دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

تحلیل عددی دیوارهای خاک مسلح به ژئوسنتتیک با عناصر تسلیح مورب

Numerical Analysis of Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls with Oblique Reinforcement

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک وپی

مهدی آقایارزاده

استاد راهنما

دکتر محمد علی روشن ضمیر

۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی عمران-خاک وپی آقای مهدی آقایارزاده

تحت عنوان

تحلیل عددی دیوارهای خاک مسلح به ژئوسنتتیک با عناصر تسلیح مورب

در تاریخ ۱۳۸۹/۲/۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه آقای دکتر محمدعلی روشن ضمیر

۳- استاد داور آقای دکتر محمود قضاوی (از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

٤- استاد داور آقای دکتر بهروز کوشا

۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده آقای دکتر عبدالرضا کبیری

چکیده

در این تحقیق روش‌ها و معادلات حاکم در طراحی دیوارهای خاک مسلح به ژئوسنتتیک به منظور تامین پایداری داخلی و خارجی این سیستم‌ها در پیوست ارائه شده در انتهای این پایان نامه معرفی شده است. از آنجاییکه این روش‌های طراحی، مبتنی بر تعادل حدی می باشند بنابراین در این روش‌ها، توزیع دقیقی از تنش و کرنش داخل مسلح کننده‌ها و همچنین تغییر شکل‌های رویه دیوار به دست نمی‌آید. بنابراین بخش بعدی تحقیقات صورت گرفته به تحلیل عددی دیوارهای خاک مسلح به ژئوسنتتیک با استفاده از نرم افزار FLAC3D اختصاص دارد. هدف از این تحلیل‌های عددی، بررسی رفتار داخلی این سازه‌ها و دستیابی به عملکرد بهینه این سازه‌ها می باشد. به این منظور سعی شده است تا در ابتدا تاثیر پارامترهای مختلف طراحی به منظور انجام تحلیل‌های پارامتریک در این سیستم‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس تاثیر هندسه بلوک مسلح متشکل از بلوک مسلح با رویه شیبدار و بلوک مسلح شیبدار (بلوک مسلح چرخش یافته) در این تحلیل‌های عددی بررسی شده است تا حالت بهینه متناظر با بهترین عملکرد این سیستم‌ها به دست آید. با انجام مدل سازی‌های متعدد و تحلیل آنها، مشخص گردید که شیبدار کردن رویه دیوار تا حد زیادی عملکرد این سیستم‌ها (شامل کاهش تغییر شکل افقی رویه دیوار، تنش و کرنش مسلح کننده‌ها و نشست سطح خاکریز) را بهبود می بخشد. اما چرخش بلوک مسلح حول محور Y (عمود بر مقطع دیوار) تا زاویه ۱۲ درجه باعث بهبود عملکرد این سیستم‌ها به میزان بیشتری می‌گردد بطوری که باعث کاهش حداکثر نیروی مسلح کننده‌ها تا میزان تقریبا ۴۴ درصد می‌گردد. در نهایت بر مبنای نتایج حاصل از تحلیلها، این امکان فراهم گردید تا زاویه تمایل بهینه‌ای معرفی شود که در آن می توان از تعداد مسلح کننده‌های کمتری در حالت بلوک مسلح شیبدار استفاده کرد و در عین حال عملکردی مشابه بلوک مسلح افقی داشت. بعلاوه با بررسی پایداری لغزشی دیوار در سه حالت بلوک مسلح افقی، بلوک مسلح با رویه شیبدار و بلوک مسلح چرخش یافته مشخص گردید که چرخش محدود رویه و بلوک مسلح باعث بهبود پایداری لغزشی سیستم می‌گردد.

کلمات کلیدی: خاک مسلح، ژئوسنتتیک، مسلح کننده، بلوک مسلح چرخش یافته، رویه مایل

تشکر و قدردانی

با حمد و ثنای خداوند که توفیقش و استعانت از او بار دیگر سبب رشد و تعالی من در زندگی شد و توانستم این درجه از درجات علمی را با موفقیت پشت سر گذارم.

در نیل به کلیه اهداف زندگیم پس از توفیق از ذات حق تعالی مدیون دو چراغ نور بخش زندگیم، پدر و مادر عزیزم هستم که یاری، حمایت و هدایت آنها بود که مرا در جهت رشد و کمال سوق داد. اگر نبود نور هدایت و سایه حمایت پدر و مادرم هرگز چنین جایگاهی برای من متصور نبود. در طول حیاتم هرگاه ناامیدانه از ادامه راه دلسرد می‌شدم، کوه حمایت خانواده مرا به ادامه راه دلگرم می کرد. کاش امکان جبران زحمات ایشان برای من میسر بود ولی متاسفانه فقط امکان تشکر از ایشان را دارم. در اینجا و با این قلم قاصر از توان لازم قصد دارم تا از کلیه زحمات پدر و مادر عزیزم، این یاران همیشگی من، تشکر کنم و توفیق و اجر بی پایان را برای ایشان از خداوند خواستارم.

بر خود لازم می دانم که از توجه و راهنمائی استاد گرانقدر جناب آقای **دکتر محمد علی روشن ضمیر** که با صبر و حوصله فراوان مرا از راهنمایی‌های خود بهره مند نمودند تشکر و قدر دانی نمایم. از اساتید گرامی که افتخار شاگردی آنها را داشتم از جمله دکتر وفائیان، دکتر کوشا و دکتر حلبیان همچنین از اساتید داور که زحمت داوری این پایان نامه را کشیدند نیز تشکرم می کنم.

در انتها از کلیه دوستان عزیزی که در طول این دوره همواره همراه و راهنمای من بودند تشکر می کنم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال ..... یازده
فهرست جداول ..... پانزده

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تاریخچه خاک مسلح ۲
۱-۳- ژئوسنتیک‌ها ۳
۱-۳-۱- ژئوتکستایل ۴
۱-۳-۲- ژئوگرید ۴
۱-۳-۳- ژئونت ۴
۱-۳-۴- ژئوممبران ۴
۱-۳-۵- آستر رسی بنتونیتی (GCL) ۴
۱-۳-۶- ژئوپایپ ۵
۱-۳-۷- ژئوکامپوزیت ۵
۱-۴- هدف ۵
۱-۵- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم: پیشینه علمی موضوع

۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- انواع دیوارهای حائل ۷
۲-۳- دیوارهای خاک مسلح ۱۰
۲-۴- هزینه ساخت دیوار ۱۳
۲-۵- دلایل عملکرد ضعیف دیوارهای ساخته شده ۱۵
۲ - ۶ – خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوارهای خاک مسلح ۱۶
۲-۷- سازه‌های حائل خاک مسلح به ژئوسنتیک ۱۸
۲-۸- انواع رخ پوش‌های دیوارهای حائل مسلح به ژئوسنتیک ۱۹
۲-۸-۱- مزایای سیستم های SRW ۲۰
۲- ۹- پیشینه علمی موضوع ۲۲
۲- ۹-۱- مطالعات آزمایشگاهی ۲۲
۲- ۹-۲- مطالعات عددی ۳۲
۲- ۹-۳- مطالعات موردی ۳۶

۲- ۹-۴- مطالعات تئوریک ۳۷
۲- ۹-۵- تحقیقات دیگر ۴۰
۲-۱۰- جمع بندی ۴۲
فصل سوم: معرفی نرم افزار FLAC3D و مدل سازی مسئله
۳-۱- مقدمه ۴۴
۳-۲- معرفی نرم افزار FLAC3D ۴۴
۳-۲-۱- دامنه کاربرد برنامه ۴۴
۳-۲- ۲- معرفی برخی از اصطلاحات موجود در نرم افزار ۴۶
۳-۲-۳- توصیف عددی ۴۷
۳-۲-۴- مکانیسم استفاده از FLAC3D ۴۸
۳-۲-۵- معرفی FISH ۴۹
۳-۲-۶- المان‌های سازه‌ای ۵۰
۳-۲-۷- مدل‌های رفتاری ۵۲
۳-۳- کلیاتی در مورد تحلیل پایداری داخلی سازه‌های حائل GRS ۵۳
۳-۳-۱- تحلیل تنش وضعیت حد نهایی ۵۴
۳-۳-۲- تحلیل تنش مجاز ۵۵
۳-۴- مدل‌های تحلیلی خاک مسلح ۵۵
۳-۴-۱- مدل المان گسسته ۵۶
۳-۴-۲- مدل المان مرکب ۵۶
۳-۵- مروری بر روش‌های تحلیل عددی ۵۹
۳- ۵-۱- روش اجزاء محدود ۵۹
۳-۶- مدل سازی عددی سازه حائل GRS با استفاده از نرم افزارFLAC3D ۶۲
۳- ۶- ۱- سطح مشترک خاک- ژئوگرید ۶۲
۳-۶-۲- شرایط مرزی ۶۳
۳-۶-۳- معیارتعادل ۶۴
۳-۷- مدل‌سازی دیوار و اعتبار سنجی آن ۶۵
۳-۷-۱- دیوار حائل مسلح به ژئوسنتیک با رویه پنل بتنی ۶۵
۳-۷-۲- دیوار حائل مسلح به ژئوسنتیک با رویه تازده ۶۹
۳-۷-۳- تاثیرصلبیت رویه بر عملکرد دیوارهای حائل خاک مسلح ۷۱
۳- ۸- نتیجه گیری ۷۴
فصل چهارم: ارائه و بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌ها
۴- ۱- مقدمه ۷۵
۴- ۲- تحلیل‌های عددی ۷۵
۴- ۲- ۱- هندسه دیوار ۷۵
۴- ۲- ۲- خاک ۷۶

۴- ۲- ۳- مسلح کننده ۷۶
۴- ۳- تحلیل حساسیت ۷۷
۴-۳- ۱- سختی مسلح کننده‌ها ۸۳
۴-۳- ۲- چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک ۸۸
۴-۳- ۳- نوع خاک ۸۹
۴-۳- ۴- طول مسلح کننده‌ها ۹۲
۴-۳- ۵- ارتفاع دیوار ۹۴
۴- ۴- دیوار با رویه مایل ۹۵
۴- ۵- بلوک مسلح با شیب ۵ درجه ۹۷
۴- ۵- ۱- تحلیل حساسیت ۱۰۰
۴- ۶- بلوک مسلح با شیب ۱۰ درجه ۱۰۳
۴- ۷- بلوک مسلح با شیب ۱۲ درجه ۱۰۷
۴- ۸- بررسی پایداری لغزشی دیوار ۱۱۱
۴- ۹- جمع بندی و نتیجه گیری ۱۱۳
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۹
۵-۲- پیشنهادات ۱۲۱
پیوست ۱۲۲
مراجع ۱۵۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل دوم: پیشینه علمی موضوع

شکل (۲-۱) (a) : دیوارحائل وزنی (b) : دیوارحائل نیمه وزنی (c) : دیوارحائل طره ای (d) : دیوارحائل پشت بنددار ۸
شکل (۲-۲) دیوارحائل ازنوع تیروصندوقه ای ۹
شکل (۲-۳) الف- برخی از کاربردهای سیستم‌های خاک مسلح ۱۱
شکل (۲-۳) ب- برخی از کاربردهای سیستم‌های خاک مسلح ۱۲
شکل (۲-۴) هزینه ساخت دیوارهای حائل متفاوت ۱۴
شکل (۲-۵) محدودیت هایی در مورد دانه بندی خاک مورد استفاده در منطقه مسلح شده در دیوارهای حائل مسلح به ژئوسنتتیک ۱۷
شکل (۲-۶) شکل شماتیک از دیوارهای مسلح شده به ژئوسنتتیک ۱۹
شکل (۲-۷) نمونه ای ازکاربردهای SRW ۲۱
شکل (۲-۸) شکل شماتیکی از نمونه مورد استفاده در آزمایش سه محوری ۲۳
شکل (۲-۹) توزیع کرنش ژئوتکستایل در خاکریزهای با ضخامت (الف): ۲/۴ متر (ب): ۳/۴ متر ۲۵
شکل (۲-۱۰) هندسه دیوارهای دیوارهای ۱ تا ۴ ..... ۲۷
شکل (۲-۱۱) ژئوسنتتیک‌ها در فرم مختلف بعنوان مسلح کننده الف) لایه‌های افقی ب) الیاف گسسته) ژئوسل‌ها ۳۰
شکل (۲-۱۲) شکل شماتیکی از سیستم‌های SRW به شکل ردیفی ۳۴

فصل سوم: معرفی نرم افزار FLAC3D و مدل سازی مسئله

شکل (۳-۱) نمونه ای از یک المان چهار وجهی ۴۸
شکل (۳-۲) خواص مصالح تعریف شده درهرکدام ازمدل های تحلیلی ۵۸
شکل (۳-۳) خواص سطح مشترک خاک –ژئوگرید ۶۳
شکل (۳-۴) نمونه ای از مدل ساخته شده به همراه شرایط مرزی اعمال شده در برنامه ۶۴
شکل (۳-۵) الف- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده اول ۶۶
شکل (۳-۵) ب- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های دوم و سوم ۶۷
شکل (۳-۵) ج- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های پنجم و هفتم ۶۸
شکل (۳-۶) تغییر شکل افقی دیوار آزمایشی کوچک مقیاس ۷۱
شکل (۳-۷) تغییر شکل افقی دیوار مورد تحلیل (E=10Gpa) ۷۳
شکل (۳-۸) توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار مورد تحلیل(E=237MPa) ۷۴

فصل چهارم: ارائه و بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌ها

شکل (۴-۱) کانتورهای تنش مشاهده شده در مسلح کننده‌ها ۷۷
شکل (۴-۲) تغییر شکل افقی رویه دیوار ۷۸
شکل (۴-۳) نحوه توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار ۷۹
شکل (۴-۴) توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار ۷۹
شکل (۴-۵) الف- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های اول تا سوم ۸۰
شکل (۴-۵) ب- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های چهارم تا ششم ۸۱

شکل (۴-۵) ج- کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های هفتم وهشتم ۸۲
شکل (۴-۶) نشست سطح خاکریز مسلح شده ۸۲
شکل (۴-۷) مکان سطح لغزش بحرانی ایجاد شده در بلوک مسلح ۸۳
شکل (۴-۸) تاثیر سختی مسلح کننده‌ها بر تغییر شکل رویه دیوار ۸۴
شکل (۴-۹) تاثیر سختی مسلح کننده‌ها بر توزیع نیروها ۸۴
شکل (۴-۱۰) تاثیر سختی مسلح کننده‌ها بر روی نشست سطح خاکریز ۸۴
شکل (۴-۱۱) الف- تاثیر تغییر سختی مسلح کننده‌ها بر روی کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های اول و دوم ۸۵
شکل (۴-۱۱) ب- تاثیر تغییر سختی مسلح کننده‌ها بر روی کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های سوم تا پنجم ۸۶
شکل (۴-۱۱) ج- تاثیر تغییر سختی مسلح کننده‌ها بر روی کرنش ایجاد شده در مسلح کننده‌های ششم تا هشتم ۸۷
شکل (۴-۱۲) تاثیر چسبندگی خاک بر روی نیروی ایجاد شده در مسلح کننده‌ها ۸۸
شکل (۴-۱۳) تاثیر چسبندگی خاک بر روی جابه جایی رویه دیوار ۸۸
شکل (۴-۱۴) تاثیر زاویه اصطکاک خاک بر روی نیروی ایجاد شده در مسلح کننده ها ۸۹
شکل (۴-۱۵) تاثیر زاویه اصطکاک خاک بر روی جابه جایی رویه دیوار ۸۹
شکل (۴-۱۶) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوار بر روی تغییر شکل رویه دیوار ۹۰
شکل (۴-۱۷) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوار بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها ۹۰
شکل (۴-۱۸) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوار بر روی نشست سطح خاکریز ۹۱
شکل (۴-۱۹) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوار بر روی سطح لغزش بلوک مسلح ۹۱
شکل (۴-۲۰) تاثیر زاویه اصطکاک خاکریز مورد استفاده در ساخت دیوار بر روی سطح لغزش بلوک مسلح ۹۲
شکل (۴-۲۱) تاثیر طول مسلح کننده‌ها بر روی میزان حداکثر نیروی مسلح کننده‌ها ۹۳
شکل (۴-۲۲) تاثیر طول مسلح کننده‌ها بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۹۳
شکل (۴-۲۳) تاثیر طول مسلح کننده‌ها بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها ۹۳
شکل (۴-۲۴) تاثیر ارتفاع دیوار بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۹۴
شکل (۴-۲۵) تاثیر ارتفاع دیوار بر روی توزیع نیروی مسلح کننده ها ۹۴
شکل (۴-۲۶) تاثیر ارتفاع دیوار بر روی نشست سطح خاکریز ۹۵
شکل (۴-۲۷) تاثیر ارتفاع دیوار بر روی مکان سطح لغزش بحرانی ۹۵
شکل (۴-۲۸) شکل شماتیکی از چرخش رویه دیوار ۹۶
شکل (۴-۲۹) کانتورهای تنش مشاهده شده در مسلح کننده‌ها ۹۶
شکل (۴-۳۰) تاثیر شیبداری رویه دیوار بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۹۶
شکل (۴-۳۱) تاثیر شیبداری رویه دیوار بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها ۹۷
شکل (۴-۳۲) تاثیر شیبداری رویه دیوار بر روی نشست سطح خاکریز ۹۷
شکل (۴-۳۳) شکل شماتیکی از چرخش بلوک مسلح ۹۸
شکل (۴-۳۴) کانتورهای تنش مشاهده شده در مسلح کننده‌ها ۹۸
شکل (۴-۳۵) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۹۹
شکل (۴-۳۶) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع ۹۹
شکل (۴-۳۷) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی نشست سطح خاکریز ۹۹

شکل (۴-۳۸) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی سطح لغزش خاکریز ۱۰۰
شکل (۴-۳۹) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی تغییر شکل دیوار ۱۰۱
شکل (۴-۴۰) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی نیروی مسلح کننده‌ها ۱۰۱
شکل (۴-۴۱) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی مکان سطح لغزش بحرانی ۱۰۱
شکل (۴-۴۲) تاثیر ارتفاع بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۰۲
شکل (۴-۴۳) تاثیر ارتفاع بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار ۱۰۲
شکل (۴-۴۴) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۰۳
شکل (۴-۴۵) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع ۱۰۳
شکل (۴-۴۶) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی نشست سطح خاکریز ۱۰۴
شکل (۴-۴۷) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی سطح لغزش خاکریز ۱۰۴
شکل (۴-۴۸) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی تغییر شکل دیوار ۱۰۵
شکل (۴-۴۹) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع ۱۰۵
شکل (۴-۵۰) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی مکان سطح لغزش بحرانی ۱۰۶
شکل (۴-۵۱) تاثیر ارتفاع بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۰۶
شکل (۴-۵۲) تاثیر ارتفاع بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار ۱۰۷
شکل (۴-۵۳) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۰۷
شکل (۴-۵۴) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع ۱۰۸
شکل (۴-۵۵) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی نشست سطح خاکریز ۱۰۸
شکل (۴-۵۶) تاثیر شیبدار کردن بلوک مسلح بر روی سطح لغزش خاکریز ۱۰۸
شکل (۴-۵۷) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی تغییر شکل دیوار ۱۰۹
شکل (۴-۵۸) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع ۱۱۰
شکل (۴-۵۹) تاثیر نوع خاکریز مورد استفاده در منطقه بلوک مسلح بر روی مکان سطح لغزش بحرانی ۱۱۰
شکل (۴-۶۰) تاثیر ارتفاع بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۱۱
شکل (۴-۶۱) تاثیر ارتفاع بر روی توزیع نیروی مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار ۱۱۱
شکل (۴-۶۲) محاسبه ضریب اطمینان در مقابل پایداری لغزشی در حالت بلوک مسلح افقی ۱۱۲
شکل (۴-۶۳) محاسبه ضریب اطمینان در مقابل پایداری لغزشی در حالت بلوک مسلح با رویه شیبدار ۱۱۳
شکل (۴-۶۴) محاسبه ضریب اطمینان در مقابل پایداری لغزشی در حالت بلوک مسلح شیبدار ۱۱۳
شکل (۴-۶۵) تاثیر افزایش شیب بلوک مسلح بر روی میزان حداکثر جابه جایی رویه دیوار ۱۱۴
شکل (۴-۶۶) تاثیر افزایش شیب بلوک مسلح بر روی میزان حداکثر نیروی مسلح کننده‌ها ۱۱۵
شکل (۴-۶۷) تاثیر زاویه چرخش بلوک مسلح بر روی تغییر شکل افقی دیوار ۱۱۵
شکل (۴-۶۸) تاثیر زاویه چرخش بلوک مسلح بر روی توزیع نیروی مسلح کننده ها در ارتفاع ۱۱۵
شکل (۴-۶۹) تاثیر زاویه چرخش بلوک مسلح بر روی نشست سطح خاکریز ۱۱۶
شکل (۴-۷۰) تاثیر زاویه چرخش بلوک مسلح بر روی مکان سطح خاکریز ۱۱۶
شکل (۴-۷۱) مقایسه تغییر شکل دیوار مبنا با دیوار بهینه ۱۱۷
شکل (۴-۷۲) مقایسه توزیع نیروی مسلح کننده‌های دیوار مبنا با دیوار بهینه ۱۱۷

شکل (۴-۷۳) مقایسه نشست سطح خاکریز دیوار مبنا با دیوار بهینه ۱۱۷
شکل (۴-۷۴) مقایسه مکان سطح گسیختگی دیوار مبنا با دیوار بهینه ۱۱۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل دوم: پیشینه علمی موضوع

جدول (۲-۱) مقایسه هزینه ساخت انواع دیوارهای حائل (برحسب دلار آمریکا بر مترمربع رویه دیوار) ۱۳

جدول (۲-۲) مشکلاتی در ارتباط با خدمت پذیری دیوار (تغییر شکل‌های بیش از اندازه) ۱۵

جدول (۲-۳) چند نمونه از گسیختگی دیوارهای خاک مسلح (فروریختگی کلی دیوار) ۱۶

جدول (۲-۴) دانه بندی خاک منطقه مسلح شده ۱۷

فصل سوم: معرفی نرم افزار FLAC3D و مدل سازی مسئله

جدول (۳-۱) برخی از توابع ریاضی موجود در زبان FISH ۵۰

جدول (۳-۲) برخی از برنامه‌های FEM که برای تحلیل عملکرد دیوارهای GRS استفاده شده است ۶۰

جدول (۳-۳) مشکلات موجود در مدل سازی سازه‌های حائل GRS با استفاده از برنامه های FEM ۶۱

جدول (۳-۴) خواص مورد استفاده در تحلیل ۶۶

جدول (۳-۵) مشخصات خاک مورد استفاده در تحلیل ۷۰

جدول (۳-۶) مشخصات سطح مشترک خاک- ژئوگرید مورد استفاده در تحلیل ۷۰

جدول (۳-۷) مشخصات خاک مورد استفاده در تحلیل ۷۲

جدول (۳-۸) مشخصات سطح مشترک مورد استفاده در تحلیل (خاک – ژئوگرید) ۷۲

جدول (۳-۹) مشخصات سطح مشترک مورد استفاده در تحلیل (خاک – رویه بتنی) ۷۲

فصل چهارم: ارائه و بررسی نتایج حاصل از تحلیل‌ها

جدول (۴-۱) مشخصات مقاومتی خاک مورد استفاده در تحلیل ۷۶

جدول (۴-۲) مشخصات خاک‌های مورد استفاده در تحلیل‌ها ۹۰

جدول (۴-۳) میزان کاهش پارامترهای مختلف تحلیل نسبت به حالت مبنا (بلوک مسلح افقی) بر حسب درصد ۱۰۰

جدول (۴-۴) میزان کاهش پارامترهای مختلف تحلیل نسبت به حالت مبنا (بلوک مسلح افقی) بر حسب درصد ۱۰۴

جدول (۴-۵) میزان کاهش پارامترهای مختلف تحلیل نسبت به حالت مبنا (بلوک مسلح افقی) بر حسب درصد ۱۰۹

جدول (۴-۶) میزان کاهش پارامترهای مختلف تحلیل نسبت به حالت مبنا (بلوک مسلح افقی) بر حسب درصد ۱۱۸

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه

در این فصل، در ابتدا تاریخچه‌ای کوتاه از سیستم‌های خاک مسلح و به دنبال آن توضیحاتی در مورد ژئوسنتتیک‌ها ارائه می‌گردد. در ادامه، اهدافی که طی مراحل انجام پایان نامه مد نظر بوده شرح داده می شود. در انتها، ساختار کلی پایان نامه و فصول تشکیل دهنده پایان نامه، معرفی گردیده است.

۱-۲- تاریخچه خاک مسلح

از زمانی که انسان‌ها در یکجا ساکن شدند ساخت سازه‌های حائل خاکی را آغاز کردند. کریسل[1] (۱۹۹۲) به چندین نمونه از کاربردهای اولیه سازه های حائل خاکی اشاره کرده است. با افزایش ابعاد سازه‌های حائل خاکی بخصوص ارتفاع این سازه‌ها، انسان‌ها خیلی زود پی بردند که فشار خاکی که توسط توده خاک ایجاد می شود مهمترین نکته در بحث پایداری این سازه‌ها می باشد. بعنوان یک راه حل اولیه سعی کردند که فشار خاک را بصورت خارجی با استفاده از تخته سنگ‌های بزرگ که از حجم بیشتری نسبت به توده خاک برخوردار بودند کنترل کنند. بعد از آن، انسان‌ها پی بردند که فشار خاک می تواند با مسلح کردن توده خاک کاهش داده شود. اولین بار مردم بابل از تکنیک‌های تسلیح خاک استفاده کردند. شواهد زیادی از کاربرد تسلیح خاک در سازه‌های حائل در بسیاری از سازه‌های تاریخی در دست می باشد. برای مثال: مردم باستان از حصیرهای چوبی به هم بافته شده بعنوان مسلح کننده

[1] - Kerisel

در هنگام ساخت زیگورات در بیش از ۳۰۰۰ سال پیش استفاده کردند. این حصیرها بصورت افقی در داخل توده خاک برای ایجاد مسلح کننده‌های کششی دقیقا شبیه به همان مفهومی که امروزه از آنها استفاده می شوند، قرار داده می شدند. لیکن مفهوم فعلی این ایده و روش تحلیل و طراحی آن توسط یک مهندس فرانسوی به نام ویدال[1] (۱۹۶۹) بنا نهاده شد. از زمان شروع کارهای ویدال، دیوارهای حایل متعددی با استفاده از نظریه خاک مسلح درگوشه وکنار دنیا ساخته شده است. اثرات سودمند خاک مسلح ناشی از دو پدیده زیر است: (الف) : افزایش مقاومت کششی خاک (ب) : مقاومت برشی به وجود آمده به علت اصطکاک موجود درسطح تماس خاک و مصالح مسلح کننده. در مقالات و کتب مختلف به دو گروه عمده از مسلح کننده‌های بکار رفته در ساخت دیوارهای خاک مسلح با توجه به پاسخ تنش-کرنش توده خاک اشاره شده است [۱] و [۲]. این دو گروه عبارتند از :

۱) مسلح کننده‌های انبساط ناپذیر[2] : مسلح کننده‌هایی هستند که کرنش کششی به وجود آمده در آنها به مقدار قابل توجهی کمتر از کرنش مورد نیاز برای ایجاد شرایط محرک در خاک می باشد. نمونه بارز و آشکار این نوع مسلح کننده، تسمه‌های فولادی می باشد. بناپارت[3] و همکاران (۱۹۸۷) بیان کردند که سختی کششی مسلح کننده‌های فولادی آنقدر زیاد است که وضعیت تنش خاک را نزدیک به شرایط سکون(K_0) نگه می دارد.

۲) مسلح کننده‌های انبساط پذیر[4] : مسلح کننده‌هایی هستند که کرنش کششی به وجود آمده در آنها برابر یا بزرگتر از کرنش مورد نیاز برای ایجاد شرایط محرک در خاک می باشد. نمونه بارز و آشکار این نوع مسلح کننده، ژئوسنتتیک‌ها می باشند. بناپارت و همکاران (۱۹۸۷) بیان کردند که در صورت بکارگیری این نوع مسلح کننده در توده خاک، وضعیت تنش خاک دور از شرایط سکون (K_0) می باشد.

بنابراین یک مسلح کننده فولادی انبساط ناپذیر، سازه را شکننده می‌کند در صورتی که یک مسلح کننده ژئوسنتتیکی، انعطاف پذیری سازه را افزایش می دهد.

۱-۳- ژئوسنتتیک‌ها[5]

ژئوسنتتیک‌ها، منسوجات و ورقه‌های ساخته شده از الیاف نفتی هستند که خاصیت اصلی آنها فساد ناپذیر بودن در مقابل عوامل خورنده درون خاک است. انواع محصولات ژئوسنتتیک به شرح زیر می باشند :

---
[1] - Vidal
[2] - inextensible
[3] - Bonaparte
[4] - extensible
[5] - Geosynthetics

۱-۳-۱- ژئوتکستایل[1]

ژئوتکستایل‌ها، پارچه‌های انعطاف‌پذیری و متخلخلی هستند که از الیاف مصنوعی تهیه می شوند. ژئوتکستایل‌ها به سه دسته ژئوتکستایل‌های بافته شده[2]، بافته نشده[3] و کش باف تقسیم بندی می شوند. وظیفه اصلی ژئوتکستایل‌ها عبارتند از: جداسازی ، تسلیح ، فیلتراسیون ، زهکشی

۱-۳-۲- ژئوگرید[4]

ژئوگریدها پلاستیک‌های فرم گرفته به شکل شبکه‌ای هستند که روزنه‌ها و شکاف‌های بزرگ دارند. ژئوگریدها توسط ماشین‌های بافندگی بوسیله روش‌های منحصر به فرد ساخته می شوند. کاربردهای متعددی برای ژئوگرید وجود دارد اما کاربرد اصلی آن تسلیح می باشد.

۱-۳-۳- ژئونت [5]

کاربرد اصلی ژئونت، استفاده در مناطق زهکشی است. از ژئونت‌ها برای انتقال و هدایت مایعات (از هر نوعی) استفاده می شود. از جمله کاربردهای ژئونت عبارتند از: ۱) در پشت دیوارهای حائل و زمین‌های ورزشی ۲) در زیر شالوده‌های ساختمان ۳) در زیر سربار (خاکریز)

۱-۳-۴- ژئوممبران[6]

ورقه‌های نازک نفوذناپذیر از جنس مصالح پلیمری هستند که در ابتدا برای پوشش مخازن آب استفاده می شد. از جمله کاربردهای ژئوممبران عبارتند از : ۱) دیوارهای آب بند ۲) رویه بندی سدهای خاکی ۳) سدهای موقت ۴) در مخازن قرار گرفته بر روی سطح زمین ۵) در زیر لایه‌های آسفالت

۱-۳-۵- آستر رسی بنتونیتی (GCL[7])

این نوع ژئوسنتتیک در واقع جدیدترین نوع محصولات ژئوسنتتیکی است. این سیستم‌ها لایه‌های نازکی از رس بنتونیتی هستند که بین دو لایه ژئوتکستایل قرار می گیرند (بصورت ساندویچ) و یا به ژئوممبران‌ها می پیوندند. از

---

[1] - Geotextile
[2] - woven
[3] - nonwoven
[4] - Geogrid
[5] - Geonet
[6] - Geomembrane
[7] - Geosynthetic Clay Liner

جمله کاربردهای GCL عبارتند از : ۱) در بالای ژئوممبران‌ها برای جلوگیری در مقابل آسیب‌های احتمالی ۲) بعنوان پوشش در کانال‌ها ۳) بعنوان پوشش ثانویه در مخازن زیر زمینی

۱-۳-۶- ژئوپایپ[1]

این محصول شاید قدیمی‌ترین محصول ژئوسنتتیک‌ها می باشدکه بصورت لوله‌های پلاستیکی، موجود می باشد. از جمله کاربردهای این محصول عبارتند از: ۱) سیستم‌های زهکشی فاضلاب ۲) سیستم جمع‌آوری آب حفره‌ای در پشت دیوار حائل ۳) خطوط انتقال سیال تحت اثر جاذبه و یا فشار

۱-۳-۷- ژئوکامپوزیت [2]

مصالح ژئوکامپوزیتی برای استفاده ترکیبی از خواص مفید ژئوسنتتیک‌ها توسعه یافته‌اند این مصالح ممکن است ترکیبی از ژئوتکستایل و ژئونت، ژئوتکستایل و ژئوگرید، ژئوگرید و ژئوممبران و... را شامل شوند. کاربرد ژئوکامپوزیت تمامی وظایفی است که بوسیله ژئوسنتتیک‌ها مطرح شد (جداسازی ، تسلیح ، فیلتراسیون ، زهکشی).

۱-۴- هدف

بر اساس مطالعات انجام شده و مقایسه معیارهای متفاوت در انواع مختلف دیوارهای حائل از قبیل هزینه ساخت، سرعت ساخت، عملکرد دیوار و... نتیجه می شود که استفاده از دیوارهای خاک مسلح به ژئوسنتتیک در احداث دیوارهای حائل ارجحیت دارد و از اینرو مطالعات بیشتر بر عملکرد این نوع دیوارها و عوامل موثر بر آنها، جهت کاربردی کردن آنها برای استفاده بیشتر در ساخت دیوارهای حائل و طراحی بهینه این نوع دیوارها لازم بنظر می رسد. به این منظور در این پایان نامه سعی شده است تا با چرخش بلوک مسلح تحت زوایای مناسب، و بررسی تاثیر این چرخش بر روی جابه جایی رویه دیوار، توزیع مسلح کننده‌ها در ارتفاع دیوار، نشست سطح خاکریز و مکان سطح لغزش، در جهت بهینه سازی این دیوارها گامی برداشته شود و حالت بهینه‌ای که در آن بهترین عملکرد از این نوع دیوارها مشاهده می شود مشخص گردد.

۱-۵- ساختار پایان نامه

مطالب ارائه شده در فصل‌های بعد به شرح زیر می باشد:

---

[1] - Geopipe
[2] - Geocomposite

در فصل دوم به تئوری بکار رفته در طراحی سازه‌های حائل خاک مسلح و همچنین به چندین مورد از مقالات و پایان نامه‌های مربوط به این موضوع اشاره شده است. در فصل سوم نحوه انجام مدل‌سازی از قبیل نحوه اعمال شرایط مرزی، به تعادل رساندن مدل‌های عددی و... بحث شده است. همچنین این فصل به معرفی و اعتبار سنجی نرم افزار اشاره دارد که در آن چندین نمونه از کارهای آزمایشگاهی و عددی که توسط محققین قبلی انجام شده‌اند، اعتبار سنجی شده است. در فصل چهارم، نتایج حاصل از مدل سازی عددی که هدف اصلی انجام این پایان نامه بوده آورده شده است. و در نهایت، فصل پنجم به جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات برای ادامه کار اختصاص دارد.

فصل دوم : پیشینه علمی موضوع

۲-۱- مقدمه

کاملا واضح و روشن است که طراحی و ساخت دیوارهای حائل، جایگاه ویژه‌ای را در توسعه مهندسی ژئوتکنیک به خود اختصاص داده است. بنابراین به دلیل اهمیت خاصی که این سازه‌ها دارند انواع مختلفی از این دیوارها و روش‌های متفاوت طراحی و ساخت و اجرای این سازه‌ها توسعه یافته است. در این فصل، در ابتدا به معرفی انواع دیوارهای حائل و سیر تکاملی این دیوارها اشاره شده است. معرفی سیستم‌های خاک مسلح[1] و مزایا و معایب این سیستم‌ها، ادامه مطالب این فصل را تشکیل می‌دهند. در نهایت، اهم تحقیقات و مطالعات انجام شده در زمینه دیوارهای خاک مسلح در حوزه مطالعات عددی و آزمایشگاهی و مطالعات موردی به اختصار گزارش شده است.

۲-۲- انواع دیوارهای حائل

دیوار حائل، دیواری است که تکیه‌گاه جانبی برای جدارهای قائم و یا نزدیک به قائم خاک به وجود می آورد. از دیوار حائل در بسیاری از پروژه های ساختمانی نظیر راهسازی، پلسازی، محوطه سازی، ساختمان سازی و به طورکلی هرجا که احتیاج به تکیه‌گاه جانبی برای جدار قائم خاکبرداری باشد، استفاده می شود. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه ساخت دیوارهای حائل انجام شده است که سیر تکاملی آن به شرح زیر می باشد [۳]:

[1] - reinforced soil