بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد رشته‌ی مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

عنوان پایان‌نامه

ارائه‌ی روشی جدید در تحلیل پایداری شیب های خاکی با استفاده از روش های تعادل حدی

استاد راهنما:

دکتر محمّد حاجی‌عزیزی

استاد مشاور:

دکتر فواد کیلانه‌ئی

نگارش:

پیمان کیلانه‌ئی

آذر ماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی‌ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی

دانشجو:

پیمان کیلانه‌ئی

تحت عنوان

ارائه‌ی روشی جدید در تحلیل پایداری شیب های خاکی با استفاده از روش های تعادل حدی

در تاریخ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر محمّد حاجی‌عزیزی با مرتبه علمی استادیار امضاء

۳- استاد مشاور : دکتر فواد کیلانه‌ئی با مرتبه علمی استادیار امضاء

۴- استاد داور داخلی: دکتر با مرتبه علمی استادیار امضاء

۴- استاد داور خارجی: دکتر با مرتبه علمی استادیار امضاء

تقدیم به:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

سپاسگزاری

پروردگار متعال را شاکرم که در طی مسیر پژوهش مرا مورد عنایت و الطاف بی‌پایان خود قرار داده است.

از جناب آقای دکتر محمّد حاجی عزیزی استاد راهنما و جناب آقای دکتر فواد کیلانهٔ استاد مشاور، بخاطر راهنمایی‌های ارزنده و پربار ایشان که همواره روشن‌کننده مسیر در این پژوهش بوده‌اند، صمیمانه سپاسگزارم.

از پدر و مادر عزیزم که همواره مشوق من در دوران تحصیل بوده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر محمّد حسن شرفی و جناب آقای دکتر جهانگیر خزائی، که زحمت بازخوانی و داوری این رساله را پذیرا شدند، تشکر می‌نمایم.

چکیده:

تحلیل پایداری شیروانی در مسائل مختلف مهندسی ژئوتکنیک از جمله خاکریزها، مقاطع جاده‌ها، معادن روباز، حفاری‌ها، کانال‌ها، محل‌های دفن زباله به کار می‌رود. یک مدل مناسب برای ارزیابی پایداری شیروانی می تواند کمک قابل توجهی در کاهش خطرات زمین شناسی شیب داشته باشد. روش تعادل حدی رایج‌ترین شیوه در آنالیز پایداری شیروانی است. در این روش، مسئله از نظر استاتیکی نامعین می باشد و فرضیاتی برای نیروهای برشی بین قطعه‌ای لازم است تا مساله از لحاظ استاتیکی معین گردد. براساس فرضیات مربوط به نیروهای داخلی و معادلات تعادل نیرو و لنگر، بیش از ده روش برای آنالیز پایداری شیروانی توسعه یافته است که مشهورترین آن‌ها شامل فلنیوس، بیشاب، جانبو، لاو و کارافه، اسپنسر، مورگنشترن – پرایس و ... می‌باشند. در این تحقیق یک روش تعادل حدی جدید در حالت دو بعدی و سه بعدی ارائه شده است که تمامی شرایط تعادل را تامین می‌کند. در این روش شکل سطح لغزش دایروی و قطعات در امتداد شعاع سطح لغزش لحاظ شده‌اند. نوآوری تحقیق حاضر در شکل قطعات به صورت قطاع است که موجب حذف شدن فرضیات متداول در روش تعادل حدی می‌گردد. معادلات تعادل نیرو و گشتاور، بدون هیچ‌گونه فرض ساده کننده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند بنابراین انتظار می‌رود که روش مذکور در محاسبه‌ی ضریب اطمینان از خطای کمتری برخوردار باشد. روش ارائه شده دو بعدی برای حالت‌های شبه دینامیکی و سه بعدی نیز بسط داده شده است. به منظور محاسبه‌ی ضریب اطمینان با استفاده از روش‌های پیشنهادی، سه مدل عددی با استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن توسعه یافته است که جهت ارضای همزمانِ معادلات تعادل نیرو و گشتاور، از روش تکراری (روش سعی و خطا) استفاده می‌نمایند. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی و کارآیی مدل توسعه داده شده چندین آزمون با شرایط مختلف انجام شده است که نتایج بدست آمده تطابق خوبی با دیگر روش‌ها دارد.

کلمات کلیدی: شیب‌های خاکی، ضریب اطمینان، روش تعادل حدی، تحلیل سه بعدی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تعریف و بیان مسئله

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- بیان مسئله ۲
۱-۳- روش تحقیق ۳
۱-۴-اهداف کلی پایان نامه ۳
۱-۵- فرضیات تحقیق ۴
۱-۶- ساختار پایان نامه ۴

فصل دوم: مروری بر منابع و تحقیقات انجام شده

۲-۱- مروری بر مفاهیم پایه و روش‌های تعادل حدی ۶
۲-۱-۱- ضریب اطمینان ۶
۲-۱-۲- مبانی تحلیل پایداری شیب ۸
۲-۱-۳- روش‌های حدی ۸
۲-۱-۳-۱- روش خطوط مشخصه ۸
۲-۱-۳-۲- روش تحلیل حدی ۹
۲-۱-۳-۳- روش تعادل حدی ۱۰
۲-۱-۴- روش‌های عددی ۱۲
۲-۱-۵- روش‌های جسم آزاد منفرد ۱۲
۲-۱-۵-۱- شیروانی نامحدود ۱۲
۲-۱-۵-۲- روش منحنی لگاریتمی ۱۴
۲-۱-۵-۳- روش دایره سوئدی ۱۴
۲-۱-۶- روش‌های قطعات ۱۵
۲-۱-۶-۱- روش معمولی قطعات (فلینویس) ۱۵
۲-۱-۶-۲- روش بیشاب اصلاح شده ۱۶
۲-۱-۶-۳- روش تعادل نیروها ۱۷
۲-۱-۶-۴- روش‌های تعادل کامل ۱۹
۲-۱-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه روش‌های تعادل حدی ۲۲
۲-۲- مروری بر روش‌های پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های خاکی ۲۴
۲-۲-۱- روش بلوک لغزان ۲۵
۲-۲-۲- روش تحلیل دینامیکی ۲۶
۲-۲-۳- تحلیل‌های شبه دینامیکی شیروانی‌های خاکی ۲۶
۲-۲-۴- بررسی پارامترهای موثر بر ضریب زلزله شبه دینامیکی ۲۷
۲-۲-۵- روش‌های ارائه شده برای انتخاب ضریب زلزله شبه دینامیکی ۲۸

۲-۳- مروری بر روش‌های سه بعدی آنالیز پایداری شیروانی ۲۸
۲-۳-۱- روش‌های ارائه شده مبتنی بر مفهوم تعادل حدی ۲۹
۲-۳-۱-۱- روش هاولند ۳۰
۲-۳-۱-۲- روش چن و چامئو ۳۲
۲-۳-۱-۳- روش هانگر ۳۷
۲-۳-۱-۴- روش یوگای و هوسبری ۳۹
۲-۳-۲- آنالیز سه بعدی پایداری شیب نامتقارن ۴۲
۲-۳-۲-۱- فرمول بندی روش مورگنشترن پرایس ۴۲
۲-۳-۲-۲- فرمول بندی روش بیشاب و جانبو ۴۸

فصل سوم: تشریح روش پیشنهادی و مدل عددی

۳-۱- مقدمه ۵۱
۳-۲- روش ارائه شده برای محاسبه ضریب اطمینان دو بعدی ۵۲
۳-۲-۱- المان بندی شیروانی خاکی ۵۲
۳-۲-۱-۱- محاسبه مساحت المان‌ها ۵۵
۳-۲-۱-۲- محاسبه مرکز سطح المان‌ها ۵۵
۳-۲-۱-۳- محاسبه فشار آب حفره‌ای در هر المان ۵۶
۳-۲-۲- معادلات تعادل حدی دو بعدی ۵۷
۳-۲-۲-۱- معادلات تعادل نیرو ۵۷
۳-۲-۲-۲- معادله تعادل لنگر ۵۹
۳-۲-۳- محاسبه ضریب اطمینان دو بعدی ۶۰
۳-۲-۴- توسعه یک مدل عددی برای محاسبه ضریب اطمینان دو بعدی ۶۰
۳-۳- روش ارائه شده برای محاسبه ضریب اطمینان شبه دینامیکی ۶۳
۳-۳-۱- معادلات تعادل حدی در روش شبه دینامیکی ۶۳
۳-۳-۱-۱- معادله تعادل نیرو ۶۴
۳-۳-۱-۲- معادله تعادل لنگر ۶۶
۳-۳-۲- محاسبه ضریب اطمینان شبه دینامیکی ۶۷
۳-۳-۳- توسعه مدل عددی برای محاسبه ضریب اطمینان شبه دینامیکی ۶۸
۳-۴- روش ارائه شده برای محاسبه ضریب اطمینان سه بعدی ۶۹
۳-۴-۱- المان بندی شیروانی خاکی در حالت سه بعدی ۷۰
۳-۴-۱-۱- معادله سطح لغزش و صفحه شیروانی ۷۰
۳-۴-۱-۲- قطاع بندی سطح لغزش و المان بندی هر قطاع ۷۱
۳-۴-۱-۳- تعیین حدود تغییرات y و مختصات نقاط المان سه بعدی ۷۴
۳-۴-۲- معادلات تعادل حدی سه بعدی ۷۵
۳-۴-۲-۱- محاسبه وزن المان‌ها ۷۶
۳-۴-۲-۲- محاسبه زاویه بردار N با محورهای مختصات و زاویه کف هر المان نسبت به افق ۷۶

۳-۴-۲-۳- محاسبه γ_{xi} و γ_{xi+1} در هر المان ۷۷
۳-۴-۲-۴- محاسبه γ_{Yi} و γ_{Yi+1} در هر المان ۷۷
۳-۴-۲-۵- معادلات تعادل نیرو در هر المان ۷۸
۳-۴-۲-۶- تعادل کلی نیرو در جهت لغزش ۷۹
۳-۴-۲-۷- تعادل کلی لنگر ۸۰
۳-۴-۳- روش زیر تخفیف ۸۰
۳-۴-۴- محاسبه‌ی ضریب اطمینان سه بعدی ۸۱
۳-۴-۵- توسعه مدل عددی برای محاسبه‌ی ضریب اطمینان سه بعدی ۸۳

فصل چهارم: ارزیابی و کارایی روش پیشنهادی

۴-۱- مقدمه ۸۷
۴-۲- مثال یک ۸۷
۴-۳- مثال دو ۸۸
۴-۴- مثال سه ۸۹
۴-۵- مثال چهار ۹۰
۴-۶- مثال پنج ۹۱
۴-۷- مثال شش ۹۳
۴-۸- مثال هفت ۹۵
۴-۹- مثال هشت ۹۶
۴-۱۰- مثال نه ۹۷
۴-۱۱- نتیجه‌گیری ۹۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۰
۵-۲- پیشنهادات برای ادامه کار ۱۰۲

پیوست یک:

برنامه دو بعدی و شبه دینامیک ۱۰۳

پیوست دو:

برنامه سه بعدی ۱۱۳

مراجع ۱۴۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- شیروانی نامحدود ۱۳
شکل ۲-۲- شکل سطح گسیختگی در روش منحنی لگاریتمی..... ۱۴
شکل ۲-۳- سطح گسیختگی مربوط به روش دایره سوئدی..... ۱۴
شکل ۲-۴- دیاگرام آزاد نیروها در روش فلنیوس ۱۵
شکل ۲-۵- دیاگرام آزاد نیروها در روش بیشاب..... ۱۶
شکل ۲-۶- دیاگرام آزاد نیروها در روش تعادل نیرو..... ۱۸
شکل ۲-۷- نیروهای بین قطعه‌ای در روش اسپنسر..... ۱۹
شکل ۲-۸- سیستم مختصات استفاده شده در روش اسپنسر..... ۲۰
شکل ۲-۹- دیاگرام آزاد نیروها در روش اسپنسر..... ۲۰
شکل ۲-۱۰- نمایش نیروهای وارد بر بلوک لغزان در آستانه لغزش..... ۲۵
شکل ۲-۱۱- مقطع برای آنالیز دو بعدی پایداری شیروانی..... ۳۱
شکل ۲-۱۲- پلان، مقطع و نمای سه بعدی یک ستون خاک..... ۳۱
شکل ۲-۱۳- گسیختگی بلوکی..... ۳۳
شکل ۲-۱۴- گسیختگی دوار(قاشقی شکل) ۳۳
شکل ۲-۱۵- دیاگرام جسم آزاد بلوک محرک ۳۴
شکل ۲-۱۶- دیاگرام جسم آزاد بلوک مقاوم ۳۴
شکل ۲-۱۷- دیاگرام جسم آزاد بلوک مرکزی ۳۵
شکل ۲-۱۸- دیاگرام جسم آزاد یک ستون..... ۳۶
شکل ۲-۱۹- نیروهای وارده به یک ستون مجزا..... ۳۸
شکل ۲-۲۰- توده لغزشی سه بعدی تقسیم شده به ستونهای قائم..... ۳۹
شکل ۲-۲۱- نیروهای وارده بر یک ستون..... ۴۰
شکل ۲-۲۲- فرض جهت عمل کردن نیروی برآیند بین ستونی Q در روش اسپنسر..... ۴۰
شکل ۲-۲۳- محاسبه‌ی ضریب اطمینان کل..... ۴۱
شکل ۲-۲۴- نیروهای داخلی و خارجی اعمالی بر یک ستون خاک..... ۴۳
شکل ۲-۲۵- امتداد لغزش یکسان برای تمامی ستون‌های خاک..... ۴۳
شکل ۲-۲۶- رابطه بین زاویه برشی و زاویه برشی تصویر شده در صفحهxy..... ۴۵
شکل ۲-۲۷- الف)-تعادل افقی نیرو درجهت y ب)- تعادل افقی نیرو درجهت x ۴۶
شکل ۲-۲۸- تعادل لنگر در جهت x,y..... ۴۷
شکل ۳-۱- سطح گسیختگی دایروی که به قطعات شعاعی تقسیم شده است..... ۵۲
شکل ۳-۲- دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر یک قطعه..... ۵۳
شکل ۳-۳- محل مرکز سطح المان ۵۵
شکل ۳-۴- نمایش ارتفاع پیزومتریک آب..... ۵۷
شکل ۳-۵- فلوچارت محاسبه ضریب اطمینان دو بعدی..... ۶۲

شکل ۳-۶- سطح گسیختگی دایروی به همراه شتاب افقی زلزله ۶۴
شکل ۳-۷- دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر یک قطعه در روش شبه دینامیک..... ۶۴
شکل ۳-۸- توده لغزشی سه بعدی و تقسیم آن به قطاع هایی با فواصل مساوی..... ۷۰
شکل ۳-۹- نقاط ابتدا و انتهای هر قطاع..... ۷۱
شکل ۳-۱۰- المان بندی هر قطاع در امتداد شعاع..... ۷۲
شکل ۳-۱۱- شماره نقاط هر المان روی یک قطاع..... ۷۲
شکل ۳-۱۲- المان سه بعدی و شماره گذاری نقاط آن ۷۵
شکل ۳-۱۳- دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر المان سه بعدی..... ۷۶
شکل ۳-۱۴- تبدیل المان سه بعدی به المان دو بعدی..... ۸۲
شکل ۳-۱۵- فلوچارت محاسبه ضریب اطمینان سه بعدی..... ۸۵
شکل ۴-۱- هندسه شیروانی مثال اول ۸۷
شکل ۴-۲- هندسه شیروانی و سطح تراز آب ۸۸
شکل ۴-۳- هندسه شیروانی و شتاب افقی زلزله اعمالی ۸۹
شکل ۴-۴- هندسه شیروانی و شتاب افقی زلزله اعمالی ۹۰
شکل ۴-۵- هندسه شیروانی برای خاک دانه‌ای..... ۹۱
شکل ۴-۶- هندسه شیروانی برای خاک چسبنده..... ۹۳
شکل ۴-۷- مقطع عرضی شیروانی سه بعدی ارائه شده توسط ژانگ..... ۹۵
شکل ۴-۸- سطح گسیختگی سه بعدی و ضریب اطمینان محاسبه شده..... ۹۶
شکل ۴-۹- هندسه و مشخصات شیروانی همگن..... ۹۷
شکل ۴-۱۰- محاسبه‌ی ضریب اطمینان سطح لغزش کروی..... ۹۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال یک.....۸۸
جدول ۴-۲- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال دو.....۸۹
جدول ۴-۳- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال سه ۹۰
جدول ۴-۴- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال چهار.....۹۱
جدول ۴-۵- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال پنج ۹۲
جدول ۴-۶- نیروهای برشی بین قطعه‌ای محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال پنج.....۹۲
جدول ۴-۷- ضریب اطمینان محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال شش.....۹۳
جدول ۴-۸- نیروهای برشی بین قطعه‌ای محاسبه شده توسط روش‌های مختلف برای مثال شش.....۹۴
جدول ۴-۹- مقایسه ضرایب اطمینان برای حالتی که لایه ضعیف و آب زیر زمینی در شیروانی وجود ندارد.....۹۵
جدول ۴-۱۰- نتایج مدل عددی سه بعدی برای تعداد المانهای متفاوت ۹۸

فصل اول

تعریف و بیان مساله

۱-۱- مقدمه

به توده‌های خاکی که نسبت به سطح افق به صورت شیب دار ایستاده باشند، شیروانی خاکی گفته می‌شود. این شیروانی‌ها ممکن است طبیعی یا مصنوعی باشند. اصولاً ممکن است در اثر عواملی چون وزن خاک، وجود آب، تأثیر بارهای خارجی، کاهش عوامل مقاومتی و پاره‌ای عوامل دیگر این شیروانی‌ها به صورت یک سطح گسیختگی فرو ریزد. این گسیختگی که به سمت پایین شیروانی است اگر بر روی سطح مشخصی به نام سطح گسیختگی صورت گیرد، لغزش نامیده می‌شود در غیر این صورت که حرکت بخشی از خاک بر سطح مشخصی نیست جابه جایی آن را سیلان و در مواردی فرو ریزش می‌نامند.

نتیجه لغزش یا شکست یک شیب می‌تواند باعث از دست رفتن بهره برداری در نظر گرفته شده برای آن شیب و یا حتی باعث از دست رفتن جان عدّه‌ای انسان گردد. بنابراین تحلیل پایداری شیبهای خاکی یکی از مباحث مهم در مهندسی عمران و از مسائل اساسی در طراحی سدهای خاکی، راهها، کانالها و خاکریزها است. تحلیل پایداری شیب به فرآیندی اطلاق می‌گردد که طی آن ایمنی یک شیروانی طبیعی یا مصنوعی کنترل گردد، بطوری که آن شیب ممکن است در اثر گود برداری یا خاکریزی ایجاد شده باشد. این کنترل شامل محاسبه‌ی تنشهای برشی ایجاد شده در امتداد بحرانی‌ترین و محتمل‌ترین سطح لغزش و مقایسه‌ی آن با مقاومت برشی خاک می‌باشد.

یافتن سطح لغزش بحرانی شیبها و محاسبه‌ی ضریب اطمینانِ نظیر این سطح، دو مفهوم اساسی در مباحث آنالیز پایداری شیبهای خاکی است. تعیین بحرانی‌ترین سطح لغزش از این جهت حائز اهمیّت است که محاسبه حداقل مقدار ضریب اطمینان که معمولاً هدفِ انجام تحلیل پایداری است در این سطح لغزش اتفاق می‌افتد.

۱-۲- بیان مسئله

روشهای تعادل حدی از قدیمی‌ترین روشها در تعیین سطح لغزش بحرانی و کمینه ضریب اطمینان می‌باشند. در روشهای تعادل حدی با فرض یک سطح گسیختگی و تأمین معادلات تعادل استاتیکی برای این سطح، مقدار ضریب اطمینان محاسبه می‌گردد. همچنین در این روشها تعداد معادلات تعادل از تعداد مجهولات کمتر است و به همین دلیل معمولاً فرضیاتی اضافی برای معین شدن مساله در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس فرضیات مربوط به نیروهای داخلی و معادلات تعادل نیرو و لنگر بیش از ده روش برای آنالیز پایداری شیروانی در حالت تعادل حدی توسعه یافته است که هر یک از این روش‌ها بر اساس فرضیات مختصِ خود، به محاسبه ضریب اطمینان می‌پردازند. تمامی این روش‌ها قطعات را به صورت قائم در نظر می-گیرند و روش‌هایی که معادله تعادل لنگر را تامین می‌کنند با صفر فرض کردن لنگر مربوط به نیروهای برشی، معادله مذکور را ارضا می‌نمایند. حال اگر قطعات در امتداد شعاع سطح گسیختگی در نظر گرفته شوند این فرض خود به خود تامین می‌گردد. همچنین در روش‌های تعادل حدی به نظر می‌رسد اگر بتوان فرضیات ساده کننده را هر چه بیشتر کاهش داد ضریب اطمینان با دقّت بالاتری محاسبه می‌شود.

۱-۳- روش تحقیق

در این پایان نامه با فرض شکل قطعات در امتداد شعاع سطح گسیختگی دایروی و کاهش فرضیات ساده کننده تا حد امکان، معادلات تعادل حدی در حالت دو بعدی ارائه می‌شوند. همچنین این روابط، با در نظر گرفتن اثرات ارتعاشات زلزله توسط یک نیروی استاتیکی ثابت که به مرکز جرم هر قطعه وارد می‌شود برای حالت شبه دینامیکی نیز توسعه یافته است. در ادامه و با توجه به گسترش استفاده از روش‌های تحلیل سه بعدی در آنالیز پایداری شیروانی، روابط ارائه شده در حالت دو بعدی با فرضیات خاصی به حالت سه بعدی بسط داده شده است.

به منظور محاسبهِ ضریب اطمینان با استفاده از روش‌های پیشنهادی، سه مدل عددی با استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن توسعه داده شده است. در این مدل‌ها، ابتدا مشخصات شیب خاکی از جمله هندسه شیب و خواص مقاومتی خاک بعنوان ورودی تعریف می‌شود. سپس گوهِ لغزش معرفی می‌گردد و بر اساس تعداد تقسیماتی که کاربر آن را تعیین می‌نماید، گوه‌ی لغزش منقطع می‌شود. در گام بعد، مختصات هر گره از این قطعات تعیین می‌گردد. با تعیین مختصات گره‌های هر قطعه می‌توان مساحت، وزن، زاویهِ کف نسبت به افق، مرکز سطح یا مرکز حجم و بازوی لنگر هر قطعه را تعیین نمود. برای محاسبهِ ضریب اطمینان باید پروسه‌ای طی شود که بطور همزمان معادلات تعادل نیرو و لنگر تامین شوند که در این تحقیق برای دسترسی به این هدف، از روش تکراری (سعی و خطا) استفاده شده است. در نهایت برای ارزیابی روش پیشنهادی و کارآیی مدل‌های توسعه داده شده چندین آزمون با شرایط مختلف انجام شده است که نتایج بدست آمده تطابق خوبی با روشهایی که کلیه معادلات تعادل را تامین می‌کنند، دارد.

۱-٤- اهداف کلی پایان نامه

هدف از تحقیق حاضر این است که با استفاده از روش تعادل حدی و در نظر گرفتن شکل قطعات به صورتی خاص (در امتداد شعاع سطح گسیختگی)، فرضیات ساده کننده را تا حد امکان کاهش داد و در

ادامه با ارضا نمودن کلیه معادلات تعادل، ضریب اطمینان را با دقّت بالاتری محاسبه نمود. پس از حصول به نتایج مناسب، روش پیشنهاد شده برای حالت شبه دینامیکی و سه بعدی نیز به کار گرفته می‌شود.

۱-۵- فرضیات تحقیق

فرضیات در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر بشرح ذیل است:

- خاک شیروانی همگن است.
- مدل گسیختگی موهر- کولمب معتبر است
- سطح گسیختگی در حالت دو بعدی دایروی و درحالت سه بعدی کروی است.
- رابطه مورگنشترن- پرایس ($X=\lambda f(x)E$) که بیانگر ارتباط بین نیروی برشی و قائم بین قطعات می‌باشد، معتبر است.

۱-٦- ساختار پایان نامه

فصل اول

- در این فصل به بیان مسئله و روش تحقیق پرداخته شده است و موضوع مورد بررسی به طور کلی تشریح شده است.

فصل دوم

- این فصل شامل سه بخش است که در بخش اول به مفاهیم پایه و روش‌های دو بعدی پایداری شیروانی پرداخته شده است. در بخش دوم روش‌هایی که پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های خاکی را بررسی می‌کنند، ارائه می‌شوند. روش‌های سه بعدی آنالیز پایداری شیروانی و فرضیات مربوط به آنها نیز در بخش سوم بیان می‌گردند.

فصل سوم

- این فصل نیز شامل سه بخش است که فرضیات و روابط مربوط به حالت دو بعدی، حالت شبه دینامیکی و حالت سه بعدی بترتیب در بخشهای اول، دوم و سوم ارائه شده است.

فصل چهارم

- صحت سنجی نتایج در این فصل آمده است.

فصل پنجم

- در این فصل به جمع‌بندی و ارائه کلیه نتایج بدست آمده در این تحقیق پرداخته و پیشنهادات برای مطالعات آتی ذکر شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع و تحقیقات انجام شده

۲-۱- مروری بر مفاهیم پایه و روش‌های دو بعدی تعادل حدی

سطوح شیبدار خاکی یکی از عوارض طبیعی یا مصنوعی مهم می‌باشند که پایداری آنها در مسائل مهندسی ژئوتکنیک از اهمیّت خاصی برخورداراست. شیب‌های خاکی مصنوعی در اجرای بسیاری از سازه های مهندسی مانند سدهای خاکی، خاکریز بستر راه و راه آهن، مخازن ذخیره آب، دایک‌های حفاظتی، خاکریز کانال و غیره احداث می‌شوند این در حالی است که شیب‌های خاکی طبیعی در دامنه کوهها و تپه ها و یا در هنگام اجرای عملیات خاکبرداری ایجاد می‌گردند. به طور کلی عوامل ناپایدار کننده شیب های خاکی را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم نمود:

الف) عواملی که باعث کاهش نیروهای مقاوم می‌شوند.

ب) عواملی که موجب افزایش نیروهای محرک می‌گردند.

از جمله عوامل گروه "الف" می‌توان به افزایش رطوبت خاک (به صورت طبیعی مانند بارندگی یا به صورت مصنوعی مانند نشت آب از مخازن کانالهای خطوط لوله و غیره) و انجام حفاری در پایین دست شیب را نام برد. عواملی مانند زلزله یا سایر نیروهای دینامیکی، حرکات زمین ساختی (مانند فعال شدن گسل)، بارگذاری طبیعی یا مصنوعی، از جمله عوامل متعلق به گروه "ب" می‌باشند. [۱]

مسائل و مشکلات مهمی در مورد پایداری شیب‌ها اغلب در رابطه با ساختمانهای بزرگراهها، کانال-ها و خاکریزها مطرح می‌گردند. به همین دلیل در اغلب موارد، مهندسین عمران پایداری شیروانیهای طبیعی و نیز ترانشه‌ها و خاکریزهای متراکم را کنترل می‌کنند. این کنترل شامل تعیین و مقایسه تنش برشی موجود، در امتداد سطح ممکن و محتمل گسیختگی، با مقاومت برشی خاک است. این کار اصطلاحاً بررسی پایداری شیروانیهای خاکی نامیده می‌شود.

۲-۱-۱- ضریب اطمینان

از وظایف یک مهندس در ارتباط با تحلیل شیروانی‌های خاکی، تعیین مقدار ضریب اطمینان می‌باشد. معمولاً ضریب اطمینان به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} \qquad (۱-۲)$$

که در این رابطه: F_s: ضریب اطمینان، τ_f: مقاومت برشی متوسط خاک و τ_d: تنش برشی متوسط موجود در امتداد سطح بالقوه گسیختگی می‌باشد. مقاومت برشی خاک طبق رابطه موهر کولمب در برگیرنده دو عامل چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک است و طبق رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\tau_f = c + \sigma \tan\varphi \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه، c: چسبندگی، φ: زاویه اصطکاک داخلی خاک و σ: مقدار متوسط تنش قائم موثر بر سطح بالقوه گسیختگی است. به همین ترتیب نیز مقدار تنش برشی متوسط موجود در امتداد سطح بالقوه گسیختگی از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan\varphi_d \qquad (۳-۲)$$

در این رابطه، c_d و φ_d بترتیب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی موجود و به کار گرفته شده در امتداد سطح بالقوه گسیختگی است.

با جایگزینی روابط (۲-۲) و (۲-۳) در رابطه‌ی (۲-۱) خواهیم داشت:

$$F_s = \frac{c+\sigma \tan\varphi}{c_d+\sigma \tan\varphi_d} \qquad (۴-۲)$$

از زوایای دیگری نیز می‌توان به ضریب اطمینان نگریست و به شکلهای دیگر آن را نشان داد که به عنوان نمونه می‌توان به ضریب اطمینان نسبت به چسبندگی، F_c و نسبت به زاویه اصطکاک داخلی، F_φ که بصورت زیر تعریف شده‌اند، اشاره کرد:

$$F_c = \frac{c}{c_d} \quad , \quad F_\varphi = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_d} \qquad (۵-۲)$$

زمانی که روابط (۲-۴) و (۲-۵) با هم مقایسه می‌شوند، ملاحظه می‌گردد وقتی Fc با Fφ برابر می‌شوند، همان ضریب اطمینان رابطه (۲-۴) حاصل می‌شود. به عبارت دیگر چنانچه

$$\frac{c}{c_d} = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_d} \qquad (۶-۲)$$

می‌توان نوشت:

$$F_s = F_c = F_\varphi \qquad (۷-۲)$$

زمانی که F_s برابر با یک باشد، در این حالت احتمال گسیخته شدن شیروانی خاکی قریب الوقوع خواهد بود. در طراحی شیروانی معمولاً اعمال ضریب اطمینانی برابر با ۱/۵، مناسب است. [۲]