

بررسی اثر جهت‌گیری تراشه لاستیک بر مقاومت برشی مخلوط ماسه- تراشه لاستیک

مسلم علیخانی فرادنبه^۱، محسن اسدی زیدآبادی*^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان

دریافت: ۱۴۰۱/۱۸/۱۷، بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۶، نشر آنلاین: ۱۴۰۲/۱/۲۶

چکیده

استفاده از تراشه لاستیک به عنوان افزودنی به خاک یکی از گزینه‌های به‌کارگیری لاستیک‌های فرسوده است. تراشه به دلیل شکل پولکی هنگام اختلاط با خاک به صورت افقی قرار می‌گیرد و از این رو معمولاً در پژوهش‌ها اثر زاویه‌داری تراشه لحاظ نشده است. در این پژوهش مطالعات آزمایشگاهی بر روی ماسه مسلح شده با تراشه‌های لاستیکی انجام شده است. بررسی اثر زاویه‌داری تراشه‌های لاستیکی و درصد حجمی تراشه بخش‌های اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهد. برای تأمین زاویه‌داری از یک قالب ابتکاری استفاده شده است. جهت مسلح‌سازی خاک از تراشه با درصدهای حجمی ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد استفاده گردیده و تراشه‌های لاستیک در زوایای ۰، ۲۵ و ۵۰ درجه نسبت به افق در نمونه قرار گرفتند. نمونه‌ها به وسیله آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر تحت سه سربار ۳۰، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوپاسکال مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که با افزایش تنش عمودی و همچنین افزایش زاویه‌داری، مقاومت برشی مخلوط ماسه- تراشه لاستیک افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که نمونه با ۶۰٪ تراشه لاستیک بالاترین مقاومت را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تراشه تایلر، دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس، زاویه‌داری تراشه، زاویه اصطکاک، تسلیح.

۱- مقدمه

مطالعات فراوان آزمایشگاهی روی مخلوط ماسه و خرده لاستیک صورت گرفته است.

تحقیقات اولیه که در پایان دهه ۹۰ میلادی انجام شد، عموماً روی ذرات بزرگ صورت پذیرفته است (به‌طور مثال، Humphrey و همکاران، ۱۹۹۳؛ Ahmed، ۱۹۹۳). عمده مطالعات اولیه بر مثبت بودن برخی ویژگی‌های مهندسی مخلوط ماسه- تراشه و یا تراشه به‌تنهایی تأکید داشته و پاسخ به برخی سؤالات را منوط به تحقیقات بیشتر کردند.

موارد متعددی از پژوهش‌ها به بررسی اثر افزودن ذرات کوچک لاستیکی (پودر لاستیک و خرده لاستیک) بر مقاومت مخلوط ماسه- تایلر پرداخته‌اند. در پژوهش‌هایی که از دستگاه سه‌محوری به‌منظور مطالعات استفاده شده است، نتایج نشان می‌دهد عموماً افزودن محصولات لاستیکی کوچک به ماسه سبب کاهش مقاومت می‌شود (به‌طور مثال Lee و همکاران، ۲۰۰۷؛ Madhusudhan

صنایع و بهره‌برداری‌های متنوع انسانی منجر به تولید ضایعات لاستیک فراوانی در جوامع می‌شود که به دلیل داشتن مواد شیمیایی، اندازه و حالت خاص جزو دسته خاصی از زباله‌ها محسوب می‌شوند. همچنین به دلیل این که مواد اولیه لاستیک از پلیمر می‌باشد در طبیعت به راحتی تجزیه نمی‌شود. انباشت این لاستیک‌ها علاوه بر جاگیر بودن، احتمال آتش‌سوزی را هم به همراه دارد. مقابله با این مشکلات نیاز به مدیریت دارد که یکی از راه‌های آن استفاده از این ضایعات در مهندسی عمران است. یکی از راه‌های جلوگیری از انباشت تایلرهای فرسوده، جمع‌آوری آن‌ها و سپس برش آن‌ها در ابعاد مختلف است. به‌طور کلی چهار دسته از این مصالح در حوزه عمران وجود دارد که از کوچک به بزرگ عبارت‌اند از: پودر لاستیک، خرده (گرانوله) لاستیک، تراشه لاستیک و تکه‌های لاستیک (ASTM D6270، ۲۰۱۷) تاکنون



همکاران، ۲۰۱۹؛ Neaz Sheikh و همکاران، ۲۰۱۳).

این در حالی است که اضافه شدن ذرات کوچک لاستیک به رس در برخی تحقیقات سبب افزایش مقاومت (به‌طور مثال Gao و همکاران، ۲۰۲۲) و در برخی سبب کاهش مقاومت (Akbarimehr و ۲۰۲۰) می‌شود.

اضافه شدن ذرات بزرگ‌تر لاستیکی مانند تراشه و تکه‌های لاستیک گاهی سبب افزایش مقاومت و گاهی سبب کاهش مقاومت می‌شود. این موضوع علاوه بر این که به شکل ذرات لاستیکی و اندازه ذرات ماسه‌ای بستگی دارد ممکن است به درصد تراکم و دیگر ویژگی‌های نمونه وابسته باشد. در ادامه، برخی تحقیقات که روی رفتار تراشه لاستیک و ماسه انجام شده‌اند توضیح داده می‌شود.

Zornberg و همکاران (۲۰۰۴) مطالعه گسترده‌ای روی رفتار مکانیکی مخلوط تراشه لاستیک و ماسه با استفاده از آزمایش سه-محوری بزرگ مقیاس انجام دادند. متغیرهای مطالعه آن‌ها درصد لاستیک، ابعاد لاستیک و تنش همه‌جانبه و همچنین درصد تراکم بود. بر اساس نتایج آن‌ها رفتار اتساعی در نمونه‌های با درصد تراشه کمتر از ۳۵٪ وزنی بروز می‌کند، اما رفتار کاملاً تراکمی در نمونه‌های با درصد تراشه بالاتر مشاهده می‌شود. در خصوص ابعاد تراشه لاستیک، این محققین به این نتیجه رسیدند که مقاومت برشی مخلوط با افزایش نسبت ابعاد تراشه لاستیک افزایش می‌یابد. این افزایش مقاومت برشی به‌ویژه هنگامی که نسبت طول به عرض لاستیک از ۴ به ۸ افزایش می‌یافت، قابل توجه گزارش شده است.

Ghazavi و Saksi (۲۰۰۵) تأثیر ابعاد تراشه‌های مستطیلی شکل که از لاستیک‌های زائد تهیه شده بود را بر مقاومت برشی مخلوط تراشه لاستیک با ماسه بررسی نمودند. این مطالعه با انجام آزمایش‌های برش مستقیم بزرگ مقیاس بر روی ماسه خالص و مخلوط تراشه لاستیک و ماسه در دو تراکم مختلف صورت گرفت. نتایج حاکی از آن بود که به‌ازای تنش عمودی و درصد تراکم یکسان، مقاومت برشی مخلوط ماسه و تراشه لاستیک بیشتر از ماسه خالص در همان وزن مخصوص مخلوط ماسه و تیر است. قابل ذکر است طبق نتایج آن‌ها پوش‌های گسیختگی این مواد معمولاً از دو خط تشکیل می‌شود که شیب خط اول زاویه اصطکاک اولیه و شیب خط دوم زاویه اصطکاک ثانویه نام‌گذاری می‌شود. طی گزارش‌های این محققین، نسبت طول به عرض قطعات تیر بر زاویه اصطکاک اولیه مخلوط تأثیر قابل توجهی دارد. برای یک عرض تراشه لاستیک، صرفاً یک طول بهینه وجود دارد که بیشترین زاویه اصطکاک را بدون توجه به درصد تراشه لاستیک و میزان تراکم ایجاد می‌کند. برای تراشه‌های ۲، ۳ و ۴ سانتی‌متری، ابعاد بهینه به ترتیب 2×10 سانتی‌متر، 3×12 سانتی‌متر و 4×8 سانتی‌متر به‌دست آمد. در نتایج آن‌ها همچنین

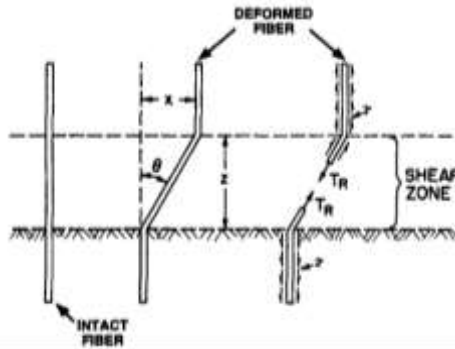
اتساع در مخلوط‌های ماسه و تراشه لاستیک مشاهده می‌شود؛ به-ویژه در نمونه‌هایی که درصد تراشه بیشتر و تراکم بیشتری داشتند اتساع بیشتری را گزارش کردند.

بررسی رفتار مخلوط ماسه کربناته و تراشه لاستیک با آزمایش‌های برش مستقیم توسط Shariatmadari و همکاران (۲۰۱۸) صورت گرفت. آن‌ها در پژوهش خود وجود لاستیک در نمونه را علت کاهش اتکای بین دانه‌های ماسه با یکدیگر اعلام کردند. همچنین ذرات تیز گوشه ماسه کربناته به تراشه‌های لاستیک انعطاف‌پذیر اتکا کرده و کمتر دچار خردشدگی می‌شوند. در واقع برخورد بین ذرات از نوع ماسه با ماسه کاهش می‌یابد و برخورد‌های ماسه با لاستیک و لاستیک با لاستیک جایگزین می‌شود که در واقع هرچه درصد تراشه لاستیک در مخلوط بیشتر باشد، افزایش خردشدگی کمتر خواهد بود. آن‌ها اثر درصد تراشه لاستیک را بر تغییرات زاویه اصطکاک و چسبندگی سنجیدند. با افزایش درصد تراشه لاستیک تا میزان ۲۰ درصد، زاویه اصطکاک روند افزایشی دارد اما به‌ازای درصد تراشه بیش از ۲۰ درصد، زاویه اصطکاک کاهش می‌یابد. از سوی دیگر درصد بالای تراشه لاستیک در مخلوط موجب چسبندگی بیشتری در مخلوط می‌شود.

همان‌طور که مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد افزودن تراشه لاستیک علاوه بر کاهش وزن مخصوص، عموماً سبب افزایش مقاومت برشی مخلوط شده و البته سختی اولیه نمونه را کاهش می‌دهد و توده را منعطف می‌کند؛ در حالی که معمولاً افزودن پودر لاستیک و یا خرده لاستیک سبب کاهش مقاومت می‌شود. علاوه بر این مزیت رفتاری تراشه، تولید تراشه از تیر فرسوده هزینه زمانی و اقتصادی کمتری دارد و کاربرد ژئوتکنیکی آن بیشتر است. از این رو این پژوهش بر رفتار تراشه متمرکز می‌شود. تراشه‌ها پس از برش تیر معمولاً ذراتی پولکی شکل هستند و عموماً نسبت طول و عرض آن‌ها به ضخامتشان بزرگ است. چنین شکلی سبب می‌شود که هنگام اجرای مخلوط در محل و یا ساخت نمونه در آزمایشگاه این مصالح به‌صورت افقی روی یکدیگر قرار گیرند و از این رو علاوه بر ناهمگنی، ناهمسانی هم در این مصالح وجود دارد. از آنجا که در برخی پدیده‌های ژئوتکنیکی مانند گسیختگی شیروانی، زاویه سطح گسیختگی نسبت به افق تغییر می‌کند، مصالح ناهمسان هر بار در یک زاویه مشخص تحت گسیختگی قرار می‌گیرند. این در حالی است که عمده مطالعات روی این مخلوط در حالتی بوده که تراشه‌ها به‌صورت افقی کوبیده شده‌اند؛ گرچه موضوع زاویه‌داری نیز تا حدودی مورد توجه محققین قرار گرفته-است.

به‌طور مثال، Neeraja و همکاران (۲۰۱۴) در یک مطالعه عددی از الیاف نارگیل به‌عنوان تقویت کننده مصالح استفاده کردند. آن‌ها ابتدا شبیه‌سازی خود را به‌وسیله نتایج آزمایشگاهی اعتبارسنجی کردند و سپس چندین نمونه با جهت‌گیری مختلف

بر اساس گزارشات Foose و همکاران (۱۹۹۶) ابعاد تراشه‌های تایر و همچنین زاویه‌داری آن‌ها تأثیر چندانی بر مقاومت برشی مخلوط نداشت. اگرچه تراشه‌های مورد استفاده در این تحقیق منحصراً اندازه کیفی داشتند و تراشه‌ها به صورت ابعاد مشخصی تهیه نشده بودند.



شکل ۱- خاک مسلح شده با الیاف (Foose و همکاران، ۱۹۹۶)

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که زاویه‌داری تراشه در ماسه مورد بررسی جامع و کامل محققین قرار نگرفته است. به طور مثال در یک خاکریز، به علت افقی قرار گرفتن تراشه‌ها حین اجرای خاکریز، سطح گسیختگی محتمل می‌تواند زوایای متنوعی با تراشه‌ها ایجاد کند. از سوی دیگر ادبیات فنی نشان می‌دهد که مقاومت برشی توده وابسته به زاویه‌ای است که بین سطح گسیختگی و تراشه‌ها وجود دارد؛ بنابراین در هر نقطه‌ای از سطح گسیختگی به واسطه زاویه بین تراشه و سطح برش، مقاومت برشی متفاوت از دیگر نقاط وجود دارد؛ این پدیده منجر به ناهمسانی در زاویه اصطکاک توده می‌شود. از این رو درک رابطه زاویه اصطکاک و زاویه قرارگیری الیاف نسبت به افق از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش درصدهای مختلف تراشه با ماسه مخلوط شده و با استفاده از یک قالب ابتکاری، مخلوط با زوایای ۰، ۲۵ و ۵۰ درجه نسبت به افق کوبیده شده و در دستگاه برش مستقیم به صورت عمودی قبلاً توسط پژوهشگران بررسی شده است. درصد حجمی لاستیک و همچنین سربار از دیگر متغیرهای این پژوهش است. نتایج این تحقیق می‌تواند به درک اثر زاویه‌داری بر مقاومت برشی و همچنین تحلیل صحیح‌تر مقاومت برشی مخلوط تراشه و خاک کمک کند.

۲- مصالح مورد استفاده

۲-۱- ماسه

خاک مورد استفاده در این تحقیق از منطقه فیروزکوه واقع در شرق تهران تهیه شده است. ماسه مورد نظر، دارای دانه‌بندی

الیاف را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها از آزمایش سه‌محوری به منظور تجزیه و تحلیل مصالح استفاده کردند. آن‌ها در تحقیقات خود نشان داده‌اند که از جمله عوامل مؤثر در افزایش مقاومت خاک، جهت‌گیری الیاف در مخلوط خاک است. این مطالعه نشان می‌دهد در یک آزمایش سه‌محوری زمانی که الیاف در حالت افقی هستند نمونه بیشترین مقاومت را نسبت به جهت‌گیری الیاف به صورت عمودی و تصادفی بروز می‌دهد.

تحقیقات Edil و همکاران (۱۹۹۴) نشان می‌دهد که اثر تقویتی تراشه‌های تایر به دلیل تراشه‌هایی است که در سطح برشی قرار دارند. در این تحقیق برای مشخص کردن اثر جهت‌گیری تراشه‌های تایر، یک سری آزمایشات برش مستقیم بزرگ مقیاس انجام گردید که در آن تراشه‌های لاستیک به صورت عمودی بر صفحه برش قرار داده شدند. در پی نتایج به دست آمده توسط این محققین اثر تقویتی تراشه‌های تایر به میزان تراشه‌های تایر در سطح برش و همچنین بزرگی تنش عمودی بستگی دارد. طبق تحقیقات آن‌ها مقاومت برشی مخلوط ماسه و تراشه لاستیک همیشه از ماسه متراکم بیشتر است.

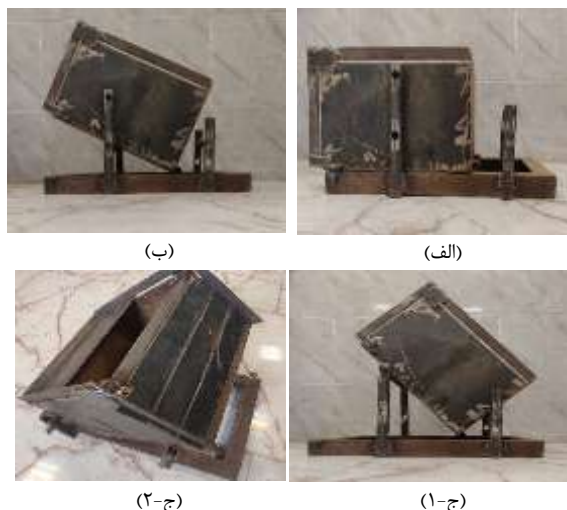
مطابق نتایج Edil و همکاران اگر ۱۰ تراشه به صورت عمود نسبت به سطح برش قرار بگیرند، در تنش عمودی ۴۰ کیلوپاسکال زاویه اصطکاک ۵۵ درجه و پس از آن زاویه اصطکاک ۴۱ درجه به دست می‌آید. هنگامی که تعداد تراشه‌ها در صفحه برش به ۵ عدد کاهش می‌یابد، اثرگذاری تراشه لاستیک در مقاومت نمونه مشهود است اما قابل توجه نیست.

Foose و همکاران (۱۹۹۶) برای بررسی امکان استفاده از خرده لاستیک برای تقویت ماسه از آزمایش‌های برش مستقیم استفاده کردند تا اثر چند پارامتر را بر مقاومت برشی مخلوط مورد بررسی قرار دهند. این پارامترها شامل تنش عمودی، وزن مخصوص مخلوط ماسه و تراشه لاستیک، درصد تراشه، طول خرد شده تراشه و جهت‌گیری تراشه می‌باشد. این محققین از نتایج آزمایشات سه عامل مؤثر بر مقاومت برشی را گزارش کردند که عبارت‌اند از تنش عمودی، درصد تایر و وزن واحد مخلوط ماسه. نتایج آنان نشان داد که در همه موارد، اضافه کردن لاستیک‌های خرد شده، مقاومت برشی ماسه افزایش می‌یابد. مدل‌هایی برای الیاف که در ابتدا به صورت عمود نسبت به سطح برش در ماسه قرار گرفته‌اند، در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. تنش برشی که در ماسه ایجاد می‌شود، مقاومت کششی الیاف را از طریق اصطکاک در سطح مشترک الیاف و ماسه بسیج می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است نیروی برشی در ماسه باعث انحراف الیاف می‌شود. در این حالت، مقاومت کششی در الیاف دارای یک مؤلفه عمودی است که باعث افزایش تنش عمودی در صفحه برش می‌شود و دارای یک مؤلفه مماسی است که مستقیماً با جهت برش مخالف است.

عرض ۴ سانتی‌متر و طول ۸ سانتی‌متر و ضخامت ۴ میلی‌متر استفاده می‌شود. طبق آزمایشات انجام شده بر روی تراشه، چگالی آن برابر ۱/۶۵ و مدول یانگ 10^6 kN/m^2 به دست آمد. همچنین طی آزمایش انجام شده بر اساس استاندارد شماره ASTM D638، (۲۰۱۵) در کرنش ۱۲ میلی‌متر و نیروی ۱۱۱ نیوتن تراشه گسیخته می‌شود. شکل (۳) تراشه‌های لاستیک مورد استفاده در مطالعه حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- تراشه لاستیک مورد استفاده در پژوهش حاضر



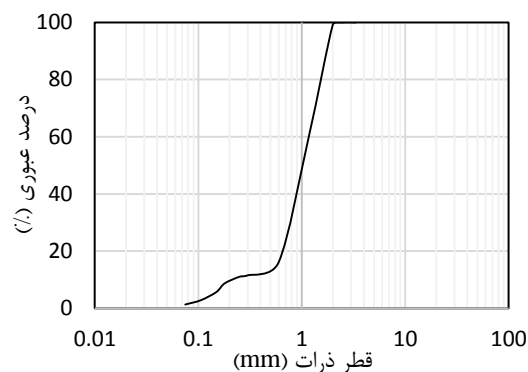
شکل ۴- قالب نمونه‌سازی جهت زاویه‌دار کردن تراشه لاستیک: (الف) زاویه صفر، (ب) زاویه ۲۵ درجه، (ج) زاویه ۵۰ درجه (در قسمت ج تسمه‌ها قابل مشاهده هستند)

۳- نمونه‌سازی و روش آزمایش

۳-۱- قالب نمونه‌سازی

با توجه به هدف این مطالعه، باید تراشه‌های لاستیک در ماسه به صورت زاویه‌دار نسبت به افق قرار گیرند. برای تأمین این هدف قالب مخصوصی جهت انجام این کار طراحی و ساخته شد. این قالب در شکل (۴) نشان داده شده است. ابعاد این قالب متناسب با ابعاد جعبه برش (۳۰×۳۰×۲۰ cm) انتخاب شد. قالب متشکل از دو قسمت خارجی و داخلی است.

یکنواخت است و طبق سیستم طبقه‌بندی متحد خاک (USCS) به عنوان یک ماسه با دانه‌بندی ضعیف (SP) طبقه‌بندی می‌شود. نمودار دانه‌بندی آن در شکل (۲) و مشخصات فیزیکی آن در جدول (۱) نشان داده شده است. وزن واحد کل این ماسه در حالت شل 137 kN/m^3 است.



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی ماسه D11 فیروزکوه

جدول ۱- مشخصات ماسه D11 فیروزکوه

D_{10}	۰/۶۵ mm
D_{30}	۰/۸ mm
D_{50}	۱/۱ mm
D_{60}	۱/۲۵ mm
C_c	۰/۷۹
C_u	۱/۹۲
γ_{min}	۱۳/۷ kN/m^3
γ_{max}	۱۸/۱ kN/m^3
G_s	۲/۶۱

۲-۲- لاستیک

طبق تحقیقات پیشین و همان‌طور که در مقدمه گفته شد، استفاده از لاستیک با ابعاد کوچک مانند پودر لاستیک و خرده لاستیک تأثیر چندانی در افزایش مقاومت ندارد و حتی برخی محققین کاهش مقاومت را نیز گزارش کرده‌اند (Neaz Sheikh و همکاران، ۲۰۱۳) در حالی که در گزارشات دیگر محققین تراشه‌های لاستیک بهبود مؤثرتری نسبت به پودر لاستیک از خود نشان دادند (Saberian و همکاران، ۲۰۱۷) از این رو باید از لاستیک با ابعاد بزرگ‌تر جهت افزایش مقاومت مخلوط استفاده نمود.

عامل سخی (۱۳۸۰) ابعاد بهینه تراشه لاستیک‌های فرسوده را جهت افزایش مقاومت ماسه‌ها مورد بررسی قرار داد و بر اساس گزارش او برای تراشه با عرض ۴ سانتی‌متر، نسبت ابعاد ۲ بهینه خواهد بود. با توجه به این‌که اثر ابعاد تراشه جزء مطالعات این پژوهش نیست، مبنای انتخاب ابعاد تراشه تحقیقات عامل سخی در نظر گرفته شده است. از این رو در این پژوهش از تراشه‌هایی به

از این رو جهت تعیین محدوده لایه‌ها در قالب نمونه‌سازی، ابعاد قالب در نرم‌افزار اتوکد رسم شد و توسط نرم‌افزار حجم قالب مورد نظر به سه قسمت مساوی تقسیم شد و سپس خطوط متناظر روی قالب رسم شد؛ شکل ۶ خطوط رسم شده برای هر زاویه کوبش را نشان می‌دهد. در صورتی که یک سوم وزن کل نمونه در لایه مشخص شده کوبیده شود، وزن مخصوص سه لایه برابر خواهد بود چرا که برای هر لایه وزن و حجم برابر است. بدین ترتیب با کوبیدن یک سوم نمونه تا رسیدن به خط مورد نظر، تراکم لایه‌های نمونه یکسان خواهد بود.

با توجه به این که با متراکم کردن مخلوط ماسه و لاستیک اکثر تراشه‌ها حالت افقی پیدا می‌کنند، با پر کردن قالب و متراکم کردن مخلوط داخل قالب، پس از برگرداندن قالب نمونه‌سازی به حالت افقی تراشه‌های تایلر به حالت زاویه‌ای که قالب نمونه با سطح افق داشت قرار می‌گیرند. سپس تسمه‌های قسمت بالای قالب جدا شده و پوسته داخلی حاوی نمونه از قالب خارجی بیرون کشیده می‌شود و به قالب دستگاه برش مستقیم منتقل می‌گردد.

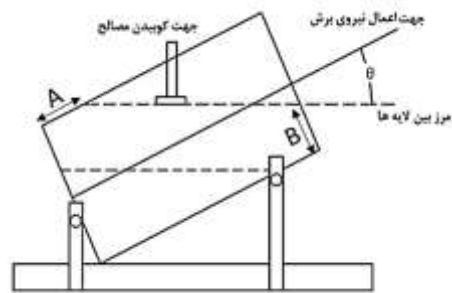
۳-۲- ساخت نمونه

جهت تعیین پارامترهای مقاومتی خاک باید نمونه در تراکم مشخصی و در حجم و جرم معینی نمونه ساخته شود. از این رو با توجه به وزن مخصوص مخلوط ماسه و تراشه لاستیک و حجم نمونه، وزن مخلوط به دست می‌آید. سپس این مصالح بعد از ریخته شدن در قالب، باید کوبیده شوند تا به تراکم مورد نظر برسند. درصد‌های حجمی لاستیک، ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد می‌باشند. لازم به ذکر است که منظور از درصد حجمی لاستیک در این پژوهش، نسبت حجم تراشه‌های لاستیک به حجم کل دانه‌های جامد می‌باشد. نمونه‌سازی با تراکم نسبی بالا مقدور نبود و نمونه‌های حاوی تراشه با تراکم نسبی ۵۵ درصد مورد آزمایش قرار گرفتند. در این مطالعه اثر جهت‌گیری تراشه لاستیک در راستای افقی و زوایای ۲۵ و ۵۰ درجه تحت تنش‌های عمودی ۳۰، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوپاسکال مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

برای آن که بتوان مقاومت نمونه‌ها را مقایسه کرد، نیاز است که درصد تراکم آن‌ها یکسان باشد. از این رو برای همه درصد‌های تراشه آزمایش کمینه وزن مخصوص و بیشینه وزن مخصوص از طریق آزمایش تراکم در حالت خشک محاسبه شد و درصد تراکم ۵۵ درصد ملاک نمونه‌سازی قرار گرفت. محاسبات وزن هر یک از نمونه‌ها بر اساس فرمول‌های زیر صورت گرفت.

$$m_s = \frac{m_t}{1 + \frac{G_{Sr} + R_C}{G_{S_s}(1 - R_C)}} \quad (1)$$

$$m_r = m_t - m_s \quad (2)$$



شکل ۵- نحوه آماده‌سازی نمونه با جهت‌گیری زاویه θ در قالب ابتکاری

قسمت داخلی قالب پوسته نازکی است که نقش انتقال نمونه از قالب ابتکاری به قالب دستگاه برش مستقیم را دارد و قالب خارجی که بدنه آن از ورق‌های ضخیم‌تری ساخته شده، باعث عدم تغییر شکل پوسته داخلی حین نمونه‌سازی و تراکم نمونه می‌شود. در حالت زاویه‌داری قالب، جهت سهولت در نمونه‌سازی بدنه دو وجه از قالب به صورت تسمه‌های کشویی ساخته شده است و طی مراحل نمونه‌سازی تسمه‌ها در کنار هم قرار داده می‌شوند.

شکل ۵) نحوه نمونه‌سازی در حالت زاویه‌داری تراشه در قالب نمونه‌سازی را نشان می‌دهد. نحوه نمونه‌سازی در این قالب به این صورت است که پس از قرار دادن پوسته داخلی درون قالب خارجی، قالب در زاویه مورد نظر قرار داده می‌شود و مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در سه لایه با وزن برابر داخل قالب ریخته شده و متراکم می‌گردد. دقت به شکل نشان می‌دهد که در حالت زاویه‌داری، اگر وجه بالایی قالب کاملاً باز باشد (مانند قالب‌های معمولی برش مستقیم)، امکان کوبش مصالح وجود ندارد چرا که کوبیدن مصالح در حالت زاویه‌داری نیاز دارد که خاک در ناحیه A در شکل ۵) به نحوی مهار شود. همین مسئله دلیل تأمین تسمه‌ها در وجه B نیز هست. جهت نمونه‌سازی، باید نمونه در سه لایه با تراکم یکسان در قالب کوبیده شود. به دلیل زاویه‌داری بودن قالب لازم است مرکز هر لایه در قالب نمونه‌سازی مشخص گردد تا از تفاوت تراکم لایه‌ها حین نمونه‌سازی جلوگیری شود.



شکل ۶- نحوه لایه‌بندی مخلوط جهت تراکم نمونه در زوایای مختلف در قالب نمونه‌سازی

سربار در صفحه لمسی دستگاه درج شده و سپس موتور الکتریکی شروع به اعمال سربار می‌کند. پس از به پایان رسیدن نشست نمونه، مرحله برش آغاز می‌شود. طبق بررسی تحقیقات پیشین (Yang و همکاران، ۲۰۰۲؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۸) و بعد جعبه برش مورد استفاده در این تحقیق، نرخ سرعت عملی نیروی برشی ۴ میلی‌متر در دقیقه انتخاب گردید. حین آزمایش داده‌هایی همچون جابه‌جایی قائم و افقی و همچنین میزان نیروی اعمال شده به نمونه ثبت می‌شود.

که در آن، m_t جرم کل نمونه، m_s جرم ماسه، m_r جرم لاستیک، G_{S_r} چگالی ماسه، G_{S_t} چگالی لاستیک، R_c نسبت حجمی لاستیک به ماسه. در جدول (۲) درصد حجمی مختلف ماسه و لاستیک در هر آزمایش گزارش شده است. پس از اینکه آماده‌سازی نمونه انجام شد و نمونه در جعبه برش با ابعاد 30×30 سانتی‌متر قرار داده شد، مرحله اعمال سربار و برش شروع می‌شود. مراحل انجام آزمایش برش مستقیم طبق استاندارد شماره (ASTM D3080, 2011) انجام می‌شود. برای اعمال سربار عمودی، مقدار

جدول ۲- مقادیر تخلخل کمینه و بیشینه، وزن مخصوص و جرم نمونه در درصد حجمی مختلف لاستیک

جرم نمونه ماسه و لاستیک (kg)	وزن مخصوص (kN/m^3)	Dr (%)	e_{min}	e_{max}	نسبت حجمی لاستیک به دانه‌های جامد (%)
۲۴/۵	۱۵/۸۳	۵۵	۰/۴۱	۰/۸۶	۰
۲۴/۵	۱۵/۸۳	۵۵	۰/۳۹	۰/۶۳	۲۰
۲۳/۱	۱۴/۹۰	۵۵	۰/۳۲	۰/۶۴	۴۰
۲۱/۳	۱۳/۷۲	۵۵	۰/۳۳	۰/۶۱	۶۰
۱۱/۶	۷/۴۵	۵۵	۰/۷۸	۱/۶۴	۱۰۰

انجام آزمایش روی نمونه‌های لاستیک خالص در زوایای ۲۵ درجه و ۵۰ درجه در سربار 160 kPa مقدور نبود. علت این مسئله ناهمسانی سختی توده متشکل از تراشه خالص است؛ به این صورت که سختی نمونه در شرایطی که سربار عمود بر طول تراشه باشد ($\theta=0$)، بیشتر از سختی نمونه در حالتی است که سربار موازی با طول تراشه باشد ($\theta=90$). از این رو زمانی که تراشه به صورت زاویه‌دار قرار می‌گیرد توده تراشه خالص سختی کمتری داشته و طی مرحله اعمال سربار و پیش از برش، تراشه‌ها به نوعی تاشده و نشست قابل توجهی تا نزدیکی مرز برش صورت می‌پذیرد که نتایج آزمایش را بی‌اعتبار می‌کند. در نتیجه به‌ازای $\theta=25, 50$ روی نمونه‌های تراشه خالص در سربار بالا آزمایش انجام نشده است.

۲-۴- بررسی اثر درصد لاستیک

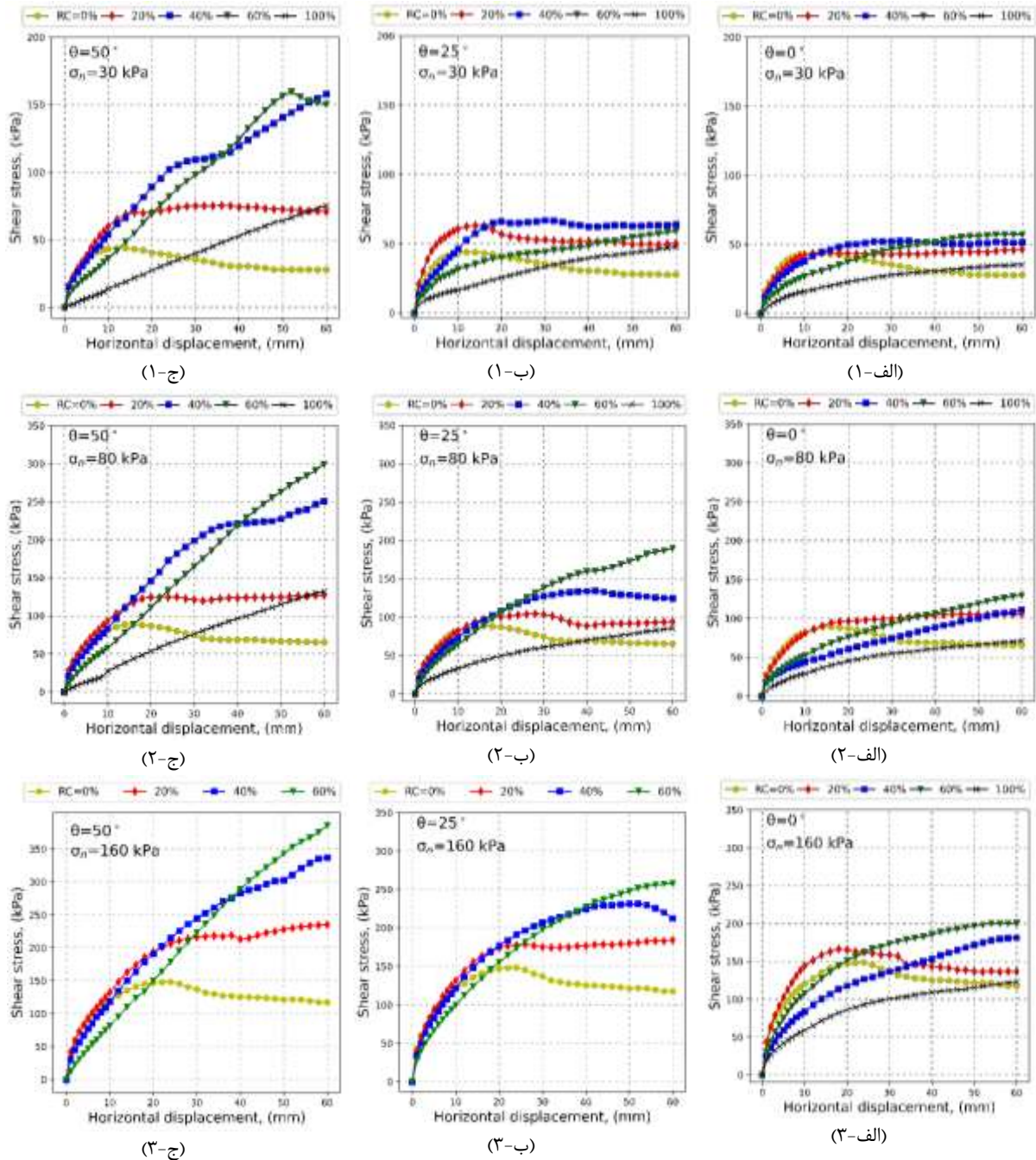
به نظر می‌رسد روند خطی شدن نمودارها ناشی از فرآیند تسلیح است. وقتی تراشه‌ها به‌صورت زاویه‌دار در مرز برش قرار دارند، حرکت فک‌ها نسبت به هم موجب کشیده شدن تراشه شده و در نتیجه مقاومت آن‌ها بسیج شده و در کشش قرار می‌گیرند؛ بنابراین مازاد بر مقاومت اصطکاکی دانه‌های ماسه، مقاومت کششی تراشه‌ها نیز بروز می‌کند و شکل نمودار از حالت مجانب‌دار به‌حالت خطی و یا انحنادار رو به بالا تبدیل می‌شود. این فرآیند متعاقباً سبب افزایش مقاومت نمونه می‌شود. در بین همه نمونه‌های ساخته شده، نمونه ۲۰٪ رفتار ویژه‌ای دارد. توجه به روند تغییرات تنش برشی ماسه خالص و ماسه با ۲۰ درصد تراشه در شکل (۷-الف) تا شکل (۷-ج) می‌توان دریافت که این دو نمونه در کرنش‌های پایین سختی یکسانی داشته و با افزایش کرنش تا محدوده مشخص، مقاومت برشی ماسه خالص کاهش می‌یابد.

۴- نتایج

۴-۱- تحلیل نمودار تنش - جابه‌جایی

نمودارهای مربوط به آزمایش برش مستقیم بر روی مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در شکل (۷) نشان داده شده است. در این شکل، برای نمونه‌های با درصد مختلف تراشه و تحت سربارهای (σ_n) ۳۰، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوپاسکال، تنش برشی برحسب تغییر مکان افقی ترسیم شده است. سعی شده مقیاس محور عمودی نمودارها به‌ازای سربارهای برابر، یکسان است. همان‌طور که در شکل (۷-الف) که مربوط به تراشه با زاویه صفر است مشخص است ماسه خالص دارای نقطه بیشینه تنش است اما افزودن تراشه شکل نمودار را به حالت هایپربولیک نزدیک می‌کند. این نکته در نتایج دیگر محققین نیز گزارش شده است (Bali و همکاران، ۲۰۱۶؛ Lee، ۲۰۰۷؛ Neaz Sheikh و همکاران، ۲۰۱۳) همچنین افزودن تراشه تا ۲۰٪ حجمی سختی اولیه را چندان تغییر نمی‌دهد اما برای درصد‌های بالاتر تراشه، سختی اولیه نمونه کاهش می‌یابد.

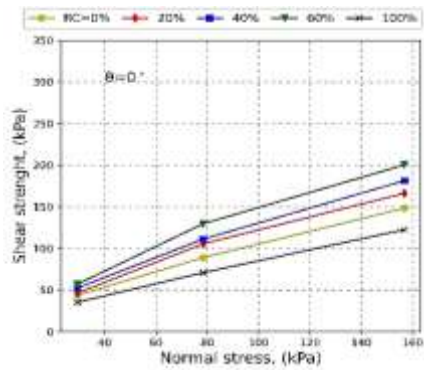
نمودارهای تنش - کرنش برای زاویه $\theta=25$ در شکل (۷-ب) نشان داده شده است. در این نمودارها علاوه بر کاهش سختی با افزایش تراشه، افزایش قابل توجه مقاومت در نمونه‌های با درصد بالای تراشه مشاهده می‌شود؛ همچنین به‌نظر می‌رسد منحنی نمونه‌های مسلح از حالت هایپربولیک به حالت خطی در حال تغییر هستند. خطی بودن نمودار مشخصاً برای نمونه با ۶۰٪ و ۱۰۰٪ تراشه قابل مشاهده است. روند خطی شدن نمودار تنش - جابه‌جایی برای زاویه ۵۰ درجه نسبت به زاویه ۲۵ درجه نمایان‌تر است (شکل (۷-ج)).



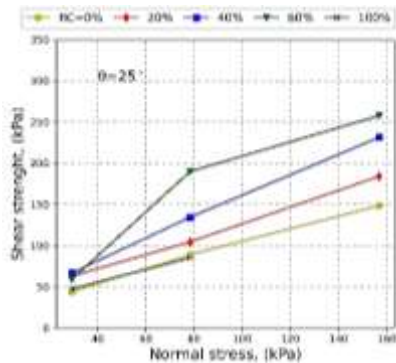
شکل ۷- تغییرات تنش - کرنش در تنش‌های عمودی مختلف: الف) تراشه افقی، ب) زاویه تراشه ۲۵ درجه، ج) زاویه تراشه ۵۰ درجه

نتایج آزمایش برش مستقیم گزارش نحوه تغییرات بیشینه تنش برشی (τ_f) با سربار است که در شکل (۸) نشان داده شده است. محور عمودی همه نمودارها به 350 kPa محدود شده است. در هر یک از این شکل‌ها بیشینه تنش هر نمونه در گستره کرنش آزمایش شده و در سربار موردنظر آورده شده است. در شکل (۸-الف) که برای نمونه‌ها با زاویه تراشه صفر درجه است، لاستیک خالص کمترین مقاومت را نشان می‌دهد اما مخلوط‌های ماسه و تراشه با همه درصدها مقاومتی بیش از ماسه خالص دارند. در این تحقیق بیشترین مقاومت را نمونه با 60% حجمی تراشه نشان

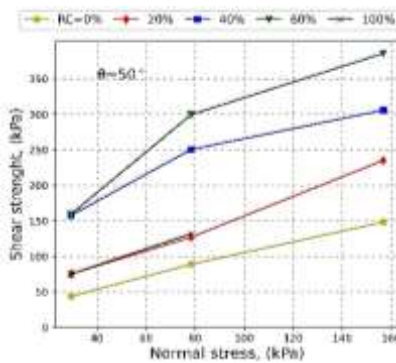
اما در ماسه مسلح شده با 20% تراشه، مقاومت برشی روند افزایشی دارد. به عبارتی نمونه 20% علاوه بر این که در کرنش‌های کوچک دارای سختی مشابه ماسه است، در کرنش‌های بالا مقاومت بیشتری دارد و این بدان معنی است که افزودن 20% تراشه به ماسه توانسته خواص سختی و مقاومتی ماسه را بهبود بخشد. بی‌نظمی‌هایی که در روند کلی نتایج مشاهده می‌شود می‌تواند به توزیع نامتعادل تراشه لاستیک در مخلوط و همچنین اندرکرنش بین ماسه و تراشه نسبت داده شود. بحث بیشتر پیرامون مقاومت نمونه‌ها در قسمت بعد ارائه می‌شود. یکی از روش‌های متداول ارائه



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۸- تغییرات مقاومت برشی نسبت به تنش عمودی در زوایای مختلف تراشه

۳-۴- بررسی اثر زاویه‌داری تراشه لاستیک

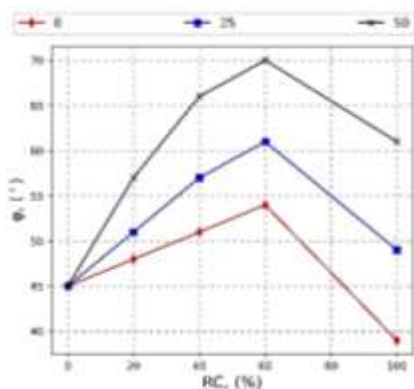
شکل (۹) مقاومت برشی نمونه‌های زاویه‌دار ($T_{f,\theta}$) نسبت به نمونه حالت افقی ($T_{f,\theta=0}$) را در تنش‌های عمودی متفاوت نشان می‌دهد. منظور از T_f مقاومت برشی نمونه مورد نظر است. همان‌طور که در شکل (۹-الف) تا شکل (۹-پ) مشاهده می‌شود برای نمونه‌های با درصد تراشه ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ می‌توان نتیجه گرفت که در یک تنش عمودی ثابت، با تغییر زاویه تراشه نسبت به سطح برش افقی عموماً افزایش مقاومت در نمونه رخ می‌دهد. این موضوع با گزارش سایر محققین نیز مطابقت دارد (Gotteland و همکاران، ۲۰۰۵؛ Zekkos و همکاران، ۲۰۱۰).

می‌دهد. بنابراین به‌ازای قرارگیری تراشه‌ها به‌موازات سطح برش، از نظر مقاومت نمونه ۶۰٪ حجمی تراشه حالت بهینه است. در گذشته نیز مطالعاتی در خصوص اثر درصد تراشه لاستیک بر روی مقاومت مخلوط انجام شده است. برخی محققان نشان داده‌اند که برای تنش‌های نرمال مختلف، مقاومت برشی مخلوط‌ها بیشتر از ماسه خالص است، اما روند افزایشی تا درصد معینی حفظ می‌شود و پس از آن مقاومت برشی کاهش می‌یابد (Bali Reddy و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین این گزاره به‌خوبی با مطالعات Gotteland و همکارانش مطابقت دارد (Gotteland و همکاران، ۲۰۰۸) هر دو گزارش دادند مقاومت مخلوط تراشه تابر و ماسه تا ۳۴ درصد وزنی تراشه (حدوداً معادل ۵۴ درصد حجمی) افزایش می‌یابد و پس از آن مقاومت مخلوط روبه کاهش می‌گذارد. درصد بهینه بین ۵۰ تا ۶۰ درصد حجمی در نتایج دیگر محققین نیز مشاهده می‌شود (Zornberg و همکاران، ۲۰۰۴). شکل (۸-ب) نتایج مقاومت را برای نمونه با زاویه قرارگیری تراشه ۲۵ درجه نشان می‌دهد. گرچه نتایج از نظر روال شبیه حالت شکل (۸-الف) هستند اما به‌وضوح مقاومت بیشتری نسبت به حالت افقی نشان می‌دهند. در شکل (۸-ج) روال افزایش مقاومت با افزودن تراشه به ماسه خالص همچنان ادامه دارد اما به مراتب حالت $\theta=50$ سبب افزایش قابل توجه مقاومت نسبت به زاویه قرارگیری صفر و ۲۵ درجه می‌شود. دقت به شکل (۸-الف) تا شکل (۸-ج) نشان می‌دهد که نمونه ۶۰٪ همواره بیشترین مقاومت را نشان می‌دهد؛ البته این بدان معنا نیست که نمونه با ۶۰٪ تراشه همواره بهترین گزینه است چرا که مشاهدات شکل (۷) نشان می‌دهد که برای بسیج شدن نمونه ۶۰٪ جابه‌جایی افقی زیادی لازم است. نکته جالب آن است که با افزایش θ از صفر به ۲۵ درجه، مقاومت نمونه لاستیک خالص برابر ماسه خالص می‌شود و با افزایش θ به ۵۰ درجه، لاستیک خالص مقاومتی بیش از ماسه خالص نشان می‌دهد. ذکر این نکته ارزشمند است که در اکثر نمونه‌ها شیب خط از سربار ۳۰ kPa به ۸۰ kPa بیشتر از شیب خط از سربار ۸۰ kPa به ۱۶۰ kPa است. نویسندگان این کاهش شیب را ناشی از آن می‌دانند که در سربار ۳۰ kPa به‌علت کوچکی تنش عمودی امکان بسیج شدن مقاومت کششی تراشه‌ها چندان وجود ندارد در حالی که سربار ۸۰ kPa برای این فرآیند کفایت می‌کند و در نتیجه رشد ناگهانی در مقاومت برشی مخلوط مشاهده می‌شود؛ به‌عبارتی در سربار ۸۰ kPa مکانیزم تسلیح فعال می‌شود در حالی که در ۳۰ kPa چنین نیست. دلیل این‌که این رشد ناگهانی از سربار ۸۰ kPa به ۱۶۰ kPa وجود ندارد این است که در هر دوی این‌ها مکانیزم تسلیح فعال است و مکانیزم جدیدی در سربار ۱۶۰ kPa به‌وجود نیامده است تا همچنان نمودار با شیب قبلی ادامه یابد.

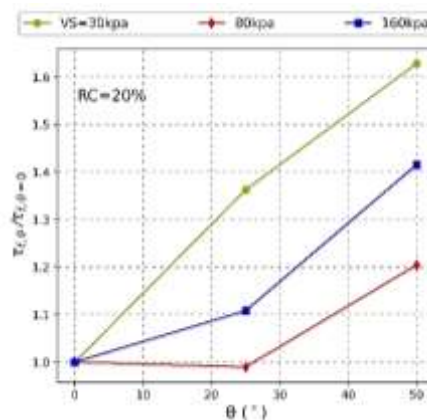
این افزایش مقاومت را می‌توان به فرآیند تسلیح نسبت داد. در فرآیند تسلیح علاوه بر این‌که زاویه‌داری نقش دارد، تنش عمودی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. Machado و همکاران نیز ذیل بررسی فرآیند تسلیح در زباله‌های جامد شهری به اثر تنش عمودی تصریح کرده‌اند (Machado و Karimpour-Fard؛ ۲۰۱۱). در زاویه تراشه موازی با سطح برش، به‌علت افقی بودن تراشه‌ها پتانسیل فرآیند تسلیحی چندان فراهم نیست. دقت به ۰ نشان می‌دهد که مقادیر $\tau_{f,\theta}/\tau_{f,\theta=0}$ برای سربار ۳۰ kPa بزرگ‌تر از دیگر سربارهاست و این نسبت برای سربارهای ۸۰ kPa و ۱۶۰ kPa در نمونه‌های با ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ تراشه عموماً بین ۱/۵ تا ۲ است. به عبارتی با افزایش زاویه‌داری تراشه و درصد تراشه در سربار کوچک مکانیزمی فعال می‌شود که در سربارهای بزرگ‌تر وجود ندارد. بررسی این موضوع نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد.

۴-۴- بررسی اثر زاویه اصطکاک مخلوط ماسه و لاستیک

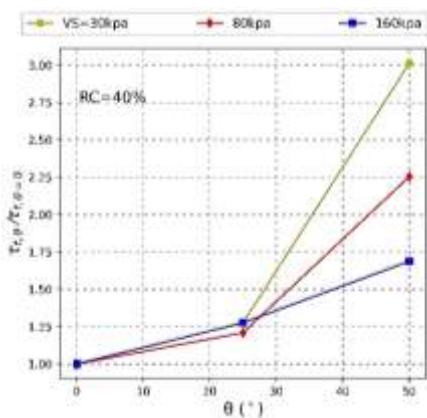
شکل (۱۰) تغییرات زاویه اصطکاک مخلوط ماسه و تراشه لاستیک در درصدهای مختلف تراشه (RC) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۰) واضح است که با افزودن تراشه لاستیک تا ۶۰ درصد، زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها افزایش یافته است و پس از آن با افزایش درصد تراشه زاویه اصطکاک کاهش می‌یابد. همچنین با زاویه‌دار کردن تراشه در نمونه، زاویه اصطکاک روند افزایشی دارد. این افزایش مقاومت در نمونه‌های با θ بزرگ‌تر ناشی از فرآیند تسلیحی است که به‌واسطه تراشه‌ها ایجاد می‌شود. اگرچه مقایسه زاویه اصطکاک نمونه‌های زاویه‌دار با ادبیات فنی به‌دلیل عدم انجام پژوهش ممکن نیست، اما در حالت افقی مطالعاتی مانند (Bali Reddy و همکاران، ۲۰۱۶؛ Foose و همکاران، ۱۹۹۶) روندی شبیه پژوهش حاضر گزارش کرده‌اند به‌طوری‌که همگی تقریباً در درصد حجمی ۵۰ تا ۶۰ درصد، هم به‌صورت کمی و هم به‌صورت کیفی اتفاق نظر داشتند.



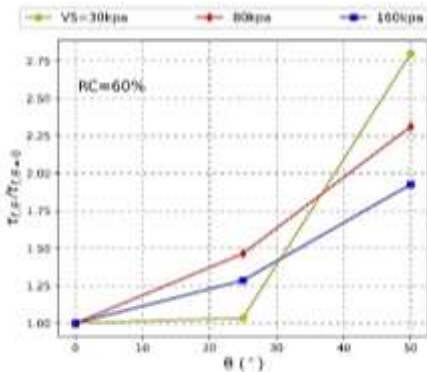
شکل ۱۰- تغییرات زاویه اصطکاک مخلوط ماسه و تراشه لاستیک



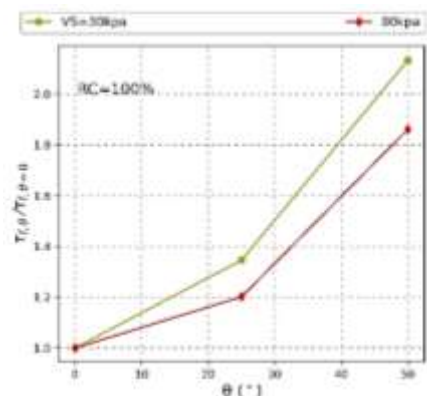
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۹- مقاومت برشی نمونه‌های زاویه‌دار ($\tau_{f,\theta}$) نسبت به نمونه حالت افقی ($\tau_{f,\theta=0}$) در تنش‌های عمودی مختلف

۵- نتیجه گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در این تحقیق، نتایج اصلی به دست آمده به شرح زیر است:

- بررسی شکل نمودار تنش- کرنش نشان می دهد که در حالت تراشه افقی، افزودن تراشه به ماسه خالص سبب تغییر شکل تدریجی نمودار از حالت پیک دار به حالت هایپربولیک می شود. از سویی افزایش زاویه داری تراشه در برخی درصد های تراشه، شکل نمودار را به صورت خطی تغییر می دهد.

- افزودن تراشه تا ۲۰٪ حجمی به ماسه، سختی اولیه را چندان تغییر نمی دهد اما مقاومت نمونه را می افزاید؛ از این رو افزودن ۲۰٪ تراشه می تواند یک ارتقاء در رفتار ماسه محسوب شود. در درصد های تراشه بالاتر از ۲۰٪، کاهش سختی اولیه مشاهده می شود.

- نتایج نشان می دهد که برای قرارگیری افقی تراشه ها لاستیک خالص کمترین مقاومت را از خود نشان می دهد ولی در صورت زاویه داری تراشه ها مقاومت لاستیک خالص بیش از ماسه خالص است. مخلوط ماسه و تراشه به ازای مقادیر مختلف زاویه داری تراشه و در همه درصد های تراشه، مقاومتی بیش از ماسه خالص دارند. همواره بیشترین مقاومت را نمونه ۶۰٪ نشان می دهد؛ بنابراین از نظر مقاومت نمونه ۶۰٪ حالت بهینه است.

- در سربار ۳۰ kPa به علت کوچکی تنش عمودی امکان بسیج شدن مقاومت کششی تراشه ها چندان وجود ندارد در حالی که سربار ۸۰ kPa برای این فرآیند کفایت می کند و در نتیجه رشد ناگهانی در مقاومت برشی مخلوط مشاهده می شود.

- با توجه به نتایج آزمایش های برش مستقیم، افزودن تراشه لاستیک به ماسه باعث افزایش زاویه اصطکاک مخلوط ماسه و لاستیک شده و همچنین باعث کاهش وزن مخصوص کلی نمونه می شود. این عمل باعث کاهش ضریب فشار جانبی خاک در حالت محرک خواهد شد. از این رو مخلوط ماسه و تراشه لاستیک می تواند به عنوان خاکریزی سبک تر و مقاوم تر به شمار آید که سبب کاهش نیروی جانبی وارد بر دیوارهای حائل گردد.

۶- مراجع

عامل سخی م، "بهینه سازی ابعاد تراشه های لاستیک فرسوده به منظور افزایش مقاومت ماسه ها"، (پایان نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۰.

Ahmed I, "Laboratory study on properties of rubber soils", Report No. FHWA/IN/JHRP-93/4, Purdue University, West Lafayette, Indianapolis, Retrieved from.

Akbarimehr D, Eslami A, Aflaki E, "Geotechnical behaviour of clay soil mixed with rubber waste", Journal of Cleaner Production, 2020, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122632>

ASTM D638. ASTM D638-14, Standard Test Method for

Tensile Properties of Plastics: ASTM International, 2015.

ASTM D3080. "Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions", West Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.

ASTM D6270. ASTM D6270-17. "Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications", West Conshohocken, PA, ASTM International, 2017.

Bali Reddy, S., Pradeep Kumar, D., & Murali Krishna, A. "Evaluation of the optimum mixing ratio of a sand-tire chips mixture for geotechnical applications", Journal of Materials in Civil Engineering, 2016, 28 (2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001335](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001335)

Edil T, Pincus HJ, Bosscher PJ, "Engineering properties of tire chips and soil mixtures", Geotechnical Testing Journal, 1994, 17, 453-464. doi:10.1520/GTJ10306J

Foose GJ, Benson CH, Bosscher PJ, "Sand reinforced with shredded waste tires", Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122 (9), 760-767. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9410\(1996\)122:9\(760\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9410(1996)122:9(760))

Gao M, Jin X, Zhao T, Li H, Zhou L, "Study on the strength mechanism of red clay improved by waste tire rubber powder", Case Studies in Construction Materials, 2022, 17, e01416. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01416>

Ghazavi M, Sakhi MA, "Nfluence of optimized tire shreds on shear strength parameters of sand", International Journal of Geomechanics, 2005, 5 (1), 58-65.

Gotteland P, Lambert S, Balachowski L, "Strength characteristics of tire chips sand mixtures", Research Gate, 2005, 27 (1-2), 56-66.

Gotteland P, Lambert S, Salot C, "Investigating the strength characteristics of tyre chips-Sand mixtures for geo-cellular structure engineering", Research Gate, 2008, 351-361.

Humphrey DN, Sandford TC, Cribbs MM, Manion WP, "Shear strength and compressibility of tire chips for use as retaining wall backfill", Transportation Research Record (1422), 1993.

Lee J, Dodds J, Santamarina J, "Behavior of Rigid-Soft Particle Mixtures", Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19 (2), 179-184. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:2\(179\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:2(179))

Machado SL, Karimpour-Fard M, "A study on the effects of MSW fiber content and solid particles compressibility on its shear strength using a triaxial apparatus", Soils and Rocks, 2011, 34 (2), 115-127.

Madhusudhan BR, Boominathan A, Banerjee S, "Factors Affecting Strength and Stiffness of Dry Sand-Rubber Tire Shred Mixtures", Geotechnical and Geological Engineering, 2019, 37 (4), 2763-2780. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-00792-y>

Neaz Sheikh M, Mashiri MS, Vinod JS, Tsang HH, "Shear and compressibility behavior of sand-tire crumb mixtures", Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 25 (10), 1366-1374. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000696](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000696)

Neeraja VS, Geetha Manjari K, Sivakumar Babu GL, "Numerical analysis of effect of orientation of fibers

on stress-strain response of fiber reinforced soil", International Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 8 (3), 328-334.

<https://doi.org/10.1179/1939787913y.0000000023>

Saberian M, Mehrinejad Khotbehsara M, Jahandari S, Vali R, Li J, "Experimental and phenomenological study of the effects of adding shredded tire chips on geotechnical properties of peat", International Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 12 (4), 347-356.

<https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1277829>

Shariatmadari N, Zeinali SM, Mirzaeifar H, Keramati M, "Evaluating the effect of using shredded waste tire in the stone columns as an improvement technique", Construction and Building Materials, 2018, 176, 700-709.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.090>

Yang S, Lohnes RA, Kjartanson BH, "Mechanical properties of shredded tires", Geotechnical Testing Journal, 2002, 25(1), 44-52.

Zekkos D, Athanasopoulos GA, Bray JD, Grizi A, Theodoratos A, "Large-scale direct shear testing of municipal solid waste", Waste Manag, 2010, 30 (8-9), 1544-1555.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.024>

Zhang T, Cai G, Duan W, "Strength and microstructure characteristics of the recycled rubber tire-sand mixtures as lightweight backfill", Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25 (4), 3872-3883. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0742-3>

Zornberg JG, Cabral AR, Viratjandr C, "Behaviour of tire shred-sand mixtures", Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41 (2), 227-241.

doi:10.1139/t03-086

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of the Effect of Chips Orientation on the Shear Strength of Sand-Rubber Chips Mixture

Moslem Alikhani, Mohsen Asadi*

Faculty of Civil Engineering, University of Sirjan, Sirjan, Iran

Received: 08 November 2022; Review: 04 April 2023; Accepted: 15 April 2023

Keywords:

Rubber chip, Large-scale direct shear machine, Chip angle, Friction angle.

1. Introduction

Mixing the tire shred and tire chips, derived from scrape tires, to sand is an option to use scrape tires. Based on the ASTM (2017) there is no environmental risk for embankments made from tire derived aggregates. In the past three decades several experimental investigation have been reported on the sand-rubber chips mixture behavior (Edil et al., 1990; Zornberg et al., 2004; Neaz Sheikh et al., 2012).

Since the ration of area to thickness of chips is large, they tend to become horizontal when being mixed with the sand and subsequently would not be parallel to the probable failure surface of a foundation or a trench. This point has been investigated limitedly in the literature (Foosse et al., 1996; Gotteland et al., 2005).

In the present paper, an innovative mold is used to compact the sand-rubber chips mixture where the chips are inclined. The experimental program was carried out to investigate the effect of rubber chips orientation in the sand-rubber chips mixture.

2. Material

The sand used in this study is prepared from firoozkooh mine with the mean diameter of 1.1mm. The rubber chips with the dimension of 40×80×5mm are derived by cutting a rubber roll.

3. Sample preparation and test conduction

The different rubber chips, RC, contents were 0, 20, 40, 60, 100 by volume of mixture. The sand and rubber chips are weighted to maintain the desired specific weight.

In order to maintain the chips orientation a new mold was built (Fig. (1-a)). The mold could stand with different angles with the horizon and is enough firm for compacting the mixture in. The mixture is compacted in three layer in the mold (Fig. (1-b)). After compaction the thin inner shell is pulled out from the outer one and the mixture is carried to be placed in the shear box (Fig. (1-c)). Then the normal stress is applied and after a negligible rate of settlement is achieved the shearing phase is initiated. The loading rate was selected as 4mm/min.

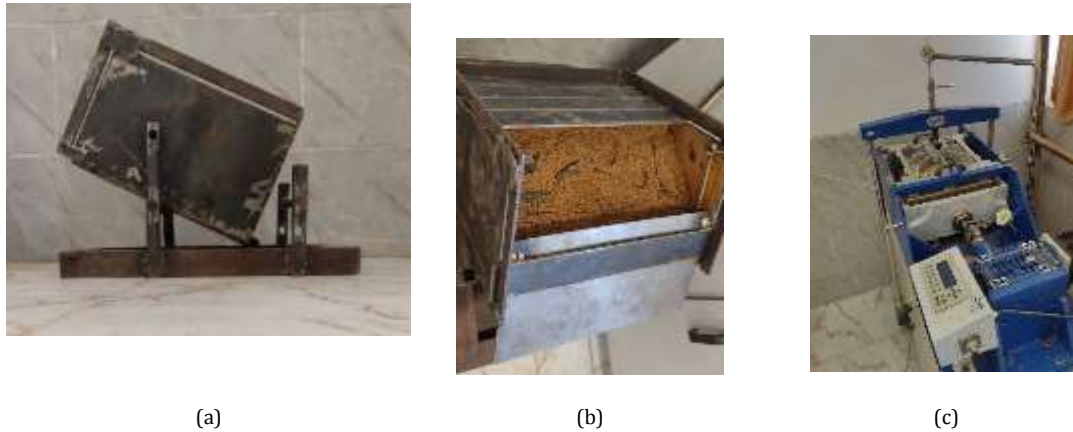


Fig. 1. a) The mold used for specimens preparation, b) compaction of the mixture in mold, c) direct shear machine

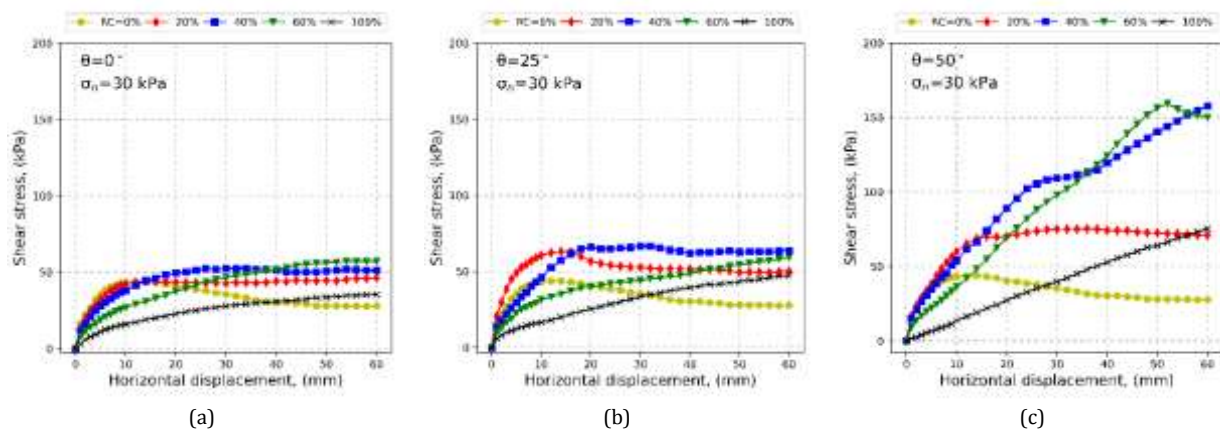


Fig. 2. Shear stress-displacement response of sand-rubber chips mixture for chips orientation of: a) zero degree, b) 25 degrees and, c) 50 degrees. θ is chips orientation.

4. Results and Conclusions

The shear stress versus horizontal displacement are shown in Fig. 2 for normal stress of 30kPa. The observation of stress-strain plots reveals that by increase in chips orientation, θ , the stress-strain shape changes from hyperbolic to linear; for larger θ an upward curvature is observe. The other main conclusions obtained from this research are as following:

- 1- The sample with 20% rubber chips exhibits initial stiffness equal to pure sand and for larger strains a higher shear strength rather than pure sand is observed.
- 2- For all θ , the sample with 60% rubber chips shows the highest shear strength at tested horizontal displacement range.
- 3- As well as the θ increases, the shear strength increases. This is attributed to the angle between shear plane and chips alignment leading to a reinforcing action of fibers. This founding has been also mentioned previously in the other mixtures of fiber and granulated material.
- 4- The chips orientation effectively improves the strength properties of sand. The results shows that this material can be used in retaining walls and landfills.

5. References

- ASTM D6270. ASTM D6270-17. "Standard Practice for Use of Scrap Tires in Civil Engineering Applications", West Conshohocken, PA, ASTM International, 2017.
- Edil T, Pincus HJ, Bosscher PJ, "Engineering properties of tire chips and soil mixtures", Geotechnical Testing Journal, 1994, 17, 453-464. <https://doi.org/10.1520/GTJ10306J>
- Foose GJ, Benson CH, Bosscher PJ, "Sand reinforced with shredded waste tires", Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122 (9), 760-767. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9410\(1996\)122:9\(760\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9410(1996)122:9(760))

Gotteland P, Lambert S, Balachowski L, "Strength characteristics of tire chips sand mixtures", Research Gate, 2005, 27 (1-2), 56-66.

Neaz Sheikh M, Mashiri MS, Vinod JS, Tsang HH, "Shear and compressibility behavior of sand-tire crumb mixtures", Journal of Materials in Civil Engineering, 2013, 25 (10), 1366-1374. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000696](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000696)

Zornberg JG, Cabral AR, Viratjandr C, "Behaviour of tire shred-sand mixtures", Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41 (2), 227-241. <https://doi.org/10.1139/t03-086>