



University Of Qom



Laboratory Study of the Effect of Cement Stabilization of the Interface of Reinforcement and Sand on the Interface Shear Strength

Eliar Heidarli¹, Ahad Ouria²

1. Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: eliar.h.1993@gmail.com

2. Corresponding author, Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: aouria@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 23 July 2022
Revised 03 Oct 2022
Accepted 19 Oct 2022

Keywords:
Cement,
Interface,
Thickness,
Geotextile.

ABSTRACT

In this study, the effects of the cement stabilization on the interface of the soil and a geotextile, the thickness of the cement and geotextile layer, and the thickness of the geotextile layer on the interface shear strength have been investigated experimentally. In the experiments, a direct shear device with a cylindrical mold with a diameter of 6 cm was used. The soil used in this study was a poorly graded sand. The geotextile was a woven type. The cement treated reinforcements were papered by application of a thin layer of cement with amounts of 0.016, 0.048, 0.08, and 0.112 gr/cm² on the surface of saturated geotextiles. Geotextiles with different thicknesses were produced by joining several layers of geotextiles using a flexible glue. The interface shear tests have been performed under vertical stresses of 50, 100, and 150 kPa. The results show that adding 0.112 grams/cm² of cement to the interface of the reinforcements can increase the shear strength of the interface of the samples by 50%, but the amount of cement added should not be less than a certain limit. By comparing the results of tests conducted with different thicknesses of reinforcement with different amounts of cement, it can be concluded that increasing both the cement content and the thickness of the reinforcement increases the shear strength of the interface. By increasing the thickness of the reinforcement, the soil grains are integrated into the reinforcing fabric, produce a rough surface, and increase the shear strength at the interface of the soil and the geotextile.

Cite this article: Heidarli, Eliar., & Ouria, Ahad. (2023). Laboratory Study of the Effect of Cement Stabilization of the Interface of Reinforcement and Sand on the Interface Shear Strength. *Civil Infrastructure Researches*, 9(1), 77-89. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8359.1415>





بررسی آزمایشگاهی تأثیر تثبیت سیمانی فصل مشترک مسلح‌کننده و ماسه در مقاومت برشی فصل مشترک

الیار حیدرلی^۱، احد اوریا^۲

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: eliar.h.1993@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aouria@uma.ac.ir

چکیده

فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده پارامتری بسیار تأثیرگذار در تحلیل و طراحی سیستم‌های خاک مسلح می‌باشد، به طوری که با تقویت فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌توان طول مصرفی مسلح‌کننده مورد استفاده را تا حد فراوانی کاهش داد. با توجه به قیمت و سطح دسترسی مناسب به سیمان در ایران، می‌توان از تثبیت سیمانی در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده به‌عنوان روشی مناسب جهت تقویت مشخصات فصل مشترک مسلح‌کننده و خاک نام برد. در این تحقیق، تغییر ضخامت مسلح‌کننده مورد استفاده، تأثیر مقادیر مختلف سیمان افزوده‌شده در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده و همچنین تأثیر تغییر ضخامت مسلح‌کننده به همراه لایه سیمانی به‌صورت آزمایشگاهی با استفاده از آزمایش برش مستقیم در تنش‌های عمودی ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال بررسی شده است. در این آزمایش‌ها مقادیر متفاوت سیمان براساس گرم بر سانتیمترمربع بر فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده اضافه گردید. نمونه‌های مختلفی با ضخامت‌های مختلفی از مسلح‌کننده که با چسباندن مسلح‌کننده‌ها با یکدیگر تشکیل شده بودند، بررسی شد. براساس نتایج آزمایشگاهی، با افزایش ضخامت مسلح‌کننده از ۱/۱۳ میلیمتر به ۵/۶۵ میلیمتری مقاومت برشی خاک مسلح بدون تثبیت سیمان، در حدود ۳۰ درصد افزایش یافته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در مقادیر اولیه سیمان افزوده‌شده به فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده (۰/۱۶ گرم بر سانتیمترمربع)، مشخصات مکانیکی خاک تغییر مشخصی نمی‌کند ولی با افزودن آن به‌اندازه مقادیر بیشتر می‌توان تغییر چشمگیری در مقاومت برشی نمونه‌ها به‌واسطه بهبود زاویه اصطکاک ظاهری بین خاک و مسلح‌کننده مشاهده کرد. قابل ذکر می‌باشد مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در ژئوتکستایل‌های تثبیت‌شده با سیمان در ضخامت‌های مشابه نسبت به ژئوتکستایل‌های بدون تثبیت سیمانی، به‌طور میانگین ۴۶ درصد بیشتر می‌باشد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

کلیدواژه‌ها:

سیمان،
فصل مشترک،
ضخامت،
ژئوتکستایل.

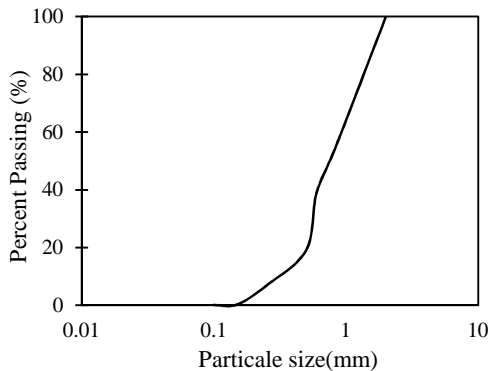
استناد: حیدرلی، الیار؛ و اوریا، احد. (۱۴۰۲). بررسی آزمایشگاهی تأثیر تثبیت سیمانی فصل مشترک مسلح‌کننده و ماسه در مقاومت برشی فصل مشترک. پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی. ۱(۱)، ۷۷-۸۹. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8359.1415>

۱- مقدمه

ناهمگن را ایجاد می‌کنند که با تغییر هر جزئی از این سیستم، مقاومت خاک موردنظر می‌تواند به کلی دستخوش تغییر شود. ضعف در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده سبب افزایش طول مسلح‌کننده مورد استفاده می‌شود که در بسیاری موارد صرفه اقتصادی نداشته و با توجه به اثرات زیست‌محیطی می‌تواند سبب ایجاد مشکلات فراوانی برای محیط پیرامون نیز شود. جهت افزایش مقاومت زمین‌های موردنظر می‌توان از مسلح‌کننده‌های ساخته‌شده به صورت مجوف استفاده کرد، ولی استفاده از این نوع مسلح‌کننده‌ها نیز به دلیل مشکلاتی مخصوص به خود، در بیشتر اوقات به صرفه نبوده و به صورت عمده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند [۷ و ۸]. جهت کاهش طول مهاری در زمین‌های با مقاومت کششی نامناسب، چندین روش پیشنهاد شده است که استفاده از مسلح‌کننده‌ها به صورت قلاب شده یا مهار برگشتی یکی از این موارد می‌باشند، استفاده از مسلح‌کننده به صورت قلاب شده می‌تواند طول مسلح‌کننده مورد استفاده را تا حد مناسبی کاهش دهد. عامل تراکم و تنش قائم اعمالی، از پارامترهای بسیار با اهمیتی می‌باشند که خاک محل موردنظر باید دارا باشند تا عواملی همچون مهار برگشتی یا قلاب بتواند در سیستم مؤثر واقع شود. در صورت استفاده از این المان‌ها در خاک‌های سست، بهره‌وری مناسبی از این المان‌ها در سیستم مشاهده نمی‌شود [۹ و ۱۰]. رفتار مکانیکی خاک و مسلح‌کننده تابع زبری و اندازه دانه‌های خاک در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌باشد [۱۱-۱۳]. تقویت کردن فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده از روش‌های مؤثری می‌باشد که تحقیقات بسیاری بر روی آن انجام شده و در حال حاضر نیز انجام می‌شود، استفاده از رزین و اپوکسی یکی از این روش‌ها می‌باشد که در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده جهت تقویت مشخصات مکانیکی مسلح‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. سیمان به دلیل افزایش مقاومت کششی، بهبود مدول الاستیسیته و ظرفیت باربری خاک از جمله مصالح ساختمانی می‌باشد که به صورت گسترده‌ای در ساخت‌وساز مورد استفاده قرار

وجود زیرساخت‌های مناسب عمرانی برای پیشرفت و شکوفایی هر جامعه‌ای امری ضروری و بنیادین می‌باشد. امروزه به دلیل رشد روزافزون مناطق شهری، گردشگری و صنعتی نیاز به انواع زیرساخت‌های مهندسی از جمله راه‌ها، تونل‌ها و پل‌ها به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است. در بسیاری از پروژه به دلیل عدم دسترسی به زمین مطلوب از لحاظ مقاومتی، روش‌های گوناگونی جهت افزایش مقاومت خاک محل موردنظر ابداع و توسعه یافته‌اند، که دو روش مکانیکی و تثبیت شیمیایی از مهم‌ترین روش‌های افزایشی و اصلاح مقاومتی خاک می‌باشد. در روش‌های شیمیایی از انواع مواد شیمیایی همچون سیمان‌ها، پوزولان‌ها و سایر افزودنی‌ها استفاده می‌شود و در تثبیت فیزیکی عموماً المان‌هایی مانند تسمه‌های فولادی، الیاف‌های طبیعی یا مصنوعی و نوارهای ژئوسنتتیکی در محیط خاکی قرار داده می‌شوند. افزودن هریک از المان‌های سازه‌ای به صورت بهینه و مناسب، سبب افزایش تنش محصورکنندگی در بین ذرات خاک شده و در نتیجه، سبب افزایش مقاومت برشی خاک موردنظر می‌شود. در ایران استفاده از سیستم تسلیح به هزاران سال پیش برمی‌گردد زمانی که مردم جهت افزایش مقاومت زمین‌های موردنظر خود، از کاه به عنوان مسلح‌کننده استفاده می‌کردند [۱-۵]. مقاومت برشی خاک‌ها و مصالح دانه‌ای از نیروهای اصطکاک بین ذرات حاصل می‌شود. به همین علت، مقاومت برشی مصالح دانه‌ای تحت تأثیر عواملی چون زاویه اصطکاک داخلی بین دانه‌ها، شکل ذرات و تنش اعمال‌شده می‌باشد [۶]. پایداری سیستم خاک مسلح در گروه سه عامل گسیختگی کششی مسلح‌کننده، گسیختگی برشی خاک و لغزش بین مسلح‌کننده و خاک می‌باشد که نامناسب بودن هریک از این عوامل، پایداری سیستم خاک مسلح را دچار ضعف کرده و می‌تواند به گسیختگی کل سیستم منجر شود. خاک مسلح شده با المان‌های سازه‌ای نوعی سیستم

می‌باشد [۲۵]. نمودار دانه‌بندی خاک مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات ماسه استفاده شده نیز که براساس استانداردهای ASTM تعیین گردیده است در جدول ۱ آورده شده است [۲۶-۲۸].



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی خاک مورد استفاده

۲-۲- ژئوتکستایل

مسلح‌کننده مورد استفاده در این پژوهش از نوع ژئوتکستایل بافته شده می‌باشد. این ژئوتکستایل دارای بافت بسیار متراکم با تعداد الیاف ۲۰ رشته در هر سانتیمتر با قطر اسمی حدود ۰/۵ میلی‌متر بوده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک مصرفی

پارامتر	مقدار	استاندارد
D ₁₀ (mm)	۰/۳	ASTM D 2487
D ₃₀ (mm)	۰/۵۳	ASTM D 2487
D ₆₀ (mm)	۰/۹۲	ASTM D 2487
C _u	۳/۰۶۷	ASTM D 2487
C _c	۱/۰۱۷	ASTM D 2487
ω	٪۲	ASTM D 2216
φ	۳۵°	ASTM D 3080
γ	۱۶/۱ KN/m ³	ASTM C 127
e	۰/۶۱	ASTM C 127
e _{min}	۰/۵۵	ASTM C 127

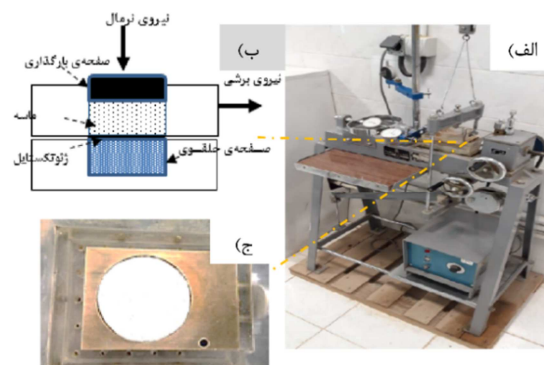
مدول الاستیک و ظرفیت باربری محوری براساس استاندارد ASTM D4595-11 در آزمایشگاه تعیین گردیده است [۲۹]. ویژگی‌های ژئوتکستایل مورد استفاده در این آزمایش‌ها در جدول ۲، نشان داده شده است [۲۹ و ۳۰].

می‌گیرد [۱۵-۲۲]. رطوبت و وزن مخصوص خشک خاک تقویت‌شده با ژئوتکستایل، تأثیر مستقیمی در سازوکار خاک و مسلح‌کننده دارد، به‌صورتی که تغییرات این پارامترها می‌تواند اصطکاک بین دانه‌های خاک و مسلح‌کننده را تغییر دهد [۲۳]. براساس تحقیق انجام‌شده، نتایج حاصل‌شده از آزمایش برش مستقیم در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده با نتایج به‌دست آمده از مسائل عملی مطابقت مناسبی داشته و می‌توان تا حد زیادی به این نتایج اطمینان داشت [۲۴]. استفاده از انواع الیاف‌ها و نوارهای ژئوسنتتیکی به‌عنوان مسلح‌کننده اگرچه هزینه بسیار بالایی نسبت به پروژه را دارا نیستند ولی حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی مورد نیاز جهت به‌کارگیری این مسلح‌کننده‌ها در چندین لایه و طول‌های زیاد، سبب افزایش هزینه استفاده از این نوع مصالح شده است که در بعضی موارد حتی استفاده از این مسلح‌کننده‌ها را در پروژه موردنظر تبدیل به امری کاملاً غیراقتصادی و غیرعملی کرده است. در این تحقیق، تأثیر تثبیت سیمانی فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در مقاومت برشی نمونه مسلح شده با ژئوتکستایل جهت کاهش طول مسلح‌کننده مورد استفاده به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، نوارهای ژئوتکستایل با ضخامت‌های متفاوت با وزن‌های مختلف سیمان ترکیب شده و در تنش‌های عمودی مشخصی مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا تأثیر مقادیر مختلف افزودنی سیمان در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده و همچنین ضخامت مسلح‌کننده تثبیت‌شده با سیمان در مقاومت برشی نمونه‌های خاکی مسلح، مشخص شود.

۲- مواد و روش‌ها

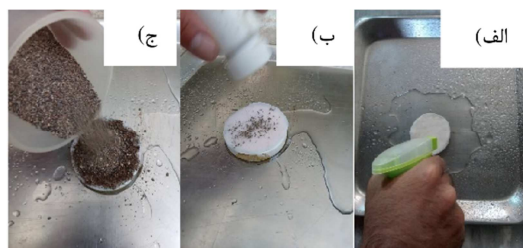
۲-۱- ماسه

ماسه مورد استفاده در این تحقیق، مطابق بر طبقه‌بندی سیستم متحد، ماسه بد دانه‌بندی شده (SP)



شکل ۲- سیستم مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها، (الف) دستگاه برش مورد استفاده، (ب) شکل شماتیک جعبه برش، مسلح‌کننده و صفحه سخت مورد استفاده و (ج) صفحه برش مورد استفاده

در ادامه سعی گردید، روند تهیه نمونه‌های مورد آزمایش مطابق با روش اوریا و محمودی باشد [۲۰]. برای تهیه نمونه‌ها، ماسه به صورت بارشی در جعبه برش قرار داده شده است. وزن مخصوص نمونه‌ها در این شرایط حدود ۱۶/۱ کیلونیوتن بر مترمکعب بوده است. نمونه‌ها قبل از اعمال تنش قائم، متراکم نشده‌اند تا همه نمونه‌ها از یک شرایط عادی تحکیمی یکسان شروع به بارگذاری گردند. در شکل ۳، نحوه تهیه نمونه‌ها نشان داده شده است. در سری اول آزمایشات، تأثیر افزایش ضخامت مسلح‌کننده در مقاومت برشی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- مراحل ایجاد لایه سیمانی، (الف) اشباع کردن مسلح‌کننده، (ب) پاشیدن سیمان و (ج) افزودن ماسه

در سری دوم آزمایش‌ها، تأثیر مقادیر مختلف سیمان افزوده شده بر فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده و در آخر، تأثیر ضخامت‌های مختلف لایه مسلح‌کننده تثبیت شده با مقدار ثابتی از سیمان (۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع)، مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت بررسی تأثیر مقدار سیمان افزوده شده بر فصل مشترک خاک و

جدول ۲- خصوصیات ژئوتکستایل مصرفی

پارامتر	مقدار	استاندارد
Axial load capacity (kN/m)	۹/۳۶	ASTM D4595
Extension at failure (%)	۴/۲	ASTM D4595
Elastic modulus (kN/m ²)	۱۸۵	ASTM D4595
Unit mass (kN/m ²)	۰/۳	ASTM D5261

۲-۳- سیمان

سیمان مورد استفاده، سیمان پرتلند معمولی نوع ۱ تولیدشده در کارخانه سیمان اردبیل بوده است.

۲-۴- تهیه نمونه‌ها و انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق، جهت انجام آزمایش‌ها از دستگاه برش مستقیم با قالب دایره‌ای به قطر ۶ سانتیمتر استفاده شده است. قسمت تحتانی قالب برش، توسط صفحه سختی با قطر ۶ و ضخامت ۱ سانتیمتر که مسلح‌کننده به وسیله چسب انعطاف پذیر به آن متصل شده، پر گردیده است. براساس تحقیقات انجام گرفته توسط محققان، جهت انجام آزمایش‌ها، صفحه برش به نحوی قرار داده شده است که مسلح‌کننده کاملاً در صفحه برش قرار گرفته و برش بر روی آن انجام شود. قابل ذکر می‌باشد که جهت بررسی تغییر ضخامت مسلح‌کننده بدون تثبیت و تثبیت شده با سیمان، ضخامت صفحه سختی که مسلح‌کننده بر روی آن چسبانده شده، متغیر می‌باشد و با افزایش تعداد لایه‌ها یا ضخامت مسلح‌کننده، ضخامت این صفحه سخت کاهش یافته است تا در حالت‌های مختلف آزمایش، صفحه برش دقیقاً از روی مسلح‌کننده عبور کند [۱۴ و ۳۱]. در شکل ۲، دستگاه برش مورد استفاده و مسلح‌کننده قرار داده شده بر روی قالب آزمایش، نشان داده شده است. جهت آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش، ابتدا نوارهای مسلح‌کننده در ابعاد مورد نظر برش داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفته است تا به صورت کامل به حالت اشباع برسد. بعد از پاشیدن مقادیر مختلف سیمان بر روی نوارهای ژئوتکستایل اشباع، مقدار یکسان ماسه برای تمام نمونه‌ها پخش گردید.

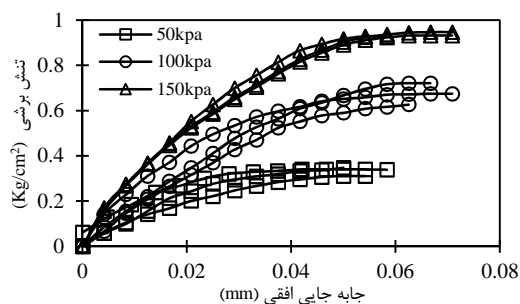
۵/۵۹ میلیمتری از ژئوتکستایل سیمانی مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج

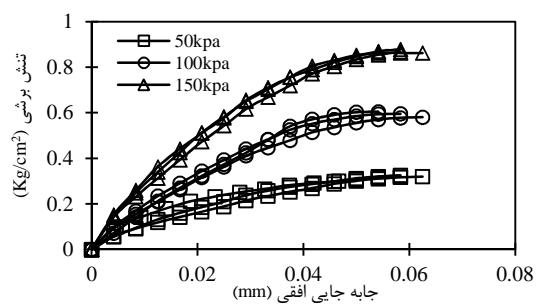
۳-۱- تأثیر ضخامت ژئوتکستایل در مقاومت برشی فصل مشترک

در شکل ۴، نتایج آزمایش‌ها انجام شده بر روی حالت‌های بدون مسلح‌کننده (به صورت ضخامت ژئوتکستایل صفر میلیمتری آورده شده است) و ژئوتکستایل تک، دو، سه، چهار و پنج لایه غیرسیمانی با ضخامت‌های ۱/۱۳، ۲/۲۶، ۳/۳۹، ۴/۵۲ و ۵/۶۵ میلیمتری تحت تنش قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل قابل مشاهده می‌باشد، حداکثر تنش قابل تحمل نمونه‌ها قبل از گسیختگی در آزمایش برش مستقیم برای ضخامت پنج لایه بوده و در حدود ۱/۲۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد.

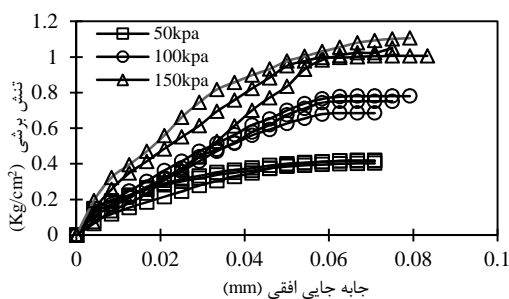
مسلح‌کننده، بر روی لایه ژئوتکستایل با ضخامت ۱/۱۳ میلیمتری مقادیر ۰/۱۶، ۰/۴۸، ۰/۰۸ و ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمتر مربع سیمان در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده افزوده شد. آزمایش‌های برش مستقیم انجام شده در تنش‌های قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلو پاسکال به صورت کرنش کنترل شده و با نرخ برش ۱ میلیمتر بر دقیقه براساس استاندارد ASTM D5321-14، انجام گرفت [۳۲]. پارامترهای مقاومت برشی شامل چسبندگی و زاویه اصطکاک ظاهری بین خاک و مسلح‌کننده براساس معیار گسیختگی موهر- کولمب بیان شده است. تشکیل لایه سیمانی بر روی نوارهای ژئوتکستایل سبب تغییر در ضخامت نوارها شد. به همین علت، علاوه بر ضخامت ۱/۱۳ میلیمتری از ژئوتکستایل، جهت بررسی تغییر ضخامت در مقاومت برشی خاک، آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ها در حالت بدون تثبیت سیمانی در ضخامت‌های ۱/۱۳، ۲/۲۶، ۳/۳۹، ۴/۵۲ میلیمتری ژئوتکستایل و در حالت فصل مشترک تثبیت شده با سیمان ضخامت‌های ۲/۲، ۳/۳۳، ۴/۴۶ و



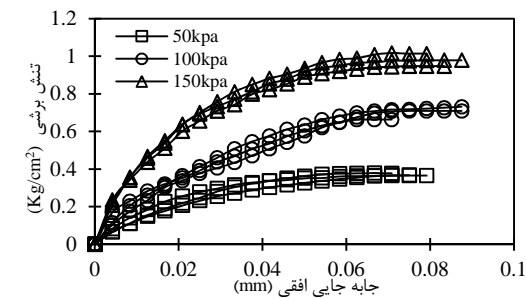
(ب)



(الف)



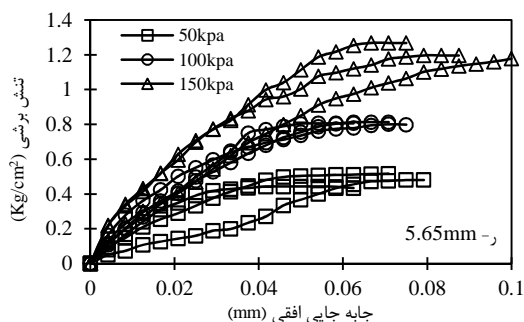
(ت)



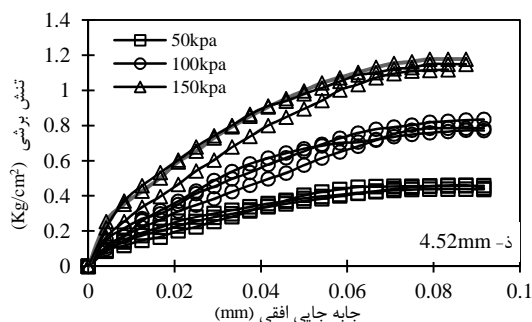
(پ)

شکل ۴- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی ژئوتکستایل‌های با ضخامت‌های مختلف، (الف) صفر، (ب) ۱/۱۳، (پ) ۲/۲۶، (ت)

۳/۳۹، (ث) ۴/۵۲ و (ج) ۵/۶۵ میلیمتر



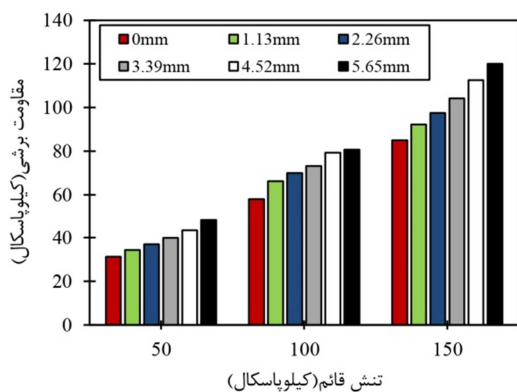
(ج)



(ث)

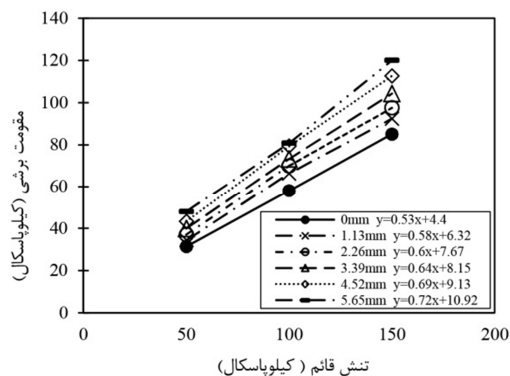
شکل ۴- ادامه

افزایش ضخامت مسلح کننده مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح کننده نیز افزایش می یابد. میزان افزایش مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح کننده با افزایش ضخامت از ۱/۱۳ میلیمتری به ۲/۲۶، ۳/۳۹، ۴/۵۲ و ۵/۶۵ میلیمتری به ترتیب به طور میانگین در حدود ۶، ۱۳، ۲۲، ۳۰ درصدی را نشان می دهد، به طوری که بیشترین افزایش مقاومت در ضخامت ۵/۶۵ میلیمتری از مسلح کننده در تنش ۵۰ کیلوپاسکال در حدود ۴۰ درصد می باشد. با توجه به پارامترهای گسیختگی موهر- کولمب فصل مشترک خاک و مسلح کننده اشاره شده در شکل ۵، زاویه اصطکاک و چسبندگی ظاهری بین خاک و مسلح کننده با افزایش ضخامت مسلح کننده از ۱/۱۳ میلیمتر به ۵/۶۵ میلیمتر به ترتیب در حدود ۶ درجه و ۴ کیلوپاسکال افزایش یافته است که نشان می دهد هم زاویه اصطکاک و هم چسبندگی ظاهری در فصل مشترک خاک و مسلح کننده با افزایش ضخامت مسلح کننده افزایش یافته است.



شکل ۶- تغییرات تنش برشی فصل مشترک خاک و مسلح کننده در ضخامت های مختلف مسلح کننده

تمامی آزمایش ها حداقل ۳ بار تکرار گردیده و سعی شده روند انجام تمامی آزمایش ها یکسان باشند تا بتوان به صورت مناسب با یکدیگر مقایسه کرد. ضخامت های متفاوت ژئوتکستایل براساس ASTM D5199-12 مشخص گردیده است [۳۳]. با استفاده از چسب انعطاف پذیر لایه های مختلف ژئوتکستایل به یکدیگر متصل شدند تا بتوان به ضخامت های مختلفی از مسلح کننده دسترسی داشت. پوش گسیختگی موهر- کولمب فصل مشترک خاک و مسلح کننده برای ضخامت های مختلف ژئوتکستایل در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- پوش گسیختگی موهر- کولمب برای فصل مشترک خاک و مسلح کننده در ضخامت های مختلف ژئوتکستایل

در شکل ۶، مقاومت تحمل شده توسط سیستم در ضخامت های مختلف مسلح کننده نشان داده شده است. با توجه به نمودار پوش گسیختگی اشاره شده در شکل ۵ و نمودار مقاومت برشی در ضخامت شکل ۶، می توان اشاره کرد که مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح کننده تابعی از ضخامت مسلح کننده می باشد، به طوری که با

مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌تواند سبب تغییر در مقاومت برشی نهایی خاک مسلح شود. جهت بررسی تأثیر مقدار سیمان مورد استفاده در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده، به سطح ژئوتکستایل تک‌لایه به ضخامت ۱/۱۳ میلیمتری، به ترتیب ۰/۰۱۶، ۰/۰۴۸، ۰/۰۸ و ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع سیمان اضافه شد، فصل مشترک نمونه‌های تثبیت‌شده با مقادیر مختلف سیمان، در تنش‌های قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده از این بررسی در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به شکل ۷، مقاومت برشی فصل مشترک میانگین نمونه‌ها با افزودن مقادیر ۰/۰۱۶، ۰/۰۴۸، ۰/۰۸ و ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع سیمان در سطح مشترک خاک و مسلح‌کننده به ترتیب در حدود ۰/۰۷، ۱۱، ۳۰ و ۵۸ درصد نسبت به نمونه‌های بدون سیمانی افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین بهبود مقاومت برشی در نمونه خاکی مسلح با ژئوتکستایل در حالت ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع سیمان اضافه‌شده به سطح مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌باشد که در تنش ۵۰ کیلوپاسکال در حدود ۶۷ درصد به‌دست آمده است.

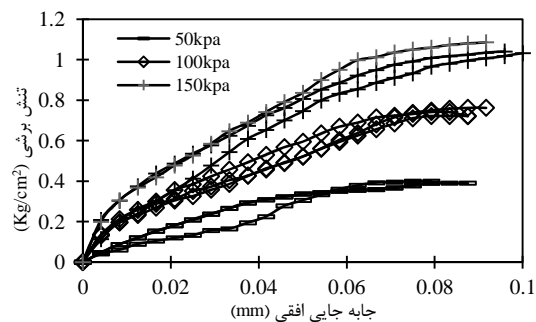
در شکل ۸، نمودار پوش گسیختگی در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده، در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب مقاومت برشی و پارامترهای مقاومتی (چسبندگی و زاویه اصطکاک) فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده را تابعی از مقدار سیمان افزوده‌شده بر فصل مشترک ژئوتکستایل و خاک آورده شده است.

با توجه به پارامترهای موهر- کولمب اشاره شده در شکل ۸ و تغییرات پارامترهای تنش برشی قابل‌تحمل توسط سیستم (شکل ۹ و ۱۰)، می‌توان اشاره کرد که افزودن سیمان به مقدار ۰/۰۱۶ گرم بر سانتیمترمربع در مقاومت برشی نمونه‌ها تغییر چندانی ایجاد نکرد، ولی با افزودن مقدار سیمان به مقادیر بیشتر ۰/۰۴۸ گرم بر سانتیمترمربع، مقاومت برشی سیستم افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده است.

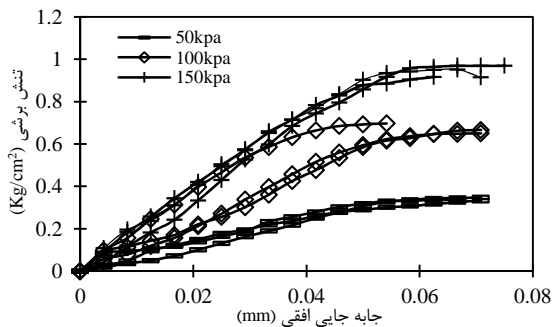
براساس نتایج آزمایش چنین به نظر می‌رسد زمانی که ضخامت مسلح‌کننده به حد کافی نباشد، اندرکنش بین ذرات خاک و سطح مسلح‌کننده مقدار کمی خواهد بود؛ زیرا در سطح مسلح‌کننده گنجایشی جهت درگیری بین ذرات خاک و مسلح‌کننده نمی‌باشد و در نتیجه ذرات خاک با وارد شدن نیرویی با حتی سطحی کم، مقاومت چندانی را از خود نشان نداده و به راحتی از روی مسلح‌کننده و یکدیگر حرکت می‌کنند. با افزایش ضخامت مسلح‌کننده، ذرات خاک در درون بافت مسلح‌کننده فرو رفته و قفل و بست بیشتری در سیستم حاکم می‌شود، تشکیل این سازوکار سبب ایجاد اندرکنش مناسب‌تری در بین ذرات خاک با یکدیگر و مسلح‌کننده می‌شود که در نتیجه این سازوکار مقاومت برشی سیستم افزایش می‌یابد. به طوری که تنش برشی با ایجاد اولین ضخامت مسلح‌کننده (۱/۱۳ میلیمتری) نسبت به حالت بدون مسلح‌کننده (صفر میلیمتری) به ترتیب در تنش‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال ۹، ۱۴ و ۸ درصد بهبود می‌یابد.

۳-۲- تأثیر مقادیر مختلف سیمان در تثبیت فصل مشترک خاک و ژئوتکستایل

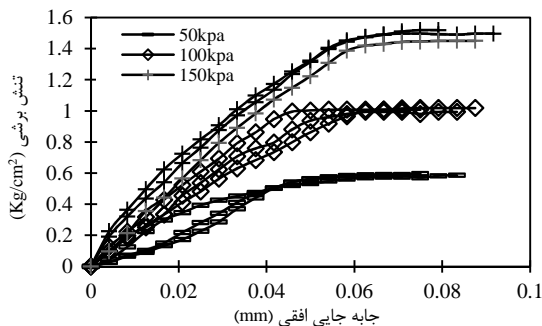
سیمان به دلیل تأثیر مطلوبی که در افزایش مقاومت برشی و مدول الاستیسیته خاک دارد در طیف وسیعی از موارد در صنعت ساخت‌وساز به کار گرفته می‌شود [۳۴]. با استفاده از افزایش اندرکنش بین دانه‌های خاک با یکدیگر و سطح مسلح‌کننده می‌توان مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده را تا حدود زیادی بهبود بخشید. سیمانته کردن سطح مسلح‌کننده با توجه به دسترسی مناسب در ایران به واسطه تغییراتی که در سطح مسلح‌کننده سبب می‌شود یکی از روش‌های مؤثر جهت افزایش درگیری بین دانه‌های خاک و مسلح‌کننده جهت کاهش طول مسلح‌کننده مورد استفاده می‌باشد. مقدار سیمان مورد استفاده در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌تواند پارامتری پراهمیت باشد، زیرا میزان مصرف آن در فصل



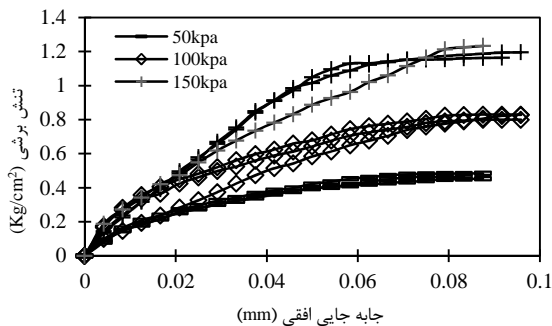
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

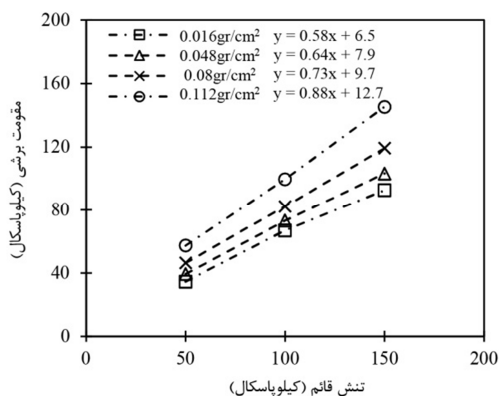
شکل ۷- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی ژئوتکستایل‌های تثبیت شده با مقادیر سیمان (الف) ۰/۱۶، (ب) ۰/۰۴۸، (پ) ۰/۰۸ و (ت) ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع

در تحقیق انجام شده توسط عبادی و همکاران، نیز نشان داده شده است که افزودن کمتر از درصدی مشخص سیمان، پارامترهای مقاومتی خاک و مسلح کننده را بهبود نمی بخشد [۳۵]. قابل ذکر می باشد که در این تحقیق، کل خاک مورد استفاده تثبیت سیمانی شده است؛ در حالی که در پژوهش حاضر، مقادیر مختلف سیمان به تنهایی به سطح مسلح کننده اضافه گردیده و تأثیر تغییرات مقادیر مختلف آن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

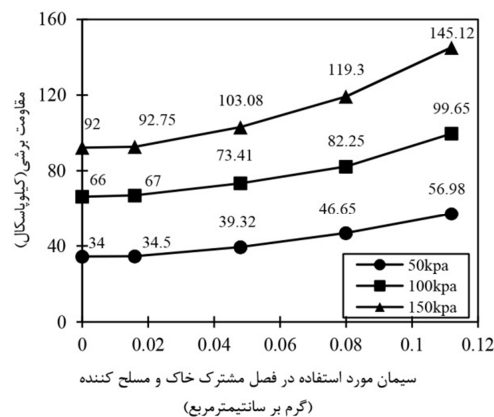
۳-۳- تأثیر ضخامت لایه ژئوتکستایل و سیمان در مقاومت برشی خاک

جهت بررسی تغییر ضخامت لایه ژئوتکستایلی و لایه سیمانی آزمایش‌های برش مستقیم بر روی فصل مشترک خاک و مسلح کننده در تنش‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکالی انجام شدند. در تمامی آزمایش‌ها مقدار سیمان مورد استفاده برابر با ۰/۱۱۲ گرم بر سانتیمترمربع بوده است.

با توجه به نتایج شکل ۱۱ می توان نتیجه گرفت که

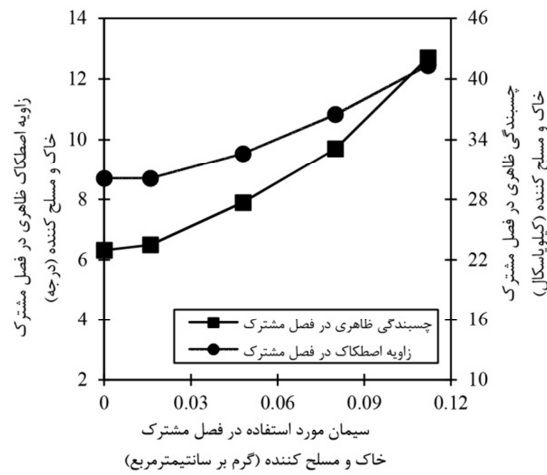


شکل ۸- پوش گسیختگی موهر- کولمب در فصل مشترک خاک و مسلح کننده در مقادیر مختلف سیمان مورد استفاده



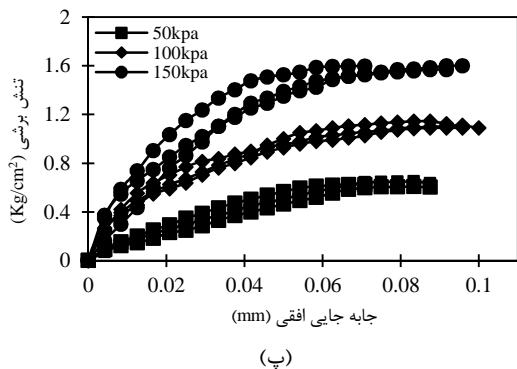
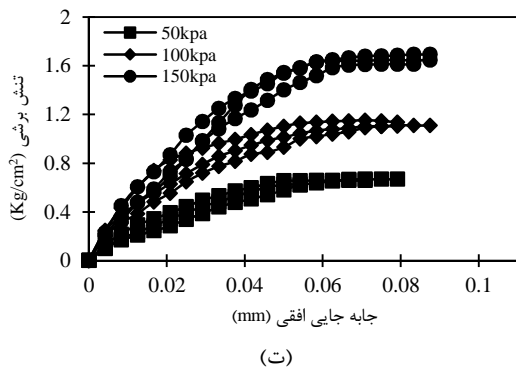
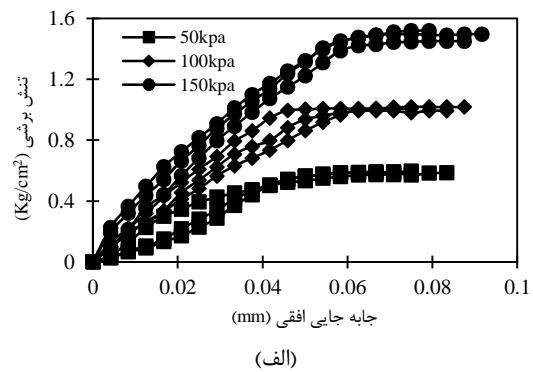
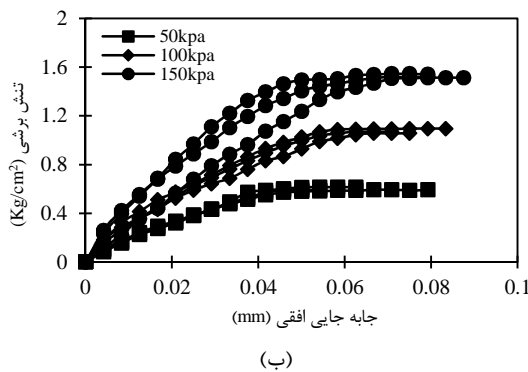
شکل ۹- تغییرات تنش برشی- مقدار سیمان استفاده شده

لایه‌های مسلح‌کننده به چهار لایه (ضخامت ۵/۵۹ میلیمتر) در حدود ۳ درجه و چسبندگی آن نیز در حدود ۲/۵ کیلوپاسکال افزایش یافته است.



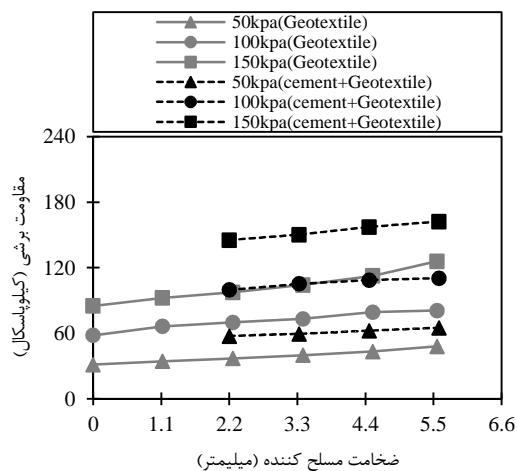
شکل ۱۰- نمودار تغییرات چسبندگی و زاویه اصطکاک ظاهری در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در حالت‌های مقادیر مختلف سیمان افزوده‌شده

استفاده از لایه سیمانی در هریک از ضخامت‌های مسلح‌کننده مورد استفاده سبب افزایش قابل‌توجهی در مقاومت برشی نمونه می‌شود. افزایش مقاومت برشی در تنش‌های قائم ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال در ۵/۵۹ میلیمتری از مسلح‌کننده به ترتیب در حدود ۶۰، ۹۰ و ۷۵ درصد می‌باشد. نمودار و مقادیر پارامترهای موهر-کولمب برای فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در ضخامت‌های مختلف ژئوتکستایل سیمانته شده در شکل ۱۲ آورده شده است. با توجه به شکل ۱۲، می‌توان نتیجه گرفت افزایش ضخامت لایه ژئوتکستایل و سیمانی به دلیل افزایش چسبندگی و زاویه اصطکاک ظاهری بین خاک و مسلح‌کننده سبب بهبود در مقاومت برشی خاک مسلح می‌شود، به طوری که زاویه اصطکاک ظاهری بین خاک و مسلح‌کننده نمونه مسلح تک لایه به همراه تثبیت سیمانی (با ضخامت ۲/۲ میلیمتر) با افزایش تعداد



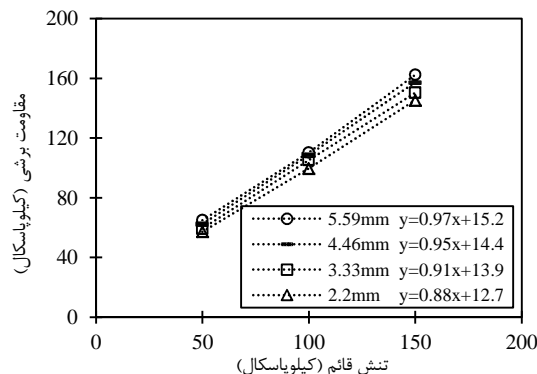
شکل ۱۱- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی ژئوتکستایل‌های با ضخامت‌های مختلف ژئوتکستایل سیمانته شده، (الف) ۲/۲، (ب) ۳/۳، (پ) ۴/۴ و (ت) ۵/۵۹ میلیمتر

مسلح‌کننده و هم زاویه اصطکاک ظاهری موجود در فصل مشترک بهبود می‌یابد، به طوری که با افزایش ضخامت سیمانته و ژئوتکستایل به ۵/۵۹ میلیمتری زاویه اصطکاک ظاهری و چسبندگی در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده تا ۴۷ و ۲۴۵ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳- مقاومت برشی نمونه‌های مسلح در حالت سیمانی و بدون سیمان در ضخامت‌های متفاوت از مسلح‌کننده

همان‌گونه که در شکل ۱۳ قابل مشاهده می‌باشد مقاومت برشی حداکثر لایه ژئوتکستایل و سیمانی، در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال در ضخامت‌های ۲/۲، ۳/۳۳، ۴/۴۶ و ۵/۵۹ میلیمتری به ترتیب برابر با ۱۴۵، ۱۵۰، ۱۵۷ و ۱۶۲/۳۲ کیلوپاسکال می‌باشد. با توجه به اینکه افزایش ضخامت در تمامی نمونه‌های غیرسیمانی باعث افزایش مقاومت برشی فصل مشترک شده، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزودن سیمان به دو علت باعث افزایش مقاومت برشی فصل مشترک شده است. ایجاد لایه سیمانی باعث افزایش ضخامت ژئوتکستایل شده که افزایش مقاومت را در پی داشته است. همچنین چسبیدن سیمان به سطح ژئوتکستایل باعث ایجاد سطح زبر در روی آن شده که آن نیز مقاومت برشی در فصل مشترک نمونه‌ها را بهبود بخشیده است. با توجه به دلایل اشاره شده می‌توان مقاومت برشی حداکثر به دست آمده برای ضخامت‌های مختلف مسلح‌کننده سیمانته شده را بین دلایل ذکر شده تقسیم‌بندی کرد.



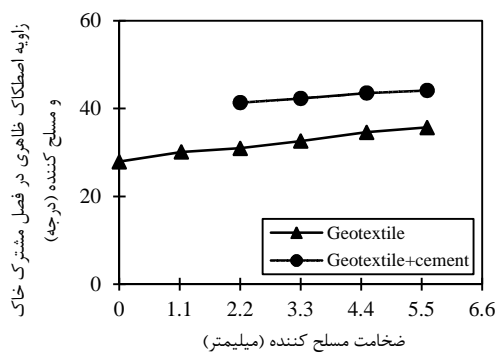
شکل ۱۲- پوش گسیختگی موهر کولمب برای فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در ضخامت‌های مختلف ژئوتکستایل سیمانته شده

۴- بحث

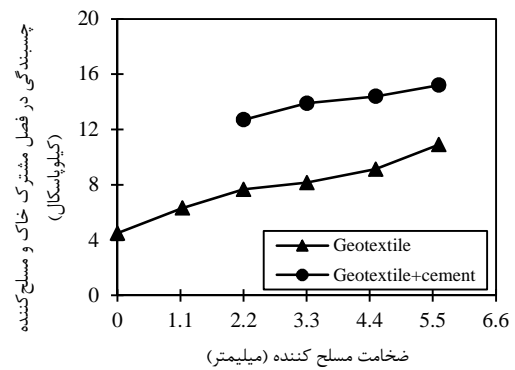
مقاومت برشی به دست آمده در ضخامت‌های مختلف مسلح‌کننده سیمانته و بدون تثبیت سیمانی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار می‌توان نتیجه گرفت مقاومت برشی نمونه‌ها در حالت سیمانته شده در فصل مشترک و بدون تثبیت با افزایش ضخامت مسلح‌کننده افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۴ و ۱۵ پارامترهای موهر- کولمب (چسبندگی و زاویه اصطکاک ظاهری) در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده در ضخامت‌های متفاوت از مسلح‌کننده در تنش‌های عمودی ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکالی (با ضخامت‌های ایجاد شده به دلیل افزودن سیمان و افزودن تعداد لایه‌های ژئوتکستایل به سطح مسلح‌کننده و ضخامت‌های متفاوت مسلح‌کننده بدون سیمان که با اتصال لایه‌های مختلف مسلح‌کننده تشکیل شده) نشان داده شده است.

با توجه به نمودارهای شکل ۱۴ و ۱۵ می‌توان اشاره کرد که با افزایش هر لایه بر ضخامت مسلح‌کننده، به صورت متوسط زاویه اصطکاک و چسبندگی در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده، ۵ و ۱۲ درصد افزایش یافته است. افزودن سیمان به سطح مسلح‌کننده در هر ضخامتی از لایه تسلیح سبب افزایش مقاومت برشی نمونه‌ها می‌شود، زیرا هم چسبندگی موجود بین خاک و

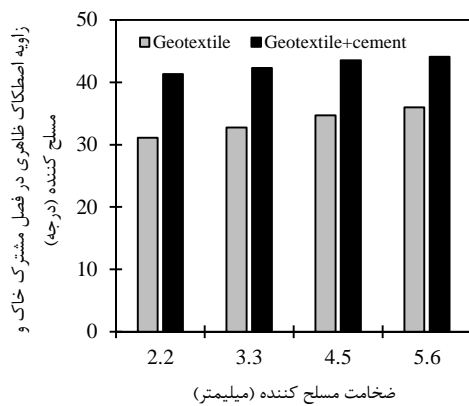


(ب)

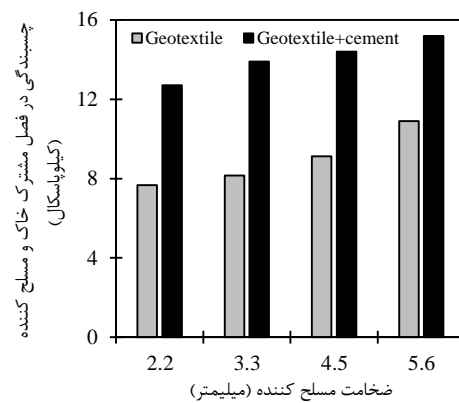


(الف)

شکل ۱۴- نمودار پارامترهای مقاومت برشی در فصل مشترک خاک و مسلح کننده در ضخامت‌های مختلف مسلح کننده به صورت تثبیت شده و بدون تثبیت سیمانی (الف) چسبندگی و (ب) زاویه اصطکاک ظاهری



(ب)



(الف)

شکل ۱۵- مقایسه پارامترهای مقاومت برشی در فصل مشترک خاک و مسلح کننده در ضخامت‌های مختلف مسلح کننده به صورت تثبیت شده و بدون تثبیت سیمانی (الف) چسبندگی و (ب) زاویه اصطکاک ظاهری

به دست آمده است. مطابق نتایج به دست آمده در تحقیق عبادی و همکاران، افزودن مقادیر کم سیمان پارامترهای مقاومتی خاک و مسلح کننده را بهبود نمی بخشد [۳۵]. اوریا و همکاران نیز در مطالعه خود بر روی تأثیر لایه سیمانی در مقاومت بیرون کشش مسلح کننده دریافتند که ایجاد لایه سیمانی بر روی مسلح کننده دارای دو مکانیزم متفاوت زبری و افزایش ضخامت می باشد [۱۶] و [۱۷]. بر اساس مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های ذکر شده می توان گفت نتایج تحقیق انجام شده دارای تطابق مناسبی با واقعیت می باشد.

۵- نتیجه گیری

نتایج مقاومت برشی حداکثر ذکر شده برای ضخامت‌های مختلف سیمانته شده در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال مقادیر ۹۸، ۱۰۴، ۱۱۲ و ۱۲۶ کیلوپاسکال در اثر افزایش ضخامت می باشد که در مقادیر ذکر شده تأثیر زبری به وجود آمده تحت اثر سیمان وجود ندارد و تنها مقادیر حاصل از افزایش ضخامت می باشد که با استفاده از نتایج به دست آمده از ضخامت‌های متفاوت ژئوتکستایل بدون سیمانته به دست آمده است. مقادیر ۴۸، ۴۶، ۴۴ و ۳۶ کیلوپاسکالی در تنش ۱۵۰ کیلوپاسکال را می توان مربوط به افزودن سیمان و ایجاد سطح زبر و ناصاف در سطح مسلح کننده دانست که در مقادیر ذکر شده نتایج حاصل تنها از افزودن سیمان بر سطح مسلح کننده

درصد ثابتی از سیمان مورد استفاده تا حدود ۴۰ درصد سبب افزایش مقاومت برشی آن می‌شود. همچنین نتایج آزمایشات نشان می‌دهد، افزایش ضخامت مسلح‌کننده و مقدار سیمان مورد استفاده در فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده، سبب بهبود مقاومت برشی نمونه‌ها می‌شود. با توجه به مقایسه ضخامت‌های یکسانی از لایه سیمانی و بدون سیمانی مشخص گردید که دو عامل زبری و ضخامت مسلح‌کننده پارامترهای بسیار مهمی در مقاومت برشی فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده می‌باشند و هر دو پارامتر می‌تواند نقش بسزایی در مقاومت برشی خاک مسلح داشته باشد که با افزودن سیمان، این دو پارامتر تقویت شده و سبب بهبود خواص مکانیکی نمونه‌های حاکی می‌شوند.

در این تحقیق از تثبیت سیمانی محل فصل مشترک مسلح‌کننده با خاک به‌عنوان روشی برای تقویت مقاومت برشی خاک استفاده شد. آزمایشات انجام‌شده با استفاده از دستگاه برش مستقیم بر روی ژئوتکستایل انجام گردید. در این آزمایشات مقاومت برشی ابتدا در حالت ضخامت‌های مختلف ژئوتکستایلی سپس با تثبیت یک لایه از ژئوتکستایل با مقادیر مختلفی از سیمان و در نهایت با استفاده مقدار مشخص از سیمان، ضخامت‌های لایه سیمانی مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌های انجام‌گرفته حداقل ۳ بار تکرار گردیده و میانگین آماری به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش شد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که تثبیت سیمانی محل فصل مشترک خاک و مسلح‌کننده بدون در نظر گرفتن تأثیر افزایش ضخامت در

References

- [1] Toufigh, V., Saeid, F., Toufigh, V., Ouria, A., Desai, C. S., & Saadatmanesh, H. (2014). Laboratory study of soil-CFRP interaction using pull-out test. *Geomechanics and Geoengineering*, 9(3), 208-214. doi: 10.1080/17486025.2013.813650
- [2] Krishna Rao, S. V., & Nasr, A. (2012). Laboratory study on the relative performance of silty-sand soils reinforced with linen fiber. *Geotechnical and Geological Engineering*, 30(1), 63-74. doi: 10.1007/s10706-011-9449-2
- [3] Claria, J. J., & Vettorelo, P. V. (2016). Mechanical behavior of loose sand reinforced with synthetic fibers. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 53(1), 12-18. doi: 10.1007/s11204-016-9357-9
- [4] Ouria, A., & Zardari, S. (2017). Effect of the length and content of fibers on the shear strength of randomly distributed fiber-reinforced soil. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 3(1), 99-110. doi: 10.22075/jtie.2017.1469.1118 [In Persian]
- [5] Ouria, A., & Heidarly, E. (2021). Laboratory Investigation of the Effect of the Geotextile Placement Pattern on the Bearing Capacity of Footing on Reinforced Sand. *Modares Civil Engineering journal*, 21(3), 21-34. [In Persian]
- [6] Patel, A. (2019). *Geotechnical investigations and improvement of ground conditions*. Woodhead Publishing.
- [7] Ouria, A., Toufigh, V., Desai, C., Toufigh, V., & Saadatmanesh, H. (2016). Finite element analysis of a CFRP reinforced retaining wall. *Geomechanics and Engineering*, 10(6), 757-774. doi: 10.12989/gae.2016.10.6.757
- [8] Racana, N., Grédiac, M., & Gourvès, R. (2003). Pull-out response of corrugated geotextile strips. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(5), 265-288. doi: 10.1016/S0266-1144(03)00031-1
- [9] Aria, S., Kumar Shukla, S., & Mohyeddin, A. (2019). Numerical investigation of wraparound geotextile reinforcement technique for strengthening foundation soil. *International Journal of Geomechanics*, 19(4), 04019003. doi: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001361
- [10] Ouria, A., Heidarli, E., & Karamzadegan, S. (2022). Utilization of Recycled Concrete Aggregates as Coarse Material Sandwich to Improve the Pullout Strength of Geosynthetics in a Fine Sand. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(5), 1-15. doi: 10.1007/s40891-022-00401-2
- [11] Han, F., Ganju, E., Prezzi, M., & Salgado, R. (2019). Closure to "Effects of interface roughness, particle geometry, and gradation on the sand-steel interface friction angle" by Fei Han, Eshan Ganju, Rodrigo Salgado, and Monica Prezzi. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(11), 07019017. doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002172
- [12] Martinez, A., & Frost, J. D. (2017). The influence of surface roughness form on the strength of sand-structure interfaces. *Géotechnique Letters*, 7(1), 104-111. doi: 10.1680/jgele.16.00169

- [13] Afzali-Nejad, A., Lashkari, A., & Shourijeh, P. T. (2017). Influence of particle shape on the shear strength and dilation of sand-woven geotextile interfaces. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(1), 54-66. doi: **10.1016/j.geotexmem.2016.07.005**
- [14] Toufigh, V., Ouria, A., Desai, C. S., Javid, N., Toufigh, V., & Saadatmanesh, H. (2016). Interface behavior between carbon-fiber polymer and sand. *Journal of Testing and Evaluation*, 44(1), 385-390. doi: **10.1520/JTE20140153**
- [15] Amir, H., & Abdoos, S. (2020). Application of Lime and Portland cement for Improvement of Clay Contaminated with Anthracene and Glycerol. *Civil Infrastructure Researches*, 5(2), 111-122. doi: **10.22091/cer.2020.5374.1198**
- [16] Ouria, A., Karamzadegan, S., & Emami, S. (2021). Interface properties of a cement coated geocomposite. *Construction and Building Materials*, 266, 121014. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2020.121014**
- [17] Ouria, A., Emami, S., & Karamzadegan, S. (2021). Laboratory Investigation of the Effect of the Cement Treatment of the Interface and the Thicknesses of Reinforcement on its Pull-out Capacity. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(11), 2831-2846. doi **10.22060/ceej.2019.16191.6149**
- [18] Ouria, A., & Behboodi, T. (2017). Compressibility of cement treated soft soils. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47(86), 1-9. [In Persian]
- [19] Ouria, A., Ranjbaria, M., & Vaezipour, D. (2018). A failure criterion for weak cemented soils. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(92), 13-21.
- [20] Ouria, A., & Mahmoudi, A. (2018). Laboratory and numerical modeling of strip footing on geotextile-reinforced sand with cement-treated interface. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(1), 29-39. doi: **10.1016/j.geotexmem.2017.09.003**
- [21] Khodaparast, M., Rajabi, A. M., & Kabi, A. (2017). The study of strength behavior of sandy soil mixed with plastic waste and cement slurry. *Civil Infrastructure Researches*, 2(2), 43-49. doi: **10.22091/cer.2017.828** [In Persian]
- [22] Wahedy, M. N., & Rezaifar, O. (2022). Evaluation of sustainable development indicators of Infrastructures by replacing natural pozzolans with high silicate and alumina in cement-based mortar. *Civil Infrastructure Researches*, 9(1), 13-27. doi: **10.22091/cer.2022.8267.1402** [In Persian]
- [23] Hatami, K., Garcia, L. M., & Miller, G. A. (2011). A moisture reduction factor for pullout resistance of geotextile reinforcement in marginal soils. In *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*, 3576-3586.
- [24] Sakr, M., El Naggar, M. H., & Nehdi, M. (2005). Interface characteristics and laboratory constructability tests of novel fiber-reinforced polymer/concrete piles. *Journal of Composites for Construction*, 9(3), 274-283. doi: **10.1061/(ASCE)1090-0268(2005)9:3(274)**
- [25] ASTM, D 2487. (2011). *standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system)*. Annual Book of ASTM Standards, 4, 206-215.
- [26] ASTM, D 3080-04. (2004). *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [27] ASTM, D 2216-05. (2005). *Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [28] ASTM, C. 127-07. (2007). *Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [29] ASTM, D 4595-11. (2011). *Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [30] ASTM, D 5261-10. (2018). *Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [31] Toufigh, V., Toufigh, V., & Ghaseminezhad, H. (2021). Experimental evaluation of the effect of moisture content and shear direction on the interface behavior of sand and fiber reinforcement polymer. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 36.2(4.2), 91-99. doi: **10.24200/j30.2020.54723.2665** [In Persian]
- [32] ASTM, D5321. (2014). *Standard test method for determining the shear strength of soil-geosynthetic and geosynthetic interfaces by direct shear*. Annual Book of ASTM Standards.-geosynthetic.
- [33] ASTM, D5199. (2012). *Standard test method for measuring the nominal thickness of geosynthetics*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [34] Nicholson, P. G. (2015). Admixture soil improvement. *Soil improvement and ground modification methods*, 231-288.
- [35] Ebadi, M., Habibagahi, G., & Hataf, N. (2015). Effect of cement treatment on soil-non woven geotextile interface. *Scientia Iranica*, 22(1), 69-80. [In Persian]