کار از مقطع در پایان فاز ۱۰ برابر ۴۸ میلی‌متر می‌باشد. مقاومت فشاری به‌طور میانگین در محدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.مدول الاستیسیته در سنگ‌ها بین ۱۲ تا ۱۳ گیگا پاسکال قرار دارند.ضریب پواسون به‌طور میانگین ۰/۳۵ می‌باشد.ضریب چسبندگی (C) در محدوده بین ۴ تا ۵/۵ مگا پاسکال و زاویه اصطکاک داخلی (φ) بین ۶۰ تا ۵۰ درجه می‌باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل پایداری، حفاری، انفجار، سیستم طبقه بندی ژیومکانیکی توده سنگ

www.SID.ir

Archive of SID

۱-مقدمه

یکی از مهمترین عوامل در طراحی تونل یا هر فضای زیرزمینی دیگر، تأمین پایداری آن است. با توجه به این که حفر تونل، مستلزم صرف هزینه نسبتاً بالایی است، لذا هر گونه اقدام نادرست در مطالعه، تحلیل، اجرا و به کار گیری غیر اصولی سیستم های نگهدارنده، علاوه بر این که ما را در رسیدن به اهداف خود ناکام می گذارد، باعث تلف شدن سرمایه زیادی نیز خواهد شد.با این تفاسیر، لازم است با تحلیل کامل پارامترهای مختلف زمین شناسی و ژئومکانیکی، یک سیستم نگهداری واحد یا ترکیبی بسته به ویژگی های موجود منطقه، پیشنهاد شود تا با کمترین هزینه بالاترین راندمان را نیز داشته باشند. برای رسیدن به این هدف، بررسی کامل ویژگی های توده سنگ و موقعیت آن از موارد اساسی است.

۱-۱-بیان مساله

در سال های اخیر و به دنبال افزایش نیاز به ایجاد فضاهای زیر زمینی با ابعاد بزرگ تر و در اعماق بیشتر یا در حفر آن ها در زمین های نامناسب، ضرورت شناسایی هر چه کامل تر شرایط زمین آشکار شده است. تجربه نشان داده است که هرچه این گونه بررسی ها نادیده گرفته شده، یا به نحو صحیح انجام نشده است، عواقب ناگوار یا حداقل طولانی تر شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه را به دنبال داشته است.(۴)

بررسی های مهندسی معمولاً توسط یک یا تلفیقی از روش های زیر صورت می گیرد: (۳)

۱) گردآوری اطلاعات موجود

۲) تحقیقات محلی

۳) استفاده از عکس های هوایی

۴) نقشه ها و نیم رخ های توپوگرافی

۵) مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی

۶) حفر و برداشت چاه، ترانشه، گمانه و تونل اکتشافی

۷) روش های ژئوفیزیکی و مانند آن

که هر یک از این روش ها از کارایی ها و کمبود های خاص خود برخوردارند.تونلها و فضاهای زیرزمینی یکی از مهمترین سازههایی است که از دیرباز برای مقاصد گوناگون به دست بشر احداث می شوند که از جمله آن ها به تونل های حمل و نقل و دسترسی، تونل های آب بر، مغار ها و فضای زیر زمینی (ایستگاه های مترو، نیروگاه ها، انبارهای زیر زمینی و کارگاه های استخراج مواد معدنی) اشاره کرد.(۱)

با توجه به افزایش جمعیت و توسعه روزافزون تونل های راه و راه آهن و اهمیت آن ها در شبکه حمل و نقل بین شهری و داخل شهری لازم است برای طراحی ضمن آگاهی دقیق از شرایط زمین ابتدا در جهت بهبود کیفیت مصالحی که قرار است تونل در آن حفر شود، اقدام نمود.(۲) برای انجام مطالعات دقیق و تحلیل مناسب پایداری و ناپایداری در تونل امام رضا واقع در مسیر راه اردبیل-سرچم می باشد تعیین مشخصات زمین شناختی (جنس، شیب و ضخامت)، تکتونیکی (درزه ها، گسل ها) زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک (مقاومت و رفتار شناسی) سنگ های مسیر تونل ها و همچنین آگاهی کامل بر ویژگی های ژئومکانیکی منطقه میزان تنش های اصلی، چگونگی توزیع تنش ها و همچنین میزان جابجایی های به وجود آمده در اطراف تونل ها و احتمال تشکیل گوه های ریزشی از مهمترین فاکتورهایی هستند که با بررسی نتایج آن ها می توان بهترین نوع سیستم نگهداری را پیشنهاد کرد. لذا در این تحقیق زمین شناسی عمومی منطقه، مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه تونل ها (با استفاده از آزمایشات مقاومت سنگ ،RQD. سه محوره ، تک محوره)، لیتولوژی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ های مسیر تونل‌ها، سیستم درز و شکاف موجود در منطقه ، تحلیل پایداری ، ارائه روش های نگهداری به کمک روش های تجربی بخصوص روش های GSI , RMR و... و تحلیل نرم افزاری انجام و نتایج مورد مقایسه خواهد گرفت . هم چنین به دلیل آنکه منطقه از لحاظ تکتونیکی فعال می باشد گسل های فعال منطقه را

www.SID.ir

Archive of SID

شناسایی و تاثیر آنها بر ساختگاه تونل بررسی و زلزله هایی که ممکن است در اثر حرکت این گسل ها به وجود بیایند تخمین و ارزیابی نمود .بنابراین در این تحقیق مسئله اصلی این است که با توجه به شرایط ژئوتکنیکی محل تونل استفاده از کدام روش پایدارسازی مناسب می باشد و پایداری تونل به چه صورت می باشد؟ .بنابراین روش های مختلف پایدارسازی گردآوری شده و بررسی می گردد و از میان این روشها بهترین روش پایدارسازی انتخاب می گردد. (۱۴)

۱-۲-پیشینه تحقیق

به طور کلی مسئله پایداری تونل ها و طراحی سیستم های مناسب جهت نگهداری آن ها از دیرباز در پروژه‌های عمرانی و معدنی حائز اهمیت زیاد بوده و نقش غیر قابل انکاری در بهینه سازی و اقتصادی شدن پروژه ها دارا است. تونل زنی درون سنگ ها به علت مشکل حفاری و عدم امکانات به جز موارد بسیار معدود فقط در دو قرن اخیر توسعه یافته است. مهمترین پیشرفت در تونل سازی به اختراع سپر توسط برونل در سال ۱۸۱۲ در حفر تونل زیر رودخانه تیمز برمی گردد. در سال ۱۹۴۵ پس از سال ها، ترزاقی اولین سیستم طبقه بندی سنگ و روش های نگهداری در تونل ها را به صورت تجربی ارائه داد. روش تجربی با ارائه روش RMR توسط بینیاوسکی در سال ۱۹۸۴ و روش Q توسط بارتون و همکاران در سال ۱۹۸۵ به اوج خود رسید و هنوز هم با اندکی اصلاحات جزو سیستم های پر کاربرد در تونل سازی و مکانیک سنگ هستند.(۱۳)

بحث مدل سازی تونل ها و شیب ها از سال ۱۹۷۰ به بعد توجه متخصصین را به خود جلب نموده است و امروزه روش های دقیق جهت محاسبه احتمال ریزش دیواره یا سقف تونل ها به صورت تئوری ایجاد شده است که کاربردی کردن آن ها در حال توسعه است. از کارهای انجام شده دراین رابطه در داخل کشور عبارتند:

کلانتری،س.، (۱۳۸۲)،در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان تحلیل پایداری تونلها در زمینهای نرم و سست ، به پایداری تونل مترو تبریز پرداخت.(۵)

کاظمی، ، (۱۳۹۲)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان، مطالعه ژئوتکنیکی و تحلیل پایداری تونلهای قطعه الف راه آهن اردبیل –میانه،به بررسی ژئوتکنیکی تونلهای راه آهن وتحلیل وپایدارسازی آنهابااستفاده ازروشهای تجربی و عددی پرداخت.(۶)

صفوی،(۱۳۹۳)، تحلیل پایداری تونل فساء ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اهر.(۷)

مهوری حبیب آبادی(۱۳۹۰)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان بهینه سازی سیستم های پایدارسازی تونل، به بررسی بهینه سازی پایداری تونلهای سنگی پرداختند.(۸)

زارعی و معارف وند (۱۳۹۳)، در مقاله ای به بررسی اثرپارامترهای طراحی روش چتری برحفظ پایداری سینه کار تونل سبزکوه، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن. (۹)

مطهری (۱۳۸۶)،در پایان نامه کارشناسی ارشد به بررسی تحلیلی فورپولینگ در پایداری تونلها در سنگها بااستفاده از روش اجزا محدود پرداخت. (۱۰)

حامدی (۱۳۸۰)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان مروری بر روشهای تونل سازی در ایران و ارائه پیشنهاداتی جهت دستیابی بهISO،به بررسی روشهای تونلسازی و پایداری آنها پرداخت.(۱۱)

همزه ابیازنی(۱۳۹۴)،در پایان نامه کارشناسی ارشد به تحلیل پایداری و نگهداری تونل تالون پرداخت.(۱۲)

۱-۳-اهداف و جنبه نوآوری تحقیق

۱)تحلیل پایداری تونل

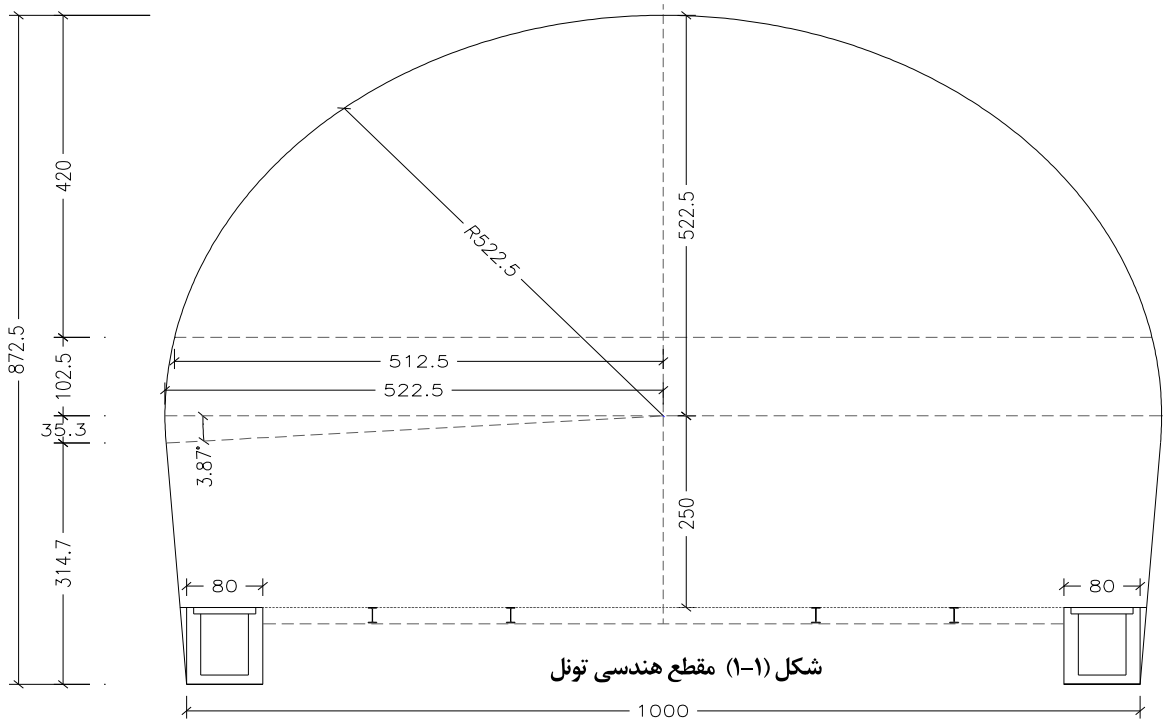
۲) تعیین پارامترهای مهندسی جهت انتخاب مناسب ترین روش پایداری

۳)بررسی مشخصات فنی و اجرایی حفاری تونل مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

۱-۴-مشخصات تونل : تونل مورد مطالعه که ابتدا آن در کیلومتر ۳۳۴+۶۳۵ و انتهای آن درکیلومتر ۳۳۴+۴۱۷ به طول ۲۱۲ متر در منطقه نزدیک سرچم که از شرایط توپوگرافی خشن و صعب‌العبوری برخوردار است، واقع شده است.



شکل (۱-۱) مقطع هندسی تونل

۲-مواد و روش کار:

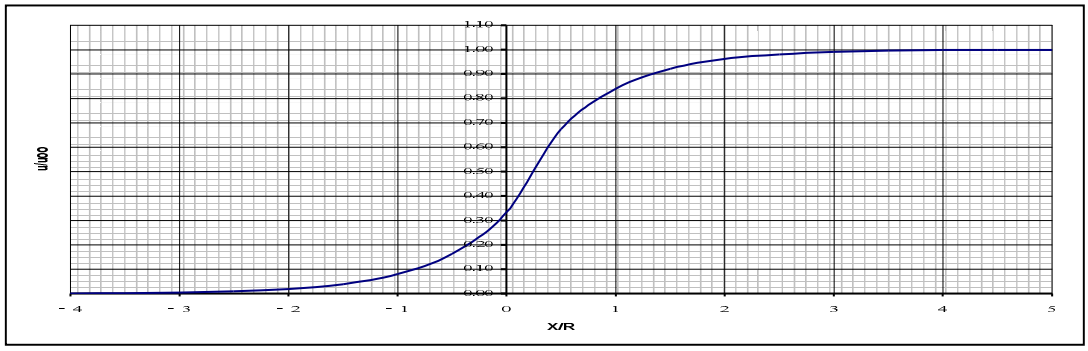
۲-۱-تحلیل محیط پیوسته (روش عددی)

روش‌های عددی ابزار بسیار مناسبی جهت تحلیل رفتار توده زمین در اثر حفر تونل و مدل‌سازی اندرکنش سازه نگهدارنده و توده زمین در شرایط مرزی پیچیده می‌باشند. به‌منظور کنترل میزان تاثیر شکل مقطع در میدان تنش و تغییر شکل پدید آمده در اطراف تونل و نیروهای به وجود آمده در سازه نگهدارنده، مقطع واقعی تونل با استفاده از برنامه پلکسیز مدلسازی شده است. این نرم‌افزار که برای مدل‌سازی محیط پیوسته و بر اساس روش اجزای محدود تهیه شده، قادر است تا اندرکنش کامل سیستم خاک ـ سازه را در قالب یک محیط پیوسته و با امکان مدل سازی انواع سیستم‌های نگهداری در نظر بگیرد. در این تحلیل‌ها،رفتار توده زمین به‌صورت کشسان ـ خمیری کامل با معیار تسلیم موهر- کولمب در نظر گرفته شده است. حفاری مقطع تونل با المان برداری ناحیه حفاری مدل سازی شده و اثرات سه‌بعدی ناشی از حرکت جبهه حفاری با کاهش نیروهای معادل گرهی روی مرز حفاری به میزان مشخصی که از منحنی هم گرایی نظیر و منحنی تغییر مکان جداره برحسب فاصله جبهه حفاری $(\delta - x)$ تعیین می‌گردد، مدل سازی می‌شود. با نصب سیستم نگهداری، باقیمانده نیروهای معادل گرهی روی مرز حفاری تا مقدار صفر کاهش می‌یابد و بدین ترتیب تاثیر

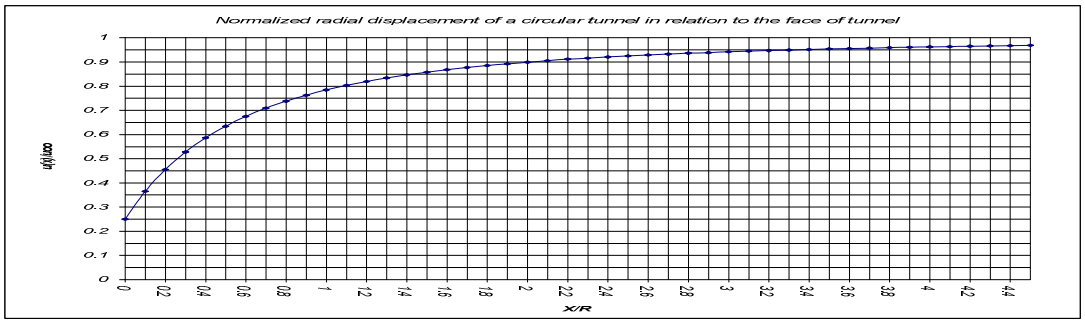
www.SID.ir

Archive of SID

دور شدن جبهه حفاری و اعمال نیرو بر سازه نگهدارنده مدل‌سازی می‌گردد. (۷)

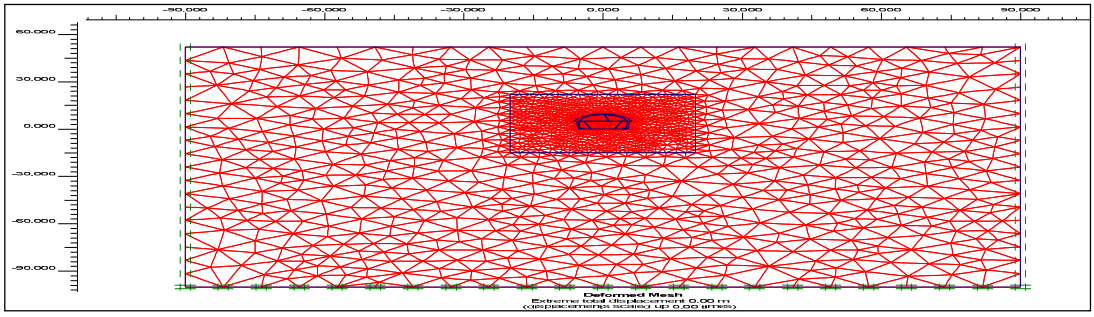


شکل(۲-۱)(منحنی پانه) تاثیر سه‌بعدی حفاری



شکل (۲-۲) تاثیر سه‌بعدی حفاری

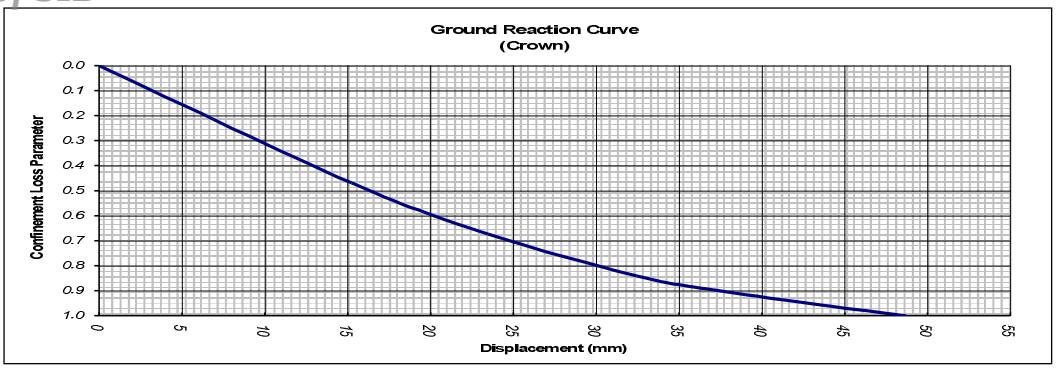
حفاری تونل به‌صورت ۵ مرحله‌ای در قسمت‌های فوقانی و تحتانی پیش‌بینی‌شده است. مقطع با مدل سازی توام توده و سازه نگهدارنده به کمک نرم‌افزار (پلکسیز ۷,۲) به روش عددی المان‌های محدود تحلیل شده است. مرزهای مدل از دو طرف و از پایین بین ۳ الی ۵ برابر قطر تونل امتداد یافته‌اند و از بالا تا سطح زمین در نظر گرفته شده است. شرایط تکیه‌گاهی در مرزهای قایم دو طرف با استفاده از غلتک های افقی که حرکت نقاط مرزی را در جهت افقی محدود می‌سازد مدل‌سازی شده و در مرز افقی تحتانی تغییر مکان های افقی و قایم بسته در نظر گرفته شده است. شبکه المان محدود با استفاده از المان‌های مثلثی ۱۵ گرهی و به‌صورت خودکار ساخته شده است.در شکل (۲-۳) مدل کامپیوتری تونل و شبکه المان محدود نظیر نمایش یافته است



شکل(۲-۳) مدل کامپیوتری تونل و شبکه المان‌های محدود

www.SID.ir

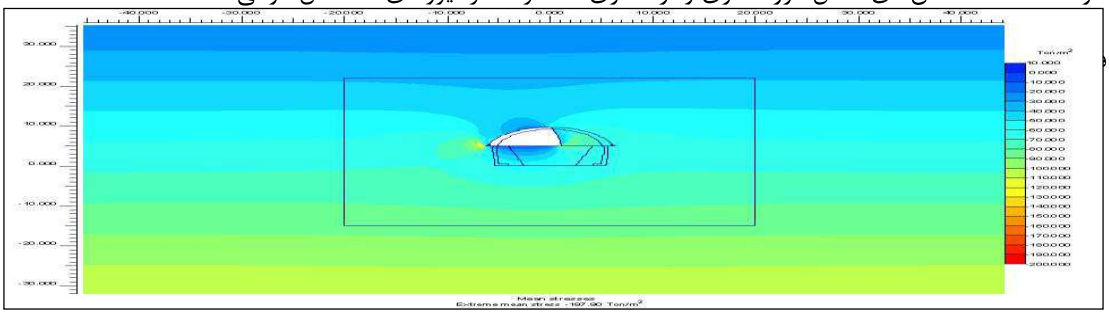
Archive of SID



شکل(۲-۴) منحنی اندرکنش زمین در اثر حفاری نیم مقطع فوقانی

این منحنی با حذف المان‌های داخل مرز حفاری و اعمال تدریجی نیروهای نامتعادل گرهی روی مرز حفاری حاصل شده‌اند. با توجه به منحنی اندرکنش زمین در بخش نخست فوقانی درصد آزادسازی تنش معادل ۷۳ درصد تعیین می‌گردد. این مقدار در جهت اطمینان در انجام تحلیل اندرکنش برابر ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب برای در نظر گرفتن اثرات سه‌بعدی پیشرفت جبهه حفاری در بخش فوقانی ۷۰ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی ناشی از حذف المان‌های داخل مرز حفاری قبل از فعال‌سازی المان‌های سیستم نگهدارنده به تعادل رسیده است. پس از فعال‌سازی المان‌های سازه نگهدارنده و تغییر ماتریس سختی برای در نظر گرفتن سختی المان‌های پوشش، مابقی نیروهای نامتعادل گرهی به تعادل رسیده است و به‌این‌ترتیب تاثیر حرکت جبهه حفاری و اعمال نیرو به المان‌های پوشش مدل سازی شده است. با برقراری تعادل، میدان تغییر شکل در توده سنگ اطراف و نیروهای وارد بر المان‌های سیستم نگهداری تعیین می‌شود. بنابراین مراحل مدل سازی حفاری و نصب پوشش در بخش نخست حفاری فوقانی مقطع در ۲ مرحله به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است:

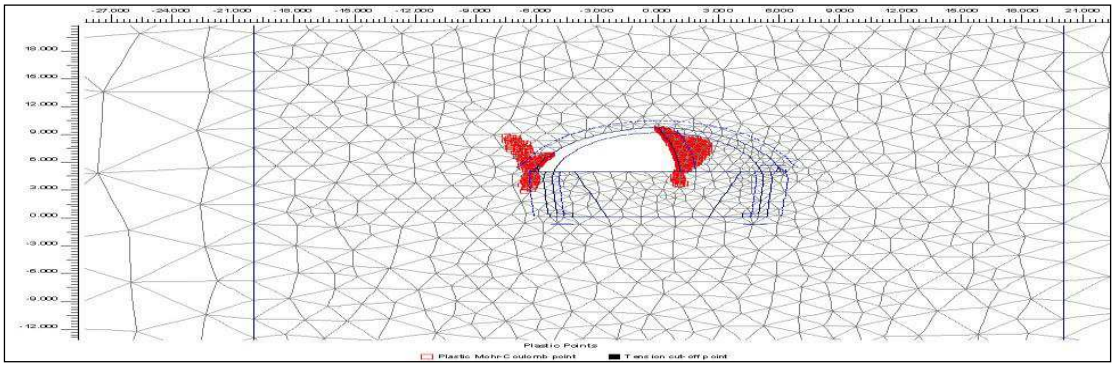
فاز ۱ - حذف المان‌های داخل مرز حفاری و آزادسازی ۷۰ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی



شکل(۲-۵) میانگین تنش‌های اصلی در حفاری بخش اول فوقانی و قبل از نصب پوشش (پایان فاز ۱)

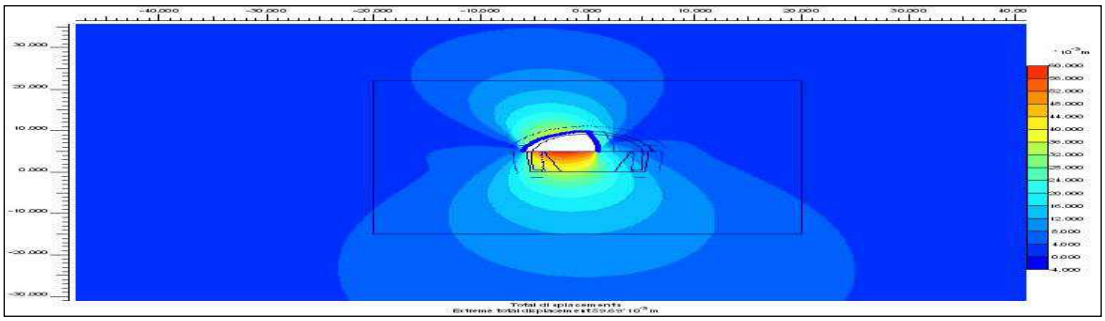
www.SID.ir

Archive of SID

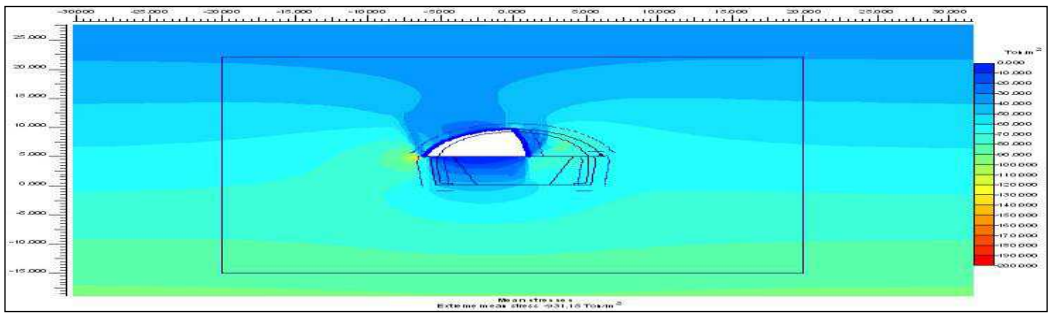


شکل (۲-۶)ناحـــیه خمیری در تـــوده خاک پس از حفـــاری بخش اول فـــوقانی و قبل از نصب پوشش (پایان فاز ۱)

در مرحله دوم از تحلیل (فاز ۲) با فعال‌سازی المان‌های پوشش در مدل و رها سازی کامل نیروهای نامتعادل گرهی در مرز حفاری، میدان تنش- تغییر شکل در توده زمین و نیروهای وارد بر سیستم نگهداری در پایان پروسه ساخت و تکمیل پوشش اولیه در بخش فوقانی به دست می‌آید.



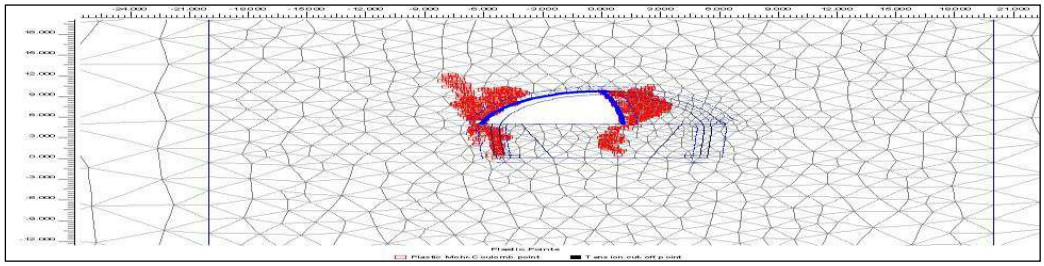
شکل(۲-۷) تغییر مکان توده زمین پس از فعال‌سازی پوشش و پیشروی جبهه حفاری در بخش اول فوقانی (پایان فاز ۲)



شکل(۲-۸) میانگین تنش‌های اصلی توده زمین پس از فعال‌سازی پوشش و پیشروی جبهه حفاری در بخش اول فوقانی (پایان فاز ۲)

www.SID.ir

Archive of SID



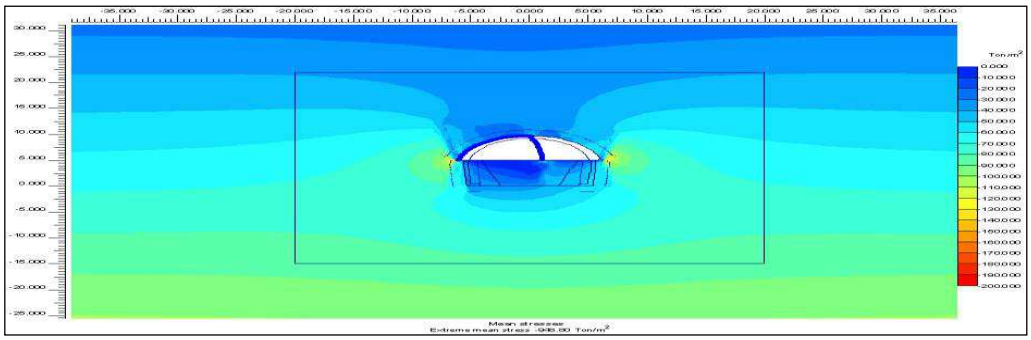
شکل (۲-۹) ناحیه خمیری در توده خاک پس از فعال‌سازی پوشش و پیشروی جبهه حفاری در بخش اول فوقانی (پایان فاز ۲)(تکمیل نیم مقطع بخش فوقانی)

در ادامه تکمیل حفاری بخش فوقانی با توجه به ابعاد مقطع و زمان پایداری بدون پوشش حداکثر طول بدون پوشش در مرحله دوم اجرای حفاری فوقانی نیز برابر ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است. فاصله پوشش اولیه تا سینه کار قبل از آغاز حفاری هم برابر ۰/۵ متر در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور مدل سازی اثرات سه‌بعدی پیشرفت جبهه حفاری درصد آزادسازی تنش جهت شبیه‌سازی انتقال و آزادسازی تنش ناشی از نزدیک شدن جبهه حفاری به مقطع و عبور آن تا فاصله‌ای معین [در اینجا معادل ۱ متر به‌طور متوسط] معادل ۷۸ درصد تعیین می‌گردد. این مقدار در جهت اطمینان در انجام تحلیل اندرکنش برابر ۷۵ درصد در نظر گرفته‌شده است. بدین ترتیب برای در نظر گرفتن اثرات سه‌بعدی پیشرفت جبهه حفاری در بخش دوم حفاری فوقانی ۷۵ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی ناشی از حذف المان‌های داخل مرز حفاری قبل از فعال‌سازی المان‌های سیستم نگهدارند به تعادل رسیده است. پس از فعال‌سازی المان‌های سازه نگهدارنده و تغییر ماتریس سختی برای در نظر گرفتن سختی المان‌های پوشش، مابقی نیروهای نامتعادل گرهی به تعادل رسیده است و به‌این‌ترتیب تاثیر حرکت جبهه حفاری و اعمال نیرو به المان‌های پوشش مدل سازی شده است. با برقراری تعادل، میدان تغییر شکل در توده زمین اطراف و نیروهای وارد بر المان‌های سیستم نگهداری تعیین می‌شود. بنابراین مراحل مدل سازی حفاری و نصب پوشش در بخش دوم حفاری فوقانی مقطع در ۲ مرحله به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است:

فاز ۳ - حذف المان‌های داخل مرز حفاری و آزادسازی ۷۵ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی

فاز ۴ - فعال‌سازی المان‌های پوشش و آزادسازی بقیه نیروهای نامتعادل گرهی تا برقراری تعادل کامل

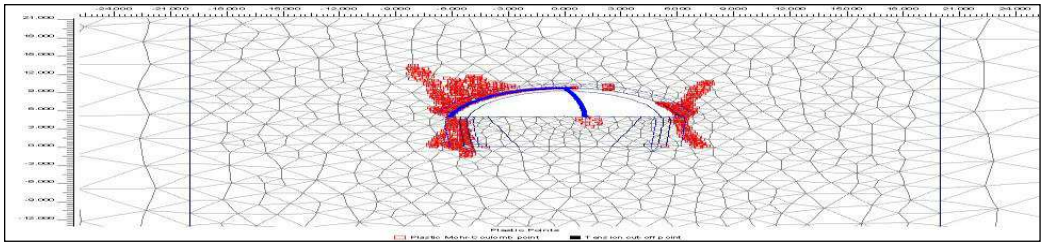
نتایج حاصل از تحلیل فاز ۳ ، وضعیت تنش‌ها و تغییر شکل‌ها در توده خاک را پس از مرحله دوم حفاری بخش فوقانی و قبل از نصب سیستم نگهدارنده و حذف پوشش بخش میانی مشخص می‌سازد



شکل (۲-۱۰) میانگین تنش‌های اصلی در تکمیل حفاری بخش فوقانی و قبل از نصب پوشش(پایان فاز ۳)

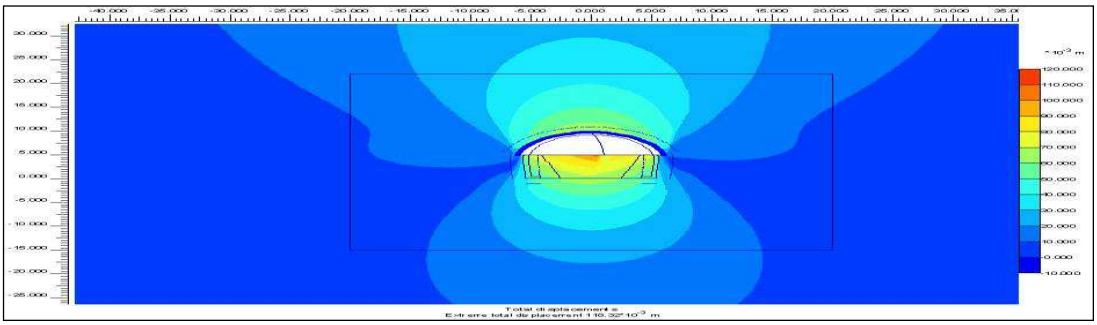
www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲-۱۱) ناحـــیه خمیری در تـــوده خاک در تکمیل حفاری بخش فوقانی و قبل ازنصب پوشش(پایان فاز ۳)

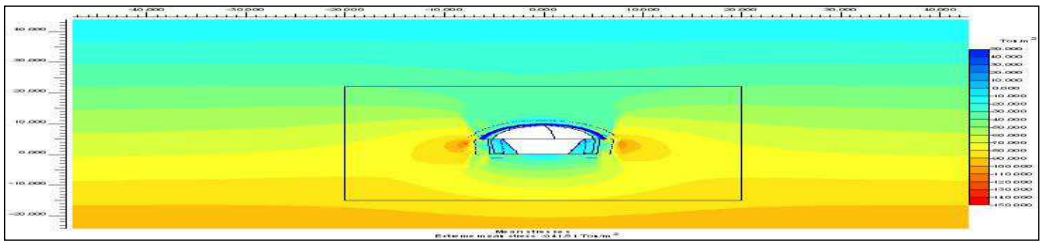
در مرحله چهارم تحلیل (فاز ۴) با فعال‌سازی المان‌های پوشش, پوشش موقت میانی حذف و نیروهای نامتعادل گرهی در مرز حفاری به‌طور کامل باز توزیع می‌شود.



شکل(۲-۱۲) تغییر مکان توده زمین پس از فعال‌سازی پوشش و پیشروی جبهه حفاری در بخش فوقانی (پایان فاز ۴)

پس از نصب پوشش اولیه بخش فوقانی و قبل از آغاز اجرای عملیات حفاری بخش تحتانی، پوشش نهایی بخش فوقانی با در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای بتن‌ریزی و اتصال آن با پوشش‌های بخش تحتانی اجرا می‌گردد. سپس حفاری مقطع میانی بخش تحتانی انجام می‌شود.

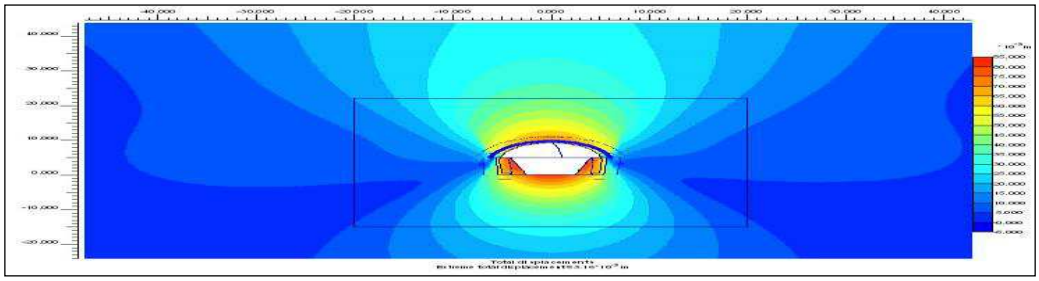
فاز ۵ - فعال‌سازی المان‌های پوشش نهایی بخش فوقانی، حذف المان‌های داخل مرز حفاری تحتانی(بخش میانی) و آزادسازی کلیه نیروهای نامتعادل گرهی تا برقراری تعادل کامل



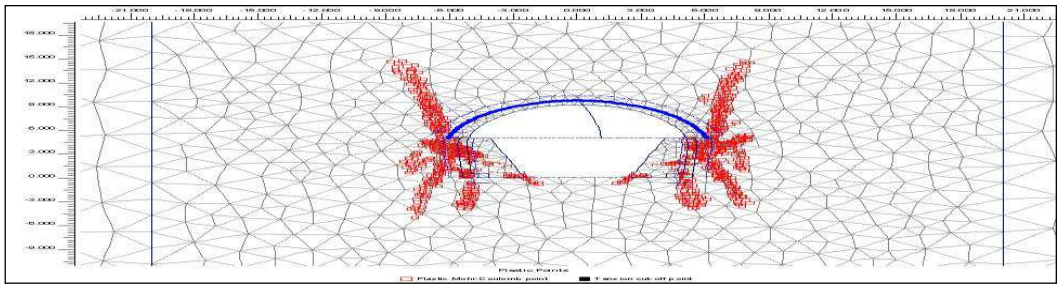
شکل(۲-۱۳) میانگین تنش‌های اصلی توده زمین پس از فعال‌سازی پوشش نهایی بخش فوقانی و پیشروی جبهه حفاری در بخش میانی قسمت تحتانی (پایان فاز ۵)

www.SID.ir

Archive of SID

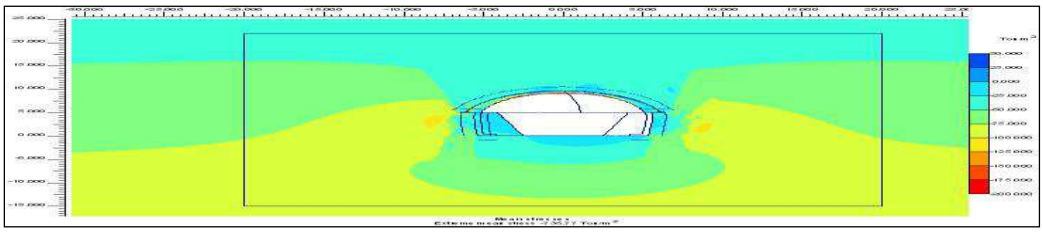


شکل(۲-۱۴) تغییر مکان توده زمین پس از فعال‌سازی پوشش نهایی بخش فوقانی و پیشروی جبهه حفاری در بخش میانی قسمت تحتانی (پایان فاز ۵)



شکل(۲-۱۵) ناحیه خمیری در توده خاک پس از فعال‌سازی پوشش نهایی بخش فوقانی و پیشروی جبهه حفاری در بخش میانی قسمت تحتانی (پایان فاز ۵)

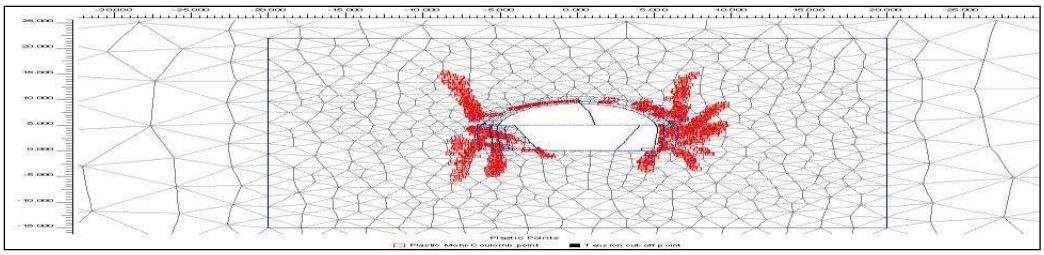
برای مدل سازی مراحل حفاری و نصب پوشش در بخش کناری قسمت تحتانی مقطع لازم است تا درصد آزادسازی تنش جهت مدل سازی اثرات سه‌بعدی پیشرفت جبهه حفاری تعیین گردد. با توجه به ابعاد مقطع و زمان پایداری بدون پوشش حداکثر طول بدون پوشش در مرحله حفاری بخش کناری قسمت تحتانی برابر ۴ متر در نظر گرفته شده است و فاصله پوشش اولیه تا سینه کار قبل از آغاز حفاری برابر ۲ متر فرض می‌شود. به‌این‌ترتیب درصد آزادسازی تنش جهت شبیه‌سازی انتقال تنش و آزادسازی تنش ناشی از نزدیک شدن جبهه حفاری به مقطع و عبور آن تا فاصله‌ای معین [در اینجا معادل ۳ متر به‌طور متوسط] با روشی مشابه روش بکار گرفته شده در قبل , معادل ۷۷ درصد تعیین می‌گردد . این مقدار در جهت اطمینان در انجام تحلیل اندرکنش برابر ۷۳ درصد در نظر گرفته‌شده است. بدین ترتیب برای در نظر گرفتن اثرات سه‌بعدی پیشرفت جبهه حفاری در مرحله حفاری بخش کناری قسمت تحتانی ۷۳ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی ناشی از حذف المان‌های داخل مرز حفاری قبل از فعال‌سازی المان‌های سیستم نگهدارند به تعادل رسیده است. پس از فعال‌سازی المان‌های سازه نگهدارنده و تغییر ماتریس سختی, مابقی نیروهای نامتعادل گرهی به تعادل رسیده است و به‌این‌ترتیب تاثیر حرکت جبهه حفاری و اعمال نیرو به المان‌های پوشش مدل سازی شده است. با برقراری تعادل، میدان تغییر شکل در توده خاک اطراف و نیروهای وارد بر المان‌های سیستم نگهداری تعیین می‌شود . بنابراین مراحل مدل سازی حفاری و نصب پوشش در بخش دوم حفاری تحتانی در ۲ مرحله به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است : فاز ۶ - حذف المان‌های داخل مرز حفاری و آزادسازی ۷۳ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی



شکل(۲-۱۶) میانگین تنش‌های اصلی در حفاری بخش کناری ، قسمت تحتانی قبل از نصب پوشش (پایان فاز ۶)

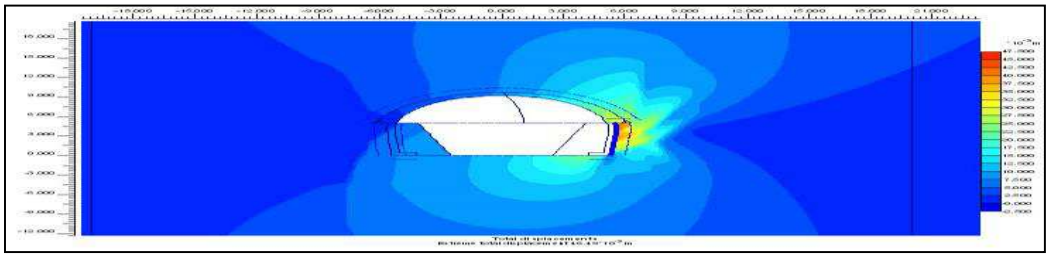
www.SID.ir

Archive of SID

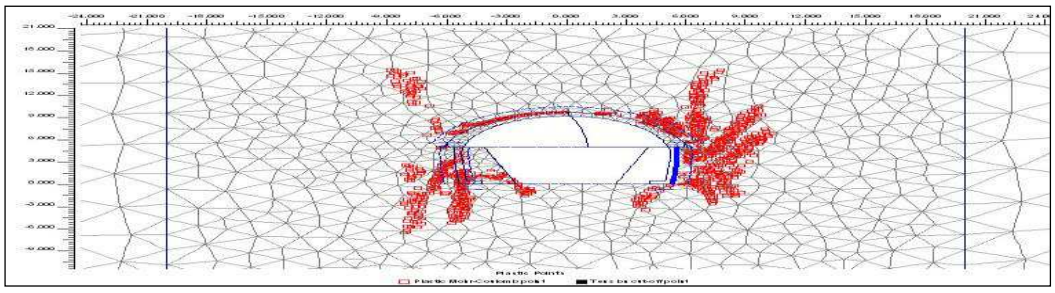


شکل(۲-۱۷) ناحـــیه خمیری در حفاری بخش کناری ، قسمت تحتانی قبل از نصب پوشش(پایان فاز ۶)

فاز ۷ - فعال‌سازی المان‌های پوشش اولیه و آزادسازی مابقی نیروهای نامتعادل گرهی تا برقراری تعادل کامل



شکل(۲-۱۸) تغییر مکان افقی توده زمین در اثر حفاری بخش کناری در قسمت تحتانی (پایان فاز ۷)



شکل(۲-۱۹) ناحیه خمیری در توده خاک در پایان فاز ۷

جهت تامین تکیه‌گاه مناسب برای باربری سازه پوشش نهایی فوقانی لازم است تا قبل از حفاری بخش کناری طرف مقابل در قسمت تحتانی، سازه پوشش نهایی دیواره ساخته شده باشد. پس از ساخت پوشش نهایی دیواره، حفاری در طرف دیگر بخش کناری مشابه قبل صورت می‌گیرد. در این صورت حداکثر طول حفاری بدون پوشش مشابه قبل برابر ۴ متر وحداکثر فاصله پوشش اولیه تا سینه کار قبل از آغاز حفاری برابر ۲ متر در نظر گرفته می‌شود. درصد آزادسازی تنش جهت شبیه‌سازی انتقال تنش و آزادسازی تنش ناشی از نزدیک شدن جبهه حفاری به مقطع و عبور آن تا فاصله‌ای معین [در اینجا معادل ۳ متر به‌طور متوسط] با روشی مشابه روش بکار گرفته شده در قبل برابر ۷۵ درصد تعیین می‌گردد. به‌این‌ترتیب مراحل مدل سازی حفاری و نصب پوشش در حفاری تحتانی با انجام فازهای زیر به پایان می‌رسد.

فاز ۸ - فعال‌سازی المان‌های پوشش نهایی دیواره در یک طرف

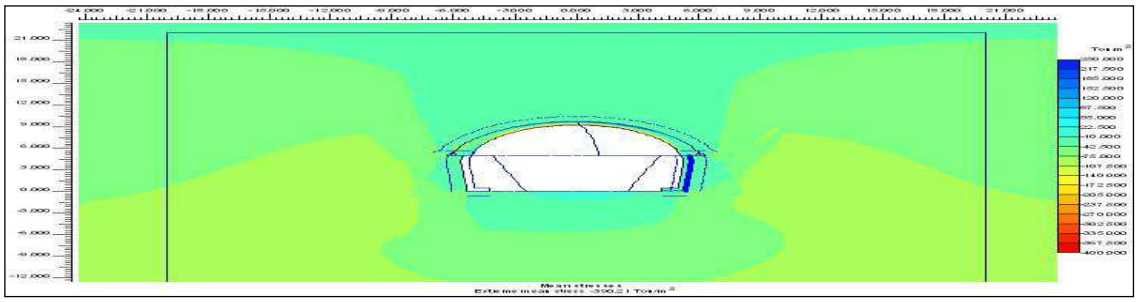
فاز ۹ - حذف المان‌های داخل مرز حفاری کناری و آزادسازی ۷۵ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی

فاز ۱۰ - فعال‌سازی المان‌های پوشش اولیه دیواره و آزادسازی مابقی نیروهای نامتعادل گرهی تا برقراری تعادل کامل.

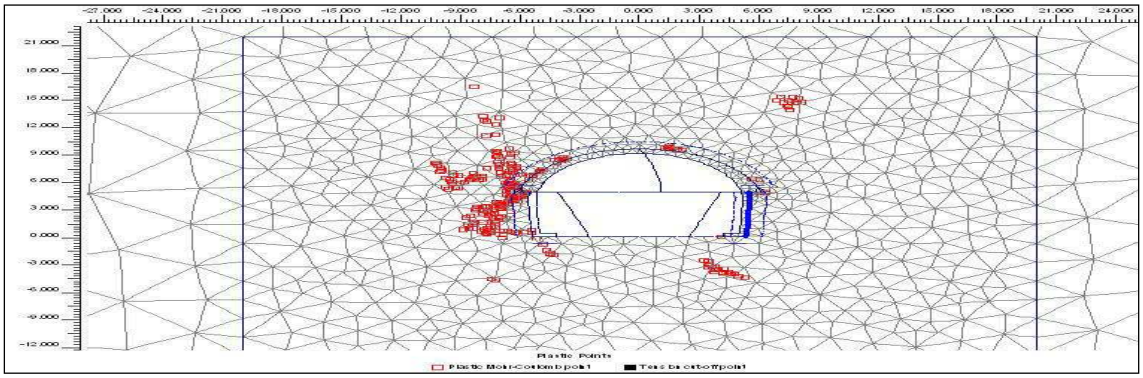
www.SID.ir

Archive of SID

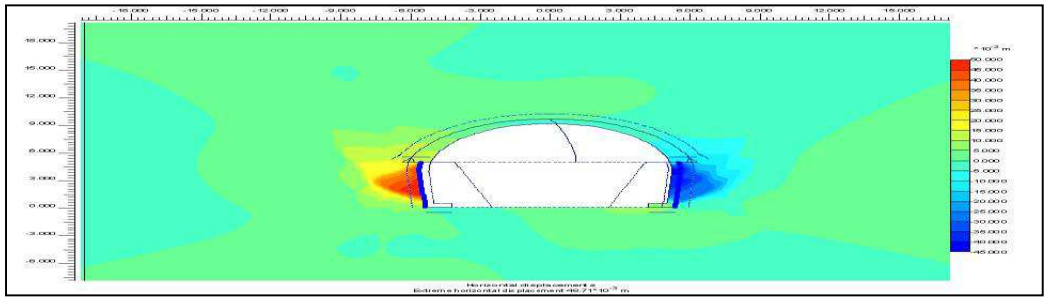
فاز۱۱ - فعال‌سازی المان‌های پوشش نهایی دیواره و تکمیل پوشش نهایی .



شکل(۲-۲۰) میانگین تنش‌های اصلی در حفاری بخش کناری دوم در قسمت تحتانی قبل از نصب پوشش اولیه (پایان فاز ۹)



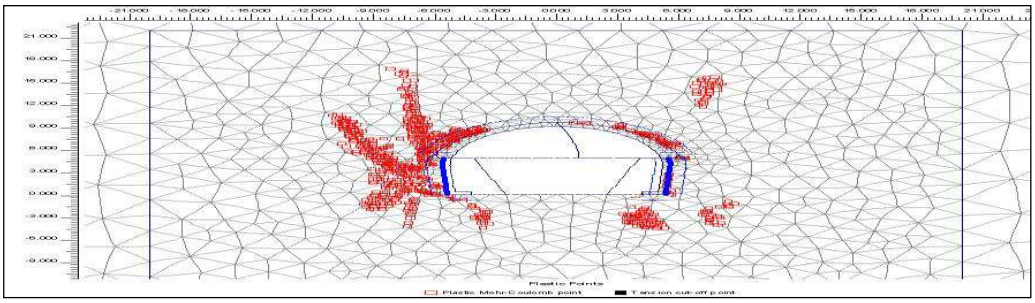
شکل(۲-۲۱)ناحـــیه خمیری در تـــوده خاک در پایان فاز ۹



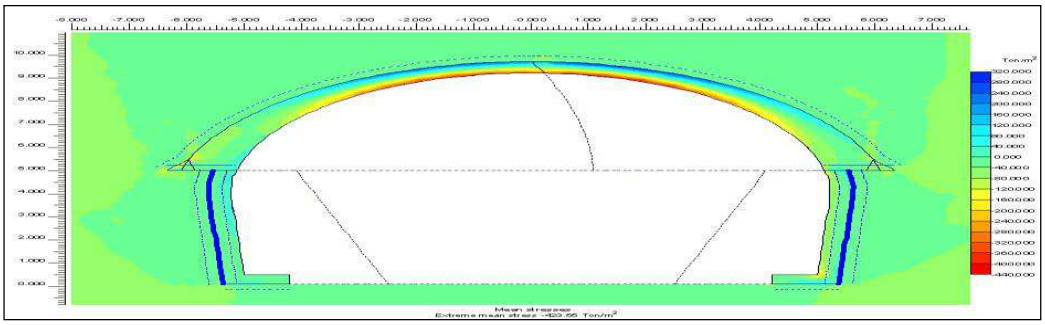
شکل(۲-۲۲)تغییر مکان‌های افقي توده زمین در اثر حفاری بخش‌های کناری در قسمت تحتاني و دور شدن سینه کار از مقطع تا فاصله ∞ بعد از نصب پوشش اولیه (پایان فاز ۱۰)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۲-۲۳)ناحیه خمیری در توده خاک در پایان فاز ۱۰



شکل(۲-۲۴)میانگین تنش‌های اصلی در پایان مراحل اجرا(پایان فاز ۱۱)

۳-نتیجه‌گیری

حداکثر تغییر مکان‌های افقی توده زمین در اثر حفاری بخش کناری دوم در قسمت تحتانی و دور شدن سینه کار از مقطع در پایان فاز ۱۰ برابر ۴۸ میلی‌متر می‌باشد . تغییر شکل‌های نمایش یافته نشانگر آن است که توده خاک اطراف محل بازشدگی رفتار الاستوپلاستیک داشته است. پیشرفت جبهه حفاری در مرحله حفاری بخش کناری قسمت تحتانی ۷۳ درصد از نیروهای نامتعادل گرهی ناشی از حذف المان‌های داخل مرز حفاری قبل از فعال‌سازی المان‌های سیستم نگهدارند به تعادل رسیده است. خاک‌های محل تونل از نوع ریزدانه (سیلت و رس) می‌باشد. که عمده این خاک‌ها در زواره تونل و قسمت‌های اولیه تونل می‌باشد.سنگ‌های دربرگیرنده تونل از نوع آذرین و از جنس توف ریوداسیتی، درزه دار با ساخت جریانی و بافت آفانتیک به رنگ کرم تا صورتی می‌باشند که درز و شکاف و محل‌های دگرسان شده آغشته به کانی‌های آهن‌دار هستند.مقاومت فشاری به‌طور میانگین در محدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.مدول الاستیسیته در سنگ‌ها بین ۱۲ تا ۱۳ گیگا پاسکال قرار دارند.ضریب پواسون به‌طور میانگین ۰/۳۵ می‌باشد.

ضریب چسبندگی (C) در محدوده بین ۴ تا ۵/۵ مگا پاسکال و زاویه اصطکاک داخلی (φ) بین ۶۰ تا ۵۰ درجه می‌باشند.در تونل با افزایش عمق درصد تخلخل و درصد جذب آبسنگ‌ها رفته‌رفته کاهش‌یافته و چگالی سنگ‌ها افزایش می‌یابند.در محل گمانه‌های حفرشده به سطح آب برخورد نگردید که ناشی از پایین بودن سطح تراز آب زیرزمینی نسبت به ساختگاه تونل‌ها می‌باشد.امتیاز نهایی توده سنگ‌های پیرامون تونل در سیستم RMR برابر ۳۸ بوده که در رده سنگ های ضعیف قرارگرفته و روش طبقه‌بندی Q نیز برابر ۱/۵۲ محاسبه گردید که جز رده سنگ‌های ضعیف طبقه‌بندی می‌شود.سیستم نگهداری درروش RQD استفاده از پیچ سنگ‌های گسترده به فواصل ۰/۶ الی ۱/۲ و با قاب‌های فولادی متوسط تا سنگین به فاصله‌داری ۰/۶ تا ۱/۲ متر می‌باشد.پیشنهاد سیستم طبقه‌بندی RMR ، نصب منظم راک بولت ها به طول ۴ تا ۵ متر و فواصل ۱ تا ۱/۵ متر در سقف و دیواره‌ها با نصب تور سیمی و شاتکریت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر در دیواره‌ها است.سیستم طبقه‌بندی Q بولت های منفرد به طول ۱/۹ متر و فواصل

www.SID.ir

Archive of SID

۱تا۱/۵ متر را پیشنهاد می‌دهد. در ضمن بعد معادل در این سیستم برای تونل برابر ۹/۳ متر است.حداکثر دهانه بدون نگهداری در واحد سنگ توف (ریوداسیت) ۳/۴۸ متر برای تونل و در واحد سنگ به دست آمد.حفاری تونل با استفاده از عملیات چال و انفجار و در دو مرحله اجرا می‌شود. مرحله اول شامل طراحی و اجرای سازه اولیه در بخش فوقانی با ارتفاع ۵/۵ متر و با مقطع نیم‌دایره و مرحله دوم شامل حفاری تحتانی به شکل مقطع مستطیلی به ارتفاع ۳ متر و عرض ۷/۳۴ اجرا و سپس پایدارسازی می‌شود.در بخش پایدارسازی در هر مرحله با توجه به خصوصیات و مقدار فشار وارده بر سقف و کناره‌های تونل‌ها اجزا و مصالح به کار گرفته‌شده در آزمایشگاه موردبررسی قرار گرفت و سپس با توجه به نتایج آن‌ها اقدامات پایدارسازی صورت گرفت.

۴-بحث

طراحی فضاهای زیرزمینی، به مفهوم وسیع کلمه، عبارت از طراحی سیستم های حائل برای این سازه هااست .این موضوع دامنه گستردهای را تشکیل میدهد که از حفاریهای موقت معدنی که در سنگ خوب احداث می شوند و نیاز به حائل ندارند، تا فضاهای بزرگ زیرزمینی دائمی در مهندسی عمران که شامل سیستم حائل مرکب از تزریق کامل همراه با سنگ دوزهای پیش تنیده و تور فولادی و بتن پاشی است راشامل میشود .این دو حد از سیستم حائل را میتوان به عنوان حد بالا و حد پائین طراحی سیستم حائل درفضاهای زیرزمینی در نظر گرفت .محور اساسی در طراحی هر فضای زیرزمینی باید بر پایه مورد استفاده قراردادن خود سنگ به عنوان مصالح اصلی سازهای باشد .در طی فرآیند حفاری تا جائی که ممکن است،میزان شکستگی و سست شدگی سنگ اطراف فضاهای زیر زمینی به حداقل برسد تا نیاز به حائل بتنی یافولادی کمتر شود .عمدتاً سنگهای سخت در حالت بکر و قبل از قرارگیری در معرض تنشهای فشاری،به مراتب قویتر از بتن بوده و بسیاری از آنها به لحاظ مقاومت هم ردیف فولاد قرار میگیرند .در نتیجه اقتصادی نیست که مصالحی را مثل سنگ که ممکن است کاملاً و به اندازه کافی مقاوم باشد با مصالحی مثل بتن که معلوم نیست بهتر از سنگ باشد، عوض نمود .وسعت و دامنه استفاده از خود سنگ به عنوان حفاظ و نگهدارنده، بستگی به شرایط زمین شناسی دارد که در ساختگاه و سایت فضای زیرزمینی حاکم است و بستگی به این دارد که طراحی تا چه میزان نسبت به این شرایط حساس است و تا چه میزان می-خواهد آنها را در طرح تاثیر داده در نظر بگیرد .بنابراین، تفسیر دقیق زمین شناسی منطقه حفاری از شروط ضروری برای طراحی منطقی است.

۵-منابع

۱) مدنی، حسن. ۱۳۵۹ . اصول استخراج معادن، چاپ اول .تهران. انتشارات: وزارت آموزش پرورش.

۲) معماریان، حسین.۱۳۸۷. زمین شناسی مهندسی وژئوتکنیک. چاپ پنجم .تهران. انتشارات دانشگاه تهران

۳) منشی زاده تهرانی، فرشاد ،۱۳۸۷ ،تحلیل رفتار تونل های سنگی با در نظر گیری اثر زمان. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۴) معماریان، حسین.۱۳۶۴ ،روشهای اکتشافی زمین شناسی مسیر تونلها، مجموعه مقالات سمینار تونل سازی سازمان برنامه وبودجه.

www.SID.ir

Archive of SID

۵) کلانتری،س.۱۳۸۲،تحلیل پایداری تونل ها در زمین‌های نرم و سست پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۶) کاظمی، م، ۱۳۹۳ ،مطالعه ژیوتکنیکی و تحلیل پایداری تونل‌های قطعه الف راه‌آهن اردبیل ـ میانه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اهر.
۷) صفوی،ن،۱۳۹۳ ،تحلیل پایداری تونل فسا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اهر.
۸) حبیب آبادی،م ،۱۳۹۰بهینه‌سازی سیستم‌های پایدارسازی تونل. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۹) زارعی و معارف وند ، ۱۳۹۳، مقاله بررسی اثر پارامترهای طراحی روش چتری بر حفظ پایداری سینه کار تونل سبزکوه، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن
۱۰)مطهری ، ح.۱۳۸۶،بررسی تحلیلی فورپولینگ در پایداری تونل‌ها در سنگ‌ها با استفاده از روش اجزا محدود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۱) حامدی ،ح ،۱۳۸۰ ، مروری بر روش‌های تونل سازی در ایران و ارایه پیشنهادهایی جهت دستیابی به **ISO** پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۲) ابیازنی ، ه.۱۳۹۴ ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحلیل پایداری و نگهداری تونل تالون ، دانشگاه آزاد اهر.

۱۳. Barton, N., Loset, R. and Lunde, J. 1980. Application of the Q-system in design decision,. In subsurface space, New York: pergman. (ed. M. Bergman) 2,pp.553-561.

۱٤. Barton Nick, 2002, ″Some New Q-value correlations to assist in site Characterization and Tunnel Design , International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39, pp.185- 216

www.SID.ir

Archive of SID

Imam reza tunnel stability analysis in the Ardabil – sarcham Road by using software plaxis

Alireza.afradi
PhD student of mining,Qaemshahr branch,Islamic azad university,Qaemshahr,Iran

Siamak.rezazadeh
Asistant professor and manager of the department of mining and geology Qaemshahr branch,Islamic azad university,Qaemshahr,Iran

Abstract. Geological structures, tensions status, groundwater conditions, the force of gravity and geodynamic processes function alone or jointly could have a negative impact Brsaz·h engineering or development projects Therefore, due to geological and tectonic conditions in different areas should not expect the same methods and solutions are presented and their application are identical or leads to a result. For this reason, methods of analysis and prediction systems supporting tunnel design in a variety of different perspectives. To design a tunnel geological and geotechnical need to be aware of it So that the observations and the results of these surveys and using methods and classification systems to be stabilizing. Using tunnel boring holes and blasting operations carried out in two stages. The first phase includes the design and implementation of the original structure with a height of 5.5 meters in the upper and lower sections in the shape of a semicircle and second stage drilling rectangular cross-section to a height of 3 meters and a width of 7/34 implementation and will then stabilize At each stage in the stabilization according to the characteristics and the amount of pressure on the roof and the sides of the tunnels were tested components and materials used in the laboratory And then according to the results of stabilization measures for Grft.khakhay the tunnel of fine-grained (silt and clay) is. Most of the soils in the early parts of the tunnel and the tunnel is listened to. . For physical and mechanical tests were carried tunnels that their results are as follows: compressive strength of 400 to 500 kilograms per square centimeter on average in limited elasticity in rocks Mybashd.mdvl between 12 to 13 GPa Poisson Darnd.zryb with an average of 0/35 Mybashd.zryb adhesion (C) in the range of 4 to 5.5 MPa and internal friction angle (φ) are between 60 and 50 degrees.

Keywords: sustainability , drilling , blasting , RMR system.

www.SID.ir