

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

بررسی تأثیر فشار همه جانبه در عملکرد ستون‌های سنگی کوچک مقیاس

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

دانشجو:

حامد پورباقی

استاد راهنما:

دکتر محمود قضاوی

تابستان ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:

تقدیم به پدر و مادر عزیز و مهربانم که هر آنچه هستم را مدیون آنانم.

تشکر و قدردانی:

با تشکر از زحمات فراوان جناب آقای دکتر قضاوی و همچنین راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر نظری افشار که در تمامی مراحل گردآوری این اثر همواره یار و یاور اینجانب بودند.

چکیده

ستون های سنگی یکی از روش های مؤثر بهبود خواص مقاومتی خاک های سست هستند. عملکرد ستون های سنگی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله مقاومت خاک رس، مصالح ستون، نسبت مساحت جایگزینی، چگونگی تسلیح ستون، عمق نفوذ و فشار همه جانبه می باشد. در پژوهش پیش رو ابتدا با استفاده از تعدادی آزمایش سه محوری انجام شده در آزمایشگاه، ستون سنگی احداث شده در خاک رس و در مقیاس کوچک مورد بررسی قرار گرفته است و سپس تحلیل های عددی روی مدل های مشابه، با بهره گیری از روش اجزای محدود و استفاده از نرم افزار ABAQUS نسخه ۶.۱۱ برای تکمیل مطالعات آزمایشگاهی انجام پذیرفته است. با توجه با آزمایش ها و تحلیل های عددی انجام شده، ستون های سنگی به طور کلی و به ویژه با نسبت مساحت بیش از ۱۵٪ عملکرد مطلوبی از خود نشان داده اند. افزایش فشار همه جانبه، بهبود قابل توجهی در خواص مقاومتی خاک داشته است. همچنین مسلح نمودن ستون چه به صورت قائم و چه به صورت قائم مقاومت خاک را به مقادیر قابل توجهی افزایش داده است. به این ترتیب سعی شده است ارزیابی کاملی از عملکرد ستون های سنگی در حالت های مختلف بارگذاری، زهکشی و تسلیح با ژئوسنتیک ها به دست آید.

واژه های کلیدی: ستون سنگی، مقاومت برشی، ژئوسنتیک، سه محوری، اجزای محدود

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: پیشگفتار
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- روشهای اصلاح خاک
۴	۳-۱- ضرورت انجام پژوهش
۴	۴-۱- تعریف موضوع
۵	۵-۱- اهداف پژوهش
۵	۶-۱- ساختار پایان نامه
۶	فصل ۲: مروری بر ادبیات موضوع
۷	۲-۲- مقدمه
۷	۳-۲- آشنایی با ستونهای سنگی [۱]
۹	۳-۳- نحوه اجرای ستونهای سنگی [۱]
۱۰	۳-۳-۱- روش تر (Vibro replacement)
۱۰	۳-۳-۲- روش خشک (Vibro displacement)
۱۰	۳-۳-۳- ستونهای سنگی کوبیدنی (Compacted stone column)
۱۱	۳-۳-۴- شمعهای متراکم ماسه ای (Compacted sandy piles)
۱۱	۳-۳-۵- روش چرخشی - جابجایی (Rotary Displacement Column or Rotocolumn)
۱۳	۴-۲- تاریخچه پژوهشهای انجام شده
۱۴	۲-۴-۲- مطالعات انجام شده توسط حائری و همکاران (۲۰۰۰) [۲]
۱۶	۳-۴-۲- مطالعات انجام شده توسط لاسا و مورتی (۲۰۰۷) [۳]
۱۸	۳-۴-۲- مطالعات انجام شده توسط سیواکومار و همکاران [۴]
۲۰	۵-۴-۲- مطالعات انجام شده توسط نجارو همکاران [۵]
۲۳	۶-۴-۲- نتیجه گیری کلی
۲۴	فصل ۳: مطالعه آزمایشگاهی
۲۵	۲-۳- مقدمه
۲۵	۳-۳- آزمایشهای اولیه
۲۷	۳-۳-۳- آزمایشهای تک محوری به منظور بدست آوردن نمودار $c_u - w$
۲۸	۴-۳- آزمایشهای اصلی
۲۸	۲-۴-۳- آزمایشهای سه محوری روی مصالح دانه ای ستون سنگی:
۲۹	۳-۴-۳- آزمایشهای سه محوری روی رس
۳۰	۴-۴-۳- آزمایشهای روی ستون سنگی

- ۳۱ آماده سازی نمونه و روند انجام آزمایش ۱-۴-۴-۳
- ۳۳ نتایج آزمایش ها ۲-۴-۴-۳
- ۳۵ نتیجه گیری ۵-۳

فصل ۴: مدل سازی عددی و نتایج و تفسیر آن

- ۳۷
- ۳۸ مقدمه ۲-۴
- ۳۸ هندسه‌ی مدل و نوع بارگذاری ۳-۴
- ۳۹ مشخصات مصالح ۴-۴
- ۳۹ خاک رس ۲-۴-۴
- ۴۰ ماسه ۳-۴-۴
- ۴۱ صحت سنجی ۵-۴
- ۴۱ خاک رس ۲-۵-۴
- ۴۴ مصالح دانه ای ۳-۵-۴
- ۴۷ مدل سازی ستون سنگی ۶-۴
- ۴۸ اثر عمق نفوذ ستون سنگی ۳-۶-۴
- ۵۳ اثر مسلح کننده‌ی قائم دورگیر ۴-۶-۴
- ۵۹ اثر فشار همه جانبه ۵-۶-۴
- ۶۲ اثر مدول الاستیسیته مسلح کننده قائم: ۲-۵-۶-۴
- ۶۵ بارگذاری سریع ۷-۴
- ۶۶ صحت سنجی ۲-۷-۴
- ۶۶ خاک رس ۱-۲-۷-۴
- ۶۷ ماسه ۲-۲-۷-۴
- ۶۸ ستون سنگی ۳-۲-۷-۴
- ۶۹ اثر مساحت ستون سنگی ۴-۲-۷-۴
- ۷۰ اثر مسلح کننده‌ی دورگیر ۵-۲-۷-۴
- ۷۲ اثر مسلح کننده‌ی لایه ای ۶-۲-۷-۴
- ۷۶ تحلیل روی مدل های بزرگ مقیاس ۳-۷-۴
- ۷۷ خاک رس ۱-۳-۷-۴
- ۸۱ ستون سنگی ۲-۳-۷-۴
- ۸۴ اثر ژئوتکستایل دورگیر ۳-۳-۷-۴
- ۸۶ اثر ارتفاع ستون سنگی ۴-۳-۷-۴
- ۸۸ نتیجه گیری ۴-۷-۴

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۸۹
- ۹۰ مقدمه ۲-۵
- ۹۰ نتیجه گیری ۳-۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ روش‌های اصلاح خاک ۴
- شکل ۱-۲ نحوه اجرای ستون سنگی [۱] ۷
- شکل ۲-۲ کاربرد ستون سنگی [۱] ۹
- شکل ۳-۲ آرایش‌های مختلف ژئوتکستایل در نمونه سه محوری [۲] ۱۴
- شکل ۴-۲ نتایج مربوط به نمونه‌ی به قطر ۳۸ میلی‌متر مسلح به ژئوتکستایل نوع ۳ با فشار همه جانبه‌ی ۶۰ کیلوپاسکال (a) و نمونه‌ی به قطر ۱۰۰ میلی‌متر مسلح به ژئوتکستایل نوع ۲ با فشار همه جانبه‌ی ۳۰۰ کیلوپاسکال [۲] (b) ۱۵
- شکل ۵-۲ دی‌گرام شماتیک سه حالت مختلف تسلیح [۳] ۱۶
- شکل ۶-۲ رفتار تنش-کرنش ماسه مسلح به انواع مختلف مسلح کننده‌های ساخته شده از پلی استر [۳] ۱۷
- شکل ۷-۲ نمودار تنش-کرنش ماسه مسلح به انواع مختلف مسلح کننده‌های ساخته شده از ژئوتکستایل [۳] ۱۷
- شکل ۸-۲ نمودار تنش-کرنش برای حالت بارگذاری یکنواخت ستون سنگی با تراکم مرطوب (a) و به صورت منجمد [۴] (b) ۱۹
- شکل ۹-۲ مقایسه نمودار تنش-کرنش ستون مسلح و غیر مسلح [۴] ۲۰
- شکل ۱۰-۲ نمودارهای تنش-کرنش محوری و نیز فشار آب حفره ای-کرنش محوری مربوط به ستون سنگی غیر مسلح [۵] ۲۱
- شکل ۱۱-۲ نمودارهای تنش-کرنش محوری و نیز فشار آب حفره ای-کرنش محوری مربوط به ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر [۵] ۲۲
- شکل ۱-۳ منحنی دانه بندی مصالح دانه ای ستون ۲۵
- شکل ۲-۳ وضعیت خاک رس کائولین در چارت پلاستیسیته ۲۶
- شکل ۳-۳ نمودار دانه بندی رس کائولین ۲۷
- شکل ۴-۳ نمودار C_u-W برای خاک رس کائولین با استفاده از نتایج آزمایش‌های تک محوری ۲۸
- شکل ۵-۳ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ماسه با فشار همه جانبه ۵۰ کیلوپاسکال ۲۹
- شکل ۶-۳ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ماسه با فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال ۲۹
- شکل ۷-۳ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری رس با رطوبت ۳۲/۵٪ ۳۰
- شکل ۸-۳ نمونه رس در قالب پس از ایجاد سوراخ مربوط به ستون سنگی ۳۲
- شکل ۹-۳ نمونه رس در قالب پس از جایگذاری ستون سنگی ۳۲
- شکل ۱۰-۳ نمونه‌ی جاسازی شده در دستگاه سه محوری و آماده‌ی انجام آزمایش ۳۳
- شکل ۱۱-۳ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ و مقایسه آن با رس تنها برای فشارهای همه جانبه‌ی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال ۳۴
- شکل ۱-۴ هندسه و مش بندی مدل نمونه‌ی سه محوری ۳۹
- شکل ۲-۴ نمودارهای تنش تفاضلی-کرنش محوری خاک رس برای فشارهای همه جانبه ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال ۴۲
- شکل ۳-۴ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری برای فشارهای همه جانبه ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال ۴۳
- شکل ۴-۴ کانتور تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی رس، (تنش همه جانبه 150 kPa) ۴۴

شکل ۴-۵ نمودارهای تنش تفاضلی- کرنش محوری خاک رس برای فشارهای همه جانبه ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال ۴۵

شکل ۴-۶ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری برای فشارهای همه جانبه ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال ۴۵

شکل ۴-۷ کانتور تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ماسه، (تنش همه جانبه 150 kPa) ۴۷

شکل ۴-۸ شمای کلی نمونه ستون سنگی در داخل خاک رس به همراه مش بندی ۴۸

شکل ۴-۹ جزئیات چگونگی اجرای ستون با عمق نفوذ های مختلف ۴۸

شکل ۴-۱۰ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۷/۹٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۴۹

شکل ۴-۱۱ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۷/۹٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۴۹

شکل ۴-۱۲ کانتور تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی با نسبت مساحت ۷/۹٪ برای ستون سنگی با نفوذ کامل ۵۰

شکل ۴-۱۳ کانتور تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی با نسبت مساحت ۷/۹٪ برای ستون سنگی با نسبت ارتفاع ۰/۷۵ ۵۱

شکل ۴-۱۴ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۵۲

شکل ۴-۱۵ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۵۲

شکل ۴-۱۶ شکل کلی نمونه ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر واقع در رس به همراه مش بندی ۵۴

شکل ۴-۱۷ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۷/۹٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۵۴

شکل ۴-۱۸ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۷/۹٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۵۵

شکل ۴-۱۹ کانتور تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۷/۹٪ ۵۵

شکل ۴-۲۰ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ حاصل از آزمایشگاه و تحلیل عددی برای فشار همه جانبه‌ی ۱۵۰ کیلوپاسکال ۵۷

شکل ۴-۲۱ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ ۵۷

شکل ۴-۲۲ کانتور تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ ۵۸

شکل ۴-۲۳ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۷/۹٪ ۵۹

شکل ۴-۲۴ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۷/۹٪ ۶۰

شکل ۴-۲۵ نمودار تنش تفاضلی- کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت ۱۷/۸٪ ۶۰

شکل ۴-۲۶ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۷/۸٪..... ۶۱

شکل ۴-۲۷ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با سختی متغیر، نسبت مساحت ۷/۹٪ و فشار همه جانبه ی ۱۵۰ کیلوپاسکال..... ۶۳

شکل ۴-۲۸ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با سختی متغیر، نسبت مساحت ۷/۹٪ و فشار همه جانبه ی ۱۵۰ کیلوپاسکال..... ۶۳

شکل ۴-۲۹ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با سختی متغیر . نسبت مساحت ۱۷/۸٪ و فشار همه جانبه ی ۱۵۰ کیلوپاسکال..... ۶۴

شکل ۴-۳۰ نمودار فشار آب حفره ای در مقابل کرنش محوری ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با سختی متغیر، نسبت مساحت ۱۷/۸٪ و فشار همه جانبه ی ۱۵۰ کیلوپاسکال..... ۶۴

شکل ۴-۳۱ مقایسه ی نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری خاک رس حاصل از تحلیل عددی و آزمایشگاه..... ۶۷

شکل ۴-۳۲ مقایسه ی نتایج آزمایشگاه و تحلیل عددی ماسه..... ۶۸

شکل ۴-۳۳ مقایسه ی نتایج حاصل از آزمایشگاه و آنالیز عددی ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪..... ۶۹

شکل ۴-۳۴ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ و همچنین ۲۵٪ برای فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال..... ۶۹

شکل ۴-۳۵ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ غیر مسلح و نیز مسلح به ژئوتکستایل دورگیر برای فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال..... ۷۱

شکل ۴-۳۶ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۲۵٪ غیر مسلح و نیز مسلح به ژئوتکستایل دورگیر برای فشار همه جانبه ی ۱۰۰ کیلوپاسکال..... ۷۱

شکل ۴-۳۷ نمودار تنش تفاضلی-کرنش محوری ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ مسلح به انواع مسلح کننده و غیر مسلح برای فشار همه جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال..... ۷۳

شکل ۴-۳۸ کانتور تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته ی ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ مسلح به یک لایه ژئوتکستایل با فشار همه جانبه ی ۱۰۰ کیلو پاسکال..... ۷۴

شکل ۴-۳۹ کانتور تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته ی ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ مسلح به سه لایه ژئوتکستایل با فشار همه جانبه ی ۱۰۰ کیلو پاسکال..... ۷۴

شکل ۴-۴۰ کانتور تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته ی ستون سنگی با نسبت مساحت ۱۳/۷٪ مسلح به پنج لایه ژئوتکستایل با فشار همه جانبه ی ۱۰۰ کیلو پاسکال..... ۷۵

شکل ۴-۴۱ هندسه و نمای کلی مدل..... ۷۸

شکل ۴-۴۲ نمودار تنش زیر پی نسبت به جابه جایی محوری برای رس تنها در فشارهای همه جانبه ی ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ کیلوپاسکال..... ۷۹

شکل ۴-۴۳ کانتور تغییرات تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته ی رس با فشار همه جانبه ی ۳۵۰ کیلوپاسکال..... ۷۹

شکل ۴-۴۴ نمودارهای تغییرات فشار آب حفره ای نسبت به جابه جایی محوری برای رس در سه مقطع در عمق های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ از ارتفاع نمونه..... ۸۰

شکل ۴-۴۵ کانتور تغییرات فشار آب حفره ای در مقطع تغییر شکل یافته ی رس با فشار همه جانبه ی ۳۵۰ کیلوپاسکال..... ۸۱

شکل ۴-۴۶ نمودارهای تنش زیر پی نسبت به جابه جایی محوری برای رس تنها و همچنین به همراه ستون سنگی..... ۸۲

- شکل ۴-۴۷ کانتور تغییرات تنش برشی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی در فشار همه جانبه‌ی ۳۵۰ کیلوپاسکال ۸۳
- شکل ۴-۴۸ نمودارهای تغییرات فشار آب حفره‌ی نسبت به جابه‌جایی محوری در ستون سنگی برای سه مقطع در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ از ارتفاع نمونه ۸۳
- شکل ۴-۴۹ کانتور تغییرات فشار آب حفره‌ای در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی با فشار همه جانبه‌ی ۳۵۰ کیلوپاسکال ۸۴
- شکل ۴-۵۰ نمودارهای تغییرات تنش زیر پی نسبت به جابه‌جایی محوری رس به همراه ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر ۸۵
- شکل ۴-۵۱ کانتور تغییرات تنش اصلی حداکثر در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر در فشار همه جانبه‌ی ۳۵۰ کیلوپاسکال ۸۶
- شکل ۴-۵۲ نمودارهای تغییرات تنش زیر پی نسبت به جابه‌جایی محوری برای عمق‌های نفوذ ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و نفوذ کامل برای فشار همه جانبه‌ی ۲۰۰ کیلوپاسکال ۸۷
- شکل ۴-۵۳ کانتور تغییرات تنش میانگین در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی با عمق نفوذ ۰/۵۰ و فشار همه جانبه‌ی ۲۰۰ کیلوپاسکال ۸۷
- شکل ۴-۵۴ کانتور تغییرات فشار آب حفره‌ی در مقطع تغییر شکل یافته‌ی ستون سنگی با عمق نفوذ ۰/۵۰ و فشار همه جانبه‌ی ۲۰۰ کیلوپاسکال ۸۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مقاومت برشی بدست آمده برای ماسه مسلح به انواع ژئوسنتتیک‌های و انواع روش‌های تسلیح [۳]..... ۱۸
- جدول ۲-۲ پارامترهای برشی مؤثر ستون سنگی [۵]..... ۲۲
- جدول ۱-۳ مقادیر مهم دانه بندی مصالح دانه ای..... ۲۶
- جدول ۲-۳ نتایج حاصل از آزمایش روی ستون سنگی با نسبت مساحت 13.6% ۳۵
- جدول ۱-۴ پارامترهای خاک رس در مدل Cam-Clay..... ۴۰
- جدول ۲-۴ پارامترهای ماسه‌ی اتاوا در مدل Cap..... ۴۰
- جدول ۳-۴ نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل عددی روی رس غیر مسلح..... ۴۳
- جدول ۴-۴ نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل عددی روی ماسه..... ۴۶
- جدول ۵-۴ نتایج آزمایشگاهی و عددی ستون سنگی با نسبت مساحت 7.9% ۵۱
- جدول ۶-۴ نتایج آزمایشگاهی و عددی ستون سنگی با نسبت مساحت 17.8% ۵۳
- جدول ۷-۴ نتایج آزمایشگاهی و عددی ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت 7.9% ۵۶
- جدول ۸-۴ نتایج آزمایشگاهی و عددی ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت 17.8% ۵۸
- جدول ۹-۴ نتایج مربوط به تأثیر فشار همه جانبه روی ستون سنگی غیر مسلح و همچنین مسلح به ژئوتکستایل دورگیر..... ۶۲
- جدول ۱۰-۴ نتایج مربوط به تأثیر سختی مسلح کننده بر عملکرد ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر..... ۶۵
- جدول ۱۱-۴ پارامترهای خاک رس در مدل مور-کولمب..... ۶۶
- جدول ۱۲-۴ پارامترهای ماسه در مدل Cap..... ۶۷
- جدول ۱۳-۴ نتایج حاصل از آنالیز ستون سنگی با نسبت مساحت 13.7% و 2.5% ۷۰
- جدول ۱۴-۴ نتایج حاصل از آنالیز ستون سنگی مسلح به ژئوتکستایل دورگیر با نسبت مساحت 13.7% و 2.5% ۷۲
- جدول ۱۵-۴ نتایج مربوط به آنالیز ستون سنگی مسلح به مسلح کننده‌ی لایه ای..... ۷۶
- جدول ۱۶-۴ پارامترهای خاک رس در مدل Cam-Clay..... ۷۷
- جدول ۱۷-۴ پارامترهای مدل Cap..... ۸۱

فصل ۱:

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

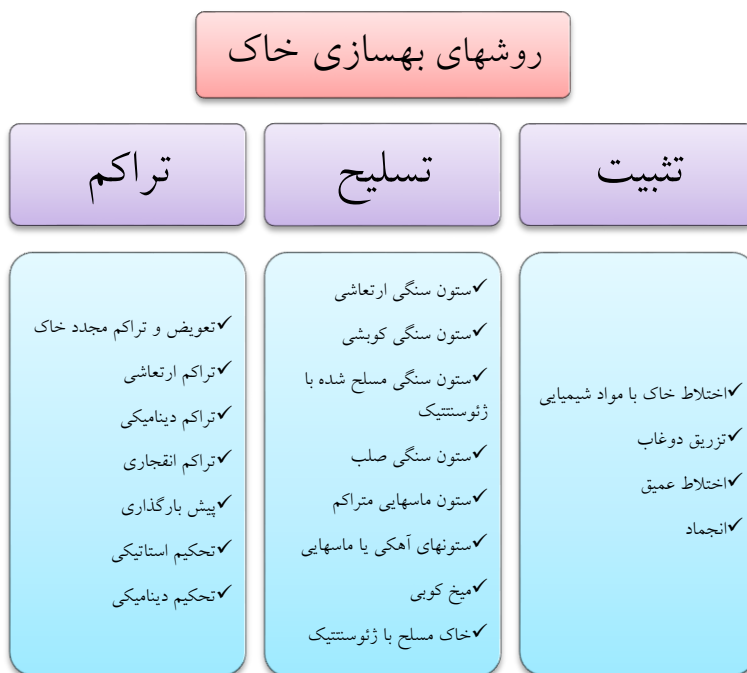
عواملی همچون رشد سریع صنایع، تاسیسات زیر بنایی، افزایش روز افزون جمعیت و مشکل کمبود زمین مناسب جهت احداث سازه‌های مورد نیاز موجب شده است تا مهندسين ژئوتکنیک با یک چالش جدی برای تامین شرایط لازم روبرو شوند. جهت احداث یک سازه‌ی مناسب باید به نوعی کیفیت خاک نامناسب را از لحاظ پارامترهای مهندسی ارتقاء داد که در اکثر موارد هدف از اصلاح خاک تامین شرایط زیر می‌باشد:

- افزایش مقاومت برشی و ظرفیت باربری خاک
- کاهش نشست پذیری خاک
- کاهش تخلخل و افزایش چگالی خاک
- یکنواخت سازی ویژگی‌های تغییرپذیری خاک
- کنترل تغییرات حجمی انبساطی خاک (مثلاً تورم در اثر باربرداری یا افزایش رطوبت به خصوص در خاک‌های رسی)
- افزایش پایداری

۱-۲- روش‌های اصلاح خاک

روش‌های بسیاری برای بهسازی خاک محل وجود دارد که به‌طور کلی با توجه به شکل ۱-۱ به سه دسته کلی تثبیت، تسلیح و تراکم تقسیم می‌شوند. از بین روش‌های ارائه شده استفاده از ستون‌های سنگی به عنوان روشی مناسب قابلیت خود را در اکثر خاک‌ها خصوصاً در خاک‌های رسی نرم به اثبات رسانده است. ایده اصلی این روش مبتنی بر کاهش نیروی وارد بر خاک نرم بدون تغییر اساسی در ساختار خاک می‌باشد که در نتیجه تراکم پذیری خاک کاهش یافته و ظرفیت باربری و مقاومت برشی آن افزایش می‌یابد. همچنین اجرای ستون‌های سنگی در خاک‌های رسی اشباع به عنوان شبکه‌ی زهکشی عمل کرده و باعث کاهش زمان تحکیم می‌شود و احتمال بروز پدیده روانگرایی را در صورت وقوع زلزله کاهش می‌دهد.

با وجود تمامی مزایای ستون‌های سنگی، اجرای آن در خاک خیلی نرم دارای مشکلاتی است. چرا که در این روش پس از کارگذاری ستون سنگی، به دلیل نشست خاک تحت بار اطراف، نبود تنش‌های محدود کننده به میزان کافی- که باعث می‌شود مصالح ستون در خاک اطراف فرو رود و این بیشتر در اعماق نزدیک به سطح زمین اتفاق می‌افتد- و همچنین با نشست مصالح ستون سنگی، ستون دچار انبساط و گسترش جانبی شده و کارایی لازم را نخواهد داشت. برای مقابله با چنین خاک‌هایی نیاز به تأمین تنش‌های محدود کننده اطراف ستون است. این عمل می‌تواند از روش‌های مختلفی همچون افزایش فشار همه جانبه در توده‌ی خاک و نیز روش مسلح سازی ستون سنگی با استفاده از مسلح کننده‌های تشکیل شده از ژئوسنتتیک‌ها انجام شود که میزان کارایی هر یک از این روش‌ها در ادامه به طور کامل بررسی خواهد شد.



شکل ۱-۱ روش‌های اصلاح خاک

۱-۳- ضرورت انجام پژوهش

با توجه به این موضوع که اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی ستون‌های سنگی تا کنون معطوف به ظرفیت باربری پی‌های واقع بر ستون سنگی و رفتار بار نشست آن‌ها بوده است، نیاز به انجام یک پژوهش جامع در زمینه‌ی خواص رفتاری خاک به همراه ستون‌های سنگی و نیز عملکرد این ستون‌ها در حالت‌های مختلف مسلح و غیر مسلح به وضوح حس می‌شود. پژوهشی که در محور آن خواص فیزیکی و مکانیکی خاک مخلوط و تأثیر عوامل مختلف در این خواص بررسی شود.

۱-۴- تعریف موضوع

موضوعی که در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد بررسی تأثیر تغییرات فشار همه جانبه بر عملکرد ستون‌های سنگی غیر مسلح و همچنین مسلح به انواع مسلح کننده‌ها است. در عمل خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک مسلح با تغییرات فشار همه جانبه مورد بررسی قرار

می‌گیرد.

۱-۵- اهداف پژوهش

اهداف این پژوهش عبارتند از:

۱. بررسی تأثیر تغییرات فشار همه جانبه خاک بر رفتار انواع ستون سنگی
۲. مقایسه‌ی عملکرد ستون‌های سنگی غیر مسلح و مسلح به انواع مسلح کننده‌ها
۳. رسیدن به یک ارزیابی کامل و جامع از عملکرد انواع ستون‌های سنگی مسلح و غیر مسلح

۱-۶- ساختار پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا در فصل ۲ به طور مختصر به تعریف و خصوصیات ستون‌های سنگی اشاره می‌شود. سپس در ادامه ادبیات موضوع و برخی پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی خصوصیات ستون‌های سنگی بررسی می‌شود. سپس در فصل ۳ فعالیت‌ها و آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه و نتایج آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه در فصل ۴ مدل سازی و تحلیل عددی انجام شده و نتایج آن با آزمایشگاه مورد مقایسه قرار می‌گیرد. پس از صحت سنجی نتایج نیز تحلیل پارامتریک روی متغیرهای مختلف تأثیر از جمله مساحت و ارتفاع ستون سنگی، نوع و سختی و مسلح کننده‌ها و سایر موارد انجام می‌پذیرد. در پایان نیز در فصل ۵ به نتیجه گیری کلی از پژوهش انجام شده و ارائه‌ی نظرات و پیشنهادات پرداخته می‌شود.

فصل ۲:

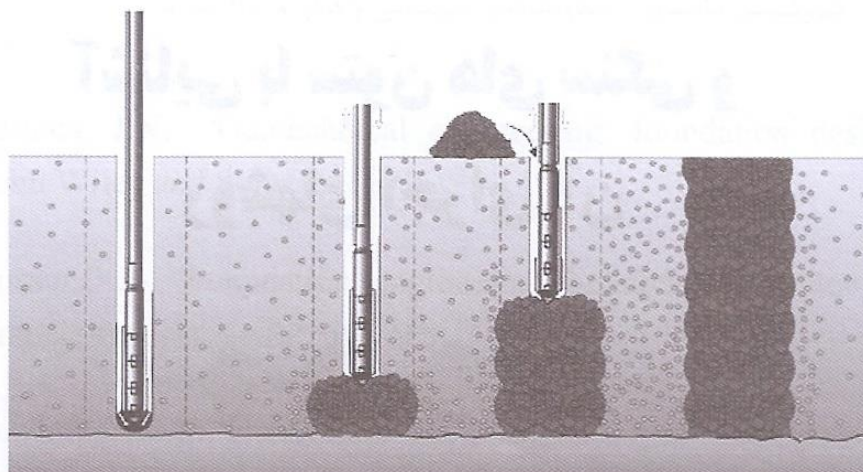
مروری بر ادبیات موضوع

۲-۲- مقدمه

در این فصل با توجه به اهمیت و گستردگی موضوع، در ابتدا مطالبی مختصر در خصوص آشنایی با ستون‌های سنگی ارائه شده است. در ادامه به پیشینه‌ی علمی موضوع پرداخته شده و چند نمونه از پژوهش‌های انجام شده مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۳- آشنایی با ستون‌های سنگی [۱]

ستون سنگی یک روش اصلاح خاک برای افزایش ظرفیت باربری یا تقلیل نشست خاک ریز پی سازه می‌باشد. این روش مبتنی بر تعویض ۱۵ الی ۳۵ درصد حجم خاک نامرغوب بوسیله حفر چاه‌هایی با قطر و عمق و فاصله معین از یکدیگر و پر کردن چاه‌ها بوسیله ماسه یا شن یا سنگریزه و متراکم نمودن به صورت ستون‌های عمودی می‌باشد. مواد دانه ای به صورت لایه لایه در چاه حفر شده ریخته و بوسیله دستگاه‌های مخصوص مرتعش و متراکم می‌شود.



شکل ۱-۲ نحوه اجرای ستون سنگی [۱]