بررسی رفتار مقاومتی خاک ماسه‌ای مخلوط شده با ضایعات پلاستیکی و دوغاب سیمان

مهدی خداپرست*
دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.
پست الکترونیک:
khodaparast@qom.ac.ir

علی‌محمد رجبی
استادیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تهران.
پست الکترونیک:
amrajabi@ut.ac.ir

عادل کعبی
دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.
پست الکترونیک:
adel.kabi1991@yahoo.com

امروزه توسعه جوامع صنعتی و شهرنشینی موجب انباشت روزافزون ضایعات پلاستیکی و پراکندگی آنها در طبیعت شده است. کاهش مشکلات زیست محیطی این پدیده به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. در این مطالعه، امکان استفاده مجدد از مواد پلاستیکی در ساختار جدیدی از خاک مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، نمونه‌هایی از مخلوط خاک ماسه‌ای با وزن مخصوص خشک ۱/۷ گرم بر سانتیمترمکعب و خرده ضایعات پلاستیکی (از جنس بطری‌های آب معدنی) به مقدار وزنی ۰/۳ درصد در ابعاد ۸×۱۲ میلیمتر تهیه شده و بر روی آنها آزمایش‌های برش مستقیم کوچک و بزرگ‌مقیاس با سرعت‌های تند وکند به ترتیب ۱ و ۰/۳ میلیمتر بر دقیقه در شرایط اشباع انجام شده است. در مرحله بعد ترکیب حاصل با ۵ درصد وزنی از دوغاب سیمان مخلوط شده و آزمایش‌های مذکور تکرار شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که افزودن خرده پلاستیک ضایعاتی به خاک ماسه‌ای موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی و در مجموع افزایش مقاومت برشی می‌شود. همچنین در خاک مسلح به ضایعات پلاستیکی و دوغاب سیمان نسبت به خاک مسلح بدون دوغاب با وجود کاهش زاویه اصطکاک داخلی، به‌علت افزایش قابل توجه چسبندگی، در مجموع مقاومت برشی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر می‌شود.

واژگان کلیدی: مقاومت برشی خاک، زاویه اصطکاک داخلی، ضایعات پلاستیکی، دوغاب سیمان.

۱- مقدمه

ساخت سازه‌های مهندسی بر روی بستر نرم و سست به‌دلیل نشست‌های ناهمگون و گسیختگی برشی دارای خطرات زیادی است. بنابراین برای داشتن بستری سخت و محکم جهت اجرا و پایداری شیروانی‌ها، پی‌ها، بستر جاده‌ها، سدها و غیره، بهسازی خاک ضرورت دارد. از جمله روش‌های بهسازی، تسلیح و تثبیت خاک است. یکی از روش‌هایی که اخیرا مورد توجه گسترده محققین ژئوتکنیک قرار گرفته، اضافه نمودن ضایعات پلاستیکی و لاستیکی به خاک بوده است. این روش، در صورت عملی شدن، نه‌تنها کاهش آلودگی محیط‌زیست و صرفه‌جویی اقتصادی را به همراه دارد؛ بلکه در ساختار جدید خاک احتمالا با افزایش پارامترهای مقاومتی، پایداری سازه‌های سطحی را نیز تأمین می‌نماید. در خصوص بهسازی خاک با رویکرد مذکور، مطالعات محدودی انجام شده است. مطابق با نظر هامفری[1] (۱۹۹۹)، استفاده از خرده لاستیک در مهندسی عمران مزایای زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به چگالی کم لاستیک، قابلیت دوام و سازگاری بالا، مناسب بودن جهت عایق حرارتی و در بسیاری از موارد هزینه تمام شده پایین در مقایسه با سایر مصالح خاکریز اشاره نمود [۱]. درصد وزنی و عرض خرده لاستیک‌ها، وضعیت ظاهری آنها، میزان تراکم و تنش

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۲۵، پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۰۸.

[1]-Humphrey

نرمال وارد بر آن‌ها، از عوامل مؤثر بر مقاومت برشی مخلوط ماسه و خرده لاستیک می‌باشند. بررسی‌ها نشان داده است، افزودن خرده‌های لاستیک در خاک‌های ماسه‌ای و متراکم نمودن مخلوط خاک، منجر به افزایش زاویه اصطکاک داخلی و رفتار اتساعی خاک می‌شود. نتایج همین بررسی‌ها امکان استفاده از خرده‌های لاستیک در خاکریزی پشت سازه‌های حائل و بزرگراه‌ها را مورد تأکید قرار داده است [۲].

چتین[۲] و همکاران (۲۰۰۶) با مقایسه نتایج آزمایش تراکم مخلوط رس– خرده لاستیک و رس خالص نشان دادند که وزن مخصوص خشک مخلوط‌ها کمتر از وزن مخصوص خشک خاک رس می‌باشد. نتیجه اینکه، پتانسیل خوبی برای استفاده از خرده لاستیک‌ها به‌عنوان مصالح خاکریز سبک وجود دارد. آنها همچنین با انجام آزمایش‌های برش مستقیم بر روی مخلوط‌های رس– خرده لاستیک دریافتند که با افزایش درصد خرده لاستیک مخلوط در تنش‌های نرمال کمتر، کرنش قائم قابل ملاحظه‌ای در نمونه ایجاد نمی‌شود و در نتیجه تغییر حجم قابل توجهی در طول آزمایش برش در نمونه دیده نخواهد شد؛ درحالی‌که در تنش‌های نرمال زیاد، افزودن خرده لاستیک، کرنش قائم نمونه‌ها را کاهش می‌دهد. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که با افزایش میزان خرده لاستیک و کاهش تنش نرمال، نفوذپذیری مخلوط خاک افزایش می‌یابد. نفوذپذیری خرده‌های لاستیک در اندازه‌های ریز و درشت به‌تنهایی، همانند انواع ماسه‌ها می‌باشد. بنابراین امکان استفاده از خرده لاستیک‌ها به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیب با ماسه، به‌عنوان مصالح خاکریز قابل بررسی است [۳ و ۴].

موسوی زاهد (۲۰۰۹) پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای مسلح به تراشه لاستیک را مورد بررسی قرار داده است. در تحقیق مذکور آزمایش برش مستقیم در ابعاد ۳۰×۳۰ با سرعت ۱ میلیمتر بر دقیقه و با تنش‌های نرمال ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ کیلوپاسکال انجام شده است. نتایج بررسی نشان داد که با افزایش درصد ذرات لاستیک در خاک ماسه‌ای، مقاومت برشی نمونه‌ها افزایش می‌یابد [۵].

بطری‌های پلاستیکی آب معدنی و نوشابه‌ها یکی از حجیم‌ترین و فراوان‌ترین زباله‌های تولیدی توسط بشر است. براساس گزارش انجمن بین المللی بطری‌های آب[۳]، در هر ثانیه حدود ۱۵۰۰ بطری به زباله‌دان‌ها ریخته می‌شود. در همین راستا، نجف‌زاده و تفرشی (۲۰۱۳) رفتار آزمایشگاهی مخلوط خاک و خرده پلاستیک ضایعاتی را مورد بررسی قرار دادند. خرده پلاستیک ضایعاتی مورد استفاده در آزمایش‌های ایشان، بطری‌های پلاستیکی آب معدنی به عرض ۱۰- ۱۲ و طول ۱۳- ۱۵ میلیمتر بوده است. در تحقیق مذکور، از خاک ماسه‌ای ساحل شهرستان رودسر واقع در کرانه جنوبی مازندران استفاده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تسلیح خاک با خرده‌های پلاستیک، منجر به افزایش مقاومت خاک در مقایسه با خاک غیرمسلح می‌گردد. همچنین با افزایش درصد خرده پلاستیک و میزان کرنش اعمال شده، افزایش مقاومت خاک مشهودتر است [۶- ۹].

علاوه‌بر اضافه نمودن ضایعات پلاستیکی، لاستیکی و الیاف به خاک، در تعدادی از پژوهش‌ها ماده سومی نیز به‌عنوان افزودنی برای تقویت خاک و به تأخیر انداختن گسیختگی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله این مواد می‌توان به ژئوسنتتیک‌ها و مواد سیمانی‌کننده (آهک، سیمان پرتلند، آسفالت و غیره) اشاره نمود.

استارچر[۴] (۲۰۱۳) تأثیر افزودن توأم سیمان و فیبر به خاک رس نرم نوادای آمریکا را با استفاده از آزمایش‌های برش مستقیم مورد بررسی قرار داده است. آزمایش‌ها در تنش‌های نرمال ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال و بار جانبی با سرعت ۱ میلیمتر بر دقیقه انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزودن توأم الیاف

[2]- Cetin et al

[3]- IBWA

[4]- Starcher

و سیمان باعث تقویت مقاومت برشی خاک چسبنده می‌شود. به‌علاوه اینکه افزودن سیمان همراه با پلاستیک منجر به افزایش دوام خاک شده و ضمن ممانعت از گسترش ترک‌ها باعث به تعویق افتادن گسیختگی برشی می‌گردد [۱۰].

چبت و کالومبا[5] (۲۰۱۴) تأثیر افزودن ضایعات پلاستیکی و دوغاب سیمان به خاک را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق خاک از نوع ماسه آفریقای جنوبی و مواد مسلح کننده ضایعات کیسه‌های پلاستیکی بوده است. ضایعات در مقادیر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی خاک و سیمان پرتلند معمولی در مقدار ۵ درصد وزنی خاک به آن اضافه شده و نمونه‌های حاصل به مدت ۲۴ ساعت در آون در حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی پلاستیک، حداکثر ۲۰ درصد به زاویه اصطکاک داخلی اضافه شده است. همچنین، افزودن سیمان منجر به افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی مقاومت برشی در مقایسه با خاک مسلح اما بدون دوغاب شده است [۱۱ و ۱۲].

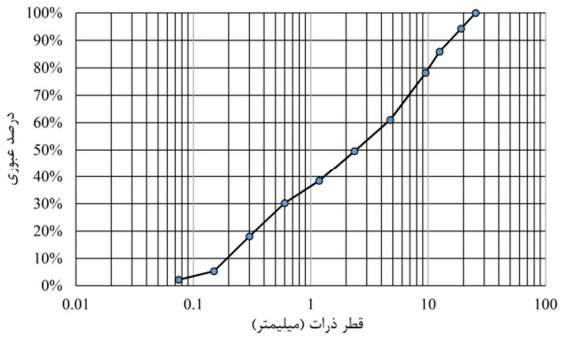
در این مطالعه در نظر است با افزودن ضایعات پلاستیکی و دوغاب سیمان به خاک ماسه‌ای، با انجام آزمایش‌های برش مستقیم، پارامترهای مقاومت برشی نمونه تسلیح شده با نمونه طبیعی مقایسه گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- خاک مورد آزمایش

در این تحقیق، مصالح مصرفی از نوع ماسه‌ای می‌باشد که از یکی از مناطق مرکزی شهر قم تهیه شده است. بر طبق طبقه‌بندی متحد، خاک دارای ۹۷/۹ درصد درشت‌دانه و از نوع ماسه بد دانه‌بندی شده می‌باشد. شکل ۱ نمودار طبقه‌بندی خاک مورد بررسی را نشان می‌دهد.

حد روانی و شاخص خمیری بخش ریزدانه خاک مورد نظر براساس آزمایش‌های حدود اتربرگ به ترتیب ۴۰ و ۱۱ درصد می‌باشد. براساس نتایج آزمایش تراکم، وزن مخصوص خشک حداکثر برابر ۲/۱۴ گرم بر سانتیمترمکعب و رطوبت بهینه برابر با ۷/۴۴ درصد است.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده.

خرده پلاستیک‌های ضایعاتی به‌کارگرفته شده در این تحقیق، از جنس بطری‌های پلاستیکی آب معدنی با ابعاد ۸×۱۲ میلیمتر بوده‌اند. این خرده‌ها دارای وزن مخصوص ۱/۴ گرم بر سانتیمترمکعب و مقاومت کششی ۶۰- ۴۶ مگاپاسکال می‌باشند. همچنین در این تحقیق جهت تهیه دوغاب سیمان از سیمان معمولی پرتلند تیپ یک به مقدار ۵ درصد وزنی خاک با نسبت آب به سیمان برابر با یک استفاده شده است.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور آماده‌سازی نمونه‌ها ابتدا مواد مسلح‌کننده به خاک افزوده شده و پس از اختلاط، نمونه‌ها در سه لایه مشابه درون جعبه برش کوبیده شدند. جهت تسهیل فرآیند آماده‌سازی نمونه‌ها، رطوبت خاک در حین اختلاط، به میزان ۴ درصد انتخاب شد. برای اشباع‌سازی کامل، نمونه‌ها به مدت یک ساعت پیش از انجام آزمایش، درون دستگاه آزمایش برش مستقیم در مجاورت محفظه پر از آب قرار گرفتند. لازم به ذکر است که خرده ضایعات پلاستیکی از طریق خرد کردن بطری‌های پلاستیکی آب

[5]- Chebt and Kolumban

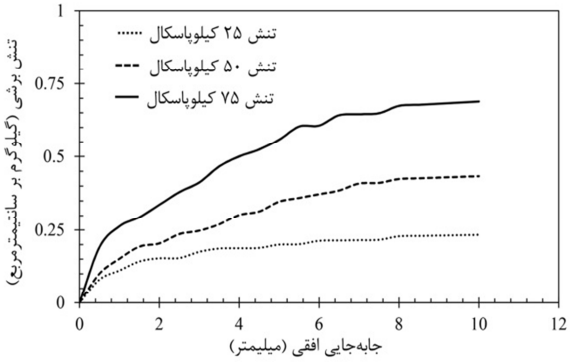
معدنی در ابعاد مورد نظر و با ضخامت یکسان تهیه شده و به مقدار ۰/۳ درصد وزن خاک به آن اضافه شدند.

۲-۳- برنامه آزمایش‌ها

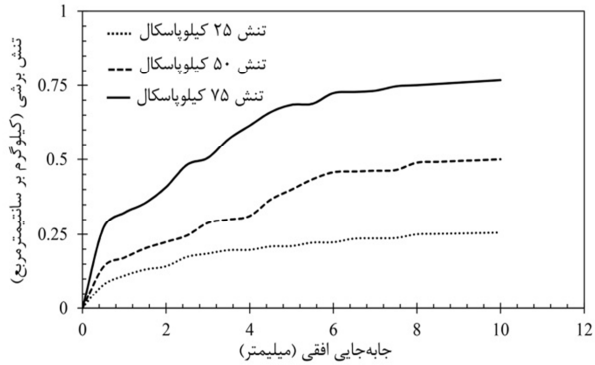
در این تحقیق آزمایش‌های برش مستقیم با توجه به استاندارد ASTM D-3080 انجام شده است [۱۳]. این آزمایش‌ها در دو نوع دستگاه برش مستقیم به ترتیب با ابعاد جعبه ۱۰×۱۰ و ۳۰×۳۰ سانتیمتر و در دو سرعت متفاوت تند و کند انجام شدند. طبق استاندارد ذکر شده، سرعت‌های تند و کند به ترتیب برابر با ۱ و ۰/۳ میلیمتر بر دقیقه انتخاب شدند. آزمایش در حالت کرنش کنترل شده بوده و تمامی آزمایش‌ها در شرایط اشباع انجام شده‌اند. همچنین وزن مخصوص خشک میانگین مورد استفاده در آزمایش‌ها ۱/۷ گرم بر سانتیمترمکعب بوده است. تنش‌های نرمال در دستگاه برش مستقیم با ابعاد جعبه ۱۰×۱۰ برابر با ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوپاسکال و در دستگاه با ابعاد جعبه ۳۰×۳۰ برابر با ۳۰، ۵۰ و ۷۰ کیلوپاسکال انتخاب شدند. کلیه آزمایش‌ها تا کرنش ۱۰ درصد ادامه یافت.

۳- نتایج و بحث

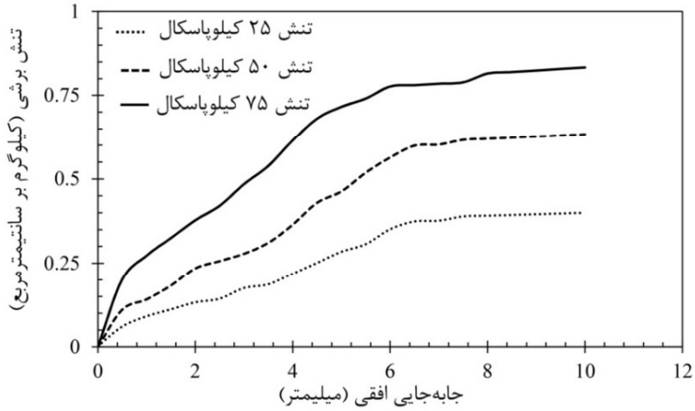
با توجه به برنامه آزمایش‌ها که در بخش قبل تشریح شد، به‌عنوان نمونه تعدادی از نتایج آزمایش‌های برش مستقیم در دو دستگاه کوچک و بزرگ‌مقیاس (مربوط به سرعت تند)، در شکل‌های ۲ تا ۸ آمده است. همچنین خلاصه‌ای از نتایج همه آزمایش‌ها در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.



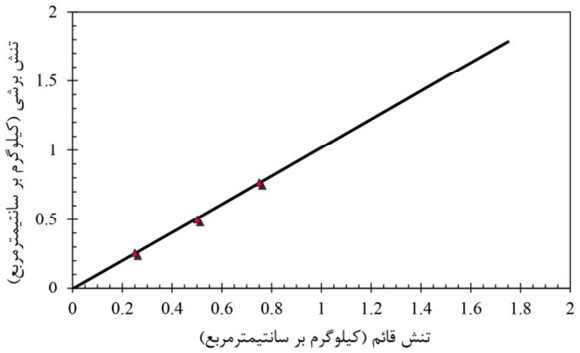
شکل ۲- تنش برشی بر حسب جابه‌جایی افقی حاصل از آزمایش برش مستقیم کوچک مقیاس با سرعت تند بر روی خاک غیرمسلح.



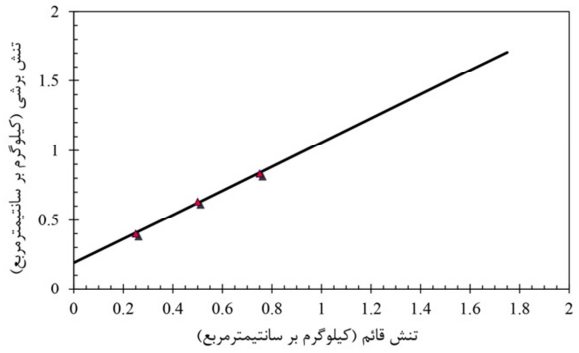
شکل ۳- تنش برشی بر حسب جابه‌جایی افقی حاصل از آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی.



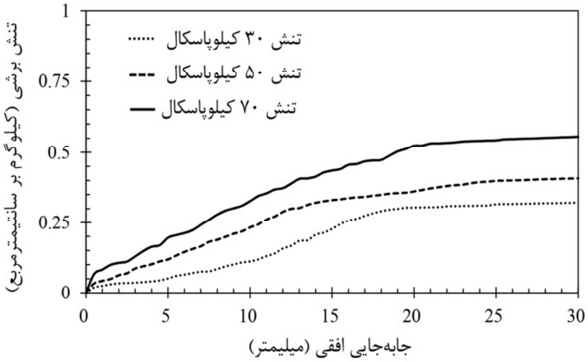
شکل ۴- تنش برشی بر حسب جابه‌جایی افقی حاصل از آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی و دوغاب سیمان.



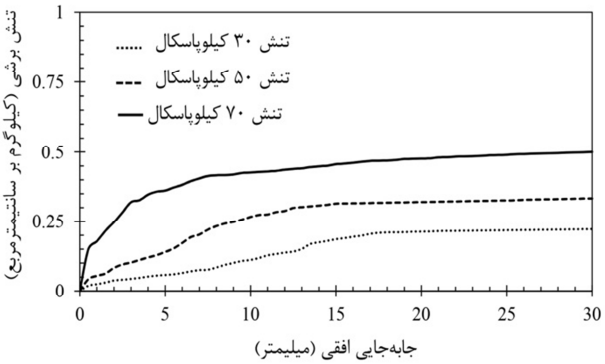
شکل ۵- تنش برشی برحسب تنش قائم حاصل از آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی.



شکل ۶- تنش برشی برحسب تنش قائم حاصل از آزمایش برش مستقیم کوچک‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی و دوغاب سیمان.



شکل ۷- تنش برشی برحسب جابه‌جایی افقی حاصل از آزمایش برش مستقیم بزرگ‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی و دوغاب سیمان.



شکل ۸- تنش برشی بر حسب جابه‌جایی افقی حاصل از آزمایش برش مستقیم بزرگ‌مقیاس با سرعت تند بر روی خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی.

مطابق با جداول ۱ و ۲ در آزمایش برش مستقیم در دستگاه ۱۰×۱۰، زاویه اصطکاک داخلی خاک در حالت مسلح به ضایعات پلاستیکی نسبت به خاک غیرمسلح، در سرعت تند به میزان ۷/۸ درصد و در سرعت کند ۷/۳ درصد افزایش یافته است. همچنین نتایج آزمایش‌های انجام شده با استفاده از دستگاه ۳۰×۳۰ نشان می‌دهد که با اضافه نمودن پلاستیک ضایعاتی، زاویه اصطکاک داخلی خاک نسبت به خاک غیرمسلح در سرعت تند و کند به ترتیب ۹/۳ و ۸/۵ درصد افزایش یافته است. علت افزایش زاویه اصطکاک و نهایتا مقاومت برشی در نمونه‌های مسلح، عملکرد خرده‌های پلاستیک می‌باشد. پلاستیک با دارا بودن مواد ضد شکاف مانند پلی‌بوتادین‌ها موجب به تأخیر انداختن بروز گسیختگی و در نتیجه افزایش مقاومت برشی نمونه‌های مورد بررسی می‌شود. نتیجه اینکه عملکرد خرده پلاستیک‌ها باعث بالا رفتن نیروی کششی و فشاری در نمونه شده و به‌علاوه وجود آنها موجب افزایش شکل‌پذیری نمونه نیز می‌گردد.

جدول ۱- خلاصه نتایج آزمایشات برش مستقیم برای خاک غیرمسلح.

دستگاه آزمایش	سرعت $(\frac{mm}{min})$	درصد خرده پلاستیک	Φ (درجه)
۱۰×۱۰	۱	۰	۴۲/۴
۱۰×۱۰	۱	۰/۳	۴۵/۷
۱۰×۱۰	۰/۳	۰	۴۳/۵
۱۰×۱۰	۰/۳	۰/۳	۴۶/۷
۳۰×۳۰	۱	۰	۳۴/۲
۳۰×۳۰	۱	۰/۳	۳۷/۴
۳۰×۳۰	۰/۳	۰	۳۵/۴
۳۰×۳۰	۰/۳	۰/۳	۳۷/۲

همچنین نتایج نشان می‌دهد که در دستگاه برش مستقیم کوچک و بزرگ‌مقیاس در سرعت‌های تند و کند، مقاومت برشی خاک مسلح به ضایعات پلاستیکی و دوغاب سیمان نسبت به خاک مسلح بدون دوغاب حدودا بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش داشته است. علت این افزایش آن است که دوغاب سیمان فضای خالی بین دانه‌ای را پر کرده و با ایجاد چسبندگی و چفت و بست کردن ذرات خاک و خرده‌های پلاستیک موجب تشکیل یک جسم یکپارچه گشته و مقاومت برشی بیشتری نسبت به حالت بدون دوغاب را ایجاد می‌کند. همچنین افزودن دوغاب سیمان منجر به تثبیت و استحکام خاک شده و در نتیجه دوام خاک افزایش می‌یابد. نتیجه اینکه، خاک کرنش بیشتری را تحمل کرده و گسیختگی خاک به تأخیر می‌افتد. از طرفی با افزودن دوغاب، فضالی خالی بین ذرات خاک ماسه‌ای پر شده و فرایند سایش و اصطکاک بین دانه‌ای کاهش می‌یابد. در نهایت، پارامتر زاویه اصطکاک داخلی با افزودن دوغاب در تمامی حالات کاهش می‌یابد؛ اما به‌دلیل نرخ بیشتر افزایش چسبندگی نسبت به کاهش زاویه اصطکاک داخلی، در مجموع مقاومت برشی خاک در حضور دوغاب نسبت به حالت بدون دوغاب افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که در نمودارهای تنش برشی نسبت به جابه‌جایی افقی در هر دو حالت آزمایش برش مستقیم بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس (شکل‌های ۲ تا ۴ و ۷ تا ۸) نقطه قله یا اوج مقاومت وجود ندارد و آهنگ نمودار در نهایت به‌صورت خط ثابت امتداد یافته است. براین اساس، فشردگی اولیه نمونه‌ها در حد متوسط بوده و قابلیت کاهش حجم‌پذیری آن‌ها نسبتا بالا می‌باشد؛ به‌طوری‌که آزمایش تا حدود کرنش حدود ۱۰ درصد، ادامه یافته است.

البته در حالت مسلح به دوغاب در نمودارهای تنش– جابه‌جایی افقی در دستگاه برش بزرگ‌مقیاس، رشد تنش برشی تا کرنش حدود ۵ درصد قابل توجه بوده و سپس به‌صورت آهسته‌تر و تدریجی ادامه می‌یابد (شکل ۷).

جدول ۲- خلاصه نتایج آزمایشات برش مستقیم برای خاک مسلح به پلاستیک ضایعاتی.

دستگاه آزمایش	سرعت $(\frac{mm}{min})$	درصد سیمان	Φ (درجه)	C $(\frac{kg}{cm^2})$
۱۰×۱۰	۱	۰	–	–
۱۰×۱۰	۱	۵	۴۰/۹	۰/۱۹
۱۰×۱۰	۰/۳	۰	–	–
۱۰×۱۰	۰/۳	۵	۴۲	۰/۲۳
۳۰×۳۰	۱	۰	–	–
۳۰×۳۰	۱	۵	۳۲/۹	۰/۱۵
۳۰×۳۰	۰/۳	۰	–	–
۳۰×۳۰	۰/۳	۵	۳۲/۳	۰/۱۷

بررسی رفتار نمونه‌ها نشان می‌دهد که در شرایط با سرعت کند، مقاومت برشی به‌دست آمده نسبت به سرعت تند به مقدار اندکی بیشتر است. این موضوع می‌تواند ناشی از این باشد که در سرعت‌های تند، نمونه با قرار گرفتن در معرض بار قائم نرمال و نیز تنش برشی، تمایل دارد تمامی مقاومت اجزای خود را سریعا در سطوح اجباری برش بسیج کند. از طرفی فرصت زهکشی نیز وجود ندارد، درحالی‌که با تدریجی وارد شدن تنش برشی در سرعت‌های پایین، از ظرفیت برآیند نیروهای دانه‌ای و بین دانه‌ای استفاده بهینه می‌شود. همچنین با توجه به جداول ۱ و ۲، در دستگاه برش با مقیاس ۳۰×۳۰ نسبت به ۱۰×۱۰، مقاومت برشی بیشتری در حالت مسلح به دوغاب نسبت به حالت بدون دوغاب حاصل شده است، چراکه با توجه به حجم دستگاه برش بزرگ‌مقیاس، دوغاب سیمان بیشتری در نمونه قرار می‌گیرد و با ایجاد چسبندگی نسبتا بیشتر (پرکردن فضاهای خالی بیشتر نسبت به نمونه کوچک‌مقیاس به‌دلیل حجم بزرگ‌تر و تراکم یکسان) مقاومت برشی به مقدار بیشتری افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به‌کارگیری ضایعات پلاستیکی خرد شده در خاک ماسه‌ای در درصد و ابعاد مشخص به همراه

دوغاب سیمان معمولی تحت آزمایش برش مستقیم کوچک و بزرگ‌مقیاس، مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، افزودن پلاستیک موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک و به تبع آن مقاومت برشی در هر دو دستگاه برش مستقیم کوچک و بزرگ‌مقیاس می‌گردد. در این خصوص، افزودن خرده پلاستیک ضایعاتی به خاک ماسه‌ای باعث شکل‌پذیری بیشتر نمونه‌ها شده که در نتیجه، نمونه‌های مسلح نسبت به نمونه‌های معمولی تا رسیدن به لحظه گسیختگی، کرنش‌های برشی بیشتری را تحمل می‌کنند. همچنین اضافه کردن دوغاب سیمان معمولی به خاک ماسه‌ای مسلح به ضایعات پلاستیکی، با افزایش مقدار چسبندگی، موجب افزایش مقاومت برشی می‌گردد. لازم به ذکر است که دوغاب سیمان، اصطکاک بین خرده پلاستیک‌های ضایعاتی و خاک را پوشش می‌دهد و خاک مسلح را به‌عنوان یک مجموعه یکپارچه منسجم می‌کند؛ بنابراین در سازه‌های خاکی مانند سدها، بستر جاده‌ها، خاکریزی پشت سازه‌های حائل و غیره، می‌توان از طریق مدیریت مواد زائد، مقاومت برشی خاک را نیز تقویت نمود.

مراجع

[1] Humphrey, D.N. (1999), “Civil engineering applications of tire shreds”. *Proceedings of the Tire Industry Conference, Clemson University*, 1-16.

[2] Cetin, H., Fener, M., & Gunaydin, O. (2006). “Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as a fill material”. *Engineering geology*, *88*(1), 110-120.

[3] Kumar, A., Walia, B. S., & Mohan, J. (2006). “Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay”. *Construction and building materials*, *20*(10), 1063-1068.

[4] Soroush, A., & Soltani-Jigheh, H. (2009). “Pre-and post-cyclic behavior of mixed clayey soils”. *Canadian Geotechnical Journal*, *46*(2), 115-128.

[۵] موسوی زاهد، ح. (۱۳۸۹). "بررسی پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای مسلح به تراشه‌های لاستیک فرسوده"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۶] نجف‌زاده، ل، (۱۳۹۴). "بررسی رفتار آزمایشگاهی مخلوط خاک و خرده پلاستیک ضایعاتی"، نشریه مهندسی عمران، چاپ هفتم، دانشگاه صنعتی شریف.

[7] Babu, G. S., & Chouksey, S. K. (2011). “Stress–strain response of plastic waste mixed soil”. *Waste management*, *31*(3), 481-488.

[8] Vallejo, L. E., & Mawby, R. (2000). “Porosity influence on the shear strength of granular material–clay mixtures”. *Engineering Geology*, *58*(2), 125-136.

[9] Jafari, M. K., & Shafiee, A. (2004). “Mechanical behavior of compacted composite clays”. *Canadian Geotechnical Journal*, *41*(6), 1152-1167.

[10] Starcher, R.D. (2013), “Impact of Curing Time and Curing Stress On the Mechanical Behavior of Cement-Improved and Cement-Fiber-Improved Soft Soil”, *Journal of Engineering Science and Technology*, *9*(5), 541-558.

[11] Nsaif, M. H. (2013). “Behavior of soils strengthened by plastic waste materials”. *Journal of Engineering and Development*, *17*(4), 182-194.

[12] Anagnostopoulos, C. A., Tzetzis, D., & Berketis, K. (2014). “Evaluation of the Shear Strength Behaviour of Polypropylene and Carbon Fibre Reinforced Cohesive Soils”. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, *7*(20), 4327-4342.

[13] ASTM D30-80. (2004). “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained conditions”. *United State of America*.

The Study of Strength Behavior of Sandy Soil Mixed with Plastic Waste and Cement Slurry

M. Khodaparast*

Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Qom.

e-mail: khodaparast@qom.ac.ir

A. M. Rajabi

Assistant Professor, Engineering Geology Department, University of Tehran

e-mail: amrajabi@ut.ac.ir

A. Kabi

MSc Student, Faculty of Engineering, University of Qom

e-mail: adel.kabi1991@yahoo.com

Now a days, development of the industrial societies and urbanization caused the daily rising accumulation of plastic waste and their dispersion in the nature. To decline the environmental issues of this phenomenon, different approaches are possible. The possibility of reusing plastic waste in new structure of the soil has been studied in this research. For this purpose, samples of sandy soil with dry density 1.7 gr/cm^3 and waste plastic pieces (made from mineral water bottles) with 8×12 mm in size (weight proportional of 0.3%) have been mixed. Then direct shear test with fast and slow speeds 1 and 0.3 mm/min respectively in two small and large scale (10×10 and 30×30 cm, respectively), have been done in saturated condition. In the next stage, 5% of cement slurry has been added to this mixed soil and the previous tests have been repeated. The results show that adding waste plastic pieces to the sandy soil, leads to increasing the total friction angle and finally shear strength. So, for mixed soil plastic waste and cement slurry in comparison to soil without cement slurry, despite of reducing of the internal friction angle, shear strength increases from 20 to 30 percent due to significant increase in the cohesion.

Keywords: Shear strength of soil, Friction angle, Plastic wastes, Cement slurry.

*Corresponding author