مروری بر کاربرد خرده لاستیک در بهبود خصوصیات رفتاری خاک

مقاله علمی – پژوهشی

سعید غفارپور جهرمی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مصطفی آدرسی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
مرتضی مقدس شرق، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.adresi@sru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵– پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸
صفحه ۱۴۲-۱۳۱

چکیده

دربسیاری از مناطق کشور احتمال وجود خاکهای ضعیف و مسئله دار در پروژه‌های مختلف وجود دارد که خصوصیات مکانیکی، تورم‌زایی، ظرفیت باربری و نشست پذیری مختلفی دارند. لذا شناخت انواع خاک‌های مسئله‌دار و انتخاب روش بهبود و تثبیت آن‌ها با مصالح مناسب اهمیت فراوانی بین مهندسان و محققان دارد. خاک‌های مسئله‌دار را می‌توان در حالت کلی به چهار نوع خاک رمبنده، خاک روانگرا، خاک‌های واگرا و خاک‌های تورم پذیر طبقه بندی کرد. در حال حاضر استفاده از ضایعاتی لاستیک فرسوده به صورت خرده لاستیک علاوه بر سیمان و دیگر تثبیت کننده‌ها می‌توانند جهت بهبود خصوصیات خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرند. لاستیک فرسوده به علت برخورداری از قیمت پایین، وزن مخصوص پایین، مقاومت کششی بالا و دوام زیاد می‌توانند کاربرد وسیعی در کارهای عمرانی، مهندسی ژئوتکنیک و راهسازی داشته باشند. در این تحقیق پس از معرفی انواع خاک‌های مسئله‌دار، به کاربرد فرآورده‌های حاصل از بازیافت لاستیک چون خرده لاستیک به عنوان یک مسلح کننده و تثبیت کننده خاک پرداخته شده و تحقیقات اخیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تثبیت‌خاک، خاک‌های مسئله‌دار، خرده‌لاستیک، لاستیک بازیافتی

۱-مقدمه

تقریباً در تمام پروژه های عمرانی نگرانی از جنس بستر پروژه جهت دارا بودن ویژگی‌های مکانیکی و شیمیایی لازم، دغدغه‌ای جدی برای مهندسان است. در پروژه‌های کلان ساختمانی، راه‌سازی، سدسازی، تونل و... بسترهایی از جنس‌های مختلف (خاکی و سنگی) با مقاومت‌ها و پارامترهای مختلفی وجود دارند. خاک‌های مختلف ویژگی‌های مکانیکی، تورم‌زایی، ظرفیت باربری و نشست‌پذیری متفاوتی دارند. عموماً با توجه به گستردگی پروژه‌ها امکان اجرای یک لایه غیراقتصادی از نظر اجرایی و مالی مقرون به صرفه نیست، بنابراین شناخت انواع خاک‌های مسئله‌دار در پروژه و تثبیت آن‌ها با مصالح مناسب اهمیت فراوانی دارد (قیاسی و راستی ۱۳۹۸). در همین راستا یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های امروز مهندسان ژئوتکنیک، چگونگی بهبود رفتار خاک‌های مسئله دار به‌منظور کسب توانایی برای انجام خدمت لازم است. از این‌رو در سالیان اخیر روش‌های زیادی برای بهبود خواص مکانیکی این خاک‌ها استفاده شده است که یکی از آن‌ها استفاده از خرده لاستیک‌های فرسوده است. لاستیک‌ها به علت داشتن ویژگی‌هایی مانند وزن مخصوص پایین، مقاومت کششی بالا و دوام زیاد می‌توانند کاربردهای زیادی را در کارهای عمرانی به‌خصوص ژئوتکنیک داشته باشند (صبا و همکاران، ۱۳۹۸). در این مقاله ابتدا شناخت خاک‌های مسئله‌دار معرفی و در ادامه کاربرد خرده لاستیک در بهبود خصوصیات اینگونه خاک‌ها تحقیق مروری می‌گردد.

۲- خاک‌های مسئله‌دار

این خاک‌ها را می‌توان به چهار نوع خاک رمبنده، خاک روانگرا، خاک‌های واگرا و خاک‌های تورم‌پذیر تقسیم‌بندی نمود در طبیعت خاک‌هایی وجود دارند که تحت تنش یکسان، با افزایش درصد رطوبت میزان کاهش حجم بسیاری از خود نشان می‌دهند. خاک‌ها که بیشتر در نواحی گرم و خشک و مناطق بیابانی یافت می‌شوند را خاک‌های رمبنده می‌نامند. میزان رمبندگی خاک، بیشتر وابسته به نسبت تخلخل اولیه آن است. عوامل اصلی ایجاد رمبندگی شامل تخلخل بالا (بیش از ٤٠٪)، درجه اشباع پائین (زیر ٦٠٪)، میزان لای بالا (بیش از ۳۰٪ گاه تا ۹۰٪)، نرم شدگی سریع در آب (زمان بازشدگی نمونه‌های بادرفتی با فروریزش بالا کمتر از ۱ دقیقه است) می‌باشند.

بنابراین، در صورت نفوذ آب سطحی، نشت آب از لوله‌ها و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی ممکن است شاهد به وقوع پیوستن نشست‌های زیاد و رمبندگی خاک باشیم. خاک‌های رمبنده ازلحاظ ترکیب، خصوصیات فیزیکی، عمق توده ریزشی و تغییرشکل متفاوت هستند و عموماً توسط لایه‌های کم رطوبت، با تخلخل بالا و قابلیت ریزش شناخته می‌شوند.مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در ارزیابی پتانسیل ریزش خاک‌های رمبنده عبارتنداز وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت اولیه، درصد رس، درصد ماسه وضریب یکنواختی. برای ساختن سازه روی خاک‌های رمبنده، باید ویژگی‌های ریزشی خاک در سرتاسر منطقه موردنظر در طول و عمق توده ریزشی حذف شوند و این مهم از طریق حذف رطوبت و عوامل مؤثر بر ریزش خاک، محقق می‌شود.

همان‌طور، که گفته شد، این خاک‌ها به رطوبت حساس هستند و در اثر افزایش رطوبت، محتوای اولیه دچار کاهش حجم شده و فرایند ریزش آن‌ها آغاز می‌شود. به‌این‌ترتیب، چنانچه مشخصات تراکم و کنترل خاک‌های رمبنده به‌درستی شناسایی نشوند، ممکن است این توده از خاک‌ها به رطوبت حساسیت نشان دهند، بدین‌صورت‌که اگر تراکم خاک تحت چگالی کم و خشکی متوسط قرار گیرد، بیشترین قابلیت برای چگالش تحت رطوبت ایجاد می‌شود (خسروی و همکارانش، ۱۳۹۷) (ضیایی و کمال زاده، ۱۳۹٤).

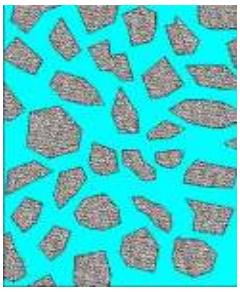
شکل ۱. خاک رمبنده – ترک عمودی در نزدیکی راه‌آهن در دشت سمنان

۲-۲ خاک مستعد روانگرایی

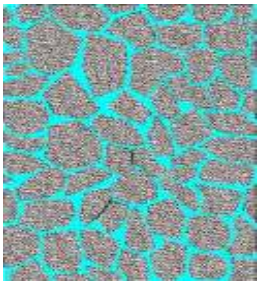
یکی از پدیده‌های ژئوتکنیکی روانگرایی است که بیشتر در خاک‌های ماسه‌ای اشباع و ریزدانه‌ی ماسه‌ای و سیلتی بدون رس، تحت تاثیر افزایش فشار منفذی و کاهش مقاومت برشی، در مناطق هموار دشتی و جلگه‌ای در اثر تنش‌های ناشی از زلزله شدید به وجود می آید و موجب خسارت‌های شدید سازه‌ای در زمان وقوع زلزله است (عبداله زاده و اونق، ۱۳۹۵). اگر یک توده ماسه اشباع سست تحت تاثیر لرزش‌های شدید ناشی از زلزله قرار گیرد، تمایل به تراکم و کاهش حجم خواهد داشت. درصورتی‌که امکان زهکشی سریع این نوع خاکها وجود نداشته باشد، خروج آب و تغییر حجم خاک به صورت فوری

نمی‌تواند ادامه یابد و در نتیجه فشار آب حفره‌ای افزایش خواهد یافت. با افزایش نوسانات، فشار آب حفره‌ای با تنش کل برابر شده و در نتیجه تنش مؤثر صفر می‌شود.

باتوجه به اینکه مقاومت برشی خاک‌های غیر چسبنده نسبت مستقیم با تنش مؤثر دارد، توده ماسه هیچ‌گونه مقاومت برشی نداشته و در حالت روان شدگی قرار می‌گیرد. به‌عبارت‌دیگر همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده در این حالت ارتعاشات یا فشار آب درون توده خاک موجب می‌شود که ذرات خاک در تماس با یکدیگر نبوده و خاک مانند یک سیال روان عمل کند (یحیی زاده و همکارانش، ۱۳۹۳).



الف-روانگرایی



ب-خاک اشباع‌شده

شکل ۲. شکل شماتیک ذرات ماسه در حالت‌های اشباع و روان
(یحیی زاده و همکارانش، ۱۳۹۳)

۲- ۳- خاک واگرا

یکی از خاک‌های مشکل‌ساز در پروژه‌های ژئوتکنیکی و ژئوتکنیک زیست‌محیطی، خاک واگرا است که مشکلات جدی در پروژه‌های عمرانی ایجاد می‌کند. خاک رس واگرا بدون هیچ‌گونه تحریک مکانیکی به‌آسانی و سریع در آب با غلظت نمک پایین از یکدیگر جدا و پراکنده می‌شود. در این حالت خاک رس به‌شدت فرسایش پذیر بوده و حتی تحت تأثیر تنش‌های بسیار کوچک و با گرادیان هیدرولیکی کم روان می‌شود. درصورت تقابل خاک واگرا با آب، ذرات رس متفرق شده و به‌صورت سوسپانسیون ته‌نشین می‌شوند. رس‌های واگرا در مقایسه با رس‌های معمولی درصد سدیم محلول در آب بیشتری هستند (مرندی و همکارانش، ۱۳۹٤).

خاک‌های واگرا مقادیری کانی‌های رسی فعال دارند که این خاک‌ها عموماً خاک رس با خاصیت خمیری کم (CL) یا خاک رس با خاصیت خمیری زیاد (CH) هستند. خاک‌های واگرا در حالت اشباع نفوذپذیری کمی دارند، اما هنگامی که خشک می‌شوند، در اثر ترک‌های ایجادشده باعث افزایش قابل توجه در نفوذپذیری می‌شوند و به همین علت در کارهای کشاورزی نیز خاک‌های حاصلخیزی به شمار نمی‌روند. همچنین واگرایی موجب ایجاد رگاب در سدهای خاکی و دیوارهای حائل، خرابی در راه‌ها و فرسایش خاک‌ریزهای رسی متراکم شده و شیروانی‌ها می‌شود. شیب‌ها و سدهای خاکی زیادی در اثر بروز پدیده‌ی واگرایی خراب شدند. ایجاد واگرایی نیازمند وجود یک مجرای نشت (مثلاً یک ترک) در خاک‌ریز یا توده خاک است. سپس دیواره‌های سرتاسر مجرا به‌طور هم‌زمان دچار فرسایش می‌شوند (حداد و همکارانش، ۱۳۹٦).

اهمیت مطالعه خاک‌های واگرا آنجا مشخص می‌شود که این نوع خاک در مناطق مختلف جهان از جمله استرالیا، برزیل، نیوزیلند، ایالات‌متحده و نیز در بسیاری نقاط ایران همچون خوزستان، اصفهان، اردبیل، فارس، سیستان و بلوچستان، قزوین، کرمان، همدان، سمنان و مرکزی و... مشاهده شده است. پدیده واگرایی و اهمیت شناخت آن در طرح‌هایی نظیر سدهای خاکی و کانال‌های آب‌رسانی که تمرکز فشار آب در داخل خاک وجود دارد، اهمیت بسیار زیادی دارد (زمردیان و وکیلی، ۱۳۹۰). شکل ۳ نمونه‌ای از خاک‌های واگرا در استان زنجان را نشان می‌دهد.

شکل ۳. نزدیکی گیلوان شهری از توابع بخش گیلوان شهرستان طارم در استان زنجان

۲- ٤- خاک تورم پذیر

به خاک‌هایی که در اثر افزایش رطوبت، تغییر حجم افزایشی قابل‌توجه از خود بروز می‌دهند، خاک تورم پذیر می‌گویند. فشار ناشی از تورم خاک‌ها می‌تواند باعث آسیب و حتی خرابی کامل ساختمان‌های سبک و پوشش کانال‌های آبیاری و کف‌سازی‌ها شود. در واقع مکانیزم عمل این خاک‌ها کاملاً در جهت مخالف فرایند تحکیم است، یعنی به‌جای از دست دادن آب و کاهش حجم، آب را جذب کرده و حجمش افزایش می‌یابد. عوامل متعددی مانند رطوبت، نسبت تخلخل اولیه، نوع کانی‌های رسی، واحدهای درشت ساختاری و همین‌طور سربار موجود، در پتانسیل تورمی یک خاک تورم پذیر نقش دارند. عوامل اثرگذار بر پدیده تورم در خاک‌های تورم پذیر را می‌توان به دو دسته کلی عوامل محیطی و عوامل درونی تقسیم نمود. درمورد عوامل محیطی می‌توان به مواردی مانند تغییرات رطوبتی، واکنش‌های شیمیایی، تغییرات حرارتی و تغییر در میزان تنش اشاره نمود. درخصوص موارد مؤثر درونی نیز می‌توان از ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، مقدار و نوع کانی تورم پذیر در خاک، رطوبت و سابقه تنش داخلی خاک نام برد. هر یک از عوامل یادشده می‌توانند تأثیرات زیادی بر میزان خسارت ایجادشده در اثر وجود خاک‌های تورم پذیر داشته باشند.

۳- بازیافت لاستیک فرسوده

مدیریت مواد زائد جامد یکی از نگرانی‌های اصلی زیست‌محیطی در سرتاسر جهان است. سالانه حجم زیادی از حلقه‌های لاستیک فرسوده به علت افزایش مستمر تعداد وسایل نقلیه در طبیعت رها می‌شوند. معمولاً لاستیک‌های فرسوده به روش‌های ناصحیح انباشته می‌شوند. آب جمع شده در حلقه‌های لاستیک فرسوده، دما و رطوبتی مناسب برای گسترش پشه‌ها، حشرات و موش‌ها ایجاد می‌کند. از طرفی احتمال وقوع آتش‌سوزی در شرایط مناسب وجود دارد که تأثیر منفی در اتمسفر و سلامت بشر دارد.

با توجه به این نکات مهندسان سعی در بازیافت و استفاده دوباره از حلقه‌های لاستیک در زمینه‌های مختلف مهندسی مانند مهندسی عمران دارند. در کشورهای صنعتی در هرسال به ازای هر شهروند یک حلقه لاستیک مصرف می‌شود و این بدان معناست که سرانه مصرفی تقریباً ۹ کیلوگرم حلقه لاستیک برای هر نفر در سال است. در ایران به ازای هر ۵ نفر یک خودرو وجود دارد و طبق آمارهای موجود، جمعیت ۷۷ میلیون نفری ایران نیز در هرسال حدود ۱۳ میلیون حلقه لاستیک استفاده می‌کنند که این به معنی مصرف بیش از ۲۵۰ هزار تن حلقه لاستیک در سال است؛ به‌عبارت‌دیگر، سرانه مصرف

تقریبی لاستیک در ایران حدود ۳/۳ کیلوگرم برای هر نفر است. به دلیل تولید روزافزون خودروها، هرساله حجم لاستیک‌های فرسوده تولیدشده نیز اضافه می‌شود. در سال‌های اخیر تخمین زده می‌شود هرساله ۱/۵ میلیارد تایر به پایان عمر خود خواهند رسید (ETRMA, 2012).

به دلیل آثار مخرب زیست‌محیطی و بصری این لاستیک‌ها، بهترین روش ممکن از بین سوزاندن، دفن کردن و دپو کردن آن، بازیافت و استفاده مجدد از آن‌هاست. در سال ۲۰۱۲ نسبت بازیافت لاستیک‌های فرسوده در امریکا، اروپا و ژاپن به ۸۰ تا ۹۵٪ افزایش یافته است. بنابراین، لاستیک‌های فرسوده تبدیل به یک ماده در دسترس و مهم خام ثانوی تبدیل‌شده‌اند که می‌توانند به‌طور مؤثر در پروژه‌های مهندسی عمران به کار گرفته شوند (ETRMA, 2013). علی‌رغم این خصوصیات مفید مهندسی، تنها ۷/٤٪ تایرهای فرسوده در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۰ و ۷/۸٪ تایرهای فرسوده در امریکا در سال ۲۰۱۱ در کاربردهای مهندسی عمران استفاده شده است؛ که این موضوع شاید می‌تواند به دلیل کمبود روش‌های کافی بازیافت سازگار با محیط‌زیست برای استفاده دوباره در مهندسی عمران باشد (Mashiri et al. 2015)

کاربرد عملی استفاده از تایرهای فرسوده در مهندسی عمران را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

-مسلح سازی خاک در راه‌سازی
-کنترل فرسایش زمین
-پایدارسازی شیب‌ها
-عایق‌بندی حرارتی
-خاک‌ریز دیوار حائل
-تکیه‌گاه پل‌ها
-استفاده در ترانشه‌ها
-ساختن سیستم‌های فاضلاب
-ریل‌های سبک
-لندفیل
-پی ساختمان‌ها

لاستیک بازیافتی را می‌توان به صورت زیر مورد استفاده قرار داد: پودر لاستیک، تراشه لاستیک، خرده لاستیک و دانه‌ای یا گرانولی در سال‌های اخیر، سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی توسط بخش تحقیق و توسعه شرکت‌های مدیریت تایرهای فرسوده و بازتولیدکنندگان، برای توسعه بازارهای جدید جهانی شکل گرفته است که در زیر می‌توان به تعدادی از آن‌ها اشاره کرد (ETRMA, 2015).

لاستیک در بتن: سیمان به‌عنوان ماده اصلی بتن، یک بازار کلیدی برای سوخت‌های تولیدشده از تایر است اما پتانسیل استفاده از مواد تولیدشده از تایر در کارکردهای بتن بسیار گسترده‌تر است و در حال حاضر پروژه‌های تحقیقاتی و کاربردهای تجاری فعالی در این زمینه وجود دارد و این بازار در حال رشد است. هدف استفاده از لاستیک، سبک‌تر کردن و بهبود عملکرد با افزایش مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و افزایش ظرفیت تغییر شکل است.

آزمایش‌های انجام‌شده نه‌تنها بهبود روشنی در مقاومت در برابر ترک‌خوردگی در فضای آزمایشگاهی از خود نشان دادند، بلکه بالاتر از همه این‌ها، بر دال‌های قرار داده‌شده در بیرون که در معرض هوای آزاد قرارگرفته بودند نیز صورت گرفت. افزودن گرانول به بتن دوام آن را افزایش می‌دهد و توانایی بیشتری را برای جذب ارتعاشات مکانیکی بدون هیچ‌گونه مشکل اجرایی فراهم می‌کند. همچنین آزمایش‌هایی برای بررسی استفاده از بتن لاستیکی به‌عنوان ابزاری برای حفاظت از زلزله انجام شده است.

آسفالت لاستیکی: استفاده‌ای ثابت‌شده در بسیاری از نقاط جهان، این فنّاوری است که در بسیاری از کشورهای اروپایی مورد آزمایش قرار گرفته است، اما تاکنون هیچ تصمیمی برای استفاده گسترده از آسفالت لاستیکی اتخاذ نشده است. استفاده از این آسفالت دارای مزایای متعددی است که می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

-دوام بالای روسازی با تجربه‌های تا سه برابر آسفالت سنتی
-کاهش هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری
-کاهش سر و صدا
-زهکشی مناسب در مناطق مرطوب
-واکنش بهتر به ترمز ناگهانی
-اثرات زیست محیطی بازیافت لاستیک‌های

قیر لایه بیندر استفاده شده در تولید آسفالت جاده می‌تواند شامل ۵ تا ۲۵ درصد پودر لاستیک باشد. ۲۷۷ میلیون تن قیر در سال ۲۰۱۳ در اروپا مصرف شد. اگر در این مقدار قیر حداقل ۵ درصد پودر لاستیک استفاده شود، بازار بالقوه‌ای از ۱۳/۸ میلیون تن لاستیک به وجود می‌آید.

۳ –٤– مشخصات مهندسی خرده لاستیک‌ها

مطالعات و آزمایش‌های گسترده‌ای برای تعیین مشخصات مهندسی خرده لاستیک‌ها انجام‌شده است. این مطالعات نشان می‌دهد مشخصات خرده لاستیک‌ها با توجه به اندازه ذرات، دانه‌بندی، ترکیب تایر، روش خردکردن و نوع آزمایش انجام‌شده متفاوت است. پس از بررسی ۳۱ آزمایش نتایج زیر برای مشخصات مهندسی لاستیک‌ها به دست آمده است(Shrestha et al. 2016):

وزن مخصوص: ٦/٢٦ (کیلونیوتن بر مترمکعب)

زاویه اصطکاک داخلی: ۲۱ درجه

چسبندگی: ۲۱/۰۵ کیلو پاسکال

مدول الاستیسیته: ۱۳٦۲/٦۸ کیلو پاسکال

هدایت هیدرولیکی: ۲/۵۳ (سانتیمتر بر ثانیه)

ضریب پواسون: ۰/۲۸

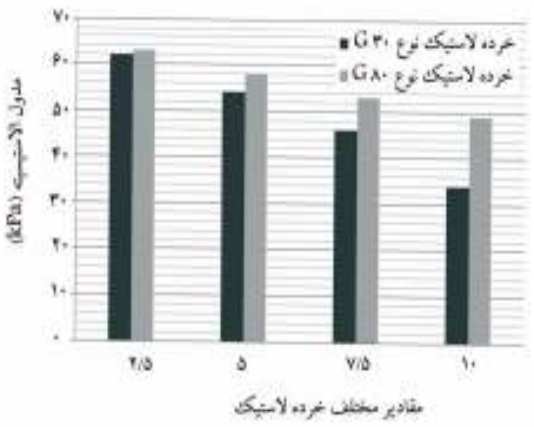
٤– مروری بر مطالعات کاربرد خرده لاستیک در ژئوتکنیک

در این بخش بنا داریم به برخی از مطالعات اخیر در مورد استفاده از خرده لاستیک در بهبود خواص خاک‌های مختلف بپردازیم. این بازبینی از اهمیت بالایی برخوردار است و چشم‌انداز وسیعی برای استفاده مجدد از لاستیک‌های ضایعاتی و توسعه مهندسی ژئوتکنیک خواهد داشت.

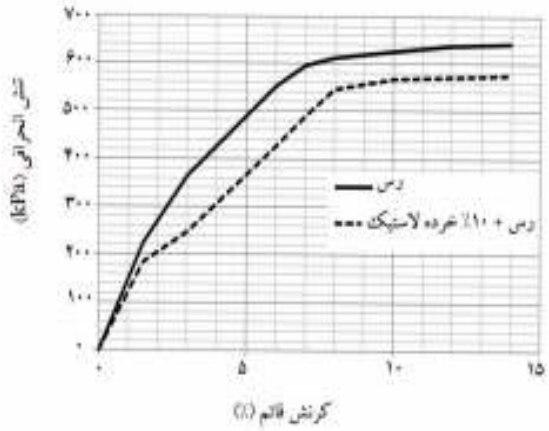
٤–۱– بررسی اثر خرده لاستیک بر خواص رس کائولینت

تاج‌الدینی و همکارانش (۱۳۹٤) به بررسی تأثیر افزودن خرده لاستیک صنعتی در خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح رس کائولینتی پرداختند. آن‌ها آزمایش‌های مقاومت برشی را بر روی مصالح رس کائولینتی به‌عنوان مصالح مبنا و همچنین با افزودن خرده لاستیک به‌عنوان مصالح مسلح شده انجام دادند. آزمایش‌ها شامل آزمایش سه محوری در دو حالت زهکشی شده و زهکشی نشده و همچنین آزمایش‌های نسبت باربری کالیفرنیا بر روی هر دو مصالح بود. نتایج آزمایش‌ها کاهش میزان نشست نمونه‌ها و افزایش توان باربری (تا نسبت ۵٪ خرده لاستیک) و سپس کاهش به ازای درصدهای بیشتر را مطابق شکل٤، بهبود پارامترهای مقاومت برشی، مقاومت فشاری و شکل‌پذیری رس‌های مسلح شده با خرده لاستیک را نسبت به رس مبنا نشان داد.

همچنین مشاهده شد که با افزایش درصد خرده لاستیک، مدول کشسانی نمونه‌ها کاهش یافته است (شکل ۵) که بیانگر آن است که خرده لاستیک به‌عنوان یک جاذب انرژی عمل می‌کند (تاج‌الدینی و همکارانش ۱۳۹٤).

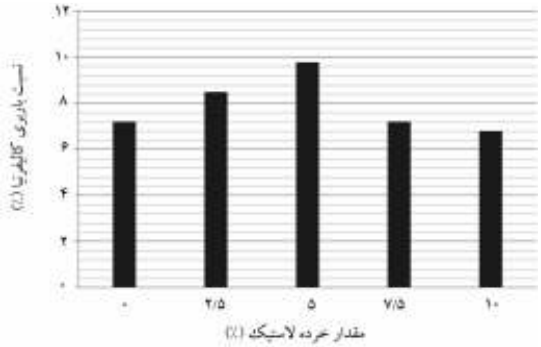


الف–نمونه‌ها با مقادیر مختلف خرده لاستیک



ب–نمودار تنش–کرنش رس مسلح و مبنا

شکل ٤. تغییرات نسبت باربری کالیفرنیا نسبت به درصدهای مختلف خرده لاستیک (تاج‌الدینی و همکارانش ۱۳۹٤)



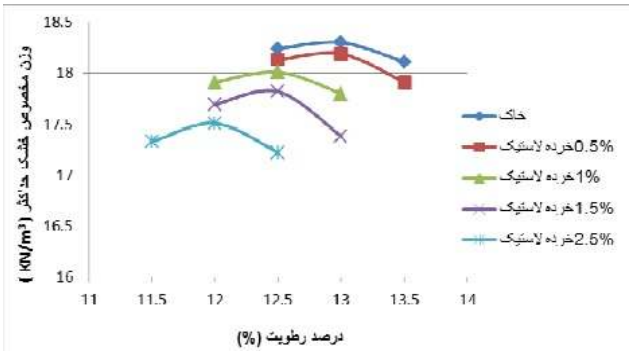
شکل ۵. تاثیر درصد و نوع خرده لاستیک در مدول کشسانی تحت فشار همه جانبه‌ی یکسان (تاج‌الدینی و همکارانش ۱۳۹۴)

٤-۲- بررسی بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی مخلوط ماسه- خرده لاستیک

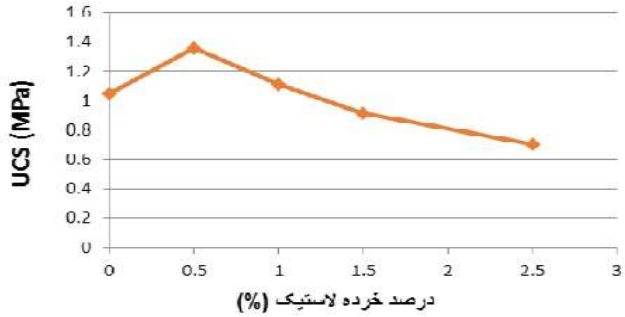
صبا و همکارانش (۱۳۹۵)، آزمایشات برش مستقیم و تراکم را روی خاک ماسه‌ای (sp) انجام دادند. آنها تفاوت مقاومت برشی ماسه خالص و ماسه مسلح شده با گرانول لاستیک فرسوده با درصدهای وزنی مختلف گرانول لاستیک ۰٪، ۲/۵٪، ۵٪، ۷/۵٪ و ۱۰٪، تحت سه تنش نرمال ۳۰، ٦۰ و ۱۲۰ کیلو پاسکال را با استفاده از آزمایش برش مستقیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش ۱۰ درصد وزنی گرانول به ماسه خالص، چسبندگی به بیشترین مقدار خود می‌رسد و تا ۵ درصد، افزایش زاویه اصطکاک داخلی مشهود است ولی بعد از آن تا میزان ۱۰ درصد، روند افزایش، کاهش می‌یابد. همچنین، مشاهده شد که با افزایش مقدار ماده مسلح کننده درخاک‌های ماسه‌ای مقاومت برشی و شکل‌پذیری افزایش و سختی کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت افزودن ماده مسلح کننده به خاک ماسه‌ای است.

٤- ۳- ارزیابی اثر خرده لاستیک بر ماسه رس‌دار تثبیت‌شده با سیمان

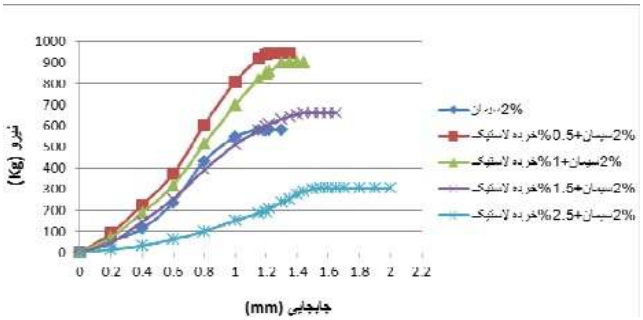
هادی‌زاده و قاسمی(۱۳۹۹) امکان استفاده از الیاف ضایعات کیسه‌های پلیمری، خرده لاستیک و همچنین الیاف ضایعاتی لاستیک (به‌تنهایی و در ترکیب با سیمان) به‌منظور تثبیت خاک ماسه رس دار را مورد ارزیابی قراردادند. آنها برای این منظور آزمایشات حدود اتربرگ، تراکم و مقاومت تک محوری را در مورد نمونه‌ها به کار بردند. نتایج آزمایش تراکم نشان داد که مخلوط کردن ضایعات برای تثبیت خاک ماسه‌ای سبب کاهش مقدار رطوبت بهینه و نیز کاهش دانسیته خشک حداکثر شده است (شکل ٦). همچنین مشاهده شد مقاومت فشاری تا ۰,۵ درصد افزودن خرده لاستیک افزایش و سپس به ازای افزودن مقدار بیشتر آن کاهش می‌یابد (شکل ۷)، از نتایج دیگر این آزمایشات می‌توان به افزایش شکل پذیری مخلوط تثبیت شده با سیمان ماسه و خرده لاستیک اشاره کرد (شکل ۸) .



شکل ٦. تغییرات رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک با افزودن الیاف تایر فرسوده (هادی‌زاده و قاسمی۱۳۹۹)



شکل۷. تاثیرخرده لاستیک بر مقاومت فشاری خاک (هادی‌زاده و قاسمی ۱۳۹۹)



شکل ۸. تغییرات نیرو در برابر جابجایی با افزودن خرده لاستیک در خاک تثبیت شده با ۲ ٪سیمان در مدت ٥٦ روز (هادی‌زاده و قاسمی ۱۳۹۹)

٤-٤- تثبیت خاک و خرده لاستیک با آزمایش CBR

در یک تحقیق Shinde و همکارانش (۲۰۱۹) به بررسی امکان تثبیت خاک رس با استفاده از خرده لاستیک برای نمونه‌های مختلف خاک با استفاده از آزمایش CBR پرداختند. آن‌ها دریافتند که مقدار CBR خاک با افزایش خرده لاستیک تا ۱۰٪ افزایش و افزودن آن بیش از ۱۰ درصد موجب کاهش CBR خاک می‌گردد.

٤-٥- اثر خرده لاستیک بر رفتار ماسه در شرایط سه محوری

در تحقیق دیگیری توسط Sharifi و همکارانش (۲۰۱۸) به بررسی موادی مقاومت پسماند یا رفتار حالت پایدار مخلوط‌های خرده لاستیک و ماسه پرداختند. مجموعه‌ای از آزمایش‌های فشاری سه محوری زهکشی نشده یکنواخت بر روی نمونه‌های اشباع مخلوط ماسه و ترکیب ماسه و خرده لاستیک با تغییر در میزان خرده لاستیک از ۰ تا ٤ درصد وزن خشک خاک انجام شد. مقاومت باقیمانده در فشارهای مختلف (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال) و چگالی نسبی‌های متفاوت مخلوط ماسه (٤۰، ٦٥ و ۸۰ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش محتویات خرده لاستیک، مقاومت باقیمانده افزایش می‌یابند. همچنین، بهبود مقاومت باقیمانده ناشی از ترکیب خرده لاستیک به چگالی نسبی نمونه‌ها و فشار محصورکننده حساس بود.

٤- ٦- اثر خرده لاستیک بر رفتار ماسه با آزمایش برش مستقیم

در یک تحقیق انجام یافته توسط Deepti و همکارانش (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر خرده لاستیک فرسوده بر چگالی نسبی و مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای پرداختند. برای این منظور مجموعه‌ای از آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های ماسه‌بادی با نسبت‌های مختلف خرده لاستیک انجام شد. نمونه‌های مختلف با درصدهای وزنی ذرات خرده لاستیک: ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ انتخاب شدند. برای یافتن تأثیر خرده لاستیک فرسوده بر مقاومت برشی، از دستگاه آزمایش برش مستقیم استفاده شد. مشخص شد که تا ۲۰ درصد افزودن خرده لاستیک به ماسه‌بادی به‌طور قابل توجهی پارامترهای مقاومت برشی یعنی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی را افزایش می‌دهد.

٤-٧- اثر خرده لاستیک بر خاک رس

در این بررسی Yadav و همکارش (۲۰۱۸) به ارزیابی تأثیر استفاده از لاستیک ضایعاتی بر خواص ژئوتکنیکی خاک رس پرداختند. در این تحقیق از لاستیک دور ریخته شده به شکل خرده لاستیک ریز بین ۰/۸ تا ۲ میلی‌متر از ۰ تا ۱۰ درصد استفاده شد. چندین آزمایش، یعنی تراکم، مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کششی ترک‌خوردگی، نسبت باربری کالیفرنیا، تحکیم و فشار تورم، به همراه مطالعات ریزساختاری روی ترکیبات مختلف خاک رس و خرده لاستیک ریز انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از خرده لاستیک حداکثر وزن واحد خشک و رطوبت بهینه خاک رس را کاهش می‌دهد. افزودن لاستیک خرده تا ۵ درصد در خاک رس باعث افزایش ناچیز مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت کششی می‌شود. افزودن خرده لاستیک تا ۵ درصد، نسبت باربری کالیفرنیای خاک رس در شرایط خشک را بهبود می‌بخشد. همچنین مشاهده شد که افزودن خرده لاستیک به کاهش شاخص تراکم و فشار تورم خاک رس کمک می‌کند.

٤-٨- اثر خرده لاستیک بر تثبیت خاک بستر

در یک مطالعه توسط Juliana و همکارانش (۲۰۲۰)، تثبیت خاک با استفاده از خرده لاستیک برای بهبود خصوصیات خاک بستر مورد بررسی قرار گرفت زیرا خرده لاستیک خواص مهمی همچون سبکی و مقاومت برشی بالا را داراست. علاوه بر این، می‌تواند مشکل دفع نامناسب لاستیک و آلودگی‌های ناشی از آن را کاهش دهد. خاک مورداستفاده از محل زمین‌لغزش (روانگرایی) خاک واقع در نزدیکی سد منگ کوانگ در سبرنگ پرای تنگاه، پنانگ به‌منظور بررسی عملکرد خاک بستر تثبیت‌شده با ۲، ٤، ٦ و ۸ درصد از لاستیک خردشده جمع‌آوری شد. مجموعه‌ای از آزمایش‌های آزمایشگاهی خشک و مرطوب ٤ روزه نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) برای ارزیابی بهترین درصد خرده لاستیک برای خاک بستر انجام شد. نتایج نشان داد که همه مخلوط‌ها، شرایط لازم خاک بستر را مطابق با استانداردهای کشور مالزی برای کارهای جاده‌ای را دارند. مخلوط با ٤٪ خرده لاستیک بالاترین مقادیر CBR خشک و مرطوب را نشان داد، بنابراین این درصد را برای تثبیت خاک بستر منطقه توصیه کردند.

٤ – ۹- استفاده از خرده لاستیک پشت دیوار حائل

بررسی این موضوع توسط Yang و همکارانش (۲۰۲۰) بررسی و اثر خرده لاستیک در کاربردهای عملی مثل دیوار حائل، پرکننده جاده، جاذب ارتعاش و جداکننده ارتعاشی پرداختند. تاکنون محققان عملکرد خاک مخلوط شده با لاستیک‌های زائد را با استفاده از آزمایش سه محوری دینامیکی، آزمون نسبت باربری کالیفرنیا، آزمایش تک‌محوری، آزمایش برشی مستقیم، آزمایش تحکیم و آزمایش نیروی آماس (تورمی) بررسی نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که پایداری و مقاومت خاک را می‌توان با افزودن حدود ۲۰٪ ذرات لاستیک به خاک متورم شونده افزایش داد و ویژگی‌های انبساط، انقباض و تحکیم خاک متورم شونده را می‌توان به‌طور قابل توجهی بهبود بخشید. لاستیک می‌تواند خواص مکانیکی و شکل‌پذیری ماسه را بهبود بخشد. ماسه لاستیکی با ۳۰٪ لاستیک اغلب به‌عنوان لایه جداساز ساختمان‌های متوسط و کوتاه استفاده می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

از مجموعه‌ی این تحقیقات این‌طور برداشت می‌شود که وارد کردن خرده لاستیک توانسته است برخی خواص خاک (مانند: مقاومت برشی، مقاومت فشاری، شکل‌پذیری، اصطکاک داخلی، چسبندگی) را بهبود بخشد. خاک‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفتند از انواع ماسه، ماسه بادی، ماسه رس‌دار، ماسه سیلتی، رس و از انواع خاک‌های مسئله دار برخی نمونه‌ها از خاک‌های متورم‌شونده و روانگرا بودند. عدم بررسی تاثیر خرده لاستیک روی بقیه‌ی خاک‌های مسئله‌دار از جمله خاک‌های رمبنده نشان از وجود خلأ پژوهشی در این حیطه است. در مورد بهترین درصد خرده لاستیک افزوده شده در خاک‌های ماسه‌ای و همچنین رسی در پارامترهایی چون اصطکاک داخلی و نسبت باربری کالیفرنیا تناقضاتی در پژوهش‌های انجام شده دیده می‌شود که نمایانگر ضرورت بررسی‌های بیشتر روی این موضوع است.

٦-مراجع

-قیاسی و. و راستی، ش.، (۱۳۹۸)، "بررسی خاک‌های مسئله‌دار و ارایه راهکارهای جدید بهسازی"، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران.

-صبا، ح. و نوکنده، م. و غفوری امیربنده، س.، (۱۳۹۸)، "بررسی آزمایشگاهی بهبود خصوصیات ژئوتکنیکی مخلوط ماسه گرانول لاستیک"، دومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در عمران، معماری و مدیریت شهری.

-خسروی، ف. و فیروزی، ع. و حسینی، ع.، (۱۳۹۷)، " شناسایی خاک‌های مسئله‌دار و روش‌های بهسازی خاک"، تهران، نوآور.

-عبدالله زاده، ع. و اونق، م.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی خطر و خسارت ناشی از پدیدهی روانگرایی خاک مطالعهی موردی: شهرستان گرگان در استان گلستان "، دوفصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره چهارم.

-یحیی‌زاده، د. و روحانی، ی. و رفعتی، پ.، (۱۳۹۳)، "بررسی و مقایسه اقتصادی و مدیریتی روش‌های مقابله با روانگرایی مطالعه موردی پروژه طرح و توسعه مجتمع بندری شهید رجایی"، هشتمین کنگره ملّی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل.

-مرندی، م. حمیدی، ص، و سلاجقه، ع.، (۱۳۹٤)، "اعتبارسنجی آزمایش‌های واگرایی در خاک‌های با خواص خمیری و پتانسیل واگرایی کم (مطالعه موردی بخشی از مناطق ایران)"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ٤٥، شماره ۳.

- حداد، ع. جاودانیان، ح، و ابراهیم پور، ف.، (۱۳۹٦)، "شناسایی و تثبیت خاک‌های واگرا: مطالعه موردی کانال انتقال آب سیمین دشت-گرمسار"، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد یازدهم، شماره ۱.

-زمردیان، م. و وکیلی، ا.، (۱۳۹۰)، "ارزیابی پتانسیل واگرایی و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رس واگرا تثبیت شده با آهک پوزولان"، نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، جلد ٤۲، شماره ۲.

-تاج‌الدینی، م. زرتاج، ح، و طاهرخانی، ح. (۱۳۹٤)، " بررسی تأثیر افزودن خرده لاستیک صنعتی در خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح رس کائولینتی"، نشریه مهندسی عمران شریف، جلد ۳۳/۲، شماره ۲/۲، ص.۹۹-۱۰۹.

-هادی زاده، و ح. قاسمی، م.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی و مقایسه تأثیر ضایعات کیسه پلیمری و تایر فرسوده بر خصوصیات مقاومتی ماسه رس‌دار تثبیت‌شده با سیمان"، فصلنامه علمی جاده، سال هجدهم، شماره ۱۰۵، دوره چهارم.

-Deepti. M. Zutting. V. and Naktode. P. L., (2020), "Soil Stabilization by using Scrap Tire Rubber", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 9, Issue 06.

-ETRMA. (2012), "End of life tyres - A valuable resource with growing potential".

-ETRMA. (2013), "European Tyre and Rubber Manufacturers Association annual report".

-ETRMA., (2015), "End-of-life Tyre Report 2015", pp. 36.

-Juliana. I. Fatin. A. R. Rozaini. R. Masyitah. M. N. Khairul. A. H. and Nur Shafieza. A., (2020), "Effectiveness of crumb rubber for subgrade soil stabilization", in IOP Conference Series, Materials Science and Engineering.

-Mashiri. M. S.Vinod, M. Sheikh. N. and Tsang H., (2015), "Shear strength and dilatancy behaviour of sand – tyre chip mixtures", Soils Found, pp. 1–12.

-Sharifi. M. Meftahi. M. Naeini. A., (2018), "Influence of waste tire chips on steady state behavior of sand", Journal of Engineering Geology, Vol. 12.

-Shinde. R. S. Divya. K. Geeta. K., (2019), "Stabilization of Soil and Rubber Crumb by using CBR Test", International Journal of Research in Engineering, Science and Management.

-Shrestha. S, Ravichandran. N, Raveendra. M, and Attenhofer .J. A., (2016), "Design and analysis of retaining wall backfilled with shredded tire and subjected to earthquake shaking", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 90, pp. 227–239.

-Yadav. J. Tiwari. S. K., (2018), "Influence of crumb rubber on the geotechnical properties of clayey soil", Environment Development and Sustainability, Vol. 20.

-Yang. Z. Zhang. Q, Shi. W,. Lu. J. Lv, Z, and Ling. X., (2020), "Advances in Properties of Rubber Reinforced Soil", Advances in Civil Engineering.

-Ziaie Moayed.R.and Kamalzare M., (1394), "Improving Physical Characteristics of Collapsible Soil (Case Study: Tehran-Semnan Railroad) ".

A Review of the Use of Crumb Rubber in Improving the Behavioral Properties of Soil

Saeed Ghaffarpour Jahromi, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Mostafa Adresi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Morteza Moghadas Shargh, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

E-mail: m.adresi@sru.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: June 2022

ABSTRACT

Fewer construction projects have not been concerned about the type of construction project bed to have the necessary mechanical and chemical properties, has not been a concern for engineers. Different soils have different mechanical properties, swelling, bearing capacity and settling; therefore, recognizing the types of problematic soils in the project and stabilizing them with suitable materials is very important. These soils can be divided into four types of compacted soils, liquefied soils, divergent soils and swell able soils. At present, wastes such as worn tires and crumbs in addition to cement, etc. can be tested to improve soil properties. Due to their low specific gravity, high tensile strength and high durability, tires can find many applications in civil works, especially geotechnical. In this regard, many researches have been done in recent years. In this research, after introducing different types of problematic soils and examining the characteristics of each, we examined the properties of crumb rubber as a new soil reinforcement material and some applications. We recently reviewed this material for soil stabilization.

Keywords: Soil Stabilization, Problematic Soils, Crumb Rubber, Recycled Rubber