٤٨٤٢٦

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

بررسی پایداری شیب‌های خاکی مسلح به ژئوسنتتیک به روش اجزای محدود

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – خاک و پی

روناک قادری

اساتید راهنما

دکتر محمود وفائیان

دکتر بهروز کوشا

۱۳۸۲

۴۸۴۲۶

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده عمران

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک و پی خانم روناک قادری

تحت عنوان:

بررسی پایداری شیب‌های خاکی مسلح به ژئوسنتتیک به روش اجزای محدود

در تاریخ ۱۳۸۲/۴/۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای اول پایان‌نامه — دکتر محمود وفائیان

۲- استاد راهنمای دوم پایان‌نامه — دکتر بهروز کوشا

۳- استاد مشاور پایان‌نامه — دکتر حمید هاشم‌الحسینی

۴- استاد داور — دکتر کاظم فخاریان

۵- استاد داور — دکتر محمد علی روشن‌ضمیر

۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر مجید سرتلج

معبری به سوی آموختن به روی من گشوده شد، اما هنوز هزار بادهٔ ناخورده در رگ تاک است.

بجاست که از حمایت‌های بی‌دریغ اساتید راهنمایم، استاد فرزانه جناب آقای دکتر وفائیان و جناب آقای دکتر کوشا سپاسگزاری نمایم و به رهنمودهای صادقانه استاد مشاورم جناب دکتر هاشم‌الحسینی ارج نهم و از فرزانه محترم، آقای دکتر ذوالانوار مدرس ظرایف زندگی قدردانی نمایم.

از پدر و مادر مهربانم با تمام تلاش‌ها و حمایت‌هایشان، خانواده گرامیم با دلگرمی‌هایشان، سرکار خانم‌ها بهشتی و فروغی، آقایان محسن ناصری و فرشید مسیبی با کمک‌های سخاوتمندانه‌شان سپاس بجای می‌آورم و برای همه کسانی که در این راه زحمتی را بر خویش هموار نمودند آرزوی موفقیت و شادکامی دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نو آوری‌های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر بزرگوارم

فهرست مطالب

صفحه

عنـــــوان

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده ۱

فصل اول: کلیاتی در مورد تسلیح خاک

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ ژئوسنتتیک‌ها ۳

۱-۳ بررسی افزایش تأثیر مقاومتی تسلیح در نمونه خاک ۶

۱-۴ امتداد تسلیح ۷

۱-۵ توجیه افزایش مقاومت توده خاک مسلح با استفاده از دوایر موهر ۸

۱-۵-۱ افزایش مقاومت خاک مسلح ناشی از افزایش فشار جانبی ۹

۱-۵-۲ افزایش مقاومت خاک مسلح به علت افزایش چسبندگی در خاک ۱۰

۱-۶ فصل مشترک خاک وتسلیح ۱۱

فصل دوم: ادبیات تخصصی موضوع

۲-۱ مقدمه ۱۳

۲-۲ مطالعات تحلیلی ۱۳

۲-۳ مطالعات عددی و آزمایشگاهی ۲۰

فصل سوم: چگونگی کاربرد و اجرای نرم افزار پلاکسیس در بررسی شیب‌ها

۳-۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ معرفی داده‌های ورودی ۲۶

۳-۲-۱ انتخاب نوع مدل ۲۷

۳-۲-۲ انتخاب نوع المان ۲۷

۳-۲-۳ واحدهای مورد استفاده ۲۷

۳-۲-۴ رسم شکل هندسی سازه ۲۸

۳-۲-۵ تعیین خصوصیات مصالح ۲۸

عنـــــوان | صفحه

۳-۲-۶ شرائط مرزی ۲۸

۳-۲-۷ شبکه‌بندی ۲۸

۳-۲-۸ تعریف شرائط اولیه ۲۹

۳-۳ مرحلهٔ محاسبه ۲۹

۳-۴ داده‌های خروجی ۳۱

۳-۵ بررسی صحت مدل‌سازی‌های انجام شده ۳۳

۳-۵-۱ مورد اول ۳۳

۳-۵-۲ مورد دوم ۳۶

۳-۶ مقایسهٔ ضریب ایمنی حاصل از نرم افزار پلاکسیس با ضریب ایمنی حاصل از روش‌های حدی ۳۸

۳-۶-۱ شیب‌های غیر مسلح ۴۱

۳-۶-۲ شیب‌های مسلح ۴۲

فصل چهارم: نتایج

۴-۱ مقدمه و توضیح ۴۴

۴-۲ بررسی اثر سختی کششی تسلیح ۴۸

۴-۳ بررسی اثر تعداد لایه‌های تسلیح ۵۵

۴-۴ بررسی اثر زاویه شیب خاکریز ۵۷

۴-۵ بررسی اثر طول لایه‌های تسلیح ۵۹

۴-۶ بررسی اثر زاویه قرارگیری لایه‌های تسلیح نسبت به افق ۶۱

۴-۷ بررسی اثر ارتفاع شیب ۶۳

۴-۸ بررسی اثر زاویه اصطکاک خاک ۶۵

۴-۹ بررسی اثر زاویه اتساع خاک ۶۷

۴-۱۰ بررسی میزان تطابق سطوح محتمل لغزش با دایره یا اسپیرال لگاریتمی ۶۹

۴-۱۱ مقایسهٔ نتایج حاصل از محاسبات با نتایج ارائه شده در مقالات ۷۴

۴-۱۱-۱ نحوهٔ توزیع نیروی کششی تسلیح در ارتفاع شیروانی

عنـــــوان | صفحـه

و موقعیت نیروی کششی حداکثر در حالت بهره‌برداری ۷۴

۴-۱۱-۲ بررسی شکل سطح لغزش ۷۵

۴-۱۱-۳ بررسی محل شروع گسیختگی ۷۵

۴-۱۲ مقایسهٔ تأثیر پارامترهای تعداد، طول و سختی کششی تسلیح در افزایش ضریب ایمنی شیب ۷۷

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه ۷۹

۵-۲ نتایج ۸۰

۵-۳ پیشنهادها ۸۱

فهرست مراجع ۸۲

چکیده انگلیسی ۸۴

خلاصه

تسلیح خاک با استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به منظور افزایش مقاومت مجموعهٔ حاصل از خاک و تسلیح و به ویژه افزایش مقاومت کششی آن، یکی از مسائل مهم در حوزهٔ ژئوتکنیک می‌باشد. یکی از کاربردهای مهم ژئوسنتتیک‌ها به عنوان تسلیح، استفاده از آنها در شیب‌های خاکی به منظور افزایش پایداری و استحکام و نیز پایدار سازی شیب‌هایی است که بدون تسلیح نا پایدارند.

بر اساس مطالعات صورت گرفته، اغلب روش‌های طراحی شیروانی‌های خاکی مسلح به ژئوسنتتیک، بر اساس روش‌های حدی استوار می‌باشند. عدم تطابق فرضیات موجود در این روش‌ها با واقعیت می‌تواند منجر به بکارگیری تسلیح اضافی در نواحی غیر بحرانی شده و در نهایت، باعث غیر اقتصادی شدن شیب‌های خاکی مسلح گردد. با توجه به منابع موجود، در مورد اثر عوامل مختلف روی تغییرات توزیع نیروی کششی تسلیح و نیز شکل و موقعیت سطح پتانسیل لغزش، بررسی مناسبی انجام نگرفته است.

در این پایان‌نامه با استفاده از نرم‌افزار پلاکسیس ۷/۲ و به روش اجزاء محدود یک مطالعه پارامتریک انجام گرفته که در آن اثر پارامترهای سختی کششی تسلیح، تعداد لایه‌های تسلیح، زاویه شیب شیروانی، طول لایه‌های تسلیح، امتداد قرارگیری لایه‌های تسلیح نسبت به افق، ارتفاع شیروانی، زاویه اصطکاک و زاویه اتساع خاک، بر نحوه توزیع نیروی کششی تسلیح در ارتفاع شیب و موقعیت تسلیحی که حداکثر نیروی کششی در آن ایجاد می‌شود، جابه‌جایی‌ها و کرنش برشی حداکثر ایجاد شده در خاکریز، ضریب ایمنی خاکریز و موقعیت سطح لغزش، مورد بررسی قرار گرفته است. سپس میزات تطابق سطوح محتمل لغزش حاصل از انجام محاسبات پارامتریک، با منحنی دایره و اسپیرال لگاریتمی مورد بررسی واقع شده و میزان خطای حاصل، با استفاده از معیار سنجش آماری میانگین مربعات خطا مقایسه شده است.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی یزد
جهت مدارک

فصل اول
کلیاتی در مورد تسلیح خاک

۱-۱- مقدمه

خاک یکی از مصالح ساختمانی است که دارای مقاومت فشاری نسبتاً بالایی است ولی تقریباً فاقد مقاومت کششی می‌باشد. برای رفع این ضعف می‌توان خاک را مسلح نمود. تسلیح باعث افزایش مقاومت مجموعهٔ حاصل از خاک و مسلح کننده نسبت به اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن می‌شود.

ایدهٔ اصلی خاک مسلح از طبیعت گرفته شده است. نمونه‌های زیادی از شیبهای طبیعی وجود دارند که توسط ریشهٔ گیاهان مسلح شده‌اند. در واقع زمان نخستین تلاشها برای تقویت خاک در تاریخ مشخص نیست. استفاده از مواد طبیعی مانند چوب، نی، پوشال، پوست حیوانات و غیره به چند هزار سال پیش برمیگردد. بابلی‌ها بیش از ۳۰۰۰ سال پیش از خاک مسلح برای ساختن زیگوراتها (برجهای بلند هرمی شکل پلکاندار) استفاده کردند. همچنین چینیان باستان از چوب، بامبو و پوشال برای تقویت خاک استفاده کردند. اکنون سازه‌های خاک مسلحی در چین وجود دارند (مانند قسمتهایی از دیوار بزرگ چین) که به اندازهٔ تاریخ مسیح قدمت دارند. استفاده از پارچه برای کمک به ساخت جاده برروی زمین نرم به رومیان باستان مربوط می‌شود. آنان حصیر را

روی زمین باتلاقی قرار داده و سپس روی آن را با سنگدانه می‌پوشاندند [۱]. در کشور ما نیز ملات کاه گل نامی آشناست که از دیرباز مورد مصرف داشته است.

تکنیک جدید خاک مسلح در سال ۱۹۶۶ توسط مهندس فرانسوی به نام هنری وایدال[1] ابداع شد. او برای تسلیح خاک از نوارهای فلزی استفاده کرد. در سال ۱۹۶۶ نخستین دیوار خاک مسلح به ارتفاع ۵ متر به کمک وایدال در کوههای پیرنه ساخته شد و در سالهای ۱۹۶۷ و ۱۹۶۸ تکنیک خاک مسلح در هفت پروژهٔ بزرگ از جمله یک دیوار نگهبان ۲۳ متری در ایتالیا با موفقیت به کار گرفته شد. پس از آن استفاده از خاک مسلح در بسیاری کشورها متداول گردید [۲]. با ورود محصولات پلیمری ژئوسنتتیک به بازار، استفاده از آنها برای کاربردهای مختلف و از جمله تسلیح خاک به‌سرعت توسعه پیدا کرد. امروزه ژئوسنتتیک‌ها به دلیل خواص خوبی که دارند از جمله دوام، انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر خوردگی، وجود انواع نفوذپذیر و نفوذناپذیر و غیره، دارای کاربردهای بسیار گسترده و متنوعی در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشند و در سالهای اخیر میزان استفاده از آنها رشد محسوسی داشته است.

به‌طور کلی مصالحی که امروزه برای تسلیح خاک به‌کار می‌روند، نسبتاً سبک و انعطاف‌پذیر بوده و دارای مقاومت کششی بالایی می‌باشند. از جمله روشهای تسلیح خاک، می‌توان روشهای زیر را ذکر کرد:

۱- تسلیح با استفاده از نوارهای فلزی

۲- تسلیح با استفاده از ژئوسنتتیک‌ها

۳- تسلیح خاک به صورت تهیهٔ مخلوط همگنی از خاک و اجزای مسلح کننده

تسلیح خاک به روش اول و دوم باعث افزایش مقاومت‌های کششی، برشی و فشاری خاک می‌شود ولی تسلیح به روش سوم معمولاً مقاومت کششی را افزایش می‌دهد یا بعضی از ویژگی‌های مکانیکی خاک را بهبود می‌بخشد ولی لزوماً منجر به افزایش مقاومت‌های برشی و فشاری نمی‌گردد [۳].

۱-۲ ژئوسنتتیک‌ها[2]

تعریف ژئوسنتتیک‌ها [(۱۹۹۴) ، ASTM]:

ژئوسنتتیک‌ها محصولات مسطحی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده و به عنوان یک بخش جدایی ناپذیر در پروژه‌های مهندسی عمران به همراه خاک، سنگ، زمین یا سایر مصالح مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک

1- Henri Vidal
2 -Geosynthetics

به‌کار برده می‌شوند.

ژئوسنتتیک‌ها به پنج دستهٔ کلی ژئوتکستایل‌ها[1]، ژئوگریدها[2]، ژئونت‌ها[3]، ژئوممبرین‌ها[4] و ژئوکمپوزیت‌ها[5] تقسیم می‌شوند که در ادامه به‌طور مختصر به توصیف هر کدام از آنها می‌پردازیم.

الف- ژئوتکستایل‌ها

ژئوتکستایل‌ها منسوجات نفوذپذیری هستند (معمولاً مصنوعی) که به همراه خاک، سنگ یا هر مادهٔ مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک به کار برده می‌شوند تا عملکرد یا هزینهٔ سازه یا سیستم را بهبود بخشند(Koerner, 1986).

ژئوتکستایل‌ها کاربرد وسیعی داشته و آنها را به منظور جداسازی[6]، تسلیح[7]، فیلتراسیون[8]، زهکشی[9] و حفاظ رطوبتی[10] مورد استفاده قرار می‌دهند.

ژئوتکستایل‌ها خود به سه دستهٔ بافته‌شده[11]، بافته‌نشده[12] و ژئوتکستایل با بافت گرهی[13] تقسیم می‌شوند.

ب- ژئوگریدها:

ژئوگریدها به صورت شبکه‌هایی هستند که از تیرک‌های عمودی و افقی ساخته‌شده‌اند. ژئوگریدها نسبت به ژئوتکستایل‌ها سخت‌تر بوده و حفره‌های نسبتاً بزرگتری دارند و کاربرد آنها در دو زمینهٔ تسلیح (کاربرد اصلی) و جدا سازی (کاربرد ثانویه) می‌باشد.

انواع ژئوگریدها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- ژئوگریدهای تغییر شکل یافته که در یک یا دو جهت کشیده می‌شوند تا خصوصیاتشان تقویت شود و به‌منظور جداسازی و تسلیح به‌کار برده می‌شوند.

۲- شبکه‌هایی که از متصل کردن تسمه‌های پلیمری در نقاط تقاطعشان ساخته شده و برای تسلیح به‌کار برده می‌شوند.

1- Geotextiles
2- Geogrids
3- Geonets
4- Geomembranes
5- Geocomposites
6- Separation
7- Reinforcement
8- Filtration
9- Drainage
10- Moisture barrier
11- Woven Geotextiles
12- non-Woven Geotextiles
13- Knit fabrics

ج- ژئونت‌ها

ژئونت‌ها نوعی از ژئوسنتتیک‌ها هستند که از اتصال دو مجموعه از تیرک‌های موازی با یک زاویه نسبت به هم ساخته شده و برای زهکشی صفحه‌ای مایعات و گازها به‌کار می‌روند (ASTM, D4499).

ژئونت‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱- ژئونت‌های شامل تیرک‌های یکپارچهٔ حدیده کاری شده که متداول‌ترین نوع ژئونت‌ها می‌باشند.

۲- ژئونت‌های شامل تیرک‌های اسفنجی حدیده کاری شده که ضخامت کلی بزرگتری دارند و بنابراین میزان جریان عبوری از آنها نیز بیشتر است.

۳- ژئونت‌های ساخته‌شده از تیرک‌های یکپارچه کشیده‌شده که اجازه می‌دهد تا تقاطع تیرک قائم عمودی باشد و بنابراین تنش‌های عمودی بیشتری را تحمل می‌کنند.

د-ژئوممبرین‌ها

ژئوممبرین‌ها محافظ‌های انعطاف‌پذیر با نفوذپذیری بسیار پایین هستند و معمولاً از ورق‌های لاستیکی یا پلاستیکی ساخته می‌شوند و عملکرد اصلی آنها ممانعت از عبور سیال‌ها یا بخارها می‌باشد (Koerner, 1986).

ه- ژئوکمپوزیت‌ها

ژئوکمپوزیت‌ها شامل ترکیبات گوناگونی از ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها، ژئونت‌ها، ژئوممبرین‌ها و یا مصالح دیگر هستند و کاربرد آنها مشابه ژئوتکستایل‌ها در زمینه‌های جداسازی، تسلیح، فیلتراسیون، زهکشی و حفاظ رطوبتی می‌باشد.

تعدادی از انواع اصلی ژئوکمپوزیت‌ها به صورت ترکیبی از ژئوتکستایل و ژئوگرید، ژئوتکستایل و ژئوممبرین، ژئوممبرین و ژئوگرید و یا ژئووب و ژئوسل می‌باشد [۴].

به‌طور کلی مزایای زیر را برای ژئوسنتتیک‌ها می‌توان ذکر کرد:

۱- ژئوسنتتیک‌ها محصولاتی هستند که به صورت مصنوعی و با کنترل کیفیت بالا تولید می‌شوند.

۲- از سرعت نصب بالایی برخوردارند.

۳- معمولاً جایگزین منابع مواد خام می‌شوند (لذا از هدر رفتن منابع طبیعی مانند فولاد، سنگدانه و غیره تا حدودی جلوگیری خواهدشد).

۴- معمولاً از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه می‌باشند و امکان استفاده از خاک‌های ضعیف‌تر را فراهم

می‌کنند.

۵- روش‌ها و تکنیک‌های جدیدی را در مسائل ژئوتکنیکی مطرح می‌کنند.

۶- به علت انعطاف‌پذیری در برابر بارهای دینامیکی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند.

۷- به‌طور مستمر فروخته می‌شوند و به‌طور گسترده‌ای در دسترس می‌باشند[۴، ۵].

در مورد مشکلات استفاده از ژئوسنتتیک‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- در مورد مقاومت دراز مدت و دوام آنها تردید وجود دارد.

۲- در طی انبار کردن، جابه‌جایی و نصب آنها، احتمال خسارت وجود دارد.

۳- در گوشه‌ها و در سازه‌های دارای هندسهٔ نامنظم، دقت کار پایین می‌آید.

۴- آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود به‌دلیل قدمت کم این مصالح، کامل نمی‌باشند[۵].

۱-۳- بررسی تأثیر مقاومتی تسلیح در نمونهٔ خاک:

مقاومت برشی خاک از اصطکاک بین دانه‌های خاک که در معرض تنش‌های فشاری مؤثر هستند تأمین می‌شود. هنگام تغییرشکل برشی خاک در امتداد یک سطح گسیختگی، هم کرنش‌های کششی و هم کرنش‌های فشاری در خاک توسعه می‌یابند (شکل ۱-۱- الف).

اگر عناصر مسلح کننده در جهت کرنش‌های کششی قرار گیرند، تغییر شکل برشی خاک باعث ایجاد نیروی کششی در آنها شده و این نیروی کششی به دو صورت باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌شود:

الف- مقداری از نیروی برشی اعمال شده را مستقیماً نگهداری می‌کند.

ب- تنش نرمال در خاک، روی سطح گسیختگی را افزایش می‌دهد و در نتیجه باعث بسیج شدن مقاومت اصطکاکی بزرگتری می‌شود (شکل ۱-۱- ب).

در شکل(۱-۱) عملکرد تسلیح در یک المان خاک در آزمایش برش مستقیم نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود، مولفهٔ مماسی $p_r \sin\theta$ مستقیماً در برابر نیروی برشی وارد بر خاک مقاومت می‌کند و مؤلفهٔ نرمال $p_r \cos\theta$ نیروی نرمال در سطح برش را افزایش می‌دهد و باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود. بنابراین مقاومت برشی خاک از مقدار $p_s = p_v tg\phi$ در خاک غیر مسلح به مقدار $p_s = p_v tg\phi + p_r(\sin\theta + \cos\theta . tg\phi)$ در خاک مسلح افزایش یافته‌است [۵].