بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

ظرفیت باربری پی سطحی واقع بر بستر ماسه ای مسلح به ژئوگرید مهار شده

پایان نامه کارشناسی ارشد خاک و پی

رسول افشون

استاد راهنما

دکتر محمد علی روشن ضمیر

۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران- خاک و پی

آقای رسول افشون

تحت عنوان

ظرفیت باربری پی سطحی واقع بر بستر ماسه ای مسلح به ژئوگرید مهار شده

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد علی روشن ضمیر
۲-استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمود وفائیان
۳-استاد داور داخلی	دکتر
۴-استاد داور خارجی	دکتر
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق

موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به

دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

بر خود می دانم که از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر روشن ضمیر که راهگشای اینجانب در راستای انجام این پایان نامه بودند، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از همکاری مسئولین آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان بخصوص جناب آقای شمس کمال تشکر را دارم.

رسول افشون

چکیده

ساختارخاک ها به گونه ای است که در برابر کشش ضعیف هستند و نیاز به تقویت دارند.تغییر عملکرد خاک به منظور اصلاح و کاربرد مهندسی آن تثبیت خاک نامیده می شود. تثبیت خاک اثرات مفید متعددی دارد که کاربردی ترین و مهمترین آن ها بهبود مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری آن و تاثیر در کاهش نشست سازه های ساخته شده بر روی آن ها می باشد. تثبیت را می توان به روش های گوناگونی اجرا نمود که تسلیح خاکی یکی از این روش هاست. در صورتی که پی بر روی یک خاک ضعیف قرار گیرد، ممکن است ظرفیت باربری کافی برای تحمل بارهای وارده را نداشته و دچار نشست های اضافی شود که این مساله می تواند باعث ایجاد آسیب سازه ای و مشکل در عملکرد صحیح پی گردد. راه حل های معمول برای جبران این آسیب، جایگزینی قسمتی ازخاک ضعیف با خاک دانه ای قویتر، افزایش دانسیته خاک، افزایش ابعاد پی و یا ترکیبی از این روش ها است. راه حل مناسب تر در این مورد، استفاده از ژئوسنتتیک ها برای مسلح کردن خاک زیر پی است. ژئوسنتتیک ها با انتقال بار پی به لایه های عمیق ترخاک، باعث گسترش بهتر فشار در خاک ضعیف می شوند که نتیجه آن افزایش ظرفیت باربری و سختی خاک و کاهش نشست پی خواهد شد. تا کنون بررسی های متعددی توسط محققین مختلف انجام گرفته که نتیجه همه این بررسی ها بهبود عملکرد پی های سطحی را با مسلح کردن خاک نشان می دهد. در تحقیقات صورت گرفته با ژئوگرید به عنوان مسلح کننده برای افزایش ظرفیت باربری اگرچه گاهی اثر استفاده از ژئوگرید با مقاومت کششی متفاوت بررسی شده است ولی به مقاومت بیرون کششی توجه چندانی نشده است. مقاومت بیرون کشی ژئوگرید را می توان با مهارکردن انتهای لایه ژئوگرید افزایش داد. از مشکلات عمده در آماده سازی بستر مسلح برای استقرار پی که مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی می باشد طول قابل توجه عناصر تسلیح کننده و در نتیجه حجم زیاد عملیات خاکبرداری و خاکریزی می باشد. به نظر می رسد مهار کردن ژئوگریدها در نقاط مناسب در صفحه تسلیح بتواند طول مهاری لازم برای بسط مقاومت کافی در فصل مشترک خاک – تسلیح را کاهش دهد. به این ترتیب با کاهش قابل توجه طول تسلیح ضمن صرفه جویی در مقدار تسلیح کننده، حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی نیز به میزان زیادی کاهش می یابد. در این تحقیق اثر مهار انتهایی لایه های تسلیح روی ظرفیت باربری پی بررسی شده است. منظور از مهارهای انتهایی، مهارهایی هستند که به صورت قائم در انتهای مسلح کننده برای جلوگیری از لغزش آن به کار برده می‌شوند. در راستای نیل به این هدف ظرفیت باربری پی واقع بر بستر مسلح شده با مهارهای انتهایی مورد بررسی قرار گرفت. سپس در حالت مهاری اثر ارتفاع پایه مهار و همچنین تعداد مهار مورد بررسی واقع شد. در ادامه تاثیر پارامترهای تسلیح در حالت مهار شده بر ظرفیت باربری بررسی شده و مقادیر بهینه این پارامترها برای رسیدن به بیشینه ظرفیت باربری بدست آمدند. و در آخر تاثیر ردیف های مهار اضافه شده به لایه ژئوگرید روی ظرفیت باربری مورد آزمایش قرار گرفتند. با بدست آوردن بهینه پارامترهای تسلیح و بهترین چیدمان لایه های ژئوگرید ظرفیت باربری را به ۷/۸ برابر حالت غیر مسلح رساندیم در ادامه با مهار کردن انتهای لایه های تسلیح توانستیم ظرفیت باربری را ۱۰/۲ برابر حالت غیر مسلح افزایش دهیم. با داشتن مهارهای انتهایی و اضافه کردن ردیف های مهار ظرفیت باربری، ۱۱/۷ برابر حالت غیر مسلح بدست آمد.

کلمات کلیدی:

ظرفیت باربری، خاک مسلح، ژئوگرید، حالت غیر مسلح، مهار، مسلح شده با مهار

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب .....هشت

چکیده ۱

فصل اول :کلیات و معرفی پایان نامه

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-تاریخچه خاک مسلح و اهمیت آن: ۳

۱-۳-ژئوسنتتیک ها و انواع آن: ۳

۱-۴-ژئوگریدها ۳

۱-۵-اهمیت موضوع تحقیق: ۴

۱-۶-اهداف پایان نامه: ۴

۱-۷-محتوای فصل های پایان نامه: ۵

فصل دوم: مبانی نظری و سابقه مطالعات مرتبط با تحقیق

۲-۱-مقدمه ۶

۲-۲-انواع گسیختگی های خاک در بار نهایی ۷

۲-۳-گسیختگی پی های واقع بر خاک مسلح ۹

۲-۴-پی سطحی مستقر بر خاک مسلح و پارامترهای مرتبط با آن: ۱۱

۲-۵-تحقیقات انجام شده در زمینه پی نواری در خاک مسلح: ۱۲

۲-۵-۱- پی نواری مستقر بر خاک مسلح شده با ژئوگرید: ۱۲

۲-۵-۲- پی نواری مستقر برخاک مسلح شده با سایر عناصر تسلیح: ۱۹

۲-۶-تحقیقات انجام شده در زمینه پی مربعی در خاک مسلح: ۲۷

۲-۶-۱- پی مربعی مستقر بر خاک مسلح شده با ژئوگرید: ۲۷

۲-۶-۲- پی مربعی مستقر بر خاک مسلح شده با سایر عناصر تسلیح: ۳۳

۲-۷-تحقیقات انجام شده مربوط به پی دایره ای در خاک مسلح: ۳۶

۲-۷-۱- پی دایره ای در خاک مسلح شده با ژئوگرید: ۳۶

۲-۷-۲- پی دایره ای در خاک مسلح شده با سایر عناصر تسلیح: ۳۸

۲-۸-جمع بندی ۴۳

فصل سوم: معرفی مصالح و ابزار آزمایش

۳-۱-مقدمه ۴۴

۳-۲-معرفی خاک مورد آزمایش ۴۴
۳-۲-۱- تعیین دانه‌بندی خاک ۴۴
۳-۲-۲- تعیین وزن مخصوص خاک ۴۶
۳-۲-۳- آزمایش تعیین وزن واحد حداکثر و حداقل ۴۶
۳-۲-۴- آزمایش برش مستقیم ۴۷
۳-۳-ابزار و وسایل آزمایش ۴۷
۳-۳-۱- مشخصات پی مدل ۴۷
۳-۳-۲- مشخصات ژئوگرید ۴۸
۳-۳-۳- مشخصات مهار ۴۸
۳-۳-۴- مشخصات جعبه آزمایش ۴۸
۳-۳-۵- سیستم بارگذاری ۴۹
۳-۳-۶- نحوه اندازه‌گیری نیرو و نشست پی ۵۰
۳-۴-روش آماده سازی نمونه های آزمایش ۵۱
۳-۵-نحوه قرار گیری مهارها در گوشه های ژئوگرید ۵۲
۳-۶-برنامه آزمایش های انجام شده: ۵۳
فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج آزمایش‌ها
۴-۱-مقدمه ۵۴
۴-۲-بررسی باربری ماسه غیر مسلح (سری A-1) ۵۶
۴-۲-۱- تاثیر دانسیته نسبی ماسه مسلح نشده روی ضریب سختی ۵۷
۴-۲-۲- مقایسه ظرفیت باربری آزمایشگاهی با مقادیر محاسباتی ظرفیت باربری ۵۷
۴-۳-تاثیر پارامترهای تسلیح بر ظرفیت باربری پی ۵۹
۴-۳-۱- تاثیرفاصله اولین لایه تسلیح از کف پی(u/B) بر ظرفیت باربری پی(آزمایش A-2) ۵۹
۴-۳-۲- تاثیرنسبت طول لایه های تسلیح(L/B) بر ظرفیت باربری پی(سری A-3) ۶۲
۴-۳-۳- تاثیر فاصله بین لایه های تسلیح(h/B) بر نسبت ظرفیت باربری(سری A-4) ۶۵
۴-۳-۴- تاثیرتعداد لایه های تسلیح(N) بر نسبت ظرفیت باربری(سری A-5) ۶۶
۴-۳-۵- تاثیرتعداد لایه های تسلیح(N) بر ضریب بهبود سختی(SIF) ۶۸
۴-۴-تاثیر لایه های ژئوگرید مهار شده بر ظرفیت باربری پی ۶۹
۴-۴-۱- تاثیر ارتفاع پایه مهار(h_a/B) بر ظرفیت باربری پی (سری آزمایش های B-1) ۶۹
۴-۴-۲- اثردانسیته نسبی بر ظرفیت باربری بستر مسلح به ژئوگرید با وجود ۴ مهار با ارتفاع پایه ۲ سانتی متری و u/B=۰/۳ (سری آزمایش های B-2) ۷۱

۴-۴-۳- تاثیر عمق اولین لایه تسلیح مهار شده بر ظرفیت باربری پی(سری آزمایش های B-3).....۷۴
۴-۴-۴- اثر دانسیته نسبی بر ظرفیت باربری بستر ماسه مسلح به ژئوگرید مهار شده با فاصله اولین لایه تسلیح برابر با ۰/۲ برابر عرض پی (سری آزمایش های B-4).....۷۶
۴-۴-۵- تاثیردانسیته نسبی بر ضریب بهبود سختی(SIF) بستر مسلح به ژئوگرید مهار شده با ۴ مهار انتهایی (u/B=۰/۲).....۷۸
۴-۴-۶- اثر تعداد مهار انتهایی(N_a) لایه های تسلیح برظرفیت باربری پی(سری آزمایش های B-5).....۷۹
۴-۴-۷- اثر تعداد مهار انتهایی(N_a) لایه های تسلیح روی ضریب کاهش نشست(SRF).....۸۲
۴-۴-۸- تاثیر دانسیته نسبی بر ظرفیت باربری پی در حالت تسلیح با ژئوگرید مهار شده با ۱۲ مهار انتهایی (سری آزمایش های B-6).....۸۳
۴-۴-۹- تاثیر دانسیته نسبی بر ضریب بهبود سختی (SIF) بستر مسلح به ژئوگرید مهار شده با ۱۲ مهار انتهایی.....۸۵
۴-۴-۱۰-تاثیر طول لایه های ژئوگرید مهار شده (L/B) بر ظرفیت باربری پی (سری آزمایش های C-1).....۸۵
۴-۴-۱۱-مقایسه بین BCR حاصل از لایه های مسلح کننده با طول های مختلف(L/B) در حالت مهار شده با مهار نشده.....۸۷
۴-۴-۱۲-تغییرات ضریب بهبود سختی (SIF) پی مسلح به لایه های مسلح کننده با طول های مختلف(L/B) در حالت مهار شده.....۸۹
۴-۴-۱۳-تاثیر دانسیته نسبی بر ظرفیت باربری پی مسلح مهار شده به یک لایه ژئوگرید با ۱۲ مهار و L/B=۲/۵ (سری C-2).....۹۰
۴-۴-۱۴-تاثیر دانسیته نسبی روی ضریب بهبود سختی (SIF) پی مسلح به یک لایه ژئوگرید مهار شده به طول ۲/۵B.....۹۲
۴-۴-۱۵-تاثیر فاصله بین لایه های مسلح کننده(h/B) در حالت مهار شده روی ظرفیت باربری پی (سری آزمایش های C-3).....۹۳
۴-۴-۱۶-مقایسه فاصله بین لایه های تسلیح در حالت مهار شده با حالت مهار نشده.....۹۴
۴-۴-۱۷-تاثیر فاصله بین لایه های مسلح کننده در حالت مهار شده روی ضریب بهبود سختی.....۹۵
۴-۴-۱۸-تاثیر دانسیته نسبی بر ظرفیت باربری پی مسلح مهار شده با دو لایه ژئوگرید به h/B=۰/۳(سری C-4).....۹۶
۴-۴-۱۹-تاثیر دانسیته نسبی بر ضریب بهبود سختی(SIF) بستر مسلح به دو لایه ژئوگرید مهار شده.....۹۸
۴-۴-۲۰-تاثیر تعداد لایه های مسلح کننده با مهار انتهایی(N) روی ظرفیت باربری خاک (سری آزمایش های C-5).....۹۹
۴-۴-۲۱-مقایسه ظرفیت باربری در حالات تسلیح مهار شده و مهار نشده با وجود بهینه پارامترهای تسلیح در هر دو حالت..۱۰۱
۴-۴-۲۲-تاثیر تعداد لایه های تسلیح در حالت مهار شده روی ضریب بهبود سختی(SIF).....۱۰۳
۴-۴-۲۳-تاثیر دانسیته نسبی بر ظرفیت باربری پی مسلح به ۴ لایه ژئوگرید مهار شده به h/B=۰/۳ (سری C-6).....۱۰۴
۴-۴-۲۴-تاثیر دانسیته نسبی بر ضریب بهبود سطحی(SIF) بستر مسلح به ۴ لایه ژئوگرید مهار شده.....۱۰۵
۴-۴-۲۵-تاثیر اثر تسلیح با مهارهای چند ردیفه روی ظرفیت باربری (سری آزمایش های D-1).....۱۰۶
۴-۴-۲۶-مقایسه ظرفیت باربری حاصل از مهارهای اضافه شده به داخل مسلح کننده با حالت های مهار نشده و مسلح نشده۱۰۸

فصل پنجم نتیجه گیری کلی و پیشنهادات

۵-۱-نتایج حاصل از پی مستقر بر بستر مسلح شده بدون مهار.....۱۰۹

۵-۲-نتایج حاصل از پی سطحی مستقر بر بستر ماسه ای مسلح شده با مهارهای انتهایی ۱۱۰
۵-۳-نتایج کلی بدست آمده از مهار کردن لایه های مسلح کننده ۱۱۰
۵-۴-پیشنهادات برای تحقیقات آینده ۱۱۱
پیوست الف ۱۱۲
منابع ۱۱۷

فصل اول

کلیات و معرفی پایان نامه

۱-۱- مقدمه

با توسعه روز افزون طرح های عمرانی در خشکی و دریا زمان آن فرا رسیده که خصوصیات خاک ها و روش های بهبود ویژگی های آن ها مورد بررسی قرار گیرد. روش های متعددی در چند دهه گذشته برای بهبود خواص مکانیکی خاک پیشنهاد شده است و مورد استفاده قرار گرفته شده است. یکی از این روش ها خاک مسلح است. خاک مسلح یا خاک تثبیت شده مکانیکی تکنیک ساخت و سازی است که در آن خاک با استفاده از المان های کششی همانند تسمه های فولادی، ژئوتکستایل و ژئوگرید تقویت می گردد. در دهه ۱۹۶۰ آزمایشگاه تحقیقات راه فرانسه مطالعات گسترده ای با هدف بررسی اثرات سودبخش استفاده از خاک مسلح به عنوان یک تکنیک ساخت و ساز به انجام رساند. نتایج تحقیقات اولیه توسط ویدال[1] ثبت و منتشر گردید. در طی سی سال گذشته دیوارهای حائل و خاکریزهای بسیاری در سرتاسر دنیا با استفاده از خاک مسلح ساخته شده اند که تا به امروز نیز عملکرد بسیار خوبی داشته اند. ژئوسنتیک ها مصالح مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیک هستند که از فرآورده های نفتی ساخته می شوند و کاربرد فراوانی در خاک مسلح دارند. ژئوسنتیک ها با انتقال بار پی به لایه های عمیق ترخاک، باعث گسترش بهتر فشار در خاک ضعیف می شوند که نتیجه آن افزایش ظرفیت باربری و سختی خاک و کاهش نشست پی خواهد شد. تا کنون بررسی های متعددی توسط محققین مختلف انجام گرفته که نتیجه همه این بررسی ها بهبود عملکرد پی های سطحی را با مسلح کردن خاک نشان می دهد. ژئوگریدها که از محصولات ژئوسنتیکی هستند از جمله عناصر تسلیح کننده هستند که به طور گسترده در تسلیح خاک مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه در خاک های مسلح جایگزینی ژئوگریدها به جای تسمه های فلزی به طور فزاینده ای ادامه دارد که یکی از علل آن مشکل خوردگی تسمه های فلزی در خاک و هزینه بیشتر آنها در مقایسه با ژئوگریدها می باشد.

[1] .Henry vidal

۱-۲- تاریخچه خاک مسلح و اهمیت آن:

زمان نخستین تلاشها برای تقویت خاک درتاریخ مشخص نیست و استفاده از مواد طبیعی مانند چوب، نی، پوشال، پوست حیوانات و غیره به چند هزار سال پیش برمی گردد. بابلیها بیش از ۳۰۰۰ سال پیش از خاک مسلح برای ساختن زیگوراتها (برجهای بلند هرمی شکل پلکاندار) و چینیان باستان ازچوب، بامبو و پوشال برای تقویت خاک استفاده کردند. اکنون سازه های خاک مسلحی در چین وجود دارند(مانند قسمتهایی از دیوار بزرگ چین)که به اندازه تاریخ مسیح قدمت دارند. استفاده از پارچه برای کمک به ساخت جاده برروی زمین نرم به زمان رومیان باستان مربوط می شود. آنان حصیر را روی زمین باتلاقی قرار می دادند و سپس روی آن را با سنگدانه می پوشاندند. درکشور ما نیز ملات کاهگل نامی آشناست که از دیرباز مورد مصرف داشته است.

ویدال برای تسلیح خاک از نوارهای فلزی استفاده کرد وی در سال ۱۹۶۶ نخستین دیوار خاک مسلح به ارتفاع ۵ متر را در کوههای پیرنه ساخت و پس از آن در سالهای ۱۹۶۷ و ۱۹۶۸ تکنیک خاک مسلح در هفت پروژه بزرگ از جمله یک دیوار نگهبان ۲۳ متری در ایتالیا با موفقیت به کار گرفته شد. از آن پس استفاده از خاک مسلح در بسیاری کشورها متداول گردید و مطالعات زیادی پیرامون تحلیل نیروها و سازوکار پایداری سازه های خاکی مسلح صورت گرفت و رابطه هایی به منظور طراحی آنها ارائه گردید و بدین روش این بخش از دانش ژئوتکنیک توسعه یافت.

در مورد اهمیت خاک مسلح می توان بیان کرد که خاک مسلح هم از نظر فنی و هم از لحاظ اقتصادی در بیشتر موارد بر روش های دیگر برتری دارد. از نقطه نظر سازه ای، خاک مسلح بدلیل انعطاف پذیری و میرایی بالایی که دارد، در مقابل بار زلزله عملکرد خوبی از خود بجای می گذارد و از نظر اقتصادی به خاطر سهولت در اجرا، کم بودن زمان اجرا و ارزان بودن مصالح لازم، استفاده از این روش می تواند در اولویت های اول قرار گیرد. همچنین می توان هم از خاک دانه ای و هم از خاک چسبنده به عنوان مصالح درگیر با عناصر تسلیح استفاده کرد.

۱-۳- ژئوسنتتیک ها و انواع آن:

با ورود محصولات پلیمری ژئوسنتتیک به بازار، استفاده از آنها برای کاربردهای مختلف و از جمله تسلیح خاک به سرعت توسعه پیدا کرد. امروزه ژئوسنتتیکها به دلیل خواص خوبی که دارند از جمله دوام، انعطاف پذیری، مقاومت در برابر خوردگی، وجود انواع نفوذپذیر و نفوذناپذیر و غیره، دارای کاربردهای بسیار گسترده و متنوعی در مهندسی ژئوتکنیک می باشند و در سالهای اخیر میزان استفاده از آنها رشد محسوسی داشته است. بر اساس استاندارد ASTM D-4439 ژئوسنتتیک ها، محصولات مسطحی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده اند و در پروژه های عمران و ژئوتکنیک کاربرد دارند. ژئوسنتتیک ها دارای انواع مختلفی می باشند که عمده ترین آن ها شامل: ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئومش(ژئونت ها) و ژئوممبران می باشند.[۱]

۱-۴- ژئوگریدها

ژئوگریدها به دو شکل تک محوره و دومحوره می باشند. به عنوان مسلح کننده در سازه های مختلف از جمله شیب ها، پی های واقع بر خاک های سست، دیوار حائل و جاده ها به کار می روند. ژئوگریدها به دلیل ساختار شبکه ای که دارند و اجازه قفل و بست به دانه های خاک را می دهند، بیشترین کاربرد را در تسلیح خاک دارند. ژئوگریدها مواد تک لایه یا چند لایه ای هستند که معمولا از اکسترود کردن یا کشیدن پلی اتیلن یا پلی پروپیلن با

دانسیته بالا ساخته می شوند و یا با بافتن و روکش کردن الیاف پلی استر سخت تولید می شوند. ژئوگرید حاصل شامل سوراخ هایی است که اندرکنش آن را با دانه های خاک افزایش می دهد. سختی و مقاومت کششی بالای ژئوگرید از خصوصیات مهم و موثر آن ها در تسلیح خاک می باشد.[۲]

۱-۵- اهمیت موضوع تحقیق:

در صورتی که پی بر روی یک خاک ضعیف قرار گیرد، ممکن است ظرفیت باربری کافی برای تحمل بارهای وارده را نداشته و دچار نشست های اضافی شود که این مساله می تواند باعث ایجاد آسیب سازه ای و مشکل در عملکرد صحیح پی گردد. راه حل های معمول برای جبران این آسیب، جایگزینی قسمتی ازخاک ضعیف با خاک دانه ای قویتر، افزایش دانسیته خاک، افزایش ابعاد پی و یا ترکیبی از این روش ها است. راه حل مناسب تر در این مورد، استفاده از ژئوگرید برای مسلح کردن خاک زیر پی است. ژئوگرید با انتقال بار پی به لایه های عمیق ترخاک، باعث گسترش بهتر فشار در خاک ضعیف می شوند که نتیجه آن افزایش ظرفیت باربری و سختی خاک و کاهش نشست پی خواهد شد. این روش یک راه حل مفید و اقتصادی در بهبود خواص خاک می باشد. اگر بتوان طول لایه های ژئوگرید واقع در بستر مسلح را کاهش داد، عملیات خاکبرداری و خاکریزی لازم برای ایجاد بستر مسلح به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و گامی مهم در جهت اقتصادی تر شدن اینگونه طرح ها برداشته می شود. از این رو اهمیت بررسی و تحقیق بیشتر در مورد مکانیزم های مسلح سازی و تقویت خاک ناشی از قرارگیری مصالح تسلیح کننده ژئوگرید به همراه مهارهای واقع بر آن به خوبی روشن می باشد.

۱-۶- اهداف پایان نامه:

بر حسب تحقیقات موجود عرض لازم برای لایه های ژئوگرید جهت رسیدن به بازدهی بهینه تسلیح بسته به نوع پی بین ۴ تا ۸ برابر عرض شالوده گزارش شده است. بدیهی است اجرای لایه های تسلیح با چنین ابعادی مستلزم انجام حجم بالایی از عملیات خاکبرداری و خاکریزی می باشد. در این تحقیق تلاش شده است با مهار کردن لایه های ژئوگرید در نقاط مختلف ، طول لازم ژئوگرید جهت رسیدن به ظرفیت باربری مناسب به مقدار قابل توجهی کاهش داده شود. در این تحقیق بعد از گذاشتن لایه ژئوگرید در تراز مربوطه با استفاده از مهارهای قائم مفتولی U شکل در نقاط مختلف، لایه ژئوگرید به بستر خاکی مهار گردیده است. با ادامه خاکریزی و ایجاد بستر خاکی مناسب، شالوده مدل واقع بر این بستر تحت بارگذاری قرار گرفته و ظرفیت باربری آن تعیین شده است. هدف کلی از انجام این تحقیق بررسی عملکرد شالوده واقع بر بستر ماسه ای مسلح به ژئوگرید مهار شده می باشد. در این راستا موارد زیر به ترتیب مورد بررسی قرار گرفته است: ۱- بهینه پارامترهای تسلیح ۲- تاثیر ارتفاع پایه مهارها ۳- اثرتعداد مهارها و موقعیت آنها در لایه های ژئوگرید تسلیح کننده بر عملکرد شالوده مدل ۴- بهینه پارامترهای تسلیح در حالت مهار شده ۵- اثر دانسیته نسبی بر عملکرد شالوده مدل در بهینه پارامترهای تسلیح مهار شده ۶- تاثیر ردیف های مهار اضافه شده به لایه ژئوگرید روی ظرفیت باربری.

۱-۷- محتوای فصل های پایان نامه:

این پایان نامه در ۵ فصل به شرح زیر تنظیم گردیده است:

در فصل اول مقدمه ای در مورد اهمیت خاک مسلح، مسلح کننده های ژئوسنتتیکی و انواع آن، اهمیت موضوع مورد بررسی و اهداف پایان نامه ارائه شده است. فصل دوم مروری بر پیشینه تاریخی و کارهای صورت گرفته در دو دهه اخیر در مورد ظرفیت باربری پی مستقر بر خاک مسلح شده به ژئوسنتتک ها و حالت مسلح نشده می باشد. فصل سوم شامل آزمایشات اولیه مربوط به تعیین خصوصیات خاک ماسه ای وهمچنین ابزار و مصالح مورد نیاز برای انجام آزمایش،خلاصه ای درباره دستگاه بارگذاری ونحوه اندازه گیری نیروها، نشست پی، نحوه آماده سازی نمونه های آزمایش و قرارگیری لایه های تسلیح و مهارهای واقع بر آن و برنامه انجام آزمایشات می باشد. در فصل چهارم نتایج تست های انجام شده مورد بحث قرار می گیرد و نمودارهای بار- نشست و مقایسه حالت های مهاری با حالت های بدون مهاری مورد تحلیل واقع می شود. در فصل پنجم خلاصه ای از تحقیق انجام شده و نتیجه گیری های کلی و پیشنهادات در مورد تحقیقات بعدی بیان می شود.

فصل دوم
مبانی نظری و سابقه مطالعات مرتبط با تحقیق

۲-۱- مقدمه

در طی چند دهه گذشته مطالعات و تحقیقات زیادی در زمینه بررسی تاثیر کاربرد عناصر تسلیح درون خاک بر خواص مکانیکی خاک از جمله ظرفیت باربری و نشست انجام گرفته است. یک پی تسلیح شده (RSF[1]) شامل یک یا چند لایه ژئوسنتتیک کنترل شده و خوب جاگذاری شده زیر پی در مکان های از قبل تعیین شده برای ایجاد مصالح مرکب با کارایی بهبود یافته می باشد. یک پی مسلح شده شامل الیاف ژئوسنتتیک می باشد که خاک محلی را از خاک پرشده با ژئوسیتتیک جدا می کند.RSF ها ممکن است برای ساخت پی های سطحی مستقر بر خاک دانه ای سست، خاک نرم ریز دانه یا خاک آلی نرم به کار روند. در اکثر موارد تسلیح کننده ها به صورت افقی در خاک قرار می گیرند، مواردی نیز وجود دارد که این عناصر به صورت قائم قرار داده می شوند. فضای پر شده ی بین لایه ها معمولا مصالح دانه ای تمیز می باشند که تا دانسیته ۷۵٪ تراکم یافته اند و همچنین می توانند شامل ماسه متراکم باشند. مطالعات گذشته نشان داده اند که عواملی نظیر نوع تسلیح، تعداد لایه های تسلیح، عمق اولین لایه ی تسلیح زیر پی، فاصله بین لایه های تسلیح، ابعاد تسلیح به همراه ابعاد پی و نوع و قرارگیری مواد پر کننده بین لایه ها بر کارایی RSF ها تاثیر می گذارند. در طی ۲۰ سال گذشته توصیه های قابل ملاحظه ای برای فهم رفتار RSF ها و کارایی ومحدودیت استفاده از ژئوسنتتیک ها برای بهبود کارایی پی های سطحی انجام شده است. تحقیقات مفصلی شده ای در مقیاس کوچک و بزرگ پی های مدل برای ارزیابی کارایی RSF ها و توسعه ی روشی برای طراحی انجام شده است. این تحقیقات نشان داده است که ظرفیت باربری نهایی و رفتار نشست پی می تواند با تسلیح خاک بهبود یابد. در این فصل ابتدا حالات گسیختگی در خاک بستر شالوده ها، گسیختگی پی های واقع بر بستر مسلح و پی سطحی واقع بر خاک مسلح و پارامترهای آن ارائه می گردد. در ادامه تحقیقات انجام شده در زمینه پی سطحی واقع بر بستر مسلح در طی سه دهه اخیر به صورت خلاصه ارائه شده است.

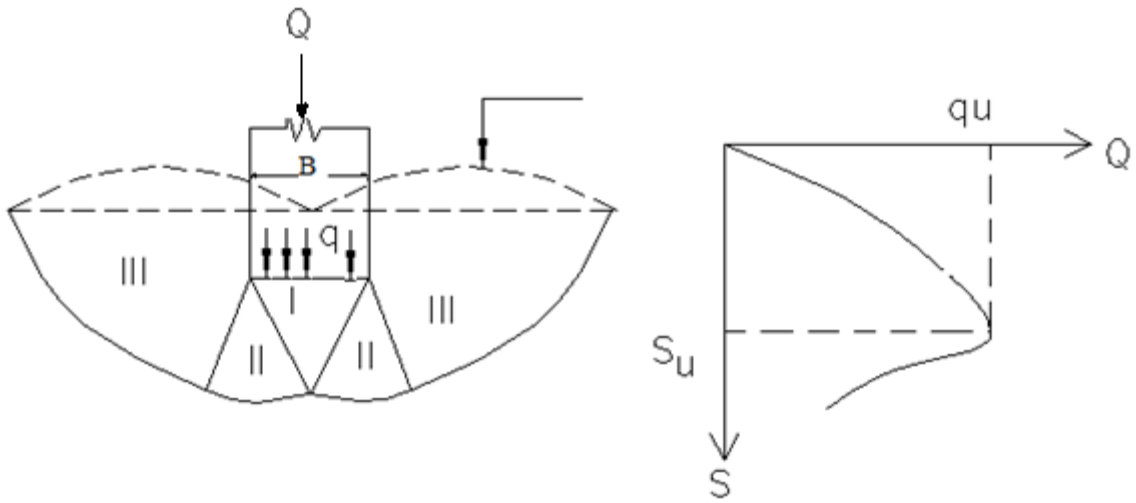
[1] .Reinforced soil foundation

۲-۲- انواع گسیختگی های خاک در بار نهایی

گسیختگی برشی خاک در بار نهایی به سه دسته تقسیم بندی می شود[۳]:

۱-گسیختگی برش کلی:

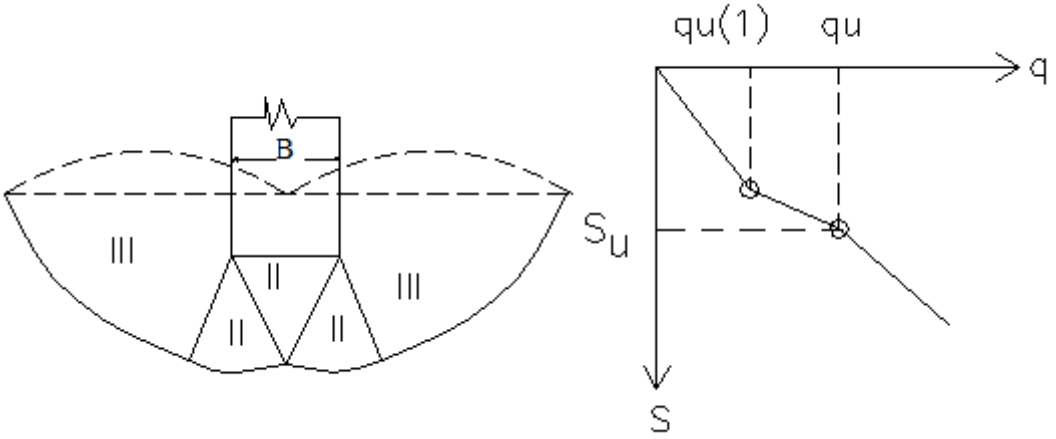
شکل ۲-۱ فونداسیون سطحی با عرض B را نشان می دهد که بر روی ماسه متراکم (یا خاک رسی سخت) قرار گرفته است، اگر این فونداسیون در معرض بار Q که به تدریج افزایش می یابد قرار می گیرد، بار واحد سطح q=Q/A (که A برابر مساحت فونداسیون می باشد) افزایش یافته و فونداسیون متحمل نشست های بیشتری خواهد شد. اگر در نشستی برابر با $S=S_u$ مقدار بار q برابر q_u گردد خاک زیر فونداسیون دچار گسیختگی نهایی خواهد شد. این نوع گسیختگی، گسیختگی برش کلی و q_u ظرفیت باربری نهایی نامیده می شود. توجه شود که در این نوع گسیختگی، مقدار حداکثر $q= q_u$ را به طور واضح در دیاگرام بار- نشست می توان مشاهده نمود.



شکل ۲-۱- گسیختگی برش کلی در خاک

۲-گسیختگی برش موضعی:

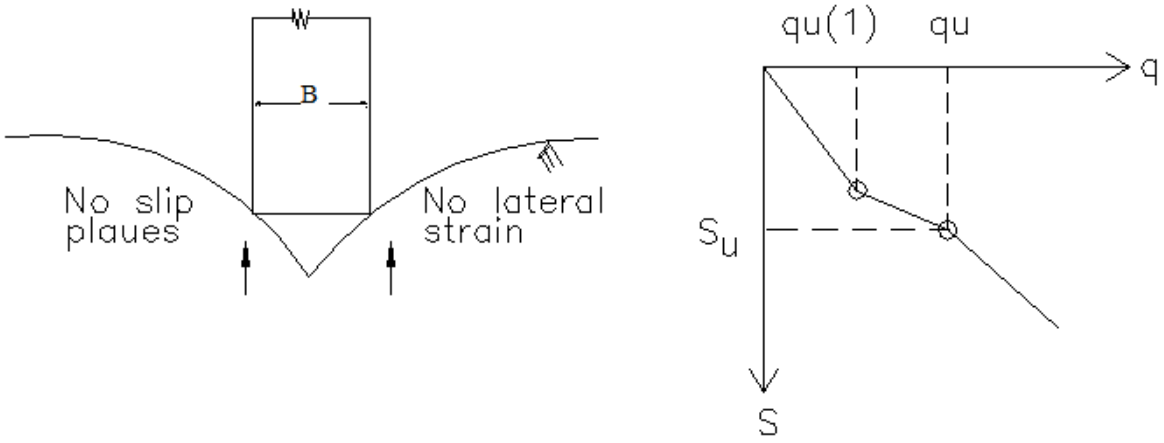
اگر فونداسیون روی لایه ماسه ای با تراکم متوسط یا خاک رسی با قوام متوسط قرار بگیرد منحنی بار- نشست و سطوح گسیختگی خاک مانند شکل ۲-۲ خواهد بود. اگر بار فونداسیون باز هم افزایش یابد، شیب منحنی بار- نشست تندتر و نامنظم تر شده و به تدریج سطح گسیختگی خاک به سمت بیرون و بالا پیشرفت می نماید. هنگامی که بار q برابر با q_u می شود سطح گسیختگی به سطح زمین می رسد. پس از این بار، منحنی بار- نشست تقریبا شکل خطی به خود می گیرد. این نوع گسیختگی ظرفیت باربری، گسیختگی برش موضعی نامیده می شود.



شکل ۲-۲- گسیختگی برش موضعی در خاک

۳- گسیختگی برش سوراخ کننده:

شکل ۲-۳ همان فونداسیون را روی ماسه شل یا خاک رسی نرم نشان می دهد. در این حالت، در دیاگرام بار- نشست مقدار حداکثر بار بر واحد سطح، q هرگز مشاهده نمی شود. ظرفیت باربری نهایی q_u به عنوان نقطه ای تعریف می شود که در آن نسبت $\Delta s/\Delta q$ بیشترین مقدار را اختیار نموده و پس از آن ثابت می ماند. این نوع گسیختگی خاک، گسیختگی برشی سوراخ کننده نامیده می شود. در این حالت سطح گسیختگی هرگز تا سطح زمین امتداد نمی یابد.

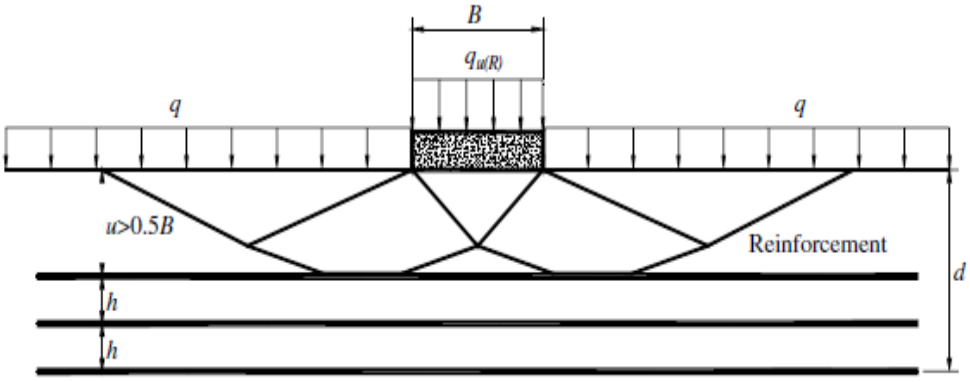


شکل ۲-۳- گسیختگی برش موضعی در خاک

۲-۳- گسیختگی پی های واقع بر خاک مسلح

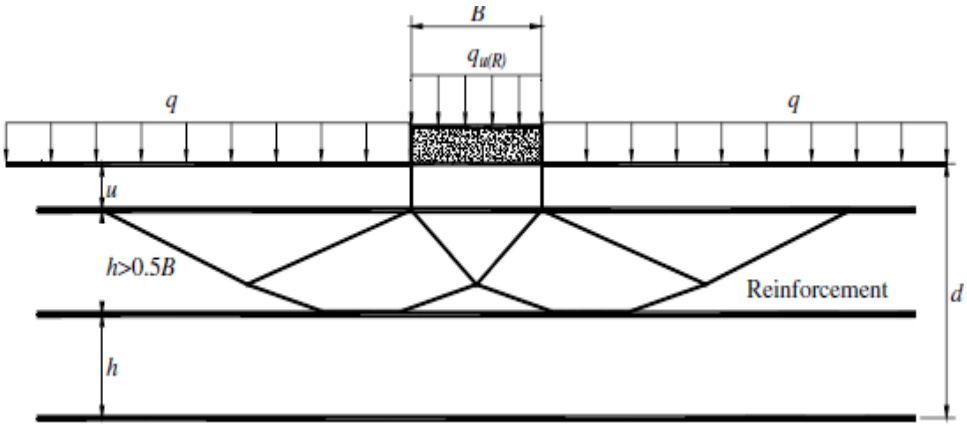
طبق نتایج مطالعات انجام شده، چهار مد گسیختگی برای پی های واقع بر خاک مسلح می توان در نظر گرفت که در اشکال ۲-۴ تا ۲-۷ نشان داده شده است.[۴]

۱-گسیختگی روی بالاترین لایه تسلیح: زمانی که عمق اولین لایه تسلیح (u) از مقداری مشخص بیشتر شود، تسلیح همانند یک مرز صلب عمل کرده و گسیختگی در بالای لایه تسلیح ایجاد می شود. زمانی که این فاصله به اندازه کافی کوچک در نظر گرفته شود(از ۰/۵B :نصف عرض پی، کمتر باشد) این گسیختگی ایجاد نمی شود.



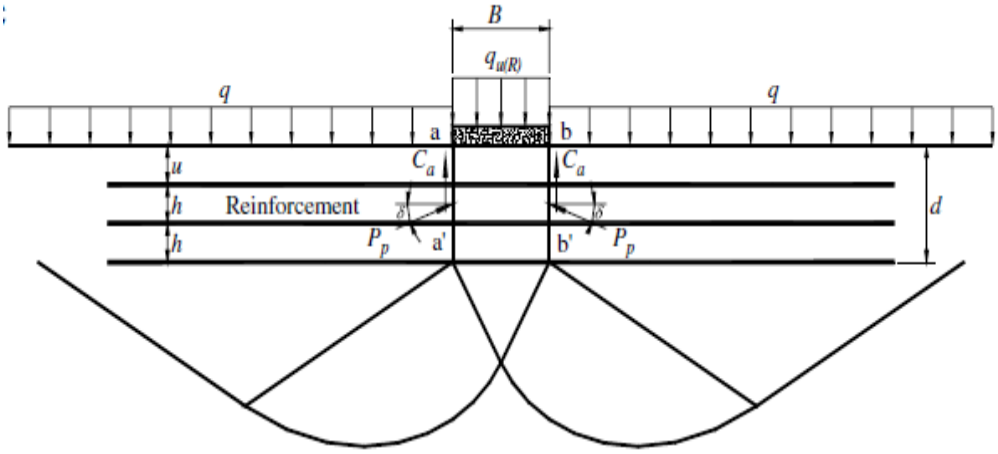
شکل ۲-۴-گسیختگی بالای اولین لایه تسلیح[۵]

۲- گسیختگی بین لایه های تسلیح: این نوع گسیختگی زمانی ایجاد می شود که فواصل بین لایه های تسلیح (h) از یک مقدار مشخص بیشتر شوند. اگر فاصله بین لایه های تسلیح از ۰/۵B کمتر باشد این گسیختگی ایجاد نمی شود.



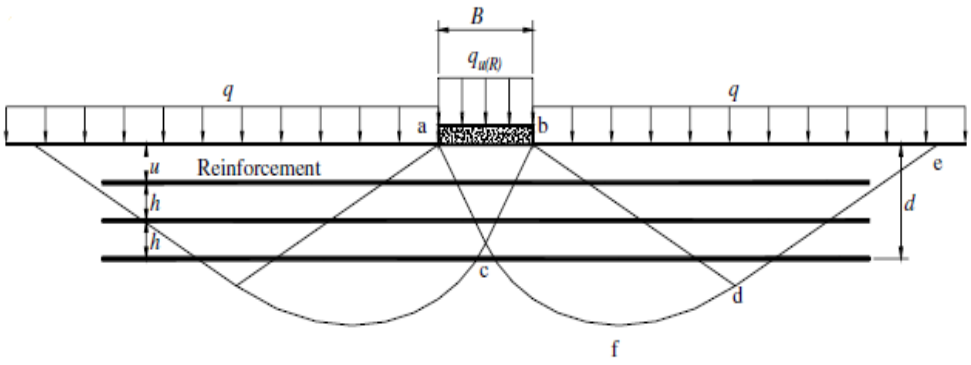
شکل ۲-۵-گسیختگی بین لایه های تسلیح[۵]

۳- گسیختگی مشابه پی های واقع بر خاک دو لایه ای (خاک قوی روی لایه خاک ضعیف): این نوع گسیختگی هنگامی ایجاد می شود که مقاومت ناحیه تسلیح از مقاومت ناحیه غیر مسلح زیرین خیلی بیشتر باشد و عمق ناحیه مسلح (d) نسبتا کم باشد. در این حالت گسیختگی برش پانچ رخ داده و به دنبال آن گسیختگی برش کلی در ناحیه غیر مسلح ایجاد می شود.



شکل ۲-۶- گسیختگی مشابه پی های واقع بر خاک دو لایه ای[۵]

۴- گسیختگی در ناحیه مسلح: زمانی که مقاومت ناحیه مسلح کمی بیشتر از ناحیه غیر مسلح زیرین باشد یا اگر عمق ناحیه مسلح (d) نسبتا بزرگ باشد، گسیختگی در ناحیه مسلح ایجاد می شود.



شکل ۲-۷- گسیختگی ناحیه تسلیح[۵]