

بررسی رفتار برشی ماسه‌ی مسلح به ژئوتکستایل با تأکید بر ناحیه‌ی برش

علی لکی روحانی* (دانشیار)

محمد بهره‌دار (دانشجوی دکتری)

سیدمسعود حسینی (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه زنجان

مهندسی عمران شریف، تابستان ۱۳۹۷ (درداشت فنی)
دوری ۲ - ۳۴، شماره ۲/۱، ص. ۱۰۸-۹۹ (پادداشت فنی)

هدف از انجام آزمایش حاضر، بررسی تأثیر زاویه و وضعیت قرارگیری ژئوتکستایل در پارامترهای مقاومتی خاک است. رفتار نمونه‌های مورد آزمایش براساس نتایج آزمایش برش مستقیم و نمودارهای به‌دست آمده از آن تحلیل و بررسی شده‌اند. در بررسی‌های انجام شده، سه حالت چیدمان مدنظر بود که شامل ۳ وضعیت افقی، قائم و مورب است. هر کدام از وضعیت‌های مذکور نیز چیدمان‌های دیگری داشتند که در مجموع ۱۷ نوع چیدمان مختلف تحت ۳ تنش سربار در نوشتار حاضر آزمایش شده‌اند. جنس خاک مورد استفاده در آزمایش انجام شده از نوع ماسه است. نتایج نشان می‌دهد در چیدمان‌های افقی، نمونه‌های مسلح سختی برشی اولیه‌ی کمتری دارند و همچنین رفتار نرم‌تری از خود نشان می‌دهند. در چیدمان‌های قائم با افزایش تعداد لایه‌ها، مقاومت برشی نیز افزایش پیدا می‌کند. مقاومت برشی چیدمان مورب ۲ لایه نسبت به چیدمان قائم ۲ لایه بیشتر است. مثلاً برای سربار ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، برای چیدمان ۲ لایه‌ی قائم، ۲۳٪ و ۲ لایه‌ی مورب، ۳۳٪ افزایش مقاومت بوده است. همچنین در چیدمان‌های مورب، هر چقدر زاویه‌ی قرارگیری نسبت به افق کمتر شود، مقاومت برشی نیز افزایش خواهد یافت.

rou001@znu.ac.ir
mbahrehdar@znu.ac.ir
masud-hosiny64@yahoo.com

واژگان کلیدی: ژئوتکستایل، مقاومت برشی، ماسه‌ی مسلح، ناحیه برش.

۱. مقدمه

پژوهشگران به بررسی خصوصیات مقاومت برشی خاک تسلیح شده با ژئوتکستایل از دهه‌ی هفتاد توجه کرده و آزمایش‌های متنوعی در مورد آن انجام داده‌اند. در پژوهشی در سال ۱۹۷۷ با انجام آزمایش‌های سه‌محوری بر روی ماسه‌ی خشک یکنواخت که با لایه‌های افقی از ژئوتکستایل مسلح شده بود، میزان فشار جانبی بررسی و ملاحظه شد که تأثیر فشار همه‌جانبه یا محفظه‌یی در حالت مسلح شده نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد.^[۱]

در سال ۱۹۸۶ نیز با انجام آزمایش سه‌محوری فشاری به بررسی تأثیر تسلیح ماسه‌ی خشک با استفاده از ژئوتکستایل پرداخته و از چند نوع ژئوتکستایل برای آزمایش استفاده شد و این نتیجه به‌دست آمد که تسلیح باعث افزایش پیک ۳ مقاومتی و کرنش محوری در زمان گسیختگی و همچنین تسلیح باعث افزایش مقاومت پسماند خواهد شد.^[۲]

همچنین در سال ۱۹۹۰ با انجام آزمایش برش مستقیم به بررسی عملکرد خاک تسلیح شده با ژئوتکستایل پرداخته و لایه‌های ژئوتکستایل بافته شده و نشده برای تسلیح استفاده شد که هر کدام از آن‌ها ضخامت‌های متفاوتی داشتند و در آزمایش‌ها به تحلیل پارامترهای مقاومت برشی و نمودار تنش - کرنش نیز پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که تغییر مکان در نمونه‌ی تسلیح شده نسبت به

خاک یکی از کهن‌ترین مصالح ساختمانی و اصلی‌ترین تکیه‌گاه سازه است که به دلیل فراوانی آن در طبیعت از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. به سبب ضعف مقاومت برشی خاک و عدم مقاومت در برابر نیروهای کششی، پژوهشگران درصدد افزایش ظرفیت باربری و بهبود خواص مکانیکی آن برآمده و از ایده‌ی خاک مسلح استفاده شده است. روش تسلیح خاک به دلیل اجرای آسان و تأثیر فراوان آن در بهبود خواص خاک، به‌عنوان روشی مناسب برای بهسازی و اصلاح خواص خاک شناخته شده است.^[۱] در تعریف کلی، ژئوسنتتیک‌ها^۱ منسوجات و یا پوشش‌های ساخته شده از الیاف پلیمری هستند که خاصیت اصلی آن‌ها، فسادناپذیری در مقابل عوامل مخرب درون خاک است. استفاده از ژئوتکستایل‌ها^۲ در داخل خاک باعث اصلاح و تقویت برخی خصوصیات خاک، نظیر مقاومت برشی، قابلیت زهکشی فیلتراسیون و ... می‌شود. در حقیقت با استفاده از محصولات ذکر شده می‌توان خصوصیات فیزیکی و مکانیکی زمین را به نحوی که شرایط پروژه ایجاب می‌کند، تغییر داد و نیازهای طرح را بهتر برآورد کرد.^[۲]

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۸/۳۰، اصلاحیه ۱۳۹۵/۶/۷، پذیرش ۱۳۹۵/۷/۴.

DOI:10.24200/J30.2018.1345

حالت غیرمسلح در زمان گسیختگی افزایش یافته است.^[۵]

در سال ۱۹۹۳ نیز با انجام آزمایش برش مستقیم بر روی خاک ریزدانه (رس سیلتی) به بررسی اثر تسلیح خاک مذکور با ژئوتکستایل پرداخته شد و اثر تغییر مقاومت برشی و تغییر حجم نمونه تحت بررسی قرار گرفت و نتیجه‌گیری شد که ژئوتکستایل بافته‌نشده در افزایش مقاومت نمونه نسبت به ژئوتکستایل بافته‌شده تأثیر بیشتری دارد و علت آن تراوایی بیشتر ژئوتکستایل نبافته تشخیص داده شد.^[۶]

همچنین در سال ۲۰۰۰ با انجام آزمایش سه‌محوری، رفتار ماسه‌ی تسلیح‌شده با انواع ژئوتکستایل در تعداد لایه‌های متفاوت و با فشارهای منفذی مختلف بررسی شد و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که نسبت مقاومت ماسه‌ی تسلیح‌شده به ماسه‌ی تسلیح‌نشده با افزایش فشار محدودکننده، کاهش می‌یابد و در زمان گسیختگی پیک مقاومتی و کرنش محوری و شکل‌پذیری افزایش خواهد یافت.^[۷]

در سال ۲۰۰۳ نیز با انجام آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ی تسلیح‌شده با ژئوتکستایل، اثر اندازه‌ی نمونه در زاویه‌ی اصطکاک بین خاک و ژئوتکستایل بررسی و نتیجه‌گیری شد که با کاهش زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک و افزایش تنش قائم، اثر اندازه‌ی نمونه به ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت.^[۸] در سال ۲۰۰۳ نیز با انجام آزمایش‌های سه‌محوری به بررسی عملکرد نمونه‌ی تسلیح‌شده با ژئوتکستایل پرداخته شد و تأثیر عوامل مختلفی همچون تعداد لایه‌های ژئوتکستایل، فشار هم‌جانبه و رطوبت در خصوصیات رفتاری ماسه‌ی تسلیح‌شده بررسی و نتیجه‌گیری شد که در شرایط یکسان (از نظر فشار هم‌جانبه و تعداد لایه‌های تسلیح)، مقاومت برشی ماسه‌ی مسلح مرطوب از مسلح خشک کمتر است.^[۹]

همچنین در سال ۲۰۰۶ در بررسی تأثیر چیدمان ژئوستتیک‌ها در مقاومت خاک ماسه‌ی، ژئوستتیک‌ها در وضعیت‌های افقی، ژئوسلی^۴ و بافت‌های مجزا در خاک جای‌گذاری شدند و ۳ نوع لایه‌ی ژئوستتیک (ژئوتکستایل، ژئوگرید^۵ و پلی‌استر^۶) برای تسلیح ماسه استفاده شدند و دریافتند که تأثیر فرم تسلیح به‌صورت سلولی بیشتر از وضعیت‌های دیگر است و در وضعیت سلولی، پلی‌استر نسبت به ژئوتکستایل مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد.^[۱۰]

در سال ۲۰۰۷ نیز با انجام آزمایش برش مستقیم بزرگ‌مقیاس در بررسی عملکرد خاک‌های تسلیح‌شده، ۴ نوع خاک مختلف (شامل ۱ ماسه و ۳ رس با PIهای مختلف) با ۳ نوع ژئوگرید مختلف و ۱ ژئوتکستایل بافته‌شده تسلیح شدند و نتایج نشان دادند که میزان بهبود خواص مکانیکی خاک به میزان فشار نرمال، جنس خاک‌ها و نوع ژئوستتیک بستگی دارد.^[۱۱]

همچنین در سال ۲۰۰۸ با انجام آزمایش‌های برون‌کشی و برش مستقیم به بررسی خصوصیات کششی و فصل مشترک بین ژئوتکستایل بافته‌شده و خاک پرداخته شد و در آزمایش برون‌کشی به تأثیر اندازه‌ی دانه و بازشدگی ژئوتکستایل بافته‌پی بردند و دریافتند زمانی که نسبت بازشدگی (قطر متوسط دانه‌های خاک به اندازه‌ی بازشدگی ژئوتکستایل) زیاد باشد، اندرکنش بین خاک و ژئوتکستایل افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی بیشتری برای خارج کردن ژئوتکستایل از نمونه لازم است، اما زمانی که بازشدگی ژئوتکستایل کم باشد، تأثیر اندازه‌ی قطر نمونه زیاد نخواهد بود.^[۱۲]

در سال ۲۰۱۰ نیز در بررسی عملکرد نمونه‌ی مسلح‌شده با انجام هم‌زمان دو آزمایش برش مستقیم و برون‌کشی، یافته‌های جدیدی به‌دست آمد و نتایج نشان داد که نسبت بیشینه‌ی نیروی برون‌کشی به تنش نرمال اعمالی (در آزمایش برون‌کشی) کمتر از ضریب فصل مشترک (در آزمایش برش مستقیم) است و دلیل آن را خاصیت تغییرشکل‌پذیری ژئوستتیک در آزمایش برون‌کشی ذکر کردند.^[۱۳] همچنین در سال ۲۰۱۱ آزمایش‌هایی بر روی خاک تسلیح‌شده با ژئوتکستایل

انجام شد و هدف اصلی آن بررسی تأثیر لایه‌های ژئوتکستایل در مقاومت برشی خاک ماسه‌ی بود و نتایج مطالعات انجام‌شده نشان داد که بهترین زاویه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل‌ها نسبت به سطح افق برای خاک ماسه‌ی مسلح‌شده با ۱ تا ۳ لایه‌ی ژئوتکستایل، بین ۵۶ تا ۶۰ درجه است.^[۱۴]

در سال ۲۰۱۱ نیز ضریب اصطکاک سطح مشترک دو نوع خاک با ۴ نوع ژئوتکستایل (۳ تا بافته‌شده و ۱ عدد بافته‌نشده) بررسی شد و نتایج نشان داد که سطح اشتراک ژئوتکستایل بافته‌شده و بافته‌نشده، مقاومت از دست‌رفته‌ی قابل توجهی بعد از نقطه‌ی پیک از خود نشان می‌دهند. همچنین در ژئوتکستایل بافته‌شده، بازشدگی تارها و در ژئوتکستایل بافته‌نشده، پارگی تارها سبب خرابی فیزیکی شده است.^[۱۵] همچنین در سال ۲۰۱۳، اثر شکل ذرات در سطح اشتراک خاک و ژئوتکستایل مطالعه و از ۲ نوع ماسه (گردگوشه و تیزگوشه) و ۲ نوع ژئوتکستایل استفاده شد و نتایج نشان داد که شکل ذرات تأثیر به‌سزایی در رفتار سطح مشترک به‌خصوص رفتار بعد از نقطه‌ی پیک دارد.^[۱۶] در سال ۲۰۱۵ نیز با استفاده از روش تفاضل محدود (FLAC^{۲D})، رفتار سطح اشتراک ژئوستتیک - خاک، تغییرات جابه‌جایی - تنش برشی بررسی و از چند نوع خاک و چند نوع ژئوتکستایل (بافته‌شده، بافت چندلایه‌ی، بافت تک‌رشته‌ی) برای ارزیابی سطح اشتراک استفاده شد و تطابق مناسبی بین نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی در ارزیابی رفتار نرم کرنشی خاک و ژئوتکستایل به‌دست آمد.^[۱۷]

همچنین در پژوهش دیگری در همان سال، مقاومت برشی ماسه‌ی مسلح‌شده به ژئوتکستایل با استفاده از آزمایش برش مستقیم و ساده مشخص و آزمایش برش مستقیم بر روی یک دستگاه برش مستقیم معمولی و برش مستقیم بزرگ‌مقیاس انجام شد. مقاومت برشی مرز مشترک به‌دست آمده با دستگاه برش مستقیم بزرگ‌مقیاس کمی بیشتر از دستگاه برش مستقیم معمولی به‌دست آمد. علی‌رغم تفاوت بین مشخصات مقاومت برشی آزمایش برش ساده و آزمایش برش مستقیم، نتیجه گرفته شد که مقاومت برشی ماسه‌ی تقویت‌شده با ۱ لایه، شبیه به مقاومت برشی مستقیم مرز مشترک ماسه - ژئوتکستایل است.^[۱۸]

در سال ۲۰۱۶ نیز در بررسی رفتار سطح مشترک خاک و ژئوستتیک با استفاده از آزمایش برش مستقیم و بیرون‌کشیدگی برای ۳ نوع خاک و ژئوستتیک مختلف، تأثیر اندازه‌ی ذرات خاک (D_{50}) بر روی سطح مشترک مطالعه شد و نتایج نشان داد که با افزایش ذرات خاک (D_{50})، زاویه‌ی اصطکاک مرز مشترک خاک - ژئوتکستایل برای هر دو آزمایش برش مستقیم و بیرون‌کشیدگی افزایش خواهد یافت.^[۱۹]

در نوشتار حاضر به بررسی تأثیر زاویه و وضعیت قرارگیری ژئوتکستایل در پارامترهای مقاومتی خاک از قبیل تنش برشی بیشینه، زاویه‌ی اصطکاک، سختی برشی و زاویه‌ی اتساع^۷ پرداخته شده است. در بررسی‌های مذکور، ۳ حالت چیدمان مدنظر بوده است که شامل ۳ وضعیت افقی، قائم و مورب بوده است. هر کدام از وضعیت‌های مذکور نیز چیدمان‌های دیگری داشتند که در مجموع ۱۷ نوع چیدمان مختلف در نوشتار حاضر تحت ۳ تنش سربار آزمایش شدند.

۲. مطالعات آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر، آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه برش مستقیم بزرگ‌مقیاس ($30 \times 30 \times 30$ سانتی‌مترمکعب) در دانشگاه زنجان انجام (شکل ۱) و در همه‌ی آن‌ها از یک نوع خاک با دانه‌بندی مشخص و یک نوع ژئوتکستایل استفاده شد. آزمایش‌ها تحت چیدمان‌های مختلف به ۳ وضعیت (افقی، قائم و مورب) تقسیم

جدول ۱. مشخصات ژئوتکستایل مورد استفاده.

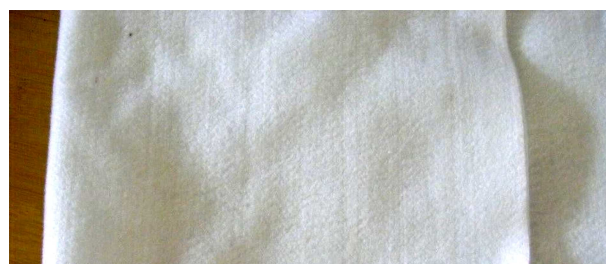
نماینه	مقادیر	واحد	استاندارد
ضخامت	۳/۴	mm	DIN ۲۹۰۷۳/۲
بیشینه‌ی مقاومت کششی	۱۹	kN/m	DIN ۲۹۰۷۳/۳
نفوذپذیری آب	۲/۴	m/s	DIN ISO ۱۱۰۵۸
CBR	۳/۴	kN/m	DIN ISO ۱۲۲۳۶
استحکام پارگی دوزنقه	۳۹۵	N	ASTM D ۴۵۳۳

جدول ۲. پارامترهای مقاومتی ماسه.

خاک (ماسه)	مقادیر	واحد (SI)
چسبندگی (C)	۰/۶۱۶۱	kg/cm ^۲
زاویه‌ی اصطکاک (ϕ)	۳۱/۷۷	درجه
وزن مخصوص ($\gamma_{d,max}$)	۱۹/۲۰۶۵	kg/cm ^۳
وزن مخصوص ($\gamma_{d,min}$)	۶/۱۵۲۸	kg/cm ^۳
درصد رطوبت (W%)	۹/۳	-
وزن مخصوص دانه‌ها (G_s)	۲/۵۷۳	-



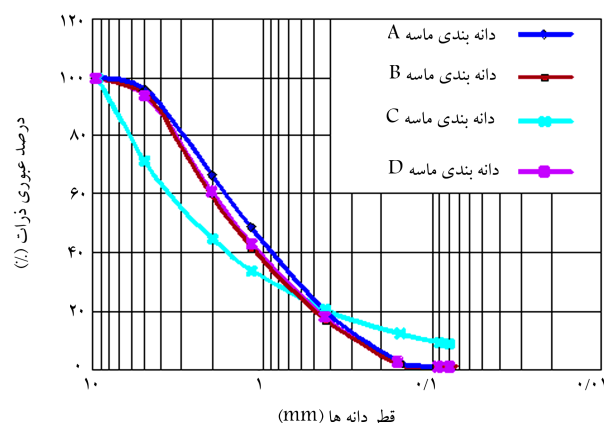
شکل ۱. دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس.



شکل ۲. نمونه‌ی ژئوتکستایل بافته نشده.



شکل ۴. نحوه‌ی چیدمان (v^1) در جعبه‌ی برش.



شکل ۳. نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی خاک ماسه‌یی.

لذا برای انجام آزمایش برش مستقیم برای هر نمونه از مصالح ماسه‌ی شسته، نیازی به استفاده از نمونه با دانه‌بندی میانگین نبوده است. پارامترهای مقاومتی ماسه در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

شدند و هر کدام از آن‌ها نیز چیدمان‌های جزئی‌تری داشتند که در ادامه به صورت شماتیک طرح‌های آن‌ها نشان داده شده است.

۳.۲. نحوه‌ی ساخت نمونه

برای قرارگیری ژئوتکستایل در نمونه‌های آزمایشگاهی از چند ورقه‌ی گالوانیزه به ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده شد که با چسباندن ژئوتکستایل توسط نوار چسب به ورقه‌های مذکور، لایه‌ی ژئوتکستایل و ورقه‌های گالوانیزه در داخل قالب قرار گرفتند و با اضافه کردن لایه‌ی بعدی خاک به نمونه، ورقه‌ی گالوانیزه به میزان لایه‌ی کوبیده‌شده‌ی قبلی به بالا کشیده شد، این کار تا زمانی ادامه یافت که خاک موردنیاز برای نمونه به اتمام برسد و در انتها ورقه‌های گالوانیزه از داخل نمونه به صورت کامل خارج شدند. در شکل ۴، تصویری از چیدمان (v^1) مشاهده می‌شود.

۱.۲. مشخصات ژئوتکستایل

در تمامی آزمایش‌ها از یک نوع ژئوتکستایل بافته نشده استفاده شده است (شکل ۲). در جدول ۱ نیز مشخصات مکانیکی ژئوتکستایل ارائه شده است.

۲.۲. تعیین پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌یی

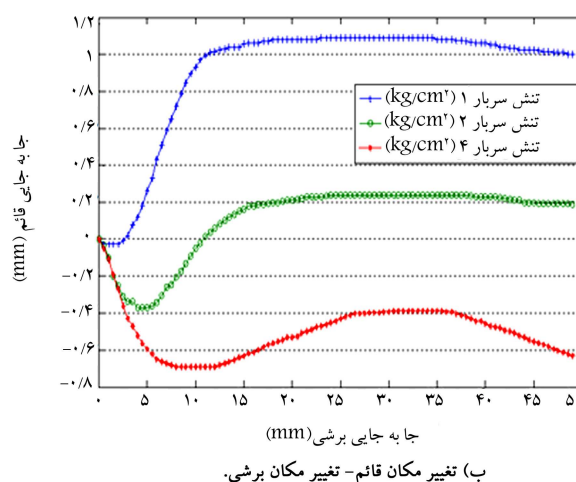
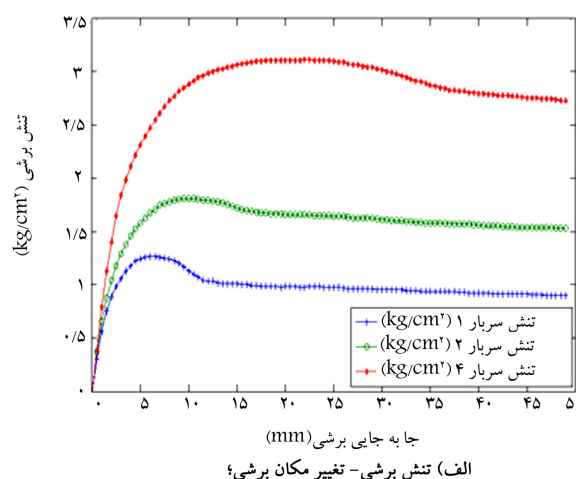
آزمایش دانه‌بندی به تعداد ۴ نمونه از قسمت‌های مختلف مصالح ماسه شسته (۴) گمانه از محل قرضه تهیه شد. مطابق با منحنی‌های دانه‌بندی شکل ۳ می‌توان به این نتیجه رسید که منحنی دانه‌بندی ۴ نمونه‌ی مذکور اختلاف چندانی با هم ندارند.

۳. بررسی نتایج آزمایش‌ها بر روی نمونه‌ی خاک ماسه‌ای

تسلیم نشده

در آزمایش‌های موردنظر، ۳ نمونه از خاک ماسه‌ای در نظر گرفته و تحت تنش سربار ۱، ۲ و ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع برش داده شدند. نرخ برش نمونه‌ها برابر ۱ میلی‌متر در دقیقه بوده است، در آزمایش‌ها سعی شده است که برش خوردن نمونه در دستگاه به اندازه‌ی ادامه یابد که نمونه به مقاومت پیک برسد و از آن عبور کند. در بیشتر آزمایش‌ها، مقدار تغییر مکان برشی به ۴ تا ۵ سانتی‌متر نیز رسیده است.

در شکل ۵، نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ی تسلیم نشده مشاهده می‌شود. در نمودار شکل ۵الف، با افزایش تنش سربار، پیک مقاومتی نمونه در زمان بیشتری از آغاز آزمایش خود را نشان می‌دهد و همین‌طور ماندگاری آن در بخش پیک مقاومتی در تنش سربارهای بالاتر، بیشتر از تنش‌های سربار کمتر است. با توجه به نمودار شکل ۵ب می‌توان مشاهده کرد که در تنش‌های سربار بالاتر، میزان نشست بیشتری قابل مشاهده است. در تنش سربار ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، نمودار تغییرات حجم در انتهای آزمایش به سمت پایین میل کرده است که این امر به علت ادامه‌ی بیش از اندازه‌ی آزمایش و مرحله‌ی بعد از انبساط بوده است.



شکل ۵. نمودارهای مقاومت برشی نمونه‌ی غیرمسلح.

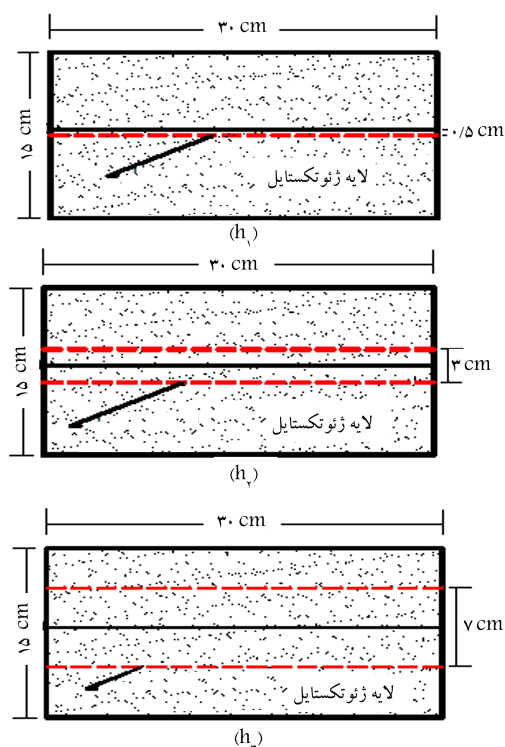
۴. آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌ی مسلح با چیدمان

افقی

در آزمایش مذکور به بررسی تأثیر قرارگیری ژئوتکستایل با وضعیت افقی در داخل نمونه‌ی خاک ماسه‌ای پرداخته و از ۳ نوع چیدمان استفاده شده است که به صورت شماتیک در شکل ۶ مشاهده می‌شوند. چیدمان‌های مذکور توسط لایه‌های ژئوتکستایل با ابعاد 30×30 سانتی‌متر مربع ساخته شدند و در ناحیه‌های مختلف با فاصله‌های معین از صفحه‌ی برش قرار گرفتند. به منظور بررسی تأثیر تسلیم، نواحی مختلف نمونه در حالات افقی نسبت به صفحه‌ی برش تحت بررسی قرار گرفتند و پارامترهای مقاومت برشی و اتساعی نمونه تحلیل شدند. نتایج به دست آمده از آزمایش برش مستقیم برای چیدمان‌های افقی در پیوست ۱ ارائه شده است.

در شکل ۷، مجموعه‌ی از نمودارهای تنش برشی - تغییر مکان برشی نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل و با چیدمان افقی مشاهده می‌شود که با وضعیت غیرمسلح مقایسه شده‌اند. با در دست داشتن داده‌های به دست آمده مشاهده شد که در تنش سربار ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، چیدمان (h_1) حدوداً ۹٪ افزایش مقاومت و چیدمان (h_2) حدوداً ۳٪ کاهش مقاومت داشته‌اند. با توجه به نمودارها مشخص است که فقط چیدمان (h_1) افزایش مقاومت نشان می‌دهد که به علت افزایش مقاومت اصطکاکی نمونه در ناحیه‌ی برش است. عدم وجود مقاومت پیک در دو چیدمان افقی در شکل ۷ کاملاً مشهود است.

کاهش مقاومت در چیدمان (h_2) نشان‌دهنده‌ی تأثیر نه چندان مطلوب چیدمان مذکور را نشان می‌دهد که به علت قطع ناحیه‌ی برش توسط ژئوتکستایل است. در چیدمان افقی، نزدیک‌ترین نتایج به نتایج نمونه‌ی خاک غیرمسلح مربوط به چیدمان افقی (h_2) بوده است.



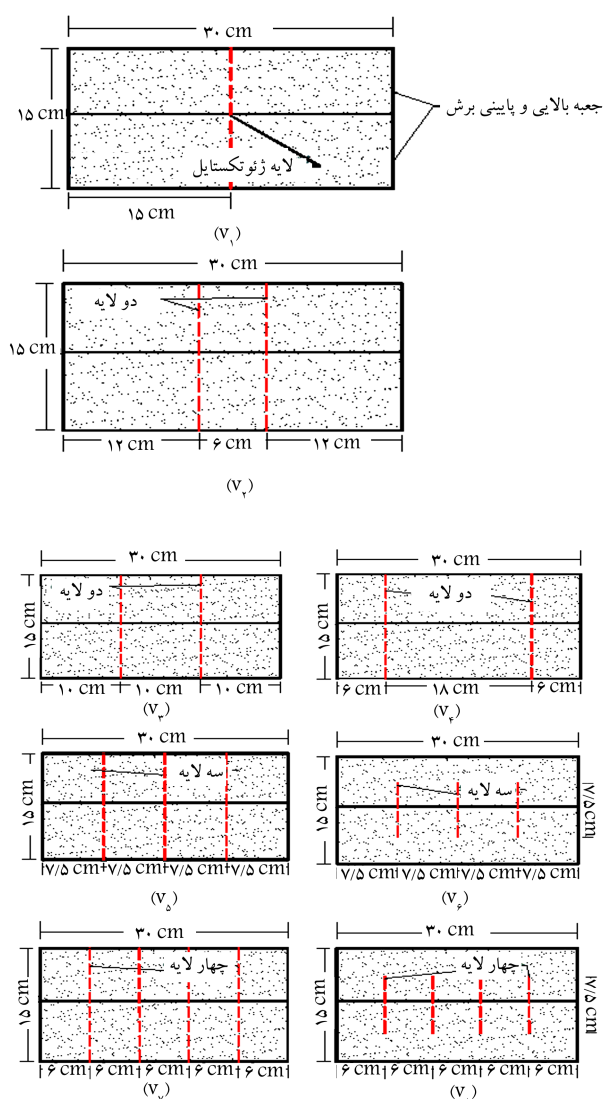
شکل ۶. چیدمان‌های افقی نمونه‌ی تسلیم شده با ژئوتکستایل (h_1) تا (h_3) .

در تنش سربار ۴ کیلوگرم بر سانتی مترمربع افزایش یافته است که نشان دهنده عملکرد نامناسب اتساعی چیدمان مذکور در عمق های زیاد خاک است.

۵. آزمایش های برش مستقیم بر روی نمونه های مسلح با ژئوتکستایل در چیدمان های قائم

نوع دیگری از حالات قرارگرفتن ژئوتکستایل در نمونه برای تسلیح خاک، حالت قائم است که ۸ چیدمان مختلف را شامل می شود که نمای شماتیک آن ها در شکل ۸ مشاهده می شود. مطابق شکل مذکور، وضعیت تسلیح لایه ی ژئوتکستایل به صورت قائم بر صفحه ی برش در داخل جعبه برش بوده است. نتایج به دست آمده از آزمایش برش مستقیم برای چیدمان های قائم در پیوست ۱ ارائه شده است.

در چیدمان های قائم به بررسی ۸ حالت پرداخته شده است. ابتدا در شکل ۹ به بررسی ۴ حالت از چیدمان های مذکور (v_1, v_2, v_3, v_4) و مقایسه ی آن ها با



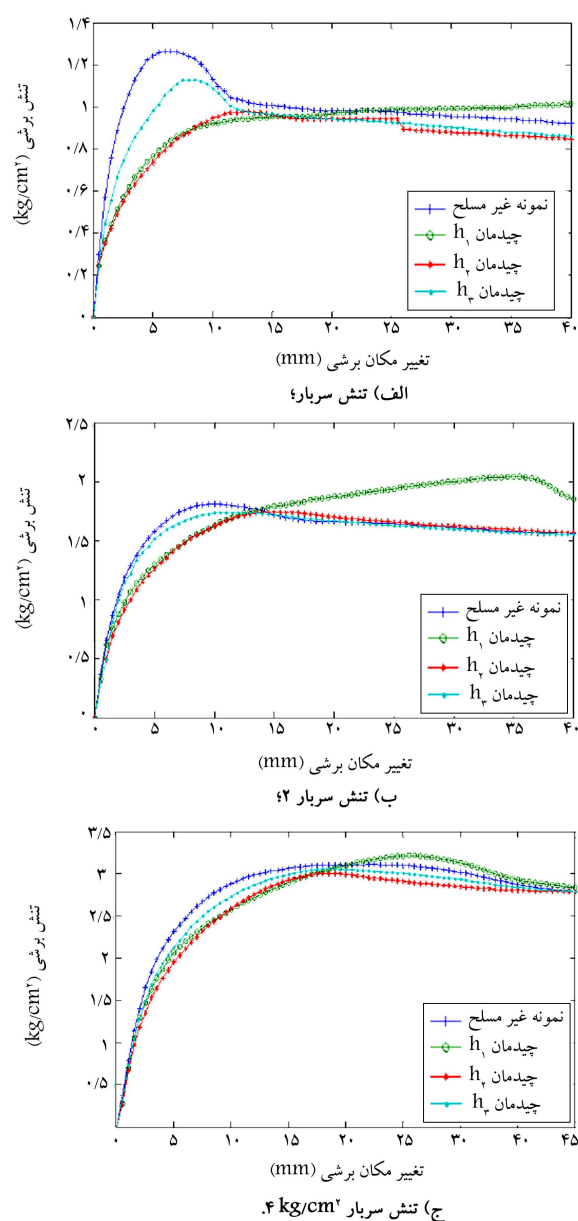
شکل ۸. چیدمان های قائم نمونه ی خاک ماسه ی مسلح شده با ژئوتکستایل (v_1 تا v_8).

چند نکته در تمامی چیدمان های افقی مشهود بوده است که در ادامه به آن ها اشاره شده است:

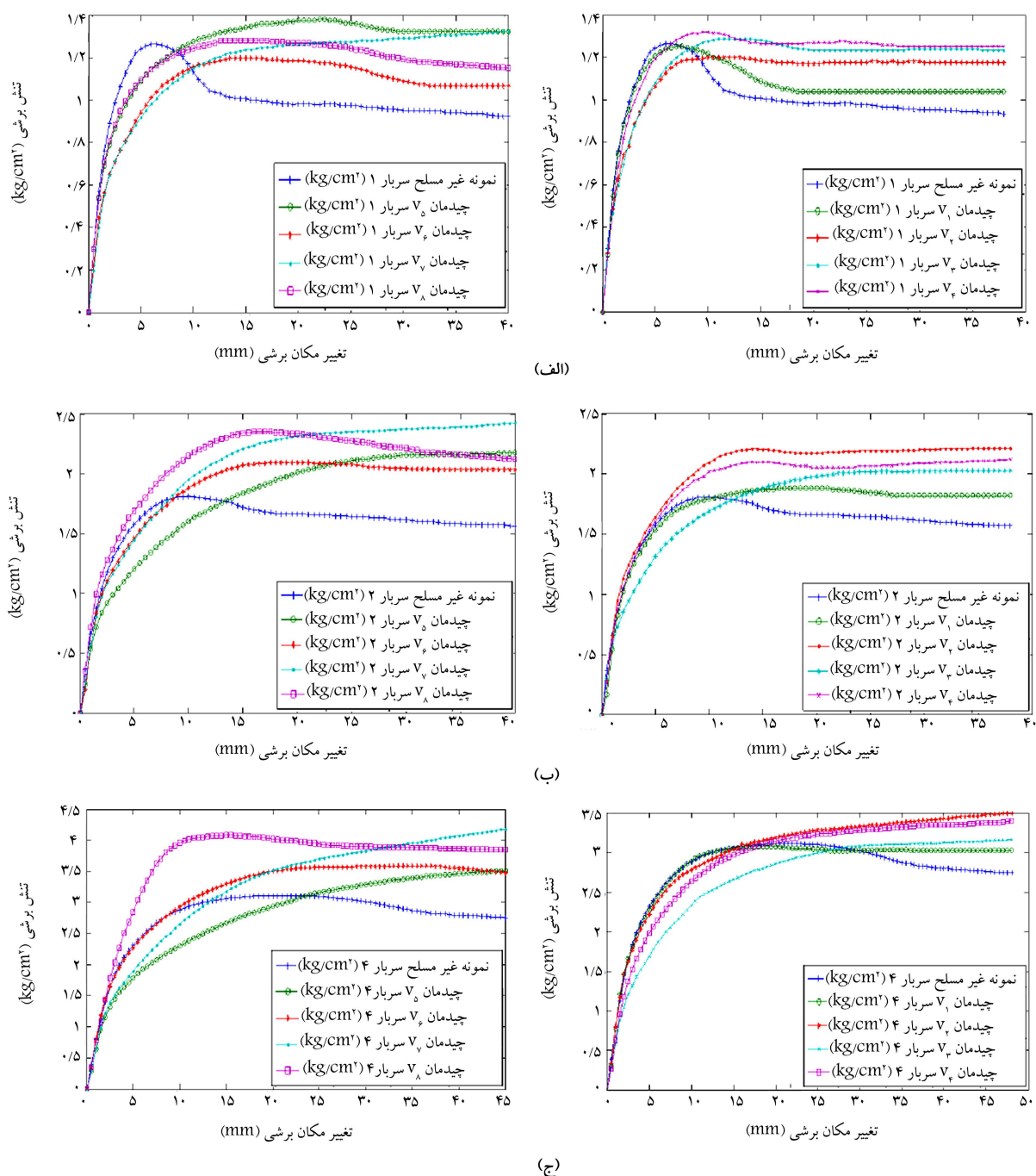
۱. میزان زوایای اصطکاکی نمونه ها، در تمامی چیدمان ها افزایش؛ میزان چسبندگی نمونه ها بدون استثناء در تمامی چیدمان ها کاهش یافته است. بریدن ناحیه ی برش توسط لایه های ژئوتکستایل باعث کاهش حجم اکتیو^۸ نمونه ی خاکی شده است.

۲. به علت قرارگرفتن لایه های ژئوتکستایل در بالا و پایین خاک داخل نمونه و عدم افزایش بالآمدگی نمونه در لحظه ی اتساع بیشینه، میزان زوایای اتساعی در تمام چیدمان های افقی در دو تنش پایین تر (۱ و ۲ کیلوگرم بر سانتی مترمربع) کاهش یافته است.

۳. میزان زاویه ی اتساعی در تمامی نمونه های مسلح با لایه های ژئوتکستایل افقی



شکل ۹. نمودارهای تنش برشی - تغییر مکان برشی برای چیدمان افقی.



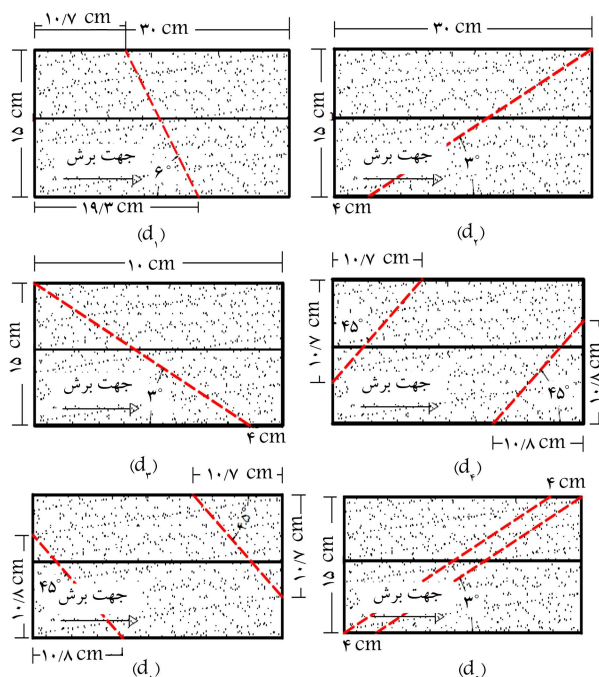
شکل ۹. نمودارهای تنش برشی - تغییر مکان برشی برای چیدمان قائم.

در تنش سربار ۴ کیلوگرم بر سانتی مترمربع، نمونه‌های مسلح‌شده‌ی ۲ لایه‌ی (v_2, v_3, v_4) هیچ‌کدام پیک مقاومتی ندارند و فقط نمونه‌ی تک‌لایه‌ی، پیک مقاومتی از خود نشان می‌دهد. در تنش سربار ۴ کیلوگرم بر سانتی مترمربع می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های ۲ چیدمان (v_2, v_3) ، تقریباً تغییرات نمودارهایشان یکسان است که این موضوع نشان می‌دهد که نمونه‌های مسلح در حالت چیدمان‌های قائم (v_2, v_3) ، در تنش سربار زیاد تفاوت چندانی با هم ندارند و نحوه‌ی کرنش آن‌ها در برابر نیروهای برشی مساوی تقریباً یکسان است.

نمونه‌های مسلح‌شده در چیدمان‌های قائم با ۲ لایه‌ی ژئوتکستایل (چیدمان‌های v_2, v_3, v_4)، در وضعیتی که لایه‌های قرارگرفته در داخل نمونه‌ها به دیواره‌های

نمودار نمونه‌ی غیرمسلح پرداخته شده است. همان‌طور که از نمودارهای مذکور در نگاه اول مشخص است، تقریباً در تمام نمونه‌ها افزایش انعطاف‌پذیری (نرم کرنشی) مشاهده می‌شود.

نمونه‌های خاک مسلح‌شده با ۲ لایه‌ی ژئوتکستایل در تنش سربار ۲ کیلوگرم بر سانتی مترمربع، میزان افزایش مقاومت برشی بیشینه‌ی بیشتری نسبت به دو تنش سربار دیگر از خود نشان می‌دهند. به‌طور کلی استفاده از ژئوتکستایل در حالت قائم نشان داد که نمونه حالت نرم کرنشی از خود نشان می‌دهد، به صورتی که زمان رسیدن به تنش برشی بیشینه بیشتر شده و در کرنش‌های بالاتری نسبت به نمونه‌ی غیرمسلح به تنش برشی بیشینه رسیده‌اند.

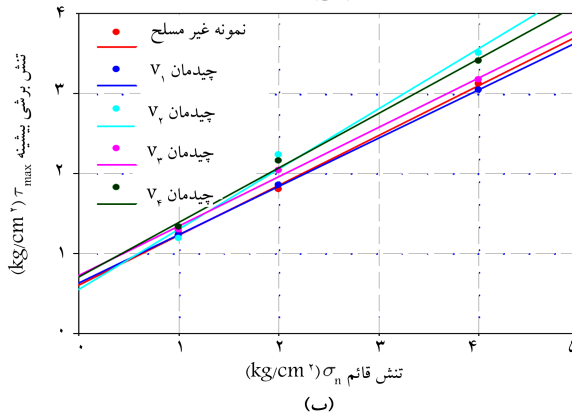
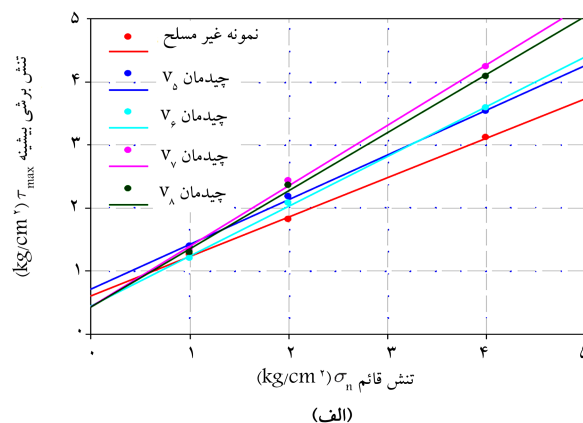


شکل ۱۱. چیدمان‌های مورب خاک ماسه‌یی تسلیح‌شده با ژئوتکستایل (d_1 تا d_6).

مشاهده می‌شود. استفاده از ژئوتکستایل برای شرایط مختلف تحت زوایای مورب متفاوت، به منظور بررسی تأثیر زاویه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل در داخل نمونه‌ی مسلح بررسی شده است. مطابق شکل مذکور، زوایای انتخابی برای چیدمان‌های مورب مختلف بوده و نمونه‌های مسلح‌شده با قرارگیری ژئوتکستایل در داخل نمونه برای زوایای 30° ، 45° و 60° درجه مسلح شده‌اند. برای قراردادن ژئوتکستایل در داخل نمونه‌ها به صورت مورب از قطعات چوبی شکل برای کوبیدن خاک نمونه استفاده شده است.

همچنین با مشاهده‌ی نمودارهای ارائه‌شده در شکل ۱۲ که نشان‌دهنده‌ی آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ی خاک مسلح با ژئوتکستایل در چیدمان‌های مورب و نمونه‌ی خاک غیرمسلح هستند، می‌توان تغییرات میزان تنش برشی برای چیدمان‌های مورب و نمونه‌ی غیرمسلح برای ۳ تنش سربار مختلف را ملاحظه کرد. در تنش سربار ۱ (kg/cm^2)، با مقایسه‌ی میزان تغییرات تنش برشی برای تمامی چیدمان‌های مورب و نمونه‌ی غیرمسلح می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های مسلح‌شده در چیدمان‌های ذکرشده، نتایج بسیار متفاوتی دارند. در مقایسه‌ی مذکور مشاهده می‌شود که در دو چیدمان d_2 و d_4 به صورت کاملاً مشخص، میزان مقاومت نمونه نسبت به نمونه‌ی غیرمسلح کاهش داشته است، ولی برای چیدمان‌های d_1 ، d_3 و d_5 تغییرات شدیدی مشاهده نمی‌شود، اما میزان افزایش مقاومت بعد از پیک کاملاً مشهود است. در چیدمان d_6 ، افزایش میزان مقاومت بیشینه‌ی نمونه مشاهده می‌شود که این موضوع با توجه به تغییرات تنش‌های سربار افزایش بیشتری داشته است.

در تنش سربار ۲ (kg/cm^2) در اغلب چیدمان‌های مورب، افزایش مقاومت مشهود است. در دو چیدمان d_2 و d_4 ، تغییر چندانی نسبت به حالت غیرمسلح مشاهده نمی‌شود. ولی در دیگر چیدمان‌های مورب، افزایش قابل توجه مقاومت مشاهده می‌شود. در تنش سربار ۴ (kg/cm^2)، عملکرد نمونه‌های مسلح همانند تنش سربار ۲ (kg/cm^2) بوده است، ولی با این تفاوت که نمونه‌ها با تغییرات شدیدی همراه نبودند و نیز کاهش درصد مقاومتی دو چیدمان d_2 و d_4 و افزایش



شکل ۱۰. نمودار پوش گسیختگی برای نمونه‌های مسلح با ژئوتکستایل.

ابتدایی و انتهایی دستگاه برش نزدیک‌تر باشند، در تنش‌های سربار پایین‌تر بهتر جواب داده‌اند و پارامترهای مقاومتی بالاتری مشاهده می‌شود. ولی برای نمونه‌های مسلحی که لایه‌ی ژئوتکستایل بیشتر در نواحی مرکزی نمونه قرار گرفته است، میزان پارامترهای مقاومت برشی و همین‌طور نحوه‌ی عملکرد نمونه‌ها در تنش‌های سربار بالاتر، تأثیر بیشتری داشته است.

۱.۵. پوش گسیختگی برای چیدمان‌های قائم

در شکل ۱۰، پوش‌های گسیختگی برای تمامی چیدمان قائم نشان داده شده است که به علت تراکم شدید خطوط، نمودارهای مذکور در دو شکل ارائه شده است. با توجه به شکل ۱۰ الف، تغییرات پوش گسیختگی شدیدی برای چیدمان‌ها قابل مشاهده نیست، حتی میزان تغییرات در بعضی از چیدمان‌ها به قدری کم است که قابل تشخیص نیست. ولی در چیدمان (v_2)، افزایش زاویه‌ی اصطکاک و کاهش چسبندگی قابل مشاهده است. با توجه به موارد ذکرشده در شکل ۱۰ الف، میزان تغییرات پوش برای چیدمان‌های قائم با نمونه‌ی غیرمسلح ناچیز است. ولی در شکل ۱۰ ب، افزایش زاویه‌ی اصطکاک و حتی چسبندگی با تغییرات قابل توجهی روبرو است.

۱.۶. آزمایش‌های برش مستقیم بر روی نمونه‌های مسلح با ژئوتکستایل در چیدمان‌های مورب

در بخش حاضر، به بررسی چیدمان‌های مورب پرداخته شده است. در چیدمان مورب به بررسی ۶ حالت پرداخته شده است و در شکل ۱۱ نمای شماتیک آن‌ها

درصد مقاومتی دو چیدمان d_2 و d_5 کاملاً مشهود است. این موضوع نشان دهنده‌ی آن است که طریقه‌ی قرارگیری ژئوتکستایل در داخل نمونه، تأثیر قابل توجهی در نمونه دارد و در شرایط خاص نه فقط باعث افزایش مقاومت نمونه نمی‌شود، بلکه باعث کاهش مقاومت نیز می‌شود.

۱.۶. پوش گسیختگی برای چیدمان‌های مورب

در شکل ۱۳، نمودارهای مربوط به پوش گسیختگی برای چیدمان‌های مورب مشاهده می‌شود. مطابق شکل مذکور، پوش مقاومتی دو چیدمان d_1 و d_2 دقیقاً به صورت دو خط موازی و در زیر پوش مقاومتی نمونه‌ی خاک غیرمسلح قرار گرفته است. توازی بین پوش گسیختگی نمونه‌ی غیرمسلح با چیدمان‌های مورب d_1 تا d_2 حفظ شده است. ولی در چیدمان d_4 با افزایش شیب پوش گسیختگی، میزان زاویه‌ی اصطکاکی نیز افزایش پیدا کرده است که این موضوع برای چیدمان d_5 نیز اتفاق افتاده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، دو چیدمان d_2 و d_5 با افزایش شدید زاویه‌ی اصطکاکی همراه هستند، ولی میزان چسبندگی نمونه کاهش شدیدی داشته است و این موضوع نیز در نمودار پوش گسیختگی مشاهده می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، رفتار نمونه‌های مورد آزمایش براساس نتایج آزمایش برش مستقیم و نمودارهای به دست آمده از آن تحلیل و بررسی شده است. در بررسی‌های انجام شده، ۳ حالت چیدمان مد نظر بوده که شامل ۳ وضعیت افقی، قائم و مورب است. نتایج به دست آمده به این شرح هستند:

۱. در چیدمان‌های افقی

-- نمونه‌های مسلح، سختی اولیه‌ی کمتری دارند و همچنین رفتار نرم‌تری از خود نشان می‌دهند، یعنی در نمودارهای تنش برشی در مقابل جابه‌جایی برشی برای نمونه‌های مسلح، پیک مقاومتی از بین می‌رود و گسیختگی آن‌ها در کرنش‌های برشی بیشتری اتفاق می‌افتد. همچنین در چیدمان‌های مذکور، دو نمونه‌ی مسلح و غیرمسلح در نهایت به یک مقاومت انتهایی باقیمانده می‌رسند. لازم به ذکر است که رفتار ذکر شده در اغلب چیدمان‌ها مشاهده می‌شود.

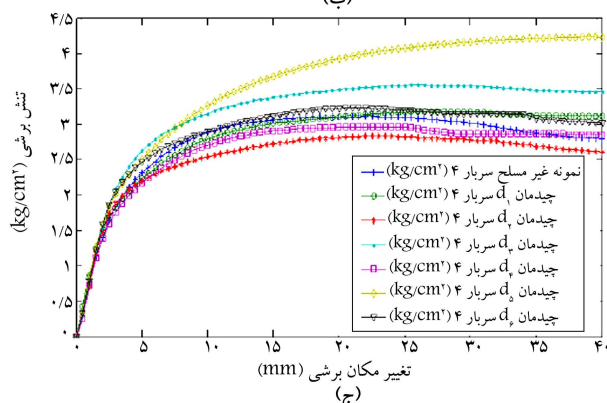
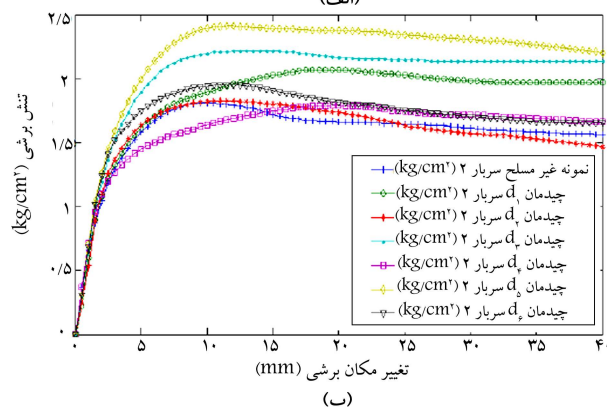
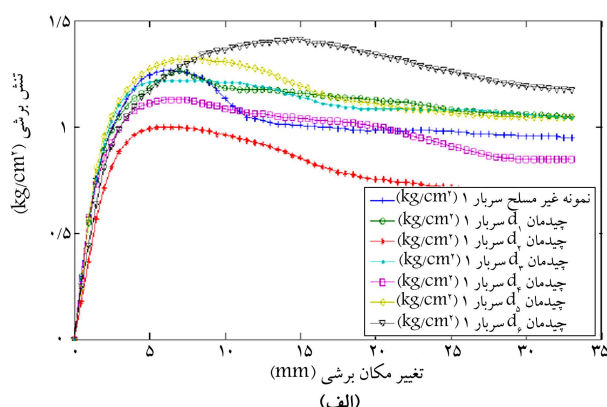
-- در چیدمان‌های افقی که لایه‌های ژئوتکستایل تقریباً از ناحیه‌ی برش دور می‌شوند، رفتاری شبیه به حالت نمونه‌ی غیرمسلح مشاهده می‌شود. یعنی نمودارها، پیک دارند و رفتار مصالح ترد می‌شود. بنابراین نتیجه‌ی ذکر شده، فرضیه‌ی وجود ناحیه‌ی برش در آزمایش برش مستقیم تأیید می‌شود.

۲. چیدمان‌های قائم

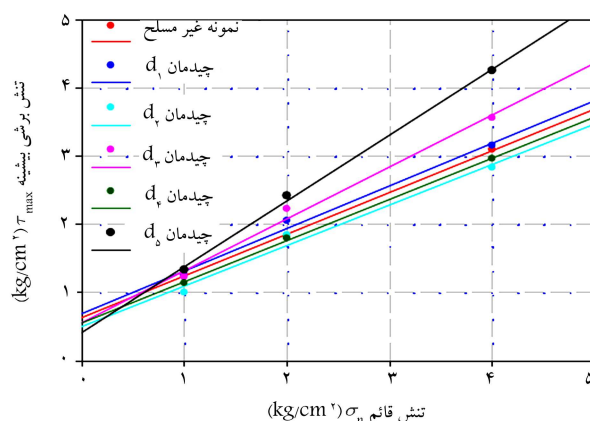
-- چیدمان‌های قائم با توجه به اینکه مسیر برش را قطع می‌کنند، نسبت به چیدمان‌های افقی مؤثرتر هستند.

-- در چیدمان‌های قائم تک‌لایه، نمونه افزایش مقاومت آن‌چنانی از خود نشان نمی‌دهد و رفتار به حالت غیرمسلح نزدیک است.

-- با افزایش تعداد لایه‌ها، مقاومت نیز افزایش پیدا می‌کند. مثلاً حالت ۲ لایه و ۳ لایه تقریباً نزدیک به هم هستند، اما نسبت به تک‌لایه، افزایش مقاومت نسبتاً زیادی دارند. مثلاً برای سربار $2 (kg/cm^2)$ ، در حالت ۲ لایه، ۲۳٪ و در حالت ۳ لایه، ۲۱٪ افزایش مقاومت مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳. نمودارهای تنش برشی - تغییر مکان برشی برای چیدمان‌های مورب.



شکل ۱۴. نمودار پوش گسیختگی برای نمونه‌های تسلیح شده با ژئوتکستایل برای چیدمان‌های مورب و نمونه‌ی غیرمسلح.

برای سربار $2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ ، در چیدمان ۲ لایه‌ی قائم، ۲۳٪ و در چیدمان ۲ لایه‌ی مورب، ۳۳٪ افزایش مقاومت مشاهده می‌شود.

-- در چیدمان‌های مورب هر چقدر زاویه‌ی قرارگیری نسبت به افق کمتر شود، محدوده‌ی بیشتری از ناحیه‌ی برش تحت تأثیر قرار می‌گیرد و به همین جهت افزایش مقاومت بیشتری مشاهده می‌شود.

-- اگر جهت قرارگیری ژئوتکستایل‌های مورب خلاف جهت برش باشند، آنگاه نه فقط باعث افزایش مقاومت نمی‌شوند، بلکه به علت لغزشی که ایجاد می‌کنند، باعث کاهش مقاومت نیز می‌شوند.

-- چیدمان مورب تک‌لایه، به شرطی که در جهت حرکت برش قرار گیرد، نسبت به قائم تک‌لایه در افزایش مقاومت برشی مؤثرتر است. این مسئله احتمالاً به دو دلیل است: اول اینکه در حالت مورب، طول بیشتری از ژئوتکستایل در ناحیه‌ی برش قرار می‌گیرد. دوم اینکه ژئوتکستایل در حالت مورب به کشش می‌افتد و کاملاً عملکرد کششی به خود می‌گیرد. این مسئله در مورد ۲ لایه‌ها مشهودتر است، یعنی چیدمان مورب ۲ لایه نسبت به چیدمان قائم ۲ لایه در افزایش مقاومت برشی نمونه بسیار مؤثر است. مثلاً

پانویس‌ها

1. Geosynthetics
2. Geotextile
3. peak
4. Geocell
5. Geogrid
6. Polyester
7. dilation
8. active

منابع (References)

1. Khodadadi, A., Nemati, S. and Amiri Hoseini, H.R. *Geosynthetics and Their Applications in Civil Engineering and Environmental Projects*, 1st End., Fadak Isatis Press (2007).
2. Koerner, R., *Designing with Geosynthetics*, 3th End., Printed in the United States of America (1994).
3. Broms, B.B. "Triaxial tests with fabric-reinforced soil", *Proceeding of International Conference on Use of Fabrics in Geotechnics*, Paris, France, **3**, pp. 109-133 (1977).
4. Gray, D.H. and AlRefeai, T. "Behavior of fabric vs. fiber-reinforced sand", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, **112**(8), pp. 804-820 (1986).
5. Athanasopoulos, G.A., Atmatzidis, D.K. and Bousias, P. "Sand-geotextile interaction by direct shear testing", *4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague, Rotterdam, **2**, pp. 795 (28 May-1 June, 1990).
6. Athanasopoulos, G.A. "Effect of particle size on the mechanical behavior of sand-geotextile composites", *Geotextile and Geomembranes*, **12**(3), pp. 255-273 (1993).
7. Haeri, S.M., Noorzad, R. and Oskoorouchi, A.M. "Effect of geotextile reinforced on the mechanical behavior of sand", *Geotextiles and Geomembranes*, **18**(3), pp. 385-402 (2000).
8. Noorzad, R. and Meshkabadi, K. "The effect of sample size on the frictional behavior of the interface sand and geotextile", 3ed National Congress on Civil Engineering, Iran (2003).
9. Asakereh, A. and Moghaddas Tafreshi, S.N. "Investigation of the behaviour of sand reinforcement in both dry and wet conditions", 7th International Congress on Civil Engineering, Iran (2003).
10. Latha, G.M. and Murthy, V.S. "Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand", *Geotextiles and Geomembranes*, **25**(1), pp. 23-32 (2007).
11. Julian, C. and Mingjiang, T. "Effect of soil moisture content soil-geosynthetic interactions using and dry density on cohesive large direct shear tests", *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, **19**(7), pp. 540-549 (2007).
12. Subaida, E.A. and Chandrakaran, S. "Experimental investigations on tensile and pullout behaviour of woven coir geotextiles", *Geotextiles and Geomembrane*, **26**(5), pp. 384-392 (2008).
13. Lopes, M.L. and Silviano, R. "Soil-geotextile interface behaviour in direct shear and pullout movements", *Geotechnical and Geological Engineering, Springer Science*, **28**(6), pp. 791-804 (2010).
14. Ghazavi, M. and Atabaki, H. "Laboratory study of shear strength parameters of sand reinforced with geotextile layers", 5th SAS Tech., Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, Iran (May 12-14, 2011).
15. Lee, K.M. and Manjunath, V.R. "Soil-geotextile interface friction by direct shear tests", *Canadian Geotechnical Journal*, **37**(1), pp. 238-252 (2011).
16. Srivastav, A. and Basudhar, P. "Interface behaviour of woven geotextile with rounded and angular particle sand", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **25**(12), pp. 1970-1974 (2013).
17. Srivastav, A. and Wu, H. "Modelling of Non-linear shear displacement behaviour of soil-geotextile interface", *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, **1**(2), pp. 1-10 (2015).
18. Vieira, C.S., Lopes, M.D. and Caldeira, L. "Sand-Nonwoven geotextile interfaces shear strength by direct shear and simple shear tests", *Geomechanics and Engineering*, **9**(5), pp. 601-618 (2015).
19. Choudhary, A.K. and Krishna, A.M. "Experimental investigation of interface behaviour of different types of granular soil/geosynthetics", *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, **2**(1), pp. 1-11 (2016).

پیوست

پیوست ۱. مقادیر پارامترهای مربوط به آزمایش برش مستقیم برای چیدمان‌ها.

پارامتر نمایه چیدمان	$\sigma_n (\frac{kg}{cm^2})$ تنش سربار	ψ° زاویه‌ی اتساع غیرمسلح	ψ° زاویه‌ی اتساع مسلح	$K_2 (\frac{kg}{cm^2})$ سختی برشی غیرمسلح	$K_2 (\frac{kg}{cm^2})$ سختی برشی مسلح	$C (\frac{kg}{cm^2})$ چسبندگی غیرمسلح	$C (\frac{kg}{cm^2})$ چسبندگی مسلح	φ° زاویه‌ی اصطکاک غیرمسلح	φ° زاویه‌ی اصطکاک مسلح
h_1	۱	۷,۲۴	۳,۵۷۶	۵,۱	۳,۶۳۹۷	۰,۶۱۶۱	۰,۴۴۴۴	۳۱,۷۷	۳۵,۲۶
	۲	۴,۴۶	۲,۷۸	۵,۸۱۱	۶,۲۰۵۳	۰,۶۱۶۱	۰,۴۴۴۴	۳۱,۷۷	۳۵,۲۶
	۴	۱,۳۷	۱,۶۳۸	۷,۶۲۵	۷,۰۴۰۷	۰,۶۱۶۱	۰,۴۴۴۴	۳۱,۷۷	۳۵,۲۶
h_2	۱	۷,۲۴	۴,۵۱	۵,۱	۳,۵۲	۰,۶۱۶۱	۰,۳۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۳,۷۵
	۲	۴,۴۶	۳,۵۶۵	۵,۸۱۱	۴,۹۵۲	۰,۶۱۶۱	۰,۳۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۳,۷۵
	۴	۱,۳۷	۱,۷۷	۷,۶۲۵	۶,۶۸۲۷	۰,۶۱۶۱	۰,۳۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۳,۷۵
h_3	۱	۷,۲۴	۷,۰۳	۵,۱	۴,۵۲	۰,۶۱۶۱	۰,۵۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۲,۷۵
	۲	۴,۴۶	۴,۱۶۵	۵,۸۱۱	۵,۵۵۲	۰,۶۱۶۱	۰,۵۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۲,۷۵
	۴	۱,۳۷	۱,۵۴	۷,۶۲۵	۷,۲۸۲۷	۰,۶۱۶۱	۰,۵۴۶۷	۳۱,۷۷	۳۲,۷۵
v_1	۱	۷,۲۴	۱۴,۳۶	۵,۱	۵,۰۳۶	۰,۶۱۶۱	۰,۶۵۶۳	۳۱,۷۷	۳۱,۲
	۲	۴,۴۶	۷,۲	۵,۸۱۱	۵,۷	۰,۶۱۶۱	۰,۶۵۶۳	۳۱,۷۷	۳۱,۲
	۴	۱,۳۷	۲,۳	۷,۶۲۵	۸,۲۲	۰,۶۱۶۱	۰,۶۵۶۳	۳۱,۷۷	۳۱,۲
v_2	۱	۷,۲۴	۹,۸۲	۵,۱	۴,۱۶	۰,۶۱۶۱	۰,۵۶	۳۱,۷۷	۳۶,۷۷
	۲	۴,۴۶	۶,۷۳	۵,۸۱۱	۶,۴۳	۰,۶۱۶۱	۰,۵۶	۳۱,۷۷	۳۶,۷۷
	۴	۱,۳۷	۱,۹۵	۷,۶۲۵	۷,۹۳	۰,۶۱۶۱	۰,۵۶	۳۱,۷۷	۳۶,۷۷
v_3	۱	۷,۲۴	۱۱,۱	۵,۱	۴,۶۵۴	۰,۶۱۶۱	۰,۷۲۵	۳۱,۷۷	۳۱,۵۵
	۲	۴,۴۶	۶,۸	۵,۸۱۱	۵,۷۸۸	۰,۶۱۶۱	۰,۷۲۵	۳۱,۷۷	۳۱,۵۵
	۴	۱,۳۷	۱,۷۱	۷,۶۲۵	۵,۳۹	۰,۶۱۶۱	۰,۷۲۵	۳۱,۷۷	۳۱,۵۵
v_4	۱	۷,۲۴	۱۲,۹۵	۵,۱	۴,۵۷	۰,۶۱۶۱	۰,۶۹	۳۱,۷۷	۳۴
	۲	۴,۴۶	۴,۷۴	۵,۸۱۱	۵,۹۵	۰,۶۱۶۱	۰,۶۹	۳۱,۷۷	۳۴
	۴	۱,۳۷	۲,۱۷	۷,۶۲۵	۶,۴۵۶	۰,۶۱۶۱	۰,۶۹	۳۱,۷۷	۳۴
v_5	۱	۷,۲۴	۱۱,۵۶	۵,۱	۴,۶۳	۰,۶۱۶۱	۰,۷۱۶	۳۱,۷۷	۳۵,۳۴
	۲	۴,۴۶	۵,۷۱	۵,۸۱۱	۵,۳۷	۰,۶۱۶۱	۰,۷۱۶	۳۱,۷۷	۳۵,۳۴
	۴	۱,۳۷	۱,۹۴	۷,۶۲۵	۶,۴۲	۰,۶۱۶۱	۰,۷۱۶	۳۱,۷۷	۳۵,۳۴
v_6	۱	۷,۲۴	۱۲,۴	۵,۱	۴,۴۷	۰,۶۱۶۱	۰,۴۵	۳۱,۷۷	۳۸,۳۲
	۲	۴,۴۶	۶,۸۴	۵,۸۱۱	۵,۶۶۸	۰,۶۱۶۱	۰,۴۵	۳۱,۷۷	۳۸,۳۲
	۴	۱,۳۷	۱,۷۱۸	۷,۶۲۵	۸,۰۵	۰,۶۱۶۱	۰,۴۵	۳۱,۷۷	۳۸,۳۲
v_7	۱	۷,۲۴	۱۰,۰۲	۵,۱	۳,۷۳۵	۰,۶۱۶۱	۰,۵	۳۱,۷۷	۴۳
	۲	۴,۴۶	۶,۵۸	۵,۸۱۱	۵,۴۵	۰,۶۱۶۱	۰,۵	۳۱,۷۷	۴۳
	۴	۱,۳۷	۳,۲	۷,۶۲۵	۶,۷۳	۰,۶۱۶۱	۰,۵	۳۱,۷۷	۴۳
v_8	۱	۷,۲۴	۱۳,۱۷	۵,۱	۵,۳۷	۰,۶۱۶۱	۰,۴۱۷	۳۱,۷۷	۴۲,۷
	۲	۴,۴۶	۸,۶۴	۵,۸۱۱	۷,۱۶	۰,۶۱۶۱	۰,۴۱۷	۳۱,۷۷	۴۲,۷
	۴	۱,۳۷	۳,۴۳	۷,۶۲۵	۷,۷۵۶	۰,۶۱۶۱	۰,۴۱۷	۳۱,۷۷	۴۲,۷

ادامه ی پیوست ۱.

				۴,۹۷۴	۵,۱	۱۳,۹۲	۷,۲۴	۱	
۳۲,۰۸	۳۱,۷۷	۰,۷۰۷	۰,۶۱۶۱	۶,۱۱	۵,۸۱۱	۷,۱۸	۴,۴۶	۲	d_1
				۸,۲۸	۷,۶۲۵	۲,۳	۱,۳۷	۴	
				۳,۷	۵,۱	۱۳,۲۷	۷,۲۴	۱	
۳۰,۷۹	۳۱,۷۷	۰,۴۹۵	۰,۶۱۶۱	۵,۳۷	۵,۸۱۱	۶,۹۵	۴,۴۶	۲	d_r
				۷,۰۴	۷,۶۲۵	۱,۱۴۵	۱,۳۷	۴	
				۵,۶	۵,۱	۱۵,۶۴	۷,۲۴	۱	
۳۷,۳۸	۳۱,۷۷	۰,۵۴	۰,۶۱۶۱	۶,۷۴	۵,۸۱۱	۷,۵۲	۴,۴۶	۲	d_r
				۷,۹۳	۷,۶۲۵	۱,۷۱	۱,۳۷	۴	
				۵,۷۲۸	۵,۱	۱۴,۱	۷,۲۴	۱	
۳۱,۳۴	۳۱,۷۷	۰,۵۴	۰,۶۱۶۱	۷,۱۶	۵,۸۱۱	۶,۹۵	۴,۴۶	۲	d_r
				۷,۲۸	۷,۶۲۵	۲,۲۹	۱,۳۷	۴	
				۵,۶	۵,۱	۱۵,۶۴	۷,۲۴	۱	
۳۷,۳۸	۳۱,۷۷	۰,۵۴	۰,۶۱۶۱	۶,۷۴	۵,۸۱۱	۷,۵۲	۴,۴۶	۲	h_1
				۷,۹۳	۷,۶۲۵	۱,۷۱	۱,۳۷	۴	
				۴,۴۴	۵,۱	۱۱,۳	۷,۲۴	۱	
۳۱,۴۲	۳۱,۷۷	۰,۷۷	۰,۶۱۶۱	۶,۸۶	۵,۸۱۱	۸,۵۳	۴,۴۶	۲	d_f
				۷,۸۱	۷,۶۲۵	۲,۲۹	۱,۳۷	۴	