وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل پارامتریک اندرکنش سیستم حائل– توده سنگ با در نظر گرفتن اثر سختی نسبی بین زمین و پوشش

استاد راهنما :

آقای دکتر احمد فهیمی فر

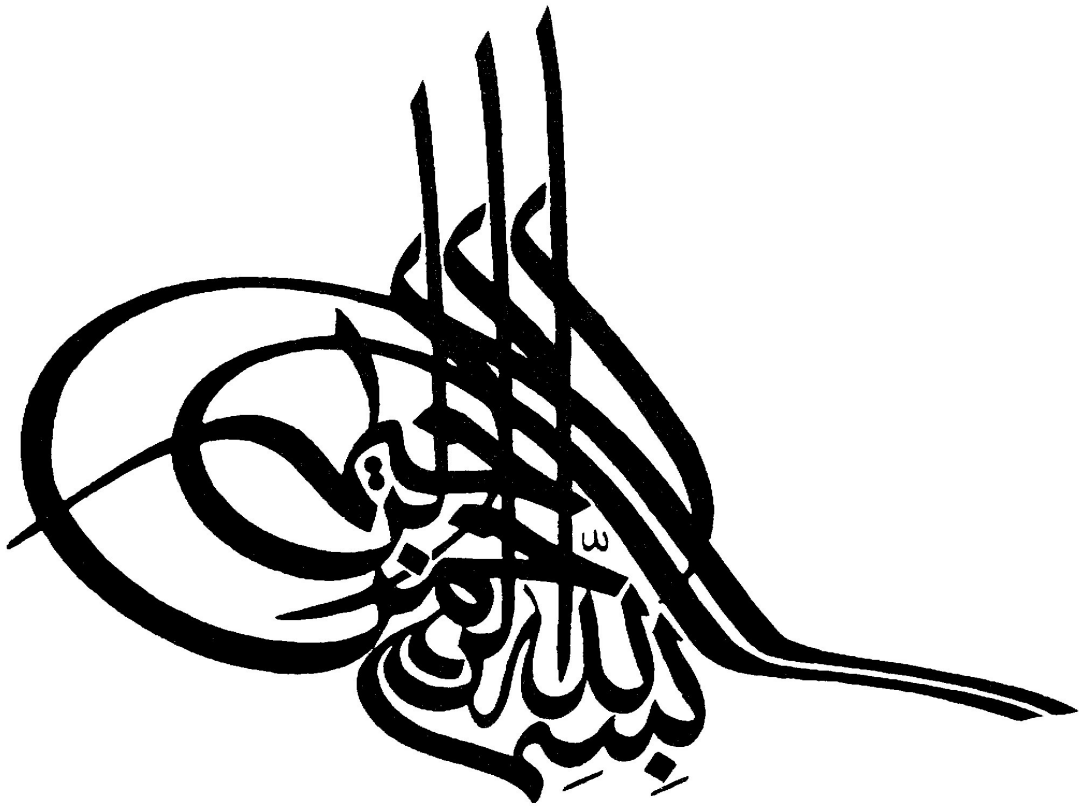
استاد مشاور :

آقای دکتر محمد قاسم سحاب

دانشجو :

محمد عباسی جشوقانی

۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل پارامتریک اندرکنش سیستم حائل– توده سنگ با در نظر گرفتن اثر سختی نسبی بین زمین و پوشش

استاد راهنما :

آقای دکتر احمد فهیمی فر

استاد مشاور :

آقای دکتر محمد قاسم سحاب

دانشجو :

محمد عباسی جشوقانی

۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در تمام مراحل زندگی مشوّق و پشتیبانم بوده اند.

تقدیر و تشکر

با سپاس فراوان از زحمات استاد ارجمند **جناب آقای دکتر فهیمی فر** که با راهنمایی های ارزنده و راهگشا بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند. شاگردی ایشان افتخاری بود که تا پایان عمر فراموش نمی کنم. امیدوارم بتوانم اندکی از زحماتشان را جبران نمایم.

همچنین از کمک و مساعدت جناب آقای دکتر سحاب، تشکر و قدردانی می نمایم.

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان:

تحلیل پارامتریک اندرکنش توده سنگ- سیستم حائل با در نظر گرفتن اثر سختی نسبی بین زمین و پوشش

ارائه دهنده: محمد عباسی جشوقانی شماره دانشجویی: ۸۷۳۱۴۱۰۰۷ گرایش: مکانیک خاک و پی

استاد راهنما: دکتر احمد فهیمی فر استاد مشاور: دکتر محمد قاسم سحاب تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۰۴/۰۵

چکیده

مهمترین بخش از طرح یک تونل، طراحی سیستم حائل مناسب در برابر بارهای وارده بر آن است. ارزیابی میزان بار وارده بر حائل، نیاز به درک مناسبی از اندرکنش حائل- توده سنگ دارد. پارامترهای متعددی بر اندرکنش حائل- توده سنگ دخیل اند که از جمله آنها پارامتر سختی نسبی حائل-زمین است. روش های متعددی بر مبنای اندرکنش حائل-توده سنگ شکل گرفته اند که می توان به روش همگرایی- محصوریت و روش سختی نسبی اشاره نمود. در این پایان نامه با بکارگیری روش عددی المان محدود به کمک نرم افزار $phase^2$ 7 و با پیروی از منطق روش همگرایی- محصوریت، تونل انتقال آب قطعه ا-ب نوسود را بعنوان مطالعه موردی انتخاب و طرح حائل نموده و سپس با نگرشی بر روش سختی نسبی تحلیلی پارامتریک بر روی حائل طراحی شده انجام داده ایم. تاثیر سختی نسبی، در کنار تاثیر ضریب فشار سکون، شرایط تماس بین حائل و توده سنگ مورد ارزیابی قرار گرفته اند. تحلیل پارامتریک نشان داد که از پارامتر سختی نسبی، می توان به عنوان مهمترین عامل در اندرکنش حائل- توده سنگ نام برد. افزایش در سختی حائل با افزایش ضخامت و یا افزایش در مدول الاستیسیته مصالح تشکیل دهنده حائل رخ می دهد. بر اساس نتایج حاصله، با افزایش سختی حائل، مقادیر نیروی محوری و لنگر خمشی افزایش و مقادیر جابجایی توده سنگ اطراف تونل کاهش یافته اند. از طرفی افزایش در بارهای وارد بر حائل، ظرفیت باربری آنرا با چالش مواجه می سازد. از اینرو، طرح حائل انعطاف پذیر تر، یک مزیت محسوب می شود؛ البته توجه به این نکته ضروری است که میزان صلبیت یا انعطاف پذیری حائل، علاوه بر سختی نسبی حائل نسبت به زمین به قطر تونل و شرایط تنش درجا وابسته است

در انتها با جمع بندی نتایج تحلیل پارامتریک و روش های تحلیلی موجود، روشی برای طرح حائل با اصلاح روش سختی نسبی به کمک روش همگرایی- محصوریت ارائه و کاربردپذیری آن ارزیابی و نتایج آن با روش های تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

اندرکنش حائل- توده سنگ، روش سختی نسبی، تحلیل پارامتریک، طراحی حائل

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- روش های تعیین بار وارد بر حائل تونل-طرح حائل ۲

۱-۲-۱- روش های تجربی ۲

۱-۲-۲- روش های تحلیلی ۲

۱-۲-۲- ۱- روش همگرایی- محصوریت ۲

۱-۲-۲-۲- روش سختی نسبی ۲

۱-۲-۳- روش های عددی ۲

۱-۳- پارامترهای تاثیرگذار بر میزان بار وارده بر حائل ۳

۱-۳-۱-زمین شناسی ۳

۱-۳-۲-سختی حائل نسبت به زمین اطراف تونل ۳

۱-۳-۳-قطر و عمق تونل ۳

۱-۳-۴-میدان تنش درجا ۳

۱-۳-۵-روش ساخت تونل ۴

۱-۳-۶-گذشت زمان ۴

۱-۳-۷- چگونگی تماس حائل با زمین اطراف تونل ۴

۱-۳-۸- سایر موارد ۴

۱-۴- اهداف و روش تحقیق ۴

۱-۵- فصول پایان نامه ۵

فصل دوم: اندرکنش سیستم حائل- توده سنگ

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- اندرکنش سنگ- سیستم حائل به روش تجربی ۷

۲-۳- اندرکنش سنگ- سیستم حائل به روش همگرایی- محصوریت ۸

۲-۳-۱-پروفیل تغییرشکل طولی در تونل ۱۱

۲-۳-۲-عکس العمل توده سنگ- منحنی مشخصه زمین ۱۳

۲-۳-۳-معیار خرابی هوک- براون(ویرایش ۲۰۰۲) [۱۰] ۱۴
۲-۳-۴- تعیین مدول تغییرشکل پذیری توده سنگ ۱۵
۲-۳-۵-روش تحلیلی Carranza-Torres and Fairhurst(1999) ۱۵
۲-۳-۶- روش تحلیلی Carranza-Torres (2004) ۱۸
۲-۳-۷- عکس العمل سیستم حائل ۱۸
۲-۳-۸-عکس العمل حائل بتنی و یا شاتکریتی ۱۹
۲-۴-اندرکنش زمین- سیستم حائل به روش سختی نسبی ۲۰
۲-۴-۱-روش سختی نسبی اولیه ۲۰
۲-۴-۲-روش سختی نسبی در شرایط بارگذاری حفاری ۲۵
۱- جابجایی اولیه رخ داده در توده سنگ در اثر میدان تنش اولیه ۲۶
۲- تنش کل و میزان افزایش در جابجایی بدلیل حفاری در فضای زیرزمینی ۲۷
الف- مقادیر تنش و جابجایی در اطراف تونل در حالت عدم انتقال تنش برشی(Full Slip) ۲۸
ب- مقادیر تنش و جابجایی در اطراف تونل در حالت عدم جابجایی برشی نسبی(No Slip) ۲۸
۳- تعیین نیرو های داخلی حائل ناشی از اندرکنش زمین- حائل ۲۹
الف-نیروی محوری (T) و لنگر خمشی(M) در حالت لغزش کامل(Full Slip) ۲۹
ب-نیروی محوری(T) و لنگر خمشی(M) در حالت بدون لغزش(No Slip) ۲۹
۲-۵-اندرکنش زمین- سیستم حائل به روش عددی ۳۰

فصل سوم: تحلیل پایداری و طراحی حائل تونل انتقال آب قطعه ۱- ب نوسود

۳-۱-مقدمه ۳۱
۳-۲-ویژگی های زمین شناسی ۳۲
۳-۲-۱-زمین شناسی مهندسی مسیر تونل ۳۲
۳-۲-۲-ارزیابی ژئومکانیکی توده سنگ ۳۴
۳-۲-۳-شرایط آب زیرزمینی ۳۴
۳-۲-۴-خاصیت تورم زایی و خاصیت آماس گرایی ۳۵
۳-۲-۵-تنش درجا ۳۵
۳-۳- طبقه بندی مهندسی ۳۶
۳-۴- پارامترهای معیار هوک- براون ۳۷

۳-۵-تحلیل پایداری و طراحی حائل ۳۸
۳-۵-۱-روش تجربی طرح حائل ۳۹
۳-۵-۲- روش تحلیلی طرح حائل ۴۰
۳-۵-۲-۱- منحنی مشخصه زمین ۴۰
۳-۵-۲-۲- تحلیل پایداری ۴۰
۳-۵-۲-۳- تغییر شکل قبل از نصب حائل- پروفیل تغییرشکل طولی ۴۲
۳-۵-۲-۴- منحنی عکس العمل حائل ۴۲
۳-۵-۳- روش عددی طرح حائل ۴۳
۳-۵-۲-۳- تغییر شکل قبل از نصب حائل- پروفیل تغییرشکل طولی ۴۲
۳-۵-۲-۴- منحنی عکس العمل حائل ۴۲
۳-۵-۳- روش عددی طرح حائل ۴۳
۳-۵-۳-۱- مدلسازی عددی تونل قطعه ۱-ب نوسود ۴۳
۳-۵-۳-۲- منحنی مشخصه و اثرات سینه کار ۴۴
۳-۵-۳-۳- طراحی حائل ۴۶
۳-۶- مقایسه روش تحلیلی و عددی ۴۸
۳-۷- آنالیز حساسیت- تاثیر ضریب فشار سکون K_0 ..... ۴۹
۳-۷-۱- تاثیر نسبت تنش افقی به قائم بر تغییرشکل ها و تنش های تونل ۴۹
۳-۷-۲- تاثیر نسبت تنش افقی به قائم بر حائل ۴۹

فصل چهارم: تحلیل پارامتریک با در نظر گیری تاثیر سختی نسبی بین زمین و پوشش

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- تعیین و تعریف پارامترهای اصلی مطالعه پارامتریک ۵۳
۴-۳- تحلیل پارامتریک ۵۴
۴-۳-۱- فرضیات تحلیل پارامتریک ۵۴
۴-۳-۲- مقایسه رفتار توده سنگ در حالت الاستو پلاستیک و الاستیک در شرایط تنش هیدرواستاتیک و غیر هیدرواستاتیک ۵۴
۴-۳-۳- تاثیر ضریب فشار سکون بر اندرکنش سیستم حائل-توده سنگ ۶۱
۴-۳-۴- تاثیر سختی نسبی بر اندرکنش سیستم حائل-توده سنگ ۶۴

۴-۳-۴-۱- تاثیر مدول الاستیسیته سیستم حائل..... ۶۴
۴-۳-۴-۲- تاثیر ضخامت سیستم حائل..... ۶۶
۴-۳-۵- تاثیر شرایط تماسی بین حائل و توده سنگ بر اندرکنش سیستم حائل-توده سنگ..... ۶۸
۴-۴-تحلیل نتایج..... ۷۱
۴-۴-۱- تاثیر تغییرشکل قبل از نصب حائل..... ۷۱
۴-۴-۲- تاثیر سختی نسبی..... ۷۱
۴-۴-۳- تاثیر ضریب فشار سکون..... ۷۱
۴-۴-۴-تاثیر شرایط تماسی بین حائل و توده سنگ..... ۷۲

فصل پنجم: روشی پیشنهادی برای اصلاح روش سختی نسبی به کمک روش همگرایی- محصوریت

۵-۱- مقدمه..... ۷۴
۵-۲- اصلاح منحنی عکس العمل حائل..... ۷۴
۵-۳- اصلاح مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ..... ۷۸
۵-۴- ضریب ایمنی سیستم حائل..... ۷۹
۵-۵- شیوه محاسباتی روش پیشنهادی..... ۸۰
۵-۶- صحت سنجی روش پیشنهادی..... ۸۲
۵-۷- استفاده از روش پیشنهادی در شرایط $K_0 \neq 1$..... ۸۴

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۵
پیشنهادات..... ۸۸
منابع و مراجع..... ۸۹

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

تقویت، تثبیت و نگهداری سازه های سنگی بویژه تونل ها از جمله موضوعات پیچیده ای بوده که مهندسین با آن روبرو بوده اند. در سال های اخیر، با توسعه روش ها و تجهیزات اجرایی جهت حفاری و پایدارسازی سازه های مذکور، روش های تحلیل و طراحی سیستم های حائل نیز پیشرفت های چشمگیری داشته اند.

بطورکلی هدف اساسی از طرح سیستم نگهداری در سازه های زیر زمینی، کمک به توده سنگ است تا خود را حفظ و نگهداری کند[۱]. بعبارتی سیستم حائل، مقاومت ذاتی توده سنگ را تحریک کرده و باعث می شود که توده سنگ شکسته شدهِ اطراف فضای زیرزمینی خود نگهدار شود. ارزیابی حائل مورد نیاز جهت پایدارسازی تونل، بخصوص در مجاورت سینه کار، مسئله ای تابع زمان است؛ رفتار تابع زمان توده سنگ اطراف تونل بهمراه توزیع مجدد تنش در فضای سه بعدی مجاور حفاری و همچنین طبیعت نامعلوم زمین، که قبل از حفاری نامعلوم است، بر پیچیدگی مساله می افزاید.

مهمترین قسمت طرح حائل، تعیین بارهای وارده بر حائل است. بطورکلی روش های تعیین بار وارد بر حائل را می توان در سه گروه، روش های تجربی، روش های تحلیلی و روش های عددی جای داد. روش های تجربی بر پایه مشاهدات محلی و مقایسه با تجربیات گذشته استوارند. روش های تحلیلی نیز عمدتاً بر اساس روابط مکانیک محیط های پیوسته و با فرضیاتی جهت ساده سازی روابط بدست می آیند. روش های عددی در حالت دو بعدی و یا سه بعدی با رشد سرعت محاسبات کامپیوتری و به دلیل مزایایی که در شبیه سازی هندسه های پیچیده، روش حفاری و مدل های رفتاری پیچیده دارند، استفاده ای روز افزون دارند؛ با این وجود به دقت پارامترهای ورودی بسیار حساس و زمانبر اند.

۱-۲- روش های تعیین بار وارد بر حائل تونل-طرح حائل

۱-۲-۱- روش های تجربی

این روشها بر پایه مشاهدات محلی، تعیین پارامترهای مورد نیاز در محل احداث پروژه، مقایسه آنها با تجربیات گذشته و در پایان نتیجه گیری و تعیین نیرو استوارند. این گونه روش ها با وجود سرعت بالا، عموما دست بالا بوده و حاشیه امنیت بالایی در طراحی ایجاد می نمایند. روش تجربی ترزاقی و روش تئوری قوس زدگی از این دسته اند.

۱-۲-۲- روش های تحلیلی

در این روش ها، زمین مانند یک صفحه و حائل به مانند حلقه ای یکپارچه فرض و شرایط کرنش مسطح می شود. این روش ها را می توان به دو دسته تقسیم بندی نمود.

۱-۲-۲- ۱- روش همگرایی- محصوریت

تعیین فشار انتقال یافته به حائل از زمین، نیازمند آنالیز تنش-تغییر مکان تونل با در نظرگرفتن حرکت رو به جلوی تونل، مقطع عمود بر محور تونل و حائل نصب شده در تونل است. بنابراین می توان از پروفیل تغییرشکل طولی، منحنی پاسخ زمین و منحنی عکس العمل حائل به عنوان سه مولفه این روش نام برد[۲].

منحنی مشخصه زمین در حقیقت حاصلِ آنالیز الاستو پلاستیک تونل دایره ای است که عوامل مختلف از جمله فشار حائل، خصوصیات سنگ بکر، خصوصیات توده سنگ شکسته از عوامل تاثیرگذار بر آنند.

۱-۲-۲-۲- روش سختی نسبی

در این روش با فرض اینکه توده سنگی یک جسم الاستیک، همگن و ایزوتروپ است، در شرایط تنش غیر یکنواخت، بر مبنای تئوری های الاستیسیته گسترش یافته اند. در این روش پارامتر سختی نسبی یکی از عوامل اصلی در تعیین بارهای وارد بر حائل اند[۳].

۱-۲-۳- روش های عددی

مهمترین مزیت این روش ها تعیین همزمان بار وارده بر حائل و تغییرشکل رخ داده در توده سنگ است. علاوه بر این، چنین روشهایی نسبت به روش های حل بسته، از مزیت های دیگری از جمله تحلیل هر نوع شکل حفاری، مدلسازی ناپیوستگی های زمین شناسی، رفتار غیر خطی مصالح است. روش های عددی جهت تعیین پارامترهای حساس بسیار کارا هستند.

۱-۳- پارامترهای تاثیرگذار بر میزان بار وارده بر حائل

در جهت طرح حائل هرچه نزدیکتر به واقعیت، شناخت پارامترهای تاثیر گذار بر بارهای وارد بر حائل، مورد نیاز است. این پارامترها در ادامه آورده شده اند.

۱-۳-۱-زمین شناسی

هیچ دو تونلی در شرایط زمین شناسی یکسانی قرار نخواهند گرفت. حتی در یک تونل خاص نیز، شرایط زمین درمقطع طولی و عرضی متغیر است. وضعیت چین خوردگی ها و گسل ها بر بار های وارد بر حائل موثر اند. با افزایش مقاومت زمین در اطراف تونل، بار اعمال شده بر حائل کاهش می یابد.

محققین مختلف، با توجه به اهمیت این پارامتر، شرایط زمین را به گروه های مختلفی تقسیم کرده اند که از میان آنها می توان به روش طبقه بندی ترزاقی اشاره نمود. وی شرایط زمین را به گرو ه های سنگ بکر، سنگ لایه ای، سنگ نسبتا درز دار، سنگ بلوکی شده و رگه دار، سنگ خرد شده، سنگ لهیده و سنگ تورمی تقسیم نمود.

۱-۳-۲-سختی حائل نسبت به زمین اطراف تونل

میزان بار وارده ارتباط مستقیم با سختی حائل نسبت به زمین اطراف دارد[۴]. با سخت تر شدن حائل نسبت به زمین، میزان بار نیز افزایش خواهد یافت.

۱-۳-۳-قطر و عمق تونل

با افزایش قطر تونل، مناطق سست شده و توده سنگ خرد شده گسترش یافته و بنابراین بارهای وارده بر حائل افزایش می یابند. هرچه عمق تونل بیشتر باشد، تنش های بیشتری در زمین ایجاد و لذا افزایش بارهای وارد بر حائل را بهمراه دارد.

۱-۳-٤-میدان تنش درجا

در شرایطی که ضریب فشار سکون مخالف یک باشد، وضعیت تنش ها ممکن است افزایش بار های وارد بر حائل را در پی داشته باشد. همچنین مقادیر تنش درجا ممکن است بسیار بیشتر از تنش ناشی از وزن توده سنگ در عمق تونل باشد. خصوصا در توده های سنگی بسیار ضعیف تحت تنش های درجای بالا، بدلیل وقوع تغییرشکل های زیاد، افزایش بار وارد بر حائل را خواهیم داشت.

۱-۳-۵-روش ساخت تونل

اینکه روش حفاری به چه میزان در رهایی تنش های درجا و بهم خوردگی توده سنگ ها موثر اند از موضوعات مهم اند. برای نمونه میزان بارهای وارد بر حائل تونل حفاری شده به روش آتشکاری در مقایسه با روش های مکانیزه تونلزنی، بیشتر خواهد بود.

۱-۳-٦-گذشت زمان

با گذشت زمان، به دلایلی از جمله رفتار تابع زمان، وجود مصالح تورمی و خزش در توده سنگ اطراف تونل، فرسودگی حائل، احتمال افزایش بارهای وارد بر حائل می رود.

۱-۳-۷- چگونگی تماس حائل با زمین اطراف تونل

قطر حفاری تونل عموما به دلیل ملاحظات اجرایی بزرگتر از قطر تونل طرح است. بنابراین در زمان نصب حائل، فضای خالی بین توده سنگ با حائل ممکن است با افزایش بار های وارد بر حائل همراه باشد، چنانچه توده سنگ تغییرشکل زیادی داشته باشد.

۱-۳-۸- سایر موارد

شرایط آب زیر زمینی، حفاری های در مجاور تونل، افزایش فشار داخلی بر تونل های انتقال، ممکن است موجب افزایش بارهای وارد بر حائل گردند.

۱-٤- اهداف و روش تحقیق

تعیین میزان بار وارده بر حائل در طرح تونلها، نیاز به درک مناسبی از اندرکنش حائل- سنگ دارد. پارامترهای متعددی در تعیین بارهای حائل دخیل اند که از جمله آنها پارامتر سختی نسبی حائل-زمین است.این پارامتر به نوعی تعبیری از رفتار حائل و رفتار توده سنگ است چرا که سختی توده سنگ یا همان مدول الاستیسیته توده سنگ به خواص مکانیکی و فیزیکی آن و سختی سیستم حائل نیز به نوع حائل،شکل هندسی،ضخامت و... بستگی دارد. روش های تحلیلی متعددی بر مبنای پارامتر سختی نسبی شکل گرفته اند که از آن جمله روش سختی نسبی ارائه شده توسط Einstein and Schuwartz(1979) است که به نوعی کاملترین آنهاست. در سایر روشها مانند روش همگرایی- همجواری، سختی نسبی به آن مفهومی که در روش سختی نسبی مطرح است، مدنظر نبوده و بارهای داخلی وارد بر حائل را نشان نمی دهد. از مزایای مهم این دو روش در نظرگیری اندرکنش حائل- سنگ است که آنها را از سایر روشها متمایز ساخته است. از طرفی گستردگی پارامترهای موثر، این روشهای تحلیلی را به سبب فرضیات ساده کننده ای که دارند مسئله ساز و در روشهای عددی، در نظرگیری محدوده وسیعی از اطلاعات اولیه برای این

پارامترها از قبیل خصوصیات مصالح، هندسه و شرایط تنش درجا را غیر ممکن می سازد؛ بنابراین در طرح سیستم حائل نمی توان به یک روش و مقادیر ثابت برای خصوصیات زمین و حائل اکتفا نمود. اهداف زیر در این پایان نامه دنبال میشود:

- بهبود درک اندرکنش بین پوشش – سنگ و شناسایی پارامتر های مهم در آن و بارهای وارد بر سیستم حائل
- بررسی روشهای سختی نسبی و همگرایی–همجواری و مطالعه نقاط ضعف و قوت آنها
- طراحی حائل و تحلیل تونل انتقال آب قطعه ۱–ب نوسود با روش های مختلف
- تاثیر پارامتر سختی نسبی، ضریب فشار سکون و شرایط تماس بین حائل– توده سنگ بروی نیرو ها و لنگر های ایجاد شده روی سیستم حائل
- توسعه روابط سختی نسبی Einstein and Schuwartz(1979) با در نظرگیری ناحیه پلاستیک اطراف تونل و رهایی تنش قبل از نصب حائل

۱–۵– فصول پایان نامه

پس از فصل اول که شامل مقدمه و کلیات است، فصول پایان نامه به شرح زیر است:

- **فصل دوم**

در این فصل روش های مختلف طراحی و تحلیل تونل ها و خصوصا روش های تحلیلی که نقش بسزایی در شناخت مکانیزم رفتاری زمین و حائل دارند ارائه می شود. دو روش معروف سختی نسبی و همگرایی–محصوریت به منظور تحلیل اندرکنش توده سنگ– حائل به تفضیل ارائه و پارامترهای حساس در هر روش بررسی می گردد. این فصل زمینه لازم برای انجام تحقیقات بعدی را فراهم می کند.

- **فصل سوم**

بر اساس روش های ارائه شده در فصل دوم، به عنوان مطالعه موردی، تونل قطعه ۱–ب نوسود را با مطالعه شرایط زمین شناسی، خصوصیات توده سنگ و روش حفاری، تحلیل و سیستم حائل آن را طراحی می نماییم.

- **فصل چهارم**

در این فصل مطالعه پارامتریک شامل تاخیر در نصب حائل، سختی نسبی، ضریب فشار سکون و شرایط تماس حائل-توده سنگ با هدف اثرات این پارامترها بر بارهای وارده بر حائل(نیروی محوری و لنگرخمشی) ناشی از تنش درجای زمین، صورت گرفته است.

- **فصل پنجم**

در این فصل، بر مبنای روش های همگرایی-محصوریت و روش سختی نسبی و نتایج حاصل از تحلیل پارامتریک صورت گرفته در فصل چهارم، روشی برای تعیین نیروهای محوری و تغییر شکل حائل پیشنهاد شده است. این روش در واقع اصلاح روش سختی نسبی است. کاربرد پذیری روش پیشنهادی نیز با روش عددی مقایسه گردیده است.

- **فصل ششم**

در این فصل مطالب ارائه شده در فصول قبلی جمع بندی و نتیجه گیری شده است.

فصل دوم

اندرکنش سیستم حائل- توده سنگ

۲-۱- مقدمه

بررسی رفتار حائل در فضای زیرزمینی، نیازمند حل مساله اندرکنش زمین- حائل است. حائل تونل در شرایط تنش درجا تغییر شکل داده و این تغییر شکل، باعث تغییر در رفتار زمین اطراف تونل می گردد. همان گونه که در فصل قبل نیز ذکر گردید روش های متعددی برای در نظرگیری هرچه بیشتر رفتار متقابل زمین و سیستم حائل، توسعه یافته اند که در ادامه این روش ها تشریح گردیده اند.

۲-۲- اندرکنش سنگ- سیستم حائل به روش تجربی

استفاده از تجربیات گذشته بعنوان اساس برای تخمین حائل مورد نیاز سازه های زیر زمینی است. برمبنای مطالعات موردی فراوان، محققان متعددی رهنمودهایی درباره حائل مناسب تونل در شرایط توده سنگ متفاوت، مطابق با رفتار متقابل سنگ و حائل توسعه دادند. این روش ها تا قبل از پیدایش سیستم های طبقه بندی سنگ ها، بدون انسجام و ناهماهنگ رشد می یافت، لیکن سیستم های طبقه بندی چارچوبی منطقی برای مرتبط ساختن تجربیات عملی ارائه نمودند[۱]. این روش ها عمدتا بر اساس طبقه بندی مهندسی توده سنگ ها، سیستم های حفاری و نگهداری سنتی شکل گرفته اند.

معروفترین سیستم های طبقه بندی RMR (نمره توده سنگ) پیشنهاد شده توسط بینیاویسکی (1976,1989) و ضریب Q (شاخص کیفیت تونلسازی) پیشنهاد شده توسط بارتون و همکاران (1974) است.

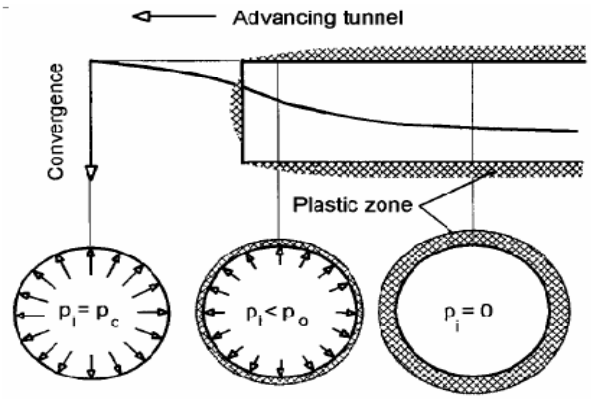
طبقه بندی RMR برمبنای ویرایش سال۱۹۷۹ شامل پنج پارامتر اصلی می شود: مقاومت تک محوری سنگ بکر، شاخص کیفی سنگ، فاصله داری ناپیوستگی ها، شرایط آ ب زیرزمینی و اثر جهت یابی ناپیوستگی ها بصورت جدا گانه منظور می شود[۱]. بسته به مقدارفرض شده برای RMR، روش حفاری و حائل مناسب باید انتخاب گردد.

سیستم Q بر مبنای ۶ پارامتر شامل: عدد مجموعه درز، عدد زبری درز، عدد دگرگونی درز و ضریب کاهش آب درز و ضرایب کیفیت سنگ و کاهش تنش است. برخلاف سیستم RMR تاثیر تنش درجا بخوبی از طریق ضریب کاهش تنش در نظر گرفته شده است. ضریب Q در محدوده گسترده ای از مقادیر(بین۰.۰۱ و۱۰۰۰) تغییر می کند. به منظور کاربرد طبقه بندی Q برای نیازمندیهای حائل، بارتون پارامتر دیگری به نام D_e (بعد معادل)تعریف نمود. D_e بصورت نسبت بین دهانه حفاری، قطر یا ارتفاع تونل به کمیت ESR (ضریب اهمیت حائل)که به هدف ساخت سازه زیرزمینی و درجه ایمنی متناظر با آن اشاره میکند، تعریف می شود.

بر اساس دو سیستم توصیف شده، جداول و گراف هایی برای تعیین و انتخاب حائل ارائه گردیده است[۱]. در نهایت تعیین دقیق پارامترها کمک زیادی به شناخت از توده سنگ و تصمیم گیری در انتخاب حائل می کند.

۲-۳- اندرکنش سنگ- سیستم حائل به روش همگرایی- محصوریت

روش همگرایی- محصوریت روشی است که به ارزیابی میزان نیروی اعمال شده بر حائل در نزدیکی جبهه کار می پردازد. نقطه شروع برای ورود به بحث اندرکنش، وقوع تغییر شکل هایی است که در مجاورت سینه کار پیشروی تونل اتفاق می افتد. هنگامیکه حائل در نزدیکی سینه کار نصب می شود، به دلیل محصوریت ایجاد شده توسط جبهه کار، تمامی فشار اولیه موجود در فضای حفاری به آن وارد نمی شود؛ این محصوریت را میتوان بصورت فشار حائل ظاهری P_i معرفی نمود که پایداری ای جهت زمان لازم برای اینکه حائل نصب شود را می دهد. با فاصله گرفتن حائل از جبهه کار، تغییر شکل دیواره تونل افزایش و لذا تاثیر محصوریت کاهش یافته و میزان نیروی اعمال شده بر حائل(در صورت نصب) افزایش می یابد. میزان فشار حائل ظاهری P_i از فشار درجای توده سنگ شروع (فاصله ای معین قبل از رسیدن سینه کار) و به طور تدریجی به صفر(فاصله معینی پشت سر سینه کار) میرسد(شکل۲-۱).

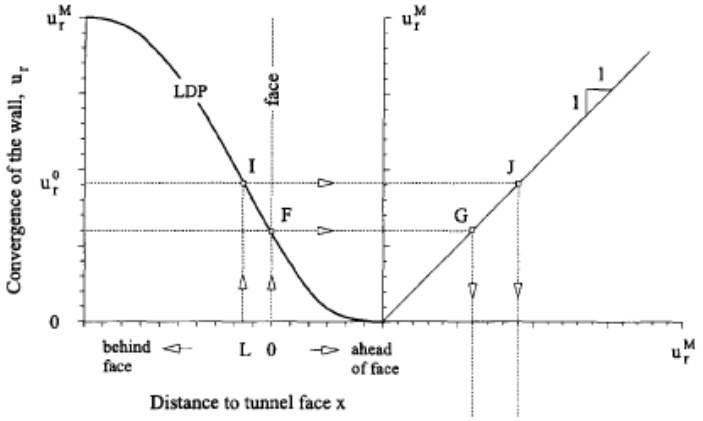


شکل۲- ۱- نمایش شماتیک فشار حائل در فواصل مختلف از سینه کار تونل [۵]

همانطور که در شکل۲-۱مشاهده میشود تغییر شکلها در فاصله ای حدود۲.۵ برابر قطر تونل در جلوی جبهه کار آغاز شده و به حدود یک سوم مقدار نهایی در سینه کار رسیده و مقدار حداکثر آن به حدود ۴.۵ برابر قطر تونل در پشت سینه کار تونل میرسد.این تغییر شکلها وقوع یک منطقه شکست در اطراف توده سنگ فضای زیرزمینی را پدید می آورد که تحت عنوان ناحیه شکسته یا پلاستیک نامیده میشود؛ وقوع این ناحیه تاثیر بسزایی در این اندرکنش و نتیجتا بار های وارد بر حائل خواهد گذاشت. لازم بذکر است وقوع چنین ناحیه ای به معنای فرو ریزش تونل نخواهد بود و مواد شکسته شده، هنوز می تواند مقاومت قابل ملاحظه ای داشته باشد[۵].

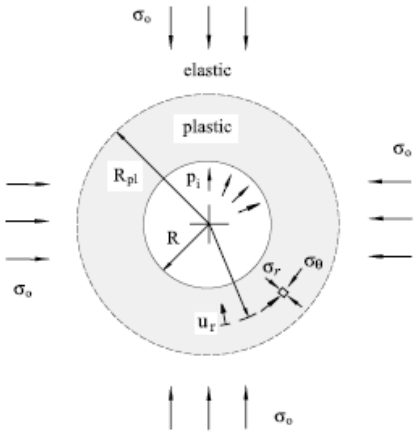
مجموعه مفاهیم فوق را میتوان بوسیله دو منحنی بنام های" منحنی پاسخ زمین"که نشاندهنده رفتار تنش- تغییر شکل توده سنگ در اثر حفاری فضای زیرزمینی و "منحنی عکس العمل حائل"که نمایش دهنده رفتار جابجایی-بار اعمال شده بر حائل بعد از نصب، میتوان نشان داد. در این میان تغییر شکل هایی که قبل از نصب حائل اتفاق افتاده، نقش بسزایی در بازتوزیع تنش ها یا بعبارتی میزان رهایی تنش که بر میزان بار وارده بر حائل تاثیرگذار است، نیز از اهمیت زیادی برخوردار است؛ این موضوع از طریق منحنی "پروفیل تغییر شکل طولی در تونل"صورت میگیرد[۲].

پروفیل تغییرشکل طولی(Longitudinal Deformation Profile: LDP)، نمایش تغییرشکل شعاعی در طول مقطع حفاری شده است. دیاگرام سمت چپ در شکل۲-۲ نمایش دهنده این پروفیل است. محور افقی نماینده فاصله از جبهه کار و محور قائم، نماینده تغییرشکل شعاعی u_r است. این منحنی نمایش دهنده این موضوع است که در فواصل خاصی از جبهه کار، تاثیر محصوریت ناشی از جبهه کار ناچیز است به گونه ای که در این فاصله، تغییرشکل شعاعی در دیواره ها به مقدار بیشینه جابجایی u_r^{max} خواهد رسید. بطریق مشابه، در فواصل خاصی از جبهه کار، پیشروی تونل بر توده سنگ تاثیر نداشته و جابجایی شعاعی برابر صفر است.



شکل۲- ۲- نمایش شماتیک پروفیل تغییرشکل طولی [۲]

با درنظر گرفتن شکل۲-۳، که در آن مقطع حفاری بدون حائل نمایش داده شده، ارتباط میان فشار داخلی کاهش یابنده P_i و جابجایی فزاینده u_r، معرف منحنی پاسخ زمین(Ground Reaction Curve: GRC) خواهد بود. این ارتباط به خصوصیات مکانیکی توده سنگ وابسته بوده و از حل الاستو- پلاستیک تغییرشکل تونل حاصل می شود. این منحنی عموما در شرایط حفاری دایروی و محیط همگن و همسان در شرایط تنس درجای هیدرواستاتیک σ_0 ترسیم می شود [۵].



شکل۲- ۳- نمایش مقطع عرضی توده سنگ بدون حائل و گسترش شعاع پلاستیک[٦]

منحنی پاسخ زمین در شکل۲-۴، توسط منحنی OEM نمایش داده شده است. این منحنی از نقطه O یعنی جایی که فشار داخلی P_i برابر تنش درجا است، شروع شده و تا نقطه M، که فشار داخلی به صفر می رسد، ادامه می یابد. در این نقطه حداکثر تغییر مکان شعاعی u_r^{max} رخ می دهد. نقطه E، معرف فشار بحرانی P_{cr} است که مرز میان رفتار الاستیک و پلاستیک خواهد بود. به عبارت دیگر، در فشار بالاتر از این فشار، رفتار توده سنگ کاملا الاستیک و با کمتر شدن فشار داخلی از این مقدار، ناحیه ای پلاستیک با شعاع R_{pl} در اطراف تونل ایجاد و گسترش می یابد.

منحنی عکس العمل(Support Characteristic Curve: SCC) نیز معرف ارتباط میان فشار افزاینده P_s بر روی حائل و جابجایی شعاعی افزاینده u_r در حائل است. این منحنی به خصوصیات هندسی و مکانیکی حائل وابسته است که در شکل- با نام KR آمده است. نقطه K متناظر با نقطه با فشار حائل صفر و نقطه R متناظر با نقطه با فشار حداکثر P_S^{max} و در آستانه خرابی، در حائل است. ارزیابی اندرکنش میان سه منحنی LDP، GRC، SCC منجر به تعیین فشار انتقال یافته از سوی زمین به حائل خواهد شد.