

بررسی اثر افزودن تراشه لاستیک به ماسه با استفاده از دستگاه برش

مستقیم بزرگ مقیاس

مسلم علی خانی فرادنبه

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی سیرجان alikhanym@gmail.com

محسن اسدی زیدآبادی

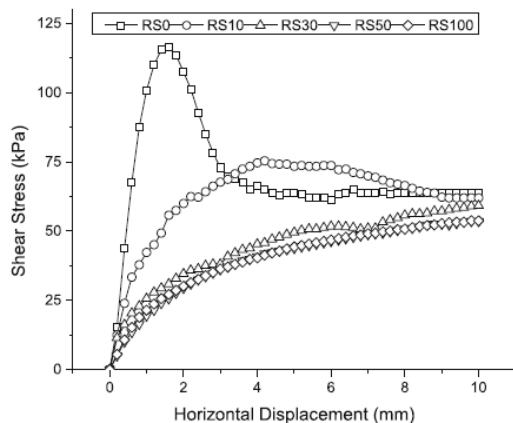
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی سیرجان m.asadi@sirjantech.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، بسیاری از محققین از لاستیک‌های زائد جهت تسلیح خاک استفاده کرده‌اند که می‌تواند به شکل و اندازه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند. این مواد لاستیکی یک ماده بازیافتی رایج در صنعت مهندسی عمران به ویژه حوزه ژئوتکنیک بوده و ثابت شده است که استفاده از تراشه لاستیک، مزایای اقتصادی و عملکردی را به همراه دارد. در این تحقیق با توجه به ادبیات فنی از تراشه لاستیک با عرض ۴ سانتی متر و نسبت طول به عرض ۲ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ماسه مورد مطالعه از نوع ماسه بد دانه بندی شده فیروزکوه از نوع D_{11} است که میانگین اندازه دانه‌های آن برابر ۱.۱ میلی متر می باشد. برای ارزیابی مقاومت برشی مخلوط ماسه با تراشه لاستیک، از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس که در معرض سه تنش نرمال ۰.۳، ۰.۸ و ۱.۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع قرار دارند استفاده شد. تراشه‌های لاستیک به صورت حجمی با نسبت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد با ماسه مخلوط شدند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش محتوای تیر تا ۶۰ درصد، مقاومت برشی روند افزایشی دارد و پس از آن مقاومت برشی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آزمایش برش مستقیم، تراشه لاستیک، ماسه فیروزکوه، مقاومت برشی خاک

۱- مقدمه



شکل ۱ تغییرات تنش برشی نسبت به جا به جایی افقی برای
محتویات مختلف لاستیک (Madhusudhan, Boominathan, & Banerjee, 2019)

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است تنش برشی حداکثر با افزایش محتوای لاستیک کاهش می یابد. علاوه بر این، ماسه خالص رفتار ماسه متراکم معمولی را نشان می دهد و با افزایش محتوای لاستیک، مخلوط های خرده لاستیک و ماسه خشک - لاستیک، رفتار انعطاف پذیر را بدون قله مشخص نشان می دهند.

مارتو و همکاران^۲ ویژگی های برشی ماسه را پس از افزودن درصد های مختلف تایلر های قراضه از طریق آزمایش برش مستقیم مورد بحث قرار داده اند. آنها از نسبت های وزنی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد لاستیک جهت مخلوط با ماسه استفاده کردند. نتایج این تحقیق در شکل ۲ که نمودار حداکثر تنش برشی را برای محتوای مختلف تراشه لاستیک نشان می دهد، گزارش شده است. در شکل ۲ مقاومت برشی با افزودن تراشه تایلر تا نسبت وزنی ۲۰ درصد روند افزایشی

دفع لاستیک های زائد یک معضل بزرگ زیست محیطی می باشد که به صورت یک مسئله مهم در سراسر جهان شناخته شده است. بر اساس آمار اعلام شده سالانه ۲۰۰ هزار تن لاستیک در داخل کشور تولید و مصرف می شود که حداقل یک پنجم آن در هر سال دفن می شود. طبق این آمار، سالانه حدود ۱۳ میلیون لاستیک فرسوده در ایران وارد محیط زیست می شود و در محل های دفن زباله یا روش های قانونی دیگر دفع می شوند (خبرگزاری ایمننا ۱۳۹۶). از این رو، انباشت این مواد باعث بروز اثرات مخرب زیست محیطی نظیر خطر آتش سوزی و در نتیجه ایجاد یک زیستگاه مناسب برای پرورش حشرات ناقل بیماری است. این وضعیت نیاز به یافتن راه حل هایی جهت بازیافت و استفاده مجدد از حجم زیادی از این لاستیک های زائد می باشد. مهندسان ژئوتکنیک در سراسر جهان با بکارگیری این مواد جهت بهبود خاک و همچنین حفظ منابع طبیعی، راهکار مناسبی در بازیافت این مواد ارائه داده اند.

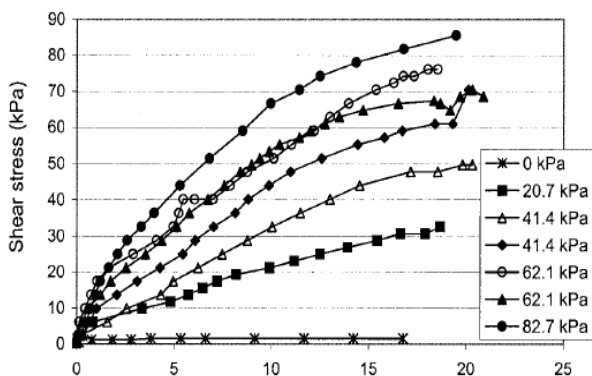
مادوسودان و همکاران^۱ عوامل مؤثر بر مقاومت مخلوط های ماسه خشک و خرده لاستیک را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در تحقیق خود از نسبت های وزنی ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد لاستیک جهت اختلاط با ماسه استفاده نمودند. نتایج ارائه شده توسط این محققین حاکی از آن بود که با افزایش محتوای لاستیک مقاومت برشی و زاویه اصطکاک داخلی کاهش می یابد و کرنش فشاری روند افزایشی داشت. همچنین اثر نرخ برش افقی بر روی هر دو کرنش حجمی و زاویه اصطکاک ناچیز است.

¹ B. R. Madhusudhan et al.

² Aminato Marto et al.

تدریج با فراتر رفتن نسبت تراشه های لاستیک از ۲۰ درصد، کاهش تنش برشی منجر می شود.

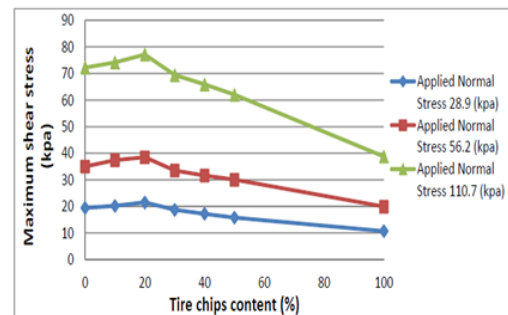
یانگ و همکاران^۳ خواص مکانیکی خرده لاستیک را مورد بررسی قرار دادند. آنها از آزمایش برش مستقیم و سه محوری برای ارزیابی ویژگی های مکانیکی تراشه های تایر با اندازه تقریباً ۲ تا ۱۰ میلی متر استفاده کردند. شکل ۴ تغییرات تنش برشی را در مقابل جابجایی افقی با اعمال تنش های نرمال مختلف نشان می دهد. هیچ یک از منحنی های تنش برشی در مقابل جابجایی افقی تا ۲۰ میلی متر جابجایی افقی دارای قله های مشخصی نیستند.



شکل ۴ تغییرات تنش برشی در مقابل جابجایی افقی (Yang, Lohnes, & Kjartanson, 2002)

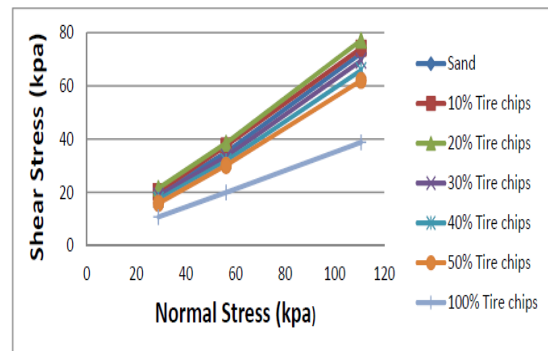
قضاوی و عامل سخی تأثیر خرد لاستیک بهینه تایر بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ماسه به تنهایی و مخلوط های تراشه تایر و ماسه که دارای محتوای ۱۵، ۳۰ و ۵۰ درصد تراشه با عرض های ۲، ۳ و ۴ سانتی متر می باشد و در دو سطح

دارد، سپس به تدریج کاهش می یابد. کاهش مقاومت برشی پس از این نسبت در تنش های نرمال بالاتر مشهود است.



شکل ۵ تغییرات حداکثر تنش برشی با محتوای تراشه تایر در تنش های نرمال مختلف (Marto, Latifi, Moradi, Oghabi, & Zolfeghari, 2013)

در ادامه مارتو و همکاران تغییرات تنش برشی را بر اساس اعمال تنش نرمال برای محتوای مختلف تراشه تایر با ماسه گزارش کردند.

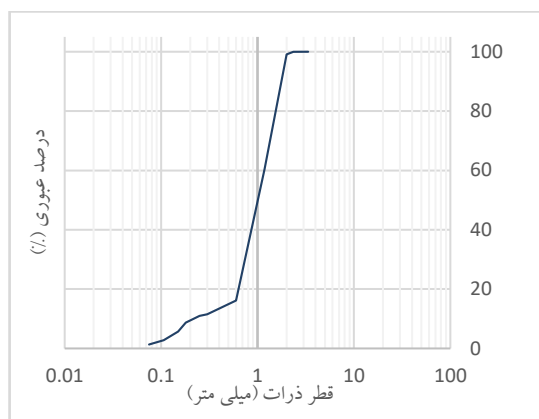


شکل ۶ تغییرات تنش برشی نسبت به تنش طبیعی برای مخلوط های ماسه و تراشه های تایر با نسبت های مختلف تراشه گزارش شده توسط مارتو و همکاران (Marto et al., 2013)

در شکل ۳ واضح است که با افزایش درصد تراشه تایر، تنش برشی تا ۲۰ درصد تراشه لاستیک افزایش می یابد و سپس به

³ Shiping Yang et al.

میلی متر است و از منطقه فیروزکوه در شمال کشور تهیه شده است.



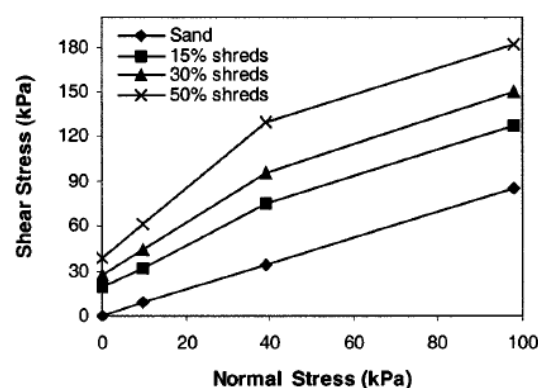
شکل ۶ منحنی دانه بندی ماسه فیروزکوه (D_{111})

جدول ۱ مشخصات فیزیکی ماسه فیروزکوه (D_{111})

پارامتر	مقدار
$D_{10}(\text{mm})$	۰.۲۱
$D_{30}(\text{mm})$	۰.۷۶
$D_{50}(\text{mm})$	۱.۱
$D_{60}(\text{mm})$	۱.۲۶
C_U	۶
C_C	۲.۱۸
$e_{\max}$	۰.۸۳
$e_{\min}$	۰.۴۱
G_s	۲.۶۱

منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده در شکل ۶ و همچنین مشخصات فیزیکی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

تراکم مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که درصد لاستیک، عرض تراشه لاستیک و نسبت ابعاد از عوامل اثرگذار بر مقاومت برشی مخلوط ماسه و تراشه تایر هستند. در ادامه در نتایج خود گزارش کردند که زاویه اصطکاک مخلوطها با استفاده از نسبت ابعاد بهینه تراشه تایر و با افزایش محتوای تراشهها و تراکم مخلوط افزایش می یابد.



شکل ۵ تغییرات تنش برشی با تنش نرمال در نمونه های با تراشه ۴*۸ سانتی متر (Ghazavi & Sakhi, 2005)

با توجه به شکل ۵ با افزایش تنش نرمال مقاومت برشی، روندی افزایشی خواهد داشت که افزایش مقاومت برشی حداکثر در محتوای لاستیک ۵۰ درصد گزارش شده است.

۲- مصالح و روش انجام آزمایش

۲-۱- مصالح

۲-۱-۱- ماسه

ماسه مورد استفاده در این تحقیق، ماسه بد دانه بندی شده از نوع D_{111} می باشد که میانگین قطر دانه های آن برابر ۱.۱

۲-۱-۲- لاستیک

مخلوط‌های لاستیکی دارای تخلخل‌های متفاوتی هستند (Anvari, Shooshpasha, & Kutanaei, 2017). از این رو برای مخلوط‌های مختلف، ماسه و لاستیک به صورت حجمی محاسبه و به طور یکنواخت مخلوط شدند.

هر سری آزمایش شامل ۳ نمونه مشابه از نظر محتوای لاستیک، تراکم نسبی و ابعاد تراشه تحت تنش نرمال ۳۰، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوپاسکال انجام شد.

با توجه به اینکه دستگاه برش مستقیم در مقیاس بزرگ نتایج محافظه کارانه ای را برای مقاومت برشی ارائه می دهد (Xiao et al. 2013)، از دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس با ابعاد ۳۰*۳۰ استفاده شد. آزمایش ها با نرخ جابجایی افقی ثابت ۴ میلی متر در دقیقه اندازه گیری شد.

۳- نتایج

هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی این موضوع بوده که افزایش چه مقدار درصد تایر مخلوط با ماسه می تواند مقاومت برشی مخلوط‌ها را افزایش دهد. به عبارتی درصد بهینه لاستیک جهت دستیابی به مقاومت برشی حداکثر چه میزان است. این را می توان با مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج قضاوی و عامل سخی بررسی کرد.

افزودن لاستیک‌های زائد با ابعاد بزرگتر معمولاً باعث افزایش مقاومت ماسه می شود و انتخاب ضایعات لاستیکی با ابعاد کوچک تاثیر چندانی در مقاومت مخلوط نخواهد داشت (شریعتمداری، عشقی نژاد و نوروزی، ۱۳۹۸). همچنین قضاوی و همکاران گزارش کرده اند که برای عرض معینی از تراشه‌های مستطیلی لاستیک، تنها طول مشخصی وجود دارد که بیشترین زاویه اصطکاک اولیه برای مخلوط ماسه و تایر حاصل می گردد (Ghazavi & Sakhi, 2005). که با توجه به ادبیات فنی، در این تحقیق از تراشه لاستیک به عرض ۴ سانتی متر و نسبت طول به عرض بهینه ۲ استفاده گردید. مشخصات فیزیکی این مواد در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ مشخصات فیزیکی تراشه لاستیک

پارامتر	مقدار
e_{max}	۱.۶۴
e_{min}	۰.۷۸
Gs	۱.۶۵

۲-۲- روش انجام آزمایش

در پژوهش حاضر، نمونه‌هایی که جهت انجام آزمایش برش مستقیم مورد استفاده قرار گرفته اند، بر اساس تراکم نسبی ۵۵ درصد تهیه شده اند. بدین صورت که تراشه‌های لاستیک در درصد‌های حجمی مختلف با ماسه مخلوط شدند و به صورت سه لایه یکسان (به صورت وزنی) در جعبه آزمایش برش به منظور رسیدن به به چگالی نسبی مورد نظر متراکم شدند. محتوای لاستیک ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد حجمی با ماسه مخلوط شدند. ذکر این نکته ضروری است که

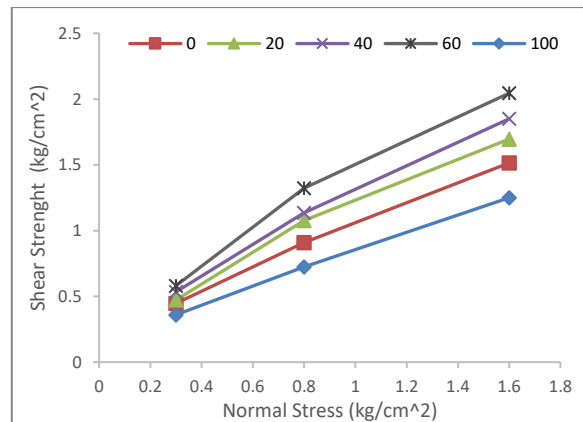
افزایشی مقاومت برشی تا ۶۰ درصد تراشه حفظ می شود که پس از آن مقاومت برشی کاهش می یابد.

بر اساس یافته های فوق، روند کلی مشاهده شده در آزمون ها با روند (قضاوی و عامل سخی، ۲۰۰۵) مطابقت دارد.

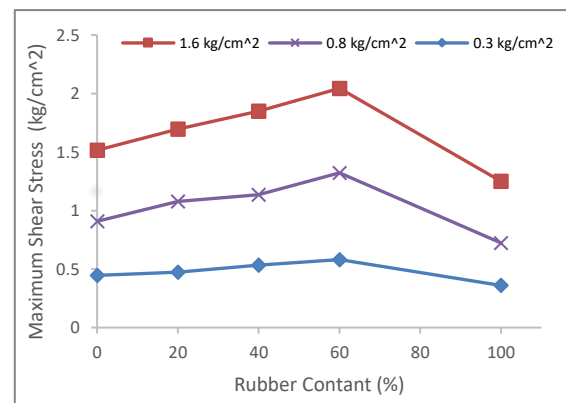
۴- نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر محتوای تراشه لاستیک بر مقاومت برشی مخلوط های ماسه با انجام آزمایش های برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد بررسی قرار گرفته است. ماسه به تنهایی و مخلوط های ماسه و تراشه لاستیک با ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد تراشه با عرض ۴ سانتی متر و نسبت ابعاد ۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که محتویات تراشه می تواند یک پارامتر مؤثر بر مقاومت برشی مخلوط ها باشد. می توان به چند مورد از نتایج اشاره کرد.

- با افزایش درصد تراشه تیر در مخلوط تا حد معینی، مقاومت برشی افزایش می یابد و پس از آن شاهد کاهش تنش برشی خواهیم بود. مقاومت برشی حداکثر در محتوای لاستیک ۶۰ درصد به دست آمد.
- با افزایش محتوای تیر در مخلوط، چسبندگی افزایش می یابد. این پارامتر در مخلوط های متراکم تر نیز روند افزایشی دارد.
- ویژگی اتساع در مخلوط های ماسه و تراشه لاستیک مشاهده شد.
- زاویه اصطکاک مخلوط ها با افزایش محتویات تراشه لاستیک افزایش می یابد.



شکل ۷ تغییرات تنش برشی در مقابل تنش نرمال برای درصدهای مختلف تیر



شکل ۸ تغییرات تنش برشی بیشینه با درصد لاستیک در سربارهای مختلف

شکل ۷ تغییرات تنش برشی بیشینه را با سربار برای هر یک از درصدهای تراشه لاستیک نشان می دهد. برای درک بهتر اثر درصد لاستیک، تغییرات تنش بیشینه با درصد لاستیک برای هر سربار در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۷ و شکل ۸ می توان نتیجه گرفت که با افزایش محتوای تراشه تیر در مخلوط، مقاومت برشی افزایش می یابد. همچنین برای تنش های نرمال مختلف، مقاومت برشی مخلوط های ماسه و تراشه بیشتر از ماسه خالص است، اما روند

an average grain size of 1.1 mm. To evaluate the shear strength of mixture of sand and rubber chips, large-scale direct shear experiments using three normal pressures of 0.3, 0.8 and 1.6 kg/cm² were used. Rubber chips to sand ratios were 0, 20, 40, 60 and 100% by the volume. The results showed that by increasing the rubber chip content up to 60%, the shear strength increases and then the shear strength decreases.

Keywords: Direct shear test, Rubber chip, Firoozkooh sand, Soil shear strength

۵- منابع

" جمع آوری ماهانه ۱۶۰ تن لاستیک فرسوده از سطح شهر اصفهان ". خبرگزاری ایمن، ۱۵ مهر ۱۳۹۶، <https://b2n.ir/q2w3e4>
شریعتمداری ن.، عشقی نژاد ح. و نوروزی م. (۱۳۹۸).
ارزیابی مقاومت برشی و میزان خردشدگی مخلوط
ماسه کربناته و خرده لاستیک. مهندسی عمران
شریف، ۳۵ (۱)، ۹۵-۹۹

Anvari, S. M., Shooshpasha, I., & Kutanaei, S. S. (2017). Effect of granulated rubber on shear strength of fine-grained sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(5), 936-944.
Ghazavi, M., & Sakhi, M. A. (2005). Influence of Optimized Tire Shreds on Shear Strength Parameters of Sand. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMECHANICS*, 5(1), 58-65.
Marto, A., Latifi, N., Moradi, R., Oghabi, M., & Zolfeghari, S. Y. (2013). Shear properties of sand-tire chips mixtures. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18 B, 325-334.
Yang, S., Lohnes, R. A., & Kjartanson, B. H. (2002). Mechanical properties of shredded tires. *Geotechnical Testing Journal*, 25(1), 44-52.

۶- چکیده انگلیسی

In recent years, many researchers have used waste tires to reinforce the soil, which can be used in a variety of shapes and sizes. The scrape tires can be used in the civil engineering industry, especially in the field of geotechnics, and it has been proven that the use of crushed rubber has economic and functional benefits. In this research, according to the literature, a rubber chip with a width of 4 cm and an optimal length to width ratio of 2 was used. Also, the used sand is D11 type of Firoozkooh sand with