

ارزیابی تأثیر لایه درشت‌دانه سطحی تثبیت یا تسلیح شده بر ظرفیت باربری رس‌های نرم

محمودرضا عبدی*^۱ و یوسف عسگردون^۲

^۱دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
^۲دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

(دریافت: ۹۵/۱۲/۱۸، پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۷، نشر آنلاین: ۹۶/۱۰/۱۷)

چکیده

در این تحقیق به منظور کاهش پتانسیل نشست و افزایش ظرفیت باربری رس نرم، تأثیر لایه درشت‌دانه سطحی تثبیت نشده، تثبیت شده و تسلیح شده با ژئوسنتتیک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. از ماسه به عنوان لایه درشت‌دانه، سیمان به عنوان تثبیت‌کننده و ژئوگرید و ژئوتکتایل با موقعیت‌های قرارگیری مختلف به عنوان عوامل تسلیح لایه درشت‌دانه سطحی استفاده شده است. آزمایش‌ها با به‌کارگیری پی دایره‌ای شکل به قطر ۵۰ میلی‌متر و با استفاده از سیستم بارگذاری CBR تحت بار استاتیکی تا حداکثر نشست معادل ۵۰ درصد قطر پی انجام گردیده است. لایه ماسه با مقادیر ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد سیمان تثبیت و محل قرارگیری ژئوسنتتیک‌ها در وسط لایه ماسه و مرز دو لایه رس و ماسه بوده است. نتایج نشان داده که به‌کارگیری لایه ماسه‌ای به صورت تثبیت نشده و تثبیت شده موجب افزایش ظرفیت باربری بستر رسی نرم شده و با افزایش درصد سیمان، ظرفیت باربری خاک افزایش چشم‌گیری یافته و مکانیزم گسیختگی نیز از حالت گسیختگی برشی سوراخ‌کننده برای نمونه‌های تثبیت نشده، به گسیختگی برشی کلی برای نمونه‌های تثبیت شده تغییر یافته است. با تسلیح ماسه با ژئوسنتتیک‌ها، ظرفیت باربری بستر رسی افزایش و پتانسیل نشست آن کاهش یافته است. برخلاف نمونه‌های تثبیت شده در نمونه‌های مسلح به دلیل مقاومت کششی ژئوگرید و ژئوتکتایل، ظرفیت باربری پس از رسیدن به مقدار حداکثر، کاهش نیافته و روند افزایش با شیب ملایم‌تری ادامه یافته است.

کلیدواژه‌ها: رس نرم، ماسه، تثبیت، سیمان، ژئوگرید، ژئوتکتایل.

۱- مقدمه

دلیل قابلیت زهکشی خوب، مقاومت اصطکاکی بالا و پایداری خصوصیات آن‌ها با تغییر رطوبت و زمان استفاده می‌گردد. Patra و همکاران (۲۰۰۶) نشان داده‌اند که بارگذاری خارج از مرکز همانند حالت عدم خروج از مرکزیت بار، با افزایش لایه‌های ژئوگرید باعث افزایش ظرفیت باربری ماسه می‌گردد. Alawaji (۲۰۰۱) گزارش کرده که عمق بهینه برای قرارگیری ژئوگرید به منظور حصول حداکثر ظرفیت باربری در حدود ۰/۳B تا ۰/۵B بوده و با افزایش ابعاد ژئوگرید نشست ناشی از بارگذاری در ظرفیت‌های باربری یکسان به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. Basudhar و همکاران (۲۰۰۷) رفتار پی دایره‌ای واقع بر ماسه مسلح شده با لایه‌های ژئوتکتایل را بررسی و بیان نموده‌اند که با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکتایل ظرفیت باربری افزایش و با افزایش تراکم نسبی ماسه، گسیختگی در نشست‌های بالاتر رخ می‌دهد.

بسترهای رسی نرم به دلیل ظرفیت باربری کم و شکل‌پذیری زیاد نیازمند بهسازی با یکی از روش‌های تثبیت شیمیایی، تسلیح و یا پیش‌بارگذاری دارند که با توجه به جنبه‌های فنی، اقتصادی و مشخصات مکانیکی مورد نظر بهترین روش انتخاب و اجرا می‌گردد. تثبیت شیمیایی خاک‌ها اغلب موجب افزایش مقاومت، ظرفیت باربری، و کاهش پتانسیل تورم و جمع‌شدگی می‌شود. از طرفی از دیرباز به منظور برطرف نمودن ضعف خاک‌ها در برابر تنش‌های کششی، از الیاف طبیعی استفاده می‌شده و امروزه با پیشرفت علوم مختلف، از مواد پلیمری نظیر ژئوسنتتیک‌ها استفاده می‌شود. از جمله آثار ژئوگریدها و ژئوتکتایل‌ها که باعث رشد کاربرد آن‌ها در سازه‌های خاکی شده، افزایش ظرفیت باربری، کاهش حجم عملیات خاکی، اجرای سریع و سازگاری با محیط طبیعی می‌باشد. از مصالح دانه‌ای نیز در سازه‌های خاک مسلح به

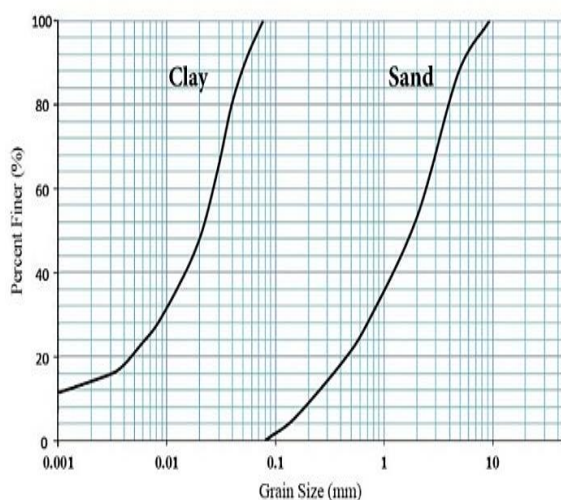
* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۲۹۴۱۲۷

با موقعیت‌های قرارگیری مختلف به عنوان عوامل تسلیح استفاده شده است.

۲- مصالح

۲-۱- رس و ماسه

در این تحقیق از رس و ماسه طبیعی استفاده گردیده و خلاصه خصوصیات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. نمودار توزیع دانه‌بندی خاک‌ها در شکل (۱) نشان داده شده و بر اساس سیستم طبقه‌بندی یونیفاید (USCS) رس در رده CL و ماسه در رده SP قرار می‌گیرند.



شکل ۱- توزیع دانه‌بندی رس و ماسه

جدول ۱- مشخصات رس و ماسه

| ویژگی‌های رس | مقدار | ویژگی‌های ماسه | مقدار |
|--|-------|--|-------|
| حد روانی (%) | ۲۸ | ضریب یکنواختی | ۸/۱۶ |
| حد خمیری (%) | ۲۱ | ضریب انحاء | ۰/۷۶ |
| شاخص خمیری (%) | ۷ | رطوبت بهینه (%) | ۱۲/۵ |
| چگالی | ۲/۶۵ | زاویه اصطکاک داخلی | ۳۸° |
| رطوبت بهینه (%) | ۱۷ | چسبندگی | ۰ |
| وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm ³) | ۱/۷۲ | وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm ³) | ۱/۹۲ |
| مقاومت فشاری (kg/cm ²) | ۰/۳۱ | وزن مخصوص خشک حداقل (gr/cm ³) | ۱/۴۴ |

Abu-Farsakh و همکاران (۲۰۰۸)، رفتار فونداسیون‌های مستقر بر رس لای دار مسلح به ژئوگرید را مطالعه و نشان داده‌اند که تسلیح باعث افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست فونداسیون می‌گردد و با افزایش تعداد لایه‌ها، مدول کششی و کاهش فاصله بین ژئوگریدها آثار مثبت تسلیح افزایش می‌یابد. Radhey و همکاران (۲۰۰۹)، بر اساس نتایج تحقیقات به عمل آمده روی پی‌های مستقر بر خاک مسلح شده با ژئوگرید توصیه نموده‌اند که لایه اول مسلح کننده باید در نزدیکی پی و در عمق بهینه ۰/۲B تا ۰/۵B و طول مؤثر آن‌ها نیز ۲B تا ۸B باشد. Nazir و Sawwaf (۲۰۱۰) رفتار پی مستطیل شکل واقع بر ماسه مسلح شده با لایه‌های ژئوگرید را مطالعه و گزارش نموده‌اند که با افزایش تراکم خاک تأثیر افزایش تعداد لایه‌های ژئوگرید بر ظرفیت باربری بیشتر خواهد بود.

Gill و Singh (۲۰۱۲) با تسلیح خاک رس با یک لایه ژئوگرید در عمق‌های مختلف نشان داده‌اند که مقدار سی. بی. آر. بسته به عمق قرارگیری عامل تسلیح بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. Chakravarthi و Jyotshna (۲۰۱۳) تأثیر ضخامت لایه درشت‌دانه غیرمسلح و مسلح شده با یک لایه ژئوتکستایل بر ظرفیت باربری رس با خمیری زیاد را بررسی و نشان داده‌اند که مقدار CBR با افزایش شاخص خمیری کاهش و با افزایش ضخامت لایه درشت‌دانه ۳۳ درصد افزایش می‌یابد. دورپیچ کردن لبه‌های ژئوتکستایل توسط Kazi و همکاران (۲۰۱۴) باعث افزایش ظرفیت باربری نهایی، افزایش سختی لایه ماسه و صرفه‌جویی در فضای لازم برای احداث سیستم خاک مسلح گردیده است. رفتار پی نواری واقع بر ماسه اشباع مسلح شده با لایه‌های ژئوتکستایل توسط Kazi و همکاران (۲۰۱۵) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده که با افزایش لایه‌های تسلیح تا سه لایه، ظرفیت باربری افزایش و تعداد لایه‌های بیشتر تأثیری ایجاد نکرده است.

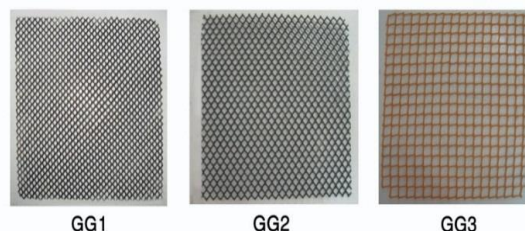
Biswas و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده‌اند که رفتار فشار-نشست بستگی به شکل پذیری، ضخامت و همچنین مقاومت بستر دارد و به کارگیری ژئوگرید در مرز ماسه- رس باعث افزایش قابل ملاحظه در ظرفیت باربری بستر رسی با مقاومت ۷ kPa به میزان ۵/۶ برابر گردیده است.

نتایج تحقیقات Adams و همکاران (۲۰۱۵) نشان داده که افزایش مقاومت ژئوگرید باعث افزایش CBR خاک‌های شنی تحت شرایط اشباع و غیراشباع به میزان به ترتیب ۱۲ و ۳۱ درصد شده است. در این تحقیق کارایی و تأثیر لایه سطحی درشت‌دانه به صورت تثبیت نشده، تثبیت شده و یا مسلح بر ظرفیت باربری و نشست پذیری رس‌های نرم با به کارگیری سیستم بارگذاری CBR مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور از ماسه به عنوان لایه درشت‌دانه، سیمان به عنوان تثبیت کننده و ژئوگرید و ژئوتکستایل

۲-۲- ژئوسنتتیک‌ها

در این مطالعات از سه نوع ژئوگرید HDPE با عناوین اختصاری GG1، GG2 و GG3 و دو نوع ژئوتکستایل بافته نشده GT1 و GT2 جهت تسلیح لایه ماسه‌ای استفاده شده است. از آنجائی که روند کلی تأثیر ژئوگریدها و ژئوتکستایل‌ها بر رفتار فشار-نشست رس نرم تقریباً یکسان بوده برای پرهیز از ارائه شکل‌های متعدد تنها به ارائه نتایج نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید GG1 و ژئوتکستایل GT1 که بیش‌ترین تأثیر بر ظرفیت باربری و خصوصیات نشست-پذیری رس را داشته‌اند بسنده گردیده است. در انتخاب ژئوگریدها و ژئوتکستایل‌ها سعی شده تا اندازه چشمه‌ها و بازشدگی‌ها متناسب با قطر متوسط ذرات ماسه باشند. ابعاد ژئوگریدها و ژئوتکستایل‌ها ۲۹۰×۲۹۰ میلی‌متر و موقعیت قرارگیری آن‌ها نیز در وسط لایه ماسه (M)، مرز مشترک ماسه و رس (B) و در هر دو مکان به صورت هم‌زمان (M&B) بوده است. مشخصات ژئوسنتتیک‌ها در جداول (۲) و (۳) و شکل ظاهری ژئوگریدها در شکل (۲) نشان داده شده است.

به منظور تأثیر حداکثری ژئوسنتتیک‌ها بر ظرفیت باربری و نشست‌پذیری رس نرم، نتایج تحقیقات Basudhar و همکاران (۲۰۰۷) و Radhey و همکاران (۲۰۰۹) مد نظر قرار گرفته و بر این اساس برای تسلیح لایه ماسه‌ای از نسبت $B/D=6$ و فاصله بین دو لایه تسلیح $0.5D$ استفاده گردیده است.



شکل ۲- ژئوگریدهای مصرفی

۲-۳- سیمان و آب مصرفی

سیمان مصرفی جهت تثبیت لایه ماسه از نوع تیپ ۲ تولید کارخانه سیمان مازندران (نکا) با زمان‌های گیرش اولیه و نهایی به ترتیب ۱۰۰ و ۱۸۰ دقیقه و چگالی ذرات ۳/۱۵ بوده و در تهیه نمونه‌ها از آب لوله‌کشی شهر تهران استفاده شده است. ترکیبات شیمیایی سیمان به شرح جدول (۴) بوده است.

۳- سیستم بارگذاری

از دستگاه GBR جهت بارگذاری استفاده شده است. با توجه به محدودیت‌های ابعادی دستگاه و برای جلوگیری از تأثیر شرایط مرزی بر نتایج و قابلیت جابجایی نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها در جعبه‌ای به ابعاد ۳۵۰×۳۰۰×۳۲۰ میلی‌متر تهیه و مورد آزمایش قرار گرفته است. سطح بارگذاری، صفحه‌ای دایره‌ای شکل به قطر ۵۰ و ضخامت ۲۵ میلی‌متر بوده است.

۴- آماده‌سازی نمونه

به منظور فراهم نمودن رس نرم ابتدا خاک رس با درصد‌های مختلف رطوبت مخلوط و سپس نمونه‌های سیلندری شکل تهیه و تحت آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده قرار گرفته‌اند. رس حاوی ۲۶ درصد رطوبت مقاومت فشاری محصور نشده‌ای برابر با 0.31 kg/cm^2 به دست داده که در محدوده رس‌های نرم قرار می‌گیرد (Danie و Fang، ۲۰۰۶).

ضخامت لایه رس نرم در جعبه آزمایش ۱۵ سانتی‌متر بوده که در سه لایه ۵ سانتی‌متری ریخته و کوبیده شده است. سپس ماسه و یا مخلوط ماسه-سیمان در یک لایه ۵ سانتی‌متری روی رس نرم ریخته و با به کارگیری صفحه کوبش و چکش پلاستیکی تا رسیدن به دانسیته خشک حداکثر متراکم گردیده است.

جدول ۲- مشخصات ژئوگریدها (شرکت تولیدی مشیران شبکه، ۱۳۹۴)

| ژئوگرید | نام محصول | اندازه چشمه (mm) | جنس | مقاومت کششی (kN/m) | رنگ | شکل چشمه | ضخامت (mm) | وزن (kg/m^2) |
|---------|-----------|------------------|------|--------------------|--------|----------|------------|-------------------------|
| GG1 | CE121 | ۸×۸ | HDPE | ۸/۲ | مشکی | مربع | ۲/۲ | ۰/۷۳ |
| GG2 | CE161 | ۱۰×۱۰ | HDPE | ۷/۶ | مشکی | مربع | ۲/۲ | ۰/۷ |
| GG3 | SQ15L | ۱۵×۱۵ | HDPE | ۵/۵ | نارنجی | مربع | ۲/۴ | ۰/۴۲ |

جدول ۳- مشخصات ژئوتکستایل‌ها (شرکت ناروین گستر پارس‌یان، ۱۳۹۳)

| ژئوتکستایل | جرم (gr/cm^3) | ضخامت (mm) | مقاومت کششی (kN/m) | نفوذپذیری (cm/sec) |
|------------|--------------------------|------------|--------------------|--------------------|
| GT1 | ۳۰۰ | ۲/۶ | ۱۸ | ۰/۲۲ |
| GT2 | ۶۰۰ | ۴/۵ | ۳۵ | ۰/۲۸ |

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی سیمان مصرفی (شرکت سیمان

مازندران، ۱۳۹۱)

| اکسیدها | درصد | اکسیدها | درصد |
|--------------------------------|------|-------------------|------|
| CaO | ۶۲/۳ | SO ₃ | ۲/۱ |
| SiO ₂ | ۲۱/۹ | MgO | ۱/۱۵ |
| Al ₂ O ₃ | ۴/۸۶ | K ₂ O | ۰/۵۶ |
| Fe ₂ O ₃ | ۳/۳ | Na ₂ O | ۰/۳۶ |

جدول ۵- دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه مخلوط‌های ماسه-سیمان

| خاک | سیمان (%) | ω_{opt} (%) | ρ_d (gr/cm ³) |
|------|-----------|--------------------|--------------------------------|
| | ۲/۵ | ۱۱/۲ | ۱/۹۴ |
| | ۵ | ۱۰/۵ | ۱/۹۷ |
| ماسه | ۷/۵ | ۹/۹ | ۲/۰۲ |
| | ۱۰ | ۹/۴ | ۲/۰۷ |

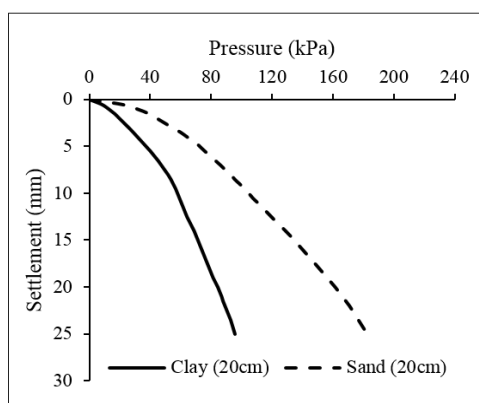
نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده پس از آماده‌سازی برای مدت ۷ روز تحت دمای حدوداً ۳۵ درجه سانتی‌گراد عمل‌آوری و سپس مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. از آنجائی که سیمان طی ۷ روز حدوداً ۷۰٪ مقاومت نهایی را کسب می‌نماید، زمان‌های طولانی‌تر بررسی نشده است.

۵- نتایج

۵-۱- نمونه‌های رس و ماسه

ابتدا آزمایش بارگذاری بر روی نمونه‌های رس و ماسه تثبیت و تسلیح نشده به تنهایی انجام تا نتایج به دست آمده به عنوان مبنا و به منظور مقایسه با رفتار نمونه‌های تثبیت و تسلیح شده مورد استفاده قرار گیرد. تغییرات فشار- نشست حاصل از آزمایش‌های انجام شده بر روی این نمونه‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که ظرفیت باربری هر دو خاک با افزایش نشست به صورت تدریجی افزایش می‌یابد که بیانگر گسیختگی از نوع پانچ می‌باشد (Das, ۲۰۱۱).

همچنین برای یک میزان نشست خاص ظرفیت باربری ماسه بیشتر از رس بوده و اختلاف با افزایش نشست به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. این تغییرات ناشی از رفتار صلب ماسه در مقایسه با رس نرم بوده که باعث جذب مؤثرتر تنش‌های وارده توسط سطح بارگذاری گردیده است. به عنوان مثال برای نشست ۵ میلی‌متر سطح بارگذاری، ظرفیت باربری رس ۳۵ kPa و ماسه ۷۰ kPa تعیین گردیده است.



شکل ۴- تغییرات فشار- نشست نمونه‌های رس و ماسه

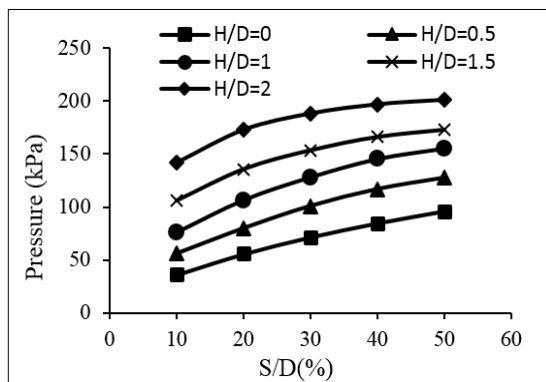


شکل ۳- تصویر شماتیک دستگاه و جعبه آزمایش

از لایه‌های ژئوگرید یا ژئوتکستایل نیز در مرز ماسه و رس، وسط لایه ماسه و در هر دو موقعیت به طور هم‌زمان استفاده شده است. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، جعبه آزمایش روی دستگاه مستقر و بعد از تنظیم گج‌های اندازه‌گیری نیرو و تغییر شکل، آزمایش شروع گردیده است. نرخ بارگذاری ۱/۲۷mm/min، حداکثر نشست سطح بارگذاری ۲۵mm، قرائت نیروها به ازای هر ۰/۵mm تغییر شکل ثبت و فشار متناظر با ۲۵ میلی‌متر نشست به عنوان فشار نهایی لحاظ گردیده است. تصویر دستگاه و جعبه آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است.

۴-۱- مخلوط‌های ماسه سیمان

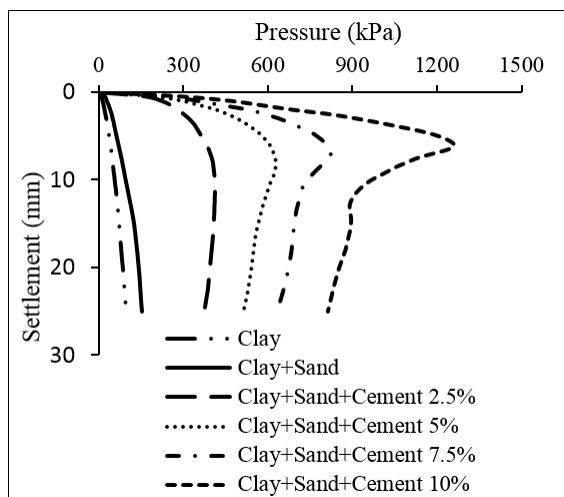
ماسه با درصدهای وزنی مختلف سیمان مخلوط و مورد آزمایش تراکم استاندارد قرار گرفته و دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه هر یک از طرح اختلاطها تعیین و به طور خلاصه در جدول (۵) ارائه شده است. از این مخلوط‌ها به منظور بررسی تأثیر لایه‌های ماسه تثبیت شده با سیمان بر ظرفیت باربری و نشست‌پذیری رس نرم و همچنین مقایسه با تأثیر تسلیح لایه ماسه با ژئوگرید یا ژئوتکستایل استفاده شده است. قبل از استفاده، سیمان از الک شماره ۲۰۰ عبور داده شده و سپس درصدهای وزنی مورد نظر به صورت خشک با ماسه به خوبی مخلوط و آب متناسب با رطوبت بهینه هر طرح اختلاط تدریجاً اضافه و عمل اختلاط تا رسیدن به یک مخلوط کاملاً همگن ادامه یافته است.



شکل ۶- تغییرات فشار- نسبت نشست برای نسبت ضخامت مختلف ماسه

۳-۵- نمونه‌های رس + ماسه تثبیت‌شده با سیمان

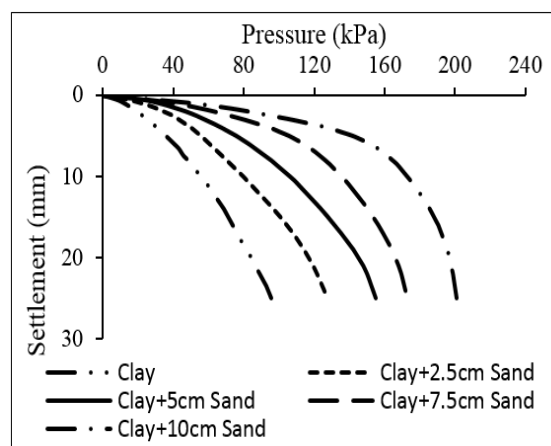
جهت بررسی تأثیر تثبیت لایه ماسه سطحی بر رفتار فشار- نشست لایه رس نرم، نمونه‌های رس + ماسه مخلوط شده با مقادیر ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد وزن خشک خاک سیمان تهیه و پس از ۷ روز عمل‌آوری مورد آزمایش بارگذاری قرار گرفته است. رفتار فشار- نشست این نمونه‌ها در شکل (۷) نشان می‌دهد که تثبیت لایه سطحی ماسه‌ای با سیمان سبب بهبود چشمگیری در ظرفیت باربری در مقایسه با ماسه و رس گردیده و این تغییرات با افزایش درصد سیمان به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش نشان می‌دهد. با توجه آن که مقاومت سیمان وابسته به زمان می‌باشد، پیش‌بینی می‌گردد با گذشت زمان بیش از ۷ روز، افزایش بیشتری در ظرفیت‌های باربری حاصل گردد.



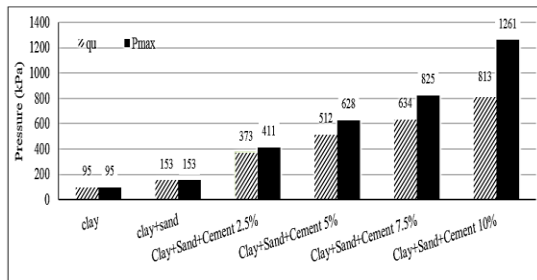
شکل ۷- تغییرات فشار- نشست نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده با سیمان

۲-۵- نمونه‌های رس + ماسه با ضخامت‌های مختلف

به منظور بررسی تأثیر لایه ماسه سطحی تثبیت نشده و غیرمسلح بر ظرفیت باربری رس نرم، نمونه‌هایی با لایه‌های ماسه‌ای به ضخامت‌های ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر آماده و تحت آزمایش بارگذاری قرار گرفته‌اند. نتایج فشار- نشست به دست آمده برای این نمونه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با به‌کارگیری و افزایش ضخامت لایه ماسه سطحی ظرفیت باربری تحت یک نشست خاص نسبت به رس نرم به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش نشان می‌دهد. شیب نمودارها تا نشست ۵ میلی‌متر به شدت افزایش یافته که بیانگر رفتار صلب‌تر لایه‌های ماسه‌ای با افزایش ضخامت می‌باشد. نرخ تغییرات ظرفیت باربری نمونه رس + ماسه با ضخامت ۷/۵ سانتی-متر و علی‌الخصوص نمونه رس + ماسه با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به شدت پس از ۵ میلی‌متر نشست کاهش یافته که نشان‌دهنده آن است که ظرفیت باربری لایه ماسه تقریباً به حداکثر مقدار خود رسیده و افزایش تنش‌ها عمدتاً توسط این لایه جذب و از انتقال به لایه رسی ممانعت به عمل آمده و به‌کارگیری لایه ماسه‌ای ضخیم‌تر تأثیری بر ظرفیت باربری نداشته است. به منظور مشاهده هر چه بهتر تأثیر لایه‌های ماسه سطحی، نتایج به صورت تغییرات فشار- نسبت نشست (S/D) برای نسبت ضخامت‌های مختلف ماسه (H/D) در شکل (۶) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که تحت یک نسبت S/D خاص، با افزایش نسبت H/D ظرفیت باربری شدیداً افزایش یافته است. به عنوان مثال برای S/D=10%، ظرفیت باربری از حدوداً ۴۰ kPa برای H/D=0 (رس) به ۱۴۵ kPa برای H/D=2 (رس + ماسه به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر) افزایش یافته که نشان‌دهنده ۳۶۰ درصد بهبود می‌باشد.

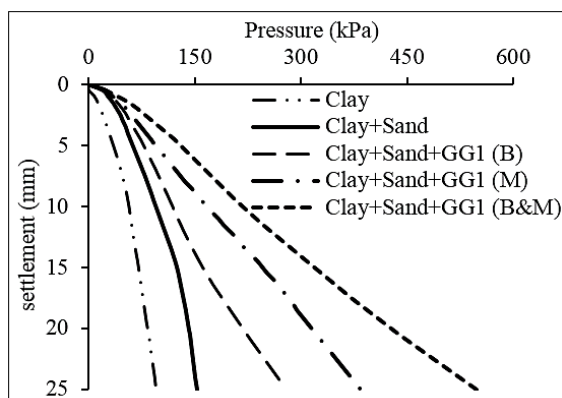


شکل ۵- تغییرات فشار- نشست نمونه‌های رس + ماسه سطحی تثبیت نشده



شکل ۸- تغییرات فشار حداکثر و فشار نهایی مخلوط‌های مختلف

در این نمونه‌ها لایه ماسه سطحی با به‌کارگیری یک یا دو لایه ژئوگرید یا ژئوتکستایل مسلح و مورد آزمایش بارگذاری قرار گرفته است. عوامل تسلیح در وسط لایه سطحی با به‌کارگیری یک یا دو لایه ژئوگرید یا ژئوتکستایل مسلح و مورد آزمایش بارگذاری قرار گرفته است. عوامل تسلیح در وسط لایه ماسه (M)، مرز مشترک رس + ماسه (B) و یا در هر دو موقعیت (M&B) به کار گرفته شده است. بر این اساس عمق قرارگیری لایه‌های تسلیح به ترتیب ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر از سطح ماسه بوده است. تغییرات ظرفیت باربری- نشست نمونه‌های رس + ماسه + GG1 و رس + ماسه + GT1 به عنوان نمونه در شکل‌ها (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. در این شکل‌ها رفتار نمونه‌های رس نرم و رس + ماسه غیرمسلح نیز جهت مقایسه و مشاهده هر چه بهتر تأثیر مسلح کردن لایه سطحی ارائه گردیده است. مشاهده می‌گردد که به کارگیری عوامل تسلیح همانند ژئوگریدها یا ژئوتکستایل‌ها باعث افزایش ظرفیت باربری خاک رس نرم و رس + ماسه گردیده و گسیختگی برشی کلی به گسیختگی برشی موضعی تغییر یافته که توسط Guido و همکاران (۱۹۸۵) و Alawaji (۲۰۰۱) و دیگر محققین نیز گزارش شده است. تأثیر ژئوگریدها بر افزایش ظرفیت باربری در مقایسه با ژئوتکستایل‌ها بیشتر بوده است.



شکل ۹- تغییرات فشار- نشست نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با ژئوگرید GG1

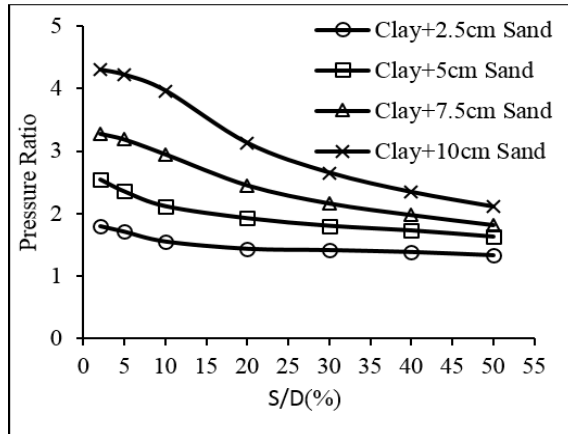
برخلاف نمونه‌های ماسه و رس که مکانیزم گسیختگی برشی سوراخ کننده به نمایش گذاشتند، مکانیزم گسیختگی نمونه‌های تثبیت شده به گسیختگی برشی کلی تغییر یافته است. تغییرات ظرفیت باربری نمونه‌های رس و ماسه بسیار تدریجی بوده و حتی پس از ۲۵ میلی‌متر نشست نیز روندی افزایشی ولیکن با نرخ بسیار کم‌تر را نشان می‌دهند. در نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده با سیمان ظرفیت باربری شدیداً با تغییر شکل‌های کم افزایش و پس از رسیدن به حداکثر به شدت کاهش و نهایتاً به شرایط تقریباً ثابت یا ظرفیت باربری نهایی رسیده است. این تغییرات بیانگر رفتار ترد و شکننده لایه ماسه‌ای تثبیت شده می‌باشد که توسط Das و همکاران (۱۹۹۵)؛ Al-Aghbari و همکاران (۲۰۰۹)؛ و Park (۲۰۱۱)، نیز گزارش شده است.

مقدار کاهش در ظرفیت باربری پس از شکست به شدت با افزایش درصد سیمان افزایش نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن میزان نشست ۵ میلی‌متر، ظرفیت باربری نمونه‌های رس، ماسه، و رس + ماسه تثبیت شده با ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد سیمان به ترتیب ۴۰، ۷۰، ۳۵۰، ۵۷۰، ۷۸۰ و ۱۲۰۰ kPa اندازه‌گیری شده که بیانگر ۱/۸، ۸/۸، ۱۴/۳، ۱۹/۵ و ۳۰ برابر معادل ۱۸۰، ۸۸۰، ۱۴۳۰، ۱۹۵۰ و ۳۰۰۰٪ افزایش نسبت به خاک رس نرم می‌باشد. در شکل (۸) نیز حداکثر ظرفیت باربری (p_{max} - نقطه شکست) و ظرفیت باربری نهایی (qu - متناظر با ۲۵ میلی‌متر نشست) نمونه رس + ماسه تثبیت شده با ۱۰٪ سیمان ارائه گردیده که به ترتیب ۱۳/۲ و ۸/۵ برابر معادل ۱۳۲۰ و ۸۵۰٪ نسبت به نمونه رس نرم افزایش نشان می‌دهد. این تغییرات بیانگر تأثیر مثبت تثبیت لایه سطحی در جذب تنش‌های ناشی از بارگذاری و جلوگیری از نفوذ آن‌ها به لایه نرم زیرین می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد ظرفیت باربری نمونه‌ها به شدت تحت تأثیر درصد سیمان قرار گرفته و با نتایج تحقیقات Al-Aghbari و همکاران (۲۰۰۹) همسو بوده که تأثیر درصد سیمان بر مقاومت را در مقایسه با زمان عمل‌آوری مؤثرتر اعلام نموده‌اند.

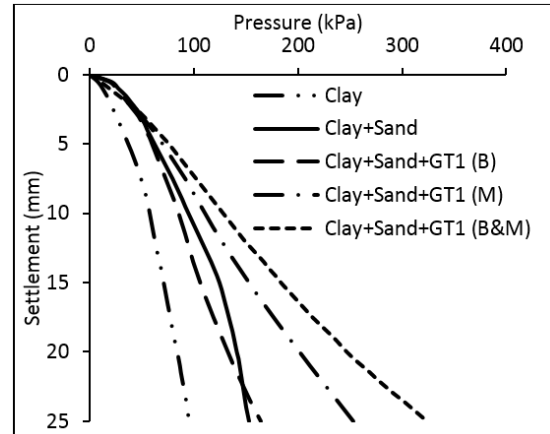
Porbaha و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش کرده‌اند که خاک‌های تثبیت شده با سیمان رفتار پیچیده‌ای از خود بروز می‌دهند که تابعی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، میزان رطوبت، تراکم، میزان سیمان و زمان عمل‌آوری می‌باشد.

۴-۵- نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با ژئوگرید یا ژئوتکستایل

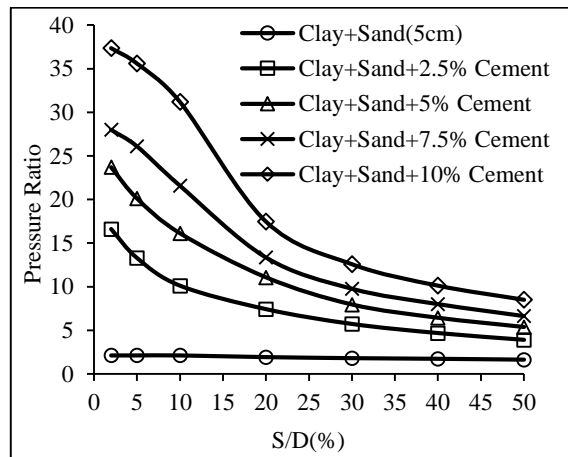
با توجه به نتایج ارائه شده در بخش ۴-۳، از آنجائی که به کارگیری لایه ماسه به ضخامت ۵ سانتی‌متر حد واسط حداقل و حداکثر تغییرات اندازه‌گیری شده را به دست داده، برای انجام مراحل بعدی تحقیق انتخاب شده است.



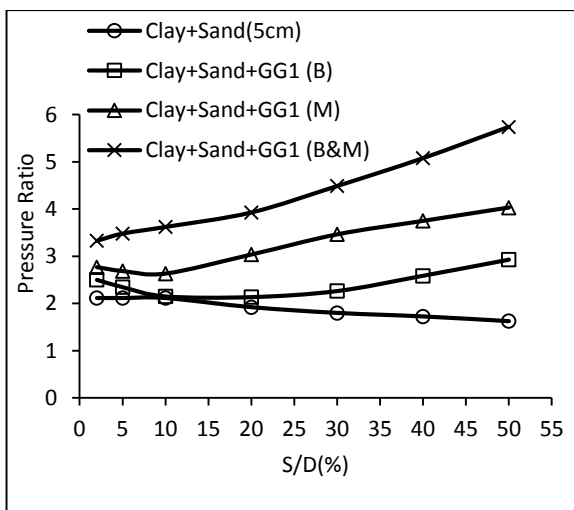
شکل ۱۱- تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه تثبیت نشده



شکل ۱۰- تغییرات فشار- نشست نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با ژئوتکستایل GT1



شکل ۱۲- تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده



شکل ۱۳- تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با GG1 در موقعیت‌های متفاوت

در تمامی موارد بررسی شده نیز بکارگیری دو لایه ژئوسنتتیک در وسط و مرز مشترک رس + ماسه بیشترین تأثیر و بهبود در ظرفیت باربری را به دست داده است. به عنوان مثال و با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) در نشست ۵ میلی‌متر، با مسلح نمودن لایه ماسه با دو لایه ژئوگرید GG1 ظرفیت باربری رس نرم از حدوداً ۴۰ kPa به ۱۴۰ kPa افزایش یافته که ۳۵۰٪ بهبود و در صورت به‌کارگیری دو لایه ژئوتکستایل ظرفیت باربری ۷۵ kPa به دست آمده که افزایش ۱۹۰٪ را سبب گردیده است. این بدان معنی است که اندرکنش ذرات ماسه با ژئوگریدها و بنابر این بسیج مقاومت کششی آن‌ها در مقایسه با ژئوتکستایل‌ها مؤثرتر بوده که توسط Radhey و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. در صورتی که کششی عوامل تسلیح با تغییر شکل‌های بزرگ‌تر بیشتر بسیج می‌شوند.

به منظور مقایسه هر چه بهتر تأثیر لایه ماسه سطحی با ضخامت‌های مختلف، ماسه تثبیت‌شده با سیمان و ماسه تسلیح شده با ژئوسنتتیک‌ها بر رفتار فشار- نشست رس نرم، نتایج به صورت نمودارهای بدون بعد تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) نشان داده شده است. نسبت‌های فشار و نشست به صورت روابط (۱) و (۲) تعریف شده‌اند. در حالی که $P'u$ ظرفیت باربری نهایی نمونه‌های رس + ماسه غیرمسلح، مسلح و تثبیت شده، Pu ظرفیت باربری نهایی رس نرم، S نشست و D ، قطر سطح بارگذاری می‌باشد.

$$\text{نسبت فشار} = \frac{P'u}{Pu} \quad (1)$$

$$\text{نسبت نشست} = \frac{S}{D} \quad (2)$$

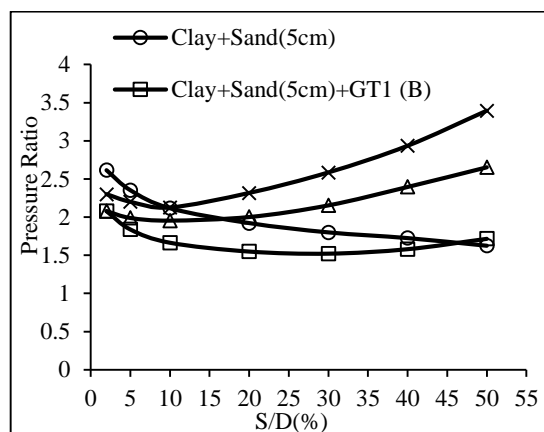
تدریجاً روندی ثابت و همگرا را نشان می‌دهند. این رفتار بدان معنی است که تحت نسبت نشست‌های نسبتاً زیاد وجود لایه ماسه سطحی تثبیت شده رفتاری ترد و شکننده را به نمایش گذاشته و پس از گسیختگی این لایه، فشار به لایه رس نرم منتقل گردیده است.

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نیز رفتار نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با لایه‌های مختلف ژئوگرید GG1 و ژئوتکستایل GT1 نشان داده شده است. برخلاف نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست این نمونه‌ها روند صعودی را نشان می‌دهند. در نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید در مرز مشترک رس و ماسه (GG1(B)) با افزایش نسبت نشست تا ۱۰ درصد، فشار

قدری کاهش و سپس اندکی افزایش می‌یابد.

با بکارگیری یک لایه ژئوگرید در وسط لایه ماسه (GG1(M)) و یا دو لایه ژئوگرید در وسط و مرز مشترک رس و ماسه (GG1(M&B)) تا نسبت نشست ۱۰ درصد، تغییر شاخصی در نسبت فشار حاصل نشده لیکن با افزایش نسبت نشست به بیش از ۱۰ درصد تغییرات به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش نشان می‌دهد. این رفتار بیانگر آن است که مقاومت کششی ژئوگرید با افزایش تغییر شکل‌های نمونه و بنابر این به کشش افتادن، بسیج می‌گردد. به کارگیری دو لایه ژئوگرید محصورشدگی بیشتر ذرات لایه ماسه را فراهم نموده و به عنوان یک لایه صلب باعث افزایش بیشتر ظرفیت باربری گردیده است. نتایج تحقیقات Nazir و Sawwaf (۲۰۱۰) نیز نشان داده که با افزایش تعداد لایه‌های ژئوگرید ظرفیت باربری به شدت افزایش می‌یابد و تأثیر این لایه‌ها با افزایش درجه تراکم خاک بیشتر می‌گردد.

با توجه به شکل (۱۴) نیز مشاهده می‌گردد که بکارگیری یک لایه ژئوتکستایل در مرز مشترک رس و ماسه (GT1(B)) باعث کاهش نسبت فشار به مقدار کم‌تر از نمونه رس + ماسه غیرمسلح در تمامی نسبت نشست‌های بررسی شده گردیده است. حتی نمونه‌هایی که با یک لایه ژئوتکستایل در وسط لایه ماسه (GT1(M)) و یا دو لایه در وسط و مرز مشترک رس و ماسه (GT1(B&M)) تسلیح شده‌اند نیز تا نسبت نشست‌های کم‌تر از ۲۰٪ هرچند روندی افزایشی در نسبت فشار را نشان می‌دهند ولیکن باعث کاهش ظرفیت باربری نسبت به حالت غیرمسلح شده‌اند. با افزایش نسبت نشست به بیش از ۲۰٪، ظرفیت‌های باربری نیز نسبت به حالت غیرمسلح افزایش یافته است. تغییرات مشاهده شده نشان می‌دهد که لایه‌های ژئوتکستایل محصورشدگی کم‌تر و بنابر این اندرکنش ضعیف‌تری بین ذرات ماسه و عامل تسلیح را سبب و به منظور بسیج مقاومت کششی این ژئوسنتتیک‌ها نیاز به تغییر شکل‌های نسبتاً زیاد می‌باشد. نتایج تحقیقات Kumar و Rajkumar (۲۰۱۲) نشان داده که نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل بافته شده فشار بیشتری را



شکل ۱۴- تغییرات نسبت فشار - نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه مسلح شده با GT1 در موقعیت‌های مختلف

در شکل (۱۱) تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه با ضخامت‌های مختلف برای نسبت نشست‌های از ۲ تا ۵۰ درصد نشان داده شده است. شایان ذکر است که نسبت نشست فونداسیون‌های واقعی قطعاً کم‌تر از ۵ درصد خواهد بود و نسبت نشست‌های تا ۵۰ درصد صرفاً جهت مطالعه و مقایسه رفتار نمونه‌ها تحت تغییر شکل‌های نسبتاً بزرگ تعیین و ارائه گردیده است. مشاهده می‌گردد که بیشترین نسبت فشار توسط نمونه‌های رس + ماسه به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر تحت تمامی نسبت نشست‌های محاسبه شده به نمایش گذاشته شده است. نسبت فشار تمامی نمونه‌ها با افزایش نسبت نشست کاهش یافته و بیشترین کاهش توسط نمونه‌های رس + ماسه به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر تجربه شده است. در نمونه‌های رس + ماسه به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر، نسبت فشار با افزایش نسبت نشست تقریباً ثابت بوده که بیانگر آن است که بخش اعظم تنش‌های ناشی از بارگذاری به لایه رس نرم نفوذ نموده و لایه نازک ماسه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش باربری و کاهش نشست نداشته است. نکته حائز اهمیت آن که با افزایش نسبت نشست، نسبت ظرفیت‌های باربری تدریجاً ثابت و روند همگرا شدن را نشان می‌دهند.

در شکل (۱۲) تغییرات نسبت فشار- نسبت نشست نمونه‌های رس + ماسه تثبیت شده با ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد سیمان نشان می‌دهد که با افزایش درصد سیمان، نسبت فشار به شدت افزایش یافته است. به عنوان مثال برای نمونه رس + ماسه تثبیت نشده در نسبت نشست ۲، نسبت فشار ۲ به دست آمده که پس از تثبیت لایه ماسه با ۱۰ درصد سیمان این نسبت به ۳۸ بالغ گردیده که افزایش ۱۹ برابری یا ۱۹۰۰٪ را نشان می‌دهد. نسبت فشار این نمونه‌ها نیز با افزایش نسبت نشست به شدت کاهش و

- تسلیح لایه ماسه سطحی با لایه‌های ژئوسنتتیک، به دلیل اثر غشائی ژئوتکستایل با خاک و اثر محصورشدگی و غشائی لایه‌های ژئوگرید باعث افزایش ظرفیت باربری لایه رس نرم می‌گردد.
- بیش‌ترین بهبود در ظرفیت باربری رس نرم با به کارگیری دو لایه ژئوگرید و یا ژئوتکستایل در وسط و مرز مشترک رس + ماسه حاصل شده است. استفاده از یک لایه ژئوسنتتیک در وسط (M) لایه ماسه‌ای مؤثرتر از بکارگیری آن در مرز مشترک رس + ماسه (B) بوده است.

۷- مراجع

- Abdi MR, Zandieh R, "Experimental and numerical analysis of large scale pull out tests conducted on clays reinforced with geogrids encapsulated with coarse material", *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, 42, 494-504.
- Abu-Farsakh M, Chen Q, Sharma R, Zhang X, "Large scale model footing tests on geogrid-reinforced foundations and marginal embankment soils", *Geotechnical Testing Journal, ASTM*, 2008, 31 (5), 413-423.
- Patra CR, Das BM, Shin EC, "Eccentrically loaded strip foundation on geogrid-reinforced sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2006, 24, 254-259.
- Alawaji HA, "Settlement and bearing capacity of geogrid-reinforced sand over collapsible soil", *Geotextiles and Geomembranes*, 2001, 19, 75-88.
- Basudhar PK, Santanu S, Kousik D, "Circular footings resting on geotextile-reinforced sand bed", *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, 25, 377-384.
- Radhey S, Qiming C, Murad AF, Sungmin Y, "Analytical Modeling of Geogrid Reinforced Soil Foundation", *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27, 63-72.
- Sawwaf ME, Nazir AK, "Behavior of repeatedly loaded rectangular footings resting on reinforced sand", *Alexandria Engineering Journal*, 2010, 49, 349-356.
- Singh P, Gill K, "CBR Improvement of Clayey Soil with Geogrid Reinforcement", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2012, 2 (6), 315-318.
- Chakravarti VK, Jyotshna B, "Efficacy of Overlying Coarse Aggregate and Geosynthetic Separation on CBR Value for Soft Subgrade of Varying Plasticity- A Laboratory Study", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013, 2, 749-755.
- Kazi M, Shukla SK, Habibi D, "An Improved Method to Increase the Load-Bearing Capacity of Strip Footing Resting on Geotextile-Reinforced Sand Bed", *Indian Geotechnical Journal*, 2014, 45, 98-109.
- Kazi M, Shukla SK, Habibi D, "Effect of Submergence on Settlement and Bearing Capacity of Surface Strip Footing on Geotextile-Reinforced Sand Bed", *International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering*, 2015, 1, 20.
- Biswas A, Ansari A, Dash SK, Krishna AM, "Behavior of Geogrid Reinforced Foundation Systems Supported on Clay Subgrades of Different Strengths", *International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering*, 2015, 1, 4.

نسبت به نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل بافته نشده تحمل می‌کند.

معمولاً برای ژئوگریدها دو نوع تأثیر غشائی و محصورشدگی یا دور گرفتگی در هنگام تسلیح خاک در نظر گرفته می‌شود. در تأثیر غشائی، با اعمال بار، پی و خاک زیر آن نشست کرده و لایه‌های مسلح کننده موجود به تدریج به کشش می‌افتند. با توجه به سختی مسلح کننده، مسلح کننده‌های تغییر شکل یافته برای تحمل بار نیرویی به سمت بالا وارد می‌کنند. این نیروی رو به بالا در محل تلاقی مسلح کننده و سطح گسیختگی به وجود آمده و باعث افزایش نیروی کششی در لایه‌های ژئوسنتتیک می‌گردد. میزان مشخصی نشست برای بسیج اثر غشائی در مسلح کننده تحت کشش لازم بوده و مسلح کننده باید از طول و سختی کامل برخوردار باشد. عملکرد غشائی هم در ژئوتکستایل و هم در ژئوگرید دیده می‌شود.

تأثیر محصورشدگی تنها در ژئوگرید رخ می‌دهد و عبارت از ایجاد نیروی اصطکاکی بین ژئوگرید و دانه‌های خاک به واسطه تغییر مکان نسبی بین آن‌ها در اثر اعمال بار است. در واقع این عملکرد همان قفل و بست ایجاد شده بین دانه‌های خاک و چشمه‌های ژئوگرید بوده و مانند یک قید جانبی از تغییر مکان جانبی و کرنش کششی جلوگیری کرده و سبب افزایش مقاومت فشاری خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری می‌شود. این عملکرد در ژئوسل بسیار بیشتر از ژئوگرید مؤثر می‌باشد. اصطکاک به وجود آمده بین سطح ژئوتکستایل و دانه‌های خاک و نیز توزیع بار وارده به پی در سطحی بزرگ‌تر و کاهش تمرکز تنش، از عوامل افزایش ظرفیت باربری خاک‌های مسلح شده با ژئوتکستایل‌ها می‌باشد (Radhey و همکاران، ۲۰۰۹).

۶- نتیجه‌گیری

- بر اساس نتایج حاصل از انجام این تحقیق و تجزیه و تحلیل‌های انجام شده نتیجه‌گیری‌های زیر به عمل آمده است:
- به کارگیری و افزایش ضخامت لایه ماسه سطحی تثبیت و تسلیح نشده با جذب تنش‌های ناشی از بارگذاری از انتقال این تنش‌ها به لایه رس نرم زیرین جلوگیری به عمل آورده و باعث افزایش ظرفیت باربری رس نرم گردیده است.
 - با تثبیت لایه درشت‌دانه سطحی و همچنین افزایش درصد سیمان، ظرفیت باربری به طور چشمگیری افزایش یافته و مکانیزم گسیختگی از حالت برشی پانچ برای نمونه تثبیت نشده به برشی کلی برای نمونه‌های تثبیت شده تغییر یافته است. با تثبیت و در نتیجه افزایش درصد سیمان، رفتار لایه سطحی ترد و شکننده شده است.

- Adam CA, Apraku E, Opoku-Boahen R, "Effect of Triaxial geogrid Reinforcement on CBR strength of natural gravel soil for road pavements", *Journal of Civil Engineering Research*, 2015, 5 (2), 45-51.
- Fang HY, Daniels JL, "Introductory geotechnical engineering- an environmental perspective", Taylor and Francis, London, 2006.
- Das BM, "Principles of foundation engineering", Cengage Learning, 2011.
- Das BM, Yen SC, Dass RN, "Brazilian Tensile Strength Test of Lightly Cemented Sand", *Can. Geotech. Journal* 32, 166-171.
- Al-Aghbari, MY, Mohamedzein YEA, Taha R, "Stabilization of Desert Sand Using Cement and Cement Dust", *Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Ground Improvement*, 2009, (162), 145-151.
- Park SS, "Unconfined Compressive Strength and Ductility of Fiber- Reinforced Cemented Sand", *Construction and Building Materials* (25), 2011, 1134-1138.
- Porbaha A, Shibuya S, Kishida T, "State- of- the- Art in Deep Mixing Technology", *Geomaterial Characterization, Ground Improvement*, 2000, 4 (3), 91-110.
- Guido VA, Biesiadecki GL, Sullivan, MJ, "Bearing Capacity of a Geotextile Reinforced Foundation", *Proceedings, Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, 1985, 3, 1777-1780.
- Kumar P, Rajkumar R, "Effect of Geotextile on CBR Strength Of unpaved Road with Soft Subgrade", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2012, 17, 1355-1363.
- www.meshiran.com
www.ngp-co.com
www.mazandarancement.com

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of the Effects of Reinforced or Stabilized Coarse Surface Layer on Bearing Capacity of Soft Clays

Mahmood Reza Abdi *, Yousof Asgardun

Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Received: 08 March 2017; Accepted: 07 January 2018

Keywords:

Soft clays, Sand, Stabilization, Cement, Geogrid, Geotextiles.

1. Introduction

Natural soft clay soils due to the lack of sufficient bearing capacity and the high deformation potential require to be improved using either chemical stabilization methods or physical methods such as soil reinforcement or pre-compression. The method used is greatly influenced by technical and the economic considerations as well as the physical characteristics required (Abdi and Zandieh, 2014). Chemical stabilization generally results in increasing the strength and the bearing capacity and reduces the swelling- shrinkage potential of the clayey soil. On the other hand from ancient times humans have used natural fibers to alleviate the weakness of soil in resisting tensile stresses (Abu-Farsakh et al., 2008). Now-a-days due to the technical progress made synthetic materials such as geo-synthetics are used for soil improvement. Use of geo-synthetics such as geogrids and geotextiles have grown rapidly in the construction of soil structures such as embankment dams for reducing the volume of materials needed as well as drainage purposes, increasing bearing capacity in foundation engineering, etc (Alawaji, 2001). These materials are easy to use and environmentally friendly. Coarse grained materials are also employed in construction of reinforced soil structures due to high drainage and shear strength characteristics as well as volume stability due to moisture variations and time (Alawaji, 2001).

2. Methodology

In this study, the effects of reinforced or stabilized coarse surface layer on bearing capacity of soft clay have been evaluated experimentally using CBR equipment as the loading system. In this regard, sand has been used as the coarse surface layer, cement as the stabilizer together with three different geogrids and two different geotextiles as reinforcements. As the effects of geogrids and the geotextiles investigated on bearing capacity and settlement behavior of soft clays, only the results for the samples reinforced with geogrid GG1 and geotextile GT1 that resulted in the most improvement have been presented. Considering the box dimensions of 320×320×350mm used for the preparation of the soft clay samples, geogrid and geotextiles were 290×290mm and positioned in the middle of the sand layer, at the bottom of the sand layer and in both positions at the same time. A circular plate 50mm in diameter and 25mm in thickness was used as the loading surface.

3. Results and discussion

Results of tests conducted on the soft clay and the sand samples which were used as a basis for comparison are shown in Fig. 1. As can be seen, bearing pressure gradually increases with settlement for both soils investigated. Stabilizing the surface sand layer with different percentages of cement resulted in significantly increasing the bearing pressure with settlement as observed in Fig. 2. Effects of reinforcing the sand layer with

* Corresponding Author

E-mail addresses: abdi@kntu.ac.ir (Mahmood Reza Abdi), yousofasgardun@yahoo.com (Yousof Asgardun).

geogrid on bearing pressure- settlement variations of the soft are shown on Fig. 3. Reinforcing the surface sand layer substantially increased the bearing pressure with settlement. Results of the investigations clearly show that employing thin un-stabilized/unreinforced, stabilized and reinforced surface sand layers significantly increases the bearing pressure of the soft clay with settlement. These layers absorb most of the increased stresses and prevent these stresses to be transferred to the soft clay.

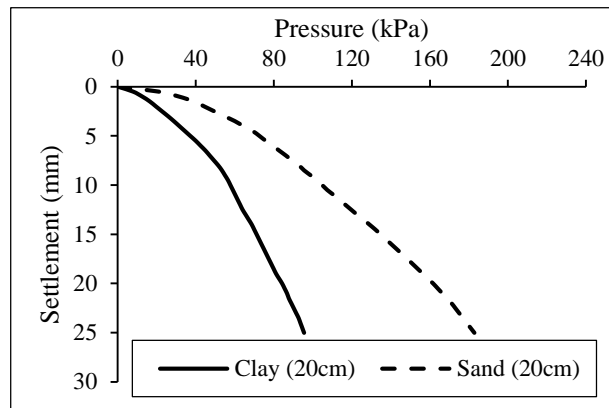


Fig. 1. Pressure- settlement behavior of soft clay and sand

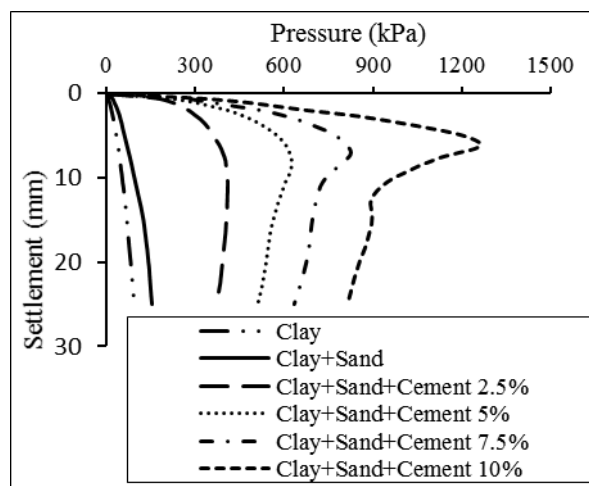


Fig. 2. Pressure- settlement behavior of soft clay + cement stabilized sand layer

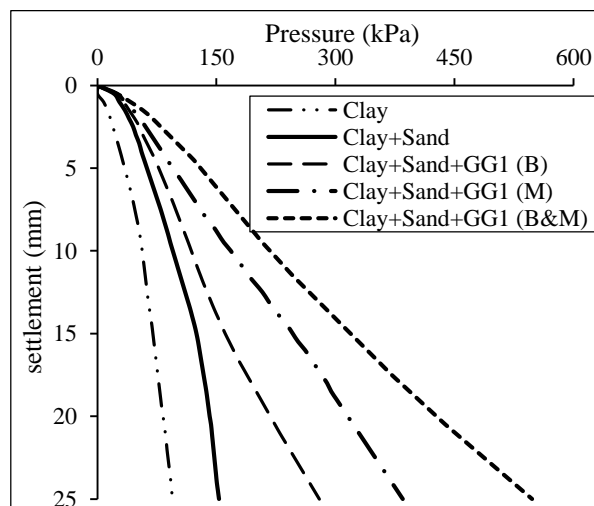


Fig. 3. Pressure- settlement behavior of soft clay + geogrid reinforced sand layer

4. Conclusions

Using untreated or stabilized coarse surface layer enhances the bearing capacity of soft clays and the stabilization effects are enhanced by increasing the cement content. Stabilizing the surface coarse layer changes the shear failure mechanism of the untreated sample to total shear failure. Geosynthetically reinforcing the coarse surface layer resulted in increasing bearing capacity and reducing the settlement potential. In contrast with stabilized samples, the reinforced samples do not display a clear maximum and their bearing capacity showed an increasing trend but at a reduced rate even after experiencing 0.5D settlement.

5. References

- Abdi MR, Zandieh R, "Experimental and numerical analysis of large scale pull out tests conducted on clays reinforced with geogrids encapsulated with coarse material", *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, 42, 494-504.
- Abu-Farsakh M, Chen Q, Sharma R, Zhang X, "Large scale model footing tests on geogrid-reinforced foundations and marginal embankment soils", *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 2008, 31 (5), 413-423.
- Alawaji HA, "Settlement and bearing capacity of geogrid-reinforced sand over collapsible soil", *Geotextiles and Geomembranes*, 2001, 19, 75-88.
- Basudhar PK, Santanu S, Kousik D, "Circular footings resting on geotextile-reinforced sand bed", *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, 25, 377-384.