بسم الله الرحمن الرحيم

۴۸۸۲۲

دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران

مطالعه پارامترهای موثر بر عملکرد دیوار های حائل خاکی مسلح شده با ژئوتکستایل

دانشجو :
مهدی سبحانی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران، گرایش خاک و پی

استاد راهنما :
آقای دکتر کاظم بدو

مرکز اطلاعات و مدارک علمی پایان‌نامه‌ها

تابستان ۱۳۸۸

۱۳۸۸۶۶

پایان نامه خانم/آقای مهدی سبحانی ..به تاریخ. ۸۸/۶/۳۱
شماره .....مورد پذیرش هیات محترم داوران بارتبه..عالی
و نمره ۱۸/۰۰ قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر کاظم لدو

۲ - داور خارجي : دکتر فرزانه حاجی زاده

۳ - داور داخلي : دکتر هادی بهادری

٤ - نماینده تحصیلات تکمیلي : دکتر جواد نوری نا

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیر و تشکر :

در اینجا بر خود لازم می دانم تا از زحمات عزیزانی که در طول تحقیق و تهیه مجموعه مرا پیوسته همراه بودند تشکر کنم ؛ هر چند که بردن تمامی نام آنها نشدنی است .

از اساتید بزرگوار دکتر بهادری و دکتر ارجمند تشکر می کنم که یاری رسانم بودند و از هیچ کوششی برای راهنمایی من و پیشبرد روند پایان نامه دریغ نورزیدند .

جناب آقای دکتر بدو ، نه در نقش استاد راهنما که به عنوان همراهی همیشگی پیمایش لحظات این پایان نامه را بر من هموار ساختند .

از زحمات و تلاشهای آقای مهندس پاس بخش و خانم مهندس یزدی که در نهایت لطف و انسانیت اطلاعاتشان را در اختیارم قرار دادند سپاسگذارم .

از پدر و مادر مهربانم قدردانی می نمایم که آموزگار دانش و ادب من هستند و در تمام مراحل زندگی مرا یاری نمودند .

سپاس خداوندگار بی همتا را که سپاس ، سزاوار تنها اوست .

تقدیم به :

پدر و مادر مهربانم

آنها که در تمام مراحل زندگی‌ام همچون چراغی فروزان راهنما و هدایت‌گر من بوده و معنای واقعی انسان بودن را به من آموختند. کاش بتوانم روزی قطره‌ای از دریای زحمات و فداکاریهای شما را جبران کنم و فرزندی در خور شأن شما باشم. همیشه سالم و تندرست باشید و سایه پر مهرتان بر زندگی من مستدام باد.

چکیـده

دیوارهای حائل خاک مسلح عمدتا شامل سه عنصر پوسته، مسلح کننده و خاکریز می باشند و پایداری این دیوارها توسط اصطکاک بین خاک و مسلح کننده و انتقال نیروهای موجود در خاکریز به عناصر تسلیح تامین می شود. در دو دهه اخیر کاربرد دیوارهای حائل خاک مسلح بدلیل سهولت اجرا و شکل پذیری مناسب آنها در مقایسه با انواع دیگر دیوارهای حائل در سراسر دنیا در حال گسترش بوده است. استفاده از مدلسازی به روش های عددی برای مطالعه تاثیر پارامترهای مؤثر در رفتار دیوارهای حائل خاک مسلح به دلیل سرعت بیشتر و هزینه کمتر، در سالهای اخیر مورد توجه بیشتر محققان و دانش پژوهان قرار گرفته است.

برتری ژئوسینتتیکها نسبت به سایر مسلح‌کننده‌ها، امروزه دیوارهای خاک مسلح ژئوسینتتیکی را به عنوان یکی از گزینه‌های مهم در طراحی دیوارهای حایل مطرح کرده است. عدم مشکلاتی نظیر خوردگی و زنگ‌زدگی، رفتار همسوتر با خاک، درگیری بهتر با مصالح و سهولت در اجرا از جمله این برتری‌هاست. مطالعات آزمایشگاهی حاکی از رفتار و انعطاف-پذیری مناسب آنها است. برای شناخت هرچه بهتر این قبیل سازه‌ها، در این تحقیق با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Plaxis به مدلسازی عددی دیوارهای حائل خاک مسلح تحت بار استاتیکی پرداخته شده و تاثیر پارامترهایی چون سختی، طول و فاصله مسلح کننده ها، نوع خاکریز دانه ای، نوع فونداسیون ، ارتفاع دیوار و پوشش آن، با استفاده از نرم افزار مذکور مورد بررسی قرار گرفته و تغییر مکانهای حداکثر و ماکزیمم نیروهای بسیج شده در ژئوتکستایل ها با یکدیگر مقایسه شده اند.

نتایج این مطالعه نشان می دهد که سختی مسلح کننده ها در پارامترهای داخلی ضعیف دیوار(طول کم مسلح کننده ها، فاصله زیاد مسلح کننده ها، خاکریز سست) و پارامترهای خارجی زیاد دیوار(پوشش صلب، فونداسیون صلب، ارتفاع زیاد) بیشترین تاثیر را داشته و طول مسلح کننده ها در پارامترهای داخلی ضعیف دیوار(سختی کم مسلح کننده ها، فاصله زیاد مسلح کننده ها، خاکریز سست) و پارامترهای خارجی زیاد دیوار(پوشش صلب، فونداسیون صلب، ارتفاع زیاد) بیشترین تاثیر را دارد. همچنین فاصله مسلح کننده ها در پارامترهای داخلی ضعیف دیوار(طول کم مسلح کننده ها، سختی کم مسلح کننده ها، خاکریز سست) و پارامترهای خارجی زیاد دیوار(پوشش صلب، فونداسیون صلب، ارتفاع زیاد) بیشترین تاثیر را داشته و پوشش دیوار در پارامترهای داخلی زیاد دیوار(طول زیاد مسلح کننده ها، سختی زیاد مسلح کننده ها، خاکریز متراکم) و ارتفاع زیاد بیشترین تاثیر را دارد. ارتفاع دیوار در پارامترهای داخلی ضعیف دیوار(طول و سختی کم مسلح کننده ها، فاصله زیاد مسلح کننده ها ، خاکریز سست) و پارامترهای خارجی بالا (فونداسیون صلب، پوشش صلب) بیشترین تاثیر را دارد و نوع خاکریز در پارامترهای داخلی ضعیف دیوار(طول و سختی کم مسلح کننده ها، فاصله زیاد مسلح کننده ها) و پارامترهای خارجی بالا (فونداسیون صلب، پوشش صلب) بیشترین تاثیر را داشته و نوع فونداسیون در پارامترهای داخلی بالا (طول و سختی زیاد مسلح کننده ها، خاکریز متراکم) و پوشش صلب و دیوارهایی با ارتفاع کم، بیشترین تاثیر را دارد.

کلید واژه‌ها: خاک مسلح، دیوارحایل، ژئوسینتتیک، بار استاتیکی، مدلسازی عددی، Plaxis

فهرست مطالب

فصل اول : کلیـات ۱

فصل دوم : مسلح سازی خاک ٤

۲-۱ تکنیک خاک مسلح ٥

۲-۱-۱ تاریخچه ٥

۲-۱-۲ سازه‌های خاک مسلح امروزی ٥

۲-۱-۳ کاربرد تکنیک خاک مسلح ٦

۲-۲ دیوارهای حائل خاک مسلح ۹

۲-۲-۱ بخش های تشکیل دهنده دیوار حائل خاک مسلح ۱۰

۲-۲-۱-۱ مسلح کننده ها فولادی ۱۲

۲-۲-۱-۲ مسلح کننده ها ژئوسینتتیکی ۱۳

۲-۲-۱-۲-۱ ژئوتکستایل ها ۲۳

۲-۲-۱-۲-۲ ژئوگریدها ۲۹

۲-۲-۱-۲-۳ مشخصات فیزیکی و مکانیکی مسلح کننده ها ۳۲

۲-۲-۱-۲-٤ انواع پوسته های رایج دیوارهای حائل خاک مسلح ٤٤

فصل سوم : طراحی و اجرای دیوارهای حائل خاک مسلح ٤۹

۳-۱ طراحی دیوارهای حائل خاک مسلح ٥۰

۳-۱-۱ روش طراحی Tied Back Wedge ٥۰

۳-۱-۲ روش طراحی Deutches Intitute Fur Bautechnik ٥۱

۳-۱-۳ روش طراحی BS8006 ٥۲

۳-۱-٤ روش طراحی AASHTO-FHWA ٥۲

۳-۲ مراحل ساخت دیوارهای حائل خاک مسلح با پوسته پیش ساخته ۷۷

۳-۲-۱ آماده کردن بستر ۷۷

۳-۲-۲ قرار دادن بالشتک تراز (Leveling Pad) برای نصب المان های پوسته ۷۷

۳-۲-۳ نصب اولین ردیف از پانل های پوسته بر روی بالشتک تراز ۷۸

۳-۲-٤ ریختن و متراکم کردن خاکریز از تراز بستر تا اولین لایه مسلح کننده ۸۱

۳-۲-۵ اجرای اولین لایه از المان های مسلح کننده روی خاکریز ۸٤

۳-۲-٦ خاکریزی روی المان های مسلح کننده تا تراز لایه مسلح کننده بعدی و متراکم کردن خاکریز ۸۵

۳-۳ مراحل ساخت دیوارهای حائل خاک مسلح با پوسته انعطاف پذیر ۸۵

۳-۳-۱ اجرای اولین لایه از المان های مسلح کننده ۸۵

۳-۳-۲ اجرای پوسته ۸٦

فصل چهارم : مطالعـات و تحقیقـات گذشته ۸۹

٤-۱ تاریخچه مطالعات بر روی دیوارهای حائل خاک مسلح ۹۰

٤-۱-۱ مطالعات عددی ۹۰

٤-۱-۲ مطالعات آزمایشگاهی ۱۰۲

٤-۱-۳ مطالعات موردی ۱۱۰

فصل پنجم : مدلسـازی دیوار حائل خاک مسلح با استفاده از نرم افزار Plaxis ۱۱۵

۵-۱ مقدمه ۱۱٦

۵-۲ مدلسازی عددی ۱۱٦

۵-۲-۱ مدلسازی عددی در Plaxis ۱۱٦

۵-۲-۱-۱ معرفی نرم افزار ۱۱۷

۵-۲-۱-۲ روش اجزاء محدود ۱۱۸

۵-۲-۱-۳ طرح مساله ۱۱۹

۵-۲-۱-٤ .هندسه مساله ۱۱۹

۵-۲-۱-۵ خواص مصالح ۱۱۹

۵-۲-۱-٦ مسلح کننده ها ۱۲۰

۵-۲-۱-۷ مشخصات پوسته دیوار حائل خاک مسلح ۱۲۰

۵-۲-۱-۸ شرایط مرزی و تکیه گاهی ۱۲۱

۵-۲-۱-۹ بارگذاری ۱۲۲

۵-۲-۱-۱۰ روند انجام آنالیز ۱۲۳

فصل ششم : نتـایج آنالیـزهای عددی ۱۲٤

٦-۱ نتایج آنالیزهای پارامتریک ۱۲۵

٦-۱-۱ تاثیر سختی ژئوتکستایلها بر عملکرد دیوار ۱۲۵

٦-۱-۲ تاثیر طول ژئوتکستایلها بر عملکرد دیوار ۱۳۱

٦-۱-۳ تاثیر فاصله ژئوتکستایلها بر عملکرد دیوار ۱۳٤

٦-۱-٤ تاثیر انعطاف پذیری پوشش بر عملکرد دیوار ۱۳۸

٦-۱-۵ تاثیر ارتفاع دیوار بر عملکرد دیوار ۱٤۵

٦-۱-٦ تاثیر نوع خاکریز بر عملکرد دیوار ۱٤۹

٦-۱-۷ تاثیر سختی فونداسیون بر عملکرد دیوار ۱۵۳

فصل هفتم : خلاصـه، نتیجـه گیری و پـیشنهـادات ۱۵۸

۷-۱ خلاصه نتایج ۱۵۹

۷-۱-۱ تاثیر سختی مسلح کننده ها ۱۵۹

۷-۱-۲ تاثیر طول مسلح کننده ها ۱٦۰

۷-۱-۳ تاثیر فاصله مسلح کننده ها ۱٦۰

۷-۱-٤ تاثیر پوشش دیوار ۱٦۱

۷-۱-۵ تاثیر ارتفاع دیوار ۱٦۱

۷-۱-٦ تاثیر نوع خاکریز ۱٦۲

۷-۱-۷ تاثیر صلبیت فونداسیون ۱٦۲

۷-۲ ارائه پیشنهادات ۱٦۳

مـراجع ۱٦٤

فصل دوم : مسلح سازی خاک ٤

۲-۱ فرم اولیه خاک مسلح که توسط **Vidal** پیشنهاد گردید ٦

۲-۲ کاربرد خاک مسلح در مسیرهای آبی ۷

۲-۳ کاربرد خاک مسلح در سدسازی ۷

۲-٤ کاربرد خاک مسلح در پلسازی ۸

۲-۵ کاربرد خاک مسلح در راهسازی ۸

۲-٦ کاربرد خاک مسلح در پایدارسازی شیب ۸

۲-۷ کاربرد خاک مسلح در سازه‌های زیرزمینی ۸

۲-۸ کاربرد خاک مسلح در خاکریزها ۹

۲-۹ برخی از انواع دیوارهای حایل ۹

۲-۱۰ اجزای دیوار حایل مسلح‌شده با ژئوسینتتیک‌ها ۱۰

۲-۱۱ نمونه‌هایی از ژئوگریدها ۱٤

۲-۱۲ نمونه‌ای از ژئونت‌ها ۱٤

۲-۱۳ نمونه‌ای از ژئوکمپوزیت‌ها ۱۵

۲-۱٤ نمونه‌ای از ژئوتکستایل‌های بافته شده ۱۵

۲-۱۵ نمونه‌ای از ژئوتکستایل‌های بافته نشده ۱۵

۲-۱٦ نمونه‌ای از ژئوتکستایل‌های بافته نشده سوزنی ۱٦

۲-۱۷ رفتار کرنشی گروهی از ژئوسینتتیک‌ها بر اساس نوع بافت ۱۸

۲-۱۸ طبقه‌بندی انواع ژئوسینتتیک‌ها ۱۹

۲-۱۹ کاربرد ژئوسینتتیک‌ها در کنترل فرسایش ۲۰

۲-۲۰ کاربرد ژئوسینتتیک‌ها در زه‌کشی ۲۱

۲-۲۱ کاربرد ژئوسینتتیک‌ها در مسلح‌سازی خاکریز ۲۱

۲-۲۲ کاربرد ژئوتکستایل درزیر اساس جاده ۲٦

۲-۲۳ شکل ژئوتکستایل استفاده شده برای قسمت زیر Rip-Rap در سدها ۲٦

۲-۲٤ استفاده از ژئوتکستایل در ساخت و تعمیر جاده ها ۲۷

۲-۲۵ استفاده از ژئوتکستایل در حفاظت از سواحل ۲۷

۲-۲٦ کاربرد ژئوتکستایل در ساخت و بستر سازی و ترمیم جاده ها ۲۸

۲-۲۷ مراحل نصب ژئوتکستایل در شیب دامنه ۲۸

۲-۲۸ کاربرد ژئوتکستایل در فیلتراسیون ۲۹

۲-۲۹ کاربرد ژئوگرید در مسلح کردن خاک ۳۰

۲-۳۰ اجرا و نصب در محل ۳۱

۲-۳۱ مراحل کارگذاری ژئوگرید بر روی شیبهای ناپایدار ۳۱

۲-۳۲ آزمایش مقاومت کششی ۳۳

۲-۳۳ نمایش عملکرد مسلح‌کننده در برش مستقیم ۳٤

۲-۳٤ الف: امتداد بهینه نظیر کرنش کششی حداکثر، ب: امتداد بهینه نظیر حداکثر پیوستگی ۳٤

۲-۳۵ توجیه افزایش مقاومت تودهٔ خاک مسلح با استفاده از دوایر مور ۳٦

۲-۳٦ اندرکنش بین خاک و مسلح کننده ها ۳۸

۲-۳۷ الف: نمودار نیروی برون‌کشی- جابه‌جایی، ب: آزمایش برون‌کشی ۳۹

۲-۳۸ الف: نمودار تنش برشی در مقابل تنش قائم ب: آزمایش برش مستقیم ۳۹

۲-۳۹ بررسی سیستم پایدار ٤۰

۲-٤۰ نیروهای وارد بر یک جزء مسلح‌کننده در خاک ٤۱

۲-٤۱ بررسی اثر راستای نیروی مسلح‌کننده ٤۳

۲-٤۲ قطعات بتنی پیش ساخته ٤٤

۲-٤۳ اجرای دیوار حائل خاک مسلح با قطعات بتنی پیش ساخته ٤۵

۲-٤٤ نمونه ای از پوسته های بلوکی ٤۵

۲-٤۵ اجرای دیوار حائل با پوسته بلوکی ٤٦

۲-٤٦ دیوار حائل با شبکه سیمی جوش شده ٤٦

۲-٤۷ پوسته گابیونی ٤۷

۲-٤۸ دیوار حائل با پوسته ژئوسینتتیکی ٤۸

فصل سوم : طراحی و اجرای دیوارهای حائل خاک مسلح ٤۹

۳-۱ مکانیزم های گسیختگی دیوار حائل خاک مسلح ۵۱

۳-۲ مکانیزم های گسیختگی خارجی برای دیوار حائل خاک مسلح ۵۳

۳-۳ نمود ار تحلیل پایداری خارجی ۵٤

۳-٤ محاسبه فشار خاک برای تحلیل پایداری خارجی- خاکریز افقی با سربار ترافیک ۵٦

۳-۵ محاسبه فشار خاک برای تحلیل پایداری خارجی- خاکریز شیب دار ۵۷

۳-٦ محاسبه فشار خاک برای تحلیل پایداری خارجی- خاکریز با سطح شکسته ۵۸

۳-۷ روش کولمب برای محاسبه فشار محرک خاک ۵۹

۳-۸ محاسبه تنش قائم در پایه دیوار ۶۱

۳-۹ مراحل تحلیل پایداری داخلی ۶۶

۳-۱۰ محل سطح لغزش برای تحلیل پایداری داخلی دیوار حائل خاک مسلح ۶۸

۳-۱۱ تغییر نسبت تنش با عمق در دیوار خاک مسلح ۶۹

۳-۱۲ محاسبهٔ تنش قائم برای خاکریز شیب دار ۷۱

۳-۱۳ توزیع تنش ناشی از بار متمرکز قائم P_V برای محاسبات پایداری داخلی و خارجی ۷۲

۳-۱۴ توزیع تنش ناشی از بار متمرکز افقی ۷۳

۳-۱۵ انواع بالشتک تراز ۷۷

۳-۱۶ کنترل شیب المان های پوسته ۷۸

۳-۱۷ کنترل ویژه در نصب المان های سرتاسری ۷۹

۳-۱۸ نصب اولین ردیف از پانلهای پیش ساخته پوسته و شمع بندی آنها ۸۰

۳-۱۹ نحوه خاکریزی در پشت دیوار ۸۲

۳-۲۰ تجهیزات تراکم خاکریز ۸۳

۳-۲۱ اتصالات پوسته ۸۴

۳-۲۲ خاکریزی روی المانهای تسلیح ۸۵

۳-۲۳ مراحل خاکریزی در دیوار خاک مسلح با پوسته ژئوسینتتیکی ۸۷

۳-۲۴ جزئیات سیستم قالب بندی موقت ۸۸

۳-۲۵ جزئیات اجرای پوسته ژئوسینتتیکی ۸۸

فصل چهارم : مطالعات و تحقیقات گذشته ۸۹

۴-۱ مدل پانلهای رویه ۹۱

۴-۲ نمای دیوار ابزاربندی شده تحت آزمایش ۹۱

۴-۳ تقسیم بندی دیوار به سه نواحی با رفتار متمایز ۹۳

۴-۴ مقطع دیوار قرار گرفته بر روی فونداسیون خاکی چند لایه ۹۵

۴-۵ نمای شماتیک از سیستم دیوار حائل ۹۸

۴-۶ مدل سربار معادل (NCMA) ۹۹

۴-۷ نتایج محاسبات پایداری داخلی و خارجی بر طبق آیین نامه های FHWA , NCMA ۱۰۰

۴-۸ نسبت تنش ها در فونداسیون های صلب و جاری شونده ۱۰۰

۴-۹ نحوه توزیع مسلح کننده ها ۱۰۰

٤-١٠ مودهای متفاوت تغییرفرم در دیوار با پوششهای مختلف ١٠١

٤-١١ تعریف قسمت های مختلف دیوار ١٠٣

٤-١٢ مدهای تغییر شکل دیوار ١٠٤

٤-١٣ سطح گسیختگی ایجاد شده توسط ناپایداری ١٠٤

٤-١٤ دیوار حائل مسلح شده با ژئوسینتتیک ها ١٠٦

٤-١٥ حالت های مختلف برای دیوارهای ١ تا ٤ ١٠٦

٤-١٦ نمای شماتیک دیوار Denver ١٠٨

٤-١٧ کاربرد نتایج تحقیق در دیوار حائل به ارتفاع ٤/٥ متر ١٠٨

٤-١٨ دیوار حائل خاکی مسلح شده با ژئوتکستایل ١٠٩

٤-١٩ نتایج تست های مقاومت کششی مسلح کننده ها ١١٠

٤-٢٠ شرایط محل پس از گسیختگی ١١٢

٤-٢١ مقطع دیوارحائل با خاکریز مسلح شده ١١٣

٤-٢٢ نیروهای وارد بر المان خاک در گوه گسیختگی کولمب ١١٣

فصل پنجم : مدلسازی دیوار حائل خاک مسلح با استفاده از نرم افزار Plaxis ١١٥

٥-١ ابعاد مدل انتخابی ١١٩

٥-٢ دیوار مدل شده توسط نرم افزار Plaxis ١٢١

٥-٣ ایجاد مش بندی توسط نرم افزار ١٢٢

٥-٤ انجام محاسبات پلاستیک توسط نرم افزار Plaxis ١٢٣

فصل ششم : نتایج آنالیزهای عددی ١٢٤

٦-١ مش تغییر شکل یافته دیوار مدل (با بزرگنمایی ٥٠ برابر) ١٢٥

٦-٢ دیاگرام ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها ١٢٦

٦-٣ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر نیروی ماکزیمم بسیج شده در مسلح کننده ها (دیوار مبنا) ١٢٧

٦-٤ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر نیروی ماکزیمم بسیج شده در مسلح کننده ها (دیواری با خاکریز سست) ١٢٧

٦-٥ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم جابجایی دیوار با سختی های مختلف مسلح کننده ها ١٢٨

٦-٦ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر تغییر مکان دیوار در پوشش های مختلف ١٢٨

٦-٧ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر جابجایی ماکزیمم دیوار در فونداسیون های مختلف ١٢٩

٦-٨ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر جابجایی ماکزیمم دیوار با فواصل مختلف مسلح کننده ها ١٣٠

٦-٩ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر تغییر مکان دیوار در طولهای مختلف مسلح کننده ها ١٣٠
٦-١٠ تاثیر تغییر سختی مسلح کننده بر تغییر مکان دیوار هایی با ارتفاعات مختلف ١٣١
٦-١١ تاثیر طول مسلح کننده ها بر تغییر مکان ماکزیمم دیوار در سختی های مختلف ١٣٢
٦-١٢ تاثیر طول مسلح کننده ها بر تغییر مکان ماکزیمم دیوار در خاکریز های مختلف ١٣٣
٦-١٣ تاثیر طول مسلح کننده بر نیروی ماکزیمم جابجایی دیوار در ارتفاعات مختلف ١٣٣
٦-١٤ تاثیر طول مسلح کننده ها بر تغییر مکان ماکزیمم دیوارهایی با فواصل مختلف مسلح کننده ها ١٣٤
٦-١٥ تاثیر تغییر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در سختی های مختلف ١٣٥
٦-١٦ تاثیر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوارهایی با ارتفاعات مختلف ١٣٥
٦-١٧ تاثیر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوارهایی با ارتفاعات مختلف در سختی ٥٠٠٠kN/m ١٣٦
٦-١٨ تاثیر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوارهایی با ارتفاعات مختلف در سختی ١٠٠٠kN/m ١٣٦
٦-١٩ تاثیر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار با طول های مختلف ١٣٧
٦-٢٠ تاثیر فاصله مسلح کننده ها بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار با خاکریزهای مختلف ١٣٨
٦-٢١ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها در دیوار مبنا (فونداسیون صلب) ١٣٩
٦-٢٢ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (فونداسیون سست) ١٣٩
٦-٢٣ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (خاکریز متراکم) ١٤٠
٦-٢٤ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (خاکریزمتوسط) ١٤٠
٦-٢٥ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (خاکریزسست) ١٤١
٦-٢٦ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=0.5H) ١٤٢
٦-٢٧ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها در دیوار مبنا ١٤٢
٦-٢٨ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=H) ١٤٣
٦-٢٩ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با ارتفاعات مختلف ١٤٣
٦-٣٠ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها با سختی 1000 kN/m ١٤٤
٦-٣١ تاثیر صلبیت پوشش بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها با سختی 3000 kN/m ١٤٥
٦-٣٢ تاثیر ارتفاع دیوار بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با فونداسیون های های مختلف ١٤٦
٦-٣٣ تاثیر ارتفاع دیوار بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با فونداسیون های های مختلف ١٤٦
٦-٣٤ تاثیر ارتفاع دیوار بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با خاکریز های مختلف ١٤٧
٦-٣٥ تاثیر ارتفاع دیوار بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با سختی های مختلف مسلح کننده ها ١٤٨
٦-٣٦ تاثیر ارتفاع دیوار بر ماکزیمم تغییر مکان دیوار در دیوارهایی با طول های مختلف مسلح کننده ها ١٤٨
٦-٣٧ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها دیوار مبنا ١٤٩
٦-٣٨ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها (دیواری با ارتفاع ٤ متر) ١٥٠

٦-٣٩ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=0.5H) ١٥١
٦-٤٠ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=H) ١٥١
٦-٤١ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها (مسلح کننده با سختی 1000 kN/m) ١٥٢
٦-٤٢ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی مسلح کننده ها (فونداسیون سست) ١٥٣
٦-٤٣ تاثیر نوع فونداسیون بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها دردیوار مبنا ١٥٤
٦-٤٤ تاثیر نوع فونداسیون بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (سختی مسلح کننده ١٠٠٠kN/m) ١٥٤
٦-٤٥ تاثیر نوع فونداسیون بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (خاکریز سست) ١٥٥
٦-٤٦ تاثیر نوع فونداسیون بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=0.5H) ١٥٥
٦-٤٧ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (طول مسلح کننده ها L=H) ١٥٦
٦-٤٨ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (دیواری به ارتفاع ٤ متر) ١٥٦
٦-٤٩ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (دیوارمبنا به ارتفاع ٥ متر) ١٥٧
٦-٥٠ تاثیر نوع خاکریز بر ماکزیمم نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها (دیواری به ارتفاع ٦ متر) ١٥٧

فهرست جداول

فصل دوم : مسلح سازی خاک ٤

٢-١ حدود دانه بندی خاک در سیستم خاک مسلح بر طبق ١٢

٢-٢ خواص مواد پایه ژئوسینتتیک‌ها ١٧

٢-٣ حداقل مقاومت مکانیکی ورقه های ژئوتکستایل ٢٤

فصل سوم : طراحی و اجرای دیوارهای حائل خاک مسلح ٤٩

٣-١ ضرایب ظرفیت باربری ٦٣

فصل چهارم : مطالعـات و تحقیقـات گذشته ٨٩

٤-١ تغییرات ثابت فنری در مطالعه پارامتریک ٩٧

فصل پنجم : مدلسـازی دیوار حائل خاک مسلح با استفاده از نرم افزار Plaxis ١١٥

٥-١ مشخصات خاک مسلح برای انجام مطالعه پارامتریک (تاثیر نوع خاکریز) ١٢٠

٥-٢ مشخصات پی برای انجام مطالعه پارامتریک (تاثیر صلبیت فونداسیون) ١٢٠

فصل ششم: نتـایج آنالیـزهای عددی ١٢٤

٦-١ تاثیر پوشش بر جابجایی دیوار در فونداسیون های مختلف با پوشش های متفاوت ١٣٨

٦-٢ تاثیر پوشش بر جابجایی دیوار در خاکریزهای مختلف با پوشش های متفاوت ١٤٠

٦-٣ تاثیر پوشش بر جابجایی دیوار در طولهای مختلف مسلح کننده ها با پوشش های مختلف ١٤١

٦-٤ تاثیر پوشش بر جابجایی دیوار در سختی های مختلف مسلح کننده ها با پوشش های مختلف ١٤٤

٦-٥ جابجایی ماکزیمم دیوارهایی با ارتفاعات مختلف مسلح شده با سختی 5000 kN/m ١٤٦

٦-٦ جابجایی ماکزیمم دیوارهایی با ارتفاعات مختلف مسلح شده با سختی 1000 kN/m ١٤٧

٦-٧ جابجایی ماکزیمم دیوارهایی با ارتفاعات مختلف در خاکریزهای مختلف ١٤٩

٦-٨ جابجایی ماکزیمم دیوارهایی با طولهای مختلف در خاکریزهای مختلف ١٥٠

٦-٩ جابجایی ماکزیمم دیوارهایی با سختی های مختلف در خاکریزهای مختلف ١٥٢

٦-١٠ جابـجایی ماکزیمم دیوارهایی با فونداسیون های مختلف در خاکریزهای مختلف ١٥٢

١

كليّـات

خاک به لحاظ فراوانی در طبیعت، قیمت ارزان و کارایی مناسب جزواولین مصالحی است که در تمامی ساخت و سازهای عمرانی بکارگرفته می‌شود. انتخاب این مصالح به‌ویژه با ورود مکانیک خاک کلاسیک که بر علوم دیگری نظیر مقاومت مصالح و نیز تجربیات گذشته استوار است، رونق بیشتری یافته و کاربرد مهندسی آن را دو چندان کرده است. مکانیک خاک این توانایی را به مهندسین داده تا بتوانند به راحتی رفتار و عملکرد خاکها را در برابر بارهای وارده پیش‌بینی کرده و در صورت نیاز به رفع مشکلات و موانع بر سر راه آن برآیند.

با وجود توانایی خاک‌ها در باربری و مقاومت در برابر نیروهای وارده، ضعیف بودن در برابر تنش‌های کششی از عمده-ترین مشکلات خاک محسوب می‌شود. به همین خاطر از دیرباز استفاده از افزودنی‌هایی نظیر کاه که باعث بالابردن توان کششی و برشی خاک می‌شود برای مقابله با این ضعف درنظر گرفته شده است. این تکنیک امروزه با روش‌ها و متدهای پیشرفته و مصالح مقاومتری نظیر تسمه‌ها و شبکه‌های فلزی، مصالح پلیمری و الیاف طبیعی انجام می‌شود که در اصطلاح **خاک مسلح** خوانده می‌شود. دیوارهای خاکی مسلح از جمله سازه‌هایی است که از این تکنیک سود می‌برند. کاربرد دیوارهای خاک مسلح بدلیل سهولت اجرا و شکل پذیری مناسب آنها در مقایسه با انواع دیگر دیوار های حائل روز به روز در حال توسعه و گسترش است.اجرای وسیع این قبیل دیوارها در سالهای اخیر در ایران و اهمیت و نقش کلیدی آنها در انواع پروژه های عمرانی مطالعه و درک رفتار این قبیل سازه های خاکی را بیش از پیش ضروری می سازد.

گسترش مناطق شهری و صنعتی، کمبود زمین‌های مناسب و تراکم سازه‌های مختلف در فضای محدود، دیوارهای حایل را به عنوان اولین نیاز هر فعالیت عمرانی مطرح می‌کند. استفاده از دیوارهای خاک مسلح که معمولا دارای هزینه کمتر و سرعت بالاتر اجرایی و در عین حال رفتار بهتری نسبت به دیوارهای متداول وزنی یا بتن مسلح به لحاظ توزیع مناسب‌تر تنش‌ها هستند، در این میان بیشتر جلب توجه کرده و کاربرد آن را فراوان نموده است.

همانگونه که عنوان شد گزینه‌های متفاوتی برای مسلح‌سازی دیوارهای خاکی وجود دارد. هرچند تسمه‌ها و یا شبکه‌های فلزی در چند دهه پیش کاربرد وسیعی داشت اما پیشرفت علوم مهندسی پلیمر در دهه‌های اخیر، ژئوسینتتیک‌ها که دارای مزایای بهتری نسبت به دیگر مسلح‌کننده‌ها هستند را به عنوان گزینه مناسبی مطرح کرده است. عدم قابلیت خوردگی و زنگ‌زدگی، درگیری بهتر و یکپارچه‌تر با خاک، انعطاف‌پذیری و اندرکنش متعادل با مصالح خاک و سنگ و سهولت اجرا از جمله این مزیت‌هاست. بر همین اساس دیوارهای خاکی مسلح‌شده با ژئوسینتتیک‌ها در اغلب کشورها اجرا شده‌اند.

از آنجا که هر طرح مهندسی علاوه بر اصول فنی بر جنبه اقتصادی نیز تکیه دارد، نیاز به مطالعه در جهت شناخت بهتر رفتار دیوارهای حایل ژئوسینتتیکی تحت سربار،با وجود تحقیقات متفاوت آزمایشگاهی, تحلیلی و عددی در این زمینه احساس می‌شود. به لحاظ سرعت بیشتر و هزینه کمتر ، محققین در سالهای اخیر بیشتر بر روی شبیه سازی به روش های عددی متمرکز شده اندتا به مطالعه تاثیر پارامترها ی موجود بپردازند.

مطالعه حاضر با توجه به روند روبه رشد استفاده از مسلح‌کننده‌های ژئوسینتتیکی در پروژه‌های عمرانی کشور، کوشیده است تا قدم کوچکی در این راه بردارد. به همین منظور مطالعه رفتار دیوارهای خاک مسلح ژئوسینتتیکی تحت سرباربه منظور شناخت هرچه بیشتر رفتار آنها و فتح بابی برای طراحی مناسب‌تر در دستورکار قرار داده شده است.

برای یکپارچه‌شدن مطالب و تعریف مفاهیم پایه که در پایان‌نامه به کار رفته، فصل دوم به این امر اختصاص داده شده است. در این فصل به صورت جداگانه دیوارهای حایل، ژئوسینتتیک‌ها، دیوار خاک مسلح، مطرح خواهند شد. همچنین انواع روش های تحلیل و طراحی دیوارهای حائل خاک مسلح مورد بررسی قرار گرفته و به نحوه اجرای این دیوار ها پرداخته شده است.

اطلاع از سایر تحقیقات گذشته لازمه هر مطالعه‌ای است تا از تکرار مجدد جلوگیری کرده و یا باعث بهبود آن شود. در خاتمه فصل دوم، در حد امکان سعی شده تا به مطالعات گذشته آزمایشگاهی و عددی و موردی توجه شود.

در فصل سوم به معرفی نرم افزار Plaxis و نحوه مدلسازی دیوار و مطالعه تاثیر برخی مشخصات دیوارهای حایل خاکی مسلح شده با ژئوتکستایل نظیر سختی مسلح کننده، فاصله قائم و طول آنها، ارتفاع دیوار، صلبیت فونداسیون و نوع پوشش دیوار بر عملکرد دیوار، به کمک روش عددی اجزاء محدود پرداخته شده است.

در فصل چهارم نتایج حاصل از تاثیر پارامترهای ذکر شده در فصل سوم بر عملکرد دیوار، با تمرکز بر جابجایی ماکزیمم دیوار و نیروی بسیج شده در مسلح کننده ها تشریح شده اند.

در فصل پنجم، نتایج بدست آمده از تاثیر هر پارامتر جمع بندی شده و پیشنهاداتی برای تحقیقات بیشتر آورده شده است.

۲

مسلح سازی خاک