بررسی تاثیر دانسیته نسبی و شکل دانه‌ها بر نشست یک بعدی خاک‌های ماسه‌ای مسلح شده با فیبر لاستیک

سید داود محمدی[۱*]، محمدرضا نیکودل[۲]، معصومه سلیمانی[۳]

۱- استادیار، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲- استادیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

* s_d_mohammadi@yahoo.com

دریافت: ۸۹/۱۲/۸ پذیرش: ۹۰/۴/۱۴

چکیده

لاستیک‌های مستعمل خودروها را می‌توان به صورت قطعه‌ای یا چیپسی، حلقه‌ای کامل، فیبر و یا پودری شکل (به عنوان پرکننده) به منظور بهسازی با خاک‌های مختلف مخلوط نمود. زمانی که لاستیک‌های مستعمل به صورت فیبری و یا پودری شکل به کار رود، باید همراه با یک نوع تقویت کننده مانند ژئوتکستایل، ژئوگرید یا مواد چسباننده مانند انواع سیمان ها مورد استفاده قرار گیرد که می‌تواند باعث تحمیل هزینه‌های اضافی گردد. این مطلب که تا چه مقدار فیبر لاستیک می‌تواند به تنهایی و بدون افزودن مواد دیگر به خاک‌های ماسه‌ای اضافه شده و میزان نشست مناسبی نیز داشته باشد، از اهداف این مقاله است. در ماسه‌ها بسته به شکل قطعات مورد استفاده، درصد لاستیک اضافه شده و برخی ویژگی‌های زمین‌شناسی ماسه‌ها (مانند دانسیته نسبی و شکل دانه‌ها)، پارامترهای مهندسی مخلوط حاصل (مانند میزان نشست) متفاوت است. برای بررسی این موضوع از آزمایش نشست تک بعدی Rowe Cell (RC) استفاده شده است. فیبر مورد استفاده با ابعاد ۴ تا ۵/۵ میلی‌متر و با درصدهای حجمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با دو نوع خاک ماسه‌ای یکی با دانه‌های عمدتاً گرد گوشه و دیگری با دانه‌های زاویه‌دار مخلوط شده و رفتار خاک بررسی شده است. نتایج به دست آمده بیانگر این مطلب است که شکل دانه‌ها و میزان دانسیته نسبی تا ۷۵ درصد بر مقادیر نشست خاک‌های ماسه‌ای مسلح موثر بوده به طوری که برای ماسه‌های با دانه‌های عمدتاً زاویه‌دار مقدار نشست کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین در صورتی که حالت خاک مسلح متراکم باشد، روند کاهشی مقدار نشست به وضوح مشخص است، در حالی که رفتار خاک ماسه مسلح در حالات سست و متوسط مشابه یکدیگر می‌باشد. در چنین شرایطی لازم است تا همراه با مخلوط مورد مطالعه، از یک ماده چسبنده مانند سیمان نیز استفاده شود.

واژه های کلیدی: آزمایش Rowe Cell، فیبر لاستیک، ماسه دانه گرد، ماسه دانه زاویه‌دار، درصد اختلاط

مقدمه

در کشور ما سالانه به طور میانگین ۵۰ تا ۶۵ هزار تن انواع لاستیک فرسوده حاصل می‌شود که متأسفانه درصد بسیار ناچیزی از آن در چرخه بازیافت مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد [۲]. بقیه‌ی این لاستیک‌ها یا در طبیعت رها شده و یا برای دفن به میادین دفن زباله سپرده می‌شود. دفن لاستیک‌های فرسوده به دلیل بالا بودن حجم لاستیک‌ها نسبت به وزنشان و فضای زیاد مورد نیاز برای دپوی آن‌ها بسیار سخت و زمان بر است. از دیگر مضرات زیست محیطی لاستیک‌های فرسوده می‌توان به خطر وقوع آتش سوزی و ایجاد مناظر ناخوشایند اشاره نمود. در این راستا توجه و دقت نظر به این مهم می‌تواند ضمن استفاده کاربردی از برخی از ویژگی‌های این نوع زباله‌ها (مانند پایداری در مقابل تجزیه و متلاشی شدن، دوام و عدم قابلیت متراکم شدن) در بهسازی خاک‌های ماسه‌ای صرفه جویی‌های بزرگی را در منابع ارزی و ریالی کشور سبب شده و مهم‌تر از آن طبیعت را از گزند آن‌ها در امان نگه داشت [۲]. مطالعات محققان مختلف [۹ و ۸]، بیانگر این مطلب است که در صورت استفاده از قطعات کوچک لاستیک‌های مستعمل (مثلاً فیبر لاستیک) همراه با خاک های ماسه‌ای، انعطاف پذیری و نشست خاک افزایش یافته و به دلیل کاهش مقدار وزن واحد حجم مخلوط، مقاومت و ظرفیت باربری خاک کاهش می‌یابد. به همین دلیل، این

پژوهشگران از تکه‌های کوچک لاستیک فرسوده به تنهایی استفاده نکرده و آن‌ها را به همراه ژئوتکستایل، ژئوگرید و یا افزودنی‌های شیمیایی مانند سیمان به کار برده‌اند. همچنین تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مختلف بیانگر تاثیر پارامترهای زمین‌شناسی بر رفتار خاک‌ها به ویژه خاک‌های ماسه‌ای مسلح شده می‌باشد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که ظرفیت باربری خاک های ماسه‌ای مسلح شده با حلقه‌های لاستیک مستعمل با افزایش دانسیته نسبی افزایش یافته و میزان نشست آن‌ها کاهش می‌یابد [۸]. برخی دیگر از پژوهشگران با کاربرد قطعات لاستیک مستعمل به همراه نوعی از ژئوگرید، به بررسی خصوصیات آن برای خاکریزها پرداخته‌اند [۷]. این پژوهشگران نشان دادند که به طور کلی زمانی که در خاکریزها علاوه بر قطعات لاستیک از ژئوگرید استفاده گردد، میزان نشست خاک‌ها کاهش و ظرفیت باربری آن‌ها افزایش می‌یابد. در این پژوهش در نظر است تا میزان درصد بهینه افزودنی فیبر لاستیک به خاک‌های ماسه‌ای، هنگامی که از این مواد به صورت پرکننده[1] و بدون مواد اضافی (مانند سیمان، ژئوتکستایل یا ژئوگرید) مورد استفاده قرار گیرند، تعیین گردد. جهت دست‌یابی به این اهداف، از آزمایش (RC)[2] استفاده شده که در ادامه به شرح این آزمایش نیز پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در راستای دستیابی به اهداف این پژوهش، از دو نوع خاک ماسه‌ای استفاده شده است. نمونه خاک اول از نوع ماسه‌های ریز دانه بدون سیمان بوده که از محل تراس های رودخانه‌ای قدیمی آبرفت‌های غرب تهران نمونه برداری شده است. این نمونه با حذف قطعات بزرگ‌تر از شن و قلوه سنگ که عمدتاً از لیتیک‌های آتشفشانی (تراکیتی و آندزیتی) و لیتیک‌های رسوبی گرد شده (بیش‌تر از نوع آهک میکرایتی) می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه دوم یک نوع ماسه با دانه‌بندی کنترل شده (صنعتی) می‌باشد که توسط محققین تهیه شده و برخلاف نمونه اول عمدتاً از کوارتزهای زاویه‌دار تشکیل شده است. شکل (۱) نمودار دانه‌بندی این ماسه‌ها و فیبر لاستیک مورد استفاده را نشان می‌دهد.

قابل ذکر است که جنس، شکل و اندازه ذرات دو نمونه خاک ماسه‌ای ذکر شده با تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی(به روش اشباع نمونه‌های ماسه‌ای) مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۲ تصویر میکروسکوپی از برش‌های نازک تهیه شده را نشان می‌دهد.

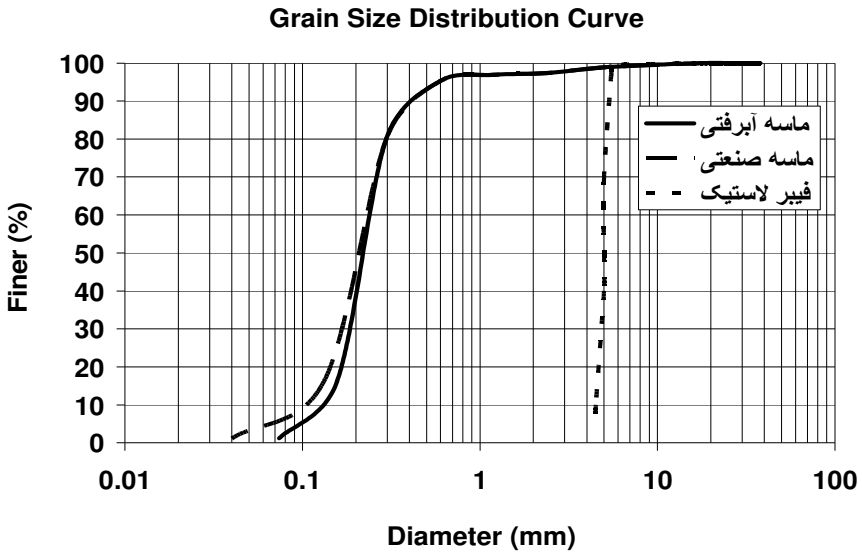
به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه، آزمایش‌های شاخص مانند دانه بندی، تعیین Gs، وزن واحد حجم بیشینه[3] و رطوبت بهینه آن‌ها انجام شده است. داده‌های این آزمایش‌ها در قسمت نتایج آورده شده است.

جهت تعیین میزان نشست یک بعدی خاک‌های ریزدانه از دستگاه تحکیم یک بعدی یا اودئومتر استفاده می‌گردد. در مورد تعیین میزان نشست خاک‌های ماسه‌ای، با توجه به حضور دانه‌ها و قطعات بزرگ‌تر از رس، استفاده از دستگاه تحکیم امکان پذیر نبوده و نیاز به یک دستگاه متفاوت می باشد. به همین منظور، راولی و همکاران دستگاهی را ابداع نمودند که با آن می‌توان مقادیر نشست الاستیک (حاصل از تغییر شکل دانه‌ها) و پلاستیک (حاصل تغییر آرایش و قفل شدگی دانه‌ها) خاک‌های درشت دانه را تحت تنش های معین تعیین نمود [۶]. در این دستگاه که با نام RC نام‌گذاری شده، از قالب تراکم CBR استفاده می‌شود که نمونه خاک درشت دانه با وزن واحد حجم بیشینه[3] و رطوبت بهینه در آن متراکم می‌شود. سپس قالب نمونه تحت تنش ناشی از یک صفحه بارگذاری فولادی و صلب قرار می‌گیرد. اندازه قطر این صفحه برابر با قطر قالب CBR می‌باشد و هر پله بارگذاری به میزان ۱۵ دقیقه بر روی نمونه ثابت نگه داشته شده و میزان نشست ناشی از آن با گذشت زمان ثبت می‌گردد تا نشست نهایی برای زمان ۱۵ دقیقه به دست آید. به همین ترتیب برای پله-های بارگذاری بعدی نیز همین روند تکرار شده و میزان نشست متناظر آن ثبت می‌گردد. پله‌های بارگذاری تا زمانی که میزان نشست برای دو پله بارگذاری پی در پی یکسان و یا اختلاف کمی داشته باشد، ادامه می‌یابد.

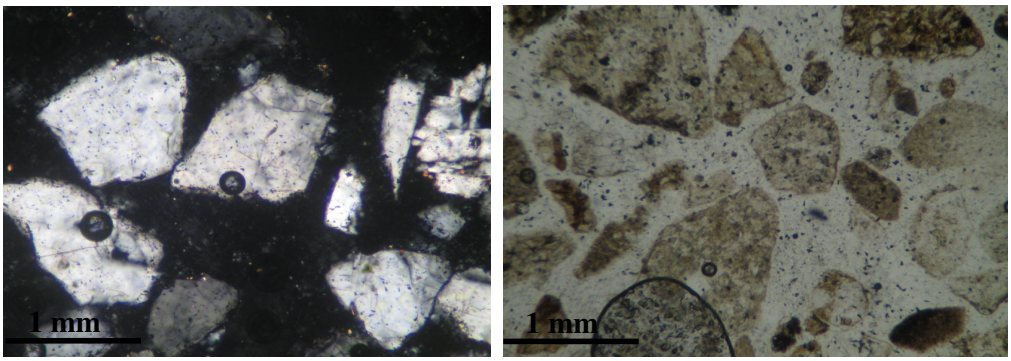
[1] Filling [2] Rowe Cell

[3] $\gamma_{d(\max)}$

معمولاً پله‌های بارگذاری از ۰ تا ۴۰۰ کیلوپاسکال با پله های افزایش بار ۵۰ کیلو پاسکال می‌باشد که در این پژوهش نیز همین روند رعایت شده است. در این پژوهش به منظور انجام این آزمایش، علاوه بر انجام آزمایش بر روی نمونه‌های خالص، نمونه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه با مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از فیبر لاستیک مخلوط شده و رفتار آن‌ها تحت آزمایش RC بررسی شده است. جدول (۱) برنامه و تعداد آزمایش‌های RC انجام شده را نشان می‌دهد. نتایج این آزمایش‌های نیز در بخش بعد آمده است.



شکل ۱: نمودارهای دانه‌بندی نمونه‌های خاک ماسه‌ای و فیبر لاستیک مورد استفاده



شکل۲: تصویر میکروسکوپی برش نازک (XPL) از دانه‌های ماسه: عمدتاً گرد گوشه (تصویر راست) و زاویه‌دار (تصویر چپ)

داده‌های حاصل از آزمایش‌ها

در این قسمت از مقاله، ابتدا نتایج حاصل از آزمایش های تعیین خصوصیات فیزیکی بر روی نمونه‌های خاک ماسه‌ای و فیبر لاستیک مورد مطالعه آورده شده و سپس نتایج آزمایش های RC ارائه شده است.

نتایج آزمایش‌های تعیین خصوصیات فیزیکی

همان طور که در قسمت مواد و روش‌ها شرح داده شد، آزمایش‌های تعیین خصوصیات فیزیکی بر روی نمونه‌های ماسه‌ای و فیبر لاستیک، مطابق استاندارد های ASTM انجام شده است. خلاصه نتایج این آزمایش‌ها در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۱: شرایط و تعداد آزمایش‌های نشست یک بعدی (RC) انجام شده

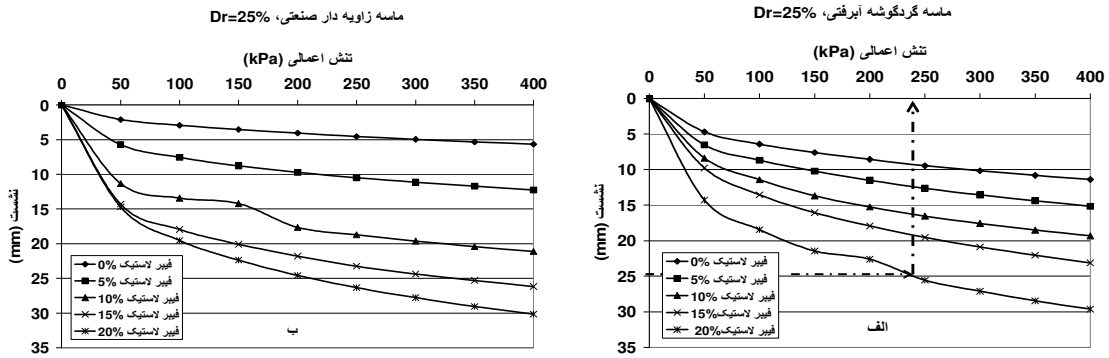
نوع ماسه	مقدار فیبر لاستیک	تعداد آزمایش در حالت Dr=25%	تعداد آزمایش در حالت Dr=50%	تعداد آزمایش در حالت Dr=75%
آبرفتی (گرد شده)	٪۵	۴	۳	۳
	٪۱۰	۴	۳	۳
	٪۱۵	۴	۳	۳
	٪۲۰	۴	۳	۳
صنعتی (زاویه‌دار)	٪۵	۴	۳	۳
	٪۱۰	۴	۳	۳
	٪۱۵	۴	۳	۳
	٪۲۰	۴	۳	۳

جدول ۲: خلاصه نتایج تعیین خصوصیات فیزیکی دو نمونه خاک و فیبر لاستیک مورد آزمایش

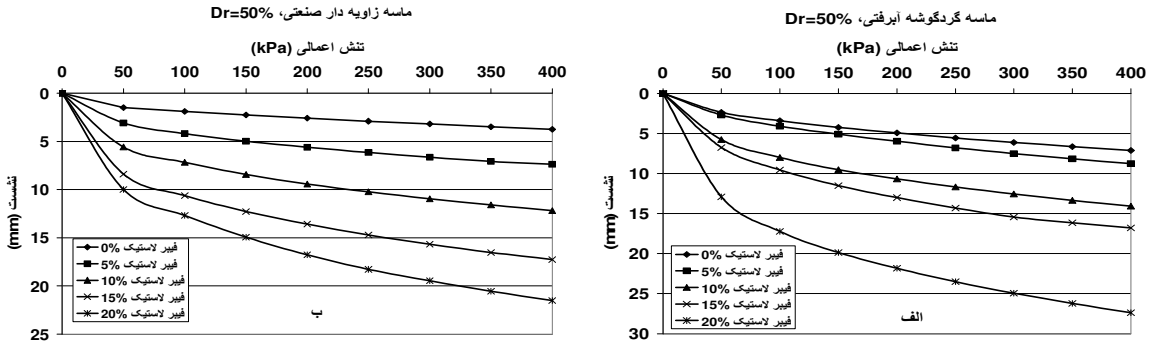
نوع ماسه	ماسه سیلیسی (صنعتی)	ماسه آبرفتی	فیبر لاستیک	استاندارد آزمایش
قطر دانه‌های ۱۰ درصد رد شده یا D10 (mm)	۰/۱۰	۰/۱۵	۴/۵	منبع [4]
قطر دانه‌های ۳۰ درصد رد شده یا D30 (mm)	۰/۱۸	۰/۱۹	۵	منبع [4]
قطر دانه‌های ۵۰ درصد رد شده یا D50 (mm)	۰/۲۲	۰/۲۲	۵	منبع [4]
قطر دانه‌های ۶۰ درصد رد شده یا D60 (mm)	۰/۲۴	۰/۲۴	۵	منبع [4]
ضریب یکنواختی(Cu)	۲/۴	۱/۶	۱/۱۱	منبع [4]
ضریب خمیدگی(Cc)	۱/۳۵	۱/۰۰	۱/۱۱	منبع [4]
وزن واحد حجم کمینه $\gamma_{d(\min)}$ (gr/cm^3)	۱/۳۵	۱/۳۰	۰/۶۲	منبع [5]
وزن واحد حجم بیشینه $\gamma_{d(\max)}$ (gr/cm^3)	۱/۵۶	۱/۶۲	۰/۷۷	منبع [5]
میزان رطوبت طبیعی (٪)	۱	۱	-	منبع [5]
میزان رطوبت بهینه یا $\omega_{opt(\%)}$	۹/۸	۱۱	-	منبع [5]
چگالی ویژه(Gs)	۲/۶۷	۲/۶۷	۰/۸۵	منبع [3]
طبقه‌بندی یونیفاید خاک	SP	SP	-	منبع [4]

نتایج آزمایش‌های نشست یک بعدی RC

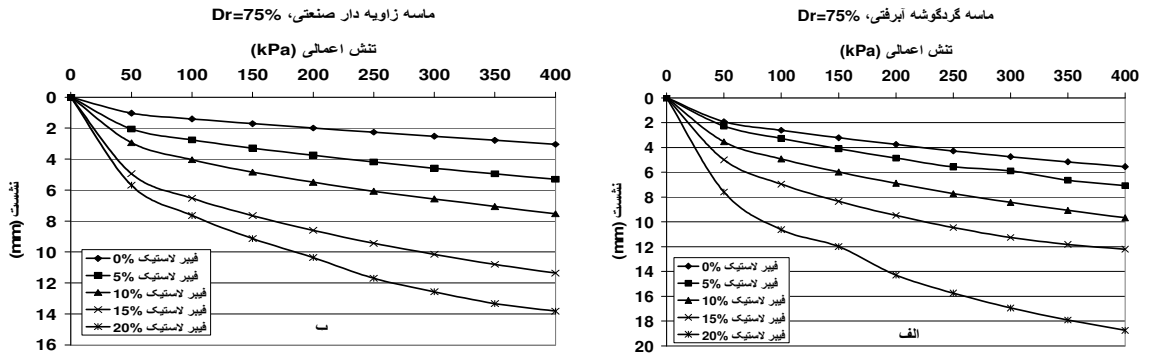
با هدف تعیین درصد بهینه استفاده از افزودنی فیبر لاستیک خاک و به منظور قرارگیری آن‌ها به عنوان پرکننده به همراه خاک‌های ماسه‌ای، آزمایش نشست یک بعدی RC بر روی درصدهای مختلف اختلاط خاک و فیبر لاستیک انجام شده است که نتایج آن‌ها در نمودارهای شکل (۴) تا (۶) آمده است.



شکل ۴: نمودارهای تنش-نشست RC الف) در خاک ماسه‌ای آبرفتی و ب) صنعتی در حالت تراکم سست



شکل۵: نمودارهای تنش-نشست RC الف) در خاک ماسه‌ای آبرفتی و ب) صنعتی در حالت تراکم متوسط



شکل ۶: نمودارهای تنش-نشست RC الف) در خاک ماسه‌ای آبرفتی و ب) صنعتی در حالت تراکم زیاد

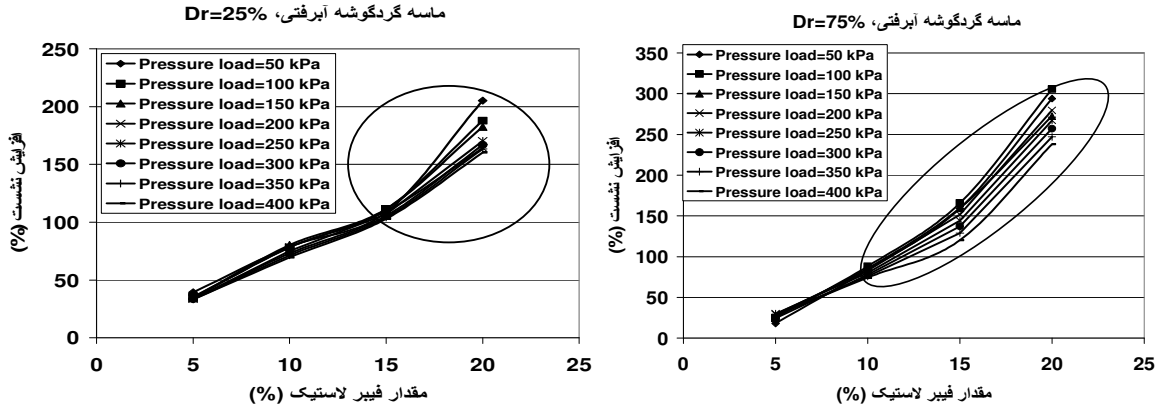
بحث

از میان مشخصه‌های زمین‌شناسی موثر بر رفتار مهندسی خاک‌های دانه‌ای، می‌توان به دانسیته نسبی و شکل دانه ها اشاره نمود. علاوه بر این پارامترها، شکل قطعات لاستیک نیز بر رفتار مهندسی خاک‌های دانه‌ای موثر است. با مراجعه به نمودارهای تغییر نشست ماسه در مقابل تنش به کار رفته بر روی نمونه‌ها، ملاحظه می‌گردد که با افزایش میزان تراکم و دانسیته نسبی، میزان نشست نمونه‌ها کمتر می‌شود. در این میان، میزان نشست برای خاک‌های ماسه‌ای آبرفتی (گرد شده) بیش‌تر از خاک‌های ماسه‌ای صنعتی (زاویه‌دار) می‌باشد.

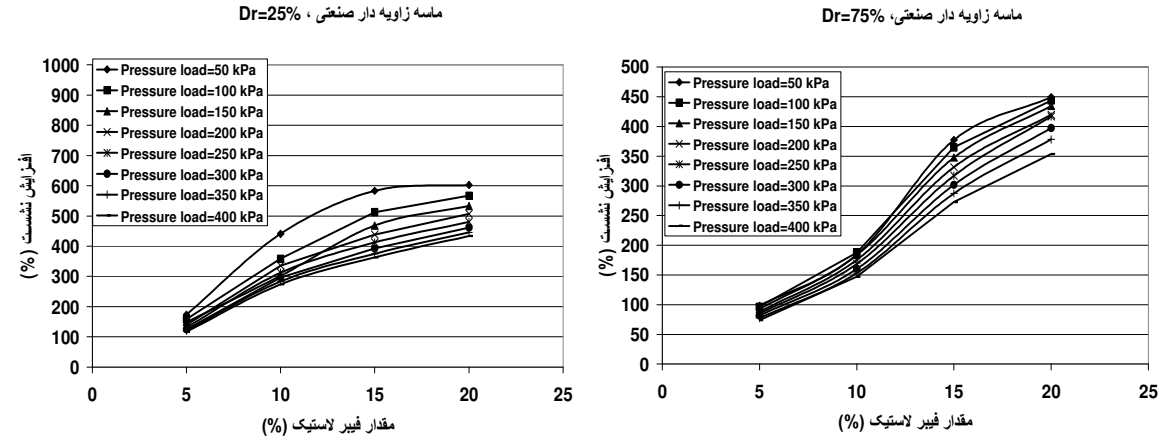
با افزایش درصد فیبر لاستیک، به دلیل افزایش انعطاف پذیری و کاهش صلبیت خاک متراکم شده مقدار نشست افزایش می‌یابد. در این راستا به دلیل زاویه‌دار بودن دانه های ماسه صنعتی و حضور قطعات فیبری لاستیک انعطاف پذیر، از نشست هر چه بیش‌تر خاک جلوگیری به عمل آمده و مقدار نشست برای این ماسه کمتر از ماسه گرد شده آبرفتی می‌باشد. با توجه به اینکه ممکن است در طرح‌های اجرایی مانند خاکریزها و یا پی‌سازه‌ها جهت جبران کمبود منابع قرضه ماسه‌ای مورد نیاز از فیبر لاستیک فرسوده استفاده گردد، مطالب مزبور را باید مد نظر قرار داد. در این راستا رعایت معیارهای طراحی نیز از ضروریات است. یکی از این معیارها رعایت نشست مجاز برای شالوده سازه می‌باشد. معمولاً نشست ۲۵/۴ میلی‌متر (۱ اینچ) را برای پی سازه ها در نظر می‌گیرند. با توجه به این معیار و بررسی نمودارهای (۴) تا (۶) مشاهده می‌گردد که برای خاک‌های ماسه‌ای با دانسیته نسبی سست و متوسط، مقدار نشست خاک حتی با افزودن درصد پایینی از فیبر لاستیک افزایش ناگهانی می‌یابد که روند آن برای ماسه‌های با دانه‌های گرد شده بیش‌تر می‌باشد. این افزایش نشست باعث می‌شود تا برای تامین معیار نشست ۱ اینچ برای ماسه‌های سست و متوسط، حداکثر مقدار فیبر لاستیک مورد استفاده با ابعاد ۵/۵-۴ میلی‌متر در این پژوهش، ۱۵٪ باشد. با افزایش دانسیته نسبی هر

دو نوع ماسه تا مقدار ۷۵٪، اثر افزایش مقدار نشست با افزایش درصد فیبر لاستیک، کاهش یافته و این روند برای ماسه‌های زاویه‌دار محسوس‌تر است. در این حالت بسته به مقدار بار وارده از سازه به شالوده و مقدار نشست مجاز ناشی از آن، امکان افزودن ۲۰ درصدی فیبر لاستیک به خاک وجود دارد.

از دیگر نتایجی که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد، بررسی درصد افزایش نشست یک بعدی خاک‌های ماسه‌ای تحت آزمایش RC است. در این بررسی‌ها مشخص گردید که در حالت دانسیته نسبی سست، با افزایش مقادیر فیبر لاستیک، درصد افزایش نشست (نه مقدار نشست) روند کندی دارد ولی در حالت ماسه متراکم، در صورتی که میزان فیبر لاستیک مستعمل بیش از ۱۰ درصد گردد، درصد افزایش نشست (نه مقدار نشست) روند تندی به خود می‌گیرد. شکل‌های (۷) و (۸)، دو نمونه از نمودارهای درصد افزایش نشست یک بعدی برای ماسه های آبرفتی و صنعتی را در دانسیته‌های نسبی سست و متراکم را نشان می‌دهد که می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند.



شکل ۷: نمودارهای درصد افزایش نشست در مقابل درصد فیبر لاستیک برای ماسه آبرفتی



شکل ۸: نمودارهای درصد افزایش نشست در مقابل درصد فیبر لاستیک برای ماسه صنعتی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱- پارامترهای زمین‌شناسی مانند شکل دانه‌های ماسه و میزان دانسیته نسبی از پارامترهای موثر بر نشست خاک های ماسه‌ای مسلح شده با درصدهای مختلف فیبر لاستیک است. اثر پارامترهای دیگر زمین‌شناسی، مانند ترکیب کانی‌شناسی، بر رفتار ماسه های مسلح با فیبر لاستیک نیاز به پژوهش بیش‌تر دارد.

۲- در حالتی که دانسیته نسبی خاک ماسه‌ای پایین است، ظرفیت باربری آن بسیار کم و میزان نشست بسیار زیاد است که این روند با افزایش درصد فیبر لاستیک افزایش می‌یابد.

۳- در حالتی که دانسیته نسبی خاک متوسط است، در صورتی که دانه‌های خاک زاویه‌دار باشند، می‌توان تا مقدار حداکثر ۱۵ درصد به آن فیبر لاستیک اضافه نمود.

۴- در حالتی که خاک متراکم باشد، با در نظر گرفتن معیار نشست ۱ اینچ، برای هر دو ماسه با دانه‌های گرد شده و زاویه‌دار می‌توان تا ۲۰ درصد فیبر لاستیک اضافه کرد. در این حالت اگر ماسه زاویه‌دار باشد، نشست آن کمتر بوده و شرایط بهتری حاصل می‌گردد.

۵- در حالت دانسیته نسبی سست، با افزایش مقادیر فیبر لاستیک، درصد افزایش نشست روند کندی دارد ولی در حالت ماسه متراکم، در صورتی که میزان فیبر لاستیک مستعمل بیش از ۱۰ درصد گردد، درصد افزایش نشست روند تندی به خود می‌گیرد.

۶- در مواقعی که لازم است تا به دلایل زیست محیطی و کاهش استفاده از ماسه، از مخلوط فیبر لاستیک مستعمل به مقدار بیش از ۱۰ درصد به عنوان پرکننده استفاده گردد، لازم است سیمان‌های شیمیایی، ژئوتکستایل و یا ژئوگرید مناسب نیز به همراه مخلوط استفاده شود.

منابع :

[۱] داس، ب. م.، ۱۳۸۰ . اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد دوم، مهندسی پی، (ترجمه: طاحونی، شاپور)، انتشارات پارس آئین.

[۲] علی محمدی ، ف.، ۱۳۸۴. بررسی رفتار ماسه های مخلوط شده با خرده تایرهای فرسوده به کمک آزمایش برش مستقیم و C. B. R، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز.

[3] ASTM, 1992. Standard Test Method for Specific Gravity of Soils (D854-91). Annual Book of ASTM Standards, Sec. 4: Construction, Vol. 8: Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics, ASTM, Philadelphia, Penn.

[4] ASTM, 2000. Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (D 2487-00). West Conshohocken, Pa.

[5] ASTM, 2002. Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density (D4254). In ASTM Annual CDs of Standards, vol. 04.08. American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, Pa.

[6] Rowley, A. G., Husband, F.M., Cunnighham, A. B., 1984. Mechanism of Metal Adsorption from Aqueous Solutions by Waste Tyre Rubber. Water Research 18 (8), 981-984.

[7] Tanchaisawat, T., Bergado, D. T., Voottipruex, P., and Shehzad, K., 2009. Interaction Between Geogrid Reinforcement and Tire Chip–Sand Lightweight Backfill, Geotextiles and Geomembranes, 10, 1-9.

[8] Yoon, Y. W., S. H., Cheonb, and D. S., Kang, 2004. Bearing Capacity and Settlement of Tire-Reinforced Sands. Geotextiles and Geomembranes 22 , 439–453.

[9] Yoon, S., Prezzi, M., Nayyar Zia Siddiki, N. Z., and Kim, B.,2006. Construction of a Test Embankment Using a Sand–Tire Shred Mixture as Fill Material. Waste Management, 26, 1033-1044