

۹۳۷۸ / ۱۰ / ۲۵

بنام خدا

ظرفیت باربری پی های سطحی واقع بر ماسه مسلح

توسط

محمد حسین بازیار

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای
اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

از


دانشگاه شیراز

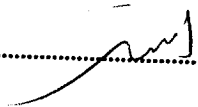
شیراز، ایران

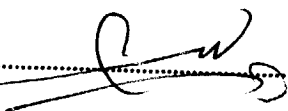
14830

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه عالی

امضاء اعضاء کمیته پایان نامه :


..... دکتر نادر هاتف، استادیار مهندسی عمران (رئیس کمیته)


..... دکتر ارسلان قهرمانی، استاد مهندسی عمران


..... دکتر مجتبی جهان اندیش، استادیار مهندسی عمران

مهر ۱۳۷۸

۲۷۶۸۹

تقدیم به

پدر و مادرم خوبم بخاطر پشتیبانی و تشویق های ایشان در تمام دوران تحصیل

همسر عزیزم بخاطر صبر و تحمل ایشان

خواهر و برادران عزیزم بخاطر دلگرمیشان

و

دوستان عزیزم بخاطر کمکهایشان

۲۷۹۸۹

سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند بزرگ مراحل پایانی تنظیم این پایان نامه به انجام رسیده است، لازم می دانم مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر هاتف استاد محترم راهنما بخاطر کمک ها و راهنمایی های ارزشمندشان و پشتیبانی همه جانبه ایشان ابراز دارم. همچنین از جناب آقای دکتر قهرمانی بخاطر کمک ها و در اختیار گذاشتن امکانات مورد نیاز برای انجام رساله، جناب آقای دکتر جهان اندیش بخاطر راهنمایی های ارزشمندشان و جناب آقای دکتر حبیب آگهی و همچنین سایر اساتید بخش راه و ساختمان تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر نادری که در زمان انجام این رساله دانشجوی دکترای ژئوتکنیک بخش بوده است بخاطر راهنمایی های مفیدشان کمال تشکر را دارم. از آقای مهندس رحیمی دانشجوی مهندسی کامپیوتر دانشگاه شیراز که در تمام مراحل مطالعات آزمایشگاهی همراه و حامی اینجانب بوده است قدردانی و تشکر می کنم. محبتها و کمک های پدر و مادر، خانواده، همسر و تمام دوستانم را هرگز فراموش نخواهم کرد.

محمد حسین بازیار

مهرماه ۱۳۷۸

چکیده

ظرفیت باربری پی های سطحی واقع بر ماسه مسلح

توسط

محمد حسین بازیار

این تحقیق بمنظور بررسی ظرفیت باربری پی مربعی بر روی ماسه مسلح شده با دو نمونه ژئونت و دو نمونه از ضایعات کارخانه لاستیک انجام شده است. این مطالعه نتایج گرفته شده از آزمونهای آزمایشگاهی و تحلیل عددی را بیان و با هم مقایسه میکند. اثر تعداد لایه های مسلح کننده بر روی ظرفیت باربری پی مربعی بررسی شده است. آزمایشها با ابعاد نمونه برابر $1 \times 1 \times 0.5$ متر و عرض پی برابر ۱۴ سانتیمتر انجام شد. سیستم بار گذاری تحت کنترل تنش بوده است. بار توسط یک جک هیدرولیکی وارد میشد و بوسیله یک حلقه بار اندازه گیری میشد. جابجایی پی توسط دو عدد گیج که بر روی قطر پی نصب شده بود اندازه گیری میشد. نمونه ها با درصد تراکم نسبی برابر با ۴۲٪ آماده شدند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل عددی از مطابقت خوبی برخوردار بودند. مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل عددی افزایش ظرفیت باربری ماسه بوسیله قرار دادن مسلح کننده ها را تأیید میکند. تحلیل عددی توسط نرم افزار **plaxis 7.1** مدل شده است. مقادیر بحرانی پارامترهای مؤثر بر افزایش ظرفیت باربری نهایی از جمله فاصله اولین لایه از کف پی، فاصله قائم لایه ها، تعداد لایه ها و سختی کششی مسلح کننده ها از تحلیل عددی بدست آمدند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ح	فهرست جداول
ط	فهرست اشکال
۱	فصل اول - مقدمه
۱	۱-۱ تاریخچه کلی
۳	۲-۱ انواع مسلح کننده ها
۴	۱-۲-۱ تسلیح خاک بوسیله نوارهای فلزی
۵	۲-۲-۱ تسلیح خاک بوسیله ژئوسینتتیکها
۶	۱-۲-۲-۱ ژئوتکستایل
۷	۲-۲-۲-۱ ژئوگرید
۱۰	۳-۲-۲-۱ ژئونت
۱۰	۴-۲-۲-۱ ژئوممبرین
۱۰	۳-۱ دوام مسلح کننده ها
۱۱	۱-۳-۱ دوام مسلح کننده های فلزی
۱۳	۲-۳-۱ دوام ژئوسینتتیک ها
۱۵	۴-۱ مکانیسم هاس تسلیح خاک با ژئوسینتتیک ها
۱۵	۱-۴-۱ مکانیسم غشایی
۱۶	۲-۴-۱ مکانیسم برشی
۱۸	۳-۴-۱ مکانیسم مهار شدگی
۱۸	۵-۱ مکانیسم های گسیختگی خاک مسلح واقع در زیر پی های سطحی
۲۱	۶-۱ تئوری ظرفیت باربری
۲۴	۷-۱ انواع زوالهای برشی پی های سطحی

۲۴	۱-۷-۱ زوال برشی کلی
۲۶	۲-۷-۱ زوال برشی موضعی
۲۶	۳-۷-۱ زوال برشی سوراخ کننده
۲۷	۸-۱ جمع بندی و تعریف تحقیق
۲۹	فصل دوم- تحقیقات قبلی در مورد ظرفیت باربری پی سطحی بر روی ماسه مسلح
۲۹	۱-۲ مقدمه
۳۳	۲-۲ مطالعات بینکویت و همکارانش
۴۲	۳-۲ مطالعات آکینموسورو و همکارانش
۴۵	۴-۲ مطالعات فراگاسزی و همکارانش
۴۶	۵-۲ مطالعات انجام گرفته با ژئوتکستایل و ژئوگرید
۵۰	۶-۲ نتایج حاصله از تحقیقات محققین بر روی پی مربعی
۵۲	فصل سوم - عملیات آزمایشگاهی
۵۲	۱-۳ مشخصات مصالح
۵۲	۱-۱-۳ مشخصات خاک
۵۳	۲-۱-۳ مشخصات مسلح کننده ها
۵۷	۲-۳ جزئیات دستگاه آزمایش
۶۱	۳-۳ نمونه سازی
۶۴	۴-۳ اجرای نمونه سازی ماسه مسلح شده
۶۷	۵-۳ بارگذاری
۶۸	۶-۳ برنامه آزمایشها
۷۰	فصل چهارم- تحلیل نتایج آزمایشگاهی و مقایسه آن با نتایج تحلیل عددی
۷۰	۱-۴ مقدمه
۷۱	۲-۴ نتایج آزمایشها
۸۱	۳-۴ تحلیل نتایج آزمایشها
۸۲	۱-۳-۴ ظرفیت باربری نهایی

۸۳	۲-۳-۴ مکانیسم گسیختگی پی
۸۴	۳-۳-۴ گسیختگی مسلح کننده ها
۸۴	۴-۳-۴ تأثیر سختی کششی مسلح کننده ها
۸۴	۵-۳-۴ نسبت نشست در ظرفیت باربری نهایی
۸۵	۵-۴ نتایج تحلیل عددی و مقایسه آن با نتایج مطالعات آزمایشگاهی
۱۰۴	فصل پنجم - نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۴	۱-۵ نتیجه گیری
۱۰۸	۲-۵ پیشنهادات
۱۰۹	مراجع
	چکیده و صفحه عنوان به انگلیسی

فهرست جداول

صفحه	جدول
۶۹	جدول ۱-۳ جزئیات آزمونهای مدل آزمایشگاهی
۸۰	جدول ۱-۴ ظرفیت باربری نهایی و نسبت ظرفیت باربری نهایی بدست آمده از آزمایشها
۸۱	جدول ۲-۴ مقایسه نسبت ظرفیت باربری نهایی در تعداد لایه های مشخص برای هر نوع مسلح کننده
۸۱	جدول ۳-۴ مقایسه نسبت نشست بدست آمده از آزمایشها
۹۰	جدول ۴-۴ مقایسه ظرفیت باربری نهایی بدست آمده از آزمایشها و تحلیل عددی در ماسه مسلح شده با توری آمریکایی و ایرانی
۹۱	جدول ۵-۴ مقایسه نسبت ظرفیت باربری نهایی بدست آمده از آزمایشها و تحلیل عددی در ماسه مسلح شده توری آمریکایی و ایرانی
۹۵	جدول ۶-۴ مقایسه نتایج بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل عددی در ماسه مسلح شده با توری آمریکایی و ایرانی

فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل ۱-۱	شکل ۱۷
شما تیک دستگاه آزمایش برای ارزیابی مقاومت برشی و بیرون کشیدگی مسلح کننده در خاک	
شکل ۲-۱	شکل ۲۰
حالات گسیختگی احتمالی پی های سطحی واقع بر خاک مسلح	
شکل ۳-۱	شکل ۲۱
سطح زوال زیر پی نواری	
شکل ۴-۱	شکل ۲۵
مدهای زوال	
شکل ۵-۱	شکل ۲۵
نمودار نیرو - جابجائی در انواع زوال	
شکل ۱-۲	شکل ۳۱
پارامترهای هندسی سیستم پی خاک مسلح	
شکل ۲-۲	شکل ۳۱
فرم عمومی منحنی های فشار - نشست برای پی واقع بر خاک غیر مسلح و مسلح	
شکل ۳-۲	شکل ۳۴
نسبت ظرفیت باربری نهایی بر حسب تعداد لایه های مسلح کننده در مطالعات بینکوییت و همکاران	
شکل ۴-۲	شکل ۳۵
مدهای زوال در مطالعات بینکوییت و همکاران	
شکل ۵-۲	شکل ۳۶
نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب نسبت عمق بحرانی اولین لایه از کف پی در مطالعات بینکوییت	
شکل ۶-۲	شکل ۳۷
توزیع تنش در تئوری ظرفیت باربری بینکوییت	
شکل ۷-۲	شکل ۳۸
پارامترهای موجود در تئوری ظرفیت باربری بینکوییت	
شکل ۸-۲	شکل ۳۸
مولفه های نیرو در تئوری ظرفیت باربری بینکوییت	
شکل ۹-۲	شکل ۴۴
نمودار نسبت ظرفیت باربری نهایی به نسبت عمق بحرانی اولین لایه از کف پی در مطالعات آکینموسورو	
شکل ۱-۳	شکل ۵۳
منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده	
شکل ۲-۳	شکل ۵۴
منحنی تنش - کرنش توری آمریکائی	
شکل ۳-۳	شکل ۵۵
منحنی تنش - کرنش توری ایرانی	

- شکل ۴-۱۶ مقایسه نمودار فشار نسبت نشست در ماسه مسلح شده با توری ایرانی و ماسه غیر مسلح ۷۹
- شکل ۴-۱۷ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه غیر مسلح ۸۷
- شکل ۴-۱۸ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با یک لایه توری آمریکایی ۸۷
- شکل ۴-۱۹ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با دو لایه توری آمریکایی ۸۸
- شکل ۴-۲۰ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با یک لایه توری ایرانی ۸۸
- شکل ۴-۲۱ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با دو لایه توری ایرانی ۸۹
- شکل ۴-۲۲ مقایسه نمودار فشار- نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با سه لایه توری ایرانی ۸۹
- شکل ۴-۲۳ نمودار فشار - نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با دو لایه همداشی ۹۲
- شکل ۴-۲۴ نمودار فشار - نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با سه لایه همداشی ۹۳
- شکل ۴-۲۵ نمودار فشار - نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با دو لایه کوتدکورد ۹۳
- شکل ۴-۲۶ نمودار فشار - نسبت نشست از آزمایشها وتحلیل عددی در ماسه مسلح شده با سه لایه کوتدکورد ۹۴
- شکل ۴-۲۷ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب تعداد لایه ها در ماسه مسلح شده با کوتدکورد توسط تحلیل عددی ۹۶
- شکل ۴-۲۸ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب نسبت فاصله قائم بین لایه ها در ماسه مسلح شده با کوتدکورد توسط تحلیل عددی ۹۷

- شکل ۳-۴ منحنی تنش- کرنش همداشی ۵۶
- شکل ۳-۵ منحنی تنش- کرنش کوتدکورد ۵۷
- شکل ۳-۶ شماتیک دستگاه ظرفیت باربری ۵۹
- شکل ۳-۷ تصویر دستگاه ظرفیت باربری نهایی با اجزاء مربوطه ۶۰
- شکل ۳-۸ تصویر نمونه سازی و تراکم نمونه ۶۳
- شکل ۳-۹ نحوه قرارگیری توری آمریکایی بر روی ماسه ۶۵
- شکل ۳-۱۰ نحوه قرارگیری همداشی بر روی ماسه ۶۵
- شکل ۳-۱۱ نحوه قرارگیری کوتدکورد بر روی ماسه ۶۶
- شکل ۳-۱۲ نحوه قرارگیری توری ایرانی بر روی ماسه ۶۶
- شکل ۴-۱ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-1 ۷۱
- شکل ۴-۲ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-2 ۷۲
- شکل ۴-۳ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-3 ۷۲
- شکل ۴-۴ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-4 ۷۳
- شکل ۴-۵ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-5 ۷۳
- شکل ۴-۶ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-6 ۷۴
- شکل ۴-۷ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-7 ۷۴
- شکل ۴-۸ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-8 ۷۵
- شکل ۴-۹ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-9 ۷۵
- شکل ۴-۱۰ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-10 ۷۶
- شکل ۴-۱۱ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-11 ۷۶
- شکل ۴-۱۲ نمودار فشار نسبت نشست در آزمایش A-12 ۷۷
- شکل ۴-۱۳ مقایسه نمودار فشار نسبت نشست در ماسه مسلح شده با توری آمریکایی و ماسه غیر مسلح ۷۸
- شکل ۴-۱۴ مقایسه نمودار فشار نسبت نشست در ماسه مسلح شده با همداشی و ماسه غیر مسلح ۷۸
- شکل ۴-۱۵ مقایسه نمودار فشار نسبت نشست در ماسه مسلح شده با کوتدکورد و ماسه غیر مسلح ۷۹

- شکل ۴-۲۹ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب نسبت فاصله
اولین لایه از کف پی در ماسه مسلح شده با کوتدکورد توسط
تحلیل عددی
- شکل ۴-۳۰ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب سختی کششی
مسلح کننده در ماسه مسلح توسط تحلیل عددی
- شکل ۴-۳۱ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب تعداد لایه ها
در ماسه مسلح شده با همداشی توسط تحلیل عددی
- شکل ۴-۳۲ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب نسبت فاصله
قائم بین لایه ها در ماسه مسلح شده با همداشی توسط
تحلیل عددی
- شکل ۴-۳۳ نمودار تغییرات نسبت ظرفیت باربری بر حسب نسبت فاصله
اولین لایه از کف پی در ماسه مسلح شده با همداشی توسط
تحلیل عددی

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تاریخچه کلی

استفاده از خاک در ساخت سازه های مختلف در تمام ادوار متداول بوده است. خاک همیشه بعنوان ارزانترین مصالح ساختمانی مورد توجه بوده و برای ایجاد بناها، راهها و... مورد استفاده قرار گرفته است. امروزه نیز از خاک در احداث سازه های مهمی مانند سدهای خاکی، خاکریزها و غیره استفاده می شود.

با توجه به وسعت و بزرگی سازه های خاکی واضح است که احداث این سازه ها هزینه های زیادی را در بردارد و لذا تضمین پایداری بلند مدت و قابلیت بهره برداری در طول دوره طرح، از موضوعات حیاتی در احداث این سازه ها می باشد. از اینجا میتوان به اهمیت خصوصیات مصالحی که در ساخت آنها بکار میروند پی برد. یکی از نقاط ضعف خاک ضعیف بودن مقاومت کششی آن بوده که این وجه تمایز آن با فولاد و تا حدی با بتن میباشد. لذا بهبود این مشخصه خاک همواره مورد توجه طراحان بوده و روشهای زیادی تا بحال برای این منظور بکار گرفته شده اند که یکی از این روشها استفاده از تکنیک خاک مسلح می باشد. اگر چه ایده خاک مسلح ایده جدیدی نیست و قدمت آن به عهد باستان یعنی زمانیکه بشر از گاه یا نی برای مسلح کردن خاکهای رسی استفاده میکرد برمی گردد لیکن مفهوم فعلی این ایده و روش طراحی با آن اولین بار توسط یک مهندس فرانسوی بنام ویدال (Vidal) در سال ۱۹۶۶ بنا نهاده شد.

خاک مسلح (**Reinforced Soil**) مصالحی است مرکب از خاک و مسلح کننده. مسلح کننده ها اجزایی مقاوم در برابر نیروهای کششی بوده که به شکل میله، نوار، شبکه پارچه و... از فلزات یا الیافهای مصنوعی ساخته میشوند. مکانیسم تسلیح خاک شباهت بسیاری با بتن مسلح دارد که در آن فولاد نقش المان کششی و بتن نقش فشاری را ایفا میکند. تاکنون تحقیقات وسیعی بر روی قابلیت کاربرد و اثرات سودمند استفاده از خاک مسلح در کارهای مختلف ژئوتکنیکی صورت گرفته است و روشهای تسلیح خاک تا حد زیادی گسترش یافته اند بطوریکه در حال حاضر در اکثر پروژه های بزرگ بعنوان یک روش اقتصادی در کنار سایر گزینه ها مطرح هستند.

در ابتدا برای تسلیح خاک از مسلح کننده های فلزی استفاده میشد. اما بدلیل اینکه این مصالح تحت تأثیر شرایط محیطی خاک همواره در معرض خوردگی (**Corrosion**) قرار داشتند عملکرد بلند مدت آنها مورد سؤال بوده است و لذا به مرور استفاده از مسلح کننده های ساخته شده از الیاف مصنوعی (ژئوسینتتیک ها **Geosynthetics**) برای تسلیح خاک مرسوم شد. مزیت عمده این تسلیحات پلیمری که از مشتقات نفت ساخته میشوند فساد ناپذیری در اثر شرایط محیطی و قابلیت انعطاف پذیری زیاد آنها میباشد. در مورد این مصالح نیز مسئله دوام و عملکرد بلند مدت خیلی مهم است و تحقیقات زیادی در این باره انجام شده است. این تحقیقات نشان داده اند که علی رغم مزایای فراوان این مصالح دو مشکل عمده آنها مسئله خزش و تخریب در اثر نور خورشید میباشد.

از تکنیک خاک مسلح اولین بار در ساخت دیوار های نگهبان استفاده شد. در ابتدا ویدال استفاده از پلیمرهای حاوی الیاف شیشه (**Fiber glass**) را توصیه کرد. اما در سال ۱۹۶۶ اولین دیوار آزمایشی که با این پلیمرها مسلح شده بود پس از گذشت ده ماه فرو ریخت. این گسیختگی که ظاهراً ناشی از ضعف شیمیایی محصول و حمله باکتری ها بود موجب گردید که استفاده از مسلح کننده های آلومینیمی و فولادی زنگ نزن در سازه های خاک مسلح متداول شود ولی تجربیات نشان داد که این فلزات نیز

عملکرد مطلوبی نداشته و دارای مقاومت کافی در مقابل خوردگی نیستند. ضمن اینکه استفاده از فولاد زنگ نزن هزینه بالایی خواهد داشت. در حال حاضر در سازه های خاک مسلح عمدتاً از نوارهای فولادی گالوانیزه و یا مسلح کننده های پلیمری که عملکرد مناسب و دوام نسبتاً خوبی دارند استفاده می شود.

نوارهای فولادی آجدار در سال ۱۹۷۵ به جامعه مهندسين معرفی شدند. این تحول فنی نتیجه مستقیم تحقیقاتی است که در مورد اندرکنش اصطکاکی خاک و مسلح کننده ها انجام گردیده است. آجها باعث افزایش تأثیر انبساط پذیری مقید شده (Restrained Dilatancy) خاک میشوند و در نتیجه کارایی توده خاک مسلح را افزایش میدهند.

استفاده از مسلح کننده های پلیمری در اوایل دهه ۱۹۸۰ با پیشرفتهایی که در زمینه تولید این مواد حاصل گردید شروع شد. در حال حاضر انواع مختلفی از این محصولات بطور گسترده در کارهای خاک مسلح بکار میروند (Koerner, 1994).

استفاده از تکنیک خاک مسلح برای بهبود ظرفیت باربری پی های سطحی مسئله ای است که اولین بار توسط بینکویت و همکارانش (Biquet et al., 1975) مطرح شد و مورد بررسی قرار گرفت. آنها برای تسلیح خاک از نوارهای آلومینیمی استفاده کردند.

این کاربرد بعداً توسط محققین دیگر و با استفاده از مسلح کننده های مختلف بر روی خاکها مورد بررسی قرار گرفت که در فصل دوم به آنها اشاره خواهیم کرد.

۱-۲- انواع مسلح کننده ها

همانطور که اشاره شد از نقطه نظر تسلیح، عملکرد خاک مسلح بسیار شبیه به بتن مسلح است. بطور کلی میتوان گفت اثرات سودمند تسلیح خاک از دو عامل ناشی میشود:

الف- افزایش مقاومت کششی خاک