دانشکده معدن و متالورژی

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مکانیک سنگ

تحلیل رفتار مچاله شوندگی توده سنگ تونل دشت ذهاب

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر غلام نژاد

جناب آقای دکتر فاتحی

استاد مشاور :

جناب آقای مهندس بیاتی

دانشجو :

امین صالحی

۸۷۰۴۹۳۴

زمستان ۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

به تماشا سوگند

و به آغاز کلام

و به پرواز کبوتر از ذهن

واژه ای در قفس است ...

تقدیم به مادر و پدر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی پشتیبان و مشوق من می باشند .

در اینجا لازم می دانم از کلیه کسانی که در انجام این پروژه مرا با مساعدت های خود یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استادان گرامی بنده **جناب آقای دکترغلام نژاد و جناب آقای دکتر فاتحی** که با راهنمایی های خود، بنده را در انجام این پروژه یاری نمودند تشکر و قدر دانی می نمایم.

در ضمن لازم می دانم از همکاری صمیمانه جناب آقای **مهندس بیاتی، مهندس مشاور شرکت ایمن سازان** تقدیر و تشکر نموده و برای ایشان آرزوی موفقیت می نماییم .

چکیده :

یکی از پدیده‌های مهمی که ممکن است باعث بروز مشکلات در عملیات تونلسازی، نگهداری و بهره‌برداری از تونل به خصوص در سنگ های ضعیف شود، مچاله شوندگی سنگ های مسیر آن است. مچاله شوندگی به همگرایی وابسته به زمان تونل‌ها در خلال حفاری گفته می‌شود. این پدیده هنگامی روی می‌دهد که تنش‌های القائی بوجود آمده در اثر حفاری زیرزمینی بیشتر از مقاومت برشی توده‌سنگ های دربرگیرنده حفره باشد. پدیده مچاله شوندگی ماهیتی وابسته به زمان دارد و شامل دو مرحله می باشد بطوریکه پس از پیشروی جبهه کار تونل، چنانچه تنش پیرامون دهانه از مقاومت توده سنگ تجاوز کند، توده سنگ بلافاصله شروع به مچاله شوندگی می نماید و به این پدیده مچاله شوندگی آنی گفته می شود. چنانچه تنش انباشته شده از مقاومت توده سنگ تجاوز نکند ولی برای ایجاد خزش کافی باشد، آن گاه موجب همگرایی به سمت داخل تونل می شود و به آن مچاله شوندگی ثانویه (خزشی) گفته می شود. این تغییرشکل‌ها ممکن است در خلال احداث تونل خاتمه یافته و یا برای مدت زمان طولانی ادامه یابد. مقدار همگرائی تونل، سرعت تغییرشکل و گسترش ناحیه تسلیم شده در اطراف تونل بستگی به عوامل متفاوتی دارد که هر یک به تنهایی تاثیرات بسیار زیادی بر روی نتایج می گذارد.

تونل انتقال آب دشت ذهاب با طولی بالغ بر ۲۵۶۸۴ متر و قطر ۶.۷۳ متر در غرب ایران و در استان کرمانشاه واقع است. بخش اعظمی از مسیر این تونل از سنگ های آهکی به همراه شیل و مارن تشکیل شده و در آن چندین زون گسله همراه با ساختارهای تاقدیسی و ناودیسی به چشم می خورد و روباره در مسیر تونل به ۹۹۸ متر می رسد. این موضوع شرایط را برای وقوع پدیده مچاله شوندگی در قسمت هایی از مسیر تونل مهیا نموده است. به همین منظور به ارزیابی و مدلسازی و تحلیل این پدیده در این تونل پرداخته شد. در این پروژه به ارزیابی پدیده مچاله شوندگی توسط روش های تجربی، نیمه تجربی، تحلیلی – تئوریک پرداخته شد و توده سنگ های واقع در سازند های ۹۴ و ۹۵ در مقطع های ۲۳۰۸۰ و ۲۳۳۴۰ دارای بیشترین پتانسیل وقوع پدیده مچاله شوندگی شناخته شد. سپس توسط نرم افزار های عددی تفاضل محدود پیوسته $Flac2D^{5.00}$ و $Flac3D^{3.00}$ به مدلسازی این پدیده با مدل برگر خزشی (CVISC) **برای مدت یک ماه** پرداخته شد. با توجه به تحلیل های انجام شده، مقطع ۲۳۰۸۰ به علت کیفیت پایین توده سنگ بحرانی تشخیص داده شد و نیازمند تجدید نظر در طراحی سیستم نگهداری برای جلوگیری از پدیده مچاله شوندگی می باشد ولی تاثیر این پدیده در مقطع ۲۳۳۴۰ مشکلی ایجاد نخواهد کرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱

❖ **فصل اول : پدیده مچاله شوندگی و مدل های رفتاری در زمین های مچاله شونده**

۱-۱- معرفی ۶

۱-۲- تعاریف ارائه شده از مچاله‌شوندگی توسط انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM) ۷

۱-۳- نگاهی دقیق تر به پدیده ی مچاله شوندگی ۸

۱-۴ - مکانیک سنگ در پدیده ی مچاله شوندگی ۱۲

۱-۴-۱- مچاله شوندگی آنی..... ۱۳

۱-۴-۲- مچاله شوندگی ثانویه (مچاله شوندگی در اثر خزش)..... ۱۴

۱ - ۵ - عوامل موثر در پدیده مچاله شوندگی ۱۵

۱-۶- خصوصیات وابسته به زمان..... ۱۷

۱-۶-۲-۱- رفتار کوتاه مدت و تاثیر زمان پایداری ۱۷

۱-۶-۲-۲- رفتار بلند مدت..... ۱۸

۱-۷- الاستیسیته و پلاستیسیته در سنگ ها ۱۹

۱-۷-۱- مدل های رئولوژیکی - رفتار ساده ۱۹

۱-۷-۲- مدل های رئولوژیکی - رفتار پیچیده ۲۱

۱-۷-۲-۱- مدل برگر ۲۲

۱-۷-۳- خزش ۲۳

۱-۷-۳-۱- عوامل موثر بر خزش ۲۴
۱-۷-۳-۲- بررسی منحنی تنش-کرنش خزش ۲۴
۱-۷-۳-۳- منحنی کرنش- زمان خزش ۲۵
۱-۷-۳-۴- شناخت رئولوژی در پدیده ی خزش..... ۲۵
۱-۷-۳-۵- مدل های تحلیل خزش ۲۷
۱-۸- مدل های وابسته به زمان در سنگ های مچاله شونده ۲۷
۱-۸-۱- مدل CVISC (مدل الاستو ویسکوپلاستیک برگر خزشی) ۲۷
۱-۸-۱-۱- معادلات تنش های و کرنش ها در مدل CVISC ۲۸
۱-۸-۱-۲- پارامترهای مورد نیاز در مدل CVISC ۳۳
۱-۸-۱-۳- برنامه Fish مدل CVISC..... ۳۳
۱-۸-۱-۴- ضرایب ویسکوزیته و گام زمانی در مدل CVISC..... ۳۴

❖ فصل دوم : کلیات پروژه انتقال آب تونل دشت ذهاب

۲-۱- معرفی تونل انتقال دشت ذهاب و موقعیت جغرافیایی آن ۳۷
۲-۲- مشخصات هندسی تونل ۳۸
۲-۳- مشخصات زمین شناسی مسیر تونل ۳۹
۲-۴- ویژگی های توده سنگ های مسیر تونل..... ۴۲
۲-۵- آب زیر زمینی و وضعیت آب در تونل دشت ذهاب ۴۵
۲-۶- حفاری تونل ۴۶
۲-۷- سیستم نگهداری تونل ۴۶
۲-۸- خواص قطعات پیش ساخته بتنی ، خواص محل اتصالات و شن نخودی و دوغاب ۴۷

۲-۹- ابزار بندی در تونل ۴۹

❖ فصل سوم : بررسی رفتار مچاله شوندگی توده سنگ مسیر تونل دشت ذهاب

۳-۱- تعریف و تعیین کمّی شرایط مچاله‌شوندگی ۵۲
۳-۲- روش های تجربی ۵۳
۳-۲-۱- روش سینگ و همکاران ۵۳
۳-۲-۲- روش گوئل و همکاران ۵۴
۳-۲-۳- درجه مچاله‌شوندگی ۵۶
۳-۳- روش های نیمه تجربی ۵۷
۳-۳-۱- روش جتوا و همکاران ۵۷
۳-۳-۲- روش آیدان و همکاران ۵۷
۳-۳-۳- روش هوک و مارینوس ۶۰
۳-۴- روش های تحلیلی – تئوریک ۶۱
۳-۵- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی در توده‌سنگ‌های مسیر تونل دشت‌ذهاب ۶۲
۳-۵- ۱- روش‌های تجربی ۶۴
۳-۵-۱- ۱- روش سینگ و همکاران ۶۴
۳-۵-۱-۲- روش گوئل و همکاران ۶۵
۳-۵-۲- روش‌های نیمه تجربی ۶۷
۳-۵-۲-۱- روش جتوا و همکاران ۶۷
۳-۵-۲-۲- روش آیدان و همکاران ۶۸
۳-۵-۲- ۳- روش هوک و مارینوس ۷۰
۳-۵-۳- روش تئوری – تحلیلی ۷۱
۳-۶- مقایسه روش ها و نتیجه‌گیری ۷۲

❖ فصل چهارم : مدلسازی عددی پدیده مچاله شوندگی در توده سنگ های مستعد تونل دشت ذهاب

مقدمه ۷۶

۴-۱- مروری بر روش های تحلیل عددی ۷۷

۴-۱-۱- روش مبتنی بر محیط های پیوسته ۷۷

۴-۱-۲- روش مبتنی بر محیط های ناپیوسته ۷۷

۴-۲- تحلیل عددی سنگ های مستعد مچاله شوندگی تونل دشت ذهاب ۷۸

۴-۳- شرح کوتاهی از روش آنالیز برگشتی ۸۶

۴-۳-۱- آنالیز معکوس در برابر آنالیز مستقیم ۸۷

۴-۳-۲- اهداف آنالیز برگشتی ۸۸

۴-۳-۳- روش مستقیم آنالیز برگشتی ۸۹

۴-۴- تخمین ثابت های ویسکوالاستیک توسط روش آنالیز برگشتی ۹۱

۴-۵- مدلسازی دو بعدی پدیده مچاله شوندگی در توده سنگ های مستعد تونل دشت ذهاب ۹۷

۴-۵-۱- مدلسازی دو بعدی پدیده مچاله شوندگی در مقطع ۲۳۰۸۰ متری ۹۹

۴-۵-۲- مدلسازی دو بعدی پدیده مچاله شوندگی در مقطع ۲۳۳۴۰ متری ۱۰۳

۴-۶- مدلسازی سه بعدی پدیده مچاله شوندگی در توده سنگ های مستعد تونل دشت ذهاب ۱۰۷

۴-۶-۱- مدلسازی سه بعدی پدیده مچاله شوندگی در مقطع ۲۳۰۸۰ متری ۱۱۰

۴-۶- ۲- مدلسازی سه بعدی پدیده مچاله شوندگی در مقطع ۲۳۳۴۰ متری ۱۱۴

۴-۷- مقایسه جابجایی کل و خزشی رخ داده بین تحلیل های دو بعدی و سه بعدی..... ۱۱۸

نتیجه گیری..... ۱۲۰

نظرات و پیشنهادات..... ۱۲۱

منابع و مآخذ و پیوست ها..... ۱۲۲

فهرست جداول

عنوان صفحه

۱-۱- مدل های رئولوژیک ساده ۲۰
۱-۲- مدل های رئولوژیک پیچیده ۲۱
۱-۳- مدل های رئولوژیک خزش ۲۶
۱-۴- پارامترهای مورد نیاز مدل CVISC ۳۳
۱- ۵- پارامترهای مورد نیاز برای برنامه Fish در مدل ساختاری CVISC ۳۴
۲-۱- مجموعه‌های لیتولوژیکی شناسایی شده در مسیر تونل ۴۱
۲-۲- داده ها و پارامترهای موجود و مورد نیاز برای انجام پروژه ۴۳
۲-۳- خصوصیات و پارامترهای موجود از سازندهای موجود در مسیر تونل
دشت ذهاب (سازند ۸۲-۹۶) ۴۴
۲-۴- خواص قطعات پیش ساخته بتنی تونل دشت ذهاب ۴۸
۲-۵- خواص شن نخودی و دوغاب تزریقی پشت سگمنت در تونل دشت ذهاب ۴۸
۳-۱- شرایط مچاله شوندگی طبق نظریه ترزاقی برای سنگ های مچاله شونده ۵۳
۳-۲- ارزیابی شرایط مچاله شوندگی در روش گوئل ۵۶
۳-۳- درجه مچاله شوندگی بر حسب همگرایی تونل ۵۶
۳-۴- طبقه‌بندی مچاله‌شوندگی مطابق با نظریه جتوا و همکاران ۵۷
۳-۵- طبقه‌بندی رفتار مچاله‌شوندگی سنگ ها طبق نظریه آیدان و همکاران ۵۹
۳-۶- طبقه‌بندی رفتار مچاله‌شوندگی توسط هوک ۶۱
۳-۷- طبقه‌بندی شرایط زمین در روش تحلیلی - تئوری (ISRM و بارلا) ۶۲

۳-۸- پارامترهای مورد نیاز جهت ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی در روش‌های
تجربی ،نیمه تجربی و تحلیلی – تئوریک ۶۳
۳-۹- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش سینگ و همکاران..... ۶۴
۳-۱۰- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش گوئل و همکاران..... ۶۶
۳-۱۱- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش جتوا و همکاران..... ۶۸
۳-۱۲- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش آیدان و همکاران..... ۶۹
۳-۱۳- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش هوک و مارینوس ۷۰
۳-۱۴- ارزیابی پتانسیل مچاله شوندگی با روش بارلا و ISRM..... ۷۱
۳-۱۵- ارزیابی و مقایسه کلی پتانسیل مچاله شوندگی توسط روش های ارائه شده..... ۷۳
۴-۱- تعیین رفتار مچاله شوندگی با استفاده از میزان همگرایی تونل..... ۷۶
۴-۲- خصوصیات کامل سنگ واقع در سازندهای ۹۴ و ۹۵ برای تحلیل عددی..... ۸۱
۴-۳- پارامترهای مورد نیاز مدل CVISC ۸۳
۴-۴- خصوصیات کامل سنگ واقع در سازندهای ۲۳ به همراه سازند ۹۵ مورد نیاز
برای تحلیل برگشتی ثابت های ویسکوالاستیک..... ۸۴
۴-۵- نتایج حاصل از ابزار بندی و قرائت های کرنش سنج ها برای مقطع واقع در ۴۸۰۰ متر..... ۸۵
۴-۶- آنالیز حساسیت ثابت های ویسکوالاستیک نسبت به جابجایی ها در محیط تونل
(آنالیز در مقطع ۴۸۰۰ ، فاصله تا جبهه کار تقریبا ۱۰۰ متر)..... ۹۲
۴-۷- میزان مقادیر ویسکوالاستیک محاسبه شده در موارد مطالعاتی مختلف..... ۹۳
۴-۸- دامنه محدود شده برای انتخاب مقادیر ویسکوالاستیک برای سنگ آهک
موجود در مقطع ۴۸۰۰ ..... ۹۴
۴-۹- نتایج حاصل از تحلیل آنالیز برگشتی بر روی مقطع ۴۸۰۰ برای یافتن مقدار تابع خطا
و مقادیر بهینه ثابت های ویسکوالاستیک ۹۵

۴-۱۰- دامنه بدست آمده برای انتخاب مقادیر ویسکوالاستیک برای سنگ موجود
در مقاطع ۲۳۳۴۰ و ۲۳۰۸۰ ..... ۹۷
۴-۱۱- جابجایی رخ داده در سقف و دیواره تونل در مقطع ۲۳۰۸۰ متری، اجرا شده
توسط مدل های مختلف دو بعدی ۱۰۲
۴-۱۲- جابجایی رخ داده در سقف و دیواره تونل در مقطع ۲۳۳۴۰ متری، اجرا شده
توسط مدل های مختلف دو بعدی ۱۰۶
۴-۱۳- جابجایی رخ داده در سقف و دیواره تونل در مقطع ۲۳۰۸۰ متری، اجرا شده
توسط مدل های مختلف سه بعدی ۱۱۴
۴-۱۴- جابجایی رخ داده در سقف و دیواره تونل در مقطع ۲۳۳۴۰ متری، اجرا شده
توسط مدل های مختلف سه بعدی ۱۱۸
۴-۱۵- مقایسه جابجایی کل و خزشی رخ داده در سقف و دیواره تونل در مقاطع دو بعدی
و سه بعدی ۱۱۹

فهرست پیوست ها

عنوان

۱- برنامه Fish مدل برگر خزشی

۲- مقطع طولی کلی تونل دشت ذهاب به همراه مقطع سازندهای ۹۴ و ۹۵

۳- خصوصیات فیزیکی و مقاومتی تمامی ۱۰۲ سازند موجود در مسیر تونل دشت ذهاب

۴- ارزیابی و مقایسه کلی پتانسیل پدیده مچاله شوندگی توسط روش های تجربی، نیمه تجربی و تحلیلی – تئوریک

۵- فایل اکسل حاوی تمامی اطلاعات لازم جهت تحلیل عددی پدیده مچاله شوندگی و هم چنین نتـایج حاصل از ارزیابی پدیده مچاله شوندگی

مقدمه :

انسان قرن هاست که غارها و تونل ها را با مقاصد مختلف حفر می کند و استفاده از فضاهای زیرزمینی و تونل ها هر ساله افزایش می یابد. تونل های حمل نقل و راه آهن، تونل های انتقال آب، مغارهای برق آبی، مغارهای ذخیره سازی نفت و گاز، حفریات دفاعی زیرزمینی، تونل ها و مغار های معدن کاری، دالان های دپوی باطله و فضاهای ورزشی زیرزمینی نمونه هایی از انواع کاربرد فضاهای زیرزمینی می باشد. در گذشته، تونل ها با آتشباری در سنگ ایجاد می شدند که موجب انبساط و خردشدگی سنگ می شدند و زمانیکه این سنگ های منفجر شده با دمای بالا در معرض آب قرار می گرفتند عملیات خرد شدگی با شتاب بیشتری رخ می داد.[۱]

با توسعه ی علم و تکنولوژی، طراحی و روش های ساخت تونل پیشرفت زیادی کرده است. ایجاد بناهای زیرزمینی در سنگ های سخت و مناسب از دیدگاه مکانیک سنگ، ایمن می باشد ولی با توجه به نیاز های روزمره زیر ساختاری، حفریات زیرزمینی همواره در سنگ مناسب حفر نمی شوند و در نتیجه تونلسازی در آینده دامنه ی وسیع تری در سنگ های ضعیف تر نسبت به امروز خواهد داشت. با حفاری زیرزمینی در توده سنگ ها، مقاومت مکانیکی، توانایی انتقال بار و توانایی حفظ فشار آب در اثر ایجاد فضا از بین می رود و موجب تاثیرات عمده ی سه گانه ی زیر می شود:

۱. توده سنگ به طرف حفره و فضای ایجاد شده حرکت می کند، زیرا تکیه گاه حذف شده است و بلوک ها در اثر ناپیوستگی های موجود در توده سنگ می لغزند که خود یک مشکل موضعی است و باید با اجرای پیچ سنگ و شاتکریت حل شود.
۲. در اثر تحمل نشدن بار توسط فضاهای خالی ایجاد شده، توزیع مجدد تنش رخ می دهد. تنش های موجود در سنگ های اطراف مرزهای حفاری با تنش های موجود در سطوح حفریات زیرزمینی موازی می شود، زیرا در نواحی حفاری شده تنشی وجود ندارد. تمرکز تنش در اثر توزیع مجدد تنش ممکن است بسته به نوع سنگ موجب خردشدگی و ریزش و یا مچاله شوندگی شود که نیازمند نگهداری سیستماتیک می باشد.
۳. آب به داخل حفره زیرزمینی نفوذ می کند زیرا فشار در مرزهای حفاری به سطح فشار جو می رسد و چنانچه سطح آب از سطح سقف بیشتر باشد، به زهکشی و تزریق دوغاب نیاز است.

پایداری یکی از نگرانی های اصلی در ساخت سازه های زیرزمینی واقع در سنگ ضعیف است. علاوه بر آن، ناپیوستگی های توده سنگ و شرایط تنش نیز، کل طراحی را تحت شعاع خود قرار می دهد. شرایط

تنش بالا و آنیزوتروپیک موجب ایجاد پدیده انفجار سنگ، مچاله شوندگی و سایر مشکلات پایداری تنش های القایی را ایجاد می کند. [۲]

همواره از جمله مشکلات زمین‌شناسی که ممکن است در خلال عملیات تونلسازی با آن مواجه شویم پدیده‌هایی همچون هجوم آب و گاز به داخل تونل، تورم یا آماس[۱] تشکیلات، مچاله شوندگی و برخورد با زون‌های برشی و گسلی می‌باشد. بسته به روش اجرای تونل، هر یک از این پدیده‌ها می‌توانند موجب تحمیل هزینه‌های اضافی و یا تأخیر در روند اجرای پروژه شده و حتی عواقب جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشند.

یکی از پدیده‌های مهمی که ممکن است باعث بروز مشکلات در عملیات تونلسازی، نگهداری و بهره‌برداری از تونل به خصوص در سنگ های ضعیف شود، مچاله شوندگی[۲] سنگهای مسیر آن است. اصطلاح سنگ مچاله شونده از نخستین روزهای احداث تونل در کوههای آلپ متداول شد و تاکنون برای آن تعاریف مختلفی ارائه شده است. بطور کلی مچاله شوندگی به همگرایی وابسته به زمان[۳] تونل‌ها در خلال حفاری گفته می‌شود. این پدیده هنگامی روی می‌دهد که تنش‌های القائی بوجود آمده در اثر حفاری زیرزمینی بیشتر از مقاومت برشی توده‌سنگ های دربرگیرنده حفره باشد. به این ترتیب خزش سنگ به داخل حفره ایجاد شده آغاز می‌شود. این تغییرشکل‌ها ممکن است در خلال احداث تونل خاتمه یافته و یا برای مدت زمان طولانی ادامه یابد. این پدیده بیشتر در ارتباط با توده‌سنگ های با دگرشکلی و خصوصیات مقاومتی ضعیف روی می‌دهد. [۳]

مقدار همگرائی تونل، سرعت تغییرشکل و گسترش زون پلاستیک در اطراف تونل بستگی به شرایط متفاوتی دارد که هر یک به تنهایی تاثیرات بسیار زیادی بر روی نتایج می گذارد.

فشار بیش از حد سنگ ممکن است موجب شکست نگهداری تونل در اثر تغییر شکل های بزرگ وابسته به به رفتار مچاله شوندگی سنگ شود. زمین های مچاله شونده در مواجهه با تنش بیش از حد موجب شکست در پوشش بتنی تونل می شوند. در حفاری های با مقاطع بزرگ تر، تمرکز تنش بیشتری در جبهه کار تونل رخ می دهد و تونل در معرض تغییر شکل ها و ناپایداری های بزرگ تری قرار می گیرد. گسترش تمرکز سنگ و تغییر شکل‌های سنگ، وابسته به زمان هستند و نمایانگر این می باشند که خزش نقش مهمی دارد.

1- Swelling
2- Squeezing
3- Time Dependence

امروزه تونل های زیادی با دهانه ی بزرگتر از ۱۰ متر برای پروژه های مختلف در توده سنگ های با کیفیت خیلی ضعیف حفر می شوند. زمانی که نسبت مقاومت فشاری توده سنگ به تنش بر جا به کمتر از ۰/۲ کاهش می یابد مچاله شوندگی توده سنگ یک مشکل اصلی خواهد بود که موجب ناپایداری جبهه کار تونل می شود. [۴و۵]

همانطور که گفته شد مچاله شوندگی اساساً یک رفتار وابسته به زمان است. اصطلاح شرایط کوتاه مدت[۴] و بلند مدت[۵] که اغلب به کار برده می شوند، توسط مقادیر مختلف پارامترهای به کار برده شده در مدل های رئولوژیکی ساختاری، مشخص می شود. بدون شک در شرایط مچاله شوندگی بسیار زیاد، نمایش مناسبی از واکنش تونل، تنها با استفاده از مدل های رئولوژیکی ساختاری که رفتار وابسته به زمان تونل را محاسبه می کنند، بدست می آید و این ناشی از حقیقتی است که تشخیص اثر جبهه کار[۶] از اثر زمان[۷] در تغییر شکل های به وجود آمده، هم در هنگام توقف و هم در هنگام پیشروی جبهه کار، بسیار دشوار است.

ساخت تونل در شرایط مچاله شوندگی به دلیل دشواری پیش بینی های قابل اطمینان در مرحله ی طراحی، بسیار طاقت فرساست. هنگام حفاری در چنین شرایطی، پیش بینی کار ساده ای نیست. نخستین گام طراحی تونل در سنگ های ضعیف، تعیین وضعیت زمین از لحاظ پتانسیل مچاله شوندگی است. این مسأله علاوه بر تعیین روش حفاری، انتخاب سیستم نگهداری را نیز درکنترل دارد. از این رو برآورد میزان مچاله شوندگی، پیش بینی آثار آن و انتخاب روش حفاری و نگهداری مناسب از چالش های حرفه ای مهندسان تونل است. علیرغم تلاش های بسیاری که برای درک مکانیسم اصلی این پدیده از سوی محققین و دانشمندان علم ژئوتکنیک انجام شده، ماهیت آن هنوز بدرستی شناخته نشده است. تلاش‌های صورت گرفته در سال های اخیر عمدتاً بر اساس تجربیات بدست آمده از پروژه‌های اجرا شده در نقاط مختلف دنیا و با شرایط زمین‌شناسی گوناگون بوده است. این تلاش ها منجر به توسعه روش هایی شده که می‌توانند تا حدودی شرایط زمین را پیش‌بینی کرده و تمهیدات لازم برای جلوگیری و یا کاهش اثرات آن را در نظر بگیرند. بطورکلی این روش‌ها را می‌توان به سه دسته روش های تجربی، نیمه تجربی و تحلیلی - تئوریک تقسیم‌بندی نمود. روش های تجربی بر اساس دو پارامتر طبقه بندی توده سنگ Q و عمق تونل H استوار است. در روش های نیمه تجربی استعداد مچاله شوندگی با استفاده از تغییر شکل های قابل انتظار در اطراف تونل، در یک میدان تنش هیدرو استاتیک پیش بینی می شود.

---

[4] - Short Term
[5] - Long Term
[6] - Face Effect
[7] - Time Effect

روش های تحلیلی - تئوریک در بردارنده کلیه روش های مبتنی بر راه حل های بسته و روش های عددی است.[۱]

تونلسازی در سنگ های با پتانسیل مچاله شوندگی، اغلب سبب ایجاد تأخیرات طولانی در احداث پروژه و تحمیل هزینه های زیاد می گردد. از این رو انتخاب روش حفاری مناسب و نصب سیستم نگهداری متناسب و بموقع نقش عمده ای در کنترل این پدیده و کاهش آثار نامطلوب آن خواهد داشت. مچاله شوندگی به دقت تکنیک های حفاری و نگهداری و مراحل اتخاذ شده در تونل وابسته است. اگر نصب و نگهداری با تاخیر انجام شود توده سنگ به داخل تونل حرکت خواهد کرد و توزیع مجدد تنش اطراف ان رخ خواهد داد و بالعکس اگر به ایجاد تغییر شکل های سنگ با نصب سریع نگهداری اجازه داده نشود، مچاله شوندگی منجر به بارگذاری طولانی مدت و خستگی و در نهایت شکست نگهدارنده ها می شود. یافته های حاصل از تجربیات مهندسان تونل سازی و نتایج حاصل از آنالیزهای تحلیلی و عددی توسط نرم افزار های مختلف همگی بیان می دارند که یک حفاری مناسب و نگهداری بی عیب و کامل منجر به نگهداری و لاینینگ کامل با ظرفیت باربری کافی برای هر دوی مرحله ی کوتاه مدت و بلند مدت ایجاد شود.[۵]

در این پروژه، در ابتدا در فصل اول به معرفی پدیده مچاله شوندگی و عوامل موثر بر آن پرداخته خواهد شد و وپس به بررسی مدل های رفتاری وابسته به زمان که در زمین های مچاله شونده بکار برده می شوند پرداخته می شود. در فصل دوم، پروژه تونل انتقال آب دشت ذهاب که قرار است پدیده ی مچاله شوندگی در توده سنگ های مسیر آن به روش های مختلف تجربی، نیمه تجربی، تحلیلی و عددی بررسی شود، معرفی می شود. در فصل سوم روش های ارزیابی و تخمین پتانسیل مچاله شوندگی توده سنگ توسط روش های تجربی، نیمه تجربی و تحلیلی توضیح داده شده است و به بررسی رفتار مچاله شوندگی توده سنگ های مسیر تونل دشت ذهاب با این روش ها پرداخته و مناطق مستعد برای وقوع پدیده مچاله شونده را شناسایی می شود. در نهایت در فصل چهارم با توجه به یافته های بدست آمده از فصل سوم به تحلیل عددی مناطق مستعد و مدلسازی عددی این پدیده و به ارزیابی عملکرد سیستم نگهداری در مناطق بحرانی تونل پرداخته می شود.

فصل اول

پدیده مچاله شوندگی و مدل های رفتاری در

زمین های مچاله شونده

۱-۱- معرفی :

از جمله مشکلات زمین‌شناسی که ممکن است در خلال عملیات تونلسازی با آن مواجه شویم پدیده‌هایی همچون هجوم آب و گاز به داخل تونل، تورم یا آماس[۸] تشکیلات و برخورد با زون‌های برشی و گسلی می‌باشد. بسته به روش اجرای تونل، هر یک از این پدیده‌ها می‌توانند موجب تحمیل هزینه‌های اضافی و یا تأخیر در روند اجرای پروژه شده و حتی عواقب جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشند.

یکی دیگر از پدیده‌هائی که ممکن است باعث بروز مشکلات اساسی در عملیات تونلسازی، نگهداری و بهره‌برداری از تونل شود، مچاله شوندگی[۹] سنگ های مسیر آن است. مچاله شوندگی به طور کلی به تغییر شکل ها و همگرایی های بزرگ وابسته به زمان[۱۰] تونل‌ها در خلال و بعد از حفاری گفته می‌شود. این پدیده هنگامی روی می‌دهد که تنش‌های القائی بوجود آمده در اثر حفاری زیرزمینی بیشتر از مقاومت برشی توده‌سنگهای دربرگیرنده حفره باشد. به این ترتیب خزش سنگ بداخل حفره ایجاد شده آغاز می‌شود. [۱]

اصطلاح مچاله شوندگی سنگ از نخستین روزهای احداث تونل در کوه های آلپ متداول شد و تاکنون برای آن تعاریف مختلفی ارائه شده است. مقدار همگرائی تونل، سرعت تغییرشکل و گسترش ناحیه تسلیم شده در اطراف تونل بستگی به شرایط متفاوتی دارد که به تنهایی شرایط سنگ را تحت تاثیر خود قرار می دهند که به آنها به تفصیل اشاره خواهد شد.[۲] تا به حال تعاریف زیاد و مختلفی از پدیده مچاله شوندگی توسط مهندسین و محققین ژئو تکنیک و مکانیک سنگ ارائه شده است که در اینجا به مهمترین آنها، اشاره می شود.[۳]

1- Swelling
2- Squeezing
3- Time Dependence