

## مطالعه تأثیر نوارهای زائد پلاستیک (PET) بر بهسازی خاک ریزدانه

یاشار دهقان<sup>۱</sup> و روزبه دبیری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز  
<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز

(دریافت: ۹۷/۶/۲، پذیرش: ۹۸/۸/۱۲، نشر آنلاین: ۹۸/۸/۱۲)

### چکیده

خاک‌های ریزدانه از جمله موضوع‌های مسئله‌ساز در پروژه‌های عمرانی است. تغییر حجم ناشی از تغییر رطوبت در آن‌ها همواره موجب بروز خسارات فراوانی به سازه‌های ساخته‌شده بر روی آن‌ها می‌شود. بنابراین، بایستی با به‌کارگیری روش‌های مناسب خسارت‌های ناشی از تورم و تغییر رفتار خاک‌های ریزدانه را کاهش داد. روش‌های مختلف مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت تثبیت خاک‌های ریزدانه موجود می‌باشد. امروزه، استفاده از مصالح زائد بازیافتی با توجه به حجم بالای تولید آن‌ها در اثر توسعه شهرنشینی و هزینه بالای دفع و نگهداری آن‌ها یک روند مطالعاتی جدی را جهت کاربرد آن‌ها در بهسازی مصالح ریزدانه به‌وجود آورده است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی نوارهای زائد پلاستیک (PET) به عنوان یک ماده ضایعاتی باطله بر روی خواص مکانیکی و ژئوتکنیکی خاک ریزدانه می‌باشد. در این مطالعه، زائدات پلاستیک انعطاف‌پذیر با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع و با درصد‌های وزنی ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ با خاک ریزدانه به‌دست آمده از محل احداث یک راه اصلی در منطقه آزاد ارس در شهر جلفا تهیه شده و به‌صورت تصادفی مخلوط گردیده و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک تثبیت‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت انجام تحقیق حاضر، آزمون‌های آزمایشگاهی تراکم، مقاومت فشاری تک‌محوری، برش مستقیم (در حالت خشک و اشباع)، تحکیم و نفوذپذیری با ارتفاع متغیر انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده از مطالعه نشان داد، میزان بهینه نوار زائد پلاستیک برابر ۰/۵ درصد وزنی و با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر می‌باشد. زیرا این مقدار باعث افزایش تراکم‌پذیری، توانایی باربری، کاهش تورم و نشست تحکیم و افزایش نفوذپذیری خاک ریزدانه بهسازی شده گردیده است.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوتکنیک زیست محیطی، خاک ریزدانه، نوار زائد پلاستیک (PET)، بهسازی، ظرفیت باربری.

### ۱- مقدمه

تصمیمات اتخاذشده مستنداتی توسط دارنده و آژانس ثبت و ضبط گردند (WRAP، ۲۰۰۵).

از سوی دیگر، حجم روزافزون مواد و زباله‌های شهری به ویژه نخاله‌های حاصل از تخریب ساختمان‌ها و بافت‌های فرسوده شهری مشکلات فراوانی را در شهرهای بزرگ به وجود آورده‌اند مشکلات زیست‌محیطی که در اثر دفع غیر اصولی و غیر فنی این مصالح پدید آمده که توجه پژوهشگران در راستای بازیافت این مواد را به خود جلب کرده است. در کشورهای در حال توسعه، نخاله‌ها و مواد زائد ساختمانی همچون چوب، پلاستیک، شیشه، قطعات بتنی و غیره بخش بزرگی از زباله شهری را به‌خود اختصاص می‌دهند که علاوه بر هزینه بسیار برای دفع آن، عواقب نامطلوبی بر محیط زیست دارند. حجم نخاله‌های ساختمانی به حدی است که اکنون این مسئله نه‌تنها در ایران بلکه در کشورهای پیشرفته نیز یک

کاهش منابع طبیعی، تغییرات آب‌وهوا و گرم شدن کره زمین به‌طور قابل توجهی ماهیت و ساختار مصالح را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حفاظت از مصالح طبیعی با کیفیت در شاخه مهندسی عمران در حال حاضر چالشی است که کمبود آن در اثر افزایش جمعیت و توسعه سریع شهرها موجب گردیده است. پسماند در دستورالعمل مواد زائد<sup>۱</sup> به هر ماده یا شیء که دارنده آن را دور می‌اندازد یا تمایل به دور انداختن دارد یا لازم است دور انداخته شود اطلاق می‌گردد. پروتکل کیفیت برنامه عملیاتی پسماند و منابع<sup>۲</sup> حمایت‌هایی را در جهت تصمیم‌گیری در مورد پسماند و زائد بودن یا نبودن مشخص کرده است. یعنی اگر همه معیارهای مشخص‌شده در این پروتکل لحاظ شوند، آن ماده دیگر پسماند محسوب نمی‌گردد. البته اگر ماده یا شیء به عنوان پسماند در نظر گرفته شد، باید از کلیه

2. The waste and resource action program

1. Waste framework directive

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴۱۱۶۱۴۰۰

آدرس ایمیل: yashr.dehghan@gmail.com (ی. دهقان)، rouzbeh\_dabiri@iaut.ac.ir (ر. دبیری).

## جدول ۱- مقایسه هزینه‌های روش‌های بهسازی خاک

(FHWA, ۲۰۱۷)

هزینه (دلار)	تکنولوژی	طبقه‌بندی
۴-۰/۵ (هر یک فوت)	پیش بارگذاری، همراه و یا بدون خاکریز	زهکشی قائم و تحکیم شتاب داده شده
۱۵-۷۵ (هر یارد مکعب)	خاکریز با مقاومت فشاری، ژئوفوم، بتن فومی	خاکریزهای سبک
۱۵-۳ (هر یارد مکعب)	خاکریزی با مصالح دانه‌ای، الیاف چوب، سرباره کوره فولاد، خاکستر بادی، الیاف تایر، شیل <sup>۶</sup> خاک رسی	خاکریزیهای سبک
۳-۱۰ (هر یارد مکعب)	تراکم دینامیکی عمیق	تراکم عمیق
۹-۵ (هر یک فوت)	تراکم ویبره‌ای	تراکم عمیق
۶۰-۱۵ (هر فوت)	ستون‌های سنگی	ستون‌های مصالح دانه‌ای
۹ (برای هر فوت مربع) + هزینه اجرای ستون	خاکریزهای تقویت‌شده با ستون	خاکریزهای تقویت‌شده با ستون
۸۰-۳۰ (هر فوت)	ستون‌ها: غیرفشرده	خاکریزهای تقویت‌شده با ستون
۱۰۰-۲۰ (هر فوت)	ستون‌ها: غیرفشرده	خاکریزهای تقویت‌شده با ستون
۱۲۵-۶۰ (هر فوت)	مخلوط عمیق (خشک)	خاک مخلوط
۷۵-۱۵ (هر یارد مکعب)	اختلاط توده‌ای	خاک مخلوط
۲۰ (هر فوت)	تزریق شیمیایی	تکنولوژی تزریق
۷۵-۰/۷۵ (هر یارد مکعب)	تزریق به‌همراه تراکم	تکنولوژی تزریق
۱۵-۵۰ (هر یارد مکعب)	پرکردن فضاهای خالی	تکنولوژی تزریق
۹/۵-۶/۵ (هر فوت مربع)	تثبیت کف	تکنولوژی تزریق
۷۵۰-۲۵۰ (هر یارد مکعب)	تزریق جت	تکنولوژی تزریق
۸۰-۲۵ (فوت مربع)	تزریق ترک‌های سنگ	تکنولوژی تزریق
۵-۱ (هر یارد مربع)	روش‌های مکانیکی	روش‌های بهسازی روسازی راه
۵-۲ (هر یارد مربع)	روش‌های شیمیایی	روش‌های بهسازی روسازی راه
۱۲-۳ (هر فوت)	کنترل رطوبت	روش‌های بهسازی روسازی راه
۱۲-۲ (هر یارد مربع)	خاکریز مسلح	خاک مسلح
۶۵-۳۰ (هر فوت مربع)	دیوارهای مسلح انعطاف‌پذیر	خاک مسلح
۲۵-۳ (هر فوت مربع)	شیب‌های خاکی مسلح‌شده	خاک مسلح
۵۰-۲۰ (هر فوت)	میخ کوبی	خاک مسلح

6. Shale

مشکل اجتماعی و زیست‌محیطی است (Poon, Kou and Lam, ۲۰۰۲).

در حال حاضر صنعت پلاستیک در بسیاری از بخش‌های کشاورزی، صنعت خودرو، صنعت ساختمان و غیره توسعه یافته و با توجه به سائیدگی و گسیختگی محصولات پلاستیکی، چالشی در بررسی ضایعات پلاستیکی غیر قابل تجزیه در حوزه مدیریت مواد زائد جامد وجود دارد. روش‌های مرسوم دفع مواد زائد جامد شامل دفن، سوزاندن و بازیافت هستند. با این حال، فضاهای محل دفن زباله در حال کاهش بوده و فرایند سوزاندن، گازهای خطرناک ساطع می‌کند و عمل بازیافت نیز دشوار و پرهزینه به‌نظر می‌رسد. رویکرد مؤثر فعلی، کاهش، استفاده مجدد و بازیافت می‌باشد (De Mello و همکاران، ۲۰۰۹).

خاک طبیعی موجود در محل پروژه‌ها نیز، همواره برای استفاده مناسب نبوده و ممکن است در اثر اعمال بار نشست‌های قابل توجهی در خاک نامرغوب به‌وجود آید. تاکنون عناصر مختلفی نظیر الیاف شیشه‌ای، فولادهای روی‌اندود و پلیمرهایی از قبیل ژئوتکستایل‌ها<sup>۳</sup>، ژئوگریدها<sup>۴</sup> و الیاف‌های بریده‌شده از جنس پلی-اتیلن، پلی‌استر و پلی‌پروپیلن جهت مسلح کردن خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Sajadi و Naeini, ۲۰۰۸).

## ۲- ضرورت انجام تحقیق

سازه‌های مهندسی و ابنیه‌های ژئوتکنیکی بارهای خود را از طریق پی به خاک انتقال می‌دهند. سازه‌ها باید روی خاک مقاوم با قابلیت بالا ساخته شوند. تقاضا برای خاک با کیفیت خوب و دیگر مصالح ساختمانی بالاست. در برخی نقاط، خاک طبیعی با کیفیت خوب، از مسافت‌های طولانی وارد و تخلیه می‌گردد که این عمل پرهزینه و وقت‌گیر است. چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی محققان را جهت دستیابی به روش‌هایی به منظور بهبود کیفیت خصوصیات خاک تحریک می‌کند.

زائدات پلاستیکی پلی‌اتیلن تریفتالات (PET)<sup>۵</sup> جزء مواد زائد می‌باشند که غیر قابل تجزیه بوده و باعث آلودگی محیط زیست می‌گردد. با توجه به این‌که عرضه و تقاضای زائدات پلاستیکی (PET) در حال افزایش است، بنابراین بازیافت و کاربرد مجدد آن یکی از اهداف مهم در مهندسی و حفظ محیط زیست می‌باشد (Rodwan و John, ۲۰۱۲).

3. Geotextile
4. Geogride
5. Polyethylene Terephthalate

ضایعات این محصول نیز فراوان است. از سوی دیگر، در زمینه تثبیت مصالح خاکی روش‌های مختلف شیمیایی و مکانیکی مختلفی ارائه شده است. اگرچه امروزه جهت بهسازی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌ها از مصالح ژئوسنتتیک<sup>۸</sup> و مواد زائد جامد شهری بهره‌گرفته می‌شود. در زمینه کاربرد مصالح ژئوسنتتیک برای تثبیت و بهسازی مصالح دانه‌ای و ریزدانه مطالعات گسترده‌ای انجام یافته است که می‌توان به تحقیقات صورت‌گرفته توسط (Consoli و همکاران، ۲۰۰۲؛ Salbas و Yetimoglu، ۲۰۰۳؛ Tan و Park، ۲۰۰۵؛ Tang و همکاران، ۲۰۰۶؛ Akbulut و همکاران، ۲۰۰۷؛ Sadek و همکاران، ۲۰۱۰؛ Consoli و همکاران، ۲۰۰۹؛ اسلامی و دبیری، ۱۳۹۶؛ حسن‌پوری و دبیری، ۱۳۹۷؛ قاسم‌پور و دبیری، ۱۳۹۷؛ Asadollahi و Dabiri، ۲۰۱۷؛ Hasanpouri و Dabiri، ۲۰۱۸) اشاره نمود. در زمینه کاربرد پلاستیک ضایعاتی در بهسازی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک می‌توان به مطالعه صورت‌گرفته توسط (Khire و Benson، ۱۹۹۴) اشاره نمود. ایشان ضایعات بریده شده بطری‌های شیر با چگالی بالا را با ماسه مخلوط نمود. ایشان دریافتند افزودن ضایعات پلاستیکی سبب افزایش قابل‌توجهی در مقاومت، مدول الاستیسیته و نسبت باربری کالیفرنیا (GBR)<sup>۹</sup> ماسه گردیده و زاویه اصطکاک داخلی نیز به اندازه ۱۸ درجه بهبود می‌یابد (Bueno، ۱۹۹۷). اثر اندازه و مقدار قطعات کوچک و نازک ضایعات پلاستیکی را بر مقاومت برشی خاک‌ها مورد بررسی قرار داد و افزایش مقاومت و ظرفیت باربری خاک‌ها را مشاهده کرد (Sivakumar و Vasudevan، ۲۰۰۸؛ Sivakumar و Chouksey، ۲۰۱۱).

مطالعات متعددی برای بررسی رفتارهای خاک‌های مخلوط با ضایعات پلاستیکی به شکل الیاف با طول و قطرهای مختلف انجام دادند (Sivakumar و Vasudevan، ۲۰۰۸). بدین منظور از دستگاه سه‌محوری استاتیکی در شرایط زهکشی نشده تحت تنش‌های همه‌جانبه ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوپاسکال استفاده نمودند. نتایج نشان داد حضور ضایعات پلاستیکی به صورت الیاف تمرکز تنش را کاهش و شکل نوار برشی را محدود می‌نماید. همچنین ضایعات پلاستیکی مقاومت و انعطاف‌پذیری خاک‌ها را بالا برده و سبب کاهش خواص تراکمی و تورم در آن‌ها می‌شود. همچنین آن‌ها دریافتند حضور ضایعات پلاستیکی تراوش را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش و مقاومت خاک در برابر پدیده پایپینگ<sup>۱۰</sup> را افزایش می‌دهد (شکل (۱-الف) و (۱-ب)).

یکی از محل‌های مورد مصرف، کاربرد زائدات پلاستیکی در پروژه‌های عمرانی است. انجمن اداره راه‌وترابری آمریکا<sup>۷</sup> در سال ۲۰۱۶ (FHWA، ۲۰۱۷) روش‌های مختلف بهسازی خاک‌ها را به همراه هزینه اجرای آن‌ها طبق جدول (۱) ارائه نموده است. با مقایسه هزینه‌ها می‌توان مشاهده کرد، بهسازی خاک با ضایعات پلاستیکی PET به دلیل گستردگی در تهیه آن و قیمت بسیار پایین، امکان استفاده از آن را در جهت بهسازی خاک‌ها ارائه می‌نماید. هدف از تحقیق حاضر، بررسی امکان کاربرد ذرات پلاستیک زائد (PET) بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک ریزدانه جهت استفاده در بهسازی خاک و ساخت ابنیه‌های عمرانی است. در ادامه، به شرح روند مطالعه انجام‌یافته پرداخته شده است.

### ۳- مرور مطالعات گذشته

در رشته مهندسی عمران، پلاستیک به عنوان مؤلفه‌ای در ساخت پل‌ها، ساختمان‌ها، جاده‌ها و بزرگراه‌ها، بنادر و پایانه‌ها، راه‌آهن، محوطه‌سازی‌ها، محل‌های دفن زباله و سازه‌های نگهداری آب استفاده می‌شود. قطعات پلاستیک در بخش‌های مختلف صنعت ساخت‌وساز از جمله عایق صدا، گاردریل، شمع‌ها، اسکله‌ها، اتصالات راه‌آهن، پالت‌های پلاستیکی، اسکله‌ها، پیاده‌روها، خاک-ریزی‌های پشتی فونداسیون، کنترل فرسایش و جداسازی و سرنده مصالح ساختمانی استفاده می‌شود (Lampo و همکاران، ۲۰۰۳). جدول (۲) ویژگی‌های پلاستیک را نشان می‌دهد. پلی‌اتیلن تریفتالات یک پلی‌استر ترموپلاستیک خطی است که کاربرد تجاری گسترده‌ای در الیاف مصنوعی و مواد قالب‌گیری شده دارد.

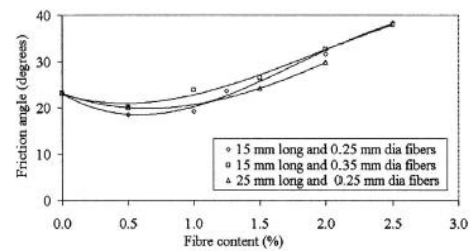
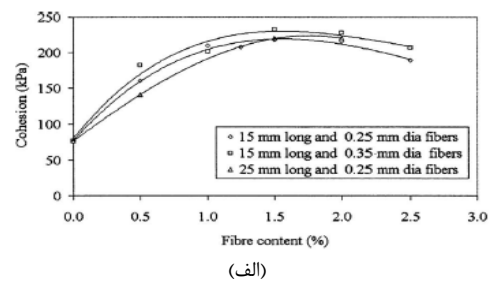
### جدول ۲- ویژگی‌های پلاستیک در مقایسه با دیگر مصالح ساختمانی (Lampo و همکاران، ۲۰۰۳)

مشخصه	پلاستیک
مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش	عالی (با تثبیت کننده)
مقاومت در برابر سایش	عالی
مقاومت شیمیایی	عالی
ابزار ساخت	قابل اجرا با ابزار نجاری استاندارد
مقاومت در برابر گاز ازن	عالی
مقاومت در برابر آتش سوزی	نیاز به محافظ
مقاومت در برابر رطوبت	خوب
عملکرد در برابر تنش ترک خوردگی	عالی
رسانایی الکتریکی	نارسانا

درجه‌بندی‌های مختلف آن در طیف گسترده‌ای از درصد‌های وزنی مولکولی در صنایع مختلف به کار می‌روند و امروزه وسیع‌ترین کاربرد آن در ساخت بطری‌های نوشیدنی است و به همین دلیل

محصور نشده، برش مستقیم و تحکیم بر روی لای مسلح شده رفتار ژئوتکنیکی را بررسی نمودند. ایشان دریافتند که ضایعات پلاستیکی باعث افزایش مقاومت فشاری تک‌محوری، کاهش کرنش گسیختگی، بهبود مقاومت برشی (در تنش‌های نرمال پایین) و کاهش قابل‌توجه فشار تومی می‌شود (شکل (۳)) (قضاوی و همکاران، ۱۳۸۹). با توزیع تصادفی فیبرهای پلی‌اتیلن (PET) در خاک مخلوط ماسه سست و رس، تأثیر فیبرهای پلی-اتیلن بر روی مقاومت برشی خاک مخلوط را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهای مقاومت برشی مخلوط ماسه- کائولینیت<sup>۱۱</sup> با افزایش درصد الیاف، افزایش می‌یابند. همچنین برای یک مخلوط ماسه- کائولینیت مسلح شده، مقاومت برشی با افزایش سرعت تنش برشی افزایش می‌یابد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Soltani-Jigheh، ۲۰۱۴) نیز با اضافه کردن ضایعات پلاستیکی با ابعاد ۴ میلی‌متر عرض و ۸ میلی‌متر طول با درصد‌های مختلف ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۱/۵ به خاک رس چسبنده و انجام آزمایشات سه‌محوری زهکشی نشده با تنش‌های همه‌جانبه ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال مشاهده کردند که در تنش تحکیمی ۱۰۰ کیلو پاسکال با افزودن ضایعات پلاستیکی به رس مقاومت برشی نمونه‌ها به مقدار کمی افزایش پیدا می‌کند. حال آن‌که در تنش ۲۰۰ کیلو پاسکال افزودن ضایعات پلاستیکی تأثیر مثبت بر مقاومت برشی ندارد. صرف‌نظر از مقدار تنش تحکیمی، افزودن ضایعات پلاستیکی به رس سبب زیاد شدن اضافه فشار آب حفره‌ای در داخل نمونه‌ها می‌شود؛ البته این افزایش کم بوده و حداکثر مقدار آن حدود ۲۰ درصد است. مدول تغییر شکل با افزایش ضایعات پلاستیکی ابتدا کاهش یافته و بعد از ۰/۵ درصد ضایعات پلاستیکی اثر چندانی بر مدول تغییر شکل ندارد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت در مواردی که نیاز به مقاومت برشی بالا نیست می‌توان از مخلوط رس- ضایعات پلاستیکی به عنوان مصالح تسلیح کننده استفاده نمود تا از این طریق بتوان سایر ویژگی‌های خاک‌های رسی را بهبود بخشید (شکل (۳)).

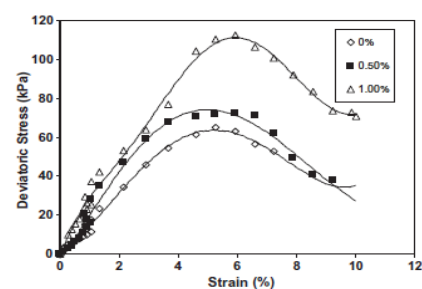
با مرور مطالعات انجام یافته مشاهده گردید، که در اکثر موارد نوع ذرات پلاستیک زائد به‌صورت سخت انتخاب گردیده و دارای اندازه‌های مختلف می‌باشند. همچنین، مصالح مورد مطالعه به- صورت مخلوط انتخاب گردیده‌اند. در مطالعه حاضر، از نوار پلاستیک زائد انعطاف‌پذیر در ابعاد مشخص ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع استفاده گردیده و خاک ریزدانه مورد مطالعه از منطقه آزاد ارس شهر جلفا تهیه شده است. در انتها، علاوه بر تعیین ویژگی- های ژئوتکنیکی خاک بهسازی شده، تأثیر ذرات پلاستیک زائد بر روی رفتار تحکیمی خاک ریزدانه مورد مطالعه قرار گرفته است که از جمله نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌توان برشمرد.



(ب)

شکل ۱- تأثیر ضایعات پلاستیکی (PET) به‌صورت الیاف با طول و قطرهای مختلف بر پارامترهای ژئوتکنیکی: الف) چسبندگی، ب) زاویه اصطکاک داخلی (Sivakumar و Vasudevan، ۲۰۰۸)

Sivakumar و Chouksey، ۲۰۱۱ با انجام آزمایش‌های تک-محوری و سه‌محوری استاتیکی در شرایط زهکشی نشده ضایعات پلاستیکی با ابعاد ۱۲ میلی‌متر طول و ۴ میلی‌متر عرض با درصد‌های ۰/۷۵، ۱ و ۱ درصد را با خاک رس با شاخص خمیری ۱۳ مخلوط نمودند. نتایج آزمایشات نشان داد ضایعات پلاستیکی سبب افزایش قابل توجه در مقاومت خاک رس شده و از آن‌ها می-توان در جهت کاهش میزان نشست در خاک زیر پی استفاده نمود (شکل (۲)).



شکل ۲- تأثیر ضایعات پلاستیکی با ابعاد مختلف بر مقاومت فشاری تک‌محوری (Sivakumar و Chouksey، ۲۰۱۱)

Dutta و همکاران، ۲۰۱۲ در ادامه یافته‌های محققین دیگر، ضایعات پلاستیکی با ابعاد ۵ میلی‌متر عرض و ۱۵ میلی‌متر طول با درصد‌های ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد با خاک ریزدانه لای مخلوط نمودند. سپس با انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری



(الف)

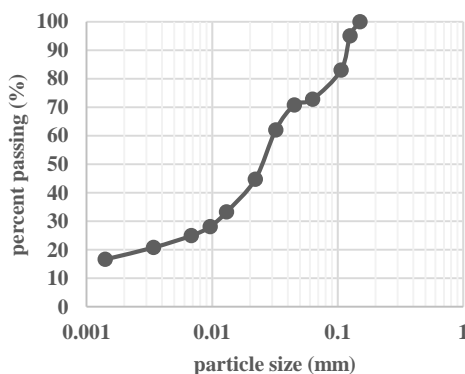


(ب)

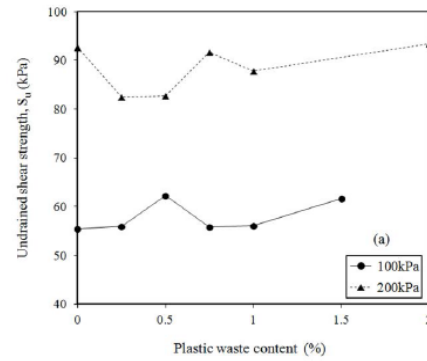
شکل ۴- نوارهای زائد پلاستیکی مورد استفاده در تحقیق حاضر: الف) ۱×۱ سانتی متر مربع، ب) ۲×۲ سانتی متر مربع



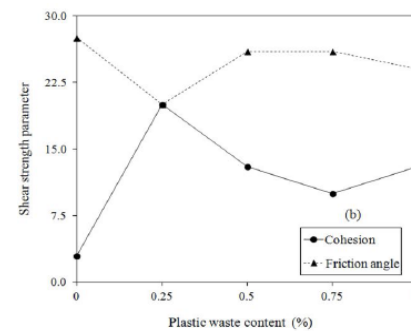
شکل ۵- خاک ریزدانه مورد مطالعه (ردشده از الک ۱۰۰)



شکل ۶- منحنی دانه‌بندی خاک ریزدانه مورد مطالعه



(الف)



(ب)

شکل ۳- تأثیر درصد ضایعات پلاستیکی بر نتایج حاصل از آزمایش سه‌محوری استاتیکی در شرایط زهکشی نشده: الف) مقاومت برشی زهکشی نشده، ب) پارامترهای ژئوتکنیکی (Soltani-Jigheh, ۲۰۱۴)

#### ۴- مواد و مصالح

در تحقیق حاضر از نوارهای زائد پلاستیک (PET) انعطاف‌پذیر استفاده شده است. زائدات پلاستیک از بطری‌های آب معدنی تهیه گردیده و به ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع بریده شده‌اند (شکل ۴-الف) و (۴-ب)) و با درصدهای وزنی ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ با خاک ریزدانه که از منطقه آزاد ارس شهر جلفا و از محل احداث یک راه اصلی در نزدیکی مرز ایران و جمهوری آذربایجان تهیه گردیده مخلوط شده است. به‌منظور تهیه نمونه‌های همگن و یکنواخت، خاک محدوده مورد مطالعه از الک ۱۰۰ عبور داده شده است (شکل ۵)) منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه طبق استاندارد ASTM D421 و ASTM D422 تهیه گردیده و در شکل ۶) نشان داده شده است. خصوصیات خمیری آن طبق استاندارد ASTM D4318-95a و چگالی ویژه نیز طبق استاندارد ASTM D854-02 برآورد شد که مطابق جدول (۳) ارائه شده است. با توجه منحنی دانه‌بندی و میزان شاخص خمیری می‌توان دریافت طبق سیستم طبقه‌بندی متحد نوع خاک مورد مطالعه رس لای-دار<sup>۱۲</sup> می‌باشد. طبق جدول (۴) ویژگی‌های نوارهای زائد پلاستیک ارائه گردیده است.

انتها، عملیات مخلوط کردن مصالح خاکی و نوارهای زائد به مدت ۳۰ ثانیه با دور کند، ۱۵ ثانیه تمیزکاری و ۶۰ ثانیه با دور متوسط انجام گرفت. برای نیسل به اهداف تحقیق، ابتدا آزمون تراکم آزمایشگاهی طبق استاندارد ASTM D698 انجام گرفت. سپس برای تعیین پارامترهای رفتاری خاک ریزدانه بهسازی شده با نوارهای زائد پلاستیکی در مرحله اول آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری طبق استاندارد ASTM D2166-16 انجام گرفته و در ادامه، آزمون برش مستقیم در دو حالت خشک و اشباع طبق استاندارد ASTM D3080-11 برای نمونه‌های با ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر مربع به صورت کنترل کرنش تحت اثر بارهای قائم ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که در حالت اشباع نمونه‌ها به مدت ۲۴ تحت اثر بارگذاری قائم قرار گرفته تا عملیات تحکیم قرار گرفته و سپس با سرعت ۰/۰۵ میلی‌متر بر دقیقه عملیات بارگذاری انجام یافت. در حالت خشک، بارگذاری با سرعت ۱/۲۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد.

برای بررسی تأثیر میزان نوارهای پلاستیک زائد بر روی نفوذپذیری خاک ریزدانه مورد مطالعه آزمایش نفوذپذیری با ارتفاع متغیر طبق استاندارد ASTM D5084-03 انجام گرفته است. در انتها، به منظور بررسی زائادات پلاستیکی بر روی نشست تحکیمی و پتانسیل تورم خاک ریزدانه، آزمایش تحکیم براساس استاندارد ASTM D2435 صورت پذیرفت. برنامه آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه مطابق جدول (۵) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که به مجموع تعداد آزمایش‌های انجام یافته روی نمونه‌ها، ۲۵٪ از مجموع آزمون‌های انجام یافته جهت صحت نتایج جهت دوباره تکرار شده است.

### جدول ۳- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک مورد مطالعه

طبقه‌بندی (USCS)	PI	PL	LL	G <sub>s</sub>
CL-ML	۶/۶۵	۱۷/۵۵	۲۴/۲	۲/۶۵

### جدول ۴- مشخصات زائادات پلاستیکی (Lampo و همکاران، ۲۰۰۳)

چگالی (gr/cm <sup>3</sup> )	۱/۳۸
درصد جذب آب (%)	۰/۱
مقاومت کششی در لحظه گسیختگی (MPa)	۷۹/۲۹
مدول کششی (MPa)	۲۷۵۷/۹
ازدیاد طول در لحظه گسیختگی (%)	۷۰
مقاومت خمشی (MPa)	۱۰۳/۴۲
ضریب اصطکاک (Static/dynamic)	۰/۲۵-۰/۱۹
میزان حرارتی که باعث تغییر شکل PET می‌شود (C°)	۷۹/۴۴
نقطه ذوب (C°)	۲۵۴/۴۴
محدوده دما هنگام انبساط حرارتی	۱۲۱-۱۰
ضریب انبساط حرارتی	۶/۵۵×۱۰ <sup>-۴</sup>

### ۵- کارهای آزمایشگاهی

به منظور آماده‌سازی نمونه‌های مخلوط یکنواخت و همگن جهت ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی از استاندارد ASTM C305-14 استفاده شد. براین اساس، ابتدا نوارهای زائد پلاستیکی و آب (با توجه به مقدار رطوبت بهینه) با یکدیگر در داخل میکسر (مخلوط‌کن) مخلوط شدند. سپس اندکی صبر شده تا مقداری آب توسط نوارها جذب شده تا بتواند چسبندگی بهتری با خاک پیدا بکند. در ادامه، ذرات خاکی مخلوط مورد مطالعه در حالت خشک به طور آرام به آن افزوده شد. طبق استاندارد ۳۰ ثانیه عملیات مخلوط متوقف شده تا مصالح رطوبت را جذب نمایند. در

### جدول ۵- برنامه آزمون‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر

ردیف	نام نمونه	ماتریس خاک	PET (%)	ابعاد (cm)	تراکم	تک‌محوری	برش مستقیم (خشک)	برش مستقیم (اشباع)	نفوذپذیری با ارتفاع متغیر	تحکیم
۱	C-0	رس لای‌دار	۰	۱×۱	*	*	*	*	*	*
۲	C-5P-1	رس لای‌دار	۰/۵	۱×۱	*	*	*	*	*	*
۳	C-1P-1	رس لای‌دار	۱	۱×۱	*	*	*	*	*	*
۴	C-1.5P-1	رس لای‌دار	۱/۵	۱×۱	*	*	*	*	*	*
۵	C-2P-1	رس لای‌دار	۲	۱×۱	*	*	*	*	*	*
۶	C-5P-2	رس لای‌دار	۰/۵	۲×۲	*	*	*	*	*	*
۷	C-1P-2	رس لای‌دار	۱	۲×۲	*	*	*	*	*	*
۸	C-1.5P-2	رس لای‌دار	۱/۵	۲×۲	*	*	*	*	*	*
۹	C-2P-2	رس لای‌دار	۲	۲×۲	*	*	*	*	*	*

## ۶- نتایج و بحث

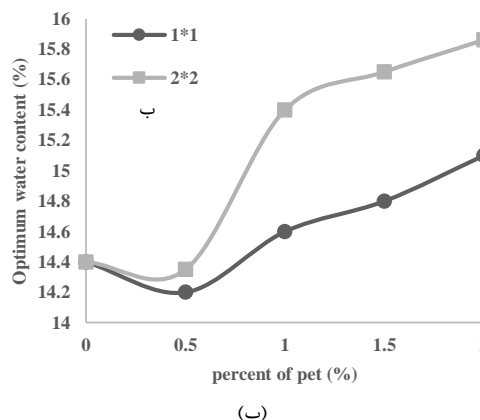
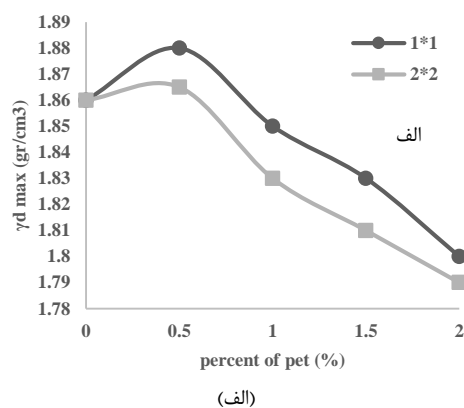
## ۶-۱- نتایج حاصل از آزمایش تراکم

نتایج به دست آمده از آزمایش تراکم در شکل‌های (۷-الف) و (۷-ب) قابل مشاهده است. هنگامی که ۰/۵ درصد وزنی نوارهای زائد پلیاستیکی با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع به خاک افزوده می‌گردد، وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه بهبود می‌یابد. به طوری که وزن مخصوص خشک حداکثر به ترتیب برابر ۱/۰۷ و ۰/۳ درصد افزایش و رطوبت بهینه به ترتیب به میزان ۱/۴ و ۰/۳۴ درصد کاهش یافت. در ادامه، با افزایش حضور نوارهای زائد وزن مخصوص خشک حداکثر یک روند کاهشی را طی نموده و میزان رطوبت بهینه افزایش یافته است. این شرایط با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل تحت اثر زائادات پلیاستیکی و انعطاف‌پذیری آن‌ها طبق نمودار شکل (۸) می‌توان بیان نمود. افزودن نوارهای زائد به میزان ۰/۵ درصد وزنی سبب کاهش فضای خالی بین ذرات و بالا رفتن تماس بین آن‌ها شده است. میزان کاهش نسبت تخلخل حداقل در نمونه‌های مورد مطالعه در اثر ذرات پلیاستیک به ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع به ترتیب برابر ۵/۷ و ۱/۱٪ است.

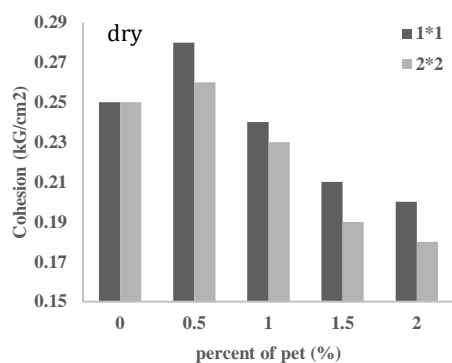
## ۶-۲- نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری

نتایج به دست از آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری بر روی نمونه‌های تثبیت‌شده با نوارهای زائد پلیاستیک در شکل‌های (۹-الف)، (۹-ب) و (۹-ج) قابل مشاهده است. افزودن زائادات پلیاستیک به ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی‌متر مربع به مقدار ۰/۵ درصد وزنی سبب افزایش مقاومت فشاری در لحظه گسیختگی و مدول الاستیسیته در نمونه‌های مورد مطالعه می‌گردد. میزان افزایش مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته نسبت به خاک ریزدانه تثبیت نشده برای هر دو ابعاد به ترتیب برابر (۳۷٪ و ۷/۹۵٪) و (۱۵٪ و ۱/۱۷٪) برابر است.

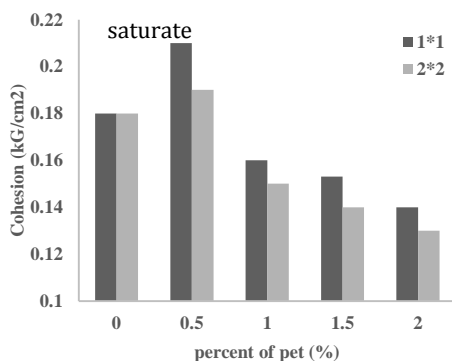
بر اساس شکل (۹-ب) دیده می‌شود اضافه کردن نوارهای زائد پلیاستیکی در هر دو ابعاد افزایش کرنش محوری در لحظه گسیختگی در نمونه‌های خاک ریزدانه مورد مطالعه را به دنبال داشته است. این شرایط بیان‌کننده افزایش شکل‌پذیری و تراکم‌پذیری است. زیرا، ابعاد کوچک‌تر نوارهای زائد باعث ایجاد یک تماس بیشتر بین ذرات خاک ریزدانه شده به طوری که فضای خالی بین ذرات را به صورت قابل توجهی کاسته است. از سوی دیگر وجود حداقل خاصیت خمیری موجود در خاک مورد مطالعه باعث ایجاد چسبندگی بین ذرات گردیده که نتیجه آن بالا رفتن توانایی باربری است. همچنین، حضور ۰/۵ درصد وزنی نوار زائد پلیاستیکی باعث ایجاد یک رفتار ترد گردیده به طوری که هم‌زمان با افزایش توانایی باربری، مدول الاستیسیته-افزایش یافته و در مقابل کرنش محوری کم‌تری کاسته شده است. بنابراین، افزایش حضور بیش از ۰/۵ درصد و بالا رفتن ابعاد نوارهای زائد باعث کاهش میزان مدول الاستیسیته شده ولی شکل‌پذیری را افزایش داده است. نتایج به دست آمده مشابه با تحقیقات صورت گرفته توسط Babu و Chouksey، (۲۰۱۱) و Dutta و همکاران، (۲۰۱۲) می‌باشد.



شکل ۷- نتایج حاصل از آزمایش تراکم: الف) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر، ب) تغییرات رطوبت بهینه



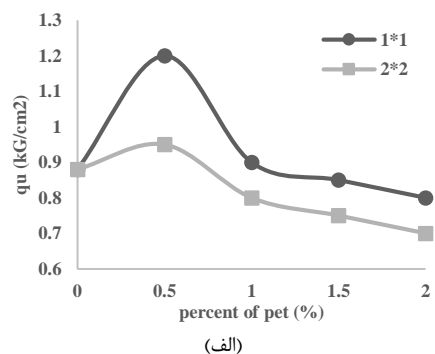
(الف)



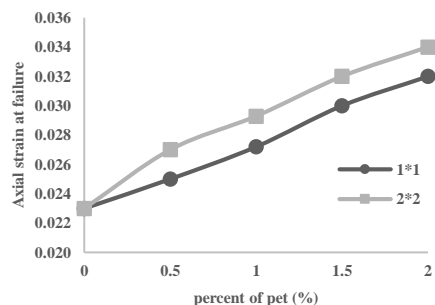
(ب)

شکل ۱۰- تأثیر میزان درصد نوار زائد پلاستیک و ابعاد بر میزان چسبندگی نمونه‌های مورد مطالعه: الف) شرایط خشک، ب) شرایط اشباع

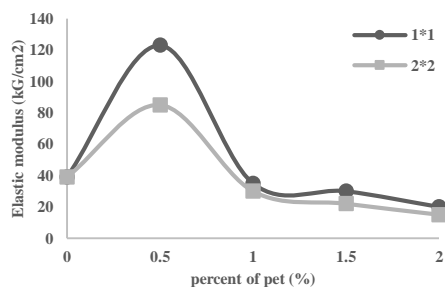
تغییرات زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) نمونه‌های خاکی تثبیت شده با نوارهای زائد پلاستیک در شکل (۱۱-الف) و (۱۱-ب) قابل مشاهده است. در حالتی که به نمونه خاک ریزدانه نوارهای زائد افزوده نشده میزان زاویه اصطکاک داخلی در شرایط بارگذاری خشک در مقایسه با حالت اشباع دارای مقدار بیشتری است. مشابه با شرایط تغییرات چسبندگی دیده می‌شود، با افزودن ۰/۵ درصد وزنی نوارهای زائد (در هر دو اندازه) به خاک میزان زاویه اصطکاک داخلی در هر دو شرایط بارگذاری خشک و اشباع بهبود می‌یابد. میزان افزایش  $\phi$  در هر دو بعد  $1 \times 1$  و  $2 \times 2$  سانتی‌متر مربع به ترتیب برابر با ۱۱/۶٪ و ۷/۶٪ (در شرایط بارگذاری خشک) و ۱۱/۴٪ و ۳/۵٪ (در شرایط بارگذاری اشباع) است. از سوی دیگر، با افزایش درصد وزنی زائدات در نمونه خاک مورد مطالعه مشاهده می‌گردد میزان زاویه اصطکاک داخلی نسبت به حالت تثبیت نشده کاهش یافته است. این روند مشابه با مطالعات صورت گرفته توسط (Soltani-Jigheh, ۲۰۱۴) می‌باشد.



(الف)



(ب)



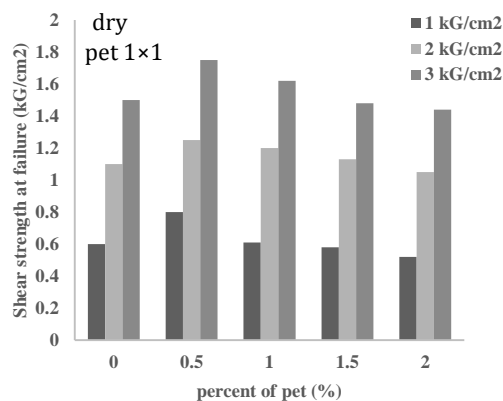
(ج)

شکل ۹- نتایج حاصل از آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری: الف) مقاومت فشاری در لحظه گسیختگی، ب) کرنش محوری در لحظه گسیختگی، ج) مدول الاستیسیته

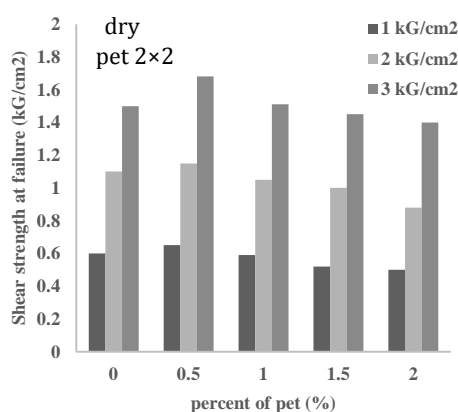
### ۳-۶- نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم

تغییرات میزان چسبندگی خاک تثبیت شده در دو شرایط بارگذاری خشک و اشباع در شکل (۱۰-الف) و (۱۰-ب) قابل مشاهده است. در حالتی که به نمونه خاک زائدات پلاستیک افزوده نشده میزان چسبندگی در شرایط بارگذاری خشک نسبت به حالت اشباع دارای مقدار بیشتری است. با افزودن زائدات پلاستیک به مقدار ۰/۵ درصد وزنی در هر دو اندازه مورد مطالعه مقدار چسبندگی خاک مخلوط بهبود می‌یابد. این میزان افزایش در ابعاد  $1 \times 1$  و  $2 \times 2$  سانتی‌متر مربع به ترتیب ۱۲٪ و ۴٪ (در شرایط بارگذاری اشباع) و ۱۷٪ و ۵/۵٪ (در شرایط بارگذاری خشک) است. از سوی دیگر، با افزایش درصد وزنی زائدات پلاستیک در نمونه خاک میزان مشابه با مطالعه صورت گرفته توسط (Soltani-Jigheh, ۲۰۱۴) چسبندگی نسبت به حالت خالص و تثبیت نشده کاهش یافته است.





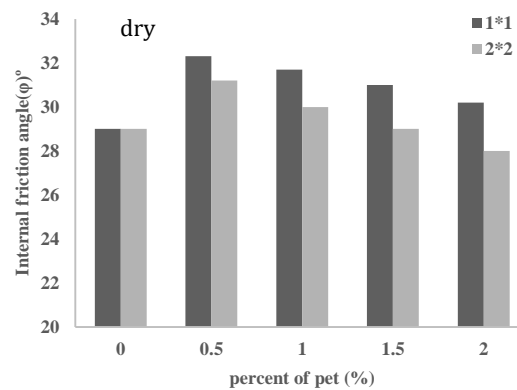
(الف)



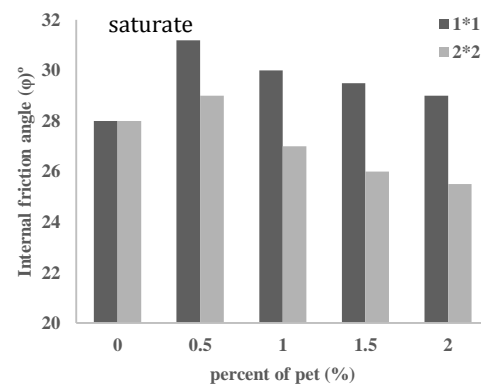
(ب)

شکل ۱۲- تأثیر میزان درصد نوار پلاستیک و ابعاد آن بر مقاومت برشی در لحظه گسیختگی (شرایط خشک): (الف) نوار زائد ۱×۱ سانتی متر مربع، (ب) نوار زائد ۲×۲ سانتی متر مربع

با مقایسه نتایج به دست آمده در دیاگرام‌های شکل (۱۳-الف) و (۱۳-ب) مشاهده می‌شود میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در نمونه خاکی ریزدانه بهسازی شده با زائدات پلاستیک با ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع در حالت شرایط بارگذاری اشباع با درصد وزنی ۰/۵ در مقایسه با ذرات پلاستیک با ابعاد ۲×۲ سانتی متر مربع با همان درصد وزنی مشابه دارای مقدار بیشتری است. این اثر افزایشی ذرات پلاستیک با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی-متر مربع با ۰/۵ درصد وزنی در مقایسه با نمونه خاک رسی خالص به‌طور میانگین به ترتیب برابر ۰/۱۱/۵٪ و ۰/۶/۸٪ می‌باشد. Babu و Vasudevan، ۲۰۰۸؛ Babu و Chouksey، ۲۰۱۱؛ Dutta و همکاران، ۲۰۱۲ نیز در تحقیقات خود مشاهده کردند که افزودن ذرات پلاستیک زائد (PET) باعث بهبود مقاومت برشی توده خاک تثبیت شده گردیده است.



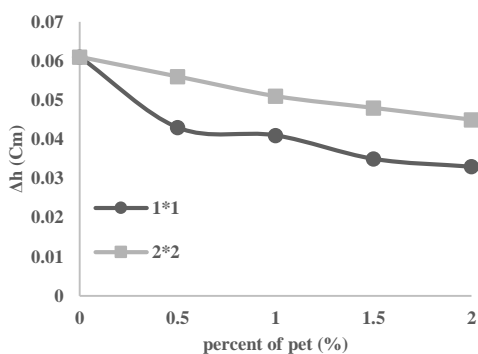
(الف)



(ب)

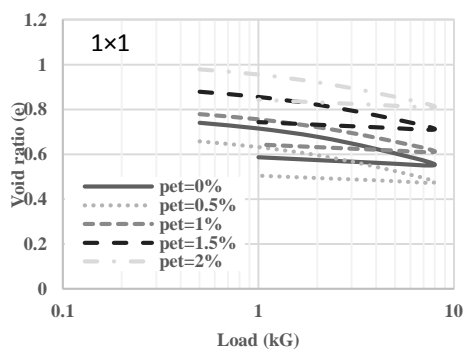
شکل ۱۱- تأثیر میزان درصد نوار زائد پلاستیک و ابعاد آن بر میزان زاویه اصطکاک داخلی: (الف) شرایط خشک، (ب) شرایط اشباع

در ادامه، تغییرات مقاومت برشی در لحظه گسیختگی نمونه‌های خاک ریزدانه در شرایط بارگذاری خشک و اشباع در اثر زائدات پلاستیک در ابعاد مورد مطالعه در شکل‌های (۱۲-الف) و (۱۲-ب) و (۱۳-الف) و (۱۳-ب) ارائه شده است. با مقایسه نتایج به دست آمده در شکل (۱۲-الف) و (۱۲-ب) مشاهده می‌شود میزان مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در نمونه خاکی ریزدانه بهسازی شده با زائدات پلاستیک با ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع با درصد وزنی ۰/۵ نسبت به نوارهای زائد با ابعاد ۲×۲ سانتی متر مربع در همان درصد وزنی مشابه دارای مقدار بیشتری است. این اثر افزایشی ذرات پلاستیک با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی متر مربع در مقایسه با نمونه خاک ریزدانه تثبیت نشده به‌طور میانگین به ترتیب برابر ۰/۲۱٪ و ۰/۸/۳٪ است.

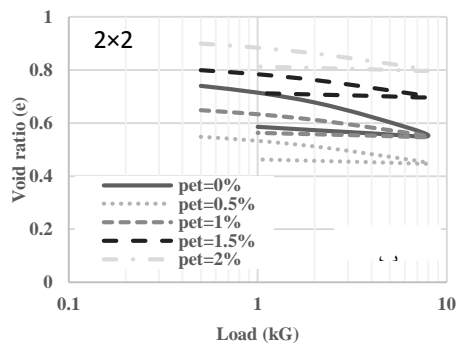


شکل ۱۴- تأثیر میزان درصد نوار زائد پلاستیک و ابعاد آن بر روی میزان تغییر شکل (ارتفاع تورم به علت اشباع شدن) خاک ریزدانه مورد مطالعه

همچنین تغییرات میزان نسبت تخلخل و شاخص نشست تحکیم (Cs) خاک‌های مورد مطالعه تحت اثر زائادات پلاستیک به ترتیب در شکل (۱۵-الف) و (۱۵-ب) و (۱۶) را می‌توان مشاهده نمود. با توجه به نمودارهای شکل (۱۵-الف) و (۱۵-ب) می‌توان دریافت افزودن نوارهای زائد پلاستیک با ابعاد ۱×۱ با درصد وزنی ۰/۵ باعث کاهش میزان نسبت تخلخل و نشست تحکیم در نمونه‌های خاکی مورد مطالعه شده است.

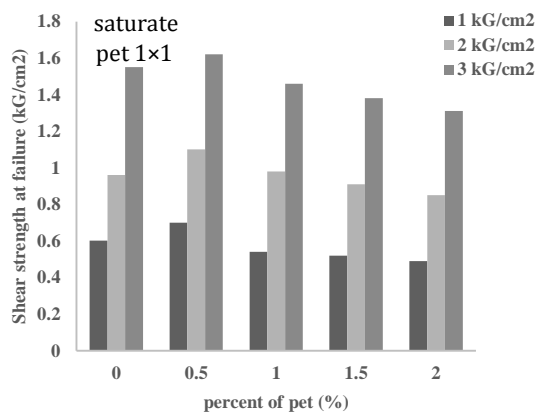


(الف)

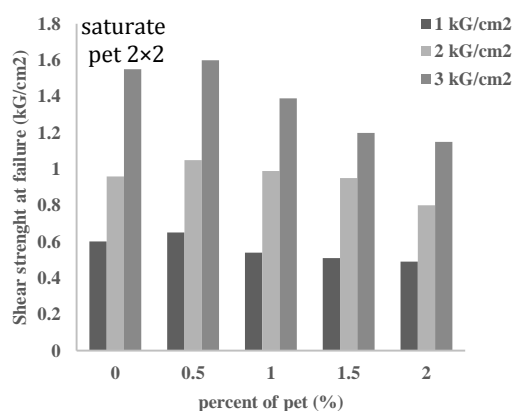


(ب)

شکل ۱۵- تأثیر نوار زائد پلاستیک بر روی میزان نسبت تخلخل: (الف) نوار PET با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر مربع، (ب) نوار PET با ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر مربع



(الف)



(ب)

شکل ۱۳- تأثیر میزان درصد ذرات پلاستیک و ابعاد آن بر مقاومت برشی در لحظه گسیختگی (شرایط اشباع): (الف) نوار زائد ۱×۱ سانتی‌متر مربع، (ب) نوار زائد ۲×۲ سانتی‌متر مربع

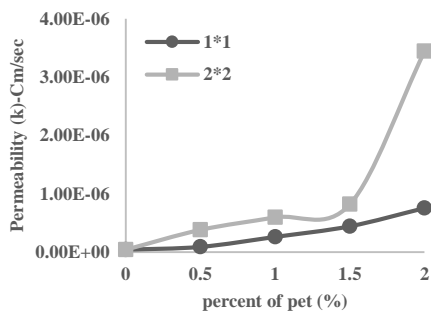
#### ۴-۶- نتایج حاصل از آزمایش تحکیم

نشست تحکیم و تورم در خاک‌های ریزدانه ناشی از جذب آب و رطوبت از نمونه‌های رفتاری در خاک‌های مسئله‌دار است. در این مطالعه، با انجام آزمایش تحکیم، تأثیر نوارهای زائد پلاستیک بر روی میزان نشست و تورم خاک ریزدانه ارزیابی شد. تأثیر زائادات پلاستیک بر روی میزان تغییر شکل (ارتفاع تورم به علت اشباع شدن) با توجه به مقادیر تورم آزاد نمونه‌های مورد مطالعه طبق شکل (۱۴) قابل مشاهده است. با توجه به نمودارهای رسم شده می‌توان دریافت هنگامی که نوارهای پلاستیک با هر دو ابعاد به خاک ریزدانه افزوده می‌شود باعث کاهش مقدار تورم می‌شود. این روند مشابه با تحقیقات صورت گرفته توسط (Chouksey و Babu، ۲۰۱۱؛ Dutta و همکاران، ۲۰۱۲) است. این نوع رفتار با توجه به انعطاف‌پذیری نوارهای زائد پلاستیکی، پایین بودن شاخص خمیری و نسبت تخلخل حداقل خاک ریزدانه مورد مطالعه قابل پیش‌بینی می‌باشد.

با مشاهده نتایج به دست آمده می توان دریافت مشابه حالت-های ذکر شده در قسمت بالا، در حالت کلی زمانی که به نمونه های مورد مطالعه ۵/۰٪ وزنی زائدات پلاستیک با ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع افزوده شد باعث کاهش تراکم پذیری و تغییر حجم نمونه های خاک ریزدانه گردید. میزان کاهش  $av$  در اثر ذرات پلاستیک شیشه در ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع با درصد وزنی ۵/۰٪ برابر ۱۹/۶٪ می-باشد. البته با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش تحکیم مشاهده گردید افزودن زائدات پلاستیک با ابعاد ۲×۲ سانتی متر مربع سبب افزایش ضریب تراکم پذیری شده است. از سوی دیگر، مقدار کاهش در  $mv$  در نمونه های خاک ریزدانه در اثر افزودن ذرات پلاستیک شیشه با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی متر مربع به ترتیب ۲۵٪ و ۸/۳۳٪ است.

#### ۶-۵- نتایج حاصل از آزمایش نفوذ پذیری

از مباحث مهم در خاک های ریزدانه، ارزیابی رفتار آنها تحت اثر جریان آب و برآورد میزان نفوذ پذیری است. در تحقیق حاضر، تأثیر نوارهای زائد پلاستیک بر روی میزان نفوذ پذیری خاک ریزدانه منطقه جلفا مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در شکل (۱۸) می توان مشاهده نمود. با توجه به نمودارها می توان دریافت، خاک ریزدانه تثبیت نشده دارای میزان نفوذ پذیری پایینی است. ولی زمانی که زائدات پلاستیک (با هر دو ابعاد) با درصد وزنی مورد مطالعه به آن اضافه می گردد باعث افزایش میزان نفوذ پذیری و بالا رفتن سرعت جریان آب در آن می گردد. بنابراین می توان نتیجه گرفت زائدات پلاستیکی انعطاف پذیر با ابعاد مختلف می تواند به-عنوان یک زهکش در خاک های ریزدانه با شاخص خمیری پایین مورد استفاده قرار گیرد.

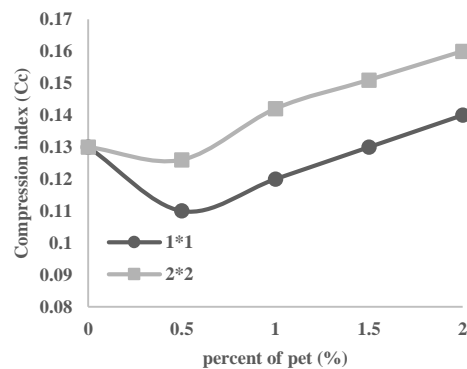


شکل ۱۸- تأثیر نوار زائدات پلاستیکی بر روی ضریب نفوذ پذیری خاک تثبیت شده

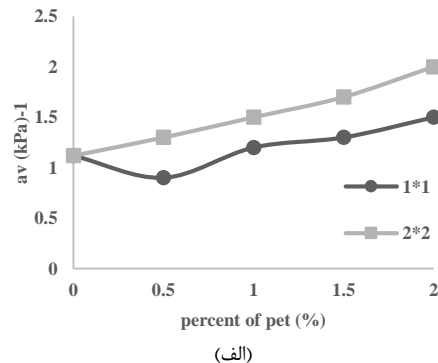
#### ۷- جمع بندی و نتیجه گیری

خاک های ریزدانه از جمله خاک های مسئله ساز در پروژه های عمرانی است. تغییر حجم ناشی از تغییر رطوبت در آنها همواره موجب بروز خسارات فراوانی به سازه ها و بناهای (کانال های آبیاری

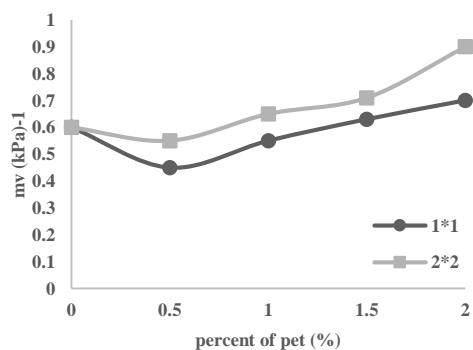
همچنین، با توجه به دیاگرام های شکل (۱۶) می توان مشاهده نمود زمانی که زائدات پلاستیک به نمونه ها افزوده می-شود، در ۵/۰٪ وزنی بیشترین اثر در کاهش نشست تحکیم را دارد. این تأثیر در نوار پلاستیک با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ سانتی متر مربع به ترتیب برابر ۳/۱۵٪ و ۳/۱٪ است. در ادامه، تأثیر زائدات پلاستیک بر روی پارامترهای نشست تحکیم همچون ضریب تراکم پذیری ( $av$ ) و ضریب تغییر حجم ( $mv$ ) نمونه های مورد مطالعه طبق شکل (۱۷-الف) و (۱۷-ب) ارائه شده است.



شکل ۱۶- تأثیر نوار زائد پلاستیک بر روی میزان شاخص فشردگی ( $Cc$ ) خاک ریزدانه مورد مطالعه



(الف)



(ب)

شکل ۱۷- تأثیر نوار زائد پلاستیک بر روی پارامترهای نشست تحکیم: الف) ضریب تراکم پذیری ( $av$ )، ب) ضریب تغییر حجم ( $mv$ )

بیش از ۰/۵ درصد وزنی مشاهده گردید میزان ضریب تغییر حجم در تمامی ابعاد مورد مطالعه افزایش می‌یابد. بنابراین در صورتی که خاک زیر پی به صورت اشباع و ریزدانه باشد کاربرد نوارهای زائد پلاستیکی می‌تواند سبب ایجاد مشکلات در رفتار مناسب پی‌ها گردد. در انتها، می‌توان به این نکته اشاره نمود کاربرد زائدات پلاستیکی انعطاف‌پذیر بر روی رفتار مکانیکی خاک ریزدانه با شاخص خمیری پایین تأثیرگذار است. البته نوع زائدات پلاستیک (صلب یا انعطاف‌پذیر)، ابعاد آن، نحوه قرارگیری آن‌ها و نوع خاک و شرایط کاربرد آن می‌تواند بر نتایج به دست آمده تأثیرگذار باشند که در تحقیقات آینده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

#### ۸- مراجع

اسلامی ف، دبیری ر، "تأثیر جانمایی ژئوگرید در بهسازی خاک مخلوط ماسه- رس جهت استفاده در لایه‌های روسازی"، مهندسی حمل و نقل، ۱۳۹۶، سال ۹، شماره ویژه روسازی، ۴۳-۶۷.

قاسم‌پوش س، دبیری ر، "بررسی تأثیر ژئوتکستایل بر بهسازی توانایی باربری خاک‌های مخلوط رس- شن"، رویکردهای نوین در زمین‌شناسی کاربردی، ۱۳۹۷، ۱۲ (۲۳)، ۳۸-۴۹.

حسن‌پوری نوتاش ن، دبیری ر، "ارزیابی اثر ژئوفوم در رفتار استاتیکی دیوار حائل"، نشریه مهندسی عمران مدرس، ۱۳۹۸، ۱۸ (۵)، ۳۱-۴۴.

قضاوی م، طباطبائی ا، پاشازاده ا، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر فایبرهای پلی‌اتیلن بر روی مقاومت برشی مخلوط ماسه سست با خاک‌های رسی"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد.

سلطانی‌حقیقه ح، فرحبخش ن، مردانی ز، "بررسی رفتار آزمایشگاهی خاک مخلوط رس و ضایعات پلاستیکی"، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۹۲، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی.

Akbulut S, Arasan S, Kalkan E, "Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers", *Applied Clay Science*, 2007, 38 (1-2), 23-32.

Asadollahi F, Dabiri R, "Effects of Glass fiber reinforced polymer on geotechnical properties of clayey soil", *Journal of Structural and Geotechnics*, 2017, 7 (2), 73-83.

ASTM D421-85, "Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants", *Annual book of ASTM standards*, 1985.

ASTM D422-63, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils", *Annual book of ASTM standards*, 1963.

ASTM D 4318-95a, "Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index for soils", *Annual book of ASTM standards*, 1995.

و زهکشی، دیوارهای حائل، بزرگراه‌ها و تونل‌ها) ساخته شده بر روی آن‌ها می‌شود. بنابراین باید با به‌کارگیری روش‌هایی، خسارت‌های ناشی از تورم و تغییر رفتار خاک‌های ریزدانه را کاهش داد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی نوارهای زائد پلاستیک (PET) به‌عنوان یک ماده ضایعاتی باطله بر روی خواص مکانیکی و ژئوتکنیکی خاک ریزدانه می‌باشد. در این مطالعه، زائدات پلاستیک شیشه انعطاف‌پذیر با ابعاد  $1 \times 1$  و  $2 \times 2$  سانتی‌متر مربع و با درصدهای وزنی ۰/۵، ۱/۵ و ۲ با خاک ریزدانه منطقه جلفا به‌صورت تصادفی مخلوط گردیده و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک تثبیت‌شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مطالعه تحقیق حاضر نشان داد، ابعاد و مقدار مناسب نوار زائد پلاستیک انعطاف‌پذیر جهت بهسازی رفتار خاک ریزدانه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با  $1 \times 1$  سانتی‌متر مربع و درصد وزنی مخلوط ۰/۵ درصد وزنی می‌باشد. زیرا، این میزان سبب شده است مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر به میزان ۱/۰۷ درصد بهبود یافته و رطوبت بهینه به مقدار ۱/۴ درصد کاسته شده است. همچنین، مقاومت فشاری در لحظه گسیختگی به مقدار ۳۷٪ و مدول الاستیسیته به میزان ۲/۱۵٪ در نمونه‌های مورد مطالعه افزایش یافت. البته، مقاومت برشی در لحظه گسیختگی در اثر حضور زائدات پلاستیکی به میزان ۲۱٪ (در حالت شرایط بارگذاری خشک) و ۱۱/۵٪ (در حالت شرایط بارگذاری اشباع) بهبود یافت. نتایج به‌دست آمده مشابه با مطالعات صورت گرفته توسط Vasudevan و Sivakumar Babu، ۲۰۰۸؛ Chouksey و Sivakumar Babu، ۲۰۱۱؛ Dutta و همکاران، ۲۰۱۲؛ Soltani-Jigheh، ۲۰۱۴ می‌باشد. از سوی دیگر، حضور نوارهای زائد پلاستیک، باعث کاهش مقدار تورم و کاسته شدن شاخص نشست تحکیم به میزان ۱۵/۳٪ شده که مشابه با نتایج حاصل از مطالعات Babu و Chouksey، ۲۰۱۱؛ Dutta و همکاران، ۲۰۱۲ می‌باشد. البته، قرارگیری نوارهای زائد پلاستیک در خاک ریزدانه با شاخص خمیری پایین سبب افزایش و بالا رفتن نفوذپذیری شده است. این شرایط با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل تحت اثر نوار زائد پلاستیکی می‌توان توضیح داد. افزودن زائدات پلاستیک انعطاف‌پذیر به میزان ۰/۵ درصد وزنی سبب کاهش فضای خالی بین ذرات و بالا رفتن تماس بین آن‌ها شده است. میزان کاهش نسبت تخلخل حداقل در نمونه‌های مورد مطالعه در اثر نوار زائد پلاستیک به ابعاد  $1 \times 1$  سانتی‌متر مربع برابر ۵/۷ درصد است. این عامل سبب افزایش تراکم‌پذیری، توانایی باربری، شکل‌پذیری و کاهش تورم و نشست تحکیم خاک تثبیت شده گردیده است. از سوی دیگر، با توجه به پایین بودن شاخص خمیری خاک ریزدانه مورد مطالعه، افزودن زائدات پلاستیک انعطاف‌پذیر باعث افزایش ضریب نفوذپذیری و ایجاد شرایط زهکشی شده است. همچنین، با قرارگیری نوارهای زائد پلاستیکی

- Lampo R, Nosker T, McLaren M, "Demonstration installations of recycled-plastic lumber for bridges", Marine Pilings and Railroad Ties, 2003.
- Naeini SA, Sajadi SM, "Effect of Waste Polymer Materials on Shear Strength of Unsaturated Clays", Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 13 (band K), 1-12.
- Park T, Tan SA, "Enhanced performance of reinforced soil walls by the inclusion of short fiber", Geotextiles and Geomembranes, 2005, 23 (4), 348-361.
- Poon CS, "Management and Recycling of Demolition Waste in Hong Kong", The 2<sup>nd</sup> International Conference on Solid Waste Management, Taipei, Taiwan, 2000, 433-442
- Sadek S, Najjar S, Freiha F, "Shear Strength of Fiber-Reinforced Sands", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010, 136 (3), 490-499.
- Sivakumar Babu GL, Vasudevan AK, "Strength and stiffness response of coir reinforced tropical soils", Journal Materials in Civil Engineering, ASCE, 2008, 20 (9), 571-577.
- Sivakumar Babu GL, Chouksey SK, "Stress-strain response of plastic waste mixed soil", Waste management, 2011, 31 (3), 481-488.
- Soltani-Jigheh H, "Un drained behavior of Clay-Plastic waste mixtures", The 11<sup>th</sup> International congress on advances in civil engineering, 21-25 October, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2014.
- Tang T, Shi B, Gao W, Chen F, Cai Y., "Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil", Geotextiles and Geomembranes, 2007, 25 (3), 194-202.
- The Waste and Resources Management Action Programme (WRAP), "The Quality Protocol for the Production of Aggregates from Inert Waste", 2005.
- Yetimoglu T, Salbas O, "A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers", Geotextiles and Geomembranes, 2003, 21 (2), 103-110.
- ASTM D 854-02, "Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer", Annual book of ASTM standards, 2002.
- ASTM-D 698-00, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))", Annual book of ASTM standards, 2000.
- ASTM D2166-16, "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil", Annual book of ASTM standards, 2016.
- ASTM D3080-11, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions", Annual book of ASTM standards, 2011.
- ASTM D5084-03, "Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous materials using flexible wall permeameter", Annual book of ASTM standards, 2003.
- ASTM D2435-11, "Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading", Annual book of ASTM standards, 2011.
- ASTM C305-14, "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency", Annual book of ASTM standards, 2014.
- Benson C, Khire M, "Reinforcing Sand with Strips of Reclaimed High Density Polyethylene", Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 120 (5), 838-855.
- Bueno BS, "The Mechanical Response of Reinforced Soil Using Short Randomly Distributed Plastic Strips", Proc. of Recent Developments in Soil and Pavements Mechanics, Almeida Balkema, Rotterdam, 1997, 401-407.
- Consoli NC, Montardo JP, Prietto PDM, Pasa GS, "Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, ASCE, 128 (6), 462-472.
- Consoli NC, Vendruscolo MA, Fonini A, Dalla Rosa F, "Fiber reinforcement effects on sand considering a wide cementation range", Geotextile and Geomembrane. 2009, 27 (3), 196-203.
- De Mello D, Pezzin SH, Amico SC, "The effect of post-consumer PET particles on the performance of flexible polyurethane foams", Polymer Testing, 2009, 28 (7), 702-708.
- Dutta RK, Venkataraman G, Nandkishor V, "Effect of Waste Plastic Chips on the Strength and Swelling Pressure of Silt", Department of Civil Engineering, Institute of Technology and Management, Gurgaon, India, 2012.
- FHWA, "Ground modification methods references manual", 1, 2, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2017.
- Hasanpouri Noutash N, Dabiri R, "Effects of geofabric panels on static behavior of cantilever retaining wall", Advances in Civil Engineering, 2018, 1-16.
- John G, Rodwan Jr, "Bottled water 2011: The recovery continues, U.S. and International Developments and statistics", BWR www.bottledwater.org, April/May 2012.

## EXTENDED ABSTRACT

# Effects of Waste Plastic Strips (PET) on Improvement of Fine-grained Soil

Yashar Dehghan, Rouzbeh Dabiri \*

Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received: 25 August 2018; Accepted: 04 November 2019

### Keywords:

Environmental geotechnic, Fine-grained soil, Waste plastic strip (PET), Improvement, Bearing capacity.

## 1. Introduction

Geotechnical and engineering structures transfer their loads to soil by foundation. Therefore, structures should be constructed on soil with high bearing capacity. Demand for suitable soil in civil engineering projects is high, but soil with high quality in terms of bearing capacity provides from long distance and uses. Although, this operation is extensive and time consuming. Social, economical and environmental challenges have been caused researchers find new method for improving soil behavior in terms of bearing capacity and strength. In the other side, waste materials such as plastic, wood, glass and etc. in terms of high volume production due to urban development and urbanization with high cost in disposal and maintenance have been caused serious researches for application of recycled waste materials in soils for improvement performed. Polyethylene Terephthalate (PET) is one of the waste material which is permanent and causes environmental pollution. As regard to supply and demand of plastic waste (PET) is increasing, so recycling and re-use is one of the major purpose in engineering and environmental protection (John and Rodwan, 2012). Nowadays, about the use of waste plastic strip and PET different studies have been performed such as (Sivakumar Babu and Vasudevan, 2008), (Sivakumar Babu and Chouksey, 2011), (Dutta et al., 2012) and (Soltani-Jigheh, 2014) can be mentioned. Main idea of this research is evaluation of flexible waste plastic strips (PET=Polyethylene Terephthalate) effects on mechanical and geotechnical behavior of fine-grained soil.

## 2. Methodology

### 2.1. Materials

In present study, flexible PET plastic waste strips were prepared from bottles of mineral water. So that, strips in 1×1 and 2×2cm dimensions provided. Then, in 0.5, 1 and 1.5 percentage (by weight) (Fig. (1-a) and (1-b)) mixed to fine-grained soil from Aras free zone in Jolfa city. In order to preparing uniform and homogeneous mixtures, fine-grain soils were passed from sieve No.100. and grading curve was determined using ASTM D421 and ASTM D422. Which are shown in Fig. (2-a) and (2-b). Furthermore, Atterberg limit were estimated according to ASTM D4318-95a. Specific gravity value ( $G_s$ ) was determined based on ASTM D854. As it is shown in Table 1, the fine-grained soil is in accordance with unified classification is CL-ML.

**Table 1.** Geotechnical properties of fine-grained soil

$G_s$	LL	PL	PI	Classification
2.65	24.2	17.55	6.65	CL-ML

\* Corresponding Author:

E-mail addresses: yashr.dehghan@gmail.com (Yashar Dehghan), rouzbeh\_dabiri@iaut.ac.ir (Rouzbeh Dabiri).



Fig. 1. Image of PET plastic waste strips: a) 1×1cm, b) 2×2cm

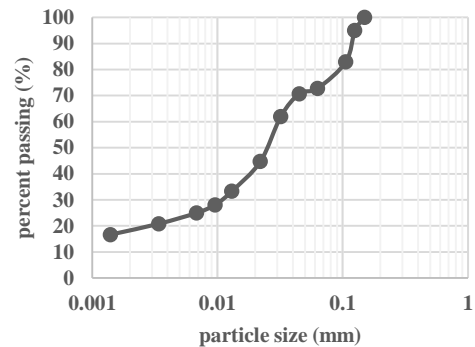


Fig. 2. Image of fin-grained soil in present study: a) passed from sieve No. 100, b) grain size distribution

## 2.2. Methods

In present research, uniform and homogenous soil specimens were prepared based on ASTM C305-14. Then, to evaluate the geotechnical behavior and properties of the improved of soils some tests were performed. First, the compaction test was performed according to ASTM D698. Second, uniaxial compressive strength test was carried out based on ASTM D2166-16. Third, direct shear test was conducted in both dry and saturate condition based on ASTM D3080-11. In this test, specimens were prepared in 10×10 cm mold. In addition, loading was performed in saturate condition at a slow speed (0.05mm/min) and in dry position at medium speed (1.25mm/min) using a vertical stress equal to 1, 2, and 3kg/cm<sup>2</sup>. Forth, for evaluating permeability in mixed soil specimens heading fall test according to ASTM D5084-03 was performed. In final, effects of PET plastic waste on swelling and settlement of improved soil consolidation test based on ASTM D2435 was carried out.

## 3. Results and discussion

Results of this study showed that optimum value and dimension of flexible PET waste plastic strips for improvement of fine-grained soil respectively is 1×1cm with 0.5 percentage (by weight). So, these values has been caused that maximum dry weight density 1.07% increased and optimum water content 1.4% reduced (Fig. (3-a) and (3.b)). Also, uniaxial strength at failure amount in improved specimens 37% go up and Similarity, elastic modulus 2.15% rised. In continue, variations of internal friction ( $\phi$ ) and cohesion (c) in mixed specimens demonstrates shear strength at failure due to presence of PET waste plastic strip can be growth respectively by 21% (in dry condition) and 11.5% (in saturate condition). On the other side, locating PET waste plastic strip in fine-grained soil can be affected in consolidation parameters. So that, waste material reduce both swelling potential and compression index ( $C_c$ ) (by 15.3%) in improved specimens. In final, heading fall permeability test result on specimens showed that PET waste plastic strip can growth drainage and water flow (Fig. 4).

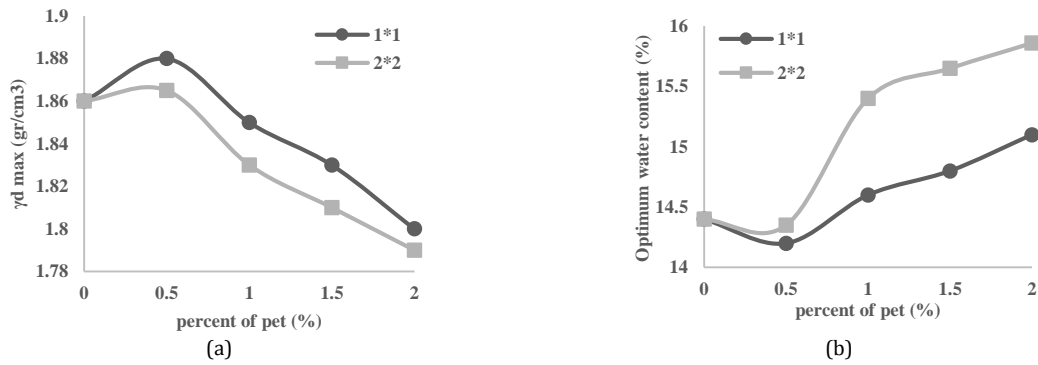


Fig. 3. Effects of PET waste plastic strip on compaction tests results: a) Maximum dry density, b) Optimum water content

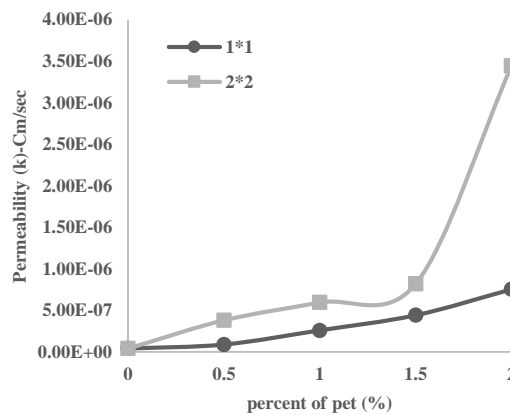


Fig. 4. Effects of PET waste plastic strip on permeability of improved specimens

#### 4. Conclusions

In this research effects of flexible waste plastic strips (PET=Polyethylene Terephthalate) in different dimensions on mechanical and geotechnical behavior of fine-grained soil were studied. With considering to results mentioned above, it is explained that generally PET waste plastic strips are effective in geotechnical properties of fine-grained soil. Especially, in present study demonstrated strips with  $1 \times 1$  cm with 0.5% (by weight) content in fine-grained soil can cause improvement in soil from point of view bearing capacity, strength and swelling potential. Reasons of this behavior in mixed soil with regards to changes in minimum void ratios and skeleton and particle structures can be described. While, 0.5% PET waste plastic strips with  $1 \times 1$  cm added to fine-grained soil, minimum void ratio value than to unimproved condition 5.7% decreased. Therefore, with increasing contact between strips and soil particle bearing capacity and strength rise. Although, consolidation test on improved specimens illustrated that with increasing PET waste plastic strips more than 0.5%, soil compressibility coefficient go up. It means that, application of PET strips for soil improvement can have negative effects on bearing capacity of foundation and structures. In final, it proposed that type of plastic strip effects in terms of flexibility and rigidity on soil behavior under dynamic and static loading should be considered.

#### 5. References

- John G, Rodwan JR, "Bottled water 2011: The recovery continues, U.S. and international developments and statistics", BWR [www.bottledwater.org](http://www.bottledwater.org), April/May 2012.
- Sivakumar Babu GL, Vasudevan AK, "Strength and stiffness response of coir reinforced tropical soils", Journal Materials in Civil Engineering, ASCE, 2008, 20 (9), 571-577.
- Sivakumar Babu GL, Chouksey SK, "Stress-strain response of plastic waste mixed soil", Waste management, 2011, 31 (3), 481-488.
- Dutta RK, Venkataraman G, Nandkishor V, "Effect of Waste Plastic Chips on the Strength and Swelling Pressure of Silt", Department of Civil Engineering, Institute of Technology and Management, Gurgaon, India, 2012.
- Soltani-jigheh H, "Un drained behavior of Clay-Plastic waste mixtures", The 11<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering, 21-25 October, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2014.