



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی - مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش : مکانیک خاک و پی

عنوان :

مطالعه عددی تأثیر ستون سنگی روکش شده با ژئوسینتتیک ها بر پایداری سازی خاکریزها

استاد راهنما :

دکتر سعید ابریشمی

استاد مشاور :

دکتر امیر علی طباطبائی عدنانی

پژوهشگر:

رضا محتشم

زمستان ۱۳۹۰



الله الرحمن الرحيم



تقدیم به:

پدر، مادر عزیزم؛

جوآنہ اندیشہ ام را سبز نشانید و بقای سعی ام را جاویدان

عمرتان سبز و جاودانه

تشکر و قدردانی:

سپاس خداوندی را که سخنوران از ستودن او عاجزند و حسابگران از شمارش نعمت‌های او ناتوان و تلاشگران از ادای حق او درمانده‌اند.

سپاس خداوندی را که توفیق فراگیری علم را بر من عطا فرمود و مرا در کوران مشکلات و سختی‌ها یاری نمود، تا این گزارش را با موفقیت به پایان برسانم.

در طول دوران تحصیلی و تهیه این گزارش از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های اساتید و دوستان عزیز به بهره برده‌ام که از همه ایشان مراتب سپاس قلبی و تشکر خالصانه ای دارم. از راهنمایی‌های ارزشمند و زحمات بی دریغ استاد بزرگوار جناب آقای دکتر سعید ابریشمی که زحمت راهنمایی این پایان‌نامه و همچنین جناب آقای دکتر امیر علی طباطبائی که از راهنمایی‌ها و کمک‌های ایشان برخوردار بودم صمیمانه سپاسگزارم.

در نهایت از استادان ارجمند آقایان دکتر سیاوش‌نیا، دکتر قربان‌بیگی و دکتر اسلامی دوستان عزیزم آقایان مهندس مشیری، مهندس کشاورز و تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب رضا محتشم دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد نا پیوسته به شماره دانشجویی ۸۸۰۶۵۱۴۵۱۰۰ در رشته عمران - گرایش خاک و پی که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۹ از پایان نامه خود تحت عنوان: مطالعه عددی تأثیر ستون سنگی روکش شده با ژئوسینتتیکها بر پایداری سازی خاکریزها با کسب نمره ۲۰ و درجه عالی دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می شوم:

۱- این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده ام.

۲- این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴- چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

رضا محتشم

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۰/۱۱/۱۹

بسمه تعالی

در تاریخ: ۱۳۹۰/۱۱/۱۹

دانشجوی کارشناسی ارشد آقای رضا محتشم از پایان نامه خود دفاع نموده و با
نمره ۲۰ بحروف بیست با درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت .

امضاء استاد راهنما

(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)

نام واحد دانشگاهی : تهران مرکزی	کد واحد: ۱۰۱	کد شناسایی پایان نامه : ۱۰۱۴۰۴۳۱۸۹۲۰۱۲
عنوان پایان نامه : مطالعه عددی تأثیرستون سنگی روکش شده با ژئوسینتتیک ها بر پایداری سازی خاکریزها		
نام و نام خانوادگی دانشجو : رضا محتشم	تاریخ شروع پایان نامه : نیمسال اول ۹۰-۸۹	تاریخ اتمام پایان نامه : نیمسال دوم ۹۱-۹۰
شماره دانشجویی : ۸۸۰۶۵۱۴۳۰۰۰		
رشته تحصیلی : عمران- خاک و پی		
استاد / استادان راهنما : دکتر سعید ابریشمی		
استاد / استادان مشاور: دکتر امیر علی طباطبائی عدنانی		
آدرس و شماره تلفن : مشهد- قاسم آباد- بلوار دکتر حسابی - حسابی ۵۹ - پلاک ۵۰۱ - ۰۹۱۵۱۲۵۸۳۶۷		
چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اهداف، روش های اجرا و نتایج به دست آمده) :		
<p>یکی از مناسب ترین روشهای بهسازی خاکهای نرم جهت پایداری سازی خاکریزها در احداث اتوبانها و خطوط ریلی، استفاده از ستونهای سنگی می باشد. به تازگی و با پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه علوم پلیمر و تولید مصالح ژئوسنتتیک، از این مصالح جهت محصور نمودن ستونهای سنگی استفاده می شود که به ستونهای سنگی روکش شده با ژئوسنتتیک (GEC) معروف می باشند. این روش باعث بهبود ویژگی های خاک و افزایش ظرفیت باربری آن می گردد. هدف در این پایان نامه، مطالعه و بررسی تأثیر پارامترهای مکانیکی مصالح نظیر مقاومت برشی خاک نرم، زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگی و سختی محوری مصالح ژئوسنتتیک محصورکننده بر روی ظرفیت باربری ستونهای سنگی می باشد.</p> <p>همچنین تأثیر پارامترهای هندسی نظیر قطر و طول محصورشدگی ستونها و فاصله مرکز به مرکز آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور از بسته نرم افزاری اجزای محدود Plaxis استفاده گردیده است. مدل گسیختگی بکار گرفته شده جهت شبیه سازی رفتار خاک نرم و مصالح سنگی ستون، مدل مور- کولمب می باشد و برای مصالح ژئوسنتتیک رفتار الاستیک خطی در نظر گرفته شده است. همچنین صحت عملکرد این نرم افزار در شبیه سازی رفتار ستونهای سنگی با مقایسه نتایج تحلیل های عددی اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی که حاصل مطالعات محققین پیشین بوده، مقایسه گردیده است که انطباق خوبی را نشان می دهد.</p> <p>نتایج این مطالعه بیانگر افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست مجموعه در صورت استفاده از ستونهای روکش شده در مقایسه با ستونهای معمولی می باشد. خصوصاً برای خاکهایی با مقاومت برشی خیلی پایین که روند افزایش کارایی بیشتر مشهود است. در نهایت، براساس نتایج جمع بندی تحلیل های حاصل از مطالعات صورت گرفته و نمودارهای بدست آمده، پیشنهادها و توصیه های فنی جهت تحلیل، طراحی و اجرای این تکنیک ارائه گردیده است.</p>		

تاریخ و امضا : ۹۰/۱۱/۱۹

نظراستادراهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه مناسب است

مناسب نیست

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۱
- ۲-۱- شرح مسأله ۲
- ۳-۱- هدف از تحقیق ۵
- ۴-۱- روش تحقیق ۸
- ۵-۱- شرح محتویات هر یک از فصل‌های پایانامه ۹

فصل دوم : کلیات

- ۱-۲- مختصری درباره ویژگی های خاک های نرم ۱۱
- ۲-۲- بررسی رفتار خاکریز احداث شده بر روی خاک نرم ۱۶
- ۳-۲- روشهای بهبود ویژگی‌های مهندسی خاکها ۱۸
- ۱-۳-۲- جایگزین کردن خاک مناسب ۱۸
- ۲-۳-۲- تثبیت خاک ۱۸
- ۳-۳-۲- تراکم ارتعاشی ۱۹
- ۴-۳-۲- پیش بارگذاری و استفاده از سربار گسترده ۲۰
- ۵-۳-۲- چاههای زهکش ماسه‌ای ۲۰
- ۶-۳-۲- ستونهای سنگی ۲۰
- ۷-۳-۲- ژئوسنتتیک‌ها ۲۰
- ۸-۳-۲- شمع‌ها ۲۲
- ۴-۲- موارد کاربرد ستون سنگی ۲۵
- ۵-۲- عوامل موثر و شرایط استفاده از ستونهای سنگی ۲۶
- ۶-۲- مفاهیم اولیه تکنیکهای ارتعاشی ۲۷
- ۷-۲- سیستمهای ارتعاشی و روانگرایی ۲۸
- ۸-۲- روشهای ساخت ستونهای سنگی ۳۰
- ۱-۸-۲- روش جایگزینی- ارتعاشی (تر) ۳۰
- ۲-۸-۲- روش جابجایی- ارتعاشی (خشک) ۳۱
- ۳-۸-۲- ستونهای سنگی کوبشی ۳۲
- ۴-۸-۲- شمعهای تراکم ماسه‌ای ۳۳
- ۹-۲- تجهیزات ارتعاشی ۳۴
- ۱۰-۲- به کارگیری روش تر ۳۵
- ۱۱-۲- به کارگیری روش خشک ۳۶
- ۱۲-۲- ساخت ستون‌های سنگی ۳۸
- ۱۳-۲- ستونهای سنگی صلب ۴۱
- ۱۴-۲- ملاحظات ویژه ۴۲
- ۱۵-۲- لزوم ایجاد سیستمی جهت توزیع یکنواخت بار در سطح ستونها و شمع‌ها ۴۴

فصل سوم: روشهای تحلیل و طراحی ستونهای سنگی

- ۳-۱- مقدمه..... ۴۶
- ۳-۲- مکانیزمهای گسیختگی..... ۴۷
- ۳-۲-۱- ستونهای سنگی منفرد..... ۴۷
- ۳-۲-۲- گروه ستونهای سنگی..... ۴۹
- ۳-۳- روشهای بررسی و تحلیل ستون سنگی..... ۵۱
- ۳-۴- روابط پایه..... ۵۲
- ۳-۴-۱- مفهوم سلول واحد..... ۵۲
- ۳-۴-۲- سلول واحد تعمیم یافته..... ۵۴
- ۳-۴-۳- تمرکز تنش..... ۵۴
- ۳-۵- تحلیل بار نهایی..... ۵۵
- ۳-۵-۱- تحلیل ظرفیت باربری ستون سنگی تک..... ۵۵
- ۳-۵-۱-۱- تئوری انبساط حفره..... ۵۶
- ۳-۵-۱-۲- تئوری انبساط حفره وسیک..... ۵۷
- ۳-۵-۱-۳- ستونهای سنگی کوتاه..... ۵۸
- ۳-۵-۲- ظرفیت باربری نهایی گروه ستون سنگی..... ۵۹
- ۳-۶- بررسی نشست ستونهای سنگی..... ۶۰
- ۳-۶-۱- روش تعادل..... ۶۱
- ۳-۶-۲- روش Greenwood..... ۶۳
- ۳-۶-۳- روش اجزاء محدود..... ۶۵
- ۳-۷- توزیع تنش در گروه ستونهای سنگی..... ۷۱
- ۳-۸- تحلیل پایداری شیب..... ۷۲
- ۳-۸-۱- روش پروفیل..... ۷۳
- ۳-۸-۱-۱- تمرکز تنش..... ۷۳
- ۳-۹- طراحی ستونهای سنگی ساخته شده به روش جایگزینی- ارتعاشی..... ۷۵
- ۳-۹-۱- در نظرگیری تراکم پذیری ستون..... ۷۶
- ۳-۹-۲- در نظرگیری سربار..... ۷۷
- ۳-۹-۳- کنترلهای سازگاری..... ۷۸
- ۳-۹-۴- مقادیر برش زمین بهسازی شده..... ۸۰
- ۳-۹-۵- نشست پیهای نواری و تک..... ۸۱
- ۳-۹-۶- ظرفیت باربری پیهای نواری و تک..... ۸۳
- ۳-۹-۷- پتانسیل روانگرایی خاک بهسازی شده..... ۸۳

فصل چهارم: سوابق تحقیقاتی ستونهای سنگی معمولی و محصور شده

- ۴-۱- سوابق تحقیقاتی ستونهای سنگی معمولی..... ۸۵
- ۴-۱-۱- مقدمه..... ۸۵
- ۴-۱-۲- بررسی تحقیقات انجام شده در مورد ستونهای سنگی معمولی..... ۹۰

- ۲-۴- شرح یک مطالعه آزمایشگاهی و عددی انجام شده بر روی ستونهای سنگی معمولی..... ۹۳
- ۱-۲-۴- تعریف هندسه مدل ۹۳
- ۲-۲-۴- مشخصات مصالح بکار رفته در مطالعه..... ۹۴
- ۳-۲-۴- آماده سازی مدل آزمایشگاهی..... ۹۵
- ۴-۲-۴- بارگذاری مدل آزمایشگاهی..... ۹۷
- ۵-۲-۴- مدلسازی و تحلیل به روش اجزاء محدود..... ۹۹
- ۶-۲-۴- مقایسه نتایج تحلیل آزمایشگاهی و تحلیل عددی..... ۱۰۱
- ۱-۶-۲-۴- حالت بارگذاری تک ستون سنگی..... ۱۰۱
- ۲-۶-۲-۴- حالت بارگذاری گروه ستونهای سنگی..... ۱۰۴
- ۳-۴- سوابق تحقیقاتی و کلیاتی در مورد ستونهای سنگی محصور شده..... ۱۰۶
- ۱-۳-۴- مقدمه..... ۱۰۶
- ۲-۳-۴- مزایای استفاده از ستونهای سنگی محصور شده با ژئوسنتتیک..... ۱۰۶
- ۳-۳-۴- روش اجرای ستونهای سنگی محصور شده با ژئوسنتتیک..... ۱۰۸
- ۴-۳-۴- بررسی مطالعات صورت گرفته در مورد ستونهای سنگی محصور شده..... ۱۱۰
- ۴-۴- شرح یک مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در زمینه ستونهای سنگی محصور شده..... ۱۱۲
- ۱-۴-۴- مشخصات مصالح بکار رفته در آزمایش..... ۱۱۲
- ۲-۴-۴- آماده سازی مدل آزمایشگاهی..... ۱۱۳
- ۳-۴-۴- بارگذاری مدل آزمایشگاهی..... ۱۱۳
- ۴-۴-۴- بیان نتایج و شرح آنها ۱۱۴

فصل پنجم : مدل سازی عددی

- ۱-۵- مقدمه..... ۱۱۹
- ۲-۵- معرفی نرم افزار..... ۱۲۱
- ۳-۵- نوع تحلیل ۱۲۱
- ۴-۵- نوع المان..... ۱۲۲
- ۱-۴-۵- ابعاد مش..... ۱۲۳
- ۲-۴-۵- ریزی و درشتی موضعی..... ۱۲۴
- ۵-۵- شرایط مرزی..... ۱۲۴
- ۱-۵-۵- شرایط تکیه گاهی..... ۱۲۴
- ۶-۵- مدل های رفتاری..... ۱۲۵
- ۱-۶-۵- مدل الاستیک خطی ۱۲۵
- ۲-۶-۵- مدل مور- کولمب..... ۱۲۵
- ۷-۵- نحوه مدلسازی ستون سنگی در نرم افزار..... ۱۲۹
- ۸-۵- تعریف هندسه مدل..... ۱۲۹
- ۹-۵- تعریف مشخصات مصالح بکار رفته در مدل..... ۱۳۳
- ۱-۹-۵- مشخصات خاک نرم..... ۱۳۴
- ۲-۹-۵- مشخصات مصالح سنگی ستون ۱۳۴
- ۳-۹-۵- مشخصات مصالح ماسه ای..... ۱۳۵

- ۱۳۶-۵-۴- مشخصات مصالح ژئوسنتتیک ۱۳۶
- ۱۳۶-۵-۱۰- تعریف شرایط مرزی برای مدل ۱۳۶
- ۱۳۷-۵-۱۱- تعریف شرایط ونحوه بارگذاری مدل ۱۳۷
- ۱۳۸-۵-۱۲- انتخاب روش تحلیل و در نظر گرفتن شرایط محیطی ۱۳۸
- ۱۴۱-۵-۱۳- بررسی صحت مدل سازی ۱۴۱

فصل ششم : نتایج مدل سازی عددی

- ۱-۶-۱- مقدمه ۱۴۳
- ۲-۶-۲- بارگذاری فقط در سطح ستون سنگی محصورشده ۱۴۴
- ۱-۲-۶-۱- تأثیر مقاومت برشی خاک احاطه کننده ستونهای سنگی ۱۴۵
- ۲-۲-۶-۲- تأثیر نسبت فاصله مرکز تا مرکز به قطر ستونهای سنگی ۱۴۷
- ۳-۲-۶-۳- تأثیر سختی کششی مصالح ژئوسنتتیک محصور کننده ستونهای سنگی ۱۴۸
- ۴-۲-۶-۴- تأثیر زاویه اصطکاک داخلی مصالح ستون سنگی ۱۵۰
- ۵-۲-۶-۵- تأثیر طول محصورشدگی ستونهای سنگی ۱۵۱
- ۶-۲-۶-۶- تأثیر طول ستون سنگی ۱۵۴
- ۳-۶-۳- بررسی رفتار ستونهای سنگی با وجود سربار گسترده بر روی سطح خاک احاطه کننده ستون ۱۵۷
- ۱-۳-۶-۱- رفتار ستون سنگی معمولی با وجود سربار بر روی سطح خاک احاطه کننده ستون ۱۵۷
- ۲-۳-۶-۲- رفتار ستون سنگی محصور شده با وجود سربار بر روی سطح خاک احاطه کننده ستون ۱۵۹
- ۴-۶-۴-۴- بارگذاری در تمام سطح سلول واحد یک ستون سنگی محصورشده ۱۶۱
- ۱-۴-۶-۱- رفتار بار- نشست ستونهای سنگی معمولی با ستونهای سنگی محصور شده با وجود خاکریز ۱۶۱
- ۲-۴-۶-۲- تأثیر مقاومت برشی خاک نرم احاطه کننده ستون ۱۶۳
- ۳-۴-۶-۳- تأثیر نسبت فاصله مرکز تا مرکز به قطر ستونهای سنگی ۱۶۵
- ۴-۴-۶-۴- تأثیر سختی کششی مصالح ژئوسنتتیک محصور کننده ستونهای سنگی ۱۶۶
- ۵-۴-۶-۵- تأثیر طول محصورشوندگی ستونهای سنگی ۱۶۸
- ۶-۴-۶-۶- تأثیر ارتفاع خاکریز قرار گرفته روی سطح ستون سنگی ۱۷۰
- ۵-۶-۵-۵- مقایسه رفتار گروه ستونهای سنگی و ستون تک ۱۷۱
- ۱-۵-۶-۱- مقایسه رفتار ستون تک و گروه ستونها واقع در خاک نرم با مقاومت های برشی مختلف ۱۷۲
- ۲-۵-۶-۲- مقایسه رفتار ستون تک و گروه ستونها با تغییرات نسبت فاصله مرکز تا مرکز به قطر ستونها ۱۷۳
- ۳-۵-۶-۳- مقایسه رفتار ستون تک و گروه ستونها با تغییرات سختی محوری مصالح محصور کننده ۱۷۴
- ۴-۵-۶-۴- مقایسه رفتار ستون سنگی تک و گروه ستونها با تغییرات زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگی ۱۷۴
- ۵-۵-۶-۵- مقایسه رفتار ستون تک و گروه ستونها با تغییرات طول محصورشدگی ستون ۱۷۶

فصل هفتم : نتیجه گیری

- ۱-۷-۱- نتیجه گیری ۱۷۸
- ۲-۷-۲- پیشنهادات ۱۸۳

- فهرست منابع و مآخذ ۱۸۴
- چکیده انگلیسی ۱۸۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

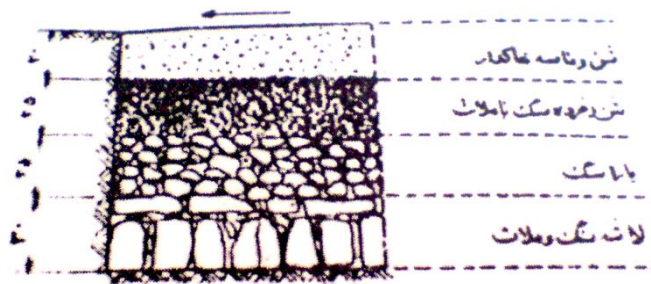
افزایش جمعیت و توسعه صنایع، منجر به کمبود زمین‌های مناسب از لحاظ ژئوتکنیکی جهت احداث سازه‌های مورد نظر شده است. لذا در بسیاری از موارد چاره‌ای جزء احداث سازه بر زمین‌هایی با کیفیت پایین نمی‌باشد. در چنین مواردی باید به نوعی کیفیت خاک نامناسب از لحاظ ژئوتکنیکی ارتقاء داده شود تا خاک در اثر نیروهای ناشی از سازه مورد نظر عملکرد مطلوبی داشته باشد. در شاخه مهندسی ژئوتکنیک همانند سایر رشته‌های مهندسی در چند دهه اخیر پیشرفتهای فراوانی حاصل شده است. یکی از موضوعات جدید و در عین حال پراهمیت مطرح شده، مبحث بهسازی خاک و تقویت زمین‌های سست می‌باشد.

بهسازی خاک در مهندسی ژئوتکنیک از جایگاه ویژه ای برخوردار است. اهمیت این موضوع از آنجاست که در بعضی از پروژه‌های عمرانی گزیری از احداث سازه در منطقه‌ای با شرایط خاک نامناسب نظیر خاکهای رسی بسیار نرم و یا خاکهای آلی یا لجنی و باتلاقی نیست. در چنین شرایطی استفاده از روشهای معمول منجر به گسیختگی و لغزش خاک و یا حداقل نشستهای بیش از حد و نامتقارن سازه می‌گردد. روشهای زیادی جهت بهسازی و مقاوم‌سازی خاک وجود دارد.

یکی از متداول‌ترین روشها، خصوصاً جهت مقاوم‌سازی بستر خاکریز اتوبانها و یا خطوط ریلی استفاده از ستونهای سنگی می‌باشد. این روش که از گذشته هم مرسوم بوده، اخیراً و با پیشرفتهایی که در زمینه علوم پلیمر و خصوصاً تولید مصالح ژئوسنتتیک ایجاد شده، دچار تحول شده است. گسترش کاربرد خاک مسلح و مسلح کننده‌های پلیمری در کارهای عمرانی، ایده ترکیب ستونهای سنگی با دیواره‌ای از جنس مصالح ژئوسنتتیک که در برگیرنده آن ستون می‌باشد را جهت افزایش بازدهی این سیستم در مقاوم سازی خاک بوجود آمده است. اندازه‌گیری‌های دقیق انجام شده بر روی میزان نشستها و نیز تنشهای وارد بر خاک در پروژه‌هایی که تاکنون به این روش اجرا گردیده است، مؤید این موضوع می‌باشد.

۲-۱- شرح مساله

استفاده از راهها یکی از نخستین و طبیعی‌ترین روش‌های ارتباطی انسانها است که احداث آنها در جهان سابقه طولانی داشته و به حدود ۴۰۰۰ سال قبل بر می‌گردد. در گذشته راهها را از هر مسیری که امکان‌پذیر بود امتداد می‌دادند، با این حال گاهی لازم بود که از یک باتلاق یا منطقه با خاک نرم عبور نمایند. رومی‌ها از اولین سازندگان راهها جهت مقاصد نظامی بودند و در مناطقی که دارای خاک نامناسب بود، زمین بستر راه را به عمق نزدیک به یک متر می‌کنند و از پایین به بالا یک لایه 30 cm لاشه سنگ و ملات، یک لایه 25 cm از قلوه سنگ و پاره‌سنگ و یک لایه 25 cm شن و خرده‌سنگ همراه با ملات و در نهایت یک لایه 20 cm شن و ماسه درهم و خاکدار می‌ریخته و می‌کوبیدند [1].



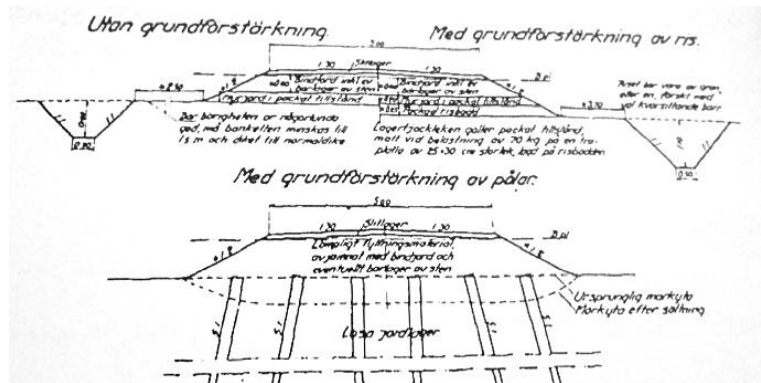
شکل ۱-۱- نمایی از خاکریزهای احداث شده توسط رومیان در زمینهای با خاک نرم [1]

Dewer (1962) بقایایی از راههای باستانی در بریتانیا را طی حفاری در مناطق باتلاقی و لجنزار کشف نمود که قدمت آنها به ۴۰۰۰ سال قبل می‌رسید. این راهها با کمک الوارهایی که در جهت طولی به هم متصل بودند و بوسیله میخ‌های چوبی (در فواصل ۳۰ سانتی‌متری از هم در طرفین آن در زمین کوبیده شده بودند)، در محل خود ثابت و پایدار شده بودند.

در طی چند هزار سال گذشته و تا پیش از ابداع موتور و وسائل نقلیه موتوری هیچ پیشرفت مهمی در شیوه احداث راهها ایجاد نشده بود. زمانی که اولین راه آهن در اواسط قرن ۱۹ ساخته شد، تجربیات زیادی در زمینه ساخت راهها بدست آمد با این وجود رشد سریع خطوط راه‌آهن و گاه شرایط نامناسب وضعیت خاک مشکلات و مسائلی را در این زمینه بوجود آورد.

در منطقه اسکانندیناوی که یکی از مناطق با خاک بسیار نرم در جهان می‌باشد، از اواسط قرن نوزدهم استفاده از شاخه‌های بریده شده درختان و ایجاد شبکه‌ای از تیرها به منظور افزایش ظرفیت باربری خاک بستر راهها بکار گرفته شد. شبکه تیرهای اولیه متشکل از شمع‌های باریکی بودند که معمولاً برای راههای کوچک به کار گرفته می‌شدند. با افزایش ترافیک عبوری، نوع پیشرفته‌تر این شبکه‌ها که متشکل از تیرهایی در دو لایه افقی عمود بر هم و متکی بر یک سری از شمع‌ها بودند، بکار گرفته شد. داخل شبکه مذکور را با خاکهای نرم پر می‌نمودند ولی قسمت بالای آن را توسط مصالح مرغوب می‌پوشاندند. (Kejelman (1938 که یک مهندس ژئوتکنیک سوئدی بود جهت ساخت راه و راه‌آهن بر روی خاکهای با ظرفیت باربری کم پیشنهاد کرد که بایست خاکریزی بر روی خاکهای

نرم را بایستی تا حد امکان بوسیله کاهش ارتفاع خاکریز و با استفاده از مصالح با وزن مخصوص کم (نظیر سرباره کوره ذوب آهن^۱) سبک نمود و در صورت عدم امکان چنین عملی، مطابق شکل (۲-۱) از تیرهای چوبی به همراه شمع استفاده نمود.



شکل ۲-۱- نمایی از روش استفاده از شمع‌های چوبی در زیر بدنه خاکریز واقع بر خاک نرم [1]

در ایران باستان هم جهت احداث راهها در زمین‌های سست و نمک زار و یا آب‌گیر و لجنی، پی راه را با زغال چوب پایدار می‌ساختند و روی زغال چوب را شن‌ریزی می‌کردند. زغال چوب در لجن فرو نمی‌رود، نمی‌پوسد و در عین حال بار را به زمین زیرین منتقل می‌کند [1].

امروزه نیز با توجه به گسترش روز افزون ترافیک و لزوم احداث اتوبانها و خطوط ریلی جدید و یا تعریض آنها به خصوص در مناطقی با خاک نرم و یا مناطق باتلاقی و لجنی ضرورت استفاده از روشهای نوین عمرانی که باعث افزایش ظرفیت باربری خاک در مدت زمان کوتاه و با هزینه کم شود، احساس می‌گردد. استفاده از ستونهای سنگی یکی از مناسب‌ترین روشهایی است که خصوصا جهت سازه‌های انعطاف‌پذیر نظیر خطوط ریلی و نیز مخازن ذخیره سازی مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هرچند در وهله نخست، روش جدید استفاده از ستونهای سنگی محصور شده به لحاظ هزینه‌های اجرایی نسبت به روش ستونهای سنگی معمولی گران‌تر به نظر می‌رسد، با این حال هم از

1- slag

لحاظ فنی و هم از لحاظ سرعت اجرایی دارای مزیت‌هایی می‌باشد که در نهایت بکارگیری این روش جدید را مقرون به صرفه می‌سازد.

۱-۳- هدف از تحقیق

خاکهای طبیعی موجود در محل پروژه‌های عمرانی، همواره به طور کامل برای تحمل بار سازه‌های فوقانی نظیر ساختمان یا بدنه خاکریز راه و راه‌آهن و یا سد مناسب نیستند. در چنین حالتی لازم است قبل از احداث سازه خاک محل تقویت گردد. افزایش قابل توجه در ظرفیت باربری خاک را می‌توان با کمک تغییر خواص و ویژگی‌های آن نظیر چسبندگی و مقاومت برشی ایجاد نمود. همچنین می‌توان با افزایش وزن مخصوص و در نتیجه کاهش فضای خالی میان ذرات، میزان نشست را کاهش داد.

به طور کلی افزایش کیفیت خاک با اهداف زیر صورت می‌گیرد:

۱- کاهش نشست سازه

۲- بهبود مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری آن

۳- افزایش ضریب اطمینان در برابر لغزش شیروانی خاکریزها

۴- کاهش خصوصیات جمع شوندگی و یا تورم خاک

تعدادی از روشهای بهبود ویژگی‌های خاک نرم را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱- جایگزینی خاک^۱

۲- تثبیت خاک^۲

1. Replacment
2. Soil Stabilization

- ۳- تراکم دینامیکی^۱
- ۴- استفاده از پیش بارگذاری^۲
- ۵- استفاده از زهکشی قائم در ترکیب با پیش بارگذاری^۳
- ۶- استفاده از ستونهای سنگی^۴
- ۷- استفاده از ژئوسنتتیک ها^۵
- ۸- استفاده از بهسازی گیاهی^۶
- ۹- استفاده از سیستم های حرارتی^۷
- ۱۰- استفاده از شمع^۸

یکی از مناسب ترین روشها جهت افزایش باربری لایه های رسی نرم و یا مناطق باتلاقی، مورد روش استفاده از ستونهای سنگی می باشد که در واقع ترکیبی از روشهای تراکم ارتعاشی و چاههای زهکش ماسه ای است. طی دهه اخیر و همزمان با پیشرفتهایی که در زمینه علوم پلیمری و به خصوص تولید مصالح ژئوسنتتیک و همچنین گسترش کاربرد خاک مسلح و مسلح کننده های پلیمری در کارهای عمرانی ایجاد شده است، ترکیبی از ستونهای مذکور به همراه دیواره ای از جنس مصالح ژئوسنتتیک که در برگیرنده آن ستون می باشد به منظور افزایش کارایی این سیستم تقویت خاک به کار گرفته شده است که به روش ستونهای سنگی محصور شده با ژئوسنتتیک یا به اختصار (GEC)^۹ شهرت یافته است.

در یک خاک ریزدانه بسیار نرم و با درصد رطوبت بالا که بوسیله ستونهای سنگی معمولی تقویت شده است، فشار محصور کننده جانبی که از طرف خاک نرم پیرامون ستون سنگی به آن وارد می شود، ممکن است به میزان کافی جهت افزایش ظرفیت باربری محوری آن مناسب نباشد، در این حالت

-
1. Dynamic Compaction
 2. Preloading
 3. Vertical drainage
 4. Stone Column
 5. Geosynthetics
 6. Biotechnical improvement
 7. Thermal Systems
 8. Piles
 9. Geosytetic Encased Column

فشار محصور کننده جانبی را می‌توان از طریق محصور نمودن ستون سنگی با یک دیواره ژئوستتیک مناسب افزایش داد.

فشار جانبی مضاعف به علت تنشهای حلقوی ایجاد شده بر اثر تغییر شکل دیواره ژئوستتیک بر ستون وارد می‌شود. دیواره مذکور علاوه بر افزایش ظرفیت باربری محوری ستون سنگی، مقاومت خمشی (جلوگیری از کمانش) آن را نیز افزایش خواهد داد. از دیگر مزایای این سیستم می‌توان به نقش دیواره ژئوستتیک به عنوان فیلتر اشاره نمود که به علت قرارگیری آن در حد فاصل مصالح درشت‌دانه و ریزدانه مانع از انتقال خاک نرم به درون خلل و فرج مصالح سنگی در حین زهکشی می‌گردد که این در دراز مدت می‌تواند باعث تسریع فرآیند تحکیم شود.

وجود محصورکننده علاوه بر افزایش سرعت نصب، مانع از گسترش جانبی ستون سنگی و فرورفتن مصالح آن در خاک نرم شده و به همین جهت میزان مصرف مصالح سنگی را به حداقل می‌رساند. تجهیزات لازم جهت نصب این سیستم‌ها همان تجهیزات متداول جهت نصب سپرها و عملیات سپرکوبی است. لذا این روش به راحتی قابل نصب و با سرعت بالا قابل اجراست، به گونه‌ای که با کمک دستگاه می‌تواند به میزان چهل ستون در روز پیشروی داشته باشد. سرعت بالای اجرای عملیات باعث کاهش هزینه‌های ثابت در زمان اجرای پروژه می‌گردد. یکی دیگر از مزایای مصالح ژئوستتیک دوام آنها و عدم پوسیدگی و خوردگی آنها به مرور زمان می‌باشد.

همچنین نشست ستونهای سنگی محصورشده با ژئوستتیک نسبت به ستونهای سنگی معمولی به دلایل زیر کمتر است:

۱- دیواره ژئوتکستایل محصورکننده، امکان جابجایی جانبی کامل در خاکهای نرم مجاور را به ستون نمی‌دهد و شرایط مشابه یک شمع بتنی را برای ستون سنگی ایجاد می‌کند.

۲- پس از بارگذاری ستونها، نشست مصالح سنگی و شکم دادگی ستون سنگی محصورشده توسط دیواره ژئوستتیک باعث ایجاد تنشهای حلقوی^۱ در دیواره (درحد تنش مجاز کششی مصالح ژئوستتیک) و در نتیجه ایجاد فشارهای جانبی^۲ مضاعف بر ستون و افزایش ظرفیت باربری آن و به عبارت دیگر کاهش نشست‌ها می‌گردد.

1. Hoop Stress
2. Confining Pressure

۳- وجود سطح صاف و بدون اصطکاک دیواره ژئوتکستایل مانع از ایجاد اصطکاک جدار منفی در ستونها می‌گردد.

علی‌رغم کاربرد وسیع و گسترش استفاده از ستونهای سنگی محصور شده با ژئوستتیک در عملیات عمرانی، روشهای طراحی موجود برای آنها صرفاً به صورت تجربی و فقط براساس اطلاعات موجود جهت طراحی پروژه‌هایی است که تا کنون به این روش اجرا گردیده است.

هدف از انجام تحقیق پیش رو مدل‌سازی و تحلیل عددی سیستم ستونهای سنگی محصور شده با ژئوستتیک به کمک یک نرم افزار اجزاء محدود مناسب و بدست آوردن نمودارهایی جهت درک بهتر رفتار این ستونها و در نهایت ارائه پیشنهادهایی جهت استفاده از ستونهای سنگی محصور شده با ژئوستتیک می‌باشد. در این پروژه سعی بر آن است که به کمک مدل‌سازی عددی ستونهای سنگی، تاثیر پارامترهایی نظیر موارد ذیل مورد مطالعه قرار گیرد:

۱. مقاومت برشی خاک احاطه کننده ستونها

۲. زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگی تشکیل دهنده ستونها

۳. سختی محوری مصالح ژئوستتیک دیواره محصور کننده ستونها

۴. قطر ستونهای سنگی

۵. فاصله مرکز به مرکز ستونها

۶. عمق محصور شدگی ستونها نسبت به سطح زمین

۷. ارتفاع خاکریز قرار گرفته روی سطح ستونها

۴-۱- روش تحقیق

در طی دهه‌های اخیر روش اجزاء محدود^۱ به سرعت به یکی از روشهای معمول جهت تحلیل مسائل پیچیده ژئوتکنیک در محیطهای پیوسته تبدیل شده است. کاربرد این روشها برای تحلیل مدل‌های

خاک مسلح به علت اندرکنش پیچیده خاک و مسلح‌کننده‌ها هنوز با محدودیتهایی مواجه است و در حال حاضر از این روشها عمدتاً جهت توجیه و تفسیر روشهای شبه تجربی موجود استفاده می‌شود. در این تحقیق رفتار بار-نشست مجموعه خاک نرم و ستونهای سنگی محصور شده با مصالح ژئوسنتتیک و نحوه توزیع تنشها در ستونهای سنگی و خاک نرم پیرامون آن در حالات مختلف و با متغیر نمودن پارامترهای متفاوت نظیر مقاومت برشی خاک نرم پیرامون ستونها، زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگی ستونها، سختی کششی ژئوسنتتیک محصورکننده ستون، فاصله مرکز به مرکز ستونها از یکدیگر، عمق محصورشدگی و ارتفاع خاکریز قرارگرفته روی سطح ستونها با کمک مدلسازی و تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Plaxis بررسی شده است. همچنین در این تحقیق مقایسه‌ای میان رفتار ستونهای سنگی محصورشده با دیواره ژئوسنتتیک و رفتار ستونهای سنگی معمولی انجام گرفته تا میزان نقش محصور کننده‌ها در افزایش کارائی ستونهای سنگی مشخص گردد.

علاوه بر این تاثیر عملکرد گروهی ستونهای سنگی، از طریق مقایسه رفتار مدل ستون سنگی تک با رفتار مدل گروهی متشکل از هفت ستون سنگی با آرایش مثلثی (شش ستون پیرامون یک ستون مرکزی) بررسی می‌شود.

۱-۵- شرح محتویات هر یک از فصول پایان‌نامه

در فصل اول مقدمه‌ای درباره لزوم بهسازی خاک و شرح مسله، اهداف تحقیق، روشهای تحقیق و بیان روشهای بهسازی خاک پرداخته شده است.

در فصل دوم به بیان کلیاتی در رابطه با موضوعات مرتبط با پروژه نظیر خصوصیات خاکهای نرم و بسیار نرم، علل پیدایش آنها و مناطقی از جهان که با آن پوشیده شده است و همچنین حالات مختلف گسیختگی خاکریز و روشهای مختلف بهبود ویژگی‌های خاک نرم پرداخته شده است. در ادامه این فصل موارد کاربرد و عوامل موثر و شرایط استفاده از ستونهای سنگی و مفاهیم اولیه