دانشکده پردیس قشم

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

بررسی رفتار ستون‌های سنگی (تکی و گروهی) محصور شده در ژئوتکستایل (GCSC) در برابر نیروهای استاتیکی و دینامیکی توسط نرم‌افزار اجزاء محدود PLAXIS

استاد راهنما:

دکتر عادل عساکره

نگارش:

حسین خادمی ماشاری

تابستان ۹۳

تشکر و قدردانی:

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر عادل عساکره که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از پدر و مادر عزیز، همسر و فرزندم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند این مجموعه را به آنها تقدیم می کنم.

چکیده:

خاک طبیعی موجود در محل عملیات ساختمانی، همیشه مناسب برای تحمل سازه مورد نظر نیست. به عنوان مثال در نهشته های دانه ای، خاک طبیعی ممکن است خیلی شل باشد و نشست الاستیک زیادی از خود نشان دهد. در چنین حالتی لازم است که قبل از احداث ساختمان، کیفیت خاک موجود برای تحمل بار اعمال شده از طرف شالوده، بهبود یابد. گاهی مواقع در اعماق کم، به لایه‌های نرم و اشباع رس برخورد می‌شود. بر حسب بار شالوده و ضخامت لایه رسی، ممکن است نشست‌های قابل توجهی در سازه به وجود آید. برای جلوگیری از چنین نشست هایی لازم است تکنیک های خاصی برای بهبود وضعیت خاک به کار گرفته شود. یکی از روشهایی که اخیراً به طور وسیعی برای اصلاح رسوبات نرم و خاکهای ریزدانه سست مورد استفاده قرار می گیرد، ستونهای سنگی یا شمعهای دانه ای می باشد. در این تحقیق،ابتدا با استفاده از روش آزمایشگاهی، پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل را بدست آورده سپس رفتار استاتیکی و دینامیکی ستون های سنگی محصور در ژئوتکستایل و بدون ژئوتکستایل به صورت تکی و گروهیبه صورت دو بعدی با استفاده از روش عددی اجزا محدود Plaxis بررسی شده واثر پارامترهای زیر در دو حالت استاتیکی و دینامیکی در ستون های سنگی بررسی می شود: طول ستون ، قطر ستون ، رفتار تکی و گروهی ستون ها ، اثر محل قرار گیری و ابعاد لایه ژئوتکستایل و اثر چسبندگی خاک بر رفتار ستون سنگی محصور در ژئوتکستایل. از نتایج این تحقیق می توان به شناخت صحیح استفاده از ژئوتکستایل (ژئوتکستایل بافته شده با مقاومت نرمال الاستیک مشخص) برای جلوگیری از کاهش شکم دادگی و نشست ، و افزایش مقاومت و ظرفیت باربری ستون اشاره کرد.

کلمات کلیدی: ستون سنگی، ژئوتکستایل، رفتار تکی و گروهی، روش المان محدود، محصور شدگی.

فهرست مطالب

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-۳- ساختار پایان نامه ۵
۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- تعریف خاک مسلح ۸
۲-۳- موارد کاربرد خاک مسلح ۸
۲-۴- بخشهای تشکیل دهنده سیستم خاک مسلح ۹
۲-۵- خاک تشکیل دهندهسیستم خاک مسلح ۹
۲-۶- مسلح کننده‌ها ۹
۲-۷- ژئو سنتتیک‌ها ۱۰
۲-۸- انواع ژئو سنتتیک‌ها ۱۱
۲-۹- موارد کاربرد ژئوسنتتیک ها ۱۲
۲-۹-۱-فیلتراسیون ۱۲
۲-۹-۲- زهکشی ۱۲
۲-۹-۳- جداسازی ۱۳
۲-۹-۴- تسلیح خاک ۱۳
۲-۱۰- ژئوتکستایل ها (Geotextiles) ۱۳
۲-۱۱- کاربردهای مهم ژئوتکستایل ۱۴
۲-۱۲- خصوصیات اساسی ژئوتکستایل ۱۷
۲-۱۲-۱- دوام ۱۷
۲-۱۲-۲- تخلخل (معیار فیلتر) ۱۷
۲-۱۲-۳- مقاومت در برابر آبشستگی ۱۷
۲-۱۲-۴- مقاومت مکانیکی ۱۷
۲-۱۳- موارد کاربرد ژئوتکستایل ۱۸
۲-۱۳-۱- ژئوتکستایل‌های جدا کننده ۱۸
۲-۱۳-۲- ژئوتکستایل های تقویت کننده ۱۸
۲-۱۴- قابلیتهای ژئوتکستایل ۱۹
۲-۱۵- ژئوگریدها (Geogrids) ۲۰
۲-۱۵-۱- کاربردهای مهم ژئوگریدها ۲۱
۲-۱۵-۲- نکات مهم دراستفاده از ژئوگریدها ۲۳
۲-۱۶- ژئوممبرین ها ۲۴
۲-۱۷- ژئونتها ۲۴

۲-۱۸- ژئوکامپوزیتها ۲۵
۲-۱۹- ژئوسل ها ۲۵
۲-۲۰- تسمه های فولادی ۲۵
۲-۲۱- عملکرد تقویت کننده در آزمایش برش مستقیم ۲۶
۲-۲۲- اثرات تقویت کننده برروی تعادل شیروانی مسلح ۳۰
۲-۲۳- رفتارخاک مسلح ۳۲
۲-۲۳-۱- سازگاری کرنش ۳۳
۲-۲۳-۲- اندرکنش بین خاک و تقویت کننده ۳۵
۲-۲۳-۳- مقایسه آزمایش برش مستقیم اصلاح شده و آزمایش بیرون کشیدگی ۳۶
۲-۲۳-۴- ضرایب لغزش مستقیم ۳۸
۲-۲۳-۵- ضرایب چسبندگی ۳۹
۲-۲۳-۶-مفهوم زاویه اصطکاک ۴۰
۲-۲۳-۷- مقاومت خاک‌های متراکم ۴۳
۲-۲۳-۸- رفتارخاک‌های دانه‌ای ۴۵
۲-۲۳-۹- دانسیته نسبی خاک‌های دانه‌ای ۴۶
۲-۲۳-۱۰- زاویه اصطکاک طراحی ۴۷
۲-۲۴- آزمایش برش مستقیم ۴۷
۲-۲۴-۱- ترتیب آزمایش ۴۸
۲-۲۴-۲- زاویه اصطکاک پیک ۴۸
۲-۲۴-۳- زاویه اصطکاک حجم ثابت ۴۹
۲-۲۴-۴- استفاده از روابط بولتون ۵۰
۳-۱- مقدمه ۵۲
۳-۲- روابط اصلی ۵۸
۳-۳- مفهوم سلول واحد ۵۸
۳-۴- نرخ مساحت جابجایی ۵۹
۳-۵- تراکم تنش در ستون سنگی ۶۰
۳-۶- مکانیزم گسیختگی ۶۱
۳-۷- آنالیز بارنهایی ۶۴
۳-۷-۱- ستون سنگی تکی ۶۴
۳-۸- ستون‌های سنگی مسلح شده با ژئوسینتتیک‌ها ۶۷
۳-۸-۱- ستون سنگی تکی کوچک مقیاس (آزمایش سه محوری) ۶۷

۳-۸-۱-۱- اثر ژئوسیننتتیک بر روی مدول سکانت ۷۱
۳-۸-۲- گروه ستون سنگی روکش شده با ژئوسینتتیک ۷۳
۳-۹- بررسی اثرسختی روکش ژئوسنتتیک در رفتارگروه‌ستون‌های‌سنگی روکش‌شده ۷۶
۳-۱۰- مدل آزمایشگاهی گروه ستون سنگی ۷۷
۳-۱۱- استفاده از آنالیز ابعادی‌به‌منظورتبدیل‌نتایج آزمایشگاهی‌ستون‌سنگی‌به ابعاد واقعی ۸۲
۳-۱۲- آنالیز ابعادی ۸۳
۳-۱۲-۱- نحوه‌مدل‌کردن آزمایشات ۸۴
۳-۱۳- نحوه تغییر کرنش در طول ستون سنگی محصور شده ۸۶
۳-۱۴- اثر طول ستون بر روی ظرفیت باربری ۸۸
۳-۱۶- مدل های رفتاری مختلف مصالح ۹۱
۳-۱۶-۱- مدل الاستیک خطی ۹۲
۳-۱۶-۲- مدل موهر-کولمب ۹۲
۳-۱۶-۳- مدل سنگ درزه دار ۹۲
۳-۱۶-۴- مدل خاک سخت شونده ۹۳
۳-۱۶-۵- مدل Cam-Clay اصلاح شده ۹۳
۳-۱۶-۶- مدل خزش خاک نرم (Soft Soil Creep Model) ۹۳
۳-۱۶-۷- مدل خاک نرم (Soft Soil Model) ۹۳
۳-۱۷- خلاصه ۹۴
۴-۱- مقدمه ۹۷
۴-۲- روش حل مساله ۹۷
۴-۳- مشخصات آیتم‌های به‌کار برده شده در نرم‌افزار ۹۸
۴-۳-۱- المان‌ها ۹۹
۴-۳-۲- ژئوتکستایل ۹۹
۴-۳-۳- سطح مشترک ۱۰۰
۴-۳-۴- تغییر مکان مقرر شده ۱۰۱
۴-۳-۵- گیرداری‌ها ۱۰۲
۴-۴- محاسبات ۱۰۲
۴-۵- مشخصات مصالح ۱۰۳
۴-۶- نتایج ۱۰۳
۴-۶-۱- مقایسه ۱۰۳
۴-۶-۲- اثر قطر ستون ۱۰۵

۴-۶-۳- اثر طول ستون ۱۰۸
۴-۶-۴- اثر چسبندگی خاک رس اطراف ستون: ۱۱۸
۴-۶-۵- بررسی محل قرار گیری لایه ژئوتکستایل ۱۲۰
۴-۷- گروه ستون سنگی ۱۲۳
۴-۷-۱- نتایج اثر گروه ستون سنگی تحت بار استاتیکی: ۱۲۴
۴-۷-۱-۱- کانتور جابجایی افقی و قائم در حالت ستون سنگی مسلح شده و مسلح نشده در بارگذاری استاتیکی برای گروه ستون با طول ۱۰ متر: ۱۲۷
۴-۷-۱-۲- ستون سنگی مسلح شده و مسلح نشده در بارگذاری استاتیکی برای گروه ستون با طول ۱۸ متر: ۱۳۲
۴-۷-۲- نتایج اثر گروه ستون سنگی تحت بار دینامیکی: ۱۳۶
۲-۸- نقاط پلاستیک ۱۴۳
۲-۹- کرنش برشی ۱۴۷
۵-۱- مقدمه ، نتیجه گیری و پیشنهادها: ۱۴۵
۵-۲- پیشنهادها: ۱۴۷

فهرست اشکال

شکل 2-1 برخی از انواع ژئوتکستایل ها[۸] ۱۴

شکل 2-2 کاربرد ژئوتکستایل درزیر اساس جاده [8] ۱۵

شکل 2-3استفاده از ژئوتکستایل در ساخت و تعمیر جاده ها [8] ۱۵

شکل 2-4استفاده از ژئوتکستایل در حفاظت از سواحل [8] ۱۵

شکل 2-5 کاربرد ژئوتکستایل در ساخت و بستر سازی و ترمیم جاده ها [8] ۱۶

شکل 2-6 مراحل نصب ژئوتکستایل در شیب دامنه [8] ۱۶

شکل 2-7 کاربرد ژئوتکستایل در فیلتراسیون [8] ۱۶

شکل 2-8- ژئوتکستایل (الف) جداکننده، (ب) تقویت کننده [2] ۱۹

شکل 2-9- ژئوگریددو محوره از جنس پلی اتیلن[5] ۲۱

شکل 2-10مراحل کارگذاری ژئوگرید بر روی شیبهای ناپایدار[۹] ۲۲

شکل 2-11 کاربردژئوگریددرمسلحکردنخاك[9] ۲۳

شکل 2-12 استفاده از ژئوگرید به عنوان محافظ دیوارهای سنگی در جاده ها[9] ۲۳

شکل 2-13 نحوه عملکرد خاک متراکم و شل تحت نیروی برشی[2] ۲۶

شکل 2-14 عملکرد تقویت کننده در آزمایش برش مستقیم. (ب)کرنشهای کششی و فشاری در خاک و (الف) برآیند نیروهای تقویت کننده[۲] ۲۷

شکل 2-15 تعیین جهت بهینه تقویت کننده برای بهبود مقاومت برشی[10] ۲۸

شکل 2-16 تاثیر جهت تقویت کننده در بهبود مقاومت برشی[10] ۲۹

شکل 2-17 جهت بهینه در تقویت کننده، ماکزیمم چسبندگی[10] ۲۹

شکل 2-18 جهت بهینه در تقویت کننده، ماکزیمم کرنش کششی[2] ۳۰

شکل 2-19 اثرات تقویت کننده بر روی تعادل (الف) شیروانی غیر مسلح و (ب) جزئیا ت نیروی تقویت کننده[2] ۳۱

شکل 2-20 روابط برای سازگاری کرنش، مقاومت برشی بسیج شده خاک[3] ۳۳

شکل 2-21 روابط برای سازگاری کرنش، نیروی بسیج شده تقویت کننده[3] ۳۴

شکل 2-22 منحنی سازگاری برای تعیین تعادل در خاک مسلح[3] ۳۴

شکل 2-23 اندرکنش بین خاک و تقویت کننده[1] ۳۶

شکل 2-24 تعریف ابعاد تقویت کننده[2] ۳۷

شکل 2-25 چسبندگی بین خاک و تقویت کننده[2] ۳۹

شکل 2-26 تعادل تنش‌ها در خاک[10] ۴۱

شکل 2- 27 رابطه بین K_0 و زاویه اصطکاک پیک برای خاکهای دانه‌ای[10] ۴۲

شکل 2-28 افزایش زاویه اصطکاک پیک با فاصله از خط CSL ،(الف): خط حالت بحرانی (ب): مقاومت پیک بر حسب حجم ویژه (ج): پیش تحکیمی[8] ۴۳

شکل 2-29 تغییر در زاویه اصطکاک پیک با تنش میانگین در خاک‌های دانه‌ای[2] ٤٤
شکل 2-30 منحنی پوش مقاومت[2] ٤٥
شکل 2-31 آزمایش برش مستقیم[2] ٤٨
شکل 2-32 نتایج آزمایش برش مستقیم روی خاک دانه ای متراکم[2] ٤٩
شکل 3-1 روش ساخت ستون سنگی[١٢] ٥٣
شکل 3-2 گام‌های ساخت ستون سنگی[١٢] ٥٤
شکل 3-3 انتخاب فواصل نیشتر زدن در ساخت ستون‌های سنگی[25] ٥٦
شکل 3-4 محدوده مناسب برای دانه بندی خاک در تراکم ارتعاشی[25] ٥٦
جدول 3-2 طبقه بندی مصالح پرکننده[25] ٥٧
شکل 3-5 الگوی مثلثی ستون‌های سنگی[7] ٥٨
شکل 3-6ایده‌آل سازی مفهوم سلول واحد[7] ٥٩
شکل 3-7انواع مکانیزم گسیختگی ستون سنگی[17] ٦٢
شکل 3-8انواع بارگذاری بر روی ستون سنگی(الف) صفحه صلب، (ب) متمرکز و (ج) گسترده [7] ٦٣
شکل 3-9تاثیر وجود لایه رسی بسیار نرم در گسیختگی ستون سنگی[7] ٦٤
شکل 3-10بردارهای جابجایی در گسیختگی ستون سنگی در مقیاس آزمایشگاهی[21] ٦٤
شکل 3-11 مقادیر F'c و F'q[19] ٦٥
شکل 3-12 آنالیز گروه ستون سنگی- الگوی مربعی یا نواری[١٦] ٦٦
شکل 3-13 تغییرات بار محوری بر حسب تغییر طول محوری نمونه آزمایشی[16] ٦٩
شکل 3-14 مدول‌سکانت‌برحسب‌تغییرطول‌محوري‌نمونه‌هاي آزمايشي[15] ٧٢
شکل 3-15 مدول‌سکانت‌نسبي‌برحسب‌تغییرطول‌محوري‌نمونه‌هاي آزمايشي[15] ٧٢
شکل 3-16 نحوه‌مش‌بندي‌مدل‌هاي‌عددي‌ساخته‌شده[23] ٧٤
شکل 3-17 جانمايي‌ستون‌هاي‌به‌کار رفته در بررسي‌نتايج‌حاصل از تحليل‌هاي‌عددي[23] ٧٤
شکل 3-18 مقايسه‌ميزان‌کرنش‌قائم‌ستون‌شماره13گروه‌ستون‌هاي‌سنگي روکش‌شده و معمولي[23] ٧٥
شکل 3-19مقايسه‌تغيير شکل‌جانبي‌ستون‌شماره25گروه‌ستون‌هاي‌سنگي ٧٥
شکل 3-20 مقايسه‌ميزان‌کرنش‌قائم‌ستون‌شماره13گروه‌ستون‌هاي‌سنگي‌باسختي روکش‌هاي‌متفاوت[23] ٧٦
شکل 3-21 مقايسه‌ميزان‌کرنش‌جانبي‌ستون‌شماره25گروه‌ستون‌هاي‌سنگي‌باسختي روکش‌هاي‌متفاوت[23] ٧٧
شکل 3-22 مدل ستون سنگی و پی آنها در حالت تکی و گروهی[27] ٧٧
شکل 3-23 دستگاه مورد استفاده برای آزمایش ستون سنگی[27] ٧٨
شکل 3-24 موقعیت قرار گیری ستون[27] ٧٩
شکل 3-25 نمودارهای نشست- بار ستون سنگی تکی با قطر 60 میلی متر[27] ٨٠
شکل 3-26 نمودارهای نشست- بار ستون سنگی تکی با قطر 80 میلی متر[27] ٨٠

شکل 3-27 نمودارهای نشست- بار ستون سنگی تکی با قطر 100 میلی متر[27] ۸۱
شکل 3-28 نمودارهای نشست- بار گروه ستون سنگی با قطر 60 میلی متر[27] ۸۱
شکل 3-29 مقادیرCBRپیش‌بینی‌شده در مقابلCBRمشاهده‌شده در آزمایشگاه[21] ۸۵
شکل 3-30 شماتیک آزمایش بارگذاری بر روی ستون تکی و نحوه اتصال کرنش‌سنج‌ها[27] ۸۶
شکل 3-31 آزمایش گروه ستون سنگی و بارگذاری بر روی پی مورد آزمایش[27] ۸۶
شکل 3-32 کرنش ایجاد شده در طول ستون تحت بارگذاری[27 .....] ۸۷
شکل 3-33 خاک مسلح شده با ستون سنگی با طول متفاوت[9] ۸۸
شکل 3-34 منحنی بار در برابر نشست برای شرایط ستون با طول متفاوت[9] ۸۹
شکل 3-35 مدول عکس العمل بستر (ضریب برجهندگی) در برابر طول‌های متفاوت ستون سنگی[9] ۹۰
شکل 3-36 انواع مصالح ژئوسینتتیکی مورد استفاد برای محصور کردن ستون سنگی[10] ۹۱
شکل 4-1- نمایی از آرایش ستون‌ها[7] ۹۸
شکل 4-2 چگونگی گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های 15 گرهی خاک [29]. ۹۹
شکل 4-3 موقعیت گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های ژئوتکستایل 5 گرهی [29]. ۱۰۰
شکل 4-4 توزیع گره‌ها و نقاط تنش در المان سطح مشترک و نحوه اتصال آنها به المان‌های خاک [29]. ۱۰۱
شکل 4-5 مقایسه بر اساس مقاله [26Murugesan and Rajagopal] ۱۰۴
شکل 4-6 مقایسه بر اساس مقاله [28Murugesan and Rajagopal] ۱۰۴
شکل 4-7 مقایسه بر اساس مقاله [27Ghazavi and Afshar] ۱۰۵
شکل 4-8نحوه مدلسازی ۱۰۶
شکل 4-9مش‌بندی ۱۰۶
شکل 4-10(الف)مدلسازی ژئوتکستایل و(ب)اندرکنش آن با خاک، محل بررسی ظرفیت باربری ۱۰۷
شکل 4-11منحنی نشست- نیرو برای قطرهای متفاوت ستون سنگی ۱۰۸
شکل 4-12تغییر شکل کل برای ستون به طول 4 متر(الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۰۹
شکل 4-13تغییر شکل کل برای ستون به طول 7 متر (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۰۹
شکل 4-14تغییر شکل کل برای ستون به طول 10 متر (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۱۰
شکل 4-15تغییر شکل کل برای ستون به طول 13 متر (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۱۰
شکل 4-16تغییر شکل کل برای ستون به طول 15 متر (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۱۱
شکل 4-17تغییر شکل کل برای ستون به طول 18 متر (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۱۱
شکل 4-18 اثر طول ستون در حالت مسلح نشده در شرایط شالوده به قطر 5 متر ۱۱۲
شکل 4-19اثر طول ستون در حالت مسلح شده در شرایط شالوده به قطر 5 متر ۱۱۳
شکل 4-20مقایسه اثر طول ستون در حالت مسلح شده و مسلح نشده در شرایط شالوده به قطر 5 متر ۱۱۳
شکل 4-21اثر طول ستون در حالت مسلح نشده در شرایط شالوده به قطر 3 متر ۱۱۴
شکل 4-22اثر طول ستون در حالت مسلح شده در شرایط شالوده به قطر 3 متر ۱۱۴

شکل 4-23مقایسه اثر طول ستون در حالت مسلح شده و مسلح نشده در شرایط شالوده به قطر 3 متر ۱۱۵
شکل 4-24تغییر شکل لایه ژئوتکستایل با طول 4 متر، (الف) کل، (ب)قائم و (ج) افقی ۱۱۵
شکل 4-25تغییر شکل لایه ژئوتکستایل با طول 7 متر، (الف) کل، (ب)قائم و (ج) افقی ۱۱۶
شکل 4-26تغییر شکل لایه ژئوتکستایل با طول 10 متر، (الف) کل، (ب)قائم و (ج) افقی ۱۱۶
شکل 4-27تغییر شکل لایه ژئوتکستایل با طول 13 متر، (الف) کل ، (ب) قائم و (ج) افقی ۱۱۷
شکل 4-28تغییر شکل لایه ژئوتکستایل با طول 15 متر، (الف) کل، (ب) قائم و (چ) افقی ۱۱۷
شکل 4-29اثر چسبندگی خاک رس روی منحنی‌های نشست- نیرو برای حالت مسلح نشده ۱۱۸
شکل 4-30اثر چسبندگی خاک رس روی منحنی‌های نشست- نیرو برای حالت مسلح شده ۱۱۹
شکل 4-31نمودار اثر چسبندگی بر ظرفیت باربری شالوده همراه با ستون سنگی در حالت مسلح شده و نشده ۱۲۰
شکل 4-32 لایه مسلح کننده به طول (الف) 4 و (ب) 6 متر در بالای ستون سنگی ۱۲۱
شکل 4-33 لایه مسلح کننده به طول (الف) 4 و (ب) 6 متر در وسط ستون سنگی ۱۲۱
شکل 4-34کانتور جابجایی کل حالت بدون لایه ژئوتکستایل ۱۲۲
شکل 4-35کانتور تنش کل حالت لایه ژئوتکستایل در بالا (الف) در وسط ستون (ب) ۱۲۲
شکل 4-36کانتور جابجایی کل حالت لایه ژئوتکستایل در بالا (الف) در وسط ستون (ب) ۱۲۲
شکل 4-37نحوه مدلسازی گروه ستون سنگی (شش ستون سنگی و ستون مرکزی)[27] ۱۲۴
شکل 4-38ستون تکی در حالت (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۲۵
شکل 4-39 ستون سنگی در حالت (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۲۵
شکل 4-40 ستون سنگی در حالت (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۲۶
شکل 4-41 ستون سنگی در حالت (الف) مسلح شده و (ب) مسلح نشده ۱۲۶
شکل 4-42کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای ستون تکی مسلح نشده ۱۲۷
شکل 4-43کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 6 ستون مسلح نشده ۱۲۷
شکل 4-44کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 12 ستون مسلح نشده ۱۲۸
شکل 4-45کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 18 ستون مسلح نشده ۱۲۸
شکل 4-46کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای ستون تکی مسلح شده ۱۲۸
شکل 4-47کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 6 ستون مسلح شده ۱۲۹
شکل 4-48کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 12 ستون مسلح شده ۱۲۹
شکل 4-49کانتور جابجایی افقی (الف) و جابجایی قائم (ب) برای 18 ستون مسلح شده ۱۲۹
شکل 4-50منحنی نشست کل- نیرو برای گروه ستون‌های سنگی با طول 10 متر و مسلح نشده ۱۳۰
شکل 4-51منحنی نشست کل- نیرو برای گروه ستون‌های سنگی مسلح شده با ژئوتکستایل ۱۳۱
شکل 4-52اثر افزایش تعداد ستون‌های سنگی بر افزایش ظرفیت باربری (طول 10 متر) ۱۳۲
شکل 4-53کانتور جابجایی افقی ۱۳۳
شکل 4-54کانتور جابجایی قائم برای (لف)18 ستون مسلح شده و(ب) مسلح نشده با طول 18 متر در بارگذاری استاتیکی ۱۳۳

شکل 4-55منحنی نشست کل- نیرو برای گروه ستون‌های سنگی با طول 18 متر و مسلح نشده ۱۳٤
شکل 4-56منحنی نشست کل- نیرو برای گروه ستون‌های سنگی با طول 18 متر و مسلح شده ۱۳٤
شکل 4-57اثر افزایش تعداد ستون‌های سنگی بر افزایش ظرفیت باربری (طول 18 متر) ۱۳٥
شکل 4-58اثر طول گروه ستون سنگی در حالت مسلح شده و نشده ۱۳٥
شکل 4-59مرزهای جاذب در تحلیل دینامیکی ۱۳٦
شکل 4-60نمودار نشست زمان برای بارگذاری دینامیکی ۱۳۸
شکل 4-61جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای ستون تکی مسلح نشده تحت بار دینامیکی ۱۳۸
شکل 4-62جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای ستون تکی مسلح شده تحت بار دینامیکی ۱۳۹
شکل 4-63جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای شش ستون مسلح نشده تحت بار دینامیکی ۱۳۹
شکل 4-64جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای شش ستون مسلح شده تحت بار دینامیکی ۱۳۹
شکل 4-65جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای دوازده ستون مسلح نشده تحت بار دینامیکی ۱٤۰
شکل 4-66جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای دوازده ستون مسلح شده تحت بار دینامیکی ۱٤۰
شکل 4-67جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای هجده ستون مسلح نشده تحت بار دینامیکی ۱٤۰
شکل 4-68جابجایی افقی (ب) و جابجایی قائم (الف) برای هجده ستون مسلح شده تحت بار دینامیکی ۱٤۱
شکل 4-69 منحنی های نیرو- زمان برای بارگذاری دینامیکی در حالت مسلح نشده ۱٤۱
شکل 4-70منحنی‌های نیرو- زمان برای بارگذاری دینامیکی در حالت مسلح شده ۱٤۲
شکل 4-71ظرفیت باربری در بارگذاری دینامیکی در حالت مسلح شده و مسلح نشده ۱٤۲
شکل 4-72 گروه ستون سنگی محصور نشده تحت بار استاتیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤۳
شکل 4-73 گروه ستون سنگی محصور شده تحت بار استاتیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٤
شکل 4-74 ستون سنگی محصور نشده تحت بار استاتیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٤
شکل 4-75 سنگی محصور شده تحت بار استاتیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٥
شکل 4-76 ستون سنگی محصور نشده تحت بار دینامیکی (کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٥
شکل 4-77 گروه ستون سنگی محصور شده تحت بار دینامیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٦
شکل 4-78 گروه ستون سنگی محصور نشده تحت بار دینامیکی(کنتور نقاط پلاستیک) ۱٤٦
شکل 4-79 ستون سنگی محصور نشده تحت بار دینامیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٤۷
شکل 4-80 گروه ستون سنگی محصور نشده تحت بار دینامیکی (کنتور کرنش برشی) ۱٤۷
شکل 4-81 گروه ستون سنگی محصور نشده تحت بار دینامیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٤۸
شکل 4-82 گروه ستون سنگی محصور شده تحت بار دینامیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٤۸
شکل 4-83 ستون سنگی محصور نشده تحت بار استاتیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٤۹
شکل 4-84 ستون سنگی محصور نشده تحت بار استاتیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٤۹
شکل 4-85 گروه ستون سنگی محصور شده تحت بار استاتیکی (کنتور کرنش برشی) ۱٥۰
شکل 4-86 گروه ستون سنگی محصور نشده تحت بار استاتیکی(کنتور کرنش برشی) ۱٥۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱حدود دانه بندی خاک مورد استفاده درسیستم خاک مسلح بر طبقAASHTOT-27[۲].....۹
جدول۱-۲ حداقل مقاومت مکانیکی ورقه های ژئوتکستایل (AASHTO-M288-96) [۸] ۱۸
جدول ۳-۱ انواع واحدهای مرتعش کننده[۱۶] ۵۵
جدول ۳-۲ طبقه بندی مصالح پرکننده [۲۵] ۵۷
جدول ۳-۳ مشخصات فیزیکی نمونه‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های سه محوری [۱۶]..... ۶۸
جدول ۳-۴ مشخصات نمونه‌های آزمایش شده [۱۶] ۷۰
جدول۳-۵مشخصات‌مصالح استفاده‌شده در تحلیل‌های‌عددی[۱۸] ۷۳
جدول ۳-۶ برنامه آزمایشها[۲۷] ۷۹
جدول ۳-۷ ضریب L.Rبرای آزمایشهای ستون سنگی روکش شده[۲۷] ۸۲
جدول۳-۸ مشخصات متغییرهای مستقل[۲۱] ۸۴
جدول ۴-۱: مشخصات ژئوتکستایل مصرفی (CE121)[30] ۱۰۰
جدول ۴-۲- مشخصات مکانیکی خاک‌های مورد بررسی [۲۷] ۱۰۳
جدول ۴-۳- مشخصات مدلسازی گروه ستون سنگی ۱۲۴

فصل اول

مقدمه

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- مقدمه

خاک طبیعی موجود در محل عملیات ساختمانی، همواره به طور کامل مناسب برای تحمل سازه مورد نظر نیست. به عنوان مثال در نهشته های دانه ای، خاک طبیعی ممکن است خیلی شل باشد و نشست الاستیک زیادی از خود نشان دهد. در چنین حالتی لازم است که قبل از احداث ساختمان، کیفیت خاک موجود برای تحمل بار اعمال شده از طرف شالوده باید بهبود یابد. گاهی مواقع در اعماق کم، به لایه‌های نرم و اشباع رس برخورد می‌شود. بر حسب بار شالوده و ضخامت لایه رسی ممکن است نشست‌های قابل توجهی در سازه به وجود آید. برای جلوگیری از چنین نشست هایی لازم است تکنیک های خاصی برای بهبود وضعیت خاک به کار گرفته شود.

از دیدگاه مهندسی ژئوتکنیک، روشهای تقویت خاک را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: روشهای فیزیکی، شامل تمام کارهایی است که باعث افزایش دانسیته خاک می شود، روشهای شیمیایی، شامل تثبیت خاک از طریق افزودن موادی نظیر آهک، سیمان، قیر و سایر مواد شیمایی، می باشد.

یکی از روشهایی که اخیراً به طور وسیعی برای اصلاح رسوبات نرم و خاکهای ریزدانه سست مورد استفاده قرار می گیرد، ستونهای سنگی یا شمعهای دانه ای می باشد. این ستونهای سنگی موجب افزایش مقاومت خاکهای سست شده و همچنین نشست بوجود آمده را در اثر اعمال بار کاهش می دهند. استفاده از ستونهای سنگی برای اصلاح خاک های ریزدانه سست مربوط به سال ۱۹۵۰ می باشد که در این سال ستون سنگی برای اولین بار در کانادا مورد استفاده قرار گرفتند.

تکنیک استفاده از ستون‌های سنگی، یکی از روش‌های بهسازی خاک‌های ضعیف مانند رس‌ها، سیلت‌ها و ماسه‌های سیلتی می‌باشد که کارایی و سازگاری آن با مـحیط‌زیست ثابت شده است. ساخت ستون سنگی شامل جایگزینی خاک‌های نامناسب با ستونی قائم و فشرده از سنگدانه‌هاست که

معمولاً به طور کامل به داخل لایه ضعیف نفوذ می‌کند و سختی آن توسط محصورکنندگی ایجاد شده توسط تنش جانبی موجود در خاک اطراف تأمین می‌شود. وجود ستون باعث ایجاد یک مـصالح مرکب با تراکم‌پذیری کلی کمتر و مقاومت برشی بیشتر از خاک اولیه می‌شود. نشست یکسان ستون و خاک اطراف آن بر اثر اعمال تنش قائم در سطح زمین و سختی بیشتر ستون سنگی نسبت به خاک موجب تمرکز تنش در آن و در نتیجه کاهش نشست و افزایش ظرفیت باربری مجموعه زمین و ستون سنگی‌می‌شود.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به استفاده روز افزون از ستون های سنگی در مناطق ساحلی و مناطق دور از ساحل این امکان وجود دارد که طی گذشت زمان از عملکرد موثر ستون ها (به دلیل شکم دادگی بیش از حد ستون و یا در مورد ستون هایی که به منظور تسریع فرایند زهکشی به کار میروند ذرات خاک رسی باعث پر کردن خلل و فرج ستون شود و فرایند زهکشی و در نتیجه تحکیم به کندی انجام شود، در واقع به عنوان نقش فیلتر می‌تواند عمل کند) کاسته شود. از آنجایی که در کشور ما، ایران، فرآورده‌های ژئوسنتتیکی با تولید بسیار روز افزون انجام می‌شود، ترکیب استفاده از ستون سنگی همراه با پوشش هایی از ژئوسنتتیک ها عملی مقرون به صرفه شناخته می شود. تا اکنون اکثر مطالعاتی که در این زمینه صورت گرفته است مربوط به رفتار استاتیکی این ستون ها می‌باشد و کمتر به رفتار دینامیکی ستون ها پرداخته شده است. رفتار دینامیکی از این لحاظ مهم است که نظر به اینکه استفاده از این ستون ها در مناطق ساحلی که خاک در وضعیت اشباع قرار دارد احتمال وقوع روانگرایی خاک بسیار زیاد است. در نتیجه استفاده از ستون سنگی (با افزایش سرعت زهکشی خاک) باعث کاهش قابلیت روانگرایی خاک می‌شود. به همین دلیل بررسی رفتار ستون سنگی در وضعیت دینامیکی مسئله مهمی است که باید در نظر گرفته شود. مطلب دیگری که در بررسی رفتار ستون های سنگی در نظر گرفته شده است نحوه آنالیز ستون ها می باشد. در مورد ستون های بدون روکش ژئوسنتتیکی بسیاری از

محققین اعتقاد دارند که ستون ها را باید با روش سلول واحد (unit cell) طراحی کرد. روش سلول واحد روشی است که رفتار یک ستون را به صورت تکی و نه گروهی در نظر میگیرند و از رفتار اندرکنشی ستون ها با یکدیگر صرف نظر می شود. با وجود این نظرات بسیاری دیگر از محققین اعتقاد دارند که فرض سلول واحد به نتایج دقیقی منجر نخواهد شد و نمیتوان از رفتار اندرکنشی ستون ها با یکدیگر صرف نظر کرد.

در این تحقیق سعی شده است تا رفتار ستون های سنگی محصور شده در ژئوتکستایل در وضعیت تکی و گروهی به طور مفصل بررسی شود. از نقاط قوت این تحقیق رسیدن به یک الگوی مناسب برای طراحی ستون های سنگی به روش سلول واحد (unit cell) و روش جدید اندرکنشی (interaction) می باشد. همچنین رفتار این ستون های سنگی به صورت دینامیکی و استاتیکی بررسی شده است تا هر دو کاربرد این ستون ها که افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست و کاهش پتانسیل روانگرایی خاک های اشباع است نیز بررسی شود.

در این تحقیق رفتار استاتیکی و دینامیکی ستون های سنگی محصور در ژئوتکستایل ها به صورت تکی و گروهی به صورت دو بعدی با استفاده از روش عددی اجزا محدود Plaxis بررسی می شود. Plaxis 2D یک بسته نرم‌افزاری المان محدود دو بعدی است که به ویژه برای تحلیل تغییر شکل و انجام تحلیل پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیکی توسعه یافته است و موقعیت واقعی را با استفاده از شرایط کرنش صفحه‌ای و یا با مدل تقارن محوری مدل می کند.

از نتایج این تحقیق می توان به شناخت صحیح استفاده از ژئوتکستایل برای جلوگیری از کاهش شکم دادگی و نشست ستون و افزایش مقاومت و ظرفیت باربری ستون اشاره کرد. همچنین از آنجایی که دو وضعیت تکی (سلول واحد) و گروهی (اندرکنشی) ستون ها بررسی می شود می توان در طراحی های آتی ستون های سنگی روش بهینه انتخاب شود و ستون های سنگی را با ضریب اطمینان کمتر و قابلیت اطمینان بیشتر طراحی کرد و رفتار واقعی ستون ها را نسبت به روابط تئوری شناخت.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

در فصل اول موضوع تحقیق و ضرورت انجام آن مطرح می‌شود.

در فصل دومکلیاتی در مورد انواع ژئوسینتتیک‌ها و کاربرد آنها در مهندسی عمران بیان می‌شود و پس از شناخت کلی از ژئوسینتتیک ها به بررسی رفتار اندرکنش ژئوتکستایل- خاک پرداخته می‌شود و چگونگی عملکرد ژئوتکستایل در افزایش مقاومت کششی و افزایش ظرفیت باربری بیان می‌شود.

در فصل سوم ابتدا نحوه اجرا ستون‌های سنگی بیان میگردد و در مورد نحوه عملکرد ستون‌های سنگی در خاک چسبنده بحث می‌شود. ظرفیت باربری تکی (unit cell) و ظرفیت باربری گروهی ستون‌های سنگی بررسی می شود و در مورد ستون‌های سنگی محصور در ژئوتکستایل، کارهای آزمایشگاهی که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است بیان می‌شود.

در فصل چهارم ابتدا شرایط خاک، ژئوتکستایل و ستون سنگی و همچنین مدل رفتاری و پارامترهای مختلفی که در این پایان نامه بررسی می شود بیان می شود. سپس نتایج حاصل از آنالیزهای انجام شده در دو وضعیت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی برای ستون سنگی تکی و ستون‌های سنگی گروهی ارائه می‌شود.

در فصل پنجم نتایج حاصل شده از آنالیز و مدلسازی بیان می‌شود و نتایج آن می‌تواند تحقیقات محققان قبلی را تکمیل نماید. با توجه به محدودیت زمان برای ادامه این تحقیق، پیشنهادهایی مطرح شده است. در انتهای این پایان‌نامه نیز مراجع ذکر می‌گردد.

این تحقیق دو بحث اساسی را در بر می‌گیرد اول رفتار اندرکنشی خاک- ژئوسینتتیک‌ها و همچنین رفتار ستون های سنگی در بارگذاری استاتیکی و دینامیکی و دوم بررسی رفتار تکی و گروهی ستون های سنگی محصور شده در ژئوتکستایل. سپس مدل رفتاری خاک و شیبه‌سازی ستون‌های سنگی در نرم افزار بیان می‌شود و نتایج حاصل از آنالیز را برای پارامترهای مختلف در نظر گرفته شده بیان می شود.