

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته و گرایش:

مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

عنوان:

رفتار پی مربعی بر روی ماسه مسلح شده با ژئوسل لایه‌ای تحت
بارگذاری تناوبی

استاد راهنما:

دکتر سید ناصر مقدس تفرشی

دانشجو:

پیام شریفی

شماره دانشجویی:

۸۸۲۰۰۸۴

بهمن ۱۳۹۰

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵	فهرست جدول‌ها.....
۵	فهرست شکل‌ها.....
ح	فهرست علائم و نشانه‌ها.....
۱	فصل ۱- پیشگفتار.....
۱	۱-۱- مقدمه.....
۲	۱-۲- ضرورت انجام تحقیق.....
۳	۱-۳- معرفی موضوع.....
۳	۱-۴- اهداف تحقیق.....
۵	۱-۵- دامنه، قلمرو و محدودیت‌های تحقیق.....
۶	۱-۶- ساختار پایان نامه.....
۷	فصل ۲- کلیات.....
۷	۲-۱- مقدمه.....
۷	۲-۲- تاریخچه خاک مسلح و استفاده از ژئوسل.....
۸	۲-۳- انواع ژئوسنتتیک‌ها.....
۱۰	۲-۴- معرفی ژئوسل.....
۱۱	۲-۵- انواع ژئوسل.....
۱۱	۲-۵-۱- دسته بندی ژئوسل بر اساس جنس نوارها.....
۱۲	۲-۵-۲- دسته بندی ژئوسل براساس ساختار نوار.....
۱۳	۲-۵-۳- دسته بندی ژئوسل براساس نحوه اتصال نوارها.....
۱۳	۲-۶- ژئوسل ساخته شده با استفاده از ژئوگرید.....
۱۴	۲-۷- معرفی ژئوبوب.....
۱۶	۲-۸- عملکرد لایه ژئوسل در خاک مسلح.....
۱۶	۲-۸-۱- اثر مقاومت جانبی.....
۱۷	۲-۸-۲- اثر توزیع تنش قائم.....
۱۸	۲-۸-۳- اثر غشاء و پوسته.....
۱۹	فصل ۳- تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده روی بستر مسلح با ژئوسل.....
۱۹	۳-۱- مقدمه.....
۱۹	۳-۲- مطالعات انجام شده توسط Dash et al. (2001a).....
۲۲	۳-۳- ظرفیت باربری پی نواری روی ماسه مسلح شده با ژئوسل و ژئوتکستایل Moghaddas Tafreshi and Dawson. (2010a).....

۲۶	عملکرد پی نواری.....
۲۸	۳-۵- رفتار پی بر روی ماسه مسلح شده با ژئوسل و ژئوتکستایل تحت بار سیکلی (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b).....
۳۳	فصل ۴- دستگاه آزمایش.....
۳۳	۴-۱- مقدمه.....
۳۴	۴-۲- تانک آزمایش.....
۳۴	۴-۲-۱- کنترل تناسب ابعاد تانک آزمایش.....
۳۵	۴-۲-۲- مشخصات تانک آزمایش.....
۳۷	۴-۳- قاب اصلی.....
۳۸	۴-۴- سیستم بارگذاری.....
۴۰	۴-۵- ابزار اندازه گیری و سیستم قرائت و ثبت داده ها.....
۴۱	۴-۵-۱- اندازه گیری شدت بار.....
۴۲	۴-۵-۱-۱- کالیبراسیون سلول بار.....
۴۲	۴-۵-۲- اندازه گیری نشست سطح خاک.....
۴۳	۴-۵-۲-۱- کالیبراسیون سنسور اندازه گیری نشست.....
۴۴	۴-۵-۳- سیستم قرائت و ثبت داده ها.....
۴۵	۴-۵-۴- نرم افزار.....
۴۶	فصل ۵- مشخصات مصالح، نحوه آماده سازی و روش انجام آزمایش ها.....
۴۶	۵-۱- مقدمه.....
۴۶	۵-۲- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک.....
۴۸	۵-۳- مشخصات فیزیکی و مکانیکی ژئوتکستایل و ژئوسل (مسلح کننده).....
۴۹	۵-۴- روش آماده سازی بستر خاکی.....
۵۱	۵-۵- کالیبراسیون سلول بار و تغییر مکان (LVDT and Loadcell).....
۵۱	۵-۶- روش انجام آزمایش.....
۵۶	۵-۷- آزمایش های انجام شده.....
۵۷	۵-۷-۱- آزمایش های مقدماتی.....
۵۷	۵-۷-۲- آزمایش های استاتیکی.....
۵۸	۵-۷-۳- آزمایش های سیکلی.....
۶۱	فصل ۶- نتایج آزمایش های استاتیکی.....
۶۱	۶-۱- مقدمه.....
۶۲	۶-۲- تکرار پذیری نتایج.....
۶۴	۶-۳- نتایج.....

۶۶	..... ۱-۳-۶ ضخامت بهینه خاک غیر مسلح بین دو لایه مسلح کننده (h/D)
۶۹	..... ۲-۳-۶ اثر تعداد لایه‌های مسلح کننده ژئوسل بر ظرفیت باربری پی (N_g)
۷۵	..... ۳-۳-۶ مقایسه عملکرد ژئوسل و مسلح کننده صفحه‌ای (ژئوتکستایل)
۷۵	..... ۱-۳-۳-۶ ارزیابی اثر تسلیح خاک با ژئوسل در مقایسه با ژئوتکستایل
	..... ۲-۳-۳-۶ مقایسه عملکرد ژئوسل و ژئوتکستایل در ضخامت یکسان از ناحیه تسلیح (عمق
۸۰	..... خاکبرداری)
	..... ۳-۳-۳-۶ بررسی رفتار پی مستقر بر خاک مسلح شده در نشست‌های کوچک (کمتر از ۲٪ قطر
۸۳	..... پی)
۸۵	..... ۴-۳-۶ بررسی اثر عمق مدفون بر رفتار پی واقع بر بستر مسلح شده با ژئوسل لایه‌ای
۸۹	..... فصل ۷- نتایج آزمایش‌های سیکلی
۸۹	..... ۱-۷ مقدمه
۸۹	..... ۲-۷ رفتار عمومی نشست پی تحت بارگذاری سیکلی
۹۴	..... ۳-۷ ضخامت بهینه خاک غیر مسلح بین دو لایه ژئوسل (h/D)
۹۸	..... ۴-۷ تاثیر دامنه بارگذاری سیکلی (q_{dyn})
۱۰۱	..... ۵-۷ اثر تعداد لایه‌های مسلح کننده ژئوسل (N)
۱۰۵	..... ۶-۷ اهمیت قرارگیری لایه‌های ژئوسل در فاصله بهینه $(h/D)_{opt}$
۱۰۸	..... ۷-۷ اثر ضخامت لایه‌های مسلح کننده ژئوسل (H)
۱۱۱	..... فصل ۸- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات
۱۱۱	..... ۱-۸ مقدمه
۱۱۱	..... ۲-۸ خلاصه‌ای از مشخصات دستگاه آزمایش و مصالح
۱۱۲	..... ۳-۸ نتیجه‌گیری
۱۱۲	..... ۱-۳-۸ آزمایش‌های استاتیکی
۱۱۴	..... ۲-۳-۸ آزمایش‌های سیکلی
۱۱۶	..... ۴-۸ پیشنهادها و توصیه‌ها به منظور مطالعات آینده

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۰	جدول ۱-۲- مشخصات مکانیکی و محیط زیستی مصالح مورد استفاده در ساخت ژئوسل
۴۷	جدول ۱-۵- مشخصات خاک.....
۴۹	جدول ۲-۵- مشخصات مهندسی ژئوتکستایل مصرفی در آزمایش‌ها.....
۵۰	جدول ۳-۵- مشخصات نمونه خاک متراکم شده در بار گذاری های مختلف.....
۵۱	جدول ۴-۵- مشخصات آزمایش‌های استاتیکی انجام شده و دفعات تکرار آزمایش‌ها ($H=2.5\text{cm}$ ، $u_g/D=0.1$ ، $u_p/D=0.32$ ، $b_g/D=4.2$ و $b_p/D=5.1$).....
۵۱	جدول ۵-۵- مشخصات آزمایش‌های سیکی انجام شده و دفعات تکرار آزمایش‌ها ($u_g/D=0.1$ و $b_g/D=4.2$).....
۵۲	جدول ۱-۶- عمق ناحیه تسلیح زیر پی (d) با انتخاب مقادیر بهینه از u/D و h/D برای تسلیح با ژئوسل و ژئوتکستایل ($u_g/D=0.1$ ، $u_p/D=0.32$ ، $h_g/D=0.36$ ، $h_p/D=0.4$).....
۷۹	جدول ۲-۶- ضخامت ناحیه تسلیح زیر پی (d) با انتخاب $h_g/D=0.18$ ، $u_g/D=0.1$ (برای ژئوسل لایه‌ای) و انتخاب $h_g/D=0.4$ ، $u_p/D=0.32$ (برای ژئوتکستایل).....
۸۱	

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱- نشست سطح جاده به علت نشست‌های مفرط در بستر راه.....
۱۲	شکل ۱-۲- (الف) ژئوسل بدون سوراخ (ب) ژئوسل سوراخ‌دار.....
۱۴	شکل ۲-۲- (الف) Chevron pattern (ب) Diamond pattern.....
۱۵	شکل ۳-۲- نمایی از ژئووب و خاک داخل آن.....
۱۷	شکل ۴-۲: اثر مقاومت جانبی از مسلح کننده ژئوسل.....
۱۸	شکل ۵-۲- اثر توزیع تنش قائم از مسلح کننده ژئوسل.....
۱۸	شکل ۶-۲- اثر غشاء و پوسته ناشی از تسلیح با ژئوسل.....
۲۰	شکل ۱-۳- هندسه پی و خاک مسلح شده توسط ژئوسل (Dash et al., 2001a).....
۲۰	شکل ۲-۳- نمودارهای نشست- فشار برای عرض‌های مختلف لایه ژئوسل (Dash et al., 2001a) ..
۲۱	شکل ۳-۳- نمودارهای نشست- فشار برای ارتفاع‌های مختلف لایه ژئوسل (Dash et al., 2001a) ...
۲۲	شکل ۴-۳- دانه بندی ماسه مورد استفاده (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010a).....
۲۳	شکل ۵-۳- هندسه مدل تسلیح با ژئوسل (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010a).....

- شکل ۳-۶- هندسه مدل تسلیح با ژئوتکستایل (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010a) ۲۳
- شکل ۳-۷- تغییرات فشار نشست پی در تعداد لایه‌های مختلف ژئوتکستایل و ارتفاع‌های مختلف ژئوسل (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010a) ۲۵
- شکل ۳-۸- هندسه مدل آزمایش (Dash et al., 2001b) ۲۶
- شکل ۳-۹- نمودار فشار - نشست پی (Dash et al., 2001b) ۲۷
- شکل ۳-۱۰- تاریخچه زمان از بارگذاری استاتیکی و تناوبی وارد بر روی پی (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b) ۲۸
- شکل ۳-۱۱- رفتار نشست تحت بارگذاری سیکلی (الف) نشست - زمان (ب) تنش اعمالی - نشست پی (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b) ۲۹
- شکل ۳-۱۲- تغییرات نشست پی (s/B) با تعداد سیکل‌های بارگذاری متناوب برای خاک غیر مسلح، ژئوسل H/B=0.66 و ژئوتکستایل (N=2) برای ترازهای مختلف از بارگذاری سیکلی (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b) ۳۰
- شکل ۳-۱۳- تغییرات نشست پی با تعداد سیکل‌های اعمالی در $q_{dyn}/q_{stat}=20\%$ برای بستر مسلح شده با مسلح کننده‌های صفحه‌ای و سه بعدی (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b) ۳۱
- شکل ۳-۱۴- تغییرات حداکثر نشست پی با دامنه بار تناوبی برای حالت‌های بدون مسلح کننده، ژئوتکستایل و ژئوسل (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010b) ۳۲
- شکل ۴-۱- تصویر شماتیک دستگاه آزمایش ۳۳
- شکل ۴-۲- خطوط هم فشار (حبابهای فشار) براساس معادله بوسینسک برای پی‌های مربعی و طویل (Boussinesq., 1885) ۳۵
- شکل ۴-۳- طرح تانک آزمایش ۳۶
- شکل ۴-۴- تصویر تانک آزمایش ۳۷
- شکل ۴-۵- طرح قاب اصلی دستگاه آزمایش (اندازه‌ها به میلی‌متر) ۳۷
- شکل ۴-۶- سیلندرهای هیدرولیک دو طرفه ۳۸
- شکل ۴-۷- بخش کنترل کننده تولید بار ۴۰
- شکل ۴-۸- تصویر سلول بار ۴۱
- شکل ۴-۹- کلاهک‌های تحتانی و فوقانی سلول بار ۴۱
- شکل ۴-۱۰- منحنی کالیبراسیون سلول بار ۴۲
- شکل ۴-۱۱- تصویر سلول اندازه گیری نشست (LVDT) ۴۳
- شکل ۴-۱۲- تصویر سیستم قرائت و ثبت داده‌ها ۴۴
- شکل ۴-۱۳- نرم افزار و تنظیم سنسورها ۴۵
- شکل ۴-۱۴- نرم افزار و نمودارهای مربوط ۴۶

۴۷	شکل ۵-۱- نمودار دانه بندی خاک مورد آزمایش.....
۴۸	شکل ۵-۲- نمایی از ژئوسل مورد استفاده در آزمایش به همراه خاک درون چشمه‌های آن.....
۵۲	شکل ۵-۳- هندسه مدل و مشخصات تسلیح با چند لایه ژئوسل.....
۵۲	شکل ۵-۴- هندسه مدل و مشخصات تسلیح با ژئوتکستایل.....
۵۴	شکل ۵-۵- ساخت صفحات بارگذاری در تراشکاری.....
۵۴	شکل ۵-۶- تصویر تانک قبل از پر شدن.....
۵۴	شکل ۵-۷- محاسبه ضرایب کالیبراسیون.....
۵۴	شکل ۵-۸- کالیبراسیون سنسور نیرو.....
۵۵	شکل ۵-۹- کالیبراسیون سنسور تغییر مکان.....
۵۵	شکل ۵-۱۰- نمونه‌ای از نمودارهای خروجی دستگاه.....
۵۵	شکل ۵-۱۱- خاک مورد نظر در آزمایش‌ها.....
۵۵	شکل ۵-۱۲- نحوه تراکم خاک.....
۵۵	شکل ۵-۱۳- نحوه قرارگیری لایه ژئوتکستایل بر بستر.....
۵۵	شکل ۵-۱۴- تغییر شکل ژئوتکستایل تک لایه تحت بار استاتیکی.....
۵۶	شکل ۵-۱۵- تغییر شکل ژئوسل تک لایه به ضخامت ۱۰ سانتی متر پس از بارگذاری.....
۵۸	شکل ۵-۱۶- تاریخچه زمانی بارگذاری سیکلی روی صفحه بارگذاری.....
۶۳	شکل ۶-۱- تکرارپذیری آزمایش‌ها.....
	شکل ۶-۲- تعریف پارامترهای مورد نظر جهت محاسبه IF و PRS (الف) تعریف IF، (ب) برای
۶۵	تعریف PRS (Moghaddas Tafreshi and Dawson., 2010a).....
	شکل ۶-۳- تغییرات فشار-نشست پی برای بستر مسلح با دو لایه ژئوسل با مقادیر مختلف h_g/D و
۶۶	بستر غیر مسلح.....
۶۷	شکل ۶-۴- تغییرات IF_g در مقابل h_g/D برای دو لایه ژئوسل در نشست‌های مختلف.....
۶۸	شکل ۶-۵- تغییرات IF_p در مقابل h_p/D برای دو لایه ژئوتکستایل در نشست‌های مختلف.....
۷۰	شکل ۶-۶- تغییرات فشار-نشست پی برای تعداد لایه‌های متفاوت ژئوسل با $h_g/D=0.36$
۷۲	شکل ۶-۷- تصویر بلند شدگی خاک مسلح با ژئوسل تک لایه تحت بارگذاری استاتیکی.....
۷۳	شکل ۶-۸- تغییرات فشار-نشست پی برای تعداد لایه‌های متفاوت ژئوسل با $h_g/D=0.2$
۷۳	شکل ۶-۹- تغییرات IF_g در مقابل تعداد لایه‌های ژئوسل در $s/D=4\%$
۷۴	شکل ۶-۱۰- تغییرات IF_g در مقابل تعداد لایه‌های ژئوسل در $s/D=8\%$
	شکل ۶-۱۱- تغییرات فشار-نشست پی برای تعداد لایه‌های متفاوت ژئوسل و مسلح‌کننده
۷۶	صفحه‌ای (ژئوتکستایل) ($h_g/D=0.36, h_p/D=0.4$).....
	شکل ۶-۱۲- تغییرات IF برای ژئوسل (IF_g) و ژئوتکستایل (IF_p) در مقابل تعداد لایه‌های تسلیح
۷۸	در نشست‌های مختلف پی.....

- شکل ۶-۱۳- تغییرات PRS برای ژئوسل (PRS_g) و ژئوتکستایل (PRS_p) در مقابل تعداد لایه‌های تسلیح در نشست‌های مختلف پی..... ۷۸
- شکل ۶-۱۴- تغییرات IF با نشست پی برای تعداد لایه‌های مختلف از ژئوسل و ژئوتکستایل ($N_g, N_p=1, 2, 3, 4$) با ضخامت یکسان از ناحیه تسلیح شده..... ۸۱
- شکل ۶-۱۵- تغییرات PRS با نشست پی برای تعداد لایه‌های مختلف از ژئوسل و ژئوتکستایل ($N_g, N_p=1, 2, 3, 4$) با ضخامت یکسان از ناحیه تسلیح شده..... ۸۲
- شکل ۶-۱۶- تغییرات فاکتور اصلاح فشار باربری پی (IF) برای ژئوسل و مسلح‌کننده صفحه‌ای در نشست‌های کمتر از ۲٪ قطر پی مقابل نشست پی در لایه‌های مختلف ($N_g, N_p=1, 2, 3, 4$)..... ۸۴
- شکل ۶-۱۷- نمایی کلی از آزمایش روی پی واقع بر بستر مسلح با دو لایه ژئوسل با عمق مدفون D_f ۸۵
- شکل ۶-۱۸- تغییرات فشار-نشست پی برای خاک غیر مسلح و خاک مسلح با دو لایه ژئوسل در عمق‌های مدفون مختلف..... ۸۶
- شکل ۶-۱۹- تغییرات ظرفیت باربری پی در مقابل عمق مدفون پی در نشست‌های مختلف پی..... ۸۷
- شکل ۶-۲۰- تغییرات فاکتور اصلاح ظرفیت باربری پی (IF) D_f در مقابل عمق مدفون پی در نشست‌های مختلف پی..... ۸۸
- شکل ۷-۱- تغییرات نشست سطح خاک با زمان برای بستر مسلح و غیر مسلح..... ۹۰
- شکل ۷-۲- منحنی هیستریزیس (الف) بستر غیر مسلح و (ب) بستر مسلح..... ۹۲
- شکل ۷-۳- رفتار عمومی تغییرات نشست پی با تعداد سیکل بارگذاری (الف) شرایط حالت پایدار و (ب) شرایط حالت ناپایدار..... ۹۳
- شکل ۷-۴- تغییرات نشست سطح خاک نسبت به زمان برای ($N=1$ and $2, H=2.5cm$) در مقادیر مختلف h/D ۹۵
- شکل ۷-۵- تغییرات نشست پی به ضخامت خاک غیر مسلح بین دو لایه در تعداد سیکل‌های مختلف ($H=2.5cm$)..... ۹۶
- شکل ۷-۶- تغییرات نشست سطح خاک نسبت به زمان برای ($N=2, H=5cm$) در مقادیر مختلف h/D ۹۷
- شکل ۷-۷- تغییرات نشست پی به ضخامت خاک غیر مسلح بین دو لایه در تعداد سیکل‌های مختلف ($H=2.5cm$)..... ۹۷
- شکل ۷-۸- تغییرات نشست سطح خاک (s/D) با زمان برای بستر غیر مسلح در دو دامنه تنش سیکلی ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال..... ۹۸
- شکل ۷-۹- تغییرات نشست پی (s/D) با زمان برای خاک مسلح و غیر مسلح در دو دامنه تنش..... ۹۹

- سیکلی متفاوت ($q_{dyn}=200$ and 400 kPa) و ($b/D=4.2, u/D=0.1$).....
- شکل ۷-۱۰- تغییرات نشست بستر با تعداد لایه‌های تسلیح (N) در دو دامنه تنش سیکلی متفاوت ($q_{dyn}=200$ and 400 kPa).....
- شکل ۷-۱۱- تغییرات نشست سطح خاک (s/D) با زمان برای تعداد لایه‌های مختلف از ژئوسل.....
- شکل ۷-۱۲- تغییرات نشست پی (s/D) با تعداد لایه‌های تسلیح برای سیکل‌های مختلف بارگذاری..... ($H=2.5$ cm)
- شکل ۷-۱۳- تغییرات نشست سطح خاک (s/D) با زمان برای بستر غیر مسلح و بستر مسلح شده با ۱ و ۲ لایه ژئوسل با ضخامت ۵cm.....
- شکل ۷-۱۴- تغییرات نشست سطح خاک (s/D) با زمان برای تسلیح با دو لایه ژئوسل ($h/D=0.27$) و سه لایه ژئوسل ($h/D=0.09$).....
- شکل ۷-۱۵- تغییرات نشست بستر (s/D) با زمان برای سه و چهار لایه ژئوسل ($q_{dyn}=400$ kPa) و ($b/D=4.2, u/D=0.1, H=2.5$ cm).....
- شکل ۷-۱۶- تغییرات نشست حداکثر بستر با تعداد لایه‌های تسلیح (N) در دو حالت از فاصله بین دو لایه ($h/D=0.09, 0.27$).....
- شکل ۷-۱۷- تغییرات نشست پی (s/D) با زمان برای ضخامت‌های مختلف ژئوسل ($q_{dyn}=400$ kPa) و ($b/D=4.2, u/D=0.1, N=1$).....
- شکل ۷-۱۸- تغییرات فشار- نفوذ خاک درون سلول‌های ژئوسل در آزمایش نفوذ سنبه با ضخامت‌های مختلف ژئوسل ($H=2.5, 5$ and 10 cm).....

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
قطر پی (صفحه بارگذاری)	D
عرض ژئوتکستایل	b_p
عرض ژئوسل	b_g
پوشش خاک روی اولین لایه ژئوتکستایل	u_p
پوشش خاک روی اولین لایه ژئوسل	u_g
فاصله بین لایه‌های ژئوتکستایل	h_p
فاصله بین لایه‌های ژئوسل	h_g
نسبت فاصله بهینه بین دو لایه مسلح کننده به قطر پی	$(h/D)_{opt}$

H	ضخامت لایه ژئوسل
N_p	تعداد لایه‌های ژئوتکستایل
N_g	تعداد لایه‌های ژئوسل
N_{opt}	تعداد بهینه لایه‌های تسلیح
n	تعداد سیکل بار
n_{cr}	سیکل بار حداکثر
D_f	عمق مدفون پی
d	ارتفاع ناحیه تسلیح زیر پی
D_r	دانسیته نسبی خاک
G	مدول برشی خاک
φ	زاویه اصطکاک داخلی خاک
c	چسبندگی خاک
δ	زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و صفحات ژئوتکستایل
Q_{unrein}	ظرفیت باربری پی در حالت غیر مسلح
$Q_{geocell}$	ظرفیت باربری پی در حالت تسلیح با ژئوسل
Q_{planar}	ظرفیت باربری پی در حالت غیر مسلح
S_{unrein}	نشست بستر غیر مسلح
S_{planar}	نشست بستر مسلح شده با ژئوتکستایل
$S_{geocell}$	نشست بستر مسلح شده با ژئوسل
IF	فاکتور بهبود در ظرفیت باربری پی
$(IF)_{Df}$	فاکتور بهبود در ظرفیت باربری پی با عمق مدفون
PRS	درصد کاهش نشست
Q_{dyn}	دامنه بار سیکلی
S	نشست پی تحت بار سیکلی
S_{rapid}	نشست سریع اولیه پی تحت بار سیکلی
$S_{secondary}$	نشست ثانویه پی تحت بار سیکلی
S_{total}	نشست کل پی تحت بار سیکلی
$S_{resilient}$	دامنه نشست الاستیک پی

چکیده

در این یک سری آزمایش با استفاده از یک مدل فیزیکی روی پی (صفحه بارگذاری) دایره‌ای مستقر بر بستر مسلح شده با ژئوسل لایه‌ای، در دو حالت بارگذاری استاتیکی و بارگذاری سیکلی با اعمال ۲۰۰۰۰ سیکل بارگذاری و باربرداری انجام شده است. در این آزمایش‌ها اثر تعداد لایه‌های مسلح کننده ژئوسل و ژئوتکستایل همچنان عمق مدفون پی متکی بر بستر مسلح با ژئوسل لایه‌ای بر ظرفیت باربری پی در حالت بارگذاری استاتیکی و اثر تعداد لایه‌های ژئوسل، تاثیر ضخامت لایه‌های ژئوسل و شدت بار سیکلی بر نشست بستر در حالت بارگذاری سیکلی ارزیابی شده‌اند. در حالت بارگذاری استاتیکی با افزایش تعداد لایه‌های ژئوسل تا سه لایه، ظرفیت باربری پی نسبت به حالت بستر غیر مسلح افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. همچنین با افزایش عمق مدفون پی، از میزان تاثیر لایه‌های ژئوسل در افزایش ظرفیت باربری پی و کاهش نشست آن کاسته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ژئوسل لایه‌ای در مقایسه با ژئوتکستایل لایه‌ای در یک میزان از مصالح مصرفی از کارایی بسیار مناسب‌تری برخوردار می‌باشد. مقدار ضخامت خاک غیر مسلح بین دو لایه مسلح کننده ژئوسل و ژئوتکستایل به ترتیب معادل ۰/۳۶ و ۰/۴ قطر پی حاصل گردیده است. در حالت بارگذاری سیکلی با افزایش تعداد لایه‌های ژئوسل، میزان نشست سطح خاک صرفنظر از تعداد سیکل کاهش و با افزایش شدت بار سیکلی میزان نشست افزایش می‌یابد.

کلید واژه: بارگذاری سیکلی، ظرفیت باربری، نشست ژئوسل لایه‌ای، ژئوتکستایل، مدل آزمایشگاهی

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

بشر از دیرباز ساخت سازه‌های مختلف عمرانی را به عنوان یک اصل در بهبود کیفیت زندگی مد نظر داشته است. ساخت سازه‌های پیچیده فضا کار، تونل‌های طویل، سکوی پرتاب موشک، پل‌ها با دهانه‌های بلند و موارد بسیاری دیگر گوشه‌ای از این تمایلات بشر می‌باشد. در این میان خاک همواره نقش بسیار مهمی در تحقق این رویاها داشته است. نباید فراموش کرد که بار تمام سازه‌ها در نهایت به زمین منتقل می‌شود و خاک در ساخت سازه‌های عمرانی و بررسی عملکرد آن در شرایط محیطی گوناگون همواره مطرح بوده است. یکی از تحقیقات مورد علاقه بسیاری از محققین ژئوتکنیک مطالعه رفتار خاک به منظور بهبود و اصلاح رفتار آن تحت انواع مختلف بارگذاری سیکلی و استاتیکی می‌باشد. در این میان استفاده از انواع ژئوسنتتیک‌ها نقش بسیار مهمی در جهت رسیدن به این اهداف دارا می‌باشد.

امروزه از خانواده ژئوسنتتیک‌ها که عمدتاً از مواد پلیمری تهیه می‌شوند در طراحی و اجرای پی ساختمان‌ها، خاکریزها، ابنیه نگهبان خاک، زیر اساس راه‌ها، عامل تسریع در فرایند زهکشی و موارد مشابه استفاده می‌شود. با گذشت زمان و تحقیقات و بررسی‌های مختلف بر روی ژئوسنتتیک‌ها، شکل‌های مختلفی از این نوع محصولات به بازار ارائه شده است. ژئوسل یک نوع از این محصولات می‌باشد که امروزه تحقیقات وسیعی بر روی آن در حال شکل‌گیری است. یکی از موارد مهم استفاده از ژئوسل‌ها در طرح‌های عمرانی استفاده از آنها به عنوان یک مسلح‌کننده در عملیات راهسازی می‌باشد، که معمولاً به دو شیوه متفاوت مد نظر می‌باشد:

- استفاده از لایه ژئوسل در سطح جاده برای ایجاد یک مسیر صاف و یکنواخت
- استفاده از لایه ژئوسل بر روی بستر خاکریز جاده‌ها جهت افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست بستر تحت بارهای ترافیک

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

ساخت خاکریز جاده بر روی بستر خاک نرم، به علت پایین بودن مقاومت برشی خاک بستر معمولاً سبب بروز نشست زیاد و بسیاری مواقع موجب شکست ظرفیت باربری بستر راه می‌گردد، که این امر همواره به عنوان یک مسئله چالش برانگیز در مهندسی ژئوتکنیک مطرح بوده است (شکل ۱-۱). در این خصوص ممکن است که راه‌های مختلفی برای کاهش نشست و افزایش باربری بستر راه در نظر گرفته شود. از جمله این راه‌ها می‌توان به خاکبرداری بستر نرم در طول مسیر جاده، تغییر مسیر جاده، استفاده از روش‌های گوناگون تثبیت خاک (تثبیت با آهک، سیمان، قیر و ...)، تراکم خاک بستر جاده و ... اشاره کرد.



شکل ۱-۱- نشست سطح جاده به علت نشست‌های مفرط در بستر راه

تمامی راه حل‌های مذکور می‌تواند بسته به حجم و نوع خاک پر هزینه و یا غیر عملی باشد. از اینرو استفاده از تسلیح خاک برای کاهش نشست سطح جاده می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب مورد نظر قرار گیرد. لذا در این تحقیق استفاده از ژئوسل در تسلیح بستر به منظور روشن شدن جنبه‌های مختلف تسلیح با ژئوسل مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۱- معرفی موضوع

در دهه‌های اخیر مطالعاتی در خصوص تسلیح خاک با مسلح کننده‌های سه بعدی توسط محققین مختلف انجام شده است (Rajagopal et al., 1999; Dash et al., 2001a; Dash et al., 2001b; Dash et al., 2003; Zhang et al., 2006; Chen and Chiu, 2007; Sireesh et al., 2008; Ieshchinsky et al., 2008; Wesseloo et al., 2009; Zhang et al., 2009; Zhao et al., 2009; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2010a; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2010b; Pokharel et al., 2010; Boushehrian et al., 2010; Yang et al., 2011; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2012). در تمامی موارد فوق تسلیح خاک با یک لایه ژئوسل و در ضخامت‌های مختلف مورد توجه بوده است. در این میان در خصوص مطالعه اثر تسلیح خاک با ژئوسل لایه‌ای مطالعات محدودی در حالت بارگذاری استاتیکی انجام شده است (Guido and Christou, 1988; Yoon et al., 2007). لذا استفاده از تسلیح خاک با ژئوسل لایه‌ای به عنوان یک موضوع تحقیق و به منظور روشن شدن عملکرد آن تحت بار استاتیکی و سیکلی می‌تواند بسیار مفید باشد. همچنین مقایسه عملکرد ژئوسل لایه‌ای در مقایسه با تسلیح با ژئوتکستایل در حالت بارگذاری استاتیکی از حیث باربری و اقتصادی بودن طرحی جالب توجه خواهد بود.

۴-۱- اهداف تحقیق

یکی از اهداف مهم در این تحقیق استفاده از ژئوسل در بیش از یک لایه جهت تسلیح خاک زیر پی (تحت بار استاتیکی) و همچنین جهت تسلیح بستر راه (تحت بارگذاری سیکلی) می‌باشد. استفاده از تعداد لایه‌های ژئوسل (بیش از یک لایه) با ضخامت کم به جای افزایش ضخامت ژئوسل

در حالت استفاده از یک لایه ژئوسل، می‌تواند از نقطه نظر اجرا و همچنین نقطه نظر اقتصادی مفید باشد. استفاده از ضخامت‌های بالای لایه ژئوسل در عمل به دلیل ایجاد مشکل در تراکم (که در فصول آتی به آن اشاره خواهد شد) و ساخت اینگونه ژئوسل‌ها میسر نبوده و استفاده از ژئوسل در تعداد لایه‌های بیشتر برای تسلیح ناحیه تحت تاثیر خاک زیر پی توصیه می‌گردد.

این تحقیق شامل دو بخش بارگذاری استاتیکی و بارگذاری سیکلی می‌باشد که هر یک از این دو بخش شامل بررسی موارد زیر خواهد بود:

الف) بارگذاری استاتیکی

در این بخش ظرفیت باربری و نشست یک پی دایره‌ای به منظور بررسی عوامل ذیل مد نظر است:

- اثر تعداد لایه‌های تسلیح ژئوسل و ژئوتکستایل
- اثر ضخامت خاک غیر مسلح بین دو لایه ژئوسل و ژئوتکستایل
- اثر عمق مدفون پی متکی بر بستر مسلح با ژئوسل لایه‌ای

ب) بارگذاری سیکلی

در این بخش استفاده از ژئوسل لایه‌ای به منظور تسلیح بستر راه با بررسی عوامل ذیل مد نظر است:

- اثر تعداد لایه‌های ژئوسل
- اثر ضخامت لایه‌های ژئوسل
- بررسی اثر تعداد سیکل بارگذاری
- تاثیر دامنه بارگذاری سیکلی (q_{dyn})
- بررسی تراکم خاک داخل چشمه‌های ژئوسل با افزایش ضخامت آن

۵-۱- دامنه، قلمرو و محدودیت‌های تحقیق

در این تحقیق اهمیت و کاربرد تسلیح خاک با ژئوسل و ژئوتکستایل برای پی (صفحه بارگذاری) تحت اثر بارهای استاتیکی و سیکلی مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه نتایج حاصل از این تحقیق قابل اهمیت می‌باشند، اما مانند هر مطالعه آزمایشگاهی دامنه کاربرد نتایج، محدود به شرایط مورد نظر در آزمایش‌ها می‌باشد. بدین منظور توجه به نکات زیر ضروری می‌باشد.

- نتایج تجربی حاصل از این تحقیق، تنها برای یک نوع ژئوسل و ژئوتکستایل، یک نوع خاک و یک اندازه قطر پی (صفحه بارگذاری) بدست آمده است.
- برای انطباق مدل آزمایشگاهی با شرایط بزرگ مقیاس، ارائه نتایج بصورت بدون بعد بسیار مفید می‌باشد. بطور کلی می‌توان با افزایش سختی مسلح کننده به جای ارتفاع ژئوسل (اثر مقیاس) نتایج حاصل از مدل کوچک مقیاس را به نتایج مدل بزرگ مقیاس تعمیم داد.
- هرچند ممکن است نتایج این تحقیق در عمل متفاوت با رفتار پی بزرگ مقیاس باشد، ولی می‌توان انتظار داشت روند کلی مشابه‌ای داشته باشند.
- هرچند که بر اساس تحقیقات (Madani et al., 1979)، رفتار نمونه‌های خاک مسلح شده با المان‌های دارای سختی خمشی و برشی تحت بارهای تکراری تابعی از فرکانس بار اعمالی حداقل در محدوده ۰/۳۳ تا ۵ هرتز نمی‌باشد، بهر حال بررسی تاثیر فرکانس بارگذاری سیکلی بر روی رفتار مکانیکی خاک مسلح شده با ژئوسل می‌تواند، مورد نظر قرار گیرد.

بطور کلی این مطالعه با هدف بدست آمدن درک و بینش کلی نسبت به رفتار یک پی دایره‌ای (صفحه بارگذاری دایره‌ای) تحت بار استاتیکی و سیکلی روی خاک مسلح با ژئوسل لایه‌ای انجام شده است. لذا علیرغم وجود محدودیت‌ها که مشخصه هر کار تجربی می‌باشد، نتایج این تحقیق

می‌تواند برای طراحی یک مدل بزرگ مقیاس، مطالعات عددی و درک مفاهیم در مقیاس بزرگ بسیار مفید باشد.

۱-۶- ساختار پایان نامه

فصول آتی مورد بحث، به طور خلاصه حاوی مطالب ذیل می‌باشند.

- فصل دوم: معرفی اجمالی ژئوسنتتیک‌ها و بخصوص ژئوسل به عنوان یک نوع مسلح کننده و آشنایی با نحوه ساخت و انواع آنها
- فصل سوم: مروری اجمالی بر تحقیقات صورت گرفته در خصوص تسلیح بستر با ژئوسل و تاثیر آن بر بهبود باربری و نشست خاک
- فصل چهارم: شرح دستگاه آزمایش شامل تانک آزمایش، سیستم بارگذاری، سیستم اندازه گیری داده‌ها و سیستم آماده سازی بستر خاکی مسلح.
- فصل پنجم: شامل تشریح مشخصات مصالح، نحوه آماده سازی آزمایش، روش انجام آزمایش و آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق
- فصل ششم: نتایج آزمایش‌ها در حالت بارگذاری استاتیکی
- فصل هفتم: نتایج آزمایش‌ها در حالت بارگذاری سیکلی
- و در پایان و در فصل هشتم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها بمنظور مطالعات آتی.

فصل دوم

کلیات

۲-۱- مقدمه

با گسترش استفاده از مواد پلیمری برای جهت تسلیح خاک، محصولات جدیدتری از خانواده ژئوسنتتیک‌ها به بازار عرضه شده است. ژئوسل یکی از این محصولات بوده که استفاده از آن در پروژه‌های مختلف رو به افزایش است. با توجه به مزایای ژئوسل در افزایش باربری و کاهش نشست بستر مسلح، استفاده از آن در سالهای اخیر مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است (Das and shin, 1994; Dash et al., 2001a; Dash et al., 2001b; Dash et al., 2003; Sitharam et al., 2007; Wesseloo et al., 2009; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2010a; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2010b; Yang et al., 2011). مزیت قابل توجه ژئوسل در مقایسه با سایر ژئوسنتتیک‌ها مانند ژئوتکستایل در این است که علاوه بر مقاومت برشی بین خاک و مسلح کننده، به دلیل ماهیت سه‌بعدی ژئوسل مقاومت پاسیو خاک پشت دیواره ژئوسل نیز نقش به‌سزایی در افزایش مقاومت برشی خاک دارد. در این فصل در خصوص تسلیح خاک با ژئوسل، توصیف کلی ژئوسل و کارایی آن در پروژه‌های مختلف عمرانی بحث خواهد شد.

۲-۲- تاریخچه خاک مسلح و استفاده از ژئوسل

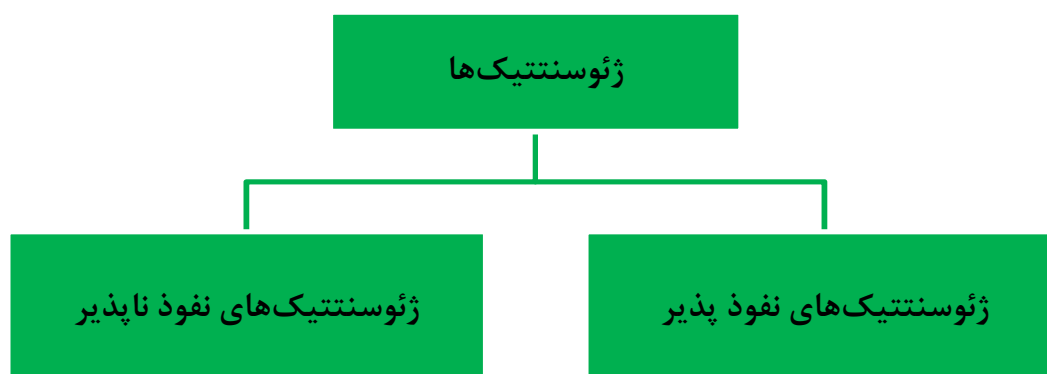
مطالعات اولیه بر روی سیستم‌های مسلح کننده لانه زنبوری^۱ (CCS) و یا همان ژئوسل‌ها در سال ۱۹۷۵ توسط گروه مهندسی ارتش امریکا شروع شد. در آن تحقیقات آزمایش‌هایی نیز بر روی احداث پل‌های موقت بر روی خاک‌های نرم صورت گرفت. در آن زمان مهندسين نتیجه گرفتند که

۱- Cellular Confinement Systems

استفاده از این سیستم در مسلح کردن خاک بهتر از استفاده از مقاطع ستون سنگی^۱ خواهد بود. آنها همچنین گزارش کردند که استفاده از این سیستم در احداث جاده‌ها و ساختمان‌ها بر روی زمین‌های نرم نیز مناسب خواهد بود. برای اولین بار شرکت تولیدی Presto ژئوسل‌هایی با استفاده از پلی‌اتیلن با دانسیته بالا^۲ (HDPE)، دارای وزن کم و مقاومت زیاد با قابلیت انعطاف پذیری مناسب جهت استفاده در یک تکیه‌گاه باربر در امریکا تولید نمود. تحقیقات بر روی کاربرد ژئوسل در پروژه‌های مختلف توسط (Bathurst and Jarrett., 1989) برای تسلیح یک لایه از خاک شنی ادامه یافت. با توسعه نیازها و گسترش نیاز به تسلیح خاک، استفاده از ژئوسل توسط محققین مختلف مورد بررسی و توجه بیشتر قرار گرفت (Rajagopal et al., 1998; Dash et al., 2001a; Dash et al., 2001b; Dash et al., 2003; Zhang et al., 2006; Boushehrian et al., 2010; Moghaddas Tafreshi and Dawson, 2012).

۲-۳- انواع ژئوسنتتیک‌ها

به طور کلی ژئوسنتتیک‌ها در یکی از دسته‌های زیر قرار می‌گیرند:

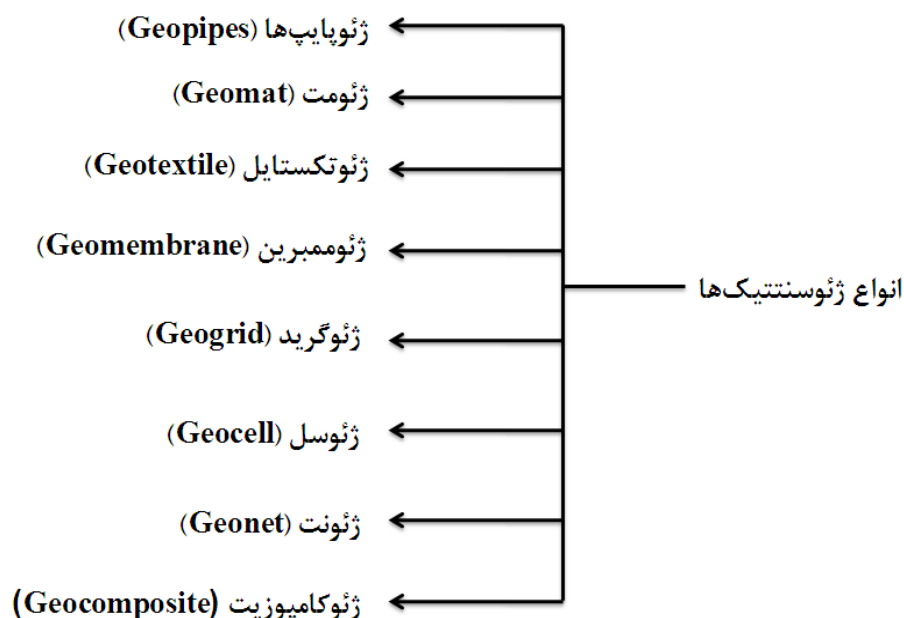


در ژئوسنتتیک‌ها به خصوص در مورد نحوه آرایش الیاف در ژئوتکستایل‌ها معمولا یک نوع دانه‌بندی و یا اطلاعاتی در مورد اندازه حفرات بین این الیاف‌ها داده می‌شود. زیرا در خاک‌های اشباع و یا نیمه اشباع با به وجود آمدن پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های آب در دو طرف

۱- Stone column

۲- High Density Poly Ethylene

ژئوتکستایل و همچنین عبور جریان آب از بین الیافها در مدل سازی آنها و حل اینگونه مسائل با توجه به روشهایی همچون اجزاء محدود تاثیر بسزایی خواهد داشت. ژئوسنتتیکها را بصورت زیر دسته بندی می کنند.



انواع ژئوسنتتیکها و علائم اختصاصی ارائه شده توسط IGS :

- ژئوگرید (GG)
- ژئوتکستایل (GT)
- ژئوممبرین (GM)
- ژئونت (GN)
- ژئوسل (GL)
- ژئومت (GA)
- بیوتکستایل و بیومت (BT)
- ژئوسنتتیک زهکشی (GCD)
- آستر رسی ژئوسنتتیک (GCL)
- ژئوممبران مرکب مصنوعی (GMS)
- ژئوممبران قیری (GMB)

هر یک از انواع ژئوسنتتیکها می تواند با توجه به نیاز مورد نظر در پروژه های عمرانی مختلف کاربرد متفاوتی داشته باشند. به طور کلی ژئوسنتتیکها می توانند کاربردهایی همچون عملکرد