اللهم صل على محمد
محمد

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بهینه‌سازی سیستم‌های پایدارسازی تونل

اساتید راهنما:

آقای دکتر محمد قاسم سحاب

آقای دکتر احمد فهیمی‌فر

دانشجو:

محمد مهوری حبیب آبادی

۱۳۸۹

تاریخ : ۱۳۸۹/۱۲/...
شماره : ۷۵۴۹/۳۴۰۸
پیوست : .....

دانشگاه تفرش

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی : محمد مهوری حبیب آبادی شماره دانشجویی : ۸۷۳۱۴۱۰۱۲ دانشکده : مهندسی عمران

رشته تحصیلی/گرایش : مهندسی عمران / خاک و پی

عنوان پروژه : بهینه سازی سیستم های پایدار سازی تونل

تعداد واحد : ۶ تاریخ تصویب : ۸۸/۰۱/۳۰ تاریخ دفاع : ۸۹/۱۱/۳۰

نمره نهایی : ۱۹/۵ به عدد : نو ۱۹/۵ به حروف : نوزده و پنج تمام

استاد راهنمای اول	دکتر محمد قاسم سحاب	استادیار	دانشگاه تفرش	
استاد راهنمای دوم	دکتر احمدفهیمی فر	استاد	دانشگاه صنعتی امیر کبیر	
داور خارجی	دکتر محمد رضا امام	استادیار	دانشگاه صنعتی امیر کبیر	
داور داخلی	دکتر ناصر عرفاتی	استادیار	دانشگاه تفرش	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر ناصر عرفاتی	استادیار	دانشگاه تفرش	

رئیس دانشکده : دکتر محمد قاسم سحاب

امضاء :

تاریخ : ۸۹/۱۲/۴

مهر :

دانشگاه تفرش
گروه مهندسی عمران

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر حمید رضا دهقانپور

امضاء :

تاریخ : ۸۹/۱۲/۴

مهر :

دانشگاه تفرش
اداره کل تحصیلات تکمیلی

تقدیم به مادر مهربان

و

پدر عزیزم

تقدیر و تشکر

ادب و انسانیت و از آن بالاتر اسلام، بر ما فرض کرده است که تشکر و مراتب سپاسگزاری خویش را بجای آوریم. در آغاز از پدر و مادر عزیزم و تمامی اعضای خانواده، که در همه‌ی مراحل زندگی از بذل عنایت به بنده دریغ ننموده‌اند، از صمیم قلب سپاسگزاری می‌کنم. از اساتید راهنمای گرامیم جناب آقای دکتر محمد قاسم سحاب و جناب آقای دکتر احمد فهیمی‌فر که زحمات زیادی متحمل شدند و لحظه به لحظه بنده را هدایت فرمودند و راهنمایی‌های گرانبهای ایشان راهگشای مشکلات بود، کمال تشکر و امتنان را دارم. از زحمات تحصیلات تکمیلی که نحوه‌ی آرایش، ترتیب و قرارگیری این پایان نامه را فراهم کردند، کمال تشکر را دارم.

در پایان از کلیه‌ی دوستانی که با زحمات و راهنمایی‌های خویش بنده را یاری دادند، بخصوص آقای مهندس امیر شایان شهرآیینی، آقای عدنان صمدی و آقای داود ایسوند، قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

بهینه‌سازی سیستم‌های پایدارسازی تونل

در سازه‌های زیرزمینی، پس از حفاری، مهمترین اقدام حفظ پایداری سازه در ضمن حفاری و بعد از آن است. به همین منظور از گذشته سیستم‌های حایل گوناگونی برای حفاظت جداره‌ی تونل‌ها در مقابل ریزش ابداع، و با گذشت زمان بر کیفیت و تنوع آن‌ها افزوده شده است. از این میان می‌توان به بتن‌ریزی درجا، استفاده از قطعات بتنی پیش ساخته، صفحات آستری فولادی، سنگ دوزها (Rock bolts) و شاتکریت (Shotcrete) اشاره کرد. از جمله مزیت‌های سنگ دوزها و شاتکریت نسبت به سایر روشهای مورد اشاره، این است که، علاوه بر تحمل بارهای سنگین، قابلیت اجرای آنها بلافاصله پس از حفاری، و توانایی تحمل بارهای وارده در مراحل ابتدایی حفر تونل‌ها، امکان پذیر است. در روش معمول طراحی سیستم حایل منفرد سنگ دوز، ابتدا مقادیر معلومی برای قطر، طول و فواصل سنگ دوزها در نظر گرفته شده، و بر این اساس نیروی محوری ایجاد شده در سنگ دوزها و تغییر شکلهای تونل محاسبه و با مقادیر مجاز برای پذیرش یا رد طرح مفروض مقایسه می‌گردد. برای طراحی حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت نیز مقادیر معلومی برای قطر، طول، فواصل سنگ دوزها و ضخامت شاتکریت در نظر گرفته شده، و بر این اساس نیروی محوری ایجاد شده در حائل مرکب و تغییر شکلهای تونل محاسبه و با مقادیر مجاز برای پذیرش یا رد طرح مفروض سنجیده می‌شود.

در این پایان نامه، به ارائه یک الگوریتم جهت طراحی بهینه سیستم حایل منفرد سنگ دوز و حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت، با هدف کمینه کردن هزینه‌های تهیه و اجرای سیستم حایل پرداخته شده است. برای حائل منفرد سنگ دوز، قطر، طول و چیدمان سنگ دوزها و برای حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت، قطر، طول، چیدمان سنگ دوزها و ضخامت شاتکریت به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده‌اند. تابع هدف مورد نظر هزینه تهیه و اجرای حائل است. با توجه به مشخصات مسئله‌ی بهینه‌سازی تعریف شده، از یک الگوریتم ژنتیک برای کمینه کردن تابع هدف و تعیین مقادیر بهینه‌ی متغیرهای طراحی استفاده می‌شود. طرح مرسوم سیستم حایل منفرد سنگ دوز و سیستم حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت برای یک تونل در مثالی ارائه، و سپس به بهینه‌سازی این طرح‌ها پرداخته شده، و میزان صرفه-جویی حاصل از بهینه‌سازی این طرح‌ها، ارائه می‌شود.

کلمات کلیدی: سیستم حایل تونل، سنگ دوز، شاتکریت، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان اهمیت موضوع ۱

۱-۲- شرح موضوع پایان نامه ۲

۱-۳- مروری بر فصول مختلف پایان نامه ۲

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی بهینه سازی تونل‌ها ۳

فصل سوم: مبانی طراحی سیستم حائل تونل

۳-۱- سیستم‌های طبقه بندی توده سنگ ۱۲

۳-۱-۱- مقدمه ۱۲

۳-۱-۲- طبقه بندی ترزاقی ۱۲

۳-۱-۳- RQD ۱۳

۳-۱-۴- سیستم طبقه بندی Q ۱۳

۳-۱-۵- سیستم درجه بندی توده سنگ ۲۳

۳-۱-۶- تخمین مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ با استفاده از سیستم طبقه بندی توده سنگ ۲۶

۳-۲- معرفی انواع حائل‌ها برای نگهداری بدنه‌ی تونل‌ها ۳۱

۳-۲-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲-۲- راک داول ۳۲

۳-۲-۳- سنگ دوز ۳۳

۳-۲-۴- شاتکریت ۳۵
۳-۲-۵- شاه تیرهای خرپایی ۳۶
۳-۲-۶- قطعات پیش ساخته‌ی بتنی ۳۸
۳-۳- طراحی حائل برای نگهداری بدنه‌ی تونل ۳۹
۳-۳-۱- مقدمه ۳۹
۳-۳-۲- روش‌های تجربی ۳۹
۳-۳-۳- روش‌های تحلیلی ۴۶
۳-۳-۳-۱- رسم منحنی پاسخ زمین ۴۷
۳-۳-۳-۲- تعیین خط عکس العمل حائل ۵۱
۳-۳-۳-۳- سختی و حداکثر فشار قابل تحمل شاتکریت ۵۶
۳-۳-۳-۴- تعیین سختی و حداکثر فشار قابل تحمل سنگ دوز ۵۷
۳-۳-۳-۵- عکس العمل سیستم حائل‌های مرکب ۵۹
۳-۳-۳-۶- جمع‌بندی روش طراحی حائل منفرد سنگ‌دوز و حائل مرکب شامل شاتکریت و سنگ‌دوز. ۶۰
۳-۳-۳-۷- طراحی حائل برای یک فضای زیر زمینی با استفاده از روش تحلیلی ۶۳

فصل چهارم: طراحی بهینه‌ی سیستم حائل تونل‌ها

۴-۱- تعریف مسئله‌ی بهینه سازی طرح سیستم حائل تونل ۷۳
۴-۱-۱- مقدمه ۷۳
۴-۱-۲- متغیرهای طراحی ۷۴
۴-۱-۳- تابع هدف ۷۵
۴-۱-۴- قیود حاکم بر مسئله ۷۷

۴-۲- الگوریتم‌های بهینه سازی ۷۹
۴-۲-۱- مقدمه ۷۹
۴-۲-۲- الگوریتم ژنتیک ۷۹
۴-۲-۳- تاریخچه‌ی الگوریتم ژنتیک ۸۰
۴-۲-۴- اصطلاحات بیولوژیکی GAs ۸۱
۴-۲-۵- روش کلی بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک ۸۲
۴-۲-۶- کد گذاری ۸۴
۴-۲-۷- عملگرهای اساسی الگوریتم ژنتیک ۸۷
۴-۲-۷-۱- عملگر انتخاب ۸۷
۴-۲-۷-۱-۱- روش تقسیم بندی جمعیت ۸۸
۴-۲-۷-۲- عملگر ترکیب ۸۸
۴-۲-۷-۱- ترکیب تک نقطه‌ای ۸۸
۴-۲-۷-۳- عملگر جهش ۸۹
۴-۲-۷-۳-۱- جهش باینری ۹۰
۴-۲-۸- استراتژی نخبه گرایانه ۹۰
۴-۲-۹- بررسی قیود ۹۰
۴-۲-۹-۱- تابع پنالتی ۹۱
۴-۲-۱۰- معیار خاتمه‌ی الگوریتم ژنتیک ۹۲
۴-۳- مطالعه‌ی موردی ۹۲
۴-۳-۱- مقدمه ۹۲

۴-۳-۲- طرح بهینه‌ی حائل منفرد سنگ دوز ۹۳

۴-۳-۳- طرح بهینه‌ی حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت ۱۰۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۲۱

۵-۲- پیشنهادات ۱۲۲

منابع و مراجع ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: RL، فاصله‌ی بین سینه‌ی کار و نقطه‌ی پایانی حائل نصب شده. ۸

شکل ۳-۱: رابطه‌ی بین RQD و نسبت مدول‌ها (بینیاوسکی، ۱۹۸۴) ۲۸

شکل ۳-۲: نمونه‌ای از یک راک داول ۳۲

شکل ۳-۳: شکل شماتیک راک داول تحت برش ۳۲

شکل ۳-۴: یک سنگ دوز که به صورت مکانیکی مهار شده ۳۳

شکل ۳-۵: یک سنگ دوز که توسط رزین مهار شده ۳۴

شکل ۳-۶: شکل یک سنگ دوز که تحت اعمال نیروی کششی توسط تکنسین مربوطه است. ۳۴

شکل ۳-۷: یک سنگ دوز پس از نصب ۳۵

شکل ۳-۸: یک مدل شماتیک از تقویت سنگ با سنگ دوز ۳۵

شکل ۳-۹: انواع فایبرهای فولادی رایج در شمال آمریکا. (تمامی ابعاد بر حسب میلیمتر است) ۳۷

شکل ۳-۱۰: شکل شاه تیرهای خرپایی و نحوه‌ی نصب آن در تونل ۳۷

شکل ۳-۱۱: کارگاه ساخت قطعات بتنی ۳۸

شکل ۳-۱۲- طرح شماتیک حلقه‌ها. قطعات بتنی به هم متصل شده و تشکیل حلقه را می‌دهند و با قرار گیری حلقه‌ها در کنار یکدیگر حائل تونل شکل می‌گیرد. ۳۸

شکل ۳-۱۳- نمودار ساده شده‌ای که حرکت سنگ لق شده و سست شده به طرف تونل و انتقال بار به سنگ اطراف تونل را نمایش می‌دهد. ۳۹

شکل ۳-۱۴- (a) فشار حائل (b) طول بولت . مورد استفاده در تاج حفره‌ها (کوردینگ ۱۹۷۱) ۴۲

شکل ۳-۱۵- (a) فشار حائل، (b) طول بولت‌ها. مورد استفاده در دیواره‌ی تونل‌ها (کوردینگ ۱۹۷۱) ۴۳

شکل ۳-۱۶- انتخاب حائل با توجه به سیستم طبقه‌بندی Q (بارتون و گریمستاد ۱۹۹۳) ۴۴

شکل ۳-۱۷- تخمین حائل مورد نیاز (هوک) ۴۵

شکل ۳-۱۸- نمودار اندر کنش حائل-زمین ۴۶

شکل ۳-۱۹- تونل متقارن در نظر گرفته شده برای رسم منحنی پاسخ زمین ۴۸

شکل ۳-۲۰- منحنی پاسخ زمین برای دیواره، کف و طاق تونل ۵۰

شکل ۳-۲۱- نمودار خط عکس العمل حائل ۵۱

شکل ۳-۲۲- نمودار اندر کنش حائل- زمین ۵۲

شکل ۳-۲۳- نمودار اندر کنش حائل زمین برای یک فضای زیر زمینی ۵۳

شکل ۳-۲۴- منحنی پاسخ زمین برای دیواره، کف و طاق تونل به همراه خط عکس العمل حائل ۵۴

شکل ۳-۲۵- نمونه‌ای از یک سنگ دوز اجرا شده ۵۷

شکل ۳-۲۶- مقطع مغار مورد بررسی (واحدها بر حسب متر است) ۶۳

شکل ۳-۲۷- نمودار اندرکنش حائل- زمین، امتداد خط عکس العمل حائل- زمین منحنی پاسخ زمین برای طاق تونل را بعد از حداکثر تغییر مکان طاق قطع می‌کند. ۶۷

شکل ۳-۲۸- نمودار اندرکنش حائل- زمین. خطوط عکس العمل طرح‌های ۱- A، ۲- A، ۳- A و ۴- A در این نمودار رسم شده است. ۶۹

شکل ۳-۲۹- نمودار اندرکنش حائل- زمین. خطوط عکس العمل حائل‌های ۱- B، ۲- B ، ۳- B و ۴- B در این نمودار نمایش داده شده است. ۷۲

شکل ۴-۱- ضخامت شاتکریت ، t_{sh}، یکی از متغیرهای طراحی ۷۴

شکل ۴-۲- متغیرهای طراحی انتخاب شده برای سنگ دوز در یک تونل به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند. .. ۷۵

شکل ۴-۳- فلوچارت ساده‌ی الگوریتم ژنتیک ۸۳

شکل ۴-۴- نمایش یک کروموزوم با n متغیر طراحی، طول رشته‌ی هر متغیر ۷ بیت است. ۸۵

شکل ۴-۵- نمایش نحوه‌ی تبدیل پاسخ‌ها در محدوده‌ی نشدنی به محدوده‌ی شدنی. ۸۶

شکل ۴-۶- نمایش ترکیب تک نقطه‌ای روی یک جفت کروموزوم والد و ایجاد یک جفت کروموزوم فرزند. ۸۹

شکل ۴-۷- جهش دودوئی در یک کروموزوم نشان داده شده است. ۹۰

شکل ۴-۸- نمودارهای ۱۰ اجرای الگوریتم بهینه سازی. ۹۴

شکل ۴-۹- نمودار تابع هدف برای حائل منفرد سنگ دوز. در این نمودار قطر سنگ دوز برابر با ۰/۰۳۲ متر و طول آن ۵ متر است. ۹۵

شکل ۴-۱۰- قسمت میانی شکل ۴-۹. ..... ۹۶

شکل ۴-۱۱- نمایش منحنی‌های تراز شده‌ی شکل ۴-۱۰. ..... ۹۷

شکل ۴-۱۲- نمایش منحنی‌های تراز شده‌ی شکل ۴-۱۰. ..... ۹۷

شکل ۴-۱۳- نمودار اندر کنش حائل- سنگ برای طرح بهینه و چهار طرح ۱-A، ۲-A، ۳- A و ۴- A. ۹۸

شکل ۴-۱۴- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۱- A آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۹۹

شکل ۴-۱۵- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۲-A آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۰۰

شکل ۴-۱۶- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۳-A آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۰۱

شکل ۴-۱۷- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۴-A آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۰۲

شکل ۴-۱۸- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل Opt._A (طرح بهینه) آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۰۳

شکل ۴-۱۹- نمودار اندرکنش حائل- سنگ برای طرح بهینه و چند طرح دیگر. ۱۰۵

شکل ۴-۲۰- نمودارهای ۱۰ اجرای الگوریتم بهینه سازی. ۱۰۷

شکل ۴-۲۱- نمودار تابع هدف برای حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت. در این نمودار قطر سنگ دوز برابر با ۰/۰۳۰ متر و طول آن ۵ متر و ضخامت شاتکریت ۵ سانتی متر است. ۱۰۸

شکل ۴-۲۲- نمایش قسمت میانی شکل ۴-۲۱. ..... ۱۰۹

شکل ۴-۲۳- نمایش منحنی‌های تراز شده‌ی شکل ۴-۲۲. ..... ۱۱۰

شکل ۴-۲۴- نمودار اندر کنش حائل- سنگ برای طرح‌های بهینه و چهار طرح ۱- B، ۲- B، ۳- B و ۴- B ۱۱۱

شکل ۴-۲۵- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۱- B آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۱۲

شکل ۴-۲۶- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۲- B آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۱۳

شکل ۴-۲۷- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۳-B آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۱۴

شکل ۴-۲۸- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل ۴-B آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۱۵

شکل ۴-۲۹- یک مقطع به طول ۹ متر از تونل که حائل Opt._B2 (طرح بهینه) آن را مسلح کرده است. در این شکل قسمت ABC از تونل به صورت باز شده، از بالا نشان داده شده است. ۱۱۶

شکل ۴-۳۰- نمودار اندرکنش حائل- سنگ برای طرح بهینه و چند طرح دیگر. ۱۱۸

شکل ۴-۳۱- نمودارهای ۱۰ اجرای الگوریتم بهینه‌سازی. ۱۲۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱: طبقه بندی توده سنگ به روش ترزاقی. ۱۴

جدول ۳-۲: طبقه بندی پارامترهای منفرد که در سیستم Q به کار رفته است. ۱۵

جدول ۳-۳: مشخصات یک تونل برای محاسبه‌ی Q ۲۲

جدول ۳-۴: سیستم درجه بندی توده سنگ (RMR) (به شیوه‌ی بینیاوسکی، ۱۹۸۹) ۲۴

جدول ۳-۵: مثال برای محاسبه‌ی RMR ۲۶

جدول ۳-۶: تخمین مدول تغییر شکل پذیری توده سنگ با استفاده از سیستم طبقه‌بندی سنگ ۲۹

جدول ۳-۷: خطوط کلی برای تخمین فاکتور دست خوردگی، D ۲۹

جدول ۳-۸- بار سنگ پیشنهاد شده برای حائل قوسی فولادی با توجه به سیستم طبقه‌بندی ترزاقی ۴۰

جدول ۳-۹- مقادیر مختلف ESR برای انواع سازه‌های زیرزمینی (بارتون ۱۹۷۴) ۴۴

جدول ۳-۱۰- انتخاب حائل برای یک تونل به دهانه‌ی ۱۰ متر بر طبق سیستم RMR ۴۵

جدول ۳-۱۱- مشخصات سه طرح برای حائل سنگ دوز ۶۸

جدول ۳-۱۲- مشخصات سه طرح برای حائل مرکب سنگ دوز و شاتکریت ۷۱

جدول ۴-۱- مشخصات طرح بهینه و چهار طرح برای حائل سنگ دوز ۹۸

جدول ۴-۲- مشخصات طرح بهینه و مقایسه‌ی آن با طرح‌های نزدیک به طرح بهینه ۱۰۴

جدول ۴-۳- مشخصات طرح‌های بهینه و مقایسه‌ی آن با چهار طرح B-۱، B-۲، B-۳ و B-۴ ..... ۱۱۰

جدول ۴-۴- مشخصات طرح بهینه و مقایسه‌ی آن با طرح‌های نزدیک به طرح بهینه ۱۱۷

جدول ۴-۵- مشخصات طرح بهینه با قیمت جدید ۱۱۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان اهمیت موضوع

یکی از مهمترین مسائل در هر پروژه‌ی تونل‌سازی انتخاب نوع حائل و مشخصات آن است. از آنجا که تأمین پایداری تونل در هنگام حفاری و هنگام بهره‌برداری به عهده‌ی حائل می‌باشد، لذا انتخاب نوع و مشخصات آن بسیار مهم است. نوع و مشخصات حائل با توجه به شرایط زمین و امکانات موجود متغیر است. در پروژه‌های تونل‌سازی معمولاً از حائل شاتکریت[۱] استفاده می‌شود. مزیت شاتکریت این است که مقاومت نسبتاً خوبی دارد و بلافاصله پس از حفاری تونل امکان اجرای آن وجود دارد. در تونل‌های سنگی برای حفظ پایداری و جلوگیری از سقوط بلوک‌های منفرد سست شده‌ی سنگ از انواع سنگ دوزها استفاده می‌شود. علاوه بر این از سنگ دوز[۲] می‌توان به عنوان یک پوشش سیستماتیک در تونل‌های سنگی استفاده کرد. معمولاً ترکیب سنگ دوز و شاتکریت یک حائل مناسب برای تونل‌های سنگی است. از قطعات پیش ساخته‌ی بتنی، قاب‌های فولادی و بتن‌ریزی درجا برای ایجاد حائل‌ها با مقاومت بالاتر استفاده می‌شود. حفظ پایداری تونل به شرایط آن بستگی دارد. گاهی برای حفظ پایداری یک تونل به ترکیبی از چند حائل نیاز است و در شرایط بهتر، با یک نوع حائل و حتی در برخی موارد بدون حائل می‌توان پایداری تونل را تأمین کرد. در زمین‌های نرم، باید قبل از حفاری از حائل‌های پیش مسلح کننده استفاده کرد تا امکان حفاری ایجاد شود و سپس حائل مورد نیاز برای تونل اجرا شود.

---

[۱] Shotcrete
[۲] Rock bolt

انتخاب حائل کمتر از مقدار مورد نیاز، باعث خرابی تونل و عدم امکان استفاده از آن می‌شود. همچنین تعیین حائل بیش از مقدار مورد نیاز، باعث افزایش هزینه‌ی ساخت تونل می‌گردد. از آنجا که بخش مهمی از هزینه‌ی ساخت تونل متعلق به پایدارسازی آن است، لذا انتخاب حائل بهینه از اهمیت خاصی برخوردار است.

۱-۲- شرح موضوع پایان نامه

در این پایان نامه به کمینه کردن هزینه‌ی ساخت و اجرای حائل در تونل‌ها پرداخته شده است. برای این منظور دو نوع سیستم حائل مورد مطالعه قرار گرفته شده است. حائل اول، سنگ دوز به صورت سیستماتیک، که فاصله‌ی سنگ دوزها در امتداد طول تونل، s_l، فاصله‌ی سنگ دوزها در امتداد محیط تونل، s_c، قطر سنگ دوز، d_b و طول سنگ دوز، l، به عنوان متغیرهای مورد مطالعه برای بهینه‌سازی طرح در نظر گرفته شده‌اند. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ای برای یافتن طرح بهینه‌ی حائل سنگ دوز ارائه شده است.

حائل نوع دوم ، حائل مرکب از سنگ دوز و شاتکریت. در این حائل علاوه بر در نظر گرفتن متغیرهای طراحی حائل نوع اول (s_l، s_c، d_b و)، ضخامت شاتکریت، t_{sh}، نیز به عنوان متغیر طراحی در نظر گرفته شده است. در اینجا نیز برنامه‌ای بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای یافتن طرح بهینه‌ی حائل نوشته شده است.

۱-۳- مروری بر فصول مختلف پایان نامه

این پایان نامه شامل پنج فصل است. در فصل اول مقدمه تحقیق بیان شد. در فصل دوم به بررسی تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه‌ی بهینه‌سازی تونل‌ها پرداخته می‌شود. فصل سوم ابتدا به سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ‌ها می‌پردازد. سپس روابط تجربی برای تعیین حائل در تونل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه یکی از روابط تحلیلی برای تعیین حائل بررسی می‌شود و در پایان با استفاده از روش تحلیلی به طراحی حائل برای یک تونل مشخص پرداخته می‌گردد.

در فصل چهارم ابتدا مسئله‌ی طراحی حائل تونل در قالب یک مسئله‌ی بهینه‌سازی تعریف می‌شود. در ادامه مبانی الگوریتم ژنتیک معرفی و توضیح داده می‌گردد. سپس با استفاده از برنامه‌های نوشته شده به یافتن طرح بهینه‌ی حائل برای مثال مذکور در فصل سوم پرداخته می‌شود و در ادامه‌ی این فصل طرح‌های بهینه‌ی به دست آمده با طرح‌های طراحی شده در فصل سوم مقایسه می‌شود. فصل پنجم به نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات پرداخته است.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی بهینه‌سازی تونل‌ها

بشر از زمان‌های دور برای هدف‌های گوناگون به حفر تونل روی آورد و با پیشرفت علم و صنعت روز به روز بر نیاز انسان به احداث تونل‌های بزرگ‌تر و طولانی‌تر بیشتر و بیشتر شد، به طوری که امروز راه‌سازی، احداث خطوط راه آهن، استخراج معادن، احداث متروهای درون شهری و ... بدون ساخت تونل‌های چند کیلومتری ممکن نیست.

یکی از نکات بسیار مهم در احداث تونل، مقاوم‌سازی آنها در مقابل خطر ریزش‌های احتمالی است. سهل انگاری در این امر چه بسا زیان‌های جبران ناپذیری را به دنبال می‌آورد. مقاوم‌سازی تونل‌ها از زمان‌های گذشته مورد توجه انسان بوده است و امروزه اهمیت دو چندان یافته است. باید توجه کرد که مقاوم‌سازی تونل‌ها همواره نیازمند هزینه‌های بسیار زیادی است، از این رو متخصصان تلاش خود را به این مسأله معطوف داشته‌اند که راهی بیابند تا با صرف کمترین هزینه بر میزان امنیت و مقاومت تونل‌ها بیافزایند. با افزایش روز افزون نیاز بشر به احداث تونل برای استفاده‌های گوناگون، بر اهمیت بهینه‌سازی تونل‌ها و یافتن راه‌های کم هزینه‌تر و مقاوم‌تر افزوده می‌شود. در این فصل به تعدادی از فعالیت‌های دانشمندان جهان در این رابطه به طور گذرا اشاره شده است.

در سال ۲۰۰۰ میلادی آقای پائولو و همکارانش[۱] با بررسی هزینه و زمان لازم برای حفاری تونل در توده سنگ‌های متفاوت، روش جدیدی را برای بهینه‌سازی حفاری تونل ارائه کردند. آنان علاوه بر دخالت دو عامل هزینه و زمان در بهینه‌سازی، پارامتر

[۱] C. Paolo et. al.

سومی به نام ریسک را در آن موثر دانستند. به دلیل عدم قطعیت اطلاعات عددی درباره‌ی شرایط زمین شناختی توده سنگ‌ها، پارامتر ریسک در روند بهینه‌سازی وجود دارد.

در این تحقیق از نرم افزار modeFRONTIER که توسط .ES.TEC.O تولید شده است، استفاده شده است. این نرم افزار برای یافتن مجموعه جواب بهینه برای چند تابع هدف در هر مسأله‌ی بهینه‌سازی به کار می‌رود و دارای یک محیط گرافیکی برای تعریف مسأله‌ی بهینه‌سازی است. در این مقاله تکنولوژی حفاری و جهت حفاری بهینه شده‌اند.

این شیوه روی تونل برنر[۱] مورد مطالعه قرار گرفته است. آنان با مطالعه بر روی این تونل روشن کرده‌اند که تکنیک‌های بهینه‌سازی به ویژه در فضاهای زیر زمینی خیلی بزرگ، مانند تونل برنر بسیار مهم است.

بهنیه‌سازی قیمت، زمان، با در نظر گرفتن ریسک طرح، گام‌های سودمندی هستند که به انتخاب طرحی با بهترین مشخصات منجر می‌شود و هر چه شرایط تونل واقع گرایانه‌تر باشد روند بهینه‌سازی مفیدتر انجام می‌شود مثل این که عدم قطعیت پارامترهای زمین شناسی در نظر گرفته شود.

ارزیابی ریسک مربوط به طرح به پیمانکاران و مشاوران این اجازه را می‌دهد که یک موازنه میان قیمت و هزینه‌ی صرفه جویی شده و ریسک را در طول ساخت تونل برقرار کنند. [۱]

در همان سال آقایان ونگ[۲] و فن[۳] به بهینه‌سازی مهندسی زمین‌های نرم با توجه ویژه به معادن ذغال سنگ پرداختند. مهندسی زمین‌های نرم یکی از موضوعات دشوار در مهندسی مکانیک سنگ است.

برای غلبه بر مشکلات تغییر شکل‌های زیاد، تأثیرات وابسته به زمان و مشکلات پایدارسازی زمین‌های نرم، مسئله باید از اساس مورد توجه قرار گیرد تا به یک شیوه‌ی موثرتر برای بهینه‌سازی سیستم مهندسی در زمین‌های نرم دست یابیم. برای حل مسئله به صورت کمی، بسیاری از مهندسان پس از مشاهدات در محل پروژه به کارهای گذشتگان تکیه می‌کنند.

در این مقاله از شیوه‌ی خاصی برای بهینه‌سازی استفاده نشده است بلکه با توجه به اصول اصلی مکانیک سنگ طرح بهینه پیشنهاد می‌شود. به عنوان نمونه محور تونل با ماکزیمم تنش اصلی افقی موازی باشد، از شکل‌های حفاری پیچیده اجتناب گردد، جهت مناسب برای سازه انتخاب شود و موارد دیگر. [۲]

---

[۱] Brenner
[۲] T. Wang
[۳] Q. Fan