بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده معدن و متالورژی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک سنگ

استفاده از روش آنالیز برگشتی در طراحی سیستم نگهداری تونل دشت ذهاب

استادان راهنما :

دکتر محمد فاتحی مرجی

دکتر جواد غلام نژاد

استاد مشاور:

مهندس مسعود بیاتی

پژوهش و نگارش:

عیسی دهقانی

اسفند ۸۹

مادر، ای لطیف‌ترین گل بوستان هستی...

تو شگفتی خلقتی...

تو لبریز عظمتی...

تو را دوست دارم و می‌ستایمت...

دست بر دعا برمی‌دارم و از خدای یگانه برایت برکت و عزت می‌طلبم

تقدیم به مادر و پدر عزیزم که در تمامی مراحل مرا یاری و مساعدت می‌کنند.

در اینجا لازم می‌دانم از کلیه کسانی که در انجام این پروژه مرا با ای خود یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استاتید گرامی بنده **جناب آقای دکترغلام نژاد و جناب آقای دکتر فاتحی**که با راهنمایی‌های خود، بنده را در انجام این پروژه یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

ضمناً لازم می دانم که از **جناب آقای مهندس مسعود بیاتی** که با راهنمائی های خود بنده را در انجام پروژه یاری نموده اند، تشکر و قدردانی نمایم

چکیده

استفاده از روش‌های آنالیز برگشتی امروزه کار را برای تحلیل بر روی ساختارهای زیرزمینی آسان کرده است. مهندسین از روش های مختلف آنالیز برگشتی در طراحی پارامترهای سیستم نگهداری ساختارهای زیرزمینی استفاده می کنند. روش های آنالیز برگشتی به طور کلی روش هایی هستند که با استفاده از جابجایی‌های اندازه گیری شده در تونل، پارامترهای سیستم کنترلی به دست می‌آید. استفاده از جابجایی ها در آنالیز برگشتی به این دلیل است که اندازه گیری جابجایی‌ها در فیلد کار بسیار آسان و ساده می باشد لذا این پارامتر می تواند در آنالیز برگشتی به طور گسترده های استفاده گردد. روش های آنالیز برگشتی در نهایت منجر به یک تابع خطا یا تابع ارزش می شود که می تواند با استفاده از ابزارهای بهینه سازی، بهینه گردند. در این پایان نامه از روش آنالیز برگشتی مستقیم جابجایی‌های اندازه‌گیری شده در تونل استفاده شده است و روش بهینه سازی تک متغیره متناوب از روش های بهینه سازی دقیق مورد استفاده قرار گرفته است. روش تک متغیره متناوب به این صورت انجام می شود که n پارامتر مجهول به طور همزمان بر طبق یک مسیر جستجو تغییر می کنند تا سرانجام تابع خطا کمینه گردد. مورد مطالعاتی این پایان نامه تونل انتقال آب دشت دهاب در استان کرمانشاه می باشد. آنالیز برگشتی در این تونل بر روی دو مقطع ۳۰۰۰ و ۴۸۰۰ متری انجام گرفته است. پارامترهای مجهول در آنالیز برگشتی برای مقطع ۳۰۰۰ متر، مدول الاستیسیته، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و حد کشش توده سنگ می باشد و در مقطع ۴۸۰۰ متر به دلیل وجود رفتار خزشی در توده سنگ علاوه بر ۴ پارامتر مجهول ذکر شده در بالا، مدول برشی کلوین، ویسکوزیته ماکسول و ویسکوزیته کلوین می باشد. مقادیر پارامترهای بهینه به دست آمده از آنالیز برگشتی برای مقطع ۳۰۰۰ برای مدول الاستیسیته، زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و حد کشش به ترتیب معادل ۱.۲۵ گیگاپاسکال، ۱۵.۵ درجه، ۲۸ کیلوپاسکال و ۱۱ کیلوپاسکال می باشد. نتایج این پارامترها برای مقطع ۴۸۰۰ حاصل از آنالیز برگشتی به ترتیب معادل ۱۶.۵ گیگاپاسکال، ۴۷.۲ درجه، ۴.۵ و ۱.۰۵ مگاپاسکال به دست آمده است مقادیر بهینه این ۴ پارامتر برای مقطع ۳۰۰۰ متر در آنالیز برگشتی سه بعدی به ترتیب معادل ۱.۱۲ گیگاپاسکال، ۱۴.۸ درجه، ۳۰ و ۱۱ کیلوپاسکال حاصل شده است. مقادیر ۳ پارامتر مجهول موجود در مدل خزشی برگر برای مدول برشی کلوین، ویسکوزیته کلوین و ویسکوزیته ماکسول به ترتیب معادل ۲۱ گیگاپاسکال، ۸۶.۵ گیگاپاسکال ساعت و ۹۲۰۰ گیگاپاسکال ساعت به دست آمده است. اختلافات به دست آمده برای پارامترهای مجهول در دو آنالیز برگشتی دو سه بعدی در حدود ۱۰.۴، ۴.۵، ۶.۷ و ۱۵.۴ درصد به ترتیب ذکر شده در بالا می باشد.

فهرست

عنوان..... صفحه

مقدمه.....۱

فصل اول :کاربرد روش های آنالیز برگشتی در طراحی ساختارهای زیرزمینی

۱-۱- مقدمه..... ۵

۱-۲-آنالیز برگشتی و فرایندهای بهینه سازی در حل مسائل مربوط به آنالیز برگشتی..... ۷

۱-۲-۱- روش‌های مشاهده‌ای..... ۷

۱-۲-۲- مقایسه دو آنالیز معکوس و آنالیز مستقیم..... ۸

۱-۲-۳- اهداف آنالیز برگشتی در حفاری های زیرزمینی.....۱۱

۱-۳- روش‌های مستقیم و معکوس در آنالیز برگشتی.....۱۱

۱ –۳-۱- اهداف آنالیز برگشتی در طراحی پارامترهای ساختارهای زیرزمینی.....۱۲

۱-۳-۲- موارد موردنیاز در انجام روش های آنالیز برگشتی.....۱۳

۱- ۱-۴- روش آنالیز معکوس غیرخطی.....۱۴

۱-۵- آنالیز معکوس سه بعدی و فلوچارت مربوطه.....۱۵

۱-۶- روش مستقیم آنالیز برگشتی.....۱۷

۱-۷- مدل ها، روش ها و ابزارهای بهینه سازی در آنالیز معکوس.....۲۰

۱-۷-۱- روش همگرایی-همجواری ۲۰

۱-۷-۱-۱- اندازه گیری واحد و چند پارامتر مجهول.....۲۱

۱-۷-۱-۲- دو اندازه گیری و دو پارامتر مجهول ۲۲

۱-۷-۱-۳- حالت کلی با m اندازه گیری و n پارامتر مجهول ۲۳

۱-۷-۲- مدل معادل افت زمین ۲۵

۱-۷-۳- تخمین روش بهینه سازی غیرخطی ۳۰

۱-۷-۳-۱- تابع هدف ۳۱

۱-۷-۴- اصول اساسی و روش آنالیز معکوس سه بعدی ۳۲

۱-۷-۴-۱- مدل عددی مبنی بر آنالیز معکوس سه بعدی ۳۳

۱-۷-۵- روش مینیمم مربعات میرا ۳۸

۱-۷-۶- الگوریتم بهینه سازی دقیق ۳۹

۱-۸-مقدمه ای بر روش های بهینه سازی تصادفی ۴۱

۱-۸-۱- دسته بندی روش های بهینه سازی ۴۱

۱-۸-۲- فوق ابتکاری ها ۴۲

۱-۸-۲-۱- الگوریتم های تکاملی ۴۲

۱-۸-۲-۲- ابتکاری های مبنی بر حافظه ۴۳

۱-۸-۲-۳- ابتکاری های جستجوی همسایگی ۴۳

۱-۸-۲-۴- گروه هوشمند ۴۳

۱-۸-۲-۵- ابیکاری های مبنی بر احتمالات ۴۴

۱-۸-۲-۶- روش های مرکب ۴۴

۱-۸-۳- مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک ۴۵

۱-۸-۴- کاربرد روش های فوق ابتکاری.....۴۹

۱-۸-۵- الگوریتم های بهینه سازی کلنی (گروه) مورچه.....۴۹

۱-۸-۵-۱- مهمترین الگوریتم های بهینه سازی کلنی مورچه.....۴۹

۱-۸-۵-۲- مفهوم روش بهینه سازی کلنی مورچه.....۵۰

۱-۸-۵-۳- کاربردها، مزیت ها و محدودیت های بهینه سازی کلنی مورچه.....۵۱

۱-۸-۵-۳-۱- کاربردهای بهینه سازی کلنی مورچه ۵۱

۱-۸-۵-۳-۲- مزیت های بهینه سازی کلنی مورچه.....۵۱

۱-۸-۵-۳-۳- محدودیت های بهینه سازی کلنی مورچه ۵۲

۱-۸-۶- خلاصه ۵۲

۱-۸-۷- روش های ابتکاری.....۵۲

فصل دوم : مشخصات پروژه انتقال آب تونل دشت ذهاب

۲-۱- معرفی تونل انتقال آب دشت ذهاب و موقعیت جغرافیایی آن ۵۵

۲-۲- مشخصات هندسی تونل.....۵۶

۲-۳- مشخصات زمین شناسی مسیر تونل.....۵۷

۲-۴- خصوصیات توده سنگ های مسیر تونل.....۶۰

۲-۵- آب زیرزمینی و وضعیت آب در تونل دشت ذهاب.....۶۳

۲-۶- حفاری تونل.....۵۸

۲-۷- سیستم نگهداری.....۶۵

۲-۸- خواص قطعات پیش ساخته بتنی، خواص محل اتصالات و شن نخودی و دوغاب.....۶۵

۲-۹- ابزاربندی در تونل ۶۸

فصل سوم : بهینه سازی پارامترهای مجهول در آنالیز برگشتی، در تونل دشت ذهاب کرمانشاه

۳-۱- مقدمه..... ۷۱

۳-۲- مروری بر روش های عددی پیوسته و ناپیوسته..... ۷۲

۳-۳- شرح آنالیز برگشتی مورد استفاده در پروژه..... ۷۴

۳-۳-۱- الگوریتم مورد استفاده در انجام آنالیز برگشتی..... ۷۶

۳-۳-۲- تابع خطای مورد استفاده در آنالیز برگشتی..... ۷۷

۳-۳-۳- تعیین یک روند در کمینه شدن تابع خطای مزبور ۷۷

۳-۴- مدل های مورد استفاده در انجام آنالیز برگشتی..... ۷۸

۳-۴-۱- شرح مختصری از مدل برگر خطشی (CVISC)..... ۸۱

۳-۵- مدلسازی دوبعدی مورد استفاده در آنالیز برگشتی جابجایی های تونل دشت ذهاب..... ۸۵

۳-۵-۱- تحلیل دوبعدی آنالیز برگشتی مقطع ۳۰۰۰ متر..... ۸۸

۳-۵-۲- تحلیل دوبعدی آنالیز برگشتی مقطع ۴۸۰۰ متر..... ۹۵

۳-۶- مدلسازی سه بعدی مورد استفاده در آنالیز برگشتی جابجایی های تونل دشت ذهاب..... ۱۰۰

۳-۶-۱- تحلیل سه بعدی آنالیز برگشتی مقطع ۳۰۰۰ متر..... ۱۰۴

۳-۷- نتیجه گیری..... ۱۰۹

۳-۸- پیشنهادات..... ۱۱۲

منابع و مآخذ..... ۱۱۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱ - شرح تولید مجدد میان یک جفت والد برای تولید یک جفت فرزندجدید.....۴۷

جدول ۱-۲ - شرح تغییر فرزند در الگوریتم ژنتیک.....۴۸

جدول ۲-۱ -مجموعه های لیتولوژیکی شناسایی شده در مسیر تونل.....۶۰

جدول۲- ۲ – داده ها و پارامترهای موجود و مورد نیاز برای انجام پروژه.....۶۱

جدول۲- ۳– پارامترهای موجود از سازندهای موجود در مسیر تونل دشت ذهاب (سازند ۱۲-۲۰.....۶۳

جدول۲- ۴ – خواص قطعات پیش ساخته بتنی تونل دشت ذهاب.....۶۷

جدول۲- ۵ - خواص شن نخودی و دوغاب تزریقی پشت سگمنت در تونل دشت ذهاب.....۶۷

جدول ۳-۱ - پارامترهای مورد نیاز در مدل موهر-کولمب.....۷۹

جدول ۳-۲ - پارامترهای مورد نیاز در مدل خزشی CVISC.....۸۰

جدول ۳-۳ - خصوصیات مورد نیاز سازندهای مورد مطالعه (سازندهای ۱۹ و ۲۳).....۸۲

جدول ۳-۴ -قرائت های برداشت شده از کرنش سنج ها در سازند ۱۹ (۳۰۰۰متری).....۸۳

جدول ۳- ۵ - قرائت های برداشت شده از کرنش سنج ها در سازند ۲۳ (۴۸۰۰متری).....۸۴

جدول ۳-۶ - نتایج حاصل از آنالیز برگشتی (سازند ۱۹) پارامترهای مجهول.....۹۰

جدول ۳-۷ - نتایج حاصل از آنالیز برگشتی ۴ پارامتر اولیه در مدل خزشی برگر.....۹۶

جدول ۳-۸ - نتایج آنالیز برگشتی سه پارامتر موجود در مدل خزشی برگر.....۹۷

جدول ۳- ۹ - نتایج حاصل از آنالیز برگشتی سه بعدی در مقطع ۳۰۰۰ متر.....۱۰۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- سیکل معمول روش مشاهده ای.....۹

شکل ۱-۲- آنالیز مستقیم در برابر آنالیز معکوس.....۱۰

شکل ۱-۳- طرز کار روش آنالیز معکوس (BA).....۱۶

شکل ۱-۴- شمای عملیاتی اساسی برای بهینه‌سازی (روش مستقیم آنالیز معکوس).....۲۰

شکل ۱-۵- منحنی مشخصه زمین و خط مشخصه سیستم نگهداری.....۲۲

شکل ۱-۶- تعیین بردار جواب (x^*, y^*).....۲۳

شکل ۱-۷- تعیین جواب آنالیز برگشتی از طریق تقاطع دو دامنه مربوط به هر یک از اندازه‌گیری‌ها....۲۴

شکل ۱-۸- رابطه میان پهنای ناودان و عمق تونل.....۲۶

شکل ۱-۹- حرکت زمین و شرایط مرزی افت زمین.....۲۸

شکل ۱-۱۰- مدل آنالیز معکوس آنالیز معکوس سه بعدی.....۳۳

شکل ۱-۱۱- نقاط اندازه‌گیری در هندسه آنالیز معکوس سه بعدی.....۳۵

شکل ۱-۱۲- فلوچارت روش جستجوی مستقیم.....۳۹

شکل ۱-۱۳- طرح بنیادی روش جستجوی الگویی.....۴۰

شکل ۱-۱۴- طبقه‌بندی روش‌های بهینه‌سازی.....۴۱

شکل ۱-۱۵- تقسیم‌بندی روش‌های فوق ابتکاری.....۴۶

شکل ۱-۱۶- میزان فرمون ته نشینی در اثر مسیرهای احتمالی.....۵۰

شکل ۱-۱۷- نمونه‌ای الگوریتم کلنی مورچه (رفتار مورچه‌ها).....۵۰

شکل ۲-۱- موقعیت تونل زاگرس در ایران.....۵۵

شکل ۲-۲- مقطع طولی کلی تونل دشت ذهاب.....۵۶

شکل ۲-۳- سطح مقطع تونل دشت ذهاب.....۵۶

شکل۲- ۴ – قطعات پیش ساخته بتنی تونل دشت ذهاب.....۶۶

شکل ۲-۵- شکل شماتیک ابزارهای نصب شده در رینگ های معین.....۶۹

شکل ۳-۱- الگوریتم مورد استفاده در انجام آنالیز برگشتی.....۷۶

شکل ۳-۲- شمایی از مدل CVISC.....۸۱

شکل ۳-۳- الف: نمای هندسه کلی مدل دو بعدی و تونل حفاری شده.....۸۷

شکل ۳-۳- ب: نمای بزرگ شده هندسه کلی مدل دو بعدی و تونل حفاری شده.....۸۸

شکل ۳-۴- نحوه نصب و قرارگیری کرنش‌سنج در پشت سگمنت.....۸۹

شکل ۳-۵- روند نیروی نامتعادل در سازند ۱۹ (مقطع ۳۰۰۰متر).....۹۱

شکل ۳-۶- مناطق الاستیک و پلاستیک در مدل (مقطع ۳۰۰۰ متر).....۹۲

شکل ۳-۷- سرعت نقطه واقع در سقف تونل برای سازند ۱۹ (مقطع ۳۰۰۰ متر).....۹۲

شکل ۳-۸- جابجایی نقاط واقع در سقف و دیواره سازند ۱۹ (مقطع ۳۰۰۰ متر).....۹۳

شکل ۳-۹- تغییرات مدول الاستیسیته با میزان تابع خطا (سازند ۱۹).....۹۳

شکل ۳-۱۰- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۹۴

شکل ۳-۱۱- تغییرات چسبندگی با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۹۴

شکل ۳-۱۲- تغییرات حد کشش با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۹۴

شکل ۳-۱۳ - تغییرات مدول الاستیسیته با مقدار خطا (سازند ۲۱).....۹۸

شکل ۳-۱۴- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با مقدار خطا (سازند ۲۱) ۹۹

شکل ۳-۱۵- تغییرات چسبندگی با مقدار تابع خطا (سازند ۲۱) ۹۹

شکل ۳-۱۶- تغییرات حد کششی با مقدار تابع خطا (سازند ۲۱).....۹۹

شکل۳-۱۷- نمای هندسه کلی مدل سه بعدی و تونل حفاری شده.....۱۰۲

شکل ۳-۱۸- نمایی از حفاری در تونل در متراژ ۱۵ متری.....۱۰۳

شکل ۳-۱۹- نماهای سه بعدی حفاری مرحله ای در متراژهای به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر از دهانه تونل.....۱۰۳

شکل ۳-۲۰- روند نیروی نامتعادل با افزایش سیکل های حفاری.....۱۰۵

شکل ۳-۲۱- جابجایی عمودی نقطه واقع در سقف تونل.....۱۰۵

شکل ۳-۲۲- جابجایی افقی نقطه ای واقع بر دیواره تونل.....۱۰۵

شکل ۳-۲۳- کانتور همگرایی اطراف تونل.....۱۰۶

شکل ۳-۲۴- مناطق الاستیک و پلاستیک در اطراف تونل.....۱۰۶

شکل ۳-۲۵- تغییرات مدول الاستیسیته با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۱۰۷

شکل ۳-۲۶- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۱۰۷

شکل ۳-۲۷- تغییرات میزان چسبندگی با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹).....۱۰۸

شکل ۳-۲۸- تغییرات حد کششی با مقدار تابع خطا (سازند ۱۹) ۱۰۹

مقدمه

طراحی و ساخت سازه‌های زیرزمینی نیاز به تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی سنگ دارد که برای تعریف صحیح روش ساخت و ساختارهای سیستم نگهداری مورد نیاز می‌باشد. هدف آنالیز معکوس جابجایی‌های اندازه‌گیری شده در اطراف تونل و بارهای روی سیستم نگهداری در طی ساخت سازه، کالیبره کردن تخمینات اولیه پارامترهای ژئوتکنیکی زمین می‌باشد [۱].

با توجه به پیچیدگی و عدم پیش‌بینی‌های موجود در طبیعت، مشاهدات دقیق و تفسیرهایی می‌توانند در محل انجام گیرد که پیش نیازی برای مهندسان ژئوتکنیک می‌باشد و می‌تواند کارهای ساخت را به طور قابل اطمینان و اقتصادی هدایت کنند. روش‌های مشاهده‌ای از مراحل مشاهده‌ای پایه که در محل هدایت می‌شوند، برای آشکار ساختن مجموعه ای از مراحل مناسب با استفاده از ابزارهای محاسبه‌ای نوین و تکنیک‌های آنالیز برگشتی بر مبنای رایانه، گسترش یافته‌اند [۲].

در ابتدا تعیین ساختارها و جزئیات آنالیز مستقیم[۱] و معکوس[۲] شروع شده و برای پوشش دادن چندین مرحله از آنالیز معکوس گسترش می‌یابد که شامل کاربردهایی از جمله فرمول‌بندی برای رفتارهای خطی و غیرخطی ماده می‌باشد[۳].

در حین کار با مدل‌های عددی ضروری است، پارامترهایی را که واقعی و ممکن هستند تعیین شوند. روش‌های بهینه‌سازی به کرات برای حل این نوع مسائل به کاررفته‌اند. به هر حال اگر محاسبات نسبتاً پیچیده وارد گردد، استفاده از این روش‌ها ممکن است منجر به هزینه‌های زیاد و زمان بر در عمل گردد. بنابراین نیاز است تا ابزارهای بهینه‌سازی مناسبی را برای جلوگیری از محاسبات زمان بر در آنالیز معکوس به کار بریم. در این پروژه چندین روش آنالیز برگشتی و چندین الگوریتم بهینه‌سازی برای منظور بیان می‌گردد [۴].

[1]-Direct analysis
[2] -Inverse Analysis

یکی از مشکلات عمده برای مهندسین ژئوتکنیک در طی مراحل پروژه این است که با یک روش قابل اعتماد، پارامترهای مکانیکی سازگار با مدل تشکیل دهنده را حدس بزنند. در مرحله اجرای پروژه، این پارامترها می‌توانند با استفاده از آزمایش‌های برجا در آزمایشگاه محاسبه شوند، اما این آزمایش‌ها منجر به یک سری عدم قطعیت می‌شود که به علت تغییر خاک و خصوصیات مکانی آزمایش است که معرف توده خاک نمی‌باشد. بعلاوه برای تحلیل آزمایشات برجا، یک سری مشکلات وجود دارد که به علت خصوصیت ناهمگنی تنش و کرنش موجود در محل است که به توده خاک اعمال می‌شود. برای کاستن این تردیدها، مهندسین ژئوتکنیک از آنالیز معکوس در طی ساخت، استفاده می‌کنند. برای ارزیابی خصوصیات مکانیکی زمین در جبهه کار تونل، یک روش آنالیز معکوس سه بعدی[۳] پیشنهاد می‌گردد. مقادیر مدول الاستیسیته، نسبت پواسون و شش مولفه تنش اولیه زمین، توسط این روش تعیین می‌گردند.امروزه استفاده از روش آنالیز معکوسخیلی معمول نبوده و زمانی که استفاده می‌گردد از طرح‌های علمی پیروی نمی‌کند. امتیاز کلی آن به کار بردن داده های ابزاربندی بدون اتلاف هزینه و زمان می‌باشد [۵].

کامپیوترهاامروزه قادرند تا به طور سریع تعداد زیادی آنالیز عددی را انجام دهند. بنابراین زمان اقتضا می‌کند که یک روش آنالیز معکوس برای استفاده با مدل محاسباتی مسئله، زمانی که داده‌های ابزاربندی موجود می‌باشد، ایجاد گردد. در این راستا نرم‌افزارهای بهینه‌سازی (از جمله SiDoLo) و المان محدود (از جملهCESAR-LCPC) و نرم افزارهایی از جمله FLAC و PLAXIS و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶].

بنابراین با توجه به مسائل ذکر شده در بالا نیاز است تا روش‌های آنالیز برگشتی برای بهبود نتایج و سرعت بخشیدن به محاسبات همگرایی میان داده‌های اندازه‌گیری شده از محل و آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی و محاسبه شده به کار برده شود، که منجر به ذخیره زمان و هزینه می‌شود. به طور کلی

[3] -Three Dimensional Back Analysis

برای آنالیز معکوس، روش‌های دقیق[۴]، ابتکاری[۵] و فوق ابتکاری[۶] وجود دارد که می‌توانند از ابزارهای بهینه‌سازی خطی و غیرخطی از جمله الگوریتم ژنتیک[۷]، شبکه عصبی[۸]، استراتژی تکاملی[۹]، روش گرادیان[۱۰] (مشتق) و غیره استفاده نمایند.

در این پایان‌نامه در فصل در ابتدا مروری بر روش‌های آنالیز برگشتی موجود در تونل می شود و ابزارهای بهینه سازی نیز بیان می گردند. روش آنالیز برگشتی و ابزار بهینه سازی دقیق مورد استفاده در این پایان نامه در همین فصل بیان می گردند. در فصل دوم مشخصات پروژه تونل انتقال آب دشت ذهاب در کرمانشاه بیان گردیده و در نهایت در فصل آخر مدلسازی عددی پدیده آنالیز برگشتی و بهینه سازی پارامترهای مجهول موجود بیان می‌گردد.

[4]-Exact approach
[5]- Heuristic
[6]- Meta-Heuristic
[7]- Genetic Algorithm
[8]-Neural Network
[9]-Evolutionary Strategy Algorithm
[10]- Gradient-Based Method

فصل اول

کاربرد روش‌های آنالیز برگشتی در طراحی ساختارهای زیرزمینی

۱-۱-مقدمه

یکی از مشکلات عمده برای مهندسین ژئوتکنیک در طی مراحل پروژه این است که با یک روش قابل اعتماد، پارامترهای مکانیکی سازگار با مدل تشکیل دهنده را حدس بزنند. در مرحله اجرای پروژه، این پارامترها می‌توانند با استفاده از آزمایش‌های برجا در آزمایشگاه محاسبه شوند، اما این آزمایش‌ها منجر به یک سری عدم قطعیت می‌شود که به علت تغییر خاک و خصوصیات مکانی آزمایش است که معرف توده خاک نمی‌باشد. بعلاوه برای تحلیل آزمایشات برجا، یک سری مشکلات وجود دارد که به علت خصوصیت ناهمگنی تنش و کرنش موجود در محل است که به توده خاک اعمال می‌شود. برای کاستن این تردیدها، مهندسین ژئوتکنیک از آنالیز معکوس در طی ساخت، استفاده می‌کنند.برای ارزیابی خصوصیات مکانیکی زمین در جبهه کار تونل، یک روش آنالیز معکوس سه بعدی[1] پیشنهاد می‌گردد. مقادیر مدول الاستیسیته، نسبت پواسون و شش مولفه تنش اولیه زمین، توسط این روش تعیین می‌گردند.امروزه استفاده از روش آنالیز معکوسخیلی معمول نبوده و زمانی که استفاده می‌گردد از طرح‌های علمی پیروی نمی‌کند. امتیاز کلی آن به کار بردن داده های ابزاربندی بدون اتلاف هزینه و زمان می‌باشد [۵].

در بسیاری از موارد نیاز است تا مسئله بهینه‌سازی را با استفاده از روش‌های دیگری به جز روش‌های بهینه‌سازی دقیق حل کرد. البته در برخی مسائل می‌توان از ابزارهای بهینه‌سازی دقیق استفاده کرد ولی در بسیاری از موارد نیاز به روش‌های دیگری است که روش‌های ابتکاری و فراابتکاری نام دارند. روش‌های آنالیز معکوس در بسیاری از موارد می‌تواند راه‌گشایی برای حل مسائل در زمینه‌های مکانیک سنگ، ژئوتکنیک و غیره باشد. روش‌های آنالیز معکوس به طور کلی روش‌هایی هستند که از ابزارهای ابزاربندی استفاده می‌کنند و در حین روش به تابع خطا یا تابع ارزش می‌رسند که باید با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی حل گردند. روش‌های آنالیز معکوس و ابزارهای بهینه‌سازی در فصل اول بیان

[1] -Three Dimensional Back Analysis

می‌گردند. از امتیازات روش‌های آنالیز برگشتی سرعت حل بالا و جواب بهینه نسبتاً دقیق می‌باشد. از اشکالات این روش‌ها این است که نمی‌توانند جواب بهینه مطلق را تضمین کنند بدان معنا که مجموعه‌ای جواب‌های بهینه را در پایان فرایند بهینه‌سازی به دست می‌دهند. از روش‌های بهینه‌سازی که از پدیده‌های طبیعی الهام می‌گیرند، الگوریتم کلنی مورچه، کلنی زنبور عسل، الگوریتم ژنتیک و ... می‌باشند. استفاده از روش های بهینه سازی امروزه بسیار متداول شده است و مهندسین در بسیاری از مسائل از این روش ها استفاده می کنند.

در کل روش‌های بهینه‌سازی را می‌توان به صورت روش‌های دقیق، ابتکاری و فراابتکاری تقسیم کرد. در قسمت روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری و فراابتکاری، تقسیم‌بندی کلی روش‌های بهینه‌سازی مورد استفاده در آنالیز معکوس آورده می‌شود. در ابتدا مدل‌های مورد استفاده برای آنالیز معکوس و سپس روش آنالیز معکوس به کار رفته برای حل مجهولات سیستم و در پایان روش‌های بهینه‌سازی مسائل آنالیز معکوس بیان می‌شوند. روش‌های آنالیز معکوس دقیق روش‌هایی هستند که بر پایه ریاضی بنا شده‌اند و از یک اساس ریاضی برای حل مسئله معکوس استفاده می‌کنند.. امتیاز اصلی این روش‌ها حل دقیق جواب می‌باشد ولی زمان محاسبه برای حل جواب‌ها به طور معکوس بسیار زیاد می‌باشد، در ضمن این اشکال مربوط به این روش‌ها منجر به هزینه‌های محاسباتی طاقت فرسا و زمان زیادی می‌گردد. بدین منظور روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مسائل مربوط به آنالیز معکوس به کار رفتند تا بتوانند جواب بهینه را با درصد قابل قبولی به دست آورند. اکثر این روش‌ها از پدیده‌های موجود در طبیعت الهام گرفته و پدیده‌های طبیعی را شبیه‌سازی می‌کنند. از جمله روش‌های دقیق می‌توان به جستجوی تک متغیره، جستجوی تک متغیره متناوب[۲] و تکنیک جستجوی الگویی[۳] اشاره کرد. از روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری و فراابتکاری می‌توان به شبیه‌سازی سرد شده آهسته، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم حرکت هجومی ذره‌ها، روش‌های گرادیان، روش‌های اتفاقی[۴]، روش‌های ترکیبی[۵]،

[2]-Alternative Univariate Method
[3]-Pattern Search Technique
[4]-Stochastic Methods

الگوریتم کلنی مورچه[۶]،کلنی زنبور عسل[۷] و غیره نام برد. روش‌های ابتکاری و فراابتکاری کاربردهای زیادی در مسائل مختلف از جمله مسائل مربوط به ترافیک، شبیه‌سازی مسیرها، مسئله فروشنده دورگرد[۸] و غیره دارند. از مهمترین امتیازات این روش‌ها جواب نسبتاً مناسب و سرعت بالای آن‌ها است و از اشکالات این روش‌ها می‌توان به عدم تضمین جواب بهینه مطلق اشاره کرد.در قسمت اول این فصل مدل‌های به کار رفته در آنالیز معکوس، نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، روش‌های آنالیز معکوس بیان می‌گردد و در ادامه این فصل، روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری و فوق ابتکاری بیان می‌گردند [۶].

۱-۲- آنالیز برگشتی و فرایندهای بهینه سازی در حل مسائل مربوط به آنالیز برگشتی

به طور کلی می توان آنالیز برگشتی را فرایندی تعریف کرد که در آن با استفاده از نتایج آزمایشات برجا و اندازه گیری های موجود در فیلد و با استفاده از برخی پارامترها بخصوص جابجایی ها می توان پارامترهای طراحی سیستم نگهداری را به دست آورد. در این فرایند با استفاده از جابجایی های اندازه گیری شده و به روش معکوس پارامترهای مورد نیاز در آنالیز برگشتی به دست می آیند. استفاده از این روش نهایتاً منجر به یک تابع هدف یا تابع خطا می شود که باید با روش های موجود بهینه سازی شود که با استفاده از این تابع هدف می توان پارامترهای سیستم نگهداری را به دست آورد. امروزه روش های آنالیز برگشتی روز به روز گسترش می یابند و روش های بهینه سازی بسیار زیادی نیز همراه با آن ها پدیدار می شوند. در این فصل مختصری از الگوریتم های موجود در روش های آنالیز برگشتی بیان می شود متعاقباً مختصری از مدل های موجود در روش های آنالیز برگشتی، روش های موجود در آنالیز برگشتی و در نهایت مروری بر روش های بهینه سازی مورد استفاده در روش های آنالیز برگشتی می‌گردد.

---

[5]-Hybrid Methods
[6]-Ant Colony Algorithm
[7]-Bee Colony Algorithm
[8] -Travelling Salesman Problem

۱-۲-۱- روش‌های مشاهده‌ای

هدف کلی تکنیک‌های تحلیل عددی از جمله روش‌های المان محدود از سال ۱۹۶۰ تاکنون، فراهم ساختن ابزارهای قدرتمند برای مراحل طراحی مهندسی می‌باشد. این تکنیک‌ها همچنین در دیگر زمینه‌های مهندسی نیز کاربرد دارند که در مسائل مهندسی ژئوتکنیک اغلب برای شبیه‌سازی مراحل ساخت برای تعیین اهداف طراحی به طور جزئی به کار می‌روند. برای حالت ساخت، ساختارهای زیرزمینی شبیه‌سازی عددی ممکن است برای نشان دادن ترتیب وقایع طبیعی در ساخت به کار نرود. به هر حال، با مشکل بودن استفاده از این روش‌ها مهندسین ژئوتکنیک تلاش دارند تا رفتارهای سازه‌های زیرزمینی را در میان محدودیت‌ها و مجموعه‌های ناقصی از داده‌های ورودی پیش‌بینی کنند.

۱-۲-۲- مقایسه دو روش آنالیز معکوس و آنالیز مستقیم

در حال حاضر نیاز است که کاربردهای آنالیز معکوس که بهترین بیان در مقایسه با آن‌هایی است که آنالیز مستقیم را تشکیل می‌دهند، و اینکه چگونه می‌تواند به عنوان یک روش مشاهده‌ای[9] مورد استفاده قرار گیرد شرح داده شود. شکل (۱-۱) سیکل یک روش مشاهده‌ای را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۱-۲)، یک آنالیز مستقیم با تعریف یک مدل مکانیکی و پارامترهایی که برای توصیف خصوصیات آن مورد نیاز می‌باشد، شروع می‌شود. با پیگیری مسیر F_1، یک آنالیز مستقیم هدایت می‌شود. نتایج ممکن است با محاسبات موردنیاز برای ارزیابی وضعیت کنونی تنش و کرنش مقایسه شوند. اگر نیاز باشد، میزان‌سازی[10] پارامتری انجام می‌گیرد تا تطابق بهتری بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده صورت گیرد که به صورت مسیر F_2 نشان داده شده است. برای برخی از حالات، تنها میزان‌سازی پارامتری منجر به توصیف بهتر حقیقت نمی‌شود که همچنین نیاز به یک مدل مکانیکی F_3 دارد. این روش می‌تواند با کمک گرفتن از ابزار بهینه‌سازی[11] ریاضی به طور مکانیزه درآید

---

[9]- Observational Method
[10] -Tuning
[11]-Optimization Approach