Archive of SID

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره۴، سال ۱۳۹۷، صفحات ۷۵۵ تا ۷۶۴
DOI: 10.22060/ceej.2017.11924.5100

استفاده از ضایعات پلاستیکی یکبار مصرف در بهبود ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای

ابوالقاسم هوشیار، وحید رستمی*

گروه عمران، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

چکیده: بطور کلی تسلیح خاک یکی از روش‌های بهبود مقاومت خاک با قرار دادن عناصر مسلح کننده در جهت مقابله با ضعف کششی خاک می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی کاربرد خاک مسلح و ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای صورت گرفته است. در اکثر موارد دیده شده است که مطالعات به خاکریز مسلح شده با ژئوسنتتیک‌ها و تسمه‌ها و نوارهای فلزی و یا حتی قطعات و ضایعات لاستیکی و نوارها و الیاف پلی‌اتیلن ترفتالات محدود شده و استفاده از قطعات ضایعاتی از پلاستیک پلی اتیلنی با عملکرد سه بعدی در خاکریزها در نظر گرفته نشده است. در این پژوهش به بررسی اثر استفاده از قطعات ضایعات پلاستیکی در بهبود ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای پرداخته شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل استفاده از یک نوع از ضایعات پلاستیکی یکبار مصرف در درصدهای وزنی متفاوت به صورت تسلیح نامنظم (تصادفی) و تسلیح منظم (با لایه‌بندی مشخص)، در خاکریز دانه‌ای می‌باشد. این پژوهش به صورت آزمایشگاهی کوچک مقیاس بوده و از دستگاه CBR بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که با قراردادن قطعات ضایعات پلاستیکی در خاک ماسه–ای، ظرفیت باربری افزایش قابل توجهی یافته است. مقادیر بهینه بین ۲ تا ۲/۵ درصد وزنی از قطعات پلاستیکی نسبت به ماسه، به دست آمده است و همچنین شرایط انرژی لازم نیز جهت رسیدن به درصد بهینه و نیز رفتار تنش– کرنش خاک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی قطعات پلاستیکی به ۲ تا ۲/۵ درصد به ترتیب در شرایط توزیع نامنظم و منظم، ضریب الاستیسیته خاک تا حدود ۲۳۴ و۱۵۲ درصد افزایش می‌یابد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۶ شهریور ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۶ تیر ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۲ مهر ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:
ضایعات پلاستیکی
ظرفیت باربری
خاک دانه‌ای
آزمایش CBR

۱- مقدمه

خاک سست طبیعی موجود در محل پروژه‌ها، همواره به‌عنوان بستر، برای استفاده مناسب نمی‌باشد و ممکن است در اثر اعمال بار، نشست‌های قابل توجهی در خاک نامرغوب بوجود آید. تقویت خاک‌های ضعیف و نامناسب جهت بکارگیری در شیروانی‌ها، پی ها، بستر جاده‌ها، سدها و ... برای ایجاد پیکربندی خاکی با ویژگی‌های مهندسی دلخواه از مهمترین موارد در مهندسی عمران می‌باشد. از جمله روش‌های بهبود خاک‌ها می‌توان به تثبیت، تراکم، پیش بارگذاری، مسلح کردن خاک و ... اشاره نمود. در این میان، ایده به کارگیری خاک مسلح در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

افزایش ضایعات پلاستیکی و آلودگی گسترده محیط زیست در اثر آن‌ها به یک معضل بزرگ تبدیل شده است، به خصوص که پلاستیک‌ها از جمله ضایعاتی هستند که به طور کلی مقاومت کششی و مکانیکی بالایی دارند و با اسیدها و بازها و دیگر مواد شیمیایی معمولا به سختی واکنش نشان می‌دهند، همچنین در مقابل میکروارگانیسم‌ها هم کاملاً مقاوم بوده و بنابراین سال‌ها در طبیعت بدون تغییر باقی می‌مانند. در این خصوص پژوهش‌های زیادی برای تعیین راه‌حل مناسبی جهت حذف ضایعات و یا استفاده مجدد از آن‌ها به صورت مصالح جایگزین در مهندسی عمران صورت گرفته و نیز در حال انجام است. در روش خاک مسلح با توجه به اینکه خاک مقاومت کششی کافی برای تحمل بارهای وارده را ندارد از یک سری المان‌های کششی شامل: نوارهای فلزی، ژئوسنتتیک‌ها، ضایعات پلاستیکی و ... در درون خاک استفاده می‌گردد. شایان ذکر است که برای استفاده از ضایعات پلاستیکی در بهسازی خاک هزینه زیادی پرداخت نمی‌گردد و از این رو، این نوع مسلح کننده از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد.

طی چند سال اخیر، مسائل زیست محیطی و اقتصادی سبب توجه به استفاده از ضایعات حاصل از لاستیک‌های فرسوده، بطری‌ها، شیشه‌ها و ... جهت اصلاح و بهبود خصوصیات خاک شده است. روش‌های پایدارسازی و مسلح کردن خاک، اغلب با استفاده از انواع ژئوسنتتیک‌ها، عوامل سیمانی کننده (آهک، سیمان و ...) الیاف مصنوعی و غیر مصنوعی و یا خرده‌های لاستیک صورت می‌گیرد. خاک‌های پایدار شده یا مسلح شده، اغلب مواد کامپوزیتی هستند که از ترکیب و بهینه کردن خواص تک تک مواد تشکیل دهنده نتیجه می‌شوند. یکی از جدیدترین روش‌های مطرح در زمینه اصلاح خصوصیات خاک، به کارگیری مواد پلاستیکی حاصل از بطری‌ها می‌باشد.

در طی سالیان اخیر مطالعات زیادی بر روی کاربرد خاک مسلح بر روی افزایش ظرفیت باربری خاک‌های دانه‌ای صورت گرفته است. تقریباً در اکثر موارد دیده شده که مطالعات به خاکریز مسلح شده با ژئوسنتتیک‌ها

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Rostami@iauh.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

و تسمه‌ها و نوارهای فلزی محدود شده و استفاده از ضایعات پلاستیکی در خاکریزها در نظر گرفته نشده است. از این رو در این پژوهش به بررسی اثر استفاده از ضایعات پلاستیکی در بهبود ظرفیت باربری خاک‌های دانه ای پرداخته شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل استفاده از یک نوع از ضایعات پلاستیکی یکبار مصرف در درصدهای وزنی متفاوت به صورت تسلیح تصادفی و تسلیح با لایه‌بندی مشخص، در خاکریز دانه‌ای می‌باشد. پژوهش به صورت آزمایشگاهی کوچک مقیاس بوده و از دستگاه CBR بهره گرفته شده است. در این پژوهش قطعات پلاستیکی به‌دست آمده از بطری‌های ضایعاتی پلی‌اتیلن ترفتالات که برای بسته‌بندی و نگهداری نوشیدنی‌هایی مانند نوشابه و آب استفاده می‌شود برای بهسازی مصالح ماسه‌ای به کار رفته است. این قطعات در درصدهای مختلف و محل قرارگیری متفاوت به خاک اضافه شده است. وجود قطعات پلاستیکی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقاومت برشی و نیز کششی خاک مسلح به وجود می‌آورد. آزمایش‌ها برای مصالح بدون استفاده از مسلح کننده و با استفاده از مسلح کننده و برای درصدهای وزنی مختلف به صورت نامنظم (تصادفی یا پراکنده) و نیز به صورت منظم (با لایه بندی مشخص) انجام شده است.

مکارچیان و الیاس (۱۳۹۲)، رفتار نیرو–تغییر مکان نوعی ژئوتکستایل بافته نشده سوزنی شکل را تحت شرایط آزاد و گیردار، روی لایه رس (معادل بستر نرم) از معادن لالجین همدان و همچنین در زیر لایه ماسه (معادل زیر اساس)، تحت آزمایش‌های CBR اصلاح شده با استفاده از قالبی که بدین منظور ساخته شده بود، بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که ژئوتکستایل‌ها باعث افزایش باربری روسازی شده و این افزایش باربری با افزایش میزان نشست زیاد می‌شود.

رنجان و همکاران (۱۹۹۴)، رفتار تنش کرنش ماسه مسلح شده با الیاف پراکنده پلاستیکی را با توجه به آزمایش‌های سه محوری فشاری مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که، خاک مسلح با الیاف پلاستیکی در مقایسه با خاک ماسه‌ای، دارای کشش بیشتر و مقاومت برشی بیشتری است و خاک مسلح در کرنش‌های بیشتری نسبت به خاک ماسه‌ای گسیخته می‌شود. طبق بررسی آنها می‌توان نتیجه گرفت که، رفتار تنش کرنش ماسه مسلح شده با الیاف پراکنده پلاستیکی وابسته به خصوصیات الیاف و اصطکاک بین ماسه و الیاف است [۱۲].

کانسولی و همکاران (۲۰۰۲)، رفتار مهندسی یک ماسه مسلح شده با ضایعات نواری از پلاستیک پلی اتیلن ترفتالات (PET) را بررسی کردند. مسلح کننده به کار گرفته شده در بررسی آن‌ها الیاف حاصل از بطری‌های پلاستیکی می‌باشد که به صورت همراه و یا غیر همراه با سیمان پرتلند زودگیر در نمونه‌ها به کار رفته است. آن‌ها یک سری آزمایش‌های تک محوری و سه محوری زهکشی شده بر روی نمونه‌ها انجام دادند. طبق نتایج آنان، استفاده از ضایعات پلاستیکی هم در حالت سیمانی شده و هم در حالت غیر سیمانی، موجب افزایش مقاومت حدی و نهایی نمونه‌ها شده است [۵].

سبحان و مشند (۲۰۰۲)، یک سری تحقیقات آزمایشگاهی برای ارزیابی مقاومت و سختی خاک دانه‌ای که به طور شیمیایی با سیمان و خاکستر بادی تثبیت شده و به طور مکانیکی با برش‌های باریک پلاستیک بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات فشرده مسلح شده‌اند (از بازیافت ظروف پلاستیکی آب و شیر بدست می‌آیند)، انجام دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از نوارهای ضایعاتی پلاستیکی با طول و درصد وزنی مناسب می‌تواند به بهبود اتصال و پیوستگی بین مصالح روسازی بیانجامد و درنتیجه باعث تاخیر و جلوگیری از گسترش و انتشار ترک‌های کششی در روسازی شود. همچنین آنان بیان کردند که، استفاده از مواد ضایعات پلاستیکی باعث بهبود مقاومت و خصوصیات مکانیکی در مخلوط روسازی راه می‌گردد[۱۳]. تانگ و همکاران (۲۰۰۷)، به بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی و مقاومتی خاک رس سیمانی شده و غیر سیمانی با استفاده از آزمایش‌های فشاری محصور نشده و برش مستقیم پرداخته‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که، افزایش الیاف پلاستیکی در خاک سیمانی شده و غیر سیمانی منجر به افزایش مقاومت فشاری، افزایش مقاومت‌برشی، افزایش کرنش محوری هنگام گسیختگی، کاهش سختی بتن و افزایش انعطاف پذیری می‌شود. همچنین آنها با بررسی آزمایش میکروسکوپ الکترونی نتیجه گرفتند که، استفاده از الیاف پلاستیکی منجر به افزایش پیوستگی بین مصالح و افزایش زاویه اصطکاک داخلی و کاهش ترک خوردگی می‌شود [۱۳]. اوچی و همکاران (۲۰۰۷)، روش خاصی را برای تولید الیاف PET از ضایعات بطری‌های نوشابه برای استفاده در تولید بتن مسلح شده با الیاف ارائه کردند و خصوصیات انواع الیاف‌ها از جمله پلی پروپیلن و پلی وینیل الکل را با الیاف PET مقایسه نمودند. با توجه به مقایسه این الیاف نتیجه می‌شود که، الیاف پت در مقایسه با سایر الیاف دیگر مقاومت قلیایی بیشتری دارد و از نظر تست عمق نفوذ آب نیز مناسبتر می‌باشد و همچنین با انجام آزمایش‌های خمشی و تک محوری نتیجه گرفتند که، با افزایش میزان درصد وزنی الیاف، مقاومت خمشی و فشاری بتن مسلح افزایش می‌یابد [۱۱]. دوتا و ساردا (۲۰۰۷)، از نوارهای پلاستیکی ضایعاتی و خاکستر آتشفشانی به منظور مسلح کردن خاک استفاده کرده اند. این نوارها در مقادیر و سایزهای مختلفی به کار برده شده و تاثیر اندازه در آنها بررسی شده است. آنها نتیجه گرفتند که، با افزایش نوارهای پلاستیکی در رس اشباع، ظرفیت باربری و مدول سکانتی افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد و طول این نوارها این افزایش بیشتر می‌شود. این افزایش در ظرفیت باربری تا مقدار بهینه ۲ درصد ادامه می‌یابد و با بیشتر شدن میزان نوارهای پلاستیکی دیگر تغییری در ظرفیت باربری مشاهده نمی‌شود [۶]. بابو و چوکسی (۲۰۱۱)، رفتار تنش– کرنش یک مخلوط خاک–ضایعات پلاستیکی را بررسی کردند. مسلح کننده آن‌ها به صورت پولکی (قرص‌های کوچک دایروی شکل) بوده و از ضایعات پلاستیک حاصل از بطری‌ها به دست آمده بود. با افزایش درصد ضایعات پلاستیکی، مقاومت فشاری محصور نشده به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این افزایش ناشی از افزایش اصطکاک بین خاک و ضایعات پلاستیکی و توسعه تنش‌های کششی در ضایعات پلاستیکی

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد [۳]. مونتوهار و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی تاثیر توزیع تصادفی فیبر پلاستیکی زائد با استفاده از آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور نشده و سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده بر روی خصوصیات مهندسی و مقاومتی خاک رس–لای مقاوم شده با آهک و خاکستر پوسته برنج پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که، خصوصیات مهندسی خاک وابسته به مقدار الیاف می‌باشد. با توجه به مقاومت برشی، ظرفیت باربری و مشخصات گسیختگی مقدار بهینه الیاف پلاستیکی در خاک مخلوط بین ۰/۴ تا ۰/۸ درصد وزنی بدست آمده است. آنها نتیجه گرفتند که، با افزایش مقدار الیاف پلاستیکی در مخلوط، زاویه اصطکاک کاهش می‌یابد و چسبندگی ابتدا افزایش و سپس با افزایش بیشتر مقدار الیاف کاهش می‌یابد در نتیجه مقدار بهینه این الیاف ۰/۴ درصد بدست آمده است [۱۰]. فازی و همکاران (۲۰۱۶)، خصوصیات PET و شیشه خورده را به عنوان افزودنی برای بهبود زیر اساس با استفاده از آزمایش‌های تراکم استاندارد، نسبت باربری کالیفرنیا(CBR) و آزمایش سه محوری از مناطق مختلف و در درصد پلاستیک مختلف بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از ضایعات پت و شیشه در مخلوط، خصوصیات مهندسی خاک رس، ظرفیت باربری و مقاومت برشی نمونه‌های مسلح شده را بهبود می‌بخشد. با افزایش مقدار ضایعات، خصوصیات حد روانی و خمیری کاهش و خصوصیات تراکمی خاک افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار ضایعات پلاستیکی درصد رطوبت بهینه کاهش و زاویه اصطکاک افزایش می‌یابد.

می‌توان نتیجه گرفت که، استفاده از ضایعات پت و شیشه نیاز به هزینه‌های گزاف برای استفاده از افزودنی‌های دیگر در روسازی را کاهش و میتواند مسائل زیست محیطی را تا حد زیادی برطرف نماید [۷].

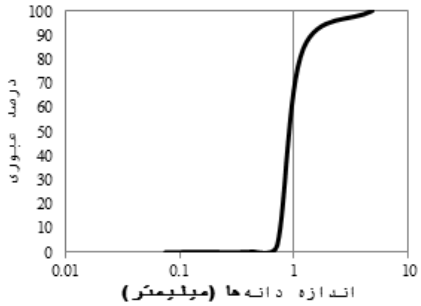
۲- ۲- روش کار و مصالح مصرفی

۲- ۱- خاک

در این پژوهش از یک نوع ماسه سیلیسی به‌عنوان خاک پایه برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی یکنواخت خاک‌ها (شماره ASTM D 2487-06)، این خاک، ماسه (ریزدانه) بد دانه‌بندی شده با نماد SP نام‌گذاری می‌شود. شکل ماسه استفاده شده، منحنی دانه‌بندی و ویژگی‌های ماسه، به‌ترتیب در شکل ۱ و ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.

شکل ۱: شکل دانه‌های ماسه

Fig. 1. Sand shape



شکل ۲: منحنی دانه‌بندی ماسه

Fig. 2. Gran size of sand

جدول ۱: مشخصات ماسه

Table 1. Sand characteristics

چسبندگی (kg/cm^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)		وزن مخصوص خشک (kN/m^3)		نوع خاک
۰/۰۱	۲۱	۱۳/۶	۱۳/۶		ماسه
نام خاک (Unified)	C_u	C_c	e_{max}	e_{min}	G_s
SP	۱/۳۹۶	۰/۹۶	۱/۰۴	۰/۸۴۳	۲/۶۹

از ضایعات پلاستیکی پلی‌اتیلن که از ضایعات بطری‌های نگهداری مایعات تهیه می‌شود به عنوان المان مسلح‌کننده استفاده شده است (شکل ۳)، ماهیت سه بعدی این ضایعات امکان ایجاد شرایط محدود شدگی مناسب در خاکهای سست و ماسه ریز دانه را فراهم می‌نماید. یکی از پرمصرف‌ترین پلاستیک‌ها پلی اتیلن است.

این پلیمرها از فراوان‌ترین محصولات نفتی به شمار می‌آیند که در ساخت بطری‌های نگهداری آب و دیگر مایعات به کار برده می‌شوند. همچنین در جدول شماره ۲ مشخصات فیزیکی و شیمیایی ضایعات پلاستیکی ذکر شده است.

شکل ۳: ضایعات بطری‌های نوشیدنی

Fig. 3. Bottle waste

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی ضایعات استفاده شده در پژوهش حاضر

Table 2. Physical characteristics of wastes in this research

نوع	چگالی ویژه	ارتفاع (mm)	قطر (mm)	مقاومت کششی (MPa)	مدول یانگ (MPa)
ضایعات پلی‌اتیلن	۱/۳۱	۱۵	۳۰	۷۵-۵۵	۲۸۰۰ -۳۱۰۰

۳- نحوه آماده سازی نمونه‌ها و انجام آزمایشات

در این تحقیق از دستگاه CBR جهت انجام آزمایش مورد نظر استفاده گردید لازم به ذکر است به دلایل زیر از آزمایش‌های تک‌محوری و برش مستقیم استفاده نشده است. در آزمایش فشاری تک‌محوری تاثیرات تنش قائم بدون در نظر گرفتن تاثیر محدود شدگی نمونه خاک مد نظر قرار دارد، ولی با توجه به اینکه نمونه مورد آزمایش از نوع خاک مسلح شده با قطعات سه بعدی می‌باشد و اثرات رفتاری محدود شدگی توسط خاک مجاور نیز (البته بصورت کوچک مقیاس) مدنظر بوده است، لذا از دستگاه آزمایش CBR (و نه الزاما از روش آزمایش CBR) استفاده شده است و همچنین قابل توضیح است که در آزمایش برش مستقیم سطح گسیختگی تحمیلی است، لذا دلیل استفاده از آزمایش CBR بررسی رفتار خاک مسلح در شرایط واقعی‌تر یعنی بر مبنای گسیختگی خاک زیر بار قائم و رفتار جابجایی سنبه بوده است.

.در ابتدا حجم قالب (قالب استاندارد آزمایش CBR) محاسبه شد، سپس با استفاده از رابطه ۱ نسبت تخلخل مربوط به تراکم مورد نظر محاسبه گردید.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، e نسبت تخلخل مورد نیاز برای ساخت نمونه است. بعد از تعیین e از رابطه ۱، با استفاده از رابطه ۲ وزن مخصوص خشک نمونه مورد نظر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \Rightarrow e_{\max} = G_s\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{d\min}}\right) - 1 \qquad (۲)$$

پس از محاسبه وزن مصالح ماسه‌ای با کسر حجم تقریبی قطعات پلاستیکی، قطعات پلاستیکی با درصد وزنی و ترکیب مورد نظر و با ±2g افزایش یا کاهش به دلیل یکپارچه بودن نوع قطعات، با ماسه امتزاج، و نمونه آماده گردید.

آزمایش‌ها بدون رطوبت، در حالت بدون استفاده از مسلح کننده، و با استفاده از مسلح کننده و برای درصدهای وزنی مختلف از مسلح کننده، به صورت نامنظم (تصادفی یا پراکنده) شکل ۴ و نیز به صورت منظم (با لایه بندی مشخص) (شکل ۵) انجام شده است.

از کمترین انرژی جهت آماده‌سازی نمونه استفاده شده است، بطوریکه نمونه به صورت خشک و با تراکم ریزشی از سطح قالب آماده شده و از اعمال تراکم بوسیله چکش اجتناب گردیده و سرباری یکسان جهت کلیه نمونه‌ها بر روی آنها قرار گرفته است.

نمونه به گونه‌ای بر روی نشیمنگاه دستگاه (پدستال) قرار داده می‌شود که سنبه بارگذاری و نمونه، تقریباً هم مرکز شوند و قسمت بالایی نمونه، مماس با سنبه بارگذاری قرار گیرد. سپس دستگاه با سرعت ۰/۰۵ اینچ در دقیقه بارگذاری شده و اعداد حاصل از آن قرائت می‌گردد. این عمل برای تمامی نمونه‌ها تا رسیدن به نفوذ تقریبی ۰/۳۵ اینچ ادامه پیدا می‌کند (شکل ۶) و نتایج صرفا با یکدیگر مقایسه می‌گردد. قابل توضیح است که برای اندازه‌گیری رابطه بین نیرو و نشست، مبنای ظرفیت باربری، تغییر شکل بوجود آمده در نمونه در نظر گرفته شده است و بطوریکه برای پی‌های سطحی و در شرایط آزمایش‌های کوچک مقیاس این مقدار حدود ۰/۲ برابر قطر سنبه بارگذاری، یا (inch) ۰/۳۵ خواهد می‌باشد.

با اندازه‌گیری حجم و وزن نمونه‌ها، سعی شده است تا نمونه‌های یکسانی مورد آزمایش قرار گیرند.

برای تمامی نمونه‌ها از یک روش آماده‌سازی استفاده شده و ارتفاع ریزش مصالح برای تمام نمونه‌ها یکسان بوده است.

شکل ۴: آماده سازی نمونه مسلح شده با ترکیب تصادفی

Fig. 4. Preparing reinforced sample with random combination

شکل ۵: آماده سازی نمونه مسلح شده با ترکیب لایه‌ای

Fig. 5. Preparing reinforced sample with layer combination

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۶: نمونه آزمایش درحین بارگذاری با استفاده از سربار

Fig. 6. Test sample loading

۴- برنامه‌ریزی آزمایش‌ها

در آزمایش‌های انجام شده، مسلح‌کننده با درصد مختلف به صورت منظم و نامنظم در نمونه خاک ماسه‌ای قرار گرفته و ظرفیت باربری در این شرایط اندازه‌گیری و بررسی و مقایسه شده است. قطعات پلاستیکی در دو حالت به صورت منظم و نامنظم آزمایش گردید.

در حالت منظم قطعات پلاستیکی در ۴ لایه، در بین لایه‌های خاک ماسه‌ای و با درصد وزنی مختلف قرار داده شد. بعد از آماده شدن نمونه، سطح آن کاملاً مسطح شده تا به خوبی مورد بارگذاری قرار گیرد و دارای دقت مناسبی باشد.

در حالت نامنظم نیز با توجه به مقدار درصد قطعات پلاستیکی، وزن خاک مورد نظر و وزن قطعات محاسبه شده و سپس با هم مخلوط شده‌اند.

قابل ذکر است که برای تمامی نمونه‌ها نتایج تکرار شده و آزمایش از حساسیت و دقت مناسبی برخوردار است.

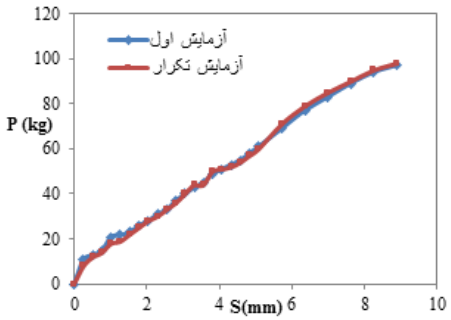
جدول ۳: برنامه آزمایش‌ها

Table 3. Tests program

درصد وزنی مسلح کننده نسبت به خاک	نحوه تسلیح	نوع مسلح کننده
صفر	ندارد	غیر جدول ۳ : برنامه آزمایش‌ها مسلح
۰/۵و ۱و ۱/۵ و . . . . و ۴	منظم یا لایه‌بندی شده	درب بطری‌های یک‌بار مصرف نگهداری مایعات

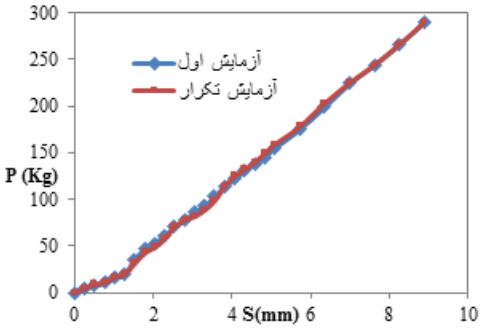
۵- تکرارپذیری نتایج

به جهت بررسی تکرارپذیری نتایج، برخی از آزمایش‌ها تکرار شده و دیده شده که اختلاف نتایج به دست آمده در حد قابل قبولی قرار دارد (شکل ۷ و ۸). (P نیروی وارده از طرف سنبه و S فرو نشست سنبه در خاک مسلح تحت بار P می‌باشد).



شکل ۷: تکرار پذیری نمونه‌های غیر مسلح

Fig. 7. Repeatability of sample test for unreinforced sample



شکل ۸: تکرار پذیری نمونه‌های مسلح شده با ۵/۱ درصد قطعات پلاستیکی به صورت نامنظم

Fig. 8. . Repeatability of sample test for 5.1% waste in irregular reinforced condition

۶- بررسی و تحلیل نتایج و آنالیز حساسیت

۶- ۱- ظرفیت باربری در حالت بدون مسلح کننده

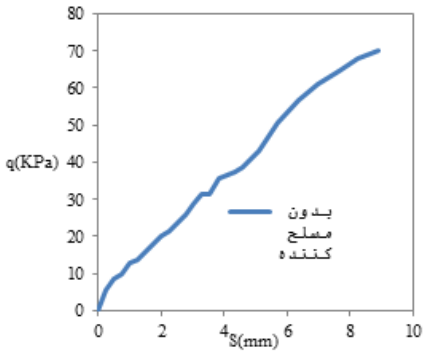
به مطالعه تأثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری، تحلیل حساسیت گفته می‌شود. به جهت بررسی ظرفیت باربری در نمونه‌ها، ابتدا نمودار تنش–نفوذ سنبه برای نمونه بدون مسلح کننده مطابق شکل ۹ انجام و ارائه شده است (تنش به ازاء نیروی وارده و سطح مقطع نمونه محاسبه گردیده است)، سپس در ادامه تاثیر مسلح کننده بر روی ظرفیت باربری نمونه‌های مسلح شده بررسی گردیده است.

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حالت بدون مسلح کننده با افزایش نفوذ سنبه، ظرفیت باربری نمونه افزایش یافته است.

قابل ذکر است که، ظرفیت باربری به دست آمده در میزان نفوذ ۰/۳۵ اینچ (۸/۸۹ میلیمتر) به عنوان ظرفیت باربری نهایی کلیه نمونه‌ها در نظر گرفته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



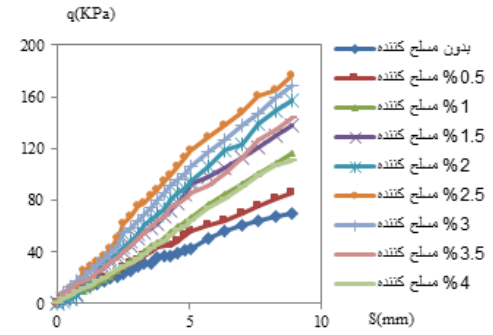
شکل ۹: نمودار تنش-نفوذ سنبه برای نمونه غیر مسلح

Fig. 9. Variation of force-displacement diagram for unreinforced condition

۶- ۲- اثر درصد مسلح کننده برای نمونه مسلح شده به صورت منظم

در شکل ۱۰ نمودار تنش-نفوذ سنبه نمونه‌های مسلح شده با قطعات پلاستیکی در درصدهای وزنی ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۴ درصد که به صورت منظم در آنها قرار داده شده نمایش داده شده است.

در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد قطعات پلاستیکی مقدار تنش قابل تحمل توسط نمونه، افزایش می‌یابد. تنش حاصله با افزایش درصد قطعات تا میزان ۲/۵٪ به حداکثر میزان خود رسیده، سپس با افزایش بیشتر درصد قطعات، مقاومت خاک مسلح شده کاهش می‌یابد که به دلیل قفل و بست کمتر قطعات پلاستیکی و خاک، در درصدهای بالاتر می‌باشد.



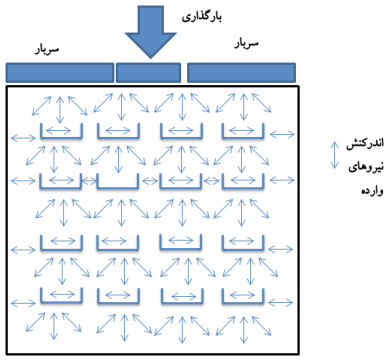
شکل ۱۰: نمودار تنش- نفوذ سنبه برای نمونه ماسه مسلح شده به صورت منظم با درصدهای مختلف مسلح کننده

Fig. 10. Force-displacement diagram for reinforced sand sample in regular form with different reinforcing material percentages

۶- ۳- اثر درصد مسلح کننده برای نمونه مسلح شده به صورت نامنظم

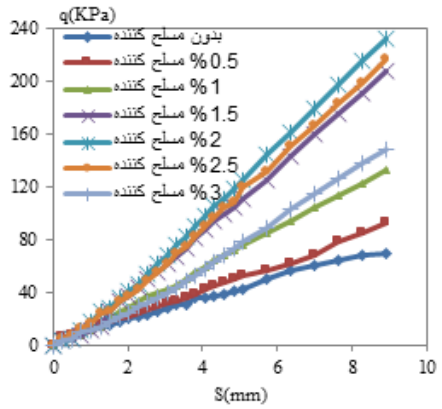
در شکل ۱۲ نمودار تنش-نفوذ سنبه نمونه‌های مسلح شده با قطعات پلاستیکی در درصدهای وزنی ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ درصد که به صورت نامنظم در نمونه‌ها قرار داده شده نمایش داده شده است. قابل توضیح است که عملاً اختلاط بیش از ۳ درصد از قطعات پلاستیکی به صورت نامنظم در ماسه (بدلیل فضای محدود و اثرات موضعی قطعات تسلیح کننده بر یکدیگر) امکان پذیر نبوده است.

در این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد قطعات پلاستیکی مقدار تنش قابل تحمل توسط نمونه، افزایش می‌یابد. تنش حاصله با افزایش درصد قطعات تا میزان ۲٪ به حداکثر میزان خود رسیده، سپس با افزایش بیشتر درصد قطعات، مقاومت خاک مسلح شده کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱: شکل شماتیک قرارگیری قطعات پلاستیکی به صورت منظم و لایه‌ای درون خاک

Fig. 11. The schematic placement of plastic waste regularly and layered form inside sandy soil

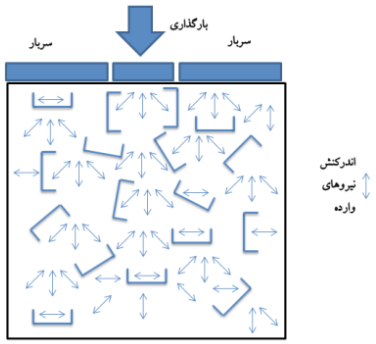


شکل ۱۲: نمودار تنش- نفوذ سنبه برای نمونه ماسه مسلح شده به صورت نامنظم با درصدهای مختلف مسلح کننده

Fig. 12. Force-displacement diagram for reinforced sand sample in regular form with different reinforcing material percentages

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۳: شکل شماتیک قرارگیری قطعات پلاستیکی به صورت نامنظم یا تصادفی درون خاک

Fig. 13. The schematic placement of plastic waste irregularly or randomly form inside sandy soil

۶- ۴- مقایسه اثر درصد مسلح کننده برای نمونه‌های مسلح شده به صورت منظم و نامنظم

با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که در نمونه‌های نامنظم با افزایش درصد قطعات مسلح کننده تا میزان حدود ۲٪، مقدار ظرفیت باربری افزایش پیدا کرده و به مقدار بهینه خود رسیده است.

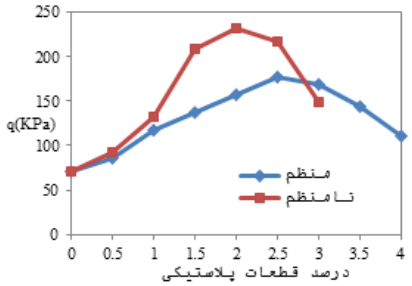
در نمونه‌های منظم نیز با افزایش درصد قطعات از صفر تا حدود ۲/۵٪ مقدار ظرفیت باربری افزایش یافته و سپس با افزایش بیشتر قطعات پلاستیکی ظرفیت باربری کاهش یافته است.

با مقایسه بین نمونه‌های منظم و نامنظم می‌توان مقدار بهینه قطعات را بین ۲٪ تا ۲/۵٪ درنظر گرفت. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که خاک بدون مسلح کننده دارای مقاومتی حدود (Kpa) ۷۰ می‌باشد، در صورتی که استفاده از مسلح کننده منظم تا حدود ۲/۵٪ باعث افزایش مقاومت حداکثری ۲۴۲٪ یعنی حدود (Kpa) ۱۰۰ و استفاده از قطعات پلاستیکی نامنظم باعث افزایش مقاومت ۳۲۸٪ یعنی (Kpa) ۱۶۰ نسبت به حالت بدون استفاده از مسلح کننده می‌شود. همچنین می‌توان مشاهده کرد که افزایش درصد قطعات در حالت نامنظم تاثیر بیشتری را به منظور افزایش ظرفیت باربری به دنبال دارد، در نتیجه استفاده از حالت نامنظم مقرون به صرفه‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد.

لازم به ذکر است که کیم و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی خصوصیات مقاومتی و رفتار تنش کرنش نمونه‌های خاک سبک سیمانی مسلح نشده و مسلح شده با الیاف پلاستیکی تور ماهی (جنس پلی اتیلن) با استفاده از آزمایش‌های فشاری محصور نشده و تک محوری فشاری پرداختند و نتیجه گرفتند که، با افزایش عنصر مسلح کننده تور ماهی زائد (پلی اتیلن) (در اثر اصطکاک بین تور و خاک)، مقاومت فشاری خاک سبک سیمانی مسلح شده افزایش می‌یابد، این افزایش مقاومت با افزودن ضایعات پلاستیکی تا میزان بهینه ۲/۵٪ ادامه می‌یابد و با افزایش بیشتر درصد ضایعات پلاستیکی، مقاومت خاک مخلوط کاهش می‌یابد [۹]. دیگر محققین از جمله چودهاری و همکاران (۲۰۱۰)، کالومبا و چبت (۲۰۱۳) ، مونتوهار و همکاران (۲۰۱۳) و پور نوری و حاجی ستوده (۱۳۹۳) نیز عقیده دارند که با افزایش تعداد مسلح کننده‌های پلاستیکی در ترکیب خاک ظرفیت باربری ابتدا تا مقدار بهینه افزایش و با بیشتر شدن درصد مسلح کننده‌ها کاهش می‌یابد که مطابق با نتیجه بدست آمده در این پژوهش می‌باشد [۱،۱۰،۸،۴]. البته مطابقت ذکر شده در شکل رفتار خاک مسلح شده با الیاف و نوارهای پلاستیکی (دو بعدی)، با این تحقیق است و همانگونه که عنوان شد، در این تحقیق از قطعات پلاستیکی با ماهیت سه بعدی استفاده شده است. در شکل ۱۷ نیز ملاحظه می‌گردد در درصدهای وزنی مشابه با دیگر محققین که از تسلیح کننده‌های دو بعدی استفاده نموده‌اند، در این تحقیق نتایج بسیار بهتری بدست آمده که نشان از اندرکنش بهتر مسلح کننده‌های سه بعدی نسبت به مسلح کننده‌های دو بعدی با خاک مورد تسلیح دارد.

در حالت چینش منظم، عناصر مسلح کننده در جهت‌ها و محل‌های مشخص در لایه‌های خاک قرار می‌گیرند که در این روش خاک تنها در راستای خاصی تقویت می‌شود. در حالت نامنظم، عناصر مسلح کننده بدلیل تاثیرگذاری در همه جهات تأثیر مؤثرتری را به جهت ایجاد مقاومت همگن و حذف صفحات ضعیف در بهبود ظرفیت باربری خاک مسلح ایفا می‌نمایند و ضمناً در این نوع از تسلیح، قطعات به سادگی با خاک مخلوط می‌شوند ولی برخلاف آن، در مسلح سازی به صورت منظم یا لایه‌ای، چینش قطعات پلاستیکی باید با دقت و محاسبات خاصی باید به انجام برسد و خاک را در راستای خاصی تقویت می‌کنند.

شایان ذکر است مسلح کننده‌ها عموماً عملکرد کششی دارند اما در این تحقیق بدلیل اندازه مسلح کننده‌ها (قطعات پلاستیکی)، خود آنها به عنوان نوعی دانه‌بندی می‌توانند در مقاومت برشی نمونه نیز تاثیرگذار باشند و بدلیل قابلیت نسبتا بالای تحمل کششی قطعات پلاستیکی نسبت به خاک، این نوع قطعات در افزایش مقاومت خاک نقش به سزایی داشته و تأثیر هر یک از قطعات به جهت آن‌ها نسبت به محورهای اصلی تغییر شکل، بستگی دارد و مقاومت خاک ماسه‌ای مسلح شده با قطعات پلاستیکی به میزان زیادی بستگی به توزیع و جهت‌گیری قطعات دارد.



شکل ۱۴: تاثیر درصد قطعات بر مقاومت خاک مسلح شده منظم و نامنظم

Fig. 14. Influence of plastic waste percentages on the resistance of regularly and irregularly reinforced sand

www.SID.ir

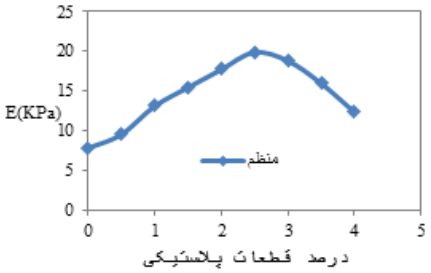
Archive of SID

۶- ۵- تغییرات مدول الاستیسیته

با توجه به شکل‌های ۱۵و ۱۶ مشاهده می‌شود که با توجه به افزایش درصد قطعات پلاستیکی شیب تغییرات منحنی تنش کرنش یا همان مدول الاستیسیته در حالت منظم تغییرات کمتری را نسبت به حالتی دارد که این قطعات به صورت نامنظم در خاک ماسه‌ای به کار برده می‌شوند. به طوری که در حالت منظم با افزایش درصد قطعات پلاستیکی تا مقدار بهینه مقدار مدول الاستیسیته از (Kpa) ۷/۹ تا (Kpa) ۱۹/۹۱ (۱۵۲٪) تغییر می‌کند اما در حالت نامنظم با افزایش این قطعات تا حد بهینه مدول الاستیسیته از(Kpa) ۷/۹ تا (Kpa) ۲۶ (۲۳۴٪) کیلوپاسکال تغییر می‌کند. در این رابطه مشاهده می‌شود که با افزایش درصد قطعات پلاستیکی تا حدود ۲/۵٪ در حالت منظم مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد و سپس با افزایش بیشتر قطعات مسلح کننده شیب تغییرات یا مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد.

همچنین در حالت نامنظم نیز مشاهده می‌شود که با افزایش درصد این قطعات تا حدود ۲٪ شیب تغییرات یا مدول الاستیسیته افزایش یافته و سپس با افزایش بیشتر قطعات مسلح کننده شیب تغییرات یا مدول الاستیسیته کاهش میابد.

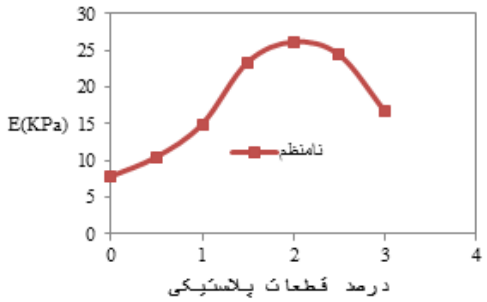
در این خصوص شایان ذکر است که با افزایش قطعات پلاستیکی، بدلیل ماهیت و جنس این قطعات که مدول الاستیسیته متفاوتی با مصالح ماسه‌ای دارند، پس از نزدیک شدن آنها به یکدیگر تا حدی که تاثیر دانه بندی مصالح ماسه‌ای برهم کم گردد، مدول الاستیسیته پلاستیک بر خاک غالب می‌گردد.



شکل ۱۵: نمودار تغییرات مدول الاستیسیته بر اساس تغییرات درصد قطعات پلاستیکی در حالت منظم

Fig. 15. Variation of elastic modulus versus plastic waste percentages for regular placement condition

لازم به ذکر است که، دوتا و ساردا (۲۰۰۷) در مطالعاتشان از نوارهای پلاستیکی ضایعاتی و خاکستر آتشفشانی به منظور مسلح کردن خاک استفاده کرده‌اند. این نوارها در مقادیر و اندازه‌های مختلفی به کار برده شده و تاثیر آنها بررسی شده است. آنها نتیجه گرفتند که، با افزایش نوارهای پلاستیکی در رس اشباع، مدول سکانتی افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد و طول این نوارها این افزایش بیشتر می‌شود. این افزایش تا مقدار بهینه ۲٪ ادامه می‌یابد و با بیشتر شدن میزان نوارهای پلاستیکی این تغییرات کمتر می‌شود [۶ و ۹].

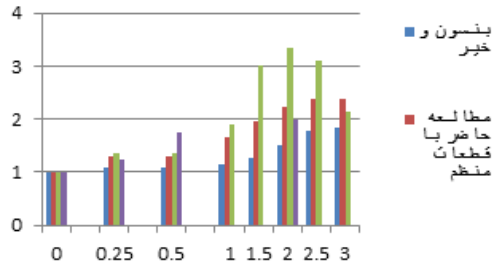


شکل ۱۶:نمودار تغییرات مدول الاستیسیته بر اساس تغییرات درصد قطعات پلاستیکی در حالت منظم

Fig. 16. Fig. 16. Variation of elastic modulus versus plastic waste percentages for irregular placement condition

۶- ۶- مقایسه ظرفیت باربری در پژوهش انجام شده و محققین دیگر

در شکل ۱۷ مقایسه بین نسبت ظرفیت باربری به دست آمده از این پژوهش با تحقیقات دوتا و ساردا (۲۰۰۷) و بنسون و خیر (۱۹۹۴) نمایش داده شده است. دوتا و ساردا (۲۰۰۷) نسبت ظرفیت باربری برای درصد نوارهای پلاستیکی با طول‌های مختلف در خاک رس را بررسی کردند. همچنین بنسون و خیر (۱۹۹۴) نیز به بررسی نوارهای پلاستیکی با درصدهای مختلف پرداختند.



شکل ۱۷: مقایسه پژوهش انجام شده با مطالعه دوتا و ساردا (۲۰۰۷) و بنسون و خیر (۱۹۹۴) در نسبت BCR

Fig. 17. Comparison of present study results with Dutta and Sarda (2007) and Benson and Khire (1994) for CBR

همان‌طور که مشاهده شد، در مطالعات دوتا و ساردا (۲۰۰۷) و بنسون و خیر (۱۹۹۴) افزایش درصد الیاف پلاستیکی منجر به افزایش BCR می‌شود، به طوریکه در مطالعات دوتا و ساردا (۲۰۰۷) مقدار BCR با افزایش نوارهای پلاستیکی در کمتر از ۲٪ افزایش می یابد و این محققین مقدار ۲٪ را به عنوان مقدار بهینه معرفی کرده‌اند. در مطالعات بنسون و خیر (۱۹۹۴) با افزایش درصد نوارها پارامتر BCR افزایش می‌یابد که با بیشتر شدن نوارهای پلاستیکی این افزایش بیشتر می‌شود. در تحقیق حاضر نسبت BCR برای قطعات پلاستیکی منظم و نامنظم در شکل نمایش داده شده است، به طوری که با افزایش قطعات، BCR تا حدی افزایش و سپس کاهش داشته است، و این به دلیل فضای کم بین خاک و قطعات پلاستیکی

www.SID.ir

Archive of SID

و اثرات فشاری قطعات بر هم بدلیل عدم وجود فضای موثر جهت تحمل نیروی فشاری توسط دانه بندی خاک در درصدهای بالاتر می‌باشد.

همچنین اختلاف به وجود آمده بین تحقیقات دیگر محققین و تحقیق حاضر ناشی از متفاوت بودن شکل ظاهری قطعات مسلح کننده و همچنین ابعاد و نوع آنها، نوع و روش آزمایش، نوع متراکم کردن نمونه‌ها، نوع خاک و دیگر شرایط آزمایشگاهی می‌باشد. به‌طوری که در مطالعات بنسون و خیر (۱۹۹۴) از نوارهای پلاستیکی با طول‌های مختلف استفاده شده و در مطالعات دوتا و ساردا (۲۰۰۷) از نوارهای پلاستیکی با طول‌های مختلف و خاک رس استفاده شده است.

۷- مسائل مربوط به انرژی و هزینه و پیشنهادات اجرایی

در این تحقیق همانگونه که عنوان گردید از کمترین میزان انرژی جهت بدست آوردن بیشترین افزایش ظرفیت باربری در زمینه تسلیح مصالح ماسه‌ای سست استفاده شده است بدین معنی که در مراحل ساخت نمونه‌ها فقط از تراکم ریزشی ازسطح تراز بالای قالب CBR استفاده شد و هیچگونه تراکم کوبشی یا لرزشی نیز بر آن اعمال نگردید و این باعث ایجاد بازده حداکثر در عملیات بهسازی بسترهای مختلف در عملیات راهسازی و یا خاکریزهایی که بر روی آنها بارگذاری انجام می‌شود، خواهد گردید. نتایج این تحقیق در هر گونه عملیات عمرانی با ماسه‌های ریزدانه و غیر سیمانی و در کنار سواحل کاربرد دارد.

با توجه به عمر زیاد قطعات پلاستیکی و صرف حداقل هزینه جهت تهیه مصالح تسلیح، و همچنین صرف حداقل هزینه برای انرژی تراکم و تثبیت احجام، این عملیات بسیار کم هزینه بوده و در زمینه حذف ضایعات پلاستیکی از محیط زیست موثر خواهد بود.

۸- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از قطعات پلاستیکی ضایعاتی (درب بطری‌های پلاستیکی یکبار مصرف جهت نگهداری نوشیدنی‌ها) به عنوان مسلح کننده سه‌بعدی یک نوع خاک ماسه‌ای سست استفاده شده و نتایج ذیل از این تحقیق استحصال گردیده است.

۱. با افزایش درصد قطعات پلاستیکی تا ۲٪ در حالت نامنظم (پخش تصادفی) و تا ۲/۵٪ در حالت منظم (بصورت لایه بندی شده) مقاومت افزایش پیداکرده و با افزایش بیشتر قطعات از مقدار ذکرشده مقاومت کاهش خواد یافت.

۲. این تحقیق، درصد تسلیح ۲٪ تا ۲/۵٪ را به‌عنوان درصد بهینه قطعات پلاستیکی جهت تسلیح خاک ماسه‌ای معرفی شده پیشنهاد می‌کند. ضمناً استفاده از این نوع قطعات هزینه‌های بسیار اندکی را جهت تهیه مصالح تسلیح و صرف انرژی، با توجه به محاسن آنها، بر پروژه تحمیل می‌نماید.

۳. با مقایسه مقاومت خاک در حالت مسلح شده منظم و نامنظم می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مسلح کننده‌ها به‌صورت نامنظم باعث افزایش مقاومت بیشتری نسبت به حالت منظم می‌شود و از دیدگاه اجرایی نیز سهولت بیشتری دارد.

۴. با افزایش درصد قطعات پلاستیکی تا مقدار بهینه، شیب نمودار افزایش می‌یابد که این شیب بیانگر مقدار مدول الاستیسیته خاک مسلح است. این افزایش شیب با افزایش درصد قطعات تا مقدار ۲٪ تا ۲/۵٪ برای حالت منظم و نامنظم ادامه می‌یابد اما با افزایش بیشتر درصد قطعات شیب نمودار کاهش می‌یابد.

۵. با افزایش درصد قطعات پلاستیکی، مدول الاستیسیته در حالت نامنظم کمیت بیشتری را نسبت به حالتی که قطعات به صورت منظم در تسلیح خاک ماسه‌ای به کار برده می‌شوند را نمایان می‌سازد.

۶. نتایج حاصل از مسلح نمودن خاک ماسه‌ای با قطعات پلاستیکی ضایعاتی معرفی شده در این تحقیق، بدون اعمال انرژی تراکم، وبا اعمال سربار مناسب بدست آمده‌اند، و این نشان می‌دهد که این نوع تسلیح خاک باعث افزایش ظرفیت باربری و مدول الاستیسیته آن، بدون صرف انرژی قابل توجه شده و صرفه جویی‌های قابل توجهی را در منابع انرژی باعث میگردد، تسلیح برای بدترین شرایط و سست‌ترین حالت خاک در نظر گرفته شده است و در روند آزمایش از کمترین سطح انرژی استفاده شده است.و بدون شک استفاده از انرژی بیشتر، شرایط بهتری را فراهم خواهد آورد.

۷. با افزایش قطعات پلاستیکی، بدلیل ماهیت و جنس این قطعات که مدول الاستیسیته متفاوتی با مصالح ماسه‌ای دارند، پس از نزدیک شدن آنها به یکدیگر تا حدی که تاثیر دانه‌بندی مصالح ماسه‌ای بر هم کم گردد، مدول الاستیسیته پلاستیک بر خاک غالب می‌گردد.

مراجع

[1] P. Poor noori, M. Hajisotode, improve soil resistance behavior using waste material,1 conference of soil mechanics and foundation engineering, Shahid Rejaei University, Tehran, Iran, (2014) (In Persion).

[2] M. Makarchian, J. Eliasi, Investigation on the Effect of Geotextiles on Pavement Bearing Capacity(Part 1: Experimental Studies), Amirkabir J. Civil Eng. 45(1) 2013, 15-26 (In Persion).

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

[4] A.K. Choudhary, J.N. Jha & K.S. Gill,. A study on CBR behavior of waste plastic strip reinforced soil. Emirates journal for engineering research, 15(1) (2010) 51-57

[5] N.C. Consoli, J.P. Montardo, P.D.M. Prietto & Pasa,G.S., Engineering behavior of a sand reinforced with plastic

www.SID.ir

Archive of SID

[11] T. Ochi, S. Okubo & K. Fukui, Development of recycled PET fber and its application as concretereinforcing fber. Cement and Concrete Composites, 29(6) (2007) 448-455.

[12] G. Ranjan, R.M. Vasan & H.D.Charan, Behavior of plastic-fiber-reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes, 13(8) (1994) 555-565.

[13] K. Sobhan & M. Mashnad, Tensile strength and toughness of soil-cement-fly-ash composite reinforced with recycled high-density polyethylene strips. Journal of Materials in Civil Engineering, 14(2) (2002) 177-184.

[14] C. Tang, B. Shi, W. Gao, F. Chen, & Y. Cai, Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. Geotextiles and Geomembranes, 25(3) (2007) 194-202.

[15] C.H. Benson and M.U. Khire, Reinforcing sand with strips of reclaimed high-density polyethylene. Proc. ASCE Journal of Geotechnical Engineering, 121(4) (1994) 838-855

waste. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(6) (2002) 462-472.

[6] R.K. Dutaa & V.K. Sarda,. CBR behavior of waste plastic strip-reinforced stone dust/fly ash overlying saturated clay. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 31(3) (2007) 171-182.

[7] A. Fauzi, Z. Djauhari, U.J. Fauzi, Soil Engineering Properties Improvement by Utilization of Cut Waste Plastic and Crushed Waste Glass as Additive. International Journal of Engineering and Technology, 8(1) (2016)15.

[8] D. Kalumba, F.C.Chebet, Utilization of polyethylene plastic shopping bags waste for soil improvement in sandy soils. Proc. 18th ICSMGE,(2013).

[9] Y.T. Kim, H.J. Kim, G.H. Lee, Mechanical behavior of lightweight soil reinforced with waste fishing net. Geotextiles and Geomembranes, 26(6) (2008) 512-518.

[10] A.S. Muntohar, A. Widianti, E. Hartono & W.Diana, Engineering properties of silty soil stabilized with lime and rice husk ash and reinforced with waste plastic fber. Journal of Materials in Civil Engineering, 25(9) (2012) 1260-1270.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. Hooshyar, V. Rostami, Granular Soil Bearing Capacity Improvement Using Waste Plastic Materials , *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 755-764.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11924.5100

www.SID.ir