ارزیابی نقش خرده‌های بطری بازیافتی و فیبر لاستیک فرسوده بر رفتار مهندسی خاک ماسه‌ای

امیرمهیار اژدرپور [۱*]، محمد رضا نیکودل [۲] و سید داود محمدی [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] استادیار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳] استادیار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲

چکیده

بطری‌های پلاستیکی و تایرهای فرسوده وسایل نقلیه از عمده‌ترین زباله‌های امروزی جامعه بشری هستند که معضلات زیست‌محیطی فراوانی را به وجود آورده‌اند. استفاده از این مواد ضایعاتی در مسلح کردن مصالح خاکی می‌تواند به کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از آنها بیانجامد. از سوی دیگر، امروزه مسلح کردن خاک‌های سست با ضایعات پلاستیکی مختلف به عنوان راهکارهای جدیدی برای تسلیح کردن مصالح در نظر گرفته می‌شود. زمانی که خرده‌های پلاستیک پت و فیبر لاستیک در درصدهای مختلف به خاک اضافه می‌شوند ویژگی‌های تراکمی، پارامترهای مقاومت برشی و نسبت باربری را تغییر می‌دهند که در مورد خرده‌های پت، این افزایش در تمام ویژگی‌های مهندسی خاک ماسه‌ای آشکار است ولی در مورد فیبر چنین روند منظمی صادق نیست و حضور فیبر لاستیک فرسوده بر روی برخی از ویژگی‌های مهندسی خاک اثر منفی می‌گذارد.

کلید واژه‌ها: پت، ماسه، فیبر لاستیک، برش مستقیم، نسبت باربری.

***نویسنده مسئول:** امیر مهیار اژدرپور
E-mail: amazhdarpour@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

گسترش روز افزون ساخت‌وساز و توسعه زیرساخت‌های جامعه بشری، ما را ناگزیر به استفاده از زمین‌هایی با شرایط ژئوتکنیکی نامناسب کرده است. برای به کارگیری زمین‌هایی با این ویژگی‌ها، باید به بهسازی و بهینه کردن ویژگی‌های مهندسی آنها مبادرت ورزید. بهبود مقاومت و ویژگی‌های مهندسی خاک، از راه‌های گوناگون مانند فرایندهای مکانیکی، افزودن مواد شیمیایی و یا مسلح کردن خاک امکان‌پذیر می‌شود.

در دهه‌های اخیر مسلح کردن خاک و بهسازی ویژگی‌های مهندسی آن، با افزودن مصالح به خاک مورد توجه قرار گرفته است که از این بین استفاده از مواد ضایعاتی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا افزون بر بهینه‌سازی رفتار مصالح خاکی، استفاده مجدد از آنها سبب کاهش میزان آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از این ضایعات در محیط زیست می‌شود.

در زمینه استفاده از ضایعات پلاستیکی در بهبود رفتار مهندسی مصالح خاکی، پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است که هر یک به نوعی از ضایعات پلاستیکی، سرباره‌های صنایع ذوب و غیره برای بهبود ویژگی‌های مهندسی خاک استفاده نموده‌اند که به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

بررسی مقاومت و رفتار مکانیکی ماسه‌های مخلوط شده با المان‌های پلیمر پلی‌اتیلن به‌دست آمده از ظروف پلاستیکی ضایعاتی توسط Criag et al.(1994)، نشان داد که افزودن خرده‌های پلاستیک سبب بهبود مقاومت برشی و نسبت باربری کالیفرنیای خاک ماسه‌ای می‌شود.

مشاهدات پژوهشی Rosa et al.(2001) گویای آن است که الیاف غیر ممتد با آرایش تصادفی به طور مطلوبی مقاومت فشاری محصورنشده خاک ماسه‌ای را بهبود می‌بخشد. در این پژوهش مشخص شد که الیاف در یک طول بهینه می‌توانند عملکرد مناسب‌تری از خود نشان می‌دهند.

پژوهش انجام گرفته توسط Furumoto et al. (2002) نشان دادکه می‌توان از الیاف بازیافتی برای جلوگیری از جوشش شیب‌های مسلح شده استفاده کرد که افزون بر جلوگیری از جوشش دامنه، پایداری در برابر نشت را نیز در پی خواهد داشت.

تست‌های فشاری محصور نشده بر روی ماسه‌های مسلح شده با الیاف و سیمان توسط Park (2009) به این نتیجه انجامید که افزودن این الیاف بهبود مقاومت نمونه‌ها را در پی خواهد داشت که افزایش تعداد لایه‌های الیاف موجود در خاک بهسازی شده، افزایش مقاومت محصور نشده آن را به دنبال خواهد داشت.

Yoon et al. (2005) با بررسی ظرفیت باربری و نشست ماسه مسلح شده با لاستیک، در آزمایش بارگذاری صفحه‌ای نشان دادند که ظرفیت باربری ماسه‌های مسلح شده بیش از دو برابر ظرفیت باربری ماسه غیر مسلح شده است.

پژوهش‌ها در زمینه بهسازی خاک با افزودن مواد بسیار زیاد است که هر کدام به نحوی توانسته‌اند به نتایج مناسبی در زمینه بهبود ویژگی‌های رفتاری و انعطاف‌پذیری خاک‌های ریزدانه مسلح شده با الیاف و سیمان دست یابند که در بیشتر آنها افزودن الیاف یا خرده‌های ضایعاتی سبب افزایش مقاومت فشاری و برشی و نیز نسبت باربری کالیفرنیای خاک‌ها شده است (Benson & Khire, 1994 ; Sobhan & Mashnad, 2002).

۲- مصالح استفاده شده در پژوهش

در این پژوهش از مصالح خاکی و مصالح به‌دست آمده از ضایعات پلی‌اتیلن ترفتالات و لاستیک فرسوده استفاده شد که در ادامه به توصیف ویژگی‌های آنها پرداخته شده است.

۲-۱. ماسه

مصالح ماسه‌ای که برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده شد، ماسه‌ایست تقریباً گردشده که از پادگانه‌های (تراس) رودخانه‌ای جنوب باختری تهران (رودخانه کن) نمونه برداری شد. این نوع ماسه دارای ویژگی‌های کانی‌شناسی ذکر شده در شکل ۴ است که از آنالیز این خاک در آزمایش XRD مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین شناسی کشور به دست آمده است.

۲-۲. پلی اتیلن ترفتالات

تراشه‌های پلی اتیلن‌ترفتالات (پت) از آسیاب بطری‌های نگه‌داری آب معدنی و سایر نوشیدنی‌ها تهیه شد. این تراشه‌ها در واقع بخش زیرآسیاب در کارگاه‌های بازیافت بطری‌های پلاستیکی است که به عنوان ضایعات جانبی بازیافت، کاربرد چندانی نداشته و معمولاً دور ریخته می‌شود (شکل ۱).

۲-۳. فیبر لاستیک

فیبر لاستیک استفاده شده از رنده‌کردن لاستیک‌های فرسوده‌ی خودروها به دست آمده است که قسمت‌های مفتولی درون آن کاملاً جدا شده است (شکل۲).

۳– نمونه‌سازی

برای کلیه آزمایش‌های پیش‌بینی شده، در روش تهیه نمونه، استاندارد ASTM معیار قرار گرفت. درصد اختلاط در نظر گرفته شده برای تهیه نمونه‌ها به صورت درصدهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد انتخاب شد. نمونه‌ها به صورت دستخورده و با توجه به وزن واحد حجم به‌دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بازسازی و آماده شدند و نهایتاً تحت آزمایش قرار گرفتند. تمام مراحل آماده‌سازی و انجام آزمایش‌های مربوطه در آزمایشگاه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت‌مدرس تهران انجام شد.

۴– آزمایش‌های انجام شده

در این پژوهش تمام آزمایش‌های انجام گرفته مطابق با روش استاندارد ASTM انجام شد که شماره هر یک از آنها در استاندارد ASTM در جدول ۱ آورده شده است. در آماده‌سازی نمونه‌ها نیز از همین استانداردها استفاده شده است.

۴–۱. آزمایش دانه‌بندی

آزمایش دانه‌بندی بر روی مصالح ماسه‌ای و فیبرلاستیک به روش خشک انجام گرفت ولی در مورد خرده‌های بطری ضایعاتی به دلیل باردار شدن این ذرات در نتیجه لرزش ناشی از الک کردن و تماس آنها بایکدیگر، این خرده‌ها به همدیگر چسبیده و این عمل مانع از عبور خرده‌ها از منافذ الک می‌شود. به منظور رفع این مشکل دانه‌بندی خرده‌های بطری به روش تر برای هر الک به صورت جداگانه انجام گرفت. منحنی دانه‌بندی مصالح ماسه، فیبر و خرده‌های بطری در شکل ۳ آمده است.

۴–۲. آزمایش XRD

آزمایش XRD بر روی خاک ماسه‌ای توسط آزمایشگاه XRD مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی کشور انجام گرفت که گراف‌های تعیین کننده نوع کانی‌های تشکیل دهنده خاک در شکل ۴ آمده است.

۴–۳. آزمایش تراکم

نتایج به‌دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه‌ها به صورت آنچه در شکل ۵ ذکر شده است، می‌باشد که تغییرات وزن واحد حجم بیشینه خشک را نسبت به افزایش درصد اختلاط برای هر دو نوع مواد پلاستیکی و لاستیکی نشان می‌دهد.

۴–۴. آزمایش برش

آزمایش برش مستقیم در سه تنش عمودی مختلف انجام شد که نتایج به دست آمده از آنها به صورت آنچه در جدول ۲ آمده است، می‌باشد که نشان دهنده تغییر در چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی مخلوط‌های ایجاد شده است. میزان تغییرات متفاوت بوده و تابع درصد اختلاط می‌باشد.

۴–۵. آزمایش CBR

این آزمایش نیز در درصدهای اختلاطی که در نظر گرفته شده بود انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش به صورت نمودارهای ذکر شده در شکل ۶ است. روند تغییرات نسبت باربری برای هر دو نوع مصالح ایجاد شده، روندی کاملاً متفاوت دنبال می‌کند.

۵– بحث در نتایج آزمایش‌ها

۵–۱. آزمایش تراکم

افزودن پت و فیبر لاستیک فرسوده سبب کاهش وزن واحد حجم بیشینه مخلوط ایجاد شده می‌شود. در مجموع، وزن واحد حجم مصالح مخلوط شده با خرده‌های بطری بیشتر از وزن واحد حجم مصالح مخلوط شده با فیبر لاستیک در درصد اختلاط مشابه است (شکل ۷).

کاهش در وزن واحد حجم مصالح ایجاد شده با فیبر لاستیک با کاهش درصد رطوبت بهینه همراه است در حالی که در مصالح ماسه‌ای که با خرده‌های بطری اضافه شده است درصد رطوبت بهینه افزایش یافته است (شکل ۵).

۵–۲. آزمایش برش مستقیم

افزودن خرده‌های پت و فیبر لاستیک به خاک ماسه‌ای سبب تحمیل تغییرات افزایشی و کاهشی در پارامترهای مقاومت برشی آن می‌شود این تغییرات به صورت زیر است.

چسبندگی که یکی از پارامترهای مقاومتی خاک است، در خاک ماسه‌ای با افزودن فیبر لاستیک و خرده‌های بطری افزایش می‌یابد. به‌رغم افزایش این پارامتر، در هر دو حالت میزان افزایش در مخلوط‌های ماسه با خرده‌های بطری بیشتر از حالت مشابه در مخلوط فیبر لاستیک و ماسه می‌باشد (شکل۸).

فیبر لاستیک بر زاویه اصطکاک داخلی به عنوان دیگر پارامتر مقاومتی خاک تأثیر منفی دارد به این معنی که افزایش درصد اختلاط آن با خاک ماسه‌ای کاهش زاویه اصطکاک داخلی را در پی دارد که به عنوان یک ضعف در مصالح ایجاد شده به شمار می‌رود. این در حالی است که در سوی دیگر افزودن خرده‌های بطری به خاک ماسه‌ای روند افزایشی زاویه اصطکاک داخلی آن را سبب می‌شود (شکل۹). این تغییر در زاویه اصطکاک داخلی خاک با توجه به افزایش خرده‌های بطری، یک امتیاز مثبت به شمار می‌رود که در نهایت افزایش مقاومت برشی خاک را به دنبال خواهد داشت.

بیشینه تنش برشی مصالح ایجاد شده از اختلاط خرده‌های بطری ضایعاتی و ماسه، تنش برشی بیشتری نسبت به مخلوط‌های ماسه و فیبر لاستیک تحمل می‌کنند. با افزایش مقدار خرده‌های بطری در خاک تنش تحمیلی روند افزایشی دارد (شکل۱۰) ولی در مصالح بهسازی شده با فیبر لاستیک این روند کاهشی است. در واقع با افزایش درصد فیبر موجود در خاک تنش تحمیلی کاهش می‌یابد (شکل ۱۰).

۵–۳. آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

خرده‌های بطری ضایعاتی افزوده شده به خاک افزایش باربری خاک را در پی خواهد داشت و این بهبود ظرفیت با افزایش درصد خرده‌های بطری موجود در خاک افزایش می‌یابد(شکل ۱۱) اما افزودن فیبر لاستیک وضعیت وارونه‌ای نسبت به بطری ضایعاتی ایجاد کرده و نسبت باربری خاک و مخلوط‌های ایجاد شده را کاهش می‌دهد (شکل ۱۱).

این تغییرات در عدد CBR برای نفوذ ۲/۵ و ۵ میلی‌متر نفوذ، آشکارا مشخص است. در ۲/۵ میلی‌متر نفوذ پیستون در مخلوط، روند افزایشی در نسبت باربری کالیفرنیای مخلوط ماسه و بطری ضایعاتی ایجاد می‌کند که این روند افزایشی در ۵ میلی‌متر نفوذ نیز برقرار است (شکل۱۰) در صورتی که در مصالح بهسازی شده با فیبر بلافاصله با افزودن ۵ درصد فیبر به خاک ماسه‌ای افت ناگهانی در عدد CBR برای هر دو مقدارد نفوذ یاد شده رخ می‌دهد(شکل ۱۱).

۶– نتیجه‌گیری

این پژوهش با توجه به مصالح ایجاد شده و آزمایش‌های انجام شده بر روی آنها نتایجی را به شرح زیر در برداشت.

– افزودن بطری ضایعاتی و فیبر به خاک ماسه‌ای ویژگی‌های تراکمی ماسه را دچار تغییر کرده و کاهش وزن واحد حجم آنها را در پی خواهد داشت که چنین تغییری سبب تولید مصالح سبک‌تر از مصالح طبیعی می‌شود.

– خرده‌های پلاستیک ضایعاتی پت تولید شده از بطری‌های نوشیدنی به دلیل صفحه‌ای بودن باعث متراکم‌تر شدن خاک ماسه‌ای شده و وزن واحد حجم بیشتر نسبت به فیبر لاستیک را سبب می‌شود.

– پارامترهای مقاومت برشی مصالح ماسه‌ای در اثر افزودن خرده‌های پت افزایش می‌یابند که این امر سبب افزایش مقاومت برشی مخلوط ایجاد شده می‌شود اما فیبر لاستیک به رغم افزایش چسبندگی بر روی زاویه اصطکاک داخلی اثر منفی دارد.

– ایجاد چسبندگی بالا درخاک ماسه‌ای به عنوان یک خاک سست، سبب افزایش

نسبت باربری کالیفرنیای خاک و بهبود ویژگی‌های مقاومتی آن می‌شود درصورتی که فیبر لاستیک نسبت باربری را کاهش می‌دهد.

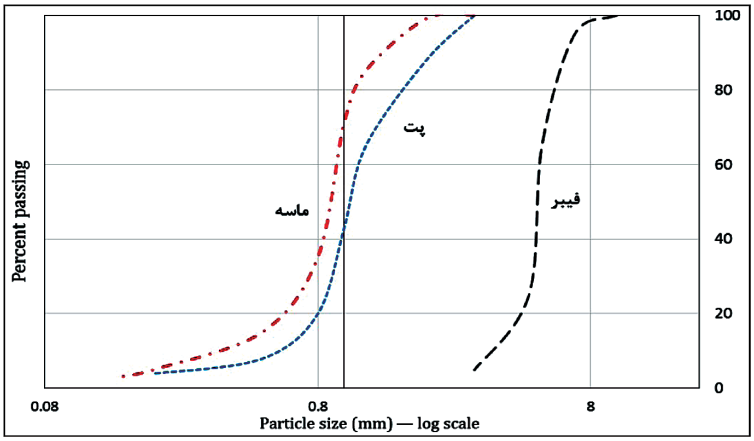
– خرده‌های پلاستیک پت به علت صفحه‌ای بودن، تخلخل کمتری ایجاد می‌کند به همین دلیل وزن واحد حجم خاک بهسازی شده توسط این خرده‌ها بیشتر از فیبر است زیرا فیبر لاستیک یک ساختار شبکه‌ای را ایجاد کرده و افزایش فضای خالی در خاک را سبب می‌شود که در پی آن، تنش تحملی به وسیله خاک کمتر خواهد شد.

– از دیدگاه مقایسه‌ای با توجه به هزینه و امکان تهیه خرده‌های بطری ضایعاتی و فیبر لاستیک فرسوده، استفاده از خرده‌های بطری ضایعاتی برای بهسازی خاک سست نسبت به فیبر لاستیک فرسوده شرایط بهتر و مفیدتری را ایجاد می‌کند.

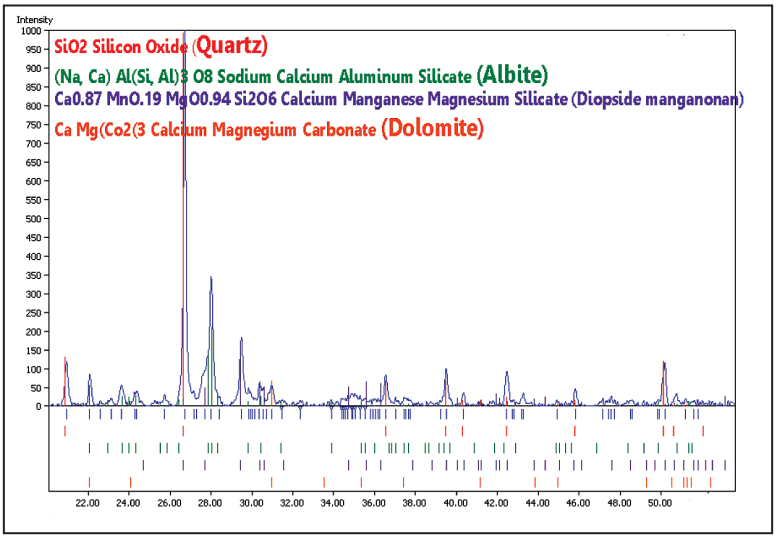
– استفاده از ضایعات پلاستیکی و لاستیکی افزون بر بهبود بخشیدن ویژگی‌های مهندسی خاک، به دفع آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد شده با این زباله‌های جامد و کاهش حجم زباله‌های انتقالی به محل‌های دفن زباله می‌انجامد.

شکل ۱– بطری‌های ضایعاتی و خرده‌های آسیاب شده آنها.

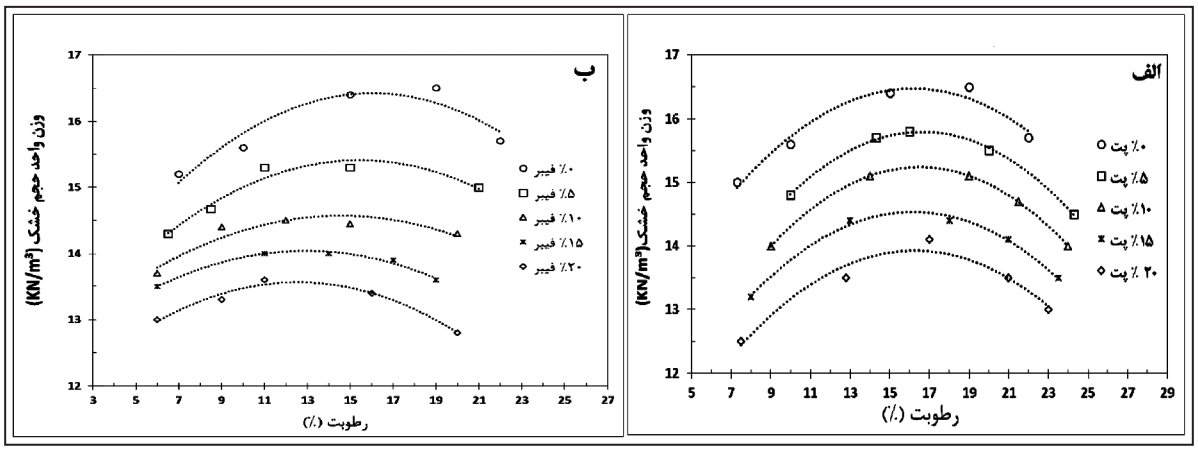
شکل ۲– لاستیک فرسوده و فیبر به دست آمده از آنها.



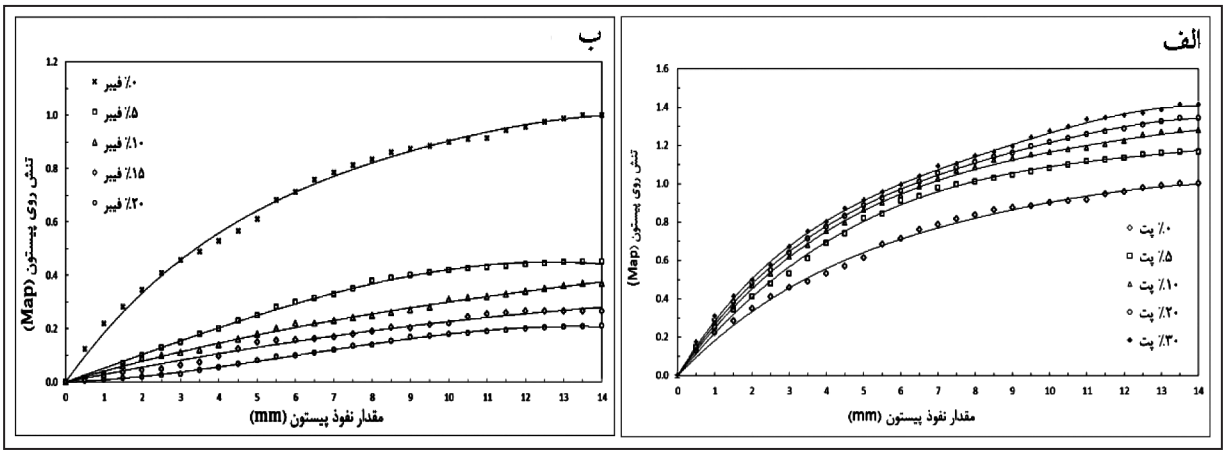
شکل ۳– نمودار دانه‌بندی مصالح ماسه‌ای، خرده‌های بطری و فیبر لاستیک فرسوده.



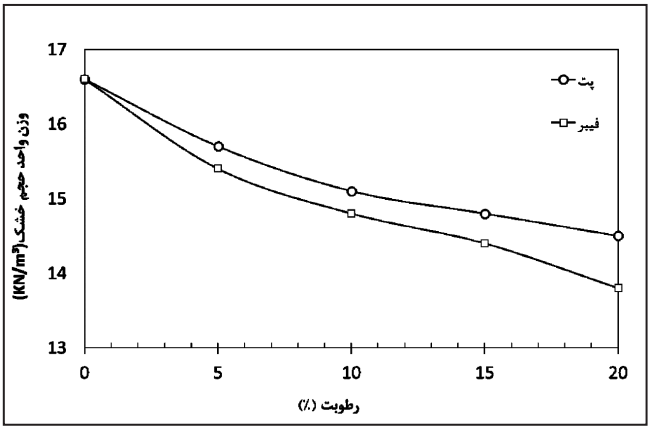
شکل ۴– پیک تجزیه XRD و کانی‌شناسی خاک ماسه‌ای.



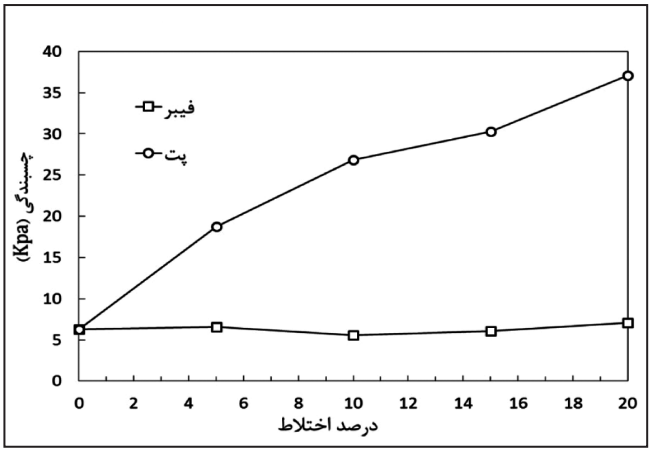
شکل ۵- منحنی‌های تراکم خاک ماسه‌ای با اختلاط الف) خرده‌های بطری؛ ب) فیبر لاستیک.



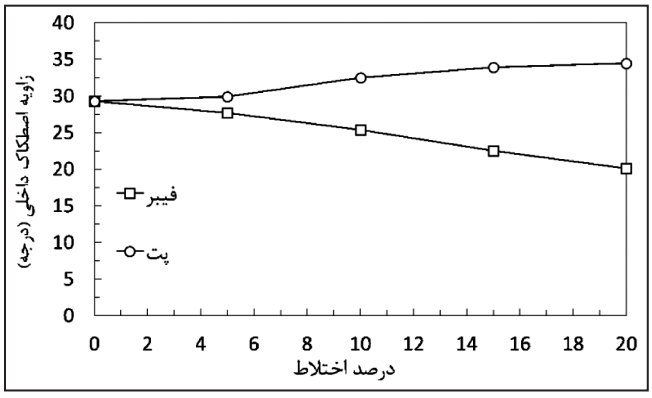
شکل ۶- منحنی نسبت باربری کالیفرنیای مخلوط ماسه با الف) خرده‌های بطری؛ ب) فیبر لاستیک فرسوده.



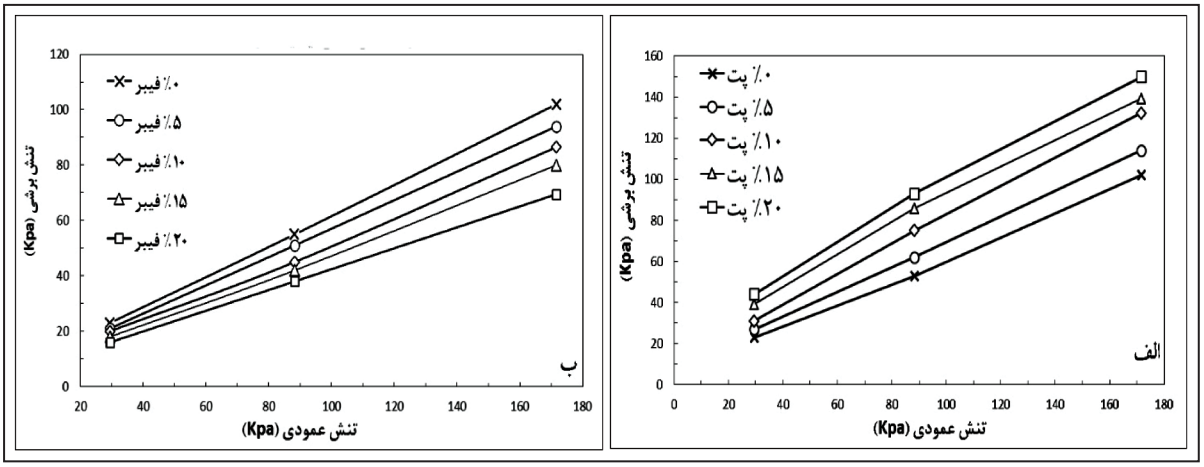
شکل ۷- تغییرات وزن واحد حجم مصالح مخلوط شده با فیبر لاستیک و پت.



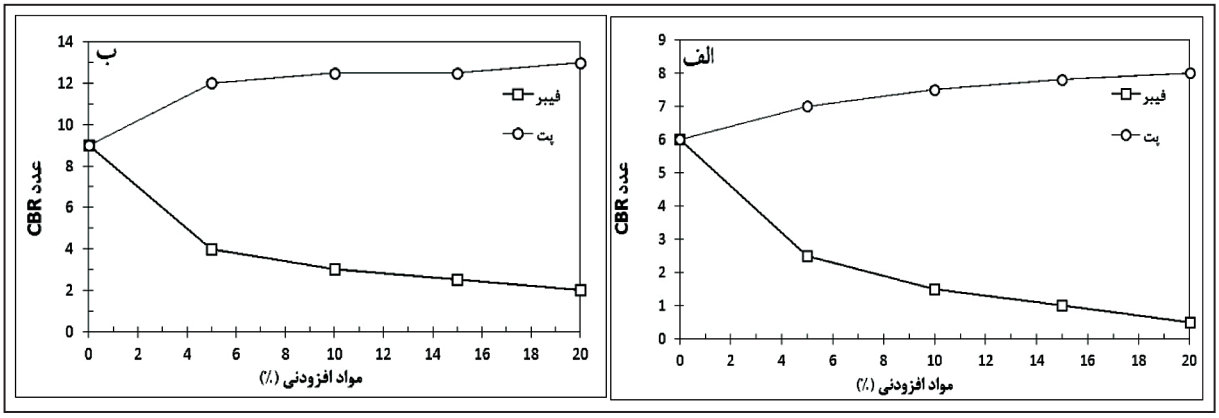
شکل ۸- تغییرات چسبندگی در نتیجه افزایش درصد اختلاط مواد افزودنی.



شکل ۹- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی در نتیجه افزایش درصد اختلاط مواد افزودنی.



شکل ۱۰- تغییرات تنش برشی بیشینه در درصد اختلاط‌های مختلف الف) پت؛ ب) فیبر.



شکل ۱۱- تغییرات عدد CBR در درصدهای اختلاط از مواد افزودنی در مقدار نفوذهای الف) ۲/۵ میلی‌متر؛ ب) ۵ میلی‌متر.

جدول۱- شمار آزمایش‌های انجام شده.

شرح آزمایش	نوع استاندارد
دانه بندی	ASTM D 422-87
تعیین چگالی ویژه	ASTM D 854-87
حدود آتربرگ	ASTM D 431-87
تراکم	ASTM D 698-78
برش	ASTM D 3080- 98
نسبت باربری کالیفرنیا	ASTM D 1883-73
XRD	...

جدول۲- پارامترهای مقاومت برشی ماسه مخلوط شده با درصدهای مختلف از فیبر و پت.

نوع اختلاط	چسبندگی		زاویه اصطکاک داخلی		۲۹/۴= تنش نرمال		۸۸/۳ = تنش نرمال		۱۷۱/۶ = تنش نرمال	
					τ_1		τ_2		τ_3	
درصداختلاط	پت	فیر	پت	فیر	پت	فیر	پت	فیر	پت	فیر
۰	۶/۳	۶/۳	۲۹/۳	۲۹/۳	۲۲/۳	۲۲/۳	۵۱/۶	۵۱/۶	۱۰۲	۱۰۲
۵	۱۸/۸	۶/۶	۲۹/۹	۲۷/۷	۲۶/۵	۲۰/۵	۶۴	۵۲/۴	۱۱۲	۹۵
۱۰	۲۶/۹	۵/۶	۳۲/۵	۲۵/۴	۳۵/۳۷	۱۸/۹	۷۴	۴۸/۲	۱۲۹	۸۶/۵
۱۵	۳۰/۳	۶/۱	۳۳/۹	۲۲/۶	۴۳/۸	۱۸/۳	۸۵	۴۱/۲	۱۴۲	۸۰/۱
۲۰	۳۷/۱	۷/۱	۳۴/۵	۲۰/۱	۴۶/۳	۱۷/۴	۹۵/۵	۳۴	۱۴۷	۶۹/۵

References

Criag, H. B. & Milind, V. K., 1994- Reinforcing sand with strip of reclaimed high densitypolyethylene (HDPE). ofGeotechnical and Geoenvironmental Engineering 120, 838-855.

Rosa, L., Santoni, J. & Tingle, S., 2001-Engineering Properties of Sand-Fiber Mixture for Road Construction. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering127, 258-268.

Furumoto, K., Miki, H.,Tsuneoka, N. & Obata, T., 2002-Model test on the piping Resistance of Short Fiber Reinforced Soil and its Application to River levee. GeosyntheticsDelmas, Gourc& Girard 1241-1244.

Park, S. S., 2009- Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber-reinforced cemented sand," Journal of Geotextiles and Geomembranes 27, 162–166.

Yoon, Y. W., Cheonb, S. H. & Kang, D. S., 2005-Bearing capacity and settlement of tire-reinforced sands. Journal of Geotextiles and Geomembranes22, 439-453p.

Benson, C. & Khire, M., 1994-Reinforcing sand with strip of reclaimed high density polyethylene. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 120, 828-838p.

Sobhan, K. & Mashnad, M., 2002-Tensile strength and toughness of soil-cement-flyash composite reinforced with recycled high density polyethylene strips. Journal of material in civil engineering 14, 177-184p.

ASTM, 2002-Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (D 422 – 63). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.

ASTM, 1998-Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil (D698). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.

ASTM, 2006-Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained (D3080). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.

ASTM, 1998-Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils (D1883-14). Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08.

Assessment the Role of Recycled Bottle Fragments and Littered Rubber Fibers on the Sandy Soil Engineering Behaviors

A. M. Azhdarpour [1*], M. R. Nikudel [2] & S. D. Mohammadi [3]

[1] M. Sc. Student, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 2013 May 21 Accepted: 2013 January 12

Abstract

Rusted bottles and ragged car tires are good examples of modern waste materials, which can cause significant environmental concerns. Despite all environmental issues of these materials they could be used as a reinforcement material in weak soils. This strategy not only reduces the volume of waste materials but also can make them valuable. The results of laboratory tests have shown that using PET crushed particles can improve the engineering properties of sandy soils while for rubber fibers these changes are not as positive as PET particles. In fact using rubber fibers has damaged some of the engineering characteristics of the sandy soils.

Keywords: PET, Sand, Rubber fiber, Direct shear, Bearing ratio.

For Persian Version see pages 135 to 140

*Corresponding author: A. M. Azhdarpour; E-mail: amazhdarpour@yahoo.com