بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحققیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی
گروه عمران

پایان نامه جهت اخذدرجه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران

گرایش خاک و پی

عنوان پایان نامه

مطالعه آزمایشگاهی موقعیت شمع ها در پایداری شیب های خاکی

استاد راهنما:

دکتر محمد حاجی عزیزی

استاد مشاور:

دکتر حمید توپچی نژاد

نگارش:

مسلم باولی

اسفند ماه ۱۳۹۲

دانشکده فنی مهندسی

گروه عمران

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی عمران

گرایش خاک و پی

دانشجو:

مسلم باولی

تحت عنوان

مطالعه آزمایشگاهی موقعیت شمع ها در پایداری شیب های خاکی

در تاریخ **۱۳۹۲/۱۲/۰۷** توسط هیأت داوران بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱-	استاد راهنما	دکتر محمد حاجی عزیزی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۲-	استاد مشاور	دکتر حمید توپچی نژاد	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۳-	استاد داور داخل گروه	دکتر حسن شرفی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۴-	استاد داور خارج گروه	دکتر علیرضا باقریه	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء

تقدیم به خدایی که آفرید

به پدر و مادر عزیزتر از جانم که لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه-

های زیبای زندگی ام، مدیون

حضور سبز شان است.

و برادران و خواهر عزیزم که وجودشان مایه ی آرامش و دلگرمی

من است و هستی ام در آرزوی احیای ذره ای از

زحماتشان تداوم دارد.

و همسر گرامیم که همواره یار و مشوقم بوده و گام هایم را در پیمودن راه تحصیل به ویژه تهیه این رساله استواری بخشیده است.

تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او را نداانند و کوشندگان، حق او را گذاردن، نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او با زبان قاصر و دست ناتوان چیزی بنگاریم. اما تجلیل از معلم، سپاس از آنی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده ایم، تضمین.

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرزانه و دلسوزم جناب آقای دکتر محمد حاجی عزیزی که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نموده و همواره راهنما و راهگشای من در اکمال و اتمام پایان نامه بوده است.

با سپاس بیکران از استاد محترم جناب آقای دکتر توپچی نژاد که با حسن و فروتنی و راهنمایی های بی دریغ مشاوره ی رساله را بر عهده داشتند.

و بهچنین بر خود لازم می دانم تا از حمایت های همه جانبه ی مدیریت محترم شرکت سرا گستران جاوید خصوصاً جناب آقای مهندس هومن بنیانی، عضو هیئت مدیره این شرکت، و بهچنین از مدیریت محترم آموزشگاه علمی مارال، خانم مهندس احمدی و خانم مهندس آزاد کمال تشکر و سپاسگذاری را داشته باشم.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده:

پایدارسازی شیب‌های خاکی و پیشنهاد راهکارهای گوناگون، یکی از مسائل مطرح و مهم در مهندسی ژئوتکنیک است. استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی در پایدارسازیِ شیب‌های خاکی به کمکِ شمع، از روش‌های متداولی است که توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بهینه‌یابی مکان شمع به منظور پایدارسازی شیب‌های خاکی با استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی توسط محققین مختلف، منجر به نتایج متعددی شده است که این سوال را در ذهن طراح مطرح می‌کند که بهترین مکانِ واقعی برای نصب شمع کجاست؟ به نظر می‌رسد که جایِ مطالعات آزمایشگاهی برای این منظور خالی است که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود. مطالعات آزمایشگاهیِ انجام شده در این تحقیق قادر است که گرهِ ایجاد شده در نتایج مختلف و گاه متضاد تحلیل‌های عددی را برای یافتن مکانِ بهینه شمع باز کند. مطالعهِ آزمایشگاهی مذکور، برای شیب خاکیِ ماسه‌ای انجام شده است که توسط بارش اشباع می‌گردد و پس از اشباع شدن تحت بارگذاری قرار می گیرد. با قرار دادن شمع در مکان‌های مختلف و اشباع کردن شیب خاکی توسط بارش و بارگذاری آن ها، نتایج قابل توجه و معقولی بدست آمده است که می‌تواند راهگشای مناسبی برای طراحان باشد. تمام مدل‌های آزمایشگاهیِ انجام شده، توسط روش‌های تعادل حدی و اجزاء محدود نیز مدل‌سازی و مقایسه شده‌اند که تطابق خوبی با یکدیگر دارند.

کلمات کلیدی:

پایدارسازی، شیروانی خاکی، شمع، موقعیت بهینه، مطالعه آزمایشگاهی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: تعریف و بیان مسئله

بخش اول: تعریف و بیان مسئله..... ۲

۱-۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۱-۲- بیان مسئله..... ۲

۱-۱-۳- روش تحقیق..... ۲

۱-۱-۴- ساختار پایان نامه..... ۳

بخش دوم: مفاهیم مطرح در تحلیل پایداری شیب های خاکی..... ۴

۱-۲-۱- مقدمه..... ۴

۱-۲-۲- ضریب اطمینان..... ۴

۱-۲-۳- سطح لغزش بحرانی..... ۷

۱-۲-۴- تحلیل دو بعدی و سه بعدی..... ۹

۱-۲-۵- روش‌های حدی..... ۱۲

۱-۲-۵-۱- روش خطوط مشخصه..... ۱۳

۱-۲-۵-۲- روش تحلیل حدی..... ۱۳

۱-۲-۵-۳- روش تعادل حدی..... ۱۵

۱-۲-۶- روش های عددی..... ۱۶

۱-۲-۶-۱- روش اجزای محدود..... ۱۷

بخش سوم: انواع شمع های مسلح کننده..... ۲۱

۱-۳-۱- مقدمه..... ۲۱

۱-۳-۲- انواع شمع و مشخصات سازهای آن ها..... ۲۲

۱-۳-۲-۱- شمع های فولادی..... ۲۲

۱-۳-۲-۲- شمع های بتنی..... ۲۳

۱-۳-۲-۳- شمع های چوبی..... ۲۴

۱-۳-۲-۴- شمع های مرکب (مختلط)..... ۲۴

۱-۳-۲-۵- شمع های اتکایی..... ۲۵

۱-۳-۲-۶- شمع های اصطکاکی..... ۲۵

۱-۳-۲-۷- شمع های تراکمی..... ۲۵

۱-۳-۳- پایدارسازی شیروانی ها توسط شمع..... ۲۶

فصل دوم: پیشینه تحقیق

پیشینه تحقیق..... ۳۱

فصل سوم: مدل سازی آزمایشگاهی

۳-۱- مقدمه..... ۵۵
۳-۲- تجهیزات آزمایشگاه..... ۵۵
۳-۳- نحوه‌ای اجرای آزمایشات..... ۵۹
۳-۴- مدل‌های آزمایش..... ۵۹
۳-۴-۱- مدل شماره ۱..... ۶۱
۳-۴-۲- مدل شماره ۲..... ۶۲
۳-۴-۳- مدل شماره۳..... ۶۳
۳-۴-۴- مدل شماره ۴..... ۶۴
۳-۴-۵- مدل شماره ۵..... ۶۶
۳-۴-۶- مدل شماره ۶..... ۶۸
۳-۴-۷- مدل شماره ۷..... ۷۰
۳-۴-۸- مدل شماره ۸..... ۷۱
۳-۴-۹- مدل شماره ۹..... ۷۳
۳-۴-۱۰- مدل شماره۱۰ ..... ۷۵
۳-۴-۱۱- مدل شماره ۱۱..... ۷۷
۳-۴-۱۲- مدل شماره ۱۲..... ۸۱

فصل چهارم: مدل سازی عددی

۴-۱- تحلیل شیروانی به کمک نرم افزارژئوآفیس..... ۸۳
۴-۱-۱- مشخصات مصالح..... ۸۳
۴-۱-۲- نتایج ۸۴
۴-۱-۲-۱- مدل در حالت بدون شمع(مدل شماره۴)..... ۸۴
۴-۱-۲-۲- مدل در حالتی که شمع در وسط قرار دارد(مدل شماره۱۰)..... ۸۴
۴-۱-۲-۳- مدل در حالتی که شمع در بالا قرار دارد(مدل شماره۱۱)..... ۸۵
۴-۱-۲-۴- مدل در حالتی که شمع در پایین قرار دارد(مدل شماره۱۲)..... ۸۵
۴-۲- تحلیل شیروانی به کمک نرم افزار پلکسیس..... ۸۶
۴-۲-۱- مشخصات مصالح..... ۸۶
۴-۲-۲- نتایج ۸۷
۴-۲-۲-۱- مدل در حالت بدون شمع(مدل شماره۴)..... ۸۷
۴-۲-۲-۲- مدل در حالتی که شمع در وسط قرار دارد (مدل شماره۱۰)..... ۸۷
۴-۲-۲-۳- مدل در حالتی که شمع در بالا قرار دارد (مدل شماره ۱۱)..... ۸۸
۴-۲-۲-۴- مدل در حالتی که شمع در پایین قرار دارد(مدل شماره ۱۲)..... ۸۸

فصل پنجم: شرح و تفسیر نتایج

۵-۱- مقدمه ۹۰

۵-۲- جداول..... ۹۰
۵-۳- نمودارها..... ۹۱

فصل ششم:آنالیز ابعادی

۶-۱- مقدمه ۹۵
۶-۲- آنالیز ابعادی در شیروانی‌های خاکی..... ۹۶
۶-۳- محاسبه مقیاس کاملمدل های تست شده..... ۹۷
نتیجه گیری..... ۹۹
پیشنهادات..... ۱۰۰
پیوستها..... ۱۰۲
منابع..... ۱۱۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱- یک شیب خاکی با سطح لغزش دایره‌ای با درنظر گرفتن نیروهای وارد بر یک قطعه جهت محاسبه‌ی ضریب اطمینان.....۵
شکل۱-۲- برخی از سطوح لغزش و توده‌های لغزشی.....۸
شکل۱-۳- مفاهیم مرتبط با توده لغزش.....۸
شکل۱-۴- مدهای گسیختگی دورانی و انتقالی در شیب‌ها.....۱۲
شکل۱-۵-شیروانی پایدارسازی شده با استفاده از شمع ها ۲۷
شکل۱-۶-دیوار محافظت پیوسته.....۲۸
شکل ۱-۷-دیوار محافظت ناپیوسته.....۲۹
شکل۲-۱- نمودار دانه بندی خاک شیروانی و دانه‌های ستون‌های سنگی.....۳۲
شکل۲-۲- باکس آزمایشگاه.....۳۳
شکل۲-۳- پی استفاده شده روی شیروانی.....۳۳
شکل۲-۴- مشخصات هندسی شیروانی.....۳۴
شکل۲-۵- مدل هندسی شیروانی در پلکسیس.....۳۴
شکل۲-۶-تغییرات میزان ظرفیت باربری به نشست پی به عرض پی.....۳۵
شکل۲-۷- باکس آزمایشگاه.....۳۶
شکل۲-۸- تغییرات ضریب اطمینان نسبت به درجه تراکم.....۳۷
شکل۲-۹- تغییرات ضریب اطمینان نسبت به زاویه شیب.....۳۷
شکل۲-۱۰- سنسورهای تغییر شکل.....۳۸
شکل۲-۱۱- سنسورهای رطوبت.....۳۸
شکل۲-۱۲- باکس آزمایشگاه.....۳۹
شکل۲-۱۳- مدل‌های فرض شده برای آزمایش.....۳۹
شکل۲-۱۴- نمودارهای تغییرات فشار آب حفره ایی،جابجایی نسبت به زمان برای حالت های ۱و۲.....۴۰
شکل۲-۱۵- نمودارهای تغییرات فشار آب حفره ایی،جابجایی نسبت به زمان برای حالت های ۳ و۴.....۴۰
شکل۲-۱۶- تغییرات عرض تاج شیروانی و رابطه آن با منطقه اشباع.....۴۱
شکل۲-۱۷-هندسه شیروانی در آزمایشگاه.....۴۲
شکل۲-۱۸-هندسه شیروانی.....۴۲
شکل۲-۱۹- حرکت برداری گسیختگی در دو حالت مسلح و غیر مسلح.....۴۳
شکل۲-۲۰- تغییرات نشست پی.....۴۴
شکل۲-۲۱- هندسه شیروانی.....۴۵
شکل ۲-۲۲- وضعیت شیروانی در حالت یک.....۴۶
شکل ۲-۲۳- وضعیت شیروانی در حالت دو.....۴۶
شکل ۲-۲۴- تغییرات آب انباشته شده نسبت به ضریب اطمینان.....۴۷

شکل ۲-۲۵-وضعیت شیروانی در حالت سه ۴۷
شکل ۲-۲۶-وضعیت شیروانی در حالت چهار ۴۸
شکل ۲-۲۷- نمای کلی از منطقه زمین لغزش..... ۴۹
شکل ۲-۲۸-وضعیت شیروانی در حالت‌های بررسی شده..... ۵۰
شکل ۲-۲۹-تاثیر سطح آب زیر زمینی درمقدارضریب اطمینان در سال ۱۹۸۹..... ۵۰
شکل ۲-۳۰- تاثیر سطح آب زیر زمینی در مقدار ضریب اطمینان در سال ۱۹۹۱..... ۵۱
شکل ۳-۱-باکس آزمایشگاه..... ۵۶
شکل ۳-۲-ترازو و الک..... ۵۶
شکل۳-۳-ماسه..... ۵۶
شکل۳-۴-منحنی دانه بندی..... ۵۷
شکل۳-۵- منحنی تنش برشی-تنش نرمال ماسه استفاده شده در آزمایشگاه..... ۵۸
شکل۳-۶-شمع بتنی و شن وماسه‌ی رنگی..... ۵۸
شکل۳-۷-هندسه شیروانی..... ۶۰
شکل۳-۸-تابلوی پیزومتر، جهت اندازه گیری فشار آب منفذی در شیروانی..... ۶۰
شکل۳-۹-شستگی جزیی در مدل شماره ۱..... ۶۱
شکل۳-۱۰-گسیختگی کامل در مدل شماره ۱..... ۶۲
شکل۳-۱۱-شستگی جزیی در مدل شماره ۲..... ۶۳
شکل۳-۱۲-گسیختگی کامل در مدل شماره ۳..... ۶۴
شکل ۳-۱۳-گسیختگی کامل در مدل شماره ۴..... ۶۴
شکل۳-۱۴-موقعیت شمع در شیروانی..... ۶۵
شکل ۳-۱۵-هندسه شیروانی مدل شماره ۵..... ۶۶
شکل ۳-۱۶-موقعیت شمع در مدل شماره ۵ ..... ۶۶
شکل ۳-۱۷- مدل آزمایشگاهی شماره۵..... ۶۷
شکل۳-۱۸- بارگذاری روی مدل شماره ۵..... ۶۸
شکل ۳-۱۹- هندسه شیروانی مدل شماره۶..... ۶۸
شکل۳-۲۰- بارگذاری روی مدل شماره ۶..... ۶۹
شکل ۳-۲۱- هندسه شیروانی مدل شماره ۷..... ۷۰
شکل ۳-۲۲- گسیختگی کامل در مدل شماره ۷..... ۷۱
شکل ۳-۲۳- هندسه شیروانی مدل شماره۸..... ۸۲
شکل۳-۲۴- گسیختگی کامل در مدل شماره ۸..... ۷۳
شکل۳-۲۵- هندسه شیروانی مدل شماره۸..... ۷۳
شکل۳-۲۶- سیستم بارگذاری..... ۷۵
شکل۳-۲۷- هندسه شیروانی مدل شماره ۱۰..... ۷۵
شکل۳-۲۸- گسیختگی کامل در مدل شماره ۱۰..... ۷۶
شکل۳-۲۹- هندسه شیروانی مدل شماره ۱۱..... ۷۷

شکل ۳-۳۰- موقعیت شمع در مدل شماره ۱۱ ۷۷
شکل ۳-۳۱- مدل آزمایشگاهی شماره ۱۱ ۷۸
شکل ۳-۳۲- گسیختگی کامل در مدل شماره ۱۱ ۷۹
شکل ۳-۳۳-هندسه شیروانی مدل شماره۱۲ ۷۹
شکل۳-۳۴- موقعیت شمع در مدل شماره ۱۲ ۸۰
شکل۳-۳۵- گسیختگی کامل در مدل شماره ۱۲ ۸۱
شکل۴-۱- گسیختگی شیروانی در وضعیت بدون شمع در نرم افزار ژئوآفیس ۸۴
شکل۴-۲-گسیختگی شیروانی در وضعیت شمع در وسط، در نرم افزار ژئوآفیس ۸۴
شکل۴-۳-گسیختگی شیروانی در وضعیت شمع در بالا، در نرم افزار ژئوآفیس ۸۵
شکل۴-۴-گسیختگی شیروانی در وضعیت شمع در پایین، در نرم افزار ژئوآفیس ۸۵
شکل۴-۵-گسیختگی شیروانی در وضعیتبدون شمع در نرم افزار پلکسیس ۸۷
شکل۴-۶-گسیختگی شیروانی در وضعیت شمع در وسط، در نرم افزار پلکسیس ۸۷
شکل۴-۷-گسیختگی شیروانی در وضعیتشمع در بالا، در نرم افزار پلکسیس ۸۸
شکل۴-۸-گسیختگی شیروانی در وضعیت شمع درپایین، در نرم افزار پلکسیس ۸۸
شکل۵-۱- ضریب اطمینان شیروانی در حالت بدون شمع ۹۱
شکل۵-۲- مقایسه ضریب اطمینان شیروانی مسلح به شمع در موقعیت های مختلف، بدون اعمال بار ۹۲
شکل۵-۳- مقایسه بار بحرانی برای شیروانی مسلح به شمع در موقعیت های مختلف به کمک مدل های آزمایشگاه، پلکسیس و ژئوآفیس ۹۳
شکل ۶-۱- هندسه شیروانی خاکی در حالت مقیاس کامل ۹۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مشخصات خاک شیروانی و دانه‌های ستون سنگی..... ۳۲
جدول ۲-۲- تغییرات ظرفیت باربری نسبت به ستون‌ها به قطر..... ۳۵
جدول۲-۳- تغییرات نشست نسبت به ستون‌ها به قطر..... ۳۵
جدول ۲-۴- خلاصه نتایج مقاله دوم..... ۳۷
جدول ۲-۵- مشخصات آزمایشات مقاله سوم ۳۹
جدول ۲-۶- مدل‌های آزمایشگاهی و شرایط آن..... ۴۳
جدول ۲-۷- مقادیر بحرانی از پارامترهای ژئوگرید..... ۴۴
جدول ۲-۸- مقدار ضریب اطمینان برای حالت‌های مختلف..... ۴۸
جدول۲-۹- خلاصه دیدگاه محققان نسبت به بهینه ترین موقعیت شمع در شیروانی های خاکی در مدل‌های عددی..... ۵۳
جدول ۳-۱- مشخصات دانه بندی ماسه..... ۵۷
جدول ۳-۲-مشخصات ماسه..... ۵۹
جدول ۴-۱- مشخصات مصالح در نرم افزار ژئوآفیس..... ۸۳
جدول۴-۲- مشخصات مصالح در نرم افزار پلکسیس..... ۸۶
جدول ۵-۱- نتایج بدست آمده از مدل های عددی..... ۹۰
جدول ۵-۲- مقایسه بار بحرانی در روش های مختلف..... ۹۱
جدول ۶-۱- تبدیل مقیاس..... ۹۷
جدول ۶-۲- خلاصه مقایسه مدل آزمایشگاهی با مدل واقعی با ضریب مقیاس $\frac{1}{100}$..... ۹۸

فصل اول

تعریف و بیان مسئله

بخش اول: تعریف و بیان مسئله

۱-۱-۱- مقدمه

همه ساله زمین لغزش های فراوانی در نقاط مختلف جهان رخ می دهد و متأسفانه در برخی از موارد این زمین لغزش ها باعث وارد شدن خسارات مالی و حتی جانی شده است. تأمین پایداری شیروانی های خاکی، چه شیروانی های طبیعی و چه مصنوعی، یک مسئله اساسی در مهندسی ژئوتکنیک است. استفاده از شمع در شیروانی های خاکی یکی از تکنیک های نوین پایدارسازی در چند سال اخیر است که مطالعات موفقی در این زمینه انجام شده است و روش های مشهوری در زمینه آنالیز شیروانی های مسلح به شمع توسعه داده شده اند. تمامی این مطالعات نشان می دهند که شمع ها می توانند به عنوان عامل مؤثر جهت تثبیت و افزایش ضریب اطمینان شیروانی ها در برابر لغزش استفاده شوند.

۱-۱-۲- بیان مسئله

همانطور که گفته شد، شمع ها می توانند به عنوان عامل مؤثر جهت تثبیت و افزایش ضریب اطمینان شیروانی ها در برابر لغزش استفاده شوند. اما سوالی که در این زمینه وجود دارد این است که: بهینه ترین موقعیت شمع در پایدارسازی شیروانی های خاکی کجاست؟ تا به حال مطالعات تئوری فراوانی در این زمینه صورت گرفته است. بر اساس این مطالعات تئوری، نتایج متفاوتی هم بدست آمده که در برخی از موارد این نتایج متناقض و متضاد یکدیگر هستند. انجام مطالعات آزمایشگاهی می تواند ما را در رسیدن به پاسخ این سوال کمک کند که در این پایان نامه به آن پرداخته شده است.

۱-۱-۳- روش تحقیق

شیروانی مورد نظر با تراکم خاص ومشخص داخل باکس آزمایشگاه ساخته شد و سپس تحت بارندگی مصنوعی قرار گرفت. بعد از گسیختگیِ شیروانی، به کمک شمع در موقعیت‌های مختلف مسلح گردید و

تحت بارندگی مصنوعی و در نهایت تحت بارگذاری قرار گرفت که نتایج مطلوبی از این آزمایشات به دست آمد.

لازم به ذکر است که در ادامه ی کار، مدل‌های آزمایشگاهی به کمک نرم افـزارهای Geo–Office نسخه 2007 و Plaxis8X صحت سنجی گردیده اند.

۱-۱-٤- ساختار پایان نامه

- فصل اول

در این فصل که شامل سه بخش می‌باشد به اطلاعاتی راجع به بیان مسئله و روش تحقیق، تعاریفِ اولیه شیروانی‌های خاکی و همچنین شمع پرداخته شده است. در بخش اول به بیان مسئله و روش تحقیق، در بخش دوم به مفاهیم اساسیِ شیروانی خاکی همچون ضریب اطمینان، سطح لغزش بحرانی، انواع روش های تحلیل شیروانی‌های خاکی و در بخش سوم به تعریف شمع و روش‌های اجرای آن پرداخته شده است.

- فصل دوم

در این فصل در بخش اول مروربیر کارهای آزمایشگاهیِ مرتبط با شیروانی‌های خاکی ودر بخش دوم به پیشینه کارهای عددی که راجع به موقعیت بهینه شمع انجام داده اند، پرداخته شده است.

- فصل سوم

در این فصل که با عنوان مدل سازی آزمایشگاهی آورده شده است تمام جزئیاتِ تجهیزات آزمایشگاه، مدل‌های آزمایش و نحوه‌ی اجرای آن به طور مفصل شرح داده شده است. در مدل‌ها از بارندگی مصنوعی و همچنین بارگذاری استفاده شده است.بعد از ساختن مدل غیر مسلح و گسیخته شدن آن توسط بارش مصنوعی، مدلبه طور جداگانه در سه ناحیه (نزدیک تاج شیروانی–وسط شیروانی–نزدیک پنجه شیروانی) به کمکشمعمسلح گردیده و هر کدام از آنها تحت بارندگی مصنوعی و بارگذاری قرار گرفته اندو در نهایت مشاهده گردیده که در یک حالت از این مدل‌ها شیروانی بار بزرگتری تحمل می کندکه آن هم زمانی است که شمع در وسط قرار گرفته است.

- فصل چهارم

در این فصل به تحلیلِ عددیِ مدل های ساخته شده در آزمایشگاه می پردازیم.در ابتدا به کمک نرم افزار اسلوپ از مجموعه نرم افزار ژئو آفیس به روش تعادل حدی مدل‌ها را تحلیل کرده و سپس همین مدل‌ها را

به کمک نرم افزار پلکسیس به روش اجزاء محدود نیز تحلیل کرده‌ایم که نتایج قابل قبولی به دست آمد که با مدل سازی آزمایشگاهی تطابق قابل قبولی دارد.

- فصل پنجم

در این فصل به تفسیر و مقایسه نتایج نرم افزار و آزمایشگاه می پردازیم.

- فصل ششم

این فصل به آنالیز ابعادی مدل‌ها پرداخته و مدل‌های آزمایشگاه را با مدل واقعی مقیاس کرده است.

در بخش های بعدی به نتیجه گیری تحقیق پرداخته شده، پیشنهادات و منابع مورد استفاده برای این تحقیق نیزدر این بخش آورده شده است.

بخش دوم: مفاهیم مطرح در تحلیل پایداری شیب‌های خاکی

۱-۲-۱- مقدمه

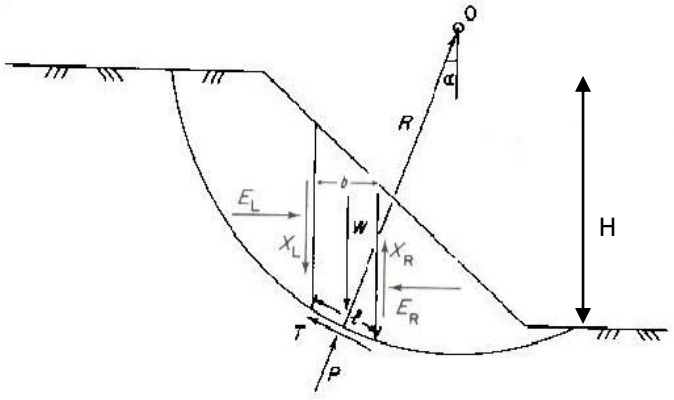
تحلیل پایداری شیروانی یکی از مسایل اساسی مکانیک خاک است که اهمیت ویژه‌ای در مهندسی ژئوتکنیک دارد. تحلیل پایداری شیروانی به فرآیندی اطلاق می‌گردد که طی آن ایمنی یک شیروانی طبیعی یا مصنوعی که ممکن است در اثر گودبرداری یا خاکریزی ایجاد شده باشد، کنترل گردد.این کنترل شامل محاسبه تنش‌های برشی ایجاد شده در امتداد بحرانی ترین و محتمل ترین سطح لغزش و مقایسه آن با مقاومت برشی خاک می‌باشد. تحلیل پایداری شیروانی‌ها با وجود متغییرهایی نظیر لایه بندی و مقاومت برشی درجای خاک کار دشواری است. وجود تراز آب زیرزمینی در خاک و انتخاب بحرانی‌ترین سطح لغزش بر پیچیدگی حل مسأله می‌افزاید.

در این بخش چند مفهوم اساسی مطرح در تحلیل پایداری شیروانی‌ها شامل ضریب اطمینان، سطح لغزش و مفهوم آنالیز دوبعدی و سه بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۲- ضریب اطمینان

تعریف ضریب اطمینان شیروانی‌ها در برابر گسیختگی‌ها از مفاهیم قابل بحث در تحلیل پایداری شیروانی‌ها است. تاکنون تعاریف متعددی برای این ضریب ارائه شده است که هرکدام جنبه‌های منفی و

مثبتی دارند. در حالت کلی هدف نهایی از تحلیل پایداری یک شیروانی، تعیین ضریب اطمینان آن در مقابل لغزش و گسیختگی است تحلیل های دو بعدی و سه بعدی با توجه به روش انتخابیِ تحلیل، دارای تعاریف مختلفی از ضریب اطمینان هستند هر چند روابط مختلف ضریب اطمینان یک هدف مشخص را دنبال می‌کنند که در واقع نشان دادن نسبت بین تنش‌های برشی ایجاد شده در محتمل‌ترین سطح لغزش به مقاومت برشی خاک است.



شکل ۱-۱ یک شیب خاکی با سطح لغزش دایره‌ای با درنظر گرفتن نیروهای وارد بر یک قطعه جهت محاسبه‌ی ضریب اطمینان

شکل(۱-۱)یک شیروانی به ارتفاع H را نشان می‌دهد. به منظور بررسی پایداری این شیروانی به روش تعادل حدی یک خط لغزش محتمل رسم می شود و شرایط پایداری توده بالای سطح لغزش مورد بررسی قرار می‌گیرد. این توده ممکن است تحت اثر نیروهای متعددی قرار داشته باشد، اما جهت سهولت در شکل فقط به بررسی نیروی W اکتفا شده است. نیروهای وارد بر توده، موجب پیدایش گشتاور محرک هستند. این گشتاور موجب چرخش توده لغزشی در طول کمان دایره از بالا به پایین می شود. برای متعادل کردن این گشتاور متحرک تنش‌های برشی در طول خط لغزش محتمل در نظر گرفته می‌شوند در نتیجه رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$W.l = R\int \tau . ds \qquad (۱-۱)$$

نظر به اینکه شیروانی در حالت تعادل پایدار است توزیع تنش های برشی τ که در معادله فوق آورده شده یک توزیع بحرانی نیست. بنابراین یک فاصله ایمنی وجود دارد که ارزیابی آن با ضریب اطمینان FS امکان پذیر است. به کمان مشخص شده می‌توان یک مقدار عددی معین ضریب ایمنی را مرتبط نمود. این

عمل می‌تواند برای خطوط مختلف لغزش محتمل تکرار شود و کمانی که دارای کمترین مقدار ضریب اطمینان است، بدست آید. این مقدار، مشخص کننده ایمنی در برابر گسیختگی شیروانی مورد نظر است.

یکی از روش‌های بسیار متداول در تخمین ضریب اطمینان، جایگزین کردن مشخصات مکانیکی φ , C مصالح با مشخصات کاهش یافته φ_d, C_d است. مشخصات کاهش یافته مقادیری هستند که به ازای آنها شیروانی به حد گسیختگی می‌رسد. غالبا" ضریب اطمینان نسبت به چسبندگی و اصطکاک داخلی یکسان درنظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب ضریب اطمینان به شکل زیر تعریف می شود:

$$FS = \frac{C}{C_d} = \frac{\tan\varphi}{\tan\varphi_d} \qquad (۲-۱)$$

FS : ضریب اطمینان کلی

φ, C : به ترتیب چسبندگی وزاویه اصطکاک داخلی خاک

φ_d, C_d : به ترتیب چسبندگی و زاویه اصطکاک بسیج شده در سطح لغزش بحرانی

برای مثال با جایگزین کردن رابطه (۱-۲) در رابطه (۱-۱) و با توجه به اینکه در این حالت توده در شرایط تعادل حدی است، می‌توان نوشت:

$$W.l = R\int(C_d + P\tan\varphi_d)ds = R\int\left(\frac{C}{F} + P\frac{\tan\varphi}{F}\right)ds \qquad (۳-۱)$$

البته برخلاف آنچه از ظاهر رابطه(۱-۳)برمی‌آید ضریب اطمینان در این رابطه با سعی و خطا محاسبه می‌شود. علت آن نیز فرضیاتی است که همزمان با معادله فوق در نظر گرفته می‌شود.

در برخی از روش‌های تعادل حدی علاوه بر معادلات تعادل لنگر، از معادلات تعادل نیروها نیز استفاده می‌شود، با این حال به طور کلی اصول محاسبه ضریب اطمینان با آنچه گفته شد تفاوتی ندارد.

همچنین رفتار خاک در روش‌های حدی به صورت خمیری کامل در نظر گرفته می‌شود و تغییر شکل‌های نسبی در توده‌ی لغزنده و نحوه تغییر آن در امتداد سطح لغزش محاسبه نمی‌شود. در اکثر موارد، مقاومت خاک تا محدوده‌ای از تغییر شکل ها افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد و به مقاومت پس ماند می‌رسد. بدین ترتیب هیچ گونه تضمینی وجود ندارد که مقاومت حداکثر خاک در سراسر سطح لغزش به