

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای بابل‌س با درصد‌های مختلف سیمان

نیما رنجبر مالی دره، دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

عیسی شوش پاشا، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

سید محمد میرحسینی، استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

مهدی دهستانی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

E-mail: dehestani@nit.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۱

دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۷

چکیده

برای اجرای راه‌های آسفالتی در یک منطقه، در بسیاری مواقع، خصوصاً در زمین‌های سست و باتلاقی نیاز به بهسازی است. در سال‌های اخیر استفاده از خاک مسلح در طراحی راه‌ها، شالوده‌ها و دیوارهای حایل متداول شده است. از طرفی مدیریت پسماندهای جامد با توجه به حجم زیاد و نیاز به زمان طولانی برای تجزیه ضایعاتی نظیر الیاف پلی پروپیلن گونی، علاوه بر نقش موثر آن در چرخه اقتصادی، به عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه در سطح کلان در کشورهای در حال توسعه مطرح است. بنابراین مسلح کردن خاک با استفاده از مواد ضایعاتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش، با انجام یک کار آزمایشگاهی، تاثیر افزودن درصد‌های مختلفی از الیاف پلی پروپیلن گونی بر رفتار و مقادیر پارامترهای مقاومتی ماسه غیرسیمانی و سیمانی (با سه نسبت وزنی ۵، ۷ و ۱۰ درصد و زمان عمل آوری ۷ روز) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که وجود این الیاف تأثیر چشمگیری بر رفتار ماسه غیرسیمانی و سیمانی دارد. افزودن آن‌ها باعث بهبود پارامترهای مقاومتی (ϕ و C)، افزایش مقاومت بیشینه، کرنش گسیختگی و مقاومت پسماند خاک می‌شود. تاثیر این الیاف بر تمامی پارامترهای مورد بررسی در خاک غیرسیمانی بیش‌تر از خاک سیمانی است. همچنین در خاک سیمانی با افزایش درصد سیمان، تاثیر آن‌ها کم‌تر می‌شود. با توجه به پژوهش انجام شده، از این مصالح می‌توان در بستر راه استفاده نمود، که علاوه بر فوائد اقتصادی، فوائد زیست‌محیطی را نیز به همراه دارد.

واژه‌های کلیدی: الیاف پلی پروپیلن گونی، ماسه سیمانی، مقاومت پسماند، کرنش گسیختگی، مقاومت بیشینه

۱. مقدمه

به همین علت در کشورهای مختلف سرمایه گذاری زیادی در توسعه و ساخت راه‌ها و نیز نگهداری راه‌های موجود انجام می‌شود. یکی از مشکلات در راه‌سازی تهیه مصالحی است که دارای مشخصات فنی لازم برای استفاده در لایه‌های روسازی باشند [طاهرخانی، هاشمی و شریفی، ۱۳۹۱]

بستر روسازی، سازه‌ای است که از خاک طبیعی در محل و یا از محل‌های قرضه تشکیل می‌شود تا دیگر لایه‌های دانه‌ای روسازی مانند قشرهای زیراساس، اساس و لایه‌های سطحی روی آن قرار گیرند. کیفیت و پایداری بستر، عامل بسیار مهمی است که تضمین کننده عملکرد و سرویس‌دهی مناسب سازه راه در طول عمر روسازی می‌شود. چالش همیشگی مهندسی در راه‌سازی، مواجه شدن با خاک‌های نامرغوب است که توانایی سرویس‌دهی مناسب را در صورت به کارگیری ندارند [کاوسی و صائبی، ۱۳۹۶]

با توجه اهمیت مقاومت بستر در تعیین ضخامت روسازی‌های انعطاف‌پذیر و نقش آن در خرابی‌های زودرس راه و همچنین ایجاد مقاومت مناسب می‌توان با استفاده از مواد افزودنی به اهداف کاهش قابل توجه مصرف مصالح اساس و زیراساس در ساخت روسازی راه، کاهش هزینه‌های ساخت با توجه به افزایش مقاومت بستر و کاهش خسارات زیست‌محیطی ناشی از برداشت این مصالح از محل قرضه، به حداقل ممکن دست یافت [حسنی، یثربی و صالحی، ۱۳۸۴]

یکی از پرکاربردترین مواد تثبیت کننده برای مقاوم‌سازی بستر راه‌ها سیمان است. افزودن سیمان در عین حالیکه باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود، تردی آن را نیز افزایش می‌دهد. برای رفع این مشکل می‌توان از الیاف طبیعی و مصنوعی نیز به صورت توام با سیمان استفاده نمود. تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از الیاف در تثبیت خاک نشان داد که افزایش میزان الیاف در مخلوط، سبب بهبود رفتار مقاومتی آن می‌شود [Consoli, Tang, Shi and ; Bassani and Festugato, 2010 ; Sadek, Najjar and Freiha, 2010 ; Zhao, 2010 Hannawi, Prince and Bernard, ; Park, 2011].

نتایج بررسی پتانسیل تسلیح ماسه یکنواخت بدانه‌بندی شده توسط خرده‌های بطری پلاستیکی ضایعاتی نشان داد که افزودن

در سال‌های اخیر، رشد جمعیت و توسعه روزافزون ساخت و ساز در شهرهای بزرگ، بدون رعایت مسائل زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی، مشکلات فنی زیادی را به همراه داشته است. از طرفی با گسترش و توسعه شهرها و ایجاد مراکز جمعیتی در کشورهای مختلف و افزایش سطح کیفیت زندگی مردم، سبب مصرف هر چه بیشتر انواع فرآورده‌های تولیدی و به دنبال آن تولید حجم انبوهی از زباله‌ها را در این شهرها به دنبال داشته‌است [یوسفی کبریا، سیدعلیپور، و دهستانی، ۱۳۹۴]

یکی از اجزاء قابل بازیافت این ضایعات، مواد پلیمری مانند پلی‌پروپیلن گونی است که در سال‌های اخیر مصرف آن رو به افزایش است. یکی از راه‌های منطقی در کاهش تخریب و آلودگی محیط‌زیست و افزایش عمر منابع طبیعی، استفاده مجدد و بازیافت از ضایعات تولیدی در بخش‌های مختلف است.

خاک مصالحی است که به خوبی در برابر فشار و برش مقاومت می‌کند، اما قادر نیست در برابر نیروی کششی از خود مقاومت چندانی نشان دهد. روش‌های متعددی جهت بهبود خواص مهندسی خاک وجود دارد. در دهه‌های اخیر، مسلح نمودن خاک با المان‌هایی با توزیع تصادفی یا جهت‌دار مورد توجه مهندسی ژئوتکنیک قرار گرفته است [Anggraini et al., 2015; Botero et al., 2015; Hamidi and Hoorefsand, 2013; Anagnostopoulos, Tzetzis, and Berketis, 2014; Changizi and Haddad, 2015].

اهمیت فراوان جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست به سبب دیرتجزیه‌پذیری ضایعات پلیمری دفع شده مانند پلی‌پروپیلن گونی و از طرفی به دلیل کمبود زمین مناسب برای ساخت و ساز و اهمیت تثبیت خاک‌های سست، محققین زیادی را بر آن داشت تا به بررسی استفاده از این ضایعات در بهبود خواص مهندسی خاک و جایگزینی آن‌ها با مواد معمول بپردازند. از جمله کاربردهای تثبیت خاک می‌توان به بهبود مشخصات مکانیکی پی‌ها، شیروانی‌ها و بستر راه‌ها اشاره نمود.

امروزه راه‌ها، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها در توسعه جوامع بشری اهمیت فراوانی دارد. نقش بسیار مهم راه‌ها در ارتباط بین روستاها، شهرها و کشورها و نیز جابه‌جایی انسان و کالا، غیرقابل انکار است. می‌توان گفت که میزان راه‌های موجود در هر کشوری از مظاهر توسعه یافتگی آن کشور به شمار می‌رود.

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای

که در نمونه‌های با مقدار سیمان کم (حدود ۲ درصد)، خاک انعطاف‌پذیری بیشتری دارد که دلیل آن حضور الیاف و پیوند آن با ذرات خاک است و رفتار مکانیکی خاک بهبود می‌یابد [Chen, et al. 2015]. بررسی تاثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر ویژگی‌های مکانیکی ماسه بادی نشان داد که این الیاف باعث افزایش معنی‌دار زاویه اصطکاک داخلی و ظرفیت باربری خاکشد [عابدی کوپایی، سلطانیان و قیصری، ۱۳۹۴]

بررسی تثبیت خاک نامرغوب ساحلی جزیره قشم با استفاده از سیمان و الیاف نخل خرما برای بستر روسازی نشان داد که افزودن الیاف، با ثابت نگه داشتن درصد سیمان موجب کاهش حداکثر چگالی خشک خاک و افزایش رطوبت بهینه تراکم شد. همچنین افزودن الیاف سبب افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی نمونه‌ها و نیز موجب ارتقاء قابل توجه مقادیر CBR هم در نمونه‌های اشباع و هم در نمونه‌های با رطوبت بهینه شد [کاوسی و صائبی، ۱۳۹۶]

بررسی آزمایشگاهی تثبیت بستر خاکی ریزدانه با استفاده از نانو رس با انجام آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری و تحکیم نشان داد که مقاومت برشی، خاصیت چسبندگی و تراکم‌پذیری خاک افزایش و زاویه شکست و نسبت تخلخل نهایی کاهش یافت. در نتیجه با ترکیب ماده نانو رس به خاک، پایداری و استحکام خاک بیشتر شده و مشکلات ناشی از فرسایش بستر کاهش می‌یابد [بهاری و شاه نظری، ۱۳۹۵].

نتایج بررسی ساخت راه در بستر ماسه‌ای روان با استفاده از پوزولان و آهک نشان داد که علاوه بر افزایش مقاومت، پایداری مناسبی در حالت اشباع در این بسترها ایجاد می‌شود [حسنی، یثربی و صالحی، ۱۳۸۴].

با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق درصدهای مختلف الیاف بازیافتی از کیسه گونی از جنس پلی پروپیلن (پلی پروپیلن گونی) و سیمان در مسلح نمودن خاک ماسه‌ای بابلسر مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

در این بخش اطلاعات مربوط به مصالح مورد استفاده و چگونگی انجام آزمایش‌ها آورده شده است.

۲-۱ مواد

این ضایعات به خاک، سبب افزایش مقاومت نمونه مسلح در مقایسه با نمونه غیرمسلح می‌شود [نجف زاده شوکی، ۱۳۹۲] نتایج حاصل از بررسی اثر طول ضایعات پلاستیکی بر مقاومت برشی خاک ماسه‌ای نشان داد که با افزایش طول الیاف، مقاومت بیشینه خاک افزایش می‌یابد [شاگری، ۱۳۹۴] همچنین افزودن خرده‌های بطری به خاک ماسه‌ای سبب افزایش زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی می‌شود [اژدرپور، نیکودل و محمدی، ۱۳۹۴]

نتایج بررسی تاثیر مسلح نمودن ماسه سیمانی با الیاف پلی اتیلن ترفتلات بر رفتار مکانیکی آن، نشان داد که با افزودن الیاف مقاومت بیشینه، مقاومت پسماند و کرنش گسیختگی افزایش می‌یابد [Malidarreh, Shooshpasha, Mirhosseini, and Dehestani, 2017] نتایج بررسی رفتار خاک لایه‌ای اصلاح شده با الیاف مجزا و سیمان، نشان داد که تسلیح خاک با الیاف مجزا هر دو عامل مقاومت بیشینه و مقاومت پسماند را افزایش می‌دهد و رفتار ترد خاک سیمانی را به سمت انعطاف‌پذیری بیش‌تر تغییر می‌دهد. همچنین به واسطه جلوگیری از شکل‌گیری ترک‌های کششی، به طرز چشم‌گیری ساز و کار شکست را تغییر می‌دهد [Consoli, Vendruscolo and Prietto, 2003]. انجام آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی‌شده روی ماسه مسلح با الیاف نشان داد که در فشارهای همه‌جانبه پایین‌تر از تنش همه‌جانبه بحرانی، گسیختگی به واسطه ترکیبی از لغزش و کش آمدگی الیاف است. اما پس از تنش همه‌جانبه بحرانی، گسیختگی در اثر کش آمدن الیاف است و در این حالت هیچ‌گونه گسیختگی در الیاف رخ نمی‌دهد. زیرا الیاف پلی‌پروپیلن بسیار قابل انبساط هستند و کرنش لازم برای گسیختگی آن‌ها در محدوده شرایط کرنش آزمایش به وجود نمی‌آید [Consoli, et al., 2007]. تاثیر توزیع الیاف پلی‌پروپیلن کوتاه بر مقاومت فشاری قابل توجه است. همچنین اضافه کردن الیاف باعث افزایش چشمگیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی می‌شود [Jiang, Cai, and Liu, 2010; Diambra, et al. 2010]. ارزیابی آزمایشگاهی اثرگذاری الیاف پلی‌پروپیلن بر روی رس نرم شانگهای تثبیت شده با سیمان و مسلح به الیاف، روشی جدید برای استفاده از این ضایعات پلیمری در پروژه‌های ساخت اساس و زیراساس در روسازی جاده‌ها ارائه کرد. نتایج نشان داد

مقاومت فشاری (kg/cm^2)	۷ روزه	410 ± 18
چگالی ویژه (gr/cm^3)	۲۸ روزه	500 ± 19
سطح مخصوص (cm^2/gr)		$3/14 \pm 0/2$
زمان گیرش (min)	اولیه	3350 ± 50
	نهایی	140 ± 25
		280 ± 25

۲-۱-۳ الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی

الیاف پلی پروپیلن گونی مورد استفاده در این پژوهش از ضایعات کارخانه تولید گونی پلی پروپیلن تهیه شده است. دانسیته پلاستیک پلی پروپیلن برابر با $0/9$ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و دمای ذوب آن در حدود 170 درجه سانتیگراد است. این پلاستیک در برابر اسیدها و بازها مقاوم و دارای مقاومت کششی قابل قبولی است. الیاف پلی پروپیلن گونی مورد استفاده در این آزمایش به طول 15 میلی متر بریده شده و مورد استفاده قرار گرفتند. شکل ظاهری الیاف مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل ۲ است.



(الف)



(ب)

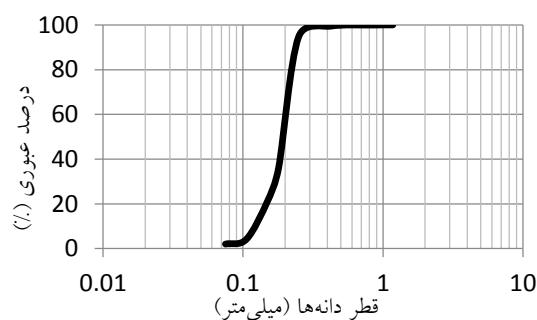
شکل ۲. الیاف پلی پروپیلن گونی: الف- شکل ظاهری الیاف در پژوهش، ب- الیاف برش داده شده به طول 15 میلی متر

۲-۲ روشها

مصالح مورد استفاده در این پژوهش شامل ماسه بابلسر، سیمان پرتلند تیپ ۳ و الیاف بازیافتی از کیسه گونی از جنس پلی پروپیلن (پلی پروپیلن گونی) است.

۲-۱-۲ ماسه ها

در این پژوهش از خاک ماسه‌ای سواحل بابلسر با چگالی $2/74$ استفاده شد. وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل این ماسه مطابق $ASTM-D4253-93$ و $ASTM-D4254-91$ به ترتیب $1/74$ و $1/48$ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد. نسبت پوکی حداقل و حداکثر این ماسه نیز به ترتیب $0/58$ و $0/86$ است. برای پی بردن به نحوه توزیع اندازه دانه‌ها، آزمایش دانه‌بندی با الک بر اساس $ASTM-D422$ انجام شد. منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل ۱ است.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی ماسه بابلسر

۲-۱-۲ سیمان پرتلند تیپ ۳

در این پژوهش از سیمان پرتلند تیپ ۳ کارخانه سیمان نکا استفاده شد. مشخصات فیزیکی و مکانیکی این سیمان مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و مکانیکی سیمان پرتلند تیپ ۳



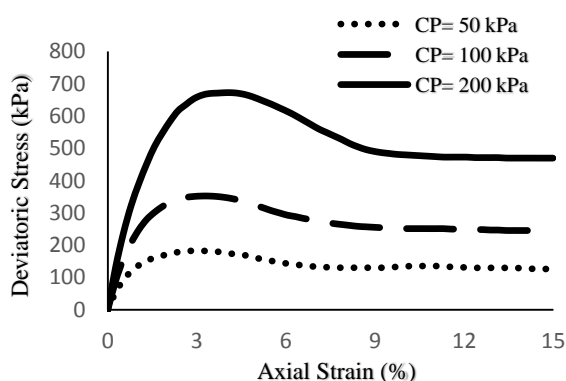
(الف) (ب)

شکل ۳. الف: مخلوط ماسه و الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی،
ب: نمونه آماده شده قبل از انجام آزمایش سه محوری

۳. نتایج و بحث

۱-۳ منحنی‌های تنش- کرنش

شکل ۴ و ۵ به ترتیب منحنی تنش-کرنش محوری نمونه شاهد و منحنی‌های تنش-کرنش نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف سیمان با الیاف مجزا با توزیع تصادفی (منظور از علائم اختصاری CP^1 و FC^2 در نمودارها به ترتیب فشار محصور شده و مقدار الیاف است) را نشان می‌دهند.



شکل ۴. منحنی تنش-کرنش محوری نمونه شاهد در فشارهای دورگیر مختلف

۲-۲-۱ آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده

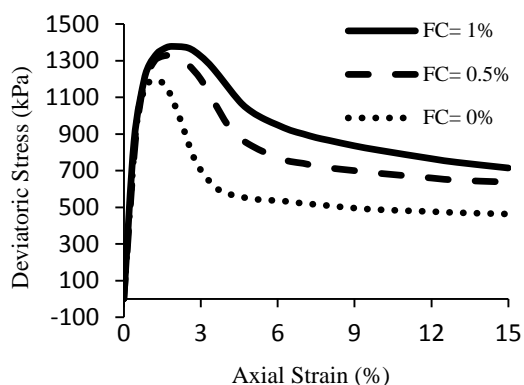
در این پژوهش، به منظور بررسی مشخصات و پارامترهای مقاومتی، آزمایش سه‌محوری بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای بدست آوردن پوش گسیختگی، تمامی آزمایش‌های سه محوری در سه فشار دورگیر ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال در حالت تحکیم یافته زهکشی شده بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد 38×76 میلی‌متر (38 میلی‌متر قطر قائده و 76 میلی‌متر ارتفاع) انجام شد. هدف این آزمایش تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک است.

۲-۲-۲ ساخت نمونه

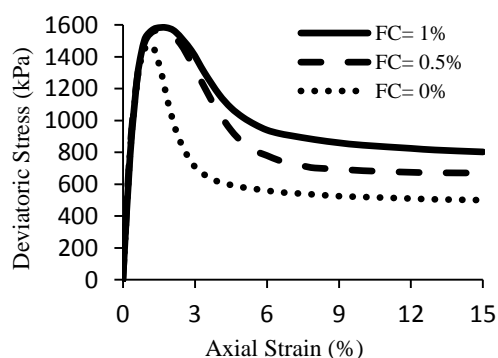
به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها، نخست سیمان (با نسبت‌های وزنی ۳، ۵ و ۷ درصد)، سپس آب و در ادامه الیاف (با درصد‌های ۰، ۵ و ۱۰ درصد) به خاک اضافه و مصالح مخلوط شد تا به صورت کاملاً همگن در آید. سپس برای تهیه نمونه‌های سه محوری مطابق $ASTM D4746-88$ and $D2850-87$ ، مخلوط همگن با تراکم نسبی ۷۰ درصد، در سه لایه در داخل قالب دوتکه (با قطر ۳۸ و ارتفاع ۷۶ میلی‌متر و یک یقه به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر) با روش تراکم مرطوب کوبیده شد. پس از ساخت، نمونه توسط دو کیسه پلاستیکی محبوس شد تا به مدت ۷ روز در شرایط رطوبتی ثابت عمل‌آوری شود. از آنجایی که تمام آزمایش‌های این پژوهش در حالت کاملاً خشک انجام شد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در گرم‌خانه با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین برای مشاهده بهتر تاثیر این الیاف نمونه ماسه‌ای بدون سیمان و الیاف به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. شکل ۳-الف تصویری از الیاف مخلوط شده با خاک و شکل ۳-ب نمونه‌ای از مخلوط خاک و الیاف پلی پروپیلن گونی را قبل از آزمایش سه محوری نشان می‌دهد.

می‌شود. سختی اولیه نمونه‌های مسلح (شیب اولیه نمودار تنش- کرنش) چندان تحت تاثیر عمل تسلیح نیست و شیب اولیه نمودار برای نمونه‌های مسلح و غیرمسلح تقریباً یکسان است.

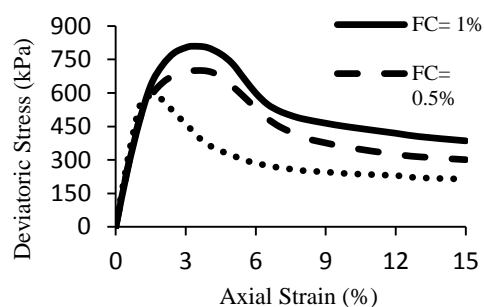
شکل ۶ و ۷ منحنی‌های تنش- کرنش ماسه سیمانی مسلح با درصد‌های مختلف الیاف پلی پروپیلن گونی به ترتیب با ۵ و ۷ درصد سیمان را نشان می‌دهد (در این بخش به دلیل زیاد شدن حجم نمودارها، تنها منحنی تنش- کرنش در فشار دورگیر ۱۰۰ کیلوپاسکال ارائه شده است).



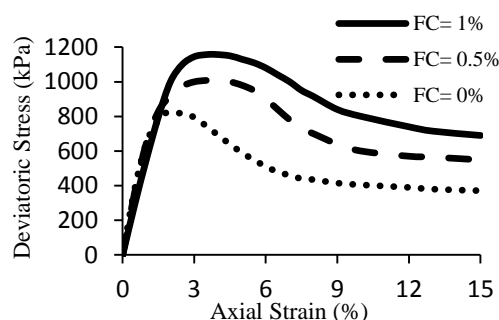
شکل ۶. منحنی تنش-کرنش محوری ماسه سیمانی مسلح با درصد‌های مختلف پلی پروپیلن گونی و ۵ درصد سیمان در فشار دورگیر ۱۰۰ کیلوپاسکال



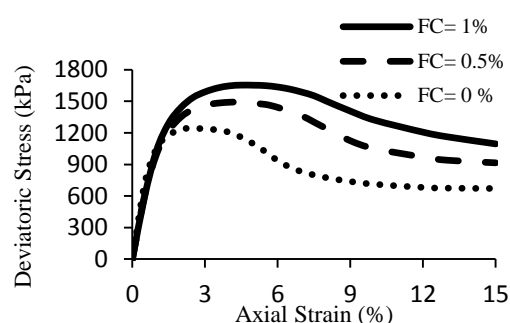
شکل ۷. منحنی تنش-کرنش محوری ماسه سیمانی مسلح با درصد‌های مختلف پلی پروپیلن گونی و ۷ درصد سیمان در فشار دورگیر ۱۰۰ کیلوپاسکال



(الف)



(ب)

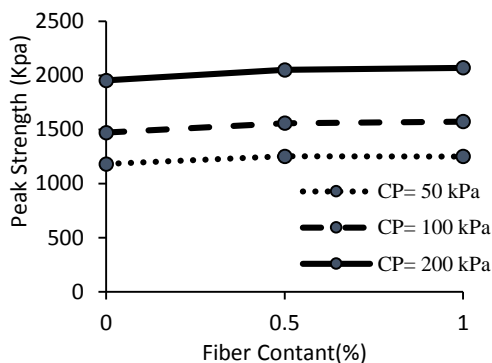


(ج)

شکل ۵. منحنی تنش-کرنش محوری ماسه سیمانی مسلح با درصد‌های مختلف الیاف پلی پروپیلن گونی و ۳ درصد سیمان در فشارهای دورگیر: الف- ۵۰ کیلوپاسکال، ب- ۱۰۰ کیلوپاسکال، ج- ۲۰۰ کیلوپاسکال در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده

با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ و مقایسه آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که وجود الیاف باعث افزایش مقاومت بیشینه نمونه‌ها می‌شود. افزایش درصد الیاف موجب افزایش قابل ملاحظه در مقاومت پسماند و کرنش گسیختگی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای



(ج)

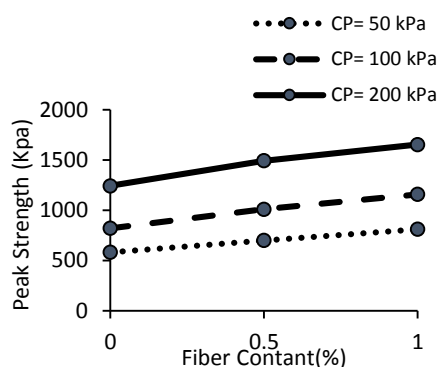
ادامه شکل ۸ مقاومت بیشینه خاک ماسه سیمانی مسلح بر حسب نسبت وزنی الیاف حاوی: الف-۳ درصد سیمان، ب-۵ درصد سیمان، ج-۷ درصد سیمان

با توجه به شکل ۸ و نمودارهای تنش- کرنش ارائه شده در بخش قبل، ملاحظه می‌شود که در تمامی حالات، با افزودن الیاف به خاک سیمانی، مقاومت بیشینه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد الیاف نیز مقادیر مقاومت بیشینه روند افزایشی تقریباً یکنواختی دارد. با توجه به شکل ۸-الف، به وضوح می‌توان مشاهده نمود که در یک نسبت الیاف ثابت، با افزایش فشار دورگیر، نسبت افزایش مقاومت ابتدا افزایش (از فشار دورگیر ۵۰ به ۱۰۰ کیلوپاسکال) و در ادامه (از فشار دورگیر ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوپاسکال) کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، برای نمونه سیمانی مسلح با یک درصد الیاف پلی پروپیلن گونی، نسبت افزایش مقاومت برای فشارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ به ترتیب برابر ۱/۳۹، ۱/۴۱ و ۱/۳۲ است. البته باید اشاره کرد که مقدار عددی افزایش مقاومت روند صعودی دارد و مقدار آن برای نمونه یاد شده به ترتیب برابر ۸۱۰، ۱۱۵۸ و ۱۶۵۳ کیلوپاسکال است. دلیل افت مقدار نسبت افزایش مقاومت از فشار دورگیر ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوپاسکال این است که نمونه خاک سیمانی بدون الیاف در فشارهای بالاتر، خود دارای مقاومت بالایی است و این امر سبب می‌شود الیاف نتوانند به آن اندازه که به افزایش مقاومت همین نمونه در فشارهای پایین می‌توانند کمک کنند، در فشار

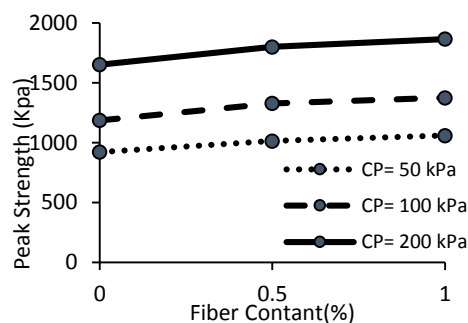
با توجه به شکل ۵ و مقایسه آن با شکل‌های ۶ و ۷، مشاهده می‌شود که تاثیر الیاف در نمونه‌های با ۷ درصد سیمان به مراتب کم‌تر از نمونه‌های با ۵ درصد سیمان است (و بالتبع بسیار کمتر از تاثیر الیاف بر نمونه‌های با ۳ درصد سیمان). با توجه به بحث‌های ارائه شده، می‌توان به این نتیجه رسید که تاثیر الیاف در درصد‌های پایین‌تر سیمان چشمگیرتر است و در درصد‌های بالاتر سیمان، این سیمان است که نقش اصلی را در چگونگی رفتار خاک ایفا می‌کند و الیاف تاثیر کمتری دارند.

۲-۳ مقاومت بیشینه

تغییرات مقاومت بیشینه نمونه‌های سیمانی غیرمسلح و مسلح با درصد‌های مختلف سیمان و الیاف پلی پروپیلن گونی در آزمایش سه‌محوری مطابق شکل ۸ است.

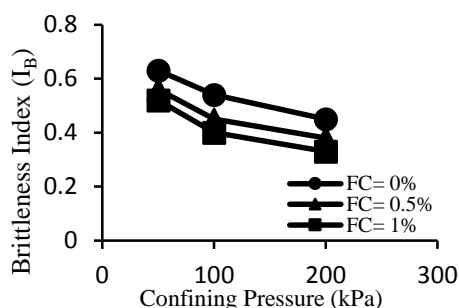


(الف)

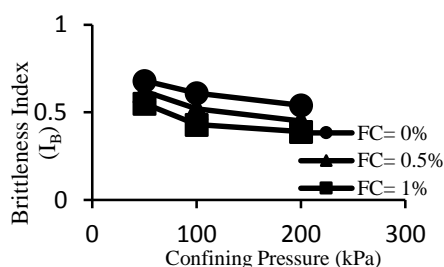


(ب)

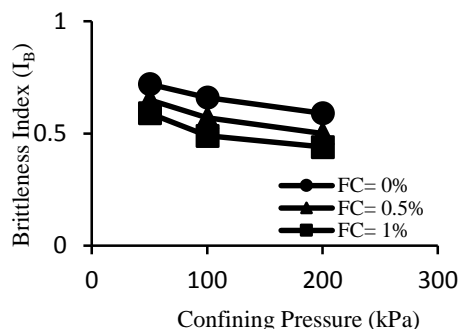
شکل ۸ مقاومت بیشینه خاک ماسه سیمانی مسلح بر حسب نسبت وزنی الیاف حاوی: الف-۳ درصد سیمان، ب-۵ درصد سیمان، ج-۷ درصد سیمان



(الف)



(ب)



(ج)

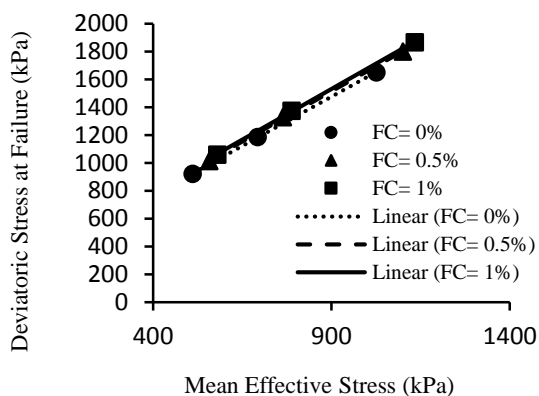
شکل ۹. ضریب شکنندگی خاک سیمانی مسلح بر حسب فشار دورگیر، برای نسبت‌های وزنی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن گونی با: الف- ۳ درصد سیمان، ب- ۵ درصد سیمان و ج- ۷ درصد سیمان با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که با زیاد شدن نسبت وزنی الیاف، ضریب شکنندگی کم می‌شود که به معنی کاهش افت مقاومت پس از مقاومت بیشینه و انعطاف‌پذیرتر شدن رفتار خاک است. همچنین با افزایش درصد الیاف و فشار دورگیر، ضریب شکنندگی کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد با وجود اینکه در درصد‌های سیمان بیشتر، تاثیر الیاف بر مقاومت بیشینه افت چشمگیری دارد، اما همچنان تاثیر قابل قبولی بر مقاومت پسماند

بالا نیز تاثیرگذار باشند. همچنین دلیل زیاد شدن مقدار عددی افزایش مقاومت و نسبت افزایش مقاومت از فشار دورگیر ۵۰ به ۱۰۰ کیلوپاسکال این است که در فشارهای بالا، میزان اندرکنش بین ذرات خاک و مصالح تسلیح‌کننده بیشتر است و این امر موجب کارایی هرچه بیشتر تر این الیاف در توده خاک و در نهایت منجر به افزایش هرچه بیشتر مقاومت در خاک می‌شود. با مقایسه نمونه‌های با ۳، ۵ و ۷ درصد سیمان، می‌توان مشاهده نمود که شیب نمودارها با افزایش درصد سیمان کمتر و با افزایش نسبت وزنی الیاف از ۰/۵ به ۱ درصد، شیب نمودار بسیار به افق نزدیک شده است که به منزله تاثیر اندک افزایش نسبت وزنی الیاف در ۷ درصد سیمان است.

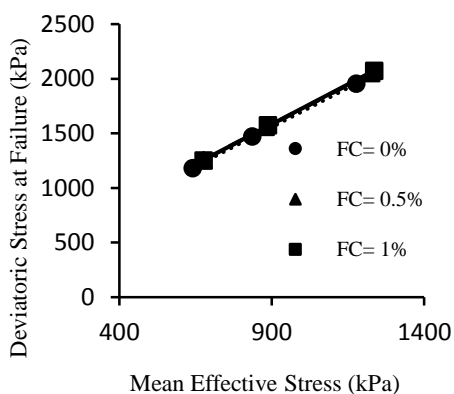
۳-۳ مقاومت پسماند

منظور از مقاومت پسماند، مقاومتی است که خاک پس از گسیختگی از خود نشان می‌دهد و معمولاً مقاومت در کرنش ۱۵ درصد، مقاومت پسماند در نظر گرفته می‌شود. هر چه که میزان افت مقاومت پس از مقاومت بیشینه کم تر باشد، بدان معنی است که پس از گسیختگی و در تغییر شکل‌های بالا، خاک همچنان بخش زیادی از مقاومت خود را حفظ می‌نماید و سازه روی آن آسیب کم‌تری خواهد دید. در اینجا، ضریب شکنندگی به عنوان شاخصی برای نشان دادن میزان انعطاف‌پذیری خاک تعریف شد. این ضریب، نسبت تفاضل مقاومت بیشینه و مقاومت پسماند به مقاومت بیشینه است. هرچه این ضریب به صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر این است که مقاومت پسماند نمونه به مقاومت بیشینه آن نزدیک‌تر است و رفتار نمونه شکل‌پذیرتر است. شکل ۹ نمودار ضرایب شکنندگی خاک سیمانی مسلح بر حسب فشار دورگیر، برای نسبت‌های وزنی مختلف الیاف پلی‌پروپیلن گونی با ۳، ۵ و ۷ درصد سیمان در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده را نشان می‌دهد.

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای



(ب)



(ج)

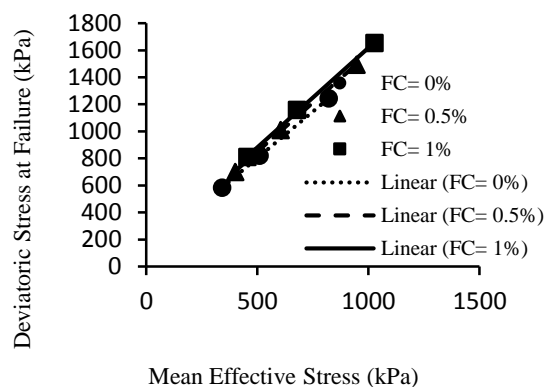
ادامه شکل ۱۰. پوش گسیختگی ماسه سیمانی غیر مسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی، با نسبت‌های وزنی مختلف و حاوی: الف- ۳ درصد سیمان، ب- ۵ درصد سیمان و ج- ۷ درصد سیمان

از شکل ۱۰ می‌توان مشاهده نمود که با افزایش نسبت وزنی الیاف، پوش گسیختگی به سمت بالا حرکت می‌کند و همچنین شیب آن بیش‌تر می‌شود که بیانگر بیش‌تر شدن زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه است. حضور الیاف در خاک باعث تغییر ساختار خاک می‌شود. این تغییر ساختار در جهت مثبت بوده، به گونه‌ای که مشخصات مقاومتی خاک را بهبود می‌بخشد. با توجه به اینکه در فشارهای بالاتر، میزان اندرکنش بین ذرات خاک و الیاف بیشتر می‌شود، شیب پوش گسیختگی نیز اندکی بیشتر می‌شود که این امر موجب افزایش زاویه اصطکاک داخلی

و کاهش ضریب شکنندگی دارند. دلیل این موضوع آن است که الیاف در کشش عمل می‌کنند و هنگامی که در راستای جهت کرنش کششی اصلی قرار می‌گیرند، بیشترین کارایی را خواهند داشت. بنابراین هرچه که از شروع بارگذاری انحرافی در آزمایش سه‌محوری فشاری بگذرد، کرنش‌های کششی در نمونه ماسه‌ای متراکم بیشتر می‌شود.

۳-۴ پارامترهای مقاومتی

در این بخش، با ارائه پوش گسیختگی خاک سیمانی غیر مسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی، به بررسی تأثیر این الیاف بر پارامترهای مقاومتی خاک (ϕ و C) پرداخته می‌شود. شکل ۱۰ نمودار پوش گسیختگی ماسه سیمانی غیر مسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی، با نسبت‌های وزنی مختلف و درصد‌های مختلف سیمان را در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده را نشان می‌دهد.



(الف)

شکل ۱۰. پوش گسیختگی ماسه سیمانی غیر مسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی، با نسبت‌های وزنی مختلف و حاوی: الف- ۳ درصد سیمان، ب- ۵ درصد سیمان و ج- ۷ درصد سیمان

۴. نتیجه گیری

با انجام آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده بر روی ماسه خشک سیمانی بابلسر، مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی با توزیع تصادفی (با نسبت های وزنی مختلف) این نتایج به دست آمده است:

- یکی از پرکاربردترین مواد تثبیت کننده برای مقاوم سازی بستر راه ها سیمان است. افزودن سیمان در عین حالیکه باعث افزایش مقاومت خاک می شود، تردی آن را نیز افزایش می دهد. برای رفع این مشکل، افزودن الیاف به خاک موجب کاهش ضریب شکنندگی و به عبارتی افزایش شکل پذیری می شود که بسیار حائز اهمیت است. با افزایش نسبت وزنی الیاف، ضریب شکنندگی کاهش می یابد.

- وجود الیاف باعث افزایش مقاومت بیشینه نمونه ها می شود.
- کرنش گسیختگی و مقاومت پسماند نمونه های مسلح بیش تر از نمونه های شاهد است. افزایش درصد الیاف موجب افزایش قابل ملاحظه در مقاومت پسماند و کرنش گسیختگی نیز می شود.

- سختی اولیه نمونه های مسلح (شیب اولیه نمودار تنش-کرنش) چندان تحت تاثیر عمل تسلیح نیست و شیب اولیه نمودار برای نمونه های مسلح و غیرمسلح تقریباً یکسان است. از نمودارها می توان مشاهده نمود که مشارکت الیاف در افزایش مقاومت برشی، در تغییر شکل های بالاتر، بیش تر است.

- تاثیر الیاف در نمونه های با ۷ درصد سیمان به مراتب کم تر از نمونه های با ۵ درصد سیمان است (و بالتبع بسیار کمتر از تاثیر الیاف بر نمونه های با ۳ درصد سیمان). با توجه به بحث های ارائه شده، تاثیر الیاف در درصدهای پایین تر سیمان چشمگیرتر است و در درصدهای بالاتر سیمان، این سیمان است که نقش اصلی را در چگونگی رفتار خاک

می شود. جدول ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه های سیمانی غیرمسلح و مسلح با نسبت های وزنی مختلف الیاف پلی پروپیلن گونی را نشان می دهد.

جدول ۲. زاویه اصطکاک داخلی نمونه های سیمانی غیرمسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی با درصدهای مختلف سیمان

نسب وزنی الیاف (درصد)	زاویه اصطکاک داخلی الیاف پلی پروپیلن گونی (درجه)		
صفر	۳	۵	۷
۰/۵	۴۳	۴۵	۴۶
۱	۴۷	۴۶	۴۷
	۴۸	۴۷	۴۷

جدول ۳. چسبندگی نمونه های سیمانی غیرمسلح و مسلح با الیاف پلی پروپیلن گونی با درصدهای مختلف سیمان

نسب وزنی الیاف (درصد)	چسبندگی الیاف پلی پروپیلن گونی (کیلو پاسکال)		
صفر	۳	۵	۷
۰/۵	۷۷	۱۴۰	۱۸۶
۱	۸۷	۱۵۰	۱۹۶
	۱۰۲	۱۵۷	۱۹۲

مطابق جدول ۲ و ۳، مشاهده می شود که در درصد سیمان ثابت، با افزایش نسبت وزنی الیاف، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نمونه ها افزایش می یابد. همچنین با بررسی زاویه اصطکاک داخلی نمونه ها در یک نسبت وزنی ثابت الیاف مشاهده می شود که تاثیر الیاف در نمونه حاوی ۳ درصد سیمان بیشتر از نمونه های حاوی ۵ و ۷ درصد سیمان است. اما بررسی چسبندگی نمونه ها در یک نسبت وزنی ثابت الیاف نشان می دهد که با افزایش درصد سیمان، چسبندگی نمونه ها نیز افزایش می یابد.

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای

-بهارى، مرضيه، شاه نظرى، على (۱۳۹۴) "بررسی آزمایشگاهی تثبیت بستر خاکی ریزدانه با استفاده از نانورس" فصلنامه علمی پژوهشی علوم آب و خاک، دوره ۱۹، شماره ۷۲، ص ۱۰۷-۱۱۳.

-حسنی، ابوالفضل، یثربی، سیدشهاب الدین و صالحی، محسن (۱۳۸۹) "ساخت راه در بستر ماسه ای روان با استفاده از پوزولان و آهک" پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۱، شماره ۱، ص ۵۷-۶۴.

- شاکری، پردیس (۱۳۹۳) "بررسی رفتار مکانیکی ماسه بابلسر مخلوط با ضایعات پلاستیکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، استاد راهنما: رضا نورزاد، مازندران: دانشکده فنی-مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

- طاهرخانی، حسن، هاشمی، علی و شریفی، وحید (۱۳۹۱) "بررسی استفاده از مواد تثبیت کننده نانوپلیمر CBR PLUS برای ساخت لایه های روسازی راه"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۳، شماره ۴، تابستان ۱۳۹۱، ص ۳۴۷-۳۳۹.

-عابدی کوپایی، جهانگیر، سلطانیان، سمانه و قیصری، مهدی (۱۳۹۴) "تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر ویژگی های مکانیکی ماسه بادی"، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۹، ص ۳۱-۲۲.

-کاووسی، امیر و صائبی، جواد (۱۳۹۵) "تثبیت خاک نامرغوب ساحلی با استفاده از سیمان و الیاف نخل خرما برای بستر روسازی ها"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی زیر ساخت های حمل و نقل، دوره ۲، شماره ۴، ص ۶۱-۷۲.

-نجف زاده شوکی، ام لیلا و مقدس تفرشی، سید ناصر (۱۳۹۲) "بررسی رفتار آزمایشگاهی مخلوط خاک و خرده پلاستیک ضایعاتی" پایان نامه کارشناسی ارشد خاک و پی، استاد راهنما: سید ناصر تفرشی، تهران: دانشکده فنی-مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

ایفا می‌کند. دلیل این موضوع بالا رفتن چشمگیر مقاومت ماسه با افزایش سیمان و بالتبع کم شدن توانایی الیاف برای کمک هرچه بیش تر به نمونه مورد نظر است (هرچه درصد سیمان بالاتر می‌رود، سیمان عامل تعیین کننده تر است).

- در هر درصد سیمان، با افزایش نسبت وزنی الیاف، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی افزایش می‌یابد.
- سایر پژوهش های انجام شده در زمینه کاربرد الیاف در تثبیت بستر راه‌ها، غالبا از الیاف مویی شکل استفاده نمودند. استفاده از الیاف مویی شکل در پروژه‌های اجرائی تثبیت خاک، به دلیل وقوع پدیده گلوله شدن الیاف در خاک مانع از اختلاط درست و همگن آن‌ها می‌شود. در این پژوهش به دلیل ساختار فیزیکی و ظاهری الیاف گونی عمل اختلاط به سادگی قابل انجام بوده و مشکل پدیده گلوله شدن وجود ندارد.
- استفاده از الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی علاوه بر فوائد زیست محیطی و اقتصادی، موجب بهبود رفتار مقاومتی و شکل پذیری ماسه سیمانی به عنوان مصالح بستر راه نیز می‌شود.

۵. پی نوشت ها

1. CP: Confined Pressure
2. FC: Fiber Content

۶. مراجع

-ازدرپور، مهیار، نیکودل، محمدرضا و محمدی، سید داود (۱۳۹۴) "ارزیابی نقش خرده‌های بطری بازیافتی و فیبرلاستیک فرسوده بر رفتار مهندسی خاک ماسه‌ای" فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، شاخه مهندسی محیط زیست، دوره ۹۵-۲۴، ص ۱۳۵-۱۴۰.

behavior of fiber-reinforced sand considering triaxial tests under distinct stress paths", Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, Vol.133, No.11, pp. 1466-1469.

-Consoli, N. C., Vendruscolo, M. A. and Prietto, P. D. M. (2003) "Behavior of plate load tests on soil layers improved with cement and fiber", Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, Vol.129, No.1, pp. 96-101.

-Diambra, A., Ibraim, E., Wood, D. M. and Russell, A. R. (2010) "Fibre reinforced sands: Experiments and modelling", Geotextiles and Geomembranes, Vol.28, No.3, pp. 238-250.

-Hamidi, A., and Hooresfand, M. (2013) "Effect of fiber reinforcement on triaxial shear behavior of cement treated sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol.36, pp.1-9.

-Hannawi, K., Prince, W. and Bernard, S. K. (2012) "Strain capacity and cracking resistance improvement in mortars by adding plastic particles", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.25, No.11, pp. 1602-1610.

-Jiang, H., Cai, Y. and Liu, J. (2010) "Engineering properties of soils reinforced by short discrete polypropylene fiber", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 22, No.12, pp. 1315-1322.

-Malidarreh, N. R., Shooshpasha, I., Mirhosseini, S. M. and Dehestani, M. (2017) "Effects of reinforcement on mechanical behaviour of cement treated sand using direct shear and triaxial tests", International Journal of Geotechnical Engineering, pp. 1-9.

-Park, S. S. (2011) "Unconfined compressive strength and ductility of fiber-reinforced cemented sand", Construction and Building Materials, Vol.25, No.2, pp. 1134-1138.

-یوسفی کبریا، داریوش، سیدعلیپور، سیده فاطمه و دهستانی، مهدی (۱۳۹۴) "تعیین درصد بهینه اختلاط پسماند مقواسازی در تهیه بتن سبک غیرباربر"، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط-زیست، دوره ۱۷، شماره ۳، ص ۱۷۱-۱۸۸.

-Anagnostopoulos, C. A., Tzetzis, D. and Berketis, K. (2014) "Shear strength behaviour of polypropylene fibre reinforced cohesive soils", Geomechanics and Geoengineering, Vol.9, No.3, pp.241-251.

-Anggraini, V., Asadi, A., Huat, B. B. and Nahazanan, H. (2015) "Effects of coir fibers on tensile and compressive strength of lime treated soft soil", Measurement, Vol.59, pp. 372-381.

-Botero, E., Ossa, A., Sherwell, G., and Ovando-Shelley, E. (2015) "Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate (PET)", Geotextiles and Geomembranes, Vol.43, No.4, pp.363-369.

-Changizi, F. and Haddad, A. (2015) "Strength properties of soft clay treated with mixture of nano-SiO₂ and recycled polyester fiber", Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.7, No.4, pp. 367-378.

-Chen, M., Shen, S. L., Arulrajah, A., Wu, H. N., Hou, D. W. and Xu, Y. S. (2015) "Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay", Geotextiles and Geomembranes, Vol.43, No.6, pp. 515-523.

-Consoli, N. C., Bassani, M. A. A. and Festugato, L. (2010) "Effect of fiber-reinforcement on the strength of cemented soils", Geotextiles and Geomembranes, Vol.28, No.4, pp. 344-351.

-Consoli, N. C., Heineck, K. S., Casagrande, M. D. T. and Coop, M. R. (2007) "Shear strength

بررسی عملکرد الیاف بازیافتی پلی پروپیلن گونی بر پارامترهای مقاومتی خاک ماسه‌ای

-Tang, C. S., Shi, B. and Zhao, L. Z. (2010)
"Interfacial shear strength of fiber reinforced soil", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 28, No.1, pp. 54-62.

-Sadek, S., Najjar, S. S., and Freiha, F. (2010)
"Shear strength of fiber-reinforced sands", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.136, No.3, pp. 490-499.

نیما رنجبر مالی دره، عیسی شوش پاشا، سید محمد میرحسینی، مهدی دهستانی

نیما رنجبر مالی دره، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک را در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه مازندران اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان خاک مسلح، ژئوتکنیک زیست محیطی و بهسازی خاک بوده و در حال حاضر دانشجوی دکتری رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک است.



عیسی شوش پاشا، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۶۵ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک در سال ۱۳۷۱ شمسی (۱۹۹۳ میلادی) را از دانشگاه مک گیل مونترال کانادا اخذ نمود. در سال ۱۳۷۴ (۱۹۹۶ میلادی) موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک از دانشگاه مک گیل مونترال کانادا گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهسازی خاک، روانگرایی، پایداری شیروانی و.. بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است.



سید محمد میرحسینی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه فردوسی مشهد و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-سازه در سال ۱۳۸۷ را از همان دانشگاه اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-سازه از دانشگاه علوم تحقیقات گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان اندرکنش خاک و سازه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار (پایه ۴) در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک است.



مهدی دهستانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران-عمران را در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-سازه را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-سازه و زلزله از دانشگاه صنعتی شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان بتن، کامپوزیت و مصالح در توسعه پایدار، ارزیابی چرخه عمر، تعمیر و نگهداری، قابلیت اعتماد و خطرپذیری در مواد و سازه بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است.

