5th International Conference on
Modern Research in
CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURAL &
URBAN DEVELOPMENT
15 December 2016 Singapore
پنجمین کنفرانس بین المللی
پـــژوهـــش‌های نویـــن در
عمران، معماری و شهرسازی
۲۵ آذر مـــاه ۱۳۹۵ سنگاپور
Archive of SID

بررسی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل به روش همگرائی و همجواری

محمد رضا نظرپور
گروه مهندسی عمران،واحد نجف آباد،دانشگاه آزاد اسلامی،اصفهان،ایران
mohamadrezanazarpour@gmail.com

بهرام نادی*
گروه مهندسی عمران،واحد نجف آباد،دانشگاه آزاد اسلامی،اصفهان،ایران
Bmn.nadi@hotmail.com

چکیده
مسئله نگهداری فضاهای زیرزمینی همواره یکی از مهمترین مسائل حفریات زیرزمینی بوده است. در تونل های و کارگاه های معدنی با استفاده از پیچ سنگ، قاب فولادی و شاتکریت که اغلب به صورت ترکیبی استفاده می شود، پایداری مورد نیاز آنها تأمین می گردد. تونل های طولانی و کارگاه های با فضای نسبتًا بزرگ ازخصوصیات استخراج به روش جبهه کار طولانی درمعادن زغال است که ایجاد پایداری و بر رسی مسائل نگهداری مربوط به آن از جوانب مختلف حائز اهمیت است در مقاله حاضر به بررسی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل به روش همگرایی و همجواری با استفاده از نرم افزار پلکسیس پرداخته شد که نتایجی از قبیل ۱- حرکت توده سنگ اطراف تونل با افزایش آزادی به سمت محیط داخلی تونل است ۲- درگیری خوب بین راکبولت و توده سنگ در مواجه با باربردای تونل است ۳- با بررسی سه مقاومت مختلف برای راکبولت (۱۰۰ مگانیوتن، ۱۰ مگانیوتن و ۱ مگانیوتن) مشاهده می شود که با افزایش مقاومت راکبولت مقدار نشست سطح زمین به شدت کاهش می یابد که این موضوع نشان دهنده کمک شایان راکبولتها و همچنین مشارکت خوب آنها در تحمل بار در حفر تونل در توده سنگ است.

واژگان کلیدی: نشست،تونل،همگرایی و همجواری،پلکسیس

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

مسئله نگهداری فضاهای زیرزمینی همواره یکی از مهمترین مسائل حفریات زیرزمینی بوده است .در تونل های و کارگاه های معدنی با استفاده از پیچ سنگ، قاب فولادی و شاتکریت که اغلب به صورت ترکیبی استفاده می شود، پایداری مورد نیاز آنها تأمین می گردد .تونل های طولانی و کارگاه های با فضای نسبتًا بزرگ ازخصوصیات استخراج به روش جبهه کار طولانی درمعادن زغال است که ایجاد پایداری و بررسی مسائل نگهداری مربوط به آن از جوانب مختلف حائز اهمیت است .معدن زغال سنگ طبس به روش جبهه کارطولانی پسرو استخراج می شود که نگهداری از ورودی ها با پی چسنگ یا قاب فولادی می باشد بی شک یکی از موثرترین سیستم های نگهداری در معادن سطحی و زیرزمینی پیچ سنگها می باشند و در بین آنها پیچ سنگهای دوغابی جایگاه ویژه ای به خود اختصاص داده اند بطوریکه بالغ بر ۹۰ درصد پ یچ سنگه ای بکاررفته در دنیا از نوع دوغابی می باشند و این بخاطر طول درگیری زیادتر و تأثیر دوغاب های مقاوم رزینی بکار رفته است[1]. در تعاریف قدیمی تونل به عنوان یک راهرو طویل زیر زمینی تعریف شده است، تعاریف دیگر تونل به شرح زیر است:

راهرو زیر زمینی افقی که از هر دو طرف به هوای آزاد مرتبط است، به طور کلی مقصود از تونل، کلیه راهروهای زیرزمینی است که برای استخراج مواد معدنی، رفت و آمد اتوموبیلها، حرکت قطارها، انتقال لوله و کابل و نیز انتقال آب، احداث می‌شود[2].

۲.تاریخچه تونل سازی و سازه‌های زیر زمینی

احتمالا اولین تونل‌ها در عصر حجر برای توسعه خانه‌ها با انجام حفریات توسط ساکنان شروع شد. این امر نشانگر این است که آنها در تلاشهایشان جهت ایجاد حفریات به دنبال راهی برای بهبود شرایط زندگی خود بوده اند. پیش ازتمدن روم باستان ، در مصر ، یونان ، هند و خاور دور و ایتالیای شمالی ، تماما تکنیکهای تونل سازی دستی مورد استفاده قرار می‌گرفت که در اغلب آنها نیز از فرایندهای مرتبط با آتش برای حفر تونل های نظامی ، انتقال آب و مقبره‌ها کمک گرفته می شد. در ایران نیز از چند هزار سال پیش، به منظور استفاده از آبهای زیر زمینی تونل هایی موسوم به قنات حفر شده است که طول بعضی از آنها به ۷۰ کیلومتر و یا بیشتر نیز می‌رسد. تعداد قنات های ایران بالغ بر۵۰۰۰۰ رشته برآورده شده است. جالب توجه است که این قنات های متعدد، طویل و عمیق با وسایل بسیار ابتدایی حفر شده اند[2].

رومی ها نیز در ساخت قنات‌ها و همچنین در حفاری تونل های راه پرکار بودند. آنها در ضمن اولین دوربین های مهندسی اولیه را در جهت کنترل تراز وحفاری تونل ها به کار بردند.

اهمیت احداث تونل ها دردوران های قدیم ، تا بدین جاست که کارشناسان کارهای احداث تونل درآن تمدن‌ها را نشانگر رشد فرهنگ و به ویژه رشد تکنیکی و توان اقتصادی آن جامعه دانسته‌اند. تمدنهای اولیه به سرعت ، به اهمیت تونل‌ها ، به عنوان راه‌های دسترسی به کانی ها و مواد طبیعی نظیر سنگ چخماق به واسطه اهمیتش برای زندگی، پی‌بردند. همچنین کاربرد آنها دامنه گسترده‌ای از طاق زدن بر روی قبرها تا انتقال آب و یا گذرگاههایی جهت رفت وآمد را شامل می شد .کاربردهای نظامی تونل‌ها ، به ویژه از جهت بالابردن توان گریز یا راههایی جهت یورش به قرارگاهها و قلعه های دشمن ، ازدیگر جنبه های مهم کاربرد تونلها در تمدن های اولیه بود[2].

تونل سازی همزمان با انقلاب صنعتی، به ویژه به منظور حمل و نقل ، تحرک قابل ملاحظه ای یافت. تونلسازی به گسترش و پیشرفت کانال سازی کمک کرد و این امر در توسعه صنعت به ویژه در قرون ۱۸ و 19میلادی در انگلستان سهم بسزایی داشت. کانال‌ها یکی از پایه های انقلاب صنعتی بودند وتوانستند در مقیاس بسیار بزرگ هزینه‌های حمل و نقل را کاهش دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

تونل مال پاس با طول ۱۵۷ متر برروی کانال دومیدی در جنوب فرانسه اولین تونلی بود که در دوره‌های مدرن در سال ۱۶۸۱ ساخته شد. همچنین اولین تونل ساخته شده با کاربرد حفاری و انفجار باروت بود. در انگلستان، قرن ۱۸ نیز جیمز بریندلی از خانواده ای مزرعه دار با نظارت بر طراحی و ساخت بیش از 580کیلومتر کانال و تعدادی تونل به عنوان پدر کانال و تونل های کانالی ملقب شد. وی در سال ۱۷۵۹ با ساخت یک کانال به طول ۱۶ کیلومتر مجموعه معدن زغال دوک بریدجواتر را به شهر منچستر متصل نمود. اثر اقتصادی تکمیل این کانال نصف شدن قیمت زغال در شهر و ایجاد یک انحصار واقعی برای معدن مذکور بود[2].

در اوایل قرن نوزدهم به منظور عبور از قسمتهای پایین دست رودخانه تایمز هیچ سازه ای موجود نبود و ۳۷۰۰ عابر مجبور بودند با طی یک راه انحرافی ۳ کیلو متری با قایق مسیر روترهایت به ویپنیگ را طی کنند. اقدام به ساخت یک تونل نیز به دلیل ریزشی بودن ومناسب نبودن رسوبات کف رودخانه متوقف شد. تا اینکه در حدود سال ۱۸۲۰ فردی بنام مارک ایرامبارد برونل از فرانسه ایده استفاده از سپر را مطرح نمود و در سال ۱۸۲۵ کار احداث تونل بین روترهایت و ویپنیگ را آغاز و علی رغم جاری شدن چند نوبت سیل در سال ۱۸۴۳ آن را باز گشایی نمود. این تونل تامس نام گرفته و اولین تونل زیر آبی بود که بدون هر گونه رودخانه انحرافی حفر شد. در دیگر موارد تونلهای زهکشی بزرگ ، نظیر تونلی با طول ۷ کیلو متر در هیل کارن انگلستان ، اهمیت زیادی در توسعه صنعت معدنکاری داشته‌اند. البته بررسی تاریخچه پیشرفت در روش ها و تکنیک ها و به عبارتی در هنر تونل سازی نشانگر این مطلب است که مانند بسیاری دیگر از علوم و فنون بیشتر رشد این هنردر قرن گذشته صورت گرفته و تا حال نیز ادامه دارد[2]. در مطالعه حاضر به بررسی نشست سطح زمین ناشی از حفز تونل پرداخته می شود.

بعضی از مطالعات انجام شده بدین صورت است ویگل[1]بحث استفاده از سیستم پیچ سنگ را به عنوان تسلیح شیب های سنگی برای اولین بار مطرح و ارائه کرد و در نتایج تحقیق خود استفاده از سیستم پیچ سنگ برای پایدارسازی و تثبیت شیب های سنگی را از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه دانست و آن را توصیه کرد[3] . در ادامه حسن مدنی به بحث در رابطه با انواع روش های سیستماتیک در تسلیح شیبهای سنگی پرداخت .این محقق در نتایج خود برای هریک از روش های تسلیح سیستماتیک مطرح شده نظیر بارتن RSRو RMR ، پارامترهای امتیازدهی را بیان کرده و نتایج را در قالب جداول طراحی و سیستم های نگه داری ارائه کرده است[4]. همچنین هوک[2]نیز به بررسی انواع روش های تسلیح سیستماتیک در تونل و شیب های سنگی پرداخت و در نهایت روش RMR را به عنوان یکی از موفق ترین روش های تسلیح سیستماتیک در شیب های سنگی معرفی کرد [5]. کنسلی[3]به بررسی و ارزیابی خطر شکست و لغزش در شیب های سنگی ناپایدار پرداخت که بر اساس نتایج این محقق مناطق و شیب هایی که از لحاظ زمین شناسی دارای شرایط پایداری مناسب نبوده، مستعد لغزش بودند و در این نوع ارزیابی خطر لغزش در این شیب ها زیاد بدست آمد[6]. در ادامه ژانگ[4]به کاربرد سیستم مهندسی سنگ در ارزیابی خطر لغزش شیبهای سنگی در بزرگراه ها در یک پروژه موردی در چین پرداخت. بر اساس نتایج، این محقق توانست رو شها و تکنیک های موثری برای بررسی اندرکنش و تاثیر متقابل عوامل تاثیرگذار بر پایداری شیب های سنگی ارائه کند[7].

عبدالحسین حداد و همکارش د(۱۳۸۹) به بهینه سازی تسلیح در شیب های سنگی ناپایدار با استفاده از روش سطح تسلیح مورد نیاز پرداختند آنها در تحقیقات خود به بررسی توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده بر روی شیب های سنگی که احتمال ناپایداری دارند، پرداخته شده و روش جدید سطح تسلیح مورد نیاز یاDRD [5]به کار گرفتند، هدف آنها از ارائه این روش ارائه یک روند منطقی جهت توزیع بهینه عناصر تسلیح کنند ه ی مورد نیاز در شی ب های سنگی ناپایدار و به خصوص نواحی بحرانی است.در این روش شیب س نگی با توجه به خواص هندسی منطقه بندی شده و برای هر منطقه با توجه به خواص

[1] - Weugel
[2] - Hoek
[3] - Cancelli
[4] - Zhang
[5] - Degree of Reinforcement Demand

www.SID.ir

Archive of SID

هندسی و ژئومکانیکی لایه ها ضرایب تاثیر و سپس ماتریس ضرایب تاثیر بدست م یآید .در ادامه با استفاده از روش اجزای محدود و مدل سازی عددی تغییرمکان هر یک از مناطق و بعد از آن ماتریس نسبت تغییرمکان مناطق تقسی مبندی شده بدست می آید. در انتها طی یک عملیات ماتریسی مقادیر DRD هر منطق ه بدست آمده و توزیع عناصر تسلیح کننده بر اساس این مقادیر صورت م ی گیرد .به منظور ارائه کاربردی، توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده در شی ب های سنگی سد سیاه بیشه مورد ارزیابی قرار گرفته است[8].

جلالی فر (۱۳۸۸) در مطالعه خود به تآثیر پروفیل پیچ سنگها در ظرفیت انتقال بار پرداخت و در بررسی ها و نتایج حاصله، مشخص شد که پیچ سنگهای آجدار با فاصله آج طولانی ترنسبت به پیچ سنگهای با فاصله آج نزدیکتر ظرفیت انتقال بار بیشتری را ایفا می کنند بطوریکه بار ماکزیمم و مقاومت پسماند بیشتر در میل مهارهای با فاصله پروفیل بیشتر رخ می دهد[9].

جنگ و همکاران[۶](۱۹۹۹) عنوان کردند که نصب پیچ سنگ باعث بهبود یکپارچگی می شود [**10**]. لابیوس[۷](۱۹۹۶) در مطالعه خود عنوان کرد که پیچ سنگ باعث بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی (چه چسبندگی و چه زاویه اصطکاک داخلی) توده سنگ، می شود[**11**]. اورست[۸](۲۰۰۸) به مطالعه ای تحت عنوان تجزیه و تحلیل مشخص با توجه به جابجایی پیچ سنگ که به طور کامل در داخل گروت اطراف تونل مهار شده است پرداختوی بیان کرد که به منظور شبیه سازی اثرات نصب پیچ سنگ و مدلسازی آن به عنوان یک سیستم حائل در حفاری های زیر زمینی، روش های عددی، تحلیلی و آزمایشگاهی بسیاری پیشنهاد شده است[**12**].کای و همکاران[۹](۲۰۰۶) به مطالعه ای تحت عنوان ارائه یک مدل تحلیلی برای پیش بینی بار محوری پیچ سنگ برای سنگ های نرم در تونل پرداختند آنها مطالعات آزمایشگاهی و عددی را برای بررسی مکانیزم نگهداری انجام دادند،همچنین نشان دادند که ظرفیت نگهداری با مقاومت کششی سنگ، طول پیچ سنگ و قطر آن رابطه مستقیم دارد[**13**]. پیلا و اورست (۱۹۹۵[۱۰]) به مطالعه ای تحت عنوان تجزیه و تحلیل متقارن از تویت زمین در طراحی تونل زنی پرداختند آنها سه مدل تحلیلی برای پیچ سنگ ها ارائه کردند[**14**]، که عبارت اند از :

۱- برای پیچ سنگ تحت بار برون کشی در آزمایش برون کشی
۲- برای پیچ سنگ های نصب شده در توده سنگ
۳- برای پیچ سنگ هایی که توده سنگ با یک ترک

پیلا و اورست (۱۹۹۶) یک مدل تحلیلی برای پیش بینی نیروی محوری پیچ سنگ در طراحی تونل پیشنهاد کردند، در این روش، مکانیزم اندرکنش پیچ سنگ و زمین توسط جابجایی متناظر آنها تعریف شد[**15**]. استیل[۱۱](۱۹۸۳) به مطالعه ای تحت عنوان جنبه های نطری در تفاوت بین لنگر پیچ پیش تنیده و پیچ های فشاری داخل گروت پرداخت وی بر پایه آزمایشات مرسوم برون کشی، یک مدل فنر و غلتک که بیانگر اندرکنش بین پیچ سنگ و توده سنگ است ارائه کرد[**16**]. استیل و همکاران[۱۲](۱۹۸۹)نیز یک روند جدید برای تحلیل پیچ سنگ ها در تونل ارائه داد. این روند بر پایه اصل تناسب تغییر مکان ها استوار است.

از سوی دیگر، مدل های متقارن محوری تحلیلی که قادر به تعریف تنش های تغییر شکل های اعمال شده توسط تونل هستند به علت سادگی محاسبات بطور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند. در عمل، همگرایی تونل، معیار بسیار مناسبی برای

---

6 - Jeng et al
7 - Labiouse
8 - Oreste
9 - Cai et al
10 - Peila & Oreste
11 - Stille
12 - Stille et al

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی پایداری تونل است. بنابراین، می توان از پیچ سنگ ها بعنوان معیار درستی از کاهش همگرایی تونل یاد کرد[17]. گان و همکاران[1](۲۰۰۷) در مطالعه خود تحت عنوان مکانیک تقویت پیچ و مهره منفعل در تونل زنی معمولی و فهیمی فر و سروش(۲۰۰۵) در مطالعه خود تحت عنوان یک رویکرد نظری برای تجزیه و تحلیل از تعامل بین پیچ سنگ و توده سنگی، روندی مبتنی بر روش عددی تفاضل محدود برای محاسبه منحنی پاسخ زمین ارائه دادند. لازم به ذکر است که راه حل تحلیلی برای بررسی اثر پیچ سنگ بر پاسخ زمین توسط نیز بررسی شد**[11-16]**. استیل و همکاران(۱۹۸۹) راه حلی را برای سیستم پیچ سنگ ارائه دادند که در آن اثر پیچ سنگ های کششی بر منحنی پاسخ زمین مورد بررسی قرار گرفت**[17]**. گرسو و همکاران[1](۱۹۸۹) مدلی تحلیلی برای پیچ سنگ های غیر گروتی کششی ارائه دادند**[6]**.

۳.بحث و نتیجه گیری

در این بخش برای فواصل مختلف راکبولت و همچنین مقاومتهای مختلف آنها نمودارهای نشست سطح زمین تحت باربرداریهای ناشی از حفر تونل برای آزادی های تنش مختلف در عمق تونل ترسیم شده است. به این منظور مقادیر با در نظر گیری دو متغیر طول راکبولت و مقاومت راکبولت نمودارهای مختلفی را در ضرایب آزادی تنش مختلف ترسیم نمودیم (شکل های ۱تا ۱۰).

همانطور که در این شکل ها مشاهده می شود مسئله را می توان به سه زیر بخش مختلف تقسیم نمود

۱- آزادی تنش

۲- طول راکبولت

۳- مقاومت راکبولت

۱،۳.اثر آزادی تنش

همانطور که در شکل های ۱ تا ۱۰ مشاهده می شود، صر فنظر از اینکه مقاومت راکبولت ها و همچنین طول راکبولت ها چقدر است، مقادیر نشست سطح زمین با افزایش مقدار آزادی تنش، زیاد می شود. این موضوع نشان دهنده حرکت توده سنگ اطراف تونل با افزایش آزادی به سمت محیط داخلی تونل است.

۲،۳.طول راکبولت

با بررسی طولهای ۲۴، ۱۴ و ۷ متر مشاهده می شود که با افزایش طول راکبولت نشست سطح زمین صرفنظر از میزان آزادی تنش و همچنین مقاومت راکبولت با کاهش مواجه است. این موضوع نشان دهنده درگیری خوب بین راکبولت و توده سنگ در مواجه با باربردای تونل است.

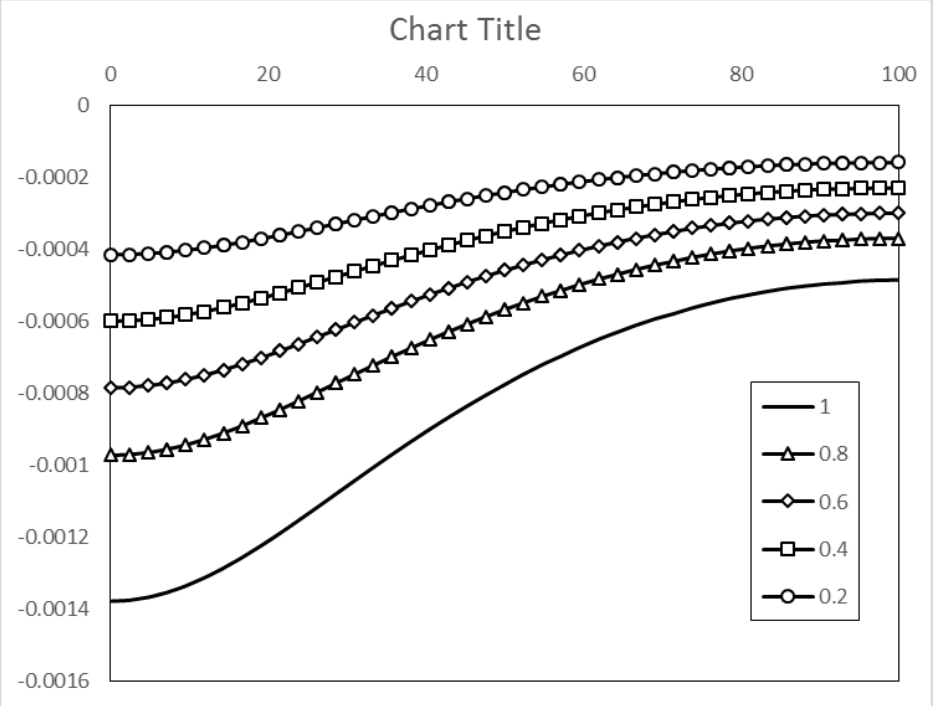
[1] - Guan et al [3]
[1] - Grasso [4]

www.SID.ir

Archive of SID

۳,۳.مقاومت راکبولت

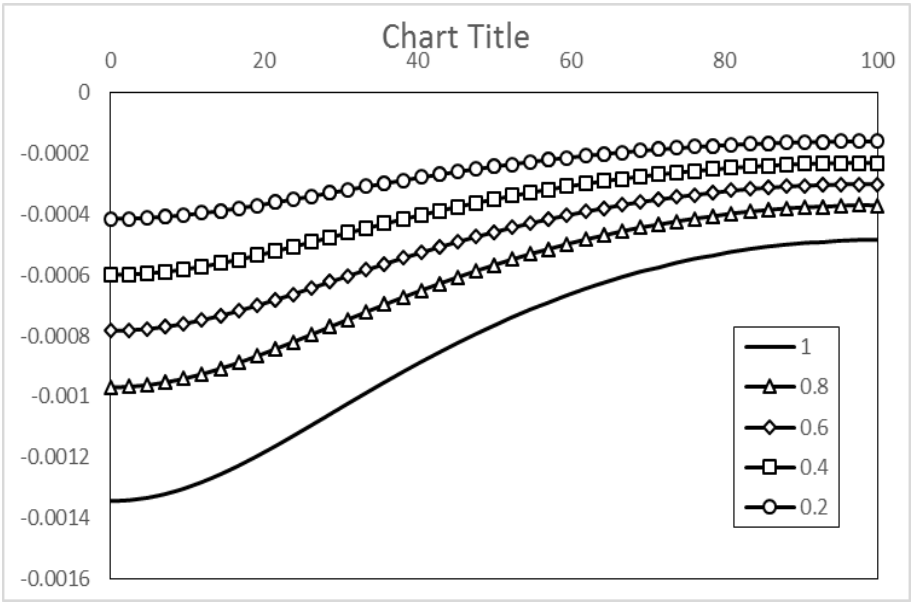
با بررسی سه مقاومت مختلف برای راکبولت (۱۰۰ مگانیوتن، ۱۰ مگانیوتن و ۱ مگانیوتن) مشاهده می شود که با افزایش مقاومت راکبولت مقدار نشست سطح زمین به شدت کاهش می یابد که این موضوع نشان دهنده کمک شایان راکبولتها و همچنین مشارکت خوب آنها در تحمل بار در حفر تونل در توده سنگ است.



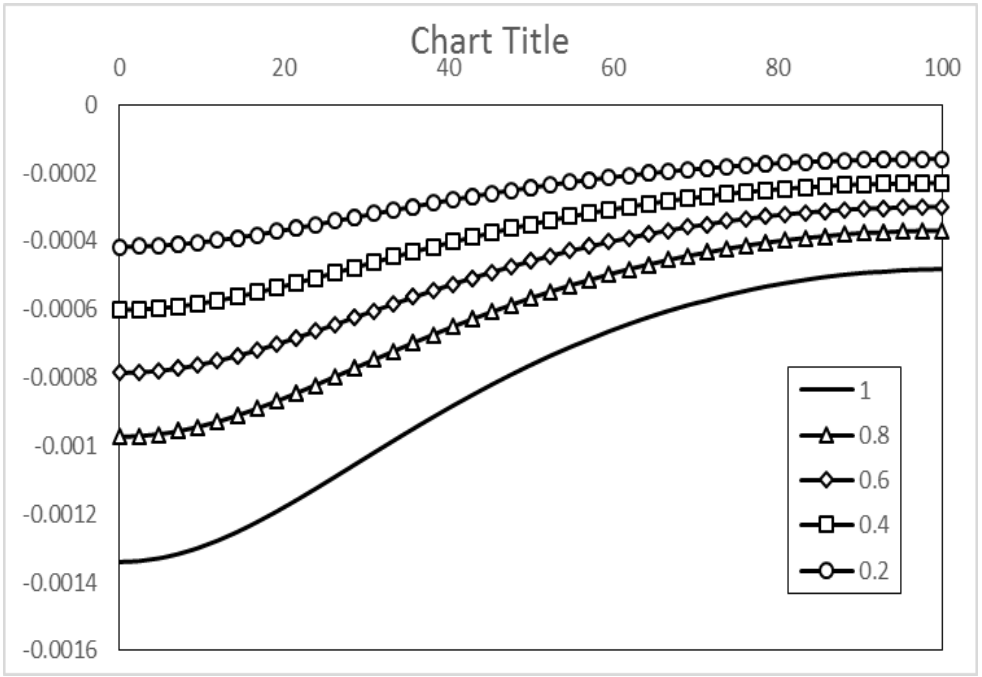
شکل۱: تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۲۴ متر، مقاومت راکبولت ۱۰۰ مگانیوتن)

www.SID.ir

Archive of SID



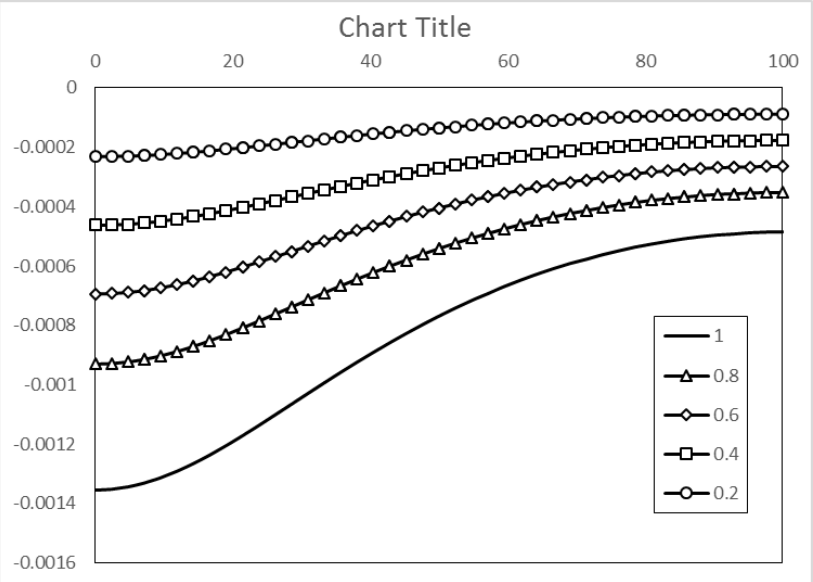
شکل۲:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۱۴ متر، مقاومت راکبولت ۱۰۰ مگانیوتن)



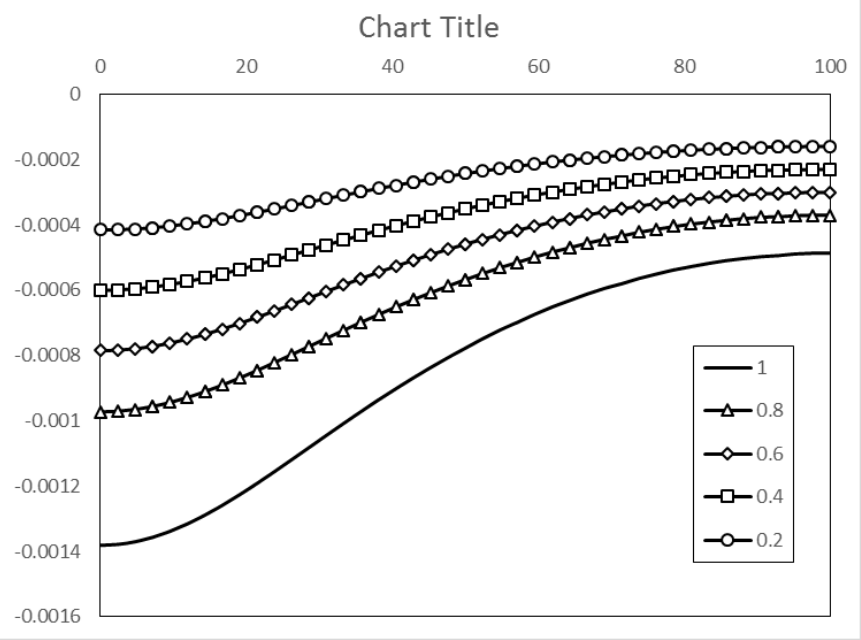
شکل۳:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۷ متر، مقاومت راکبولت ۱۰۰ مگانیوتن)

www.SID.ir

Archive of SID



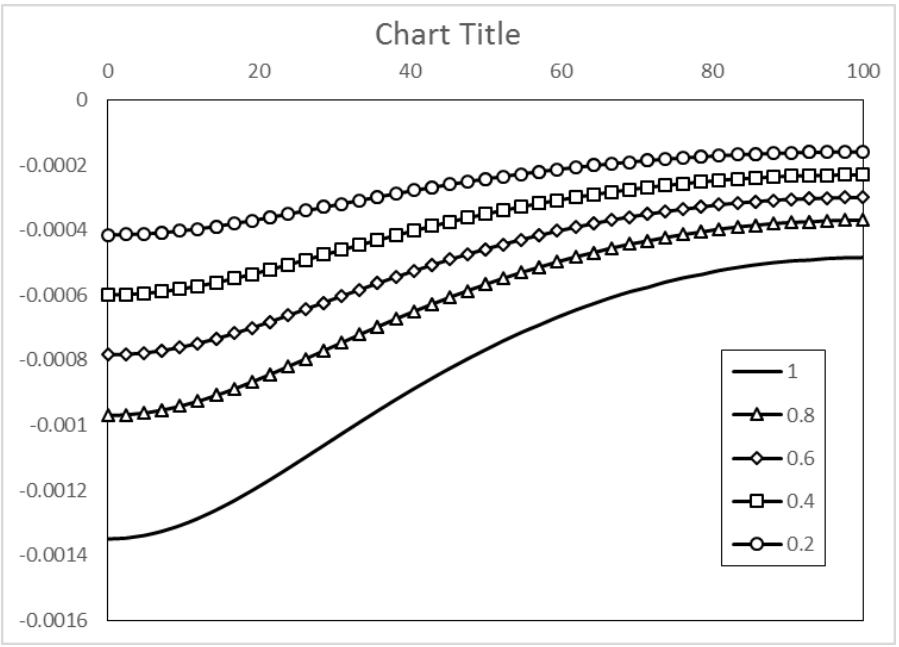
شکل۴:تغییر مکان افقی (در غیاب راکبولت)



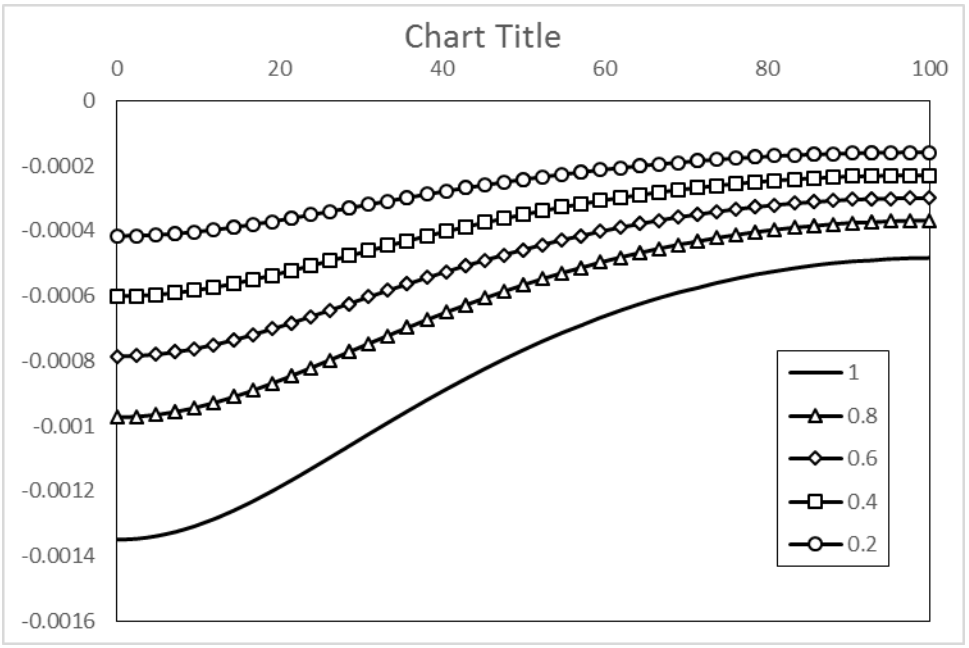
شکل۵:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۲۴ متر، مقاومت راکبولت ۱۰ مگانیوتن)

www.SID.ir

Archive of SID



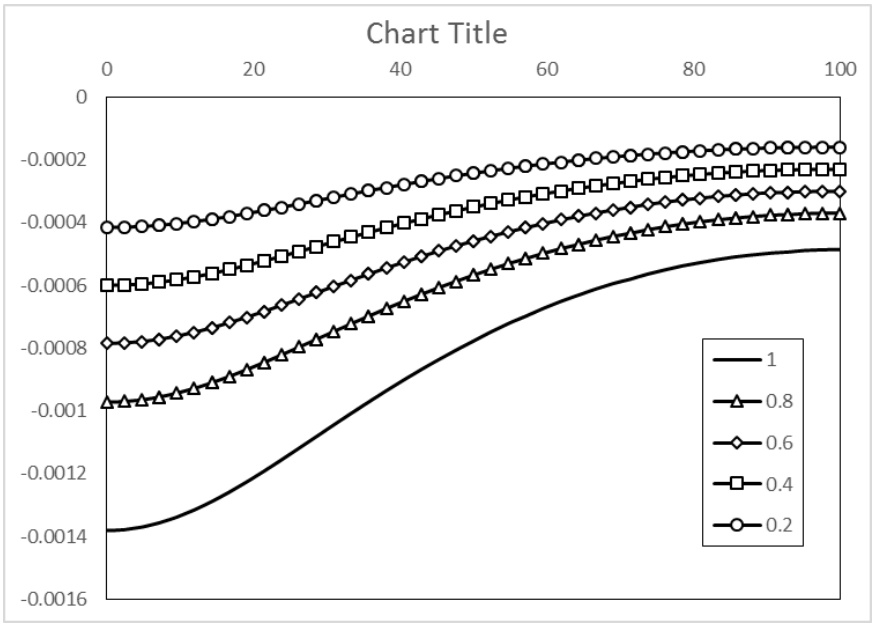
شکل۶:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۱۴ متر، مقاومت راکبولت ۱۰ مگانیوتن)



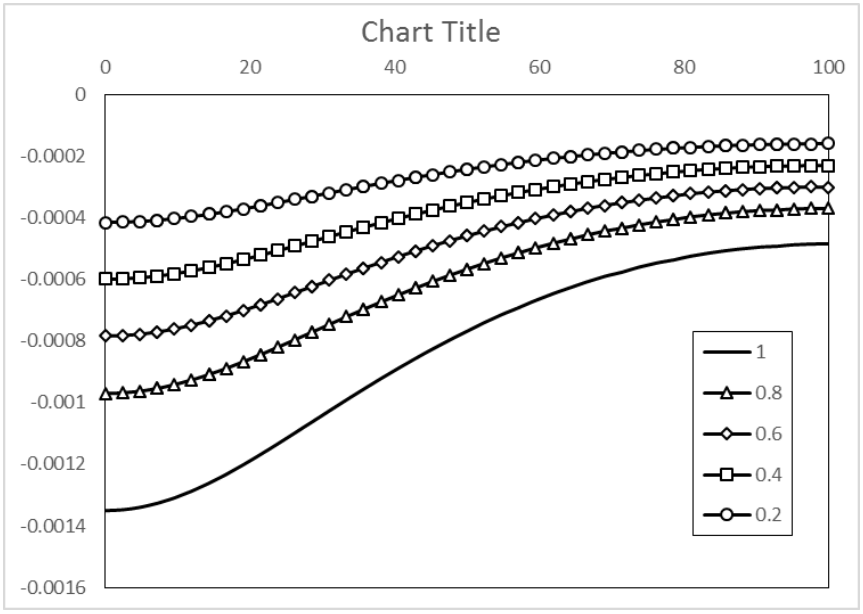
شکل۷:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۷ متر، مقاومت راکبولت ۱۰ مگانیوتن)

www.SID.ir

Archive of SID



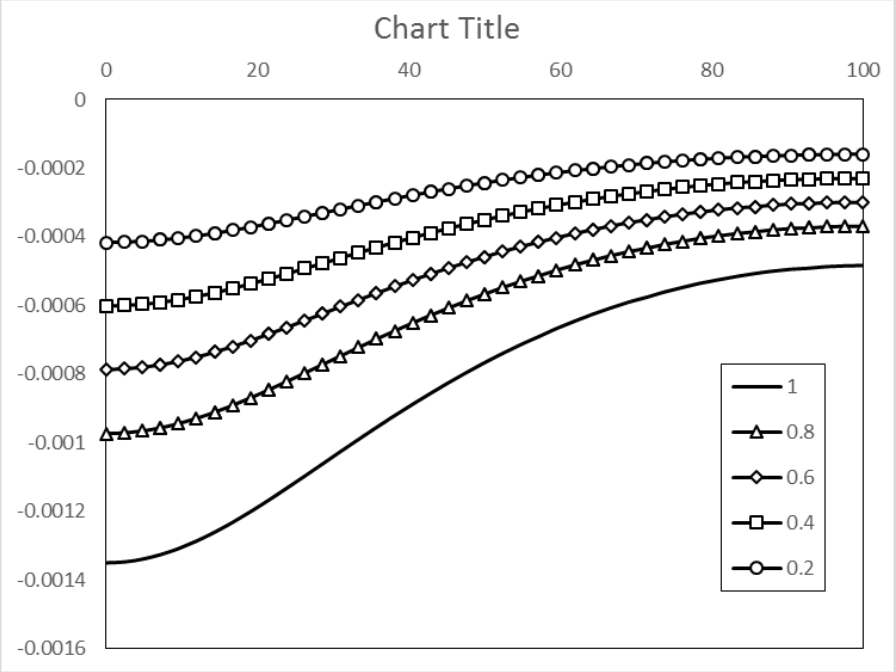
شکل۸:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۲۴ متر، مقاومت راکبولت ۱ مگانیوتن)



شکل۹:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۱۴ متر، مقاومت راکبولت ۱ مگانیوتن)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۰:تغییر مکان افقی (طول راکبولت ۷ متر، مقاومت راکبولت ۱ مگانیوتن)

نتیجه گیری

- با صر فنظر از اینکه مقاومت راکبولتها و همچنین طول راکبولتها چقدر است، مقادیر نشست سطح زمین با افزایش مقدار آزادی تنش، زیاد می شود. این موضوع نشان دهنده حرکت توده سنگ اطراف تونل با افزایش آزادی به سمت محیط داخلی تونل است.

۵- با بررسی طولهای ۲۴، ۱۴ و ۷ متر مشاهده می شود که با افزایش طول راکبولت نشست سطح زمین صرفنظر از میزان آزادی تنش و همچنین مقاومت راکبولت با کاهش مواجه است. این موضوع نشان دهنده درگیری خوب بین راکبولت و توده سنگ در مواجه با باربردای تونل است.

۶- با بررسی سه مقاومت مختلف برای راکبولت (۱۰۰ مگانیوتن، ۱۰ مگانیوتن و ۱ مگانیوتن) مشاهده می شود که با افزایش مقاومت راکبولت مقدار نشست سطح زمین به شدت کاهش می یابد که این موضوع نشان دهنده کمک شایان راکبولتها و همچنین مشارکت خوب آنها در تحمل بار در حفر تونل در توده سنگ است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Fahimifar, A., Soroush, H., 2005. A theoretical approach for analysis of the interaction between grouted rockbolts and rock masses. Tunneling and Underground Space Technology 20, 333–343

2. Jeng, F.S., Huang, T.H., 1999. The holding mechanism of underreamed rockbolts in soft rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 36, 761– 775.

3. Labiouse, V., 1996. Ground response curves for rock excavations supported by ungrouted tensioned rockbolts. Rock Mechanics and Rock Engineering 2q (1), 19–38.

4. Oreste, P., 2008. Distinct analysis of fully grouted bolts around a circular tunnel considering the congruence of displacements between the bar and the rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 45 (7), 1052– 1067.

5. Cai, Y., Esaki, T., Jiang, Y., 2004. An analytical model to predict axial load in grouted rock bolt for soft rock, tunneling. Tunneling and Underground Space Technology 19, 607–618

6. Peila, D., Oreste, P.P., 1995. Axisymmetric analysis of ground reinforcing in tunneling design. Computers and Geomechanics 17, 253–274.

7. Peila, D., Oreste, P.P., 1996. Radial passive rockbolting in tunneling design with a new convergence-confinement model. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics 33, 443–454

8. Stille, H., 1983. Theoretical aspects on the difference between prestresses anchor bolt and grouted bolt in squeezing rock. In: Proceeding of the International Symposium on Rock Bolting, Abisko, pp. 65–73.

9. Stille, H., Holmberg, M., Nord, G., 1989. Support of weak rock with grouted bolts and shotcrete. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 26 (1), 99–113.

10. Fahimifar, A., Soroush, H., 2005. A theoretical approach for analysis of the interaction between grouted rockbolts and rock masses. Tunneling and Underground Space Technology 20, 333–343.

11. Hoek, E., Brown, E.T., 1980. Underground Excavations in Rock. The Institution of Mining and Metallurgy, London

12. Fahimifar, A., Soroush, H., 2005. A theoretical approach for analysis of the interaction between grouted rockbolts and rock masses. Tunneling and Underground Space Technology 20, 333–343

13. Ahmad Fahimifar, Masoud Ranjbarnia,2013, Analytical approach for the design of active grouted rockbolts in tunnel stability based on convergence-confinement method, Tunneling and Underground Space Technology.

14. Zhu Changxing, Chang Xu, Men Youdong, Luo Xulin, 2015, Modeling of grout crack of rockbolt grouted system, International Journal of Mining Science and Technology 25 (2015) 73-77.

15. Li CC. A new energy-absorbing bolt for rock support in high stress rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2010;47(3):396-404

16. W. Nie, Z.Y. Zhao, Y.J. Ning, Y.J. Ning, W. Guo , (2014), Numerical studies on rockbolts mechanism using 2D discontinuous deformation analysis.

www.SID.ir