

تأثیر ژئوگرید دربرگرفته شده با ماسه بر روی پارامترهای مقاومت برشی خاک رس مسلح

محمود رضا عبدی^۱، محمدعلی ارجمند^۲

۱-۲- تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، دانشکده عمران

ABDI@KNTU.ac.ir

خلاصه

بهبود مقاومت ناشی از فراهم نمودن لایه های نازک ماسه در دو طرف ژئوگرید (تکنیک ساندویچی^۳) در داخل خاک رس در این مقاله مطالعه شده است. کمبود اصطکاک کافی بین خاک رس و المانهای مسلح کننده با استفاده از یک لایه نازک ماسه که صفحه ژئوگرید را در بر گرفته^۴، جبران می شود. در این روش نیروی کششی تولید شده در ژئوگرید بوسیله دانه های ماسه به خاک رس انتقال یافته و در نتیجه پارامترهای مقاومتی خاک رس مسلح بهبود می یابند. آزمایش های برش مستقیم مقیاس بزرگ (300x300x200mm) برای بررسی بهبود پارامترهای مقاومتی خاک رس مسلح در روش تکنیک ساندویچی انجام شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش ها به خوبی نشان می دهند که فراهم نمودن یک لایه نازک ماسه با مقاوت بالا در دو طرف مسلح کننده در بهبود مقاومت و شکل پذیری خاک رس بسیار موثر بوده است.

کلید واژه ها: مقاومت برشی، خاک مسلح، ژئوگرید، نیروی کششی، سیستم ساندویچی

مقدمه

خاک مسلح رفتار برتر خود را ناشی از انتقال تنش از خاک به مسلح کننده در سطح تماس کسب می نماید. بنابراین یک اندرکنش مناسب در سطح تماس خاک مسلح کننده سبب بروز چنین رفتاری خواهد بود [۱]. برتری رفتار خاک مسلح نسبت به خاک غیر مسلح بیشتر ناشی از افزایش مقاومت برشی می باشد. افزایش مقاومت برشی خاک مسلح شده با ژئوگرید یکی بدلیل افزایش مدول خاک و دیگری دارا بودن مقاومت کششی بالای مسلح کننده در داخل خاک می باشد. این مسئله حاصل از مقاومت اصطکاکی بین خاک و مسلح کننده و دومی بدلیل تولید مقاومت مقاوم (پاسیو) توسعه یافته در بین المانهای نواری متقاطع مسلح کننده می باشد. هردو مقاومت تولید شده بویژه مقاومت مقاوم بستگی به زاویه اصطکاک داخلی خاک دارد [۲و۳].

در خاک رس مسلح شده، مقاومت سطح تماس پائین بوده و در نتیجه گسیختگی در سطح تماس قبل از رسیدن مقاومت مسلح کننده به حد نهائی به وقوع می پیوندد. بنابراین درصد زیادی از مقاومت مسلح کننده در گسیختگی مورد بهره قرار نمی گیرد [۴]. گسیختگی برشی در سطح تماس ممکن است در اثر تنش های برشی بالا در نزدیکی مسلح کننده اتفاق بیافتد. براساس تجربیات آزمایشگاهی مشاهده شده است که تنش های برشی در اطراف مسلح کننده بالا بوده و بادور شدن از سطح مسلح کننده به سرعت کاهش می یابند [۵]. نتیجتاً وقتی مصالح خاکریز با کیفیت پائین علی الخصوص خاک رس برای سازه خاک مسلح استفاده می شوند، امکان این وجود دارد که یک لایه نازک از مصالح خاک دانه ای با مقاومت بالا در اطراف مسلح کننده برای مقابله با تنش های برشی بالا در نزدیکی مسلح کننده در سطح تماس استفاده گردد. این روش باعث بهبود عملکرد انتقال تنش بدلیل بهتر شدن ویژگی سطح تماس می گردد. طبق مطالعات انجام شده ملاحظه گردیده که ظرفیت کششی ژئوگرید استفاده شده در خاکهای ضعیف که بایک لایه نازک مصالح مرغوب احاطه شده، بهبود یافته است [۶]. این روش اجراء به تکنیک ساندویچی معروف است. براساس آزمایش های آزمایشگاهی انجام شده بر روی دیوارهای حائل در سیستم ساندویچی مشاهده شده که عکس العمل دیوارها بهبود یافته اند [۷]. تحقیقات انجام شده تا به امروز بیشتر برای ارزیابی ویژگی های اندرکنش مسلح کننده

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران

^۲ دانشجوی دکتری مهندسی خاک و پی

^۳ - Sandwich technique

^۴ - Encapsulated Geogrid – Sand System

ها روی خاکهای دانه ای متمرکز یافته بود و این موضوع بدلیل استفاده وسیع مصالح دانه ای به عنوان بکفیل در دیوارهای خاک مسلح و خاکریز بوده است . در این مقاله پارامترهای اندرکنش خاک - ژئوگرید در سیستم ساندویچی مورد مطالعه قرار گرفته است . برای این منظور دستگاه برش مستقیم مقیاس بزرگ اصلاح شده (mm ۳۰۰ × ۳۰۰ × ۲۰۰) استفاده شده است .

برنامه آزمایش

آزمایش های آزمایشگاهی برش مستقیم مقیاس بزرگ بر روی دونوع سیستم مصالح که شامل خاک رس مسلح و غیر مسلح و سیستم ساندویچی انجام یافته است. در سیستم ساندویچی ضخامت لایه ماسه که ژئوگرید را احاطه کرده با ضخامت های متفاوت از ۴ میلی متر تا ۱۴ میلی متر مورد آزمایش قرار گرفته است . از یک نوع ژئوگرید با اندازه چشمه های ۲۵ × ۳۰ میلی متر محصول شرکت Ten Cate Nicolon bv استفاده گردیده است. آزمایش انجام یافته بر روی نمونه های با شش نوع ضخامت ماسه ۴ ، ۶ ، ۸ ، ۱۰ ، ۱۲ و ۱۴ میلی متر در اطراف مسلح کننده برای بررسی تاثیر ضخامت لایه ماسه بر روی تنش برشی انجام گرفته است . کلیه آزمایش ها با تنش های قائم ۲۵ ، ۵۰ ، و ۷۵ کیلو پاسکال انجام یافته است . نمونه ها با درصد رطوبت بهینه وبا وزن مخصوص خشک حداکثر متراکم شده بودند. نرخ کرنش در کلیه آزمایش ها ثابت و برابر ۱ میلی متر بر دقیقه بوده است . آزمایش ها برای بررسی تاثیر لایه ساندویچی در رفتار مقاومت خاک رس مسلح انجام گردید .

مصالح استفاده شده

رس استفاده شده در این تحقیقات کائولن بوده که بصورت تجاری در بازار به فروش می رسد و خصوصیات آن در جدول ۱ آمده است. ماسه استفاده شده در وسط لایه های رس شامل ماسه سیلیسی فیروزکوه بوده که از شرکت تامین ماسه ریخته گری تهیه شده است. از این نوع ماسه بیشتر برای سندبلاست و فیلتراسیون استفاده می گردد. که مشخصات آن در جدول ۲ خلاصه شده است . که دانه بندی آن بین ۰/۷ تا ۴ میلی متر بوده است . خصوصیات خاکهای استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ تا ۲ خلاصه شده است . خاک رس بر اساس طبقه بندی یونیفاید در طبقه غیررگانییک طبقه بندی شده با سمبل MH نشان داده می شود .

جدول ۱ - خصوصیات خاک رس استفاده شده در آزمایش ها

مقدار	شرح
۵۳(٪)	حد روانی
۳۳/۳(٪)	حد خمیری
۱۹/۷(٪)	نشانه خمیری
۲۳/۶(٪)	مقدار درصد رطوبت بهینه (تراکم پروکتور استاندارد)
۱/۵۵(gr/cm ³)	دانشسته خشک حداکثر (تراکم پروکتور استاندارد)
۲۳/۲(kPa)	مقدار مقاومت چسبندگی C (در درصد رطوبت بهینه با تراکم استاندارد)
۱۰°	زاویه اصطکاک داخلی (در درصد رطوبت بهینه با تراکم استاندارد)

جدول ۲ - خصوصیات ماسه استفاده شده در آزمایش ها

مقدار	ویژگی
۰/۴	D ₁₀ (mm)
۱/۳	D ₃₀ (mm)
۲/۵	D ₆₀ (mm)
۶/۲۵	ضریب یکنواختی C _u (D ₆₀ (mm) / D ₁₀ (mm))
۱/۶۹	ضریب انحنای C _c (D ₃₀ ² / D ₆₀ D ₁₀)
۳۳/۷°	زاویه اصطکاک داخلی
۴(٪)	مقدار درصد رطوبت

بر اساس طبقه بندی مذکور ماسه در گروه ماسه خوب دانه بندی شده قرار گرفته که با حرف SW نشان داده می شود. نوع مسلح کننده در این مطالعه بنام MIRAGRID 50/25-30 بوده که توسط شرکت Ten Cate تولید شده که از شرکت مکرر تهیه گردیده است که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است. ویژگی های مقاومت برشی بوسیله آزمایش های برش مستقیم مقیاس بزرگ اصلاح شده (۳۰۰×۳۰۰×۳۰۰mm) بدست آمده است.

جدول ۳- ویژگی مسلح کننده (ژئوگرید) استفاده شده در آزمایش ها

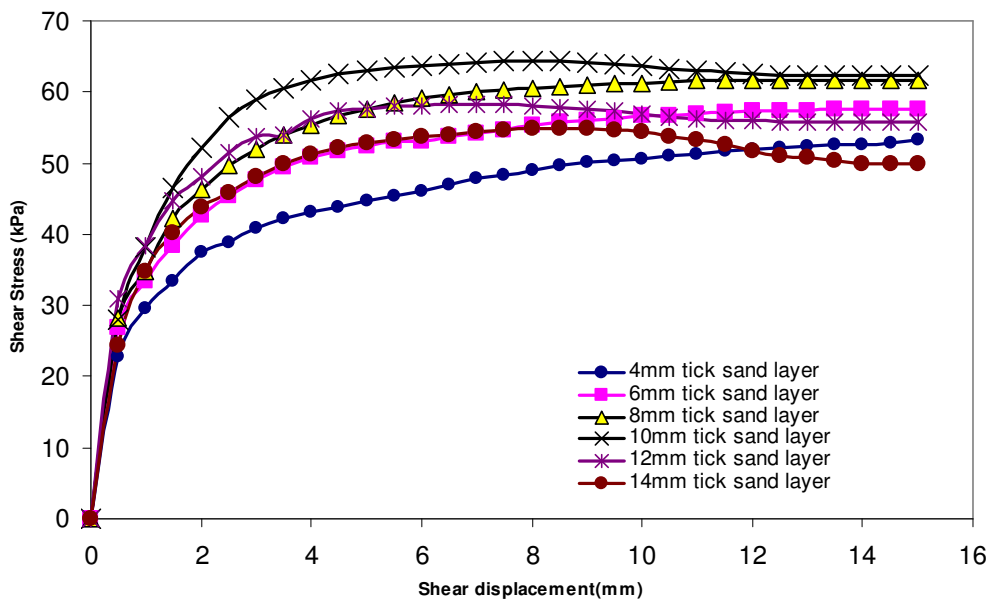
نشان	شرح
PET	مواد خام
PVC	کوئینگ
50(kN/m)	مقاومت کششی نهایی (T _{ult}) در جهت طولی
25(kN/m)	مقاومت کششی نهایی (T _{ult}) در جهت متقاطع
11(%)	کرنش در مقاومت کششی اسمی در جهت طولی

تهیه نمونه ها

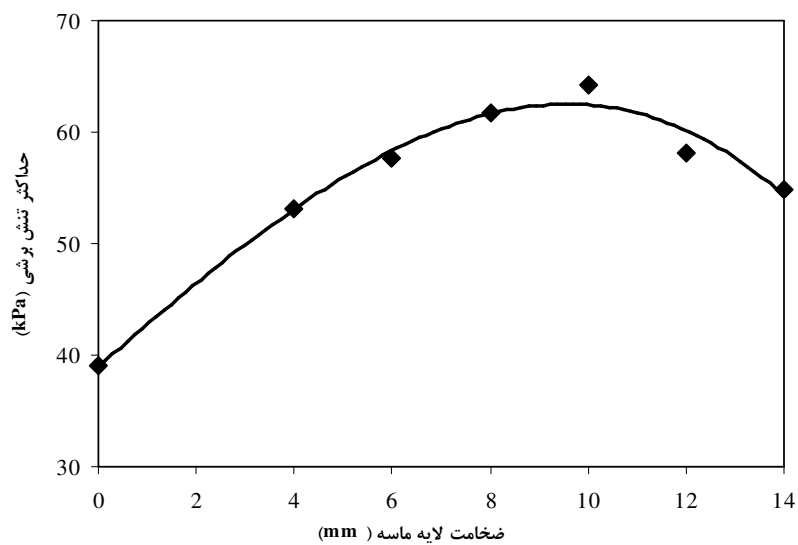
بعد از تعیین مقدار درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک آن نمونه ها بوسیله روش عمل تراکم در سه لایه در جعبه برش دستگاه متراکم می گردیدند. جعبه برش پائین با خاک رس تا حداکثر وزن مخصوص خشک متراکم می شد. ارتفاع خاک رس در جعبه برش پائین برابر ارتفاع جعبه برش منهای نصف ضخامت لایه ماسه می گردید. برای تراکم از چکش مخصوص طراحی شده برای این کار استفاده می شد. سپس نصف ماسه در جعبه برش پائین ریخته و متراکم می شد بدین ترتیب جعبه برش پائین پر می گردید. ژئوگرید در وسط جعبه ها بوسیله کلمپ طراحی شده نصب می شد. بعد از نصب ژئوگرید نصف دیگر ماسه روی آن ریخته شده و پس از تراکم ماسه فضای باقی مانده جعبه بالائی مطابق جعبه پائینی با خاک رس متراکم و پس از بارگذاری آزمایش شروع می شد. مسلماً با حرکت جعبه پائینی ژئوگرید نیز مانند آزمایش کششی کشیده می شد.

نتایج و بحث

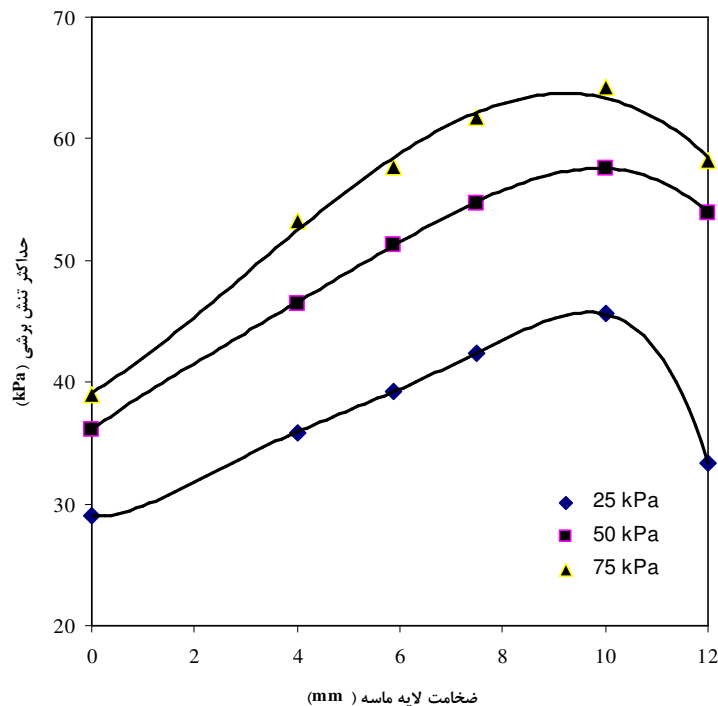
نحوه تهیه نمونه ها و روش انجام آزمایش ها به منظور تکرار پذیری و حصول نتایج یکسان، استاندارد گردیده است [۸]. در روش ساندویچی فراهم نمودن یک لایه نازک ماسه شرایط اتصال خوبی در سطح تماس با ژئوگرید ایجاد می نماید. تنش برشی در خاک با فاصله گرفتن از مسلح کننده به شدت کاهش می یابد در نتیجه تنش برشی کاهش یافته در فاصله کمی از مسلح کننده می تواند به راحتی بوسیله سطح تماس ماسه - رس مقاومت کند. نتایج حاصله از آزمایش های برش مستقیم روی نمونه ها با بکار گیری ضخامت های متفاوت ماسه و ژئوگرید به عنوان مسلح کننده در شکل ۱ نشان داده شده است. از منحنی ها مشاهده می شود که فراهم آوردن لایه ماسه در اطراف مسلح کننده بطور قابل ملاحظه باعث بهبود مقاومت خاک رس می گردد. در خاک رس مسلح گسیختگی از طریق کامل بسیج شدن مقاومت چسبندگی اتفاق می افتد. تنش برشی ماکزیمم تابعی از ضخامت لایه ماسه اطراف مسلح کننده در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲ مشاهده می گردد تنش برشی های ماکزیمم به عنوان تابعی بعد از اینکه ضخامت لایه ماسه به حدود ۱۰ میلی متر میکه مقاومت برشی با افزایش ضخامت لایه ماسه اطاف ژئوگرید بطور فاحشی افزایش می یابد. افزایش تا حداکثر ضخامت ۱۰ میلی متر ادامه یافته و با افزایش بیشتر ضخامت لایه ماسه شروع به کاهش جزئی نهاده است. این رفتار بدان معنی است که با توجه به بافت لایه ماسه، ضخامت و ابعاد چشمه های لایه ژئوگرید، حتماً برای هر شرایط خاص، یک ضخامت بهینه از ماسه وجود خواهد داشت که بیشترین مقاومت برشی را بدست می دهد. با توجه به شکل، مقاومت برشی رس مسلح بدون لایه ماسه ای در حدود ۳۸ kPa تعیین شده که با فراهم نمودن یک لایه ماسه ۱۰ میلی متری، مقاومت برشی به حدود ۶۵ kPa افزایش یافته است. این افزایش ۷۰ درصدی بسیار قابل ملاحظه می باشد. این نتایج به درستی نشان می دهد که فراهم نمودن حتی یک لایه نازک ماسه اطراف مسلح کننده کمک موثری در جهت بهبود رفتار سازه خاک رسی مسلح می نماید. نتایج به روشنی نشان می دهد که مقاومت کل سطح تماس خاک به مسلح کننده حتی با فراهم نمودن یک لایه نازک ماسه بسیج می گردد. حداکثر تنش های برشی گسترش یافته با مقدار ضخامت های متفاوت در شکل ۳ ترسیم شده است. داده ها نشان می دهد، تاثیر مسلح کننده بیشتر در تنش های محدود کننده پائین می باشد. این به این دلیل است که مسلح کننده در تنش های محدود کننده بالا بیشتر از تنش های محدود کننده پائین تحریک می شود. در فشار محدود کننده بالا در ضخامت لایه ماسه ۸ میلی متر حداکثر تنش برشی بطور محسوسی افزایش نمی یابد در حالی که در فشار محدود کننده پائین (۲۵kPa) افزایش حتی تا ضخامت ۱۰ میلی متر نیز ادامه می یابد. این نتایج نشان می دهد که ضخامت بهینه در لایه ساندویچی بستگی به میزان تنش های قائم خاک دارد.



شکل ۱- رابطه تنش برشی - جابجائی برشی با ضخامت های متفاوت مقدار لایه ماسه (تنش نرمال ۷۵ kPa)



شکل ۲ - حداکثر مقاومت رس مسلح نسبت به ضخامت لایه ماسه



شکل ۳ - تغییرات مقاومت برشی رس مسلح نسبت به ضخامت لایه ماسه تحت تنش های قائم متفاوت

نتیجه گیری

بررسی نتایج حاصل از آزمایشهای آزمایشگاهی نشان می‌دهد که استفاده از سیستم ژئوگرید مدفون در ماسه در خاکهای ریز دانه (سیستم ساندویچی) بطور فاحشی باعث افزایش مقاومت برشی می‌گردد. سیستم ژئوگرید مدفون در ماسه بیشتر به زاویه اصطکاک داخلی خاک تاثیر گذار بوده و برای ضریب چسبندگی تاثیر چندانی ندارد.

این سیستم امکان بکارگیری خاکهای ریز دانه در پشت دیوارهای حائل خاک مسلح را در مواردیکه خاکهای درشت دانه در محل موجود نباشد میسر می‌سازد. همچنین از این لایه ها می‌توان به عنوان لایه زهکش در شرایطی که آب به پشت دیوار حایل راه یابد، به منظور جلوگیری از ایجاد فشار هیدرواستاتیک استفاده کرد.

مراجع

1. N. Unnikrishnan, K. Rajagopal, N. R. Krishnaswamy. Behavior of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. *Geotextiles and Geomembrances* 20 (2002) 117-133.
2. Ghiassian.H., Jahannia.M., Influence of Encapsulated Geogrod-Sand System on Bearing Capacity and Settlement Characteristics of Reinforced clay. *International Journal of Civil Engineering*, Volt, 2, No, 1, March 2004.
3. Shin E. C, Das, V. M., Pur, V, K. Cook, E. E., and Yen, S. C. (1993). Bearing capacity of a strip foundation geogrid-reinforced clay. *Geotech. Testing Jour., ASTM*, Volt. 16 No. 4, pp. 534-541
4. Sreekantiah, H.R., Unnikrishnan, N., 1992. Behavior of geotextile under pullout. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference, Calcutta*. pp.215-228.
5. Jewell R.A. and Wroth, C.P. (1987): Direct shear test on reinforced sand. *Geotechnique*. Vol, 37. No, 1 pp. 53-68

6. Milligan, G.W.E., Earl, R.F., Bush, D.I., 1990. Observation of photo elastic pullout tests on geotextiles and grids. *Proceedings of the Fourth International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products, Hague, Vol.2, pp.747–751.*
7. Sridharan, A., Srinivasa Murthy, B.R., Bindumadhava, Revanasiddappa, K., 1991. Technique for using fine-grained soil in reinforced earth. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE 117, 1174–1190.*
8. ASTM, Annual Books of ASTM standards, American society for testing and Materials. *Philadelphia, Pennsylvania, 2005*