مطالعه آزمایشگاهی بررسی و مقایسه تاثیر الیاف شیشه نوع E و AR در تثبیت ماسه بادی و پارامترهای مقاومتی آن در بستر راه‌ها

مقاله علمی - پژوهشی

آناهیتا فرشادی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
محمد عبدلی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
حمید مهرنهاد*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hmehrnahad@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵
صفحه ۲۰۸-۱۹۷

چکیده

امروزه با گسترش جمعیت، نیاز به پروژه‌های عمرانی افزایش یافته است و با توجه به اینکه خاک یکی از ابتدایی‌ترین و مهمترین بخش‌ها در اجرای یک پروژه است نیاز به خاک ایده‌آل بیشتر احساس می‌شود. در پروژه‌های راهسازی نیاز به بستر مناسب برای اجرای پروژه، بسیار ضروری است. بسیاری از انواع خاک مثل ماسه بادی، برای راهسازی مناسب نبوده و نیاز به انجام عملیات‌هایی برای آماده‌سازی این خاک‌ها برای بستر راه وجود دارد. در بسیاری از موارد نیاز به تعویض خاک بستر وجود دارد، اما این روش بسیار گران بوده و زمان اجرای پروژه را طولانی‌تر می‌کند. از آنجا که رسیدن به خاک ایده‌آل برای اجرای پروژه‌های راهسازی دشوار است، بهسازی خاک انجام می‌گیرد. بهسازی خاک به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود که یکی از این روش‌ها، افزودن مواد مختلف به خاک است. در این مطالعه از این روش برای تثبیت ماسه بادی شهر یزد استفاده شده است. در مطالعه حاضر از دو نوع مختلف از الیاف شیشه (نوع E و نوع AR) استفاده شده است. برای انجام آزمایش تراکم، خاک مورد نظر با هر دو نوع الیاف شیشه در درصدهای مختلف ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزن خشک خاک ترکیب شد. نتایج نشان داد درصد رطوبت بهینه با افزایش درصد الیاف شیشه افزایش یافت. لازم به ذکر است الیاف شیشه تاثیر چندانی بر حداکثر وزن مخصوص خشک خاک نداشته است. آزمایش برش مستقیم نیز با همان درصدهای استفاده شده در آزمایش تراکم مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش افزودن ۰/۷۵ و ۰/۵ درصد الیاف شیشه نوع AR و E به خاک مورد نظر، به ترتیب به عنوان درصد بهینه برای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی انتخاب گردید. همچنین استفاده از الیاف شیشه نوع AR در خاک مورد مطالعه، نتایج بهتری نسبت به الیاف شیشه نوع E در پی داشت.

واژه‌های کلیدی: الیاف شیشه، بهسازی و تثبیت خاک، پارمترهای مقاومت برشی، ماسه بادی

۱- مقدمه

با گسترش روزافزون پروژه‌های عمرانی برای رفع نیازهای جامعه بشری در حوزه ساختمان‌سازی، سازه‌های زیرزمینی و حمل و نقل، توجه به خاک محل اجرای این پروژه‌ها افزایش یافته است. در بسیاری از پروژه‌های عمرانی به دلیل ضعف پارامترهای مقاومتی خاک، نیاز به تغییر محل پروژه و یا در مواردی جابجایی کامل خاک ضعیف با خاک قوی‌تر حس می‌شود، اما این روش‌ها

در بسیاری از موارد بسیار پرهزینه بوده و عملا اجرای پروژه را غیر ممکن می‌سازد. بدین منظور، تلاش برای بهبود پارامترهای مقاومتی خاک، کاهش نشست و افزایش ظرفیت باربری با صرف کمترین هزینه و انرژی، منجر به استفاده از بهسازی خاک شد. در کنار کاهش هزینه‌های اجرای پروژه به کمک این روش، بهسازی خاک روشی دوستدار محیط زیست بوده و هیچ آسیب زیست محیطی در پی نخواهد داشت. از روش‌های مختلفی برای بهسازی استفاده می‌شود که یکی از این روش‌ها استفاده از مواد افزودنی است. تثبیت خاک با مواد افزودنی از گذشته تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش با افزودن و اختلاط مواد مختلف با خاک، تثبیت صورت می‌گیرد. از مواد گوناگونی که برای تثبیت استفاده می‌شوند می‌توان به سیمان، آهک، انواع الیاف‌ها و نانوذرات اشاره کرد. اخیرا استفاده از انواع الیاف‌ها، برای تقویت و تثبیت خاک، مورد مطالعه و بررسی گسترده‌ای قرار گرفته است. الیاف‌ها به دو دسته طبیعی (الیاف گیاهی، حیوانی و معدنی) و مصنوعی (الیاف شیشه، الیاف پلی‌پروپیلن، الیاف پلی‌استر، الیاف نایلون و...)، تقسیم‌بندی می‌شوند (Hejazi et al., 2012). تحقیقات نشان داد استفاده از الیاف در خاک به صورت تصادفی، موجب توزیع و درگیری الیاف‌ها در تمامی جهات در خاک می‌گردد که از ایجاد صفحات ضعیف جلوگیری خواهد شد. به طوری که موجب افزایش شکل‌پذیری و استحکام خاک می‌گردد (Maher and Gray, 1990; Lian et al., 2020). لازم به ذکر است الیاف شیشه صرفه اقتصادی نیز دارد، یعنی یکی از مزایای استفاده الیاف شیشه در دسترس بودن و اقتصادی بودن آن می‌باشد. ماده اصلی تشکیل دهنده الیاف شیشه سیلیس می‌باشد و سیلیس یک کانی غیر فلزی محسوب می‌شود. در ایران به دلیل وجود منابع غنی از سیلیس، استفاده از آن از محبوبیت بالایی برخوردار است. علاوه بر سیلیس باقی مواد تشکیل دهنده الیاف شیشه نیز در کشور در دسترس است.

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه الیاف و بخصوص الیاف شیشه صورت گرفته است، از جمله (Maher and Gray, 1990; Park, 2011; Hejazi, et al., 2012; Ates, 2016; Benessalah et al., 2016; Changizi and Haddad, 2017; Orakoglu and Liu, 2017; Lian, et al., 2020; Patel and Singh, 2020; Rabab'ah et al., 2021; Sujatha et al., 2021).

در ادامه به تعدادی از مطالعات عنوان شده اشاره می‌شود.

بن صلاح و همکارانش تحت آزمایشاتی به تاثیرات الیاف شیشه بر مقاومت برشی خاک ماسه‌ای پرداختند. مقاومت برشی خاک منطقه به علت زلزله به طرز قابل توجهی کاهش یافته بود. برای بهبود مقاومت برشی خاک، الیاف شیشه به خاک اضافه شد. آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌هایی با ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ درصد وزن خشک خاک الیاف شیشه، انجام گرفت. نتایج نشان داد الیاف شیشه نه تنها روی بهبود مقاومت برشی تاثیرگذار است، بلکه باعث کاهش ترک‌های انبساطی و انقباضی در نمونه می‌شود؛ و در واقع این الیاف‌ها در نمونه‌های خاک ماسه‌ای، همانند اثر الیاف در خاک رسی متراکم عمل می‌کند (Benessalah, et al., 2016).

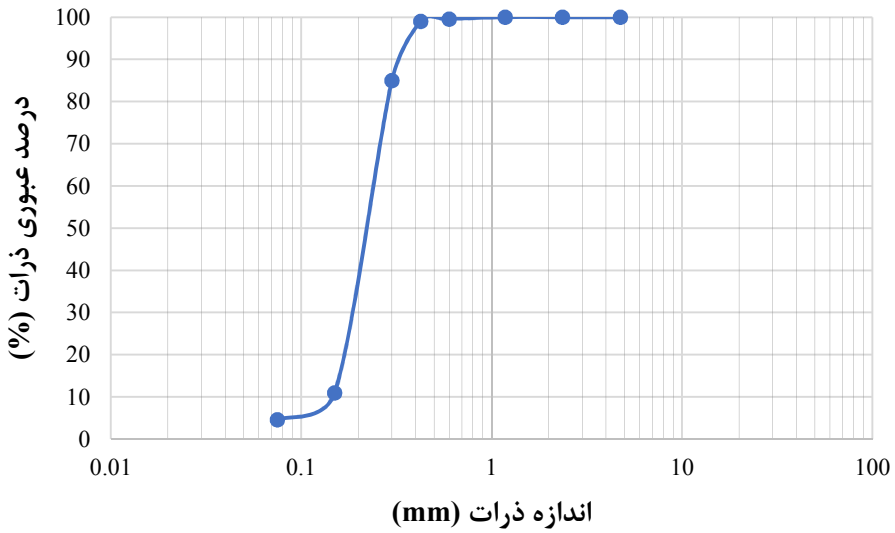
آتس در سال ۲۰۱۶ به تاثیر الیاف شیشه و سیمان بر روی خاک ماسه‌ای پرداخت. در این مطالعه از الیاف شیشه نوع AR و سیمان پرتلند برای تقویت خاک استفاده شد. سیمان در درصدهای مختلف ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد، و الیاف شیشه در درصدهای ۱، ۲، ۳ و ٤ درصد به خاک مورد مطالعه افزوده شد و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن الیاف شیشه و سیمان به خاک ماسه‌ای مورد مطالعه، موجب افزایش مشخصات مقاومتی خاک گردیده است. همچنین مقاومت خاک مورد نظر تا ۳ درصد الیاف شیشه افزایش داشته است و پس از آن منجر به کاهش آن شده است (Ates, 2016). چنگیزی و حداد در پژوهشی، به تاثیرات مخلوط الیاف شیشه و نانورس بر پارامترهای مقاومت برشی و مدول الاستیک خاک پرداختند. در این پژوهش، از خاک رس با حد خمیری پایین استفاده شد. الیاف شیشه از نوع A بوده است. در نمونه‌های آزمایش شده از درصدهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی خشک خاک، برای الیاف شیشه و نانورس استفاده شد. نتایج نشان داد، با افزودن ۱ درصد نانورس به ترکیب خاک با ۱ درصد الیاف شیشه، میزان مقاومت برشی، ۸٤ درصد نسبت به ترکیب خاک با ۱ درصد الیاف شیشه افزایش یافته است (Changizi and Haddad, 2017). سوجاتها و همکارانش در سال ۲۰۲۱ به تاثیر دو نوع الیاف شیشه AR^{1} و E^{2} بر روی تقویت پارامترهای مقاومتی خاک رسی پرداختند. آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه با افزودن دو نوع الیاف شیشه در ٤ درصد وزنی مختلف بین ۰/۲۵ تا ۱ درصد، مورد بررسی قرار

گرفت. نتایج نشان داد افزودن الیاف شیشه به خاک رسی موجب افزایش مقاومت فشاری محصورنشده گردیده است. همچنین الیاف شیشه AR نتایج بهتری در ایجاد مقاومت برای خاک مورد مطالعه داشته است (Sujatha, et al., 2021). در این مطالعه به بررسی تاثیرات دو نوع الیاف شیشه (نوع AR و E) با طول‌های یکسان بر ماسه بادی‌های شهر یزد پرداخته می‌شود. در واقع افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک مورد نظر، هدف اصلی این مطالعه است. در مطالعه حاضر ابتدا با استفاده از آزمایش تراکم، حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و همچنین درصد رطوبت بهینه برای ترکیب‌های مختلف خاک و دو نوع الیاف شیشه، بررسی می‌شود. سپس با استفاده از آزمایش برش مستقیم، پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌های خاک با درصدهای مختلف دو نوع الیاف شیشه، تعیین و درصد بهینه الیاف انتخاب می‌گردد. از دیگر اهداف این مطالعه می‌توان به مقایسه دو نوع الیاف از نظر عملکرد نسبت به یکدیگر در آزمایش‌های صورت گرفته اشاره کرد.

۲- مواد تشکیل دهنده

۲-۱-خاک

خاک مورد مطالعه، از منطقه‌ای در جنوب شرق شهر یزد در ایران است که کاملاً بیابانی می‌باشد. موقعیت منطقه مورد نظر واقع در محدوده عرض جغرافیایی شمالی "۳۹ '۵۰ °۳۱ و طول جغرافیایی شرقی "۳۲ '۲۸ °۵۴ است. از آزمایش دانه‌بندی با استاندارد ASTM-D422 بر روی این خاک استفاده شد تا منحنی دانه‌بندی که در شکل ۱ نشان داده شده است، به دست آید. خاک براساس طبقه‌بندی یونیفاید، SP است که مشخصات فیزیکی خاک مورد نظر در جدول ۱ نشان داده شده است. بر روی این خاک آزمایش XRD[۳] به منظور شناخت بهتر فازهای تشکیل‌دهنده خاک انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز XRD نشان داد که بیشترین میزان کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک مورد نظر، که ۴۳ درصد را تشکیل داده است، از کانی کلسیت می‌باشد.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی خاک مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک و نتیجه آزمایش دانه‌بندی بر روی خاک

مشخصات خاک	دانسیته (ρ)	۱/۵۴ گرم بر مترمکعب
	چگالی ویژه خاک (G_s)	۲/۶۲
	نسبت تخلخل اولیه (e_0)	۰/۷
	درصد رطوبت طبیعی خاک (ω)	٪ ۳
تحلیل آزمایش دانه‌بندی	۴/۷۵ میلی‌متر > ٪	٪ ۱۰۰
	۰/۰۷۵ میلی‌متر > ٪	۴٪/۵۶
	اندازه موثر ذرات خاک، D10	۰/۱۴ میلی‌متر
	اندازه موثر ذرات خاک، D30	۰/۱۹ میلی‌متر
	اندازه موثر ذرات خاک، D60	۰/۲۵ میلی‌متر
	ضریب یکنواختی (Cu)	۱/۷۸
	ضریب انحنا (Cc)	۱/۰۳
	نامگذاری خاک براساس طبقه‌بندی یونیفاید (USCS)	SP

۲-۲- الیاف شیشه

همانطور که در بخش قبل بیان شد از الیاف شیشه برای تقویت و تثبیت خاک، در این مطالعه استفاده شده است. در مطالعه حاضر از الیاف شیشه با دو نوع E-Glass و AR-Glass استفاده شده است. از تفاوت الیاف شیشه نوع E و نوع AR، می‌توان به وجود پوشش زیرکونیوم در الیاف شیشه نوع AR اشاره کرد که در محیط‌های قلیایی مقاومت بیشتری نسبت به سایر الیاف شیشه نشان می‌دهند. برای مقایسه بهتر، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دو نوع الیاف شیشه استفاده شده در جدول ۲ ارایه شده است. تصویر الیاف شیشه در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد و با توجه به اینکه ظاهر الیاف شیشه نوع E و AR همانند یکدیگر است از یک تصویر استفاده شده است.

جدول۲. مشخصات الیاف شیشه مورد استفاده در این مطالعه

مشخصات	الیاف شیشه نوع E	الیاف شیشه نوع A
قطر الیاف	۱۳μm	۱۵μm
طول الیاف	۶ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
دانسیته (ρ)	۲/۵۴-۲/۶ گرم بر متر مکعب	۲/۷ گرم بر متر مکعب
مقاومت کششی ۲۰ درجه سانتی‌گراد	۳/۵ GPa	۱/۷ GPa
مدول الاستیسیته ۲۰ سانتی‌گراد	۷۳/۵ GPa	۷۲ GPa
درصد رطوبت	<۰/۲٪	<۰/۲٪
درجه نرمی	۸۴۰ سانتی‌گراد	۸۶۰ سانتی‌گراد
زیرکونیوم	-	۱۹٪

شکل ۲. تصویر الیاف شیشه

۳- روش‌ها

۳-۱- روش آزمایش

همانطور که بیان شد در مطالعه حاضر از الیاف شیشه نوع E و AR استفاده شده است. هدف از تثبیت در این گونه خاک‌ها که چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی کمی دارند، افزایش پارامترهای مقاومت برشی و به تبع آن افزایش پایداری و همچنین کاهش نشست در خاک است. در این مطالعه از آزمایش تراکم استاندارد برای بررسی درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک استفاده شد. آزمایش تراکم برای ترکیب خاک با ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد الیاف نوع E و AR، از درصد وزنی خشک خاک صورت گرفته است. علاوه بر آزمایش تراکم، آزمایش برش مستقیم برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی انجام شده است. این آزمایش نیز در همان درصدها در ترکیب‌های مختلفی از دو نوع الیاف شیشه صورت گرفته است.

۳-۲-آماده‌سازی نمونه

آماده‌سازی نمونه‌های مورد آزمایش از مهم‌ترین مراحل انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی تلقی می‌گردد چرا که تاثیر قابل توجهی در نتایج آزمایش دارند. دو نوع الیاف شیشه با درصدهای وزنی مورد نظر با خاک خشک اندازه‌گیری شده و به کمک دست مخلوط می‌شوند. این اختلاط تا زمانی که توزیع تقریبا یکنواخت الیاف در خاک مشاهده شود، ادامه می‌یابد. پس از توزیع تصادفی و یکنواخت الیاف با خاک، ترکیب مورد نظر با درصدهای مختلف از آب، به کمک دست ترکیب می‌شود. درصد رطوبت اولیه برای مرحله اول آزمایش تراکم ٤ درصد در نظر گرفته شد. این درصد با توجه به اینکه خاک مورد نظر ماسه بادی بوده است و از منطقه کاملا بیابانی گرفته شده، انتخاب گردیده است. حد فاصل درصد رطوبت برای هر مرحله از آزمایش تراکم نیز ۳ درصد در نظر گرفته شده است. برای آماده‌سازی نمونه‌های آزمایش برش مستقیم نیز، وزن خاک مورد نظر با توجه به وزن مخصوص آن محاسبه و اندازه‌گیری شده است. الیاف شیشه با استفاده از دست با خاک خشک ترکیب گردیده تا ترکیب کاملاً یکنواخت شود. سپس درصد رطوبت در نظر گرفته شده نیز به ترکیب مورد نظر، افزوده شده است. لازم به ذکر است در آماده‌سازی این نمونه‌ها نیز به توزیع تصادفی و تقریباً یکنواخت الیاف با خاک، پرداخته شده است. برای اختلاط بهتر آب با ترکیب خاک و الیاف، از سطح شیشه‌ای صاف غیر جاذب رطوبت و کاردک استفاده شده است. به این صورت که پس از

اختلاط خاک با الیاف، ترکیب مورد نظر بر روی سطح مذکور قرار داده شده و با استفاده از کاردک، رطوبت مورد نظر به صورت یکنواخت به ترکیب رسانده شده است. ترکیب ایجاد شده در دو مرحله در قالب آزمایش برش مستقیم، ریخته می‌شود و پس از هر بار قرارگیری خاک در قالب، با استفاده از چکش آزمایش برش مستقیم، نمونه مقداری متراکم می‌شود تا در حجم مورد نظر قرار گیرد. خاک مورد نظر از نوع ریزشی بوده و امکان به دست آوردن وزن مخصوص خاک در محل، وجود نداشته است. بنابراین وزن مخصوص خاک به صورت جرم واحد حجم خاک غیرمتراکم در آزمایشگاه به دست آمد که مقدار آن برابر با ۱/۵٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. با توجه به اینکه درصد رطوبت اولیه خاک مقدار ناچیزی بوده است، تمامی نمونه‌های آزمایش با رطوبت ثابت ۵ درصد و ۱/۵٤ گرم بر سانتی‌متر مکعب ساخته و آزمایش شده‌اند. دلیل ثابت بودن وزن مخصوص و درصد رطوبت در نمونه‌ها، ایجاد مقایسه‌ای مناسب برای ترکیب‌های مختلف از خاک می‌باشد.

۳-۳ آزمایش‌های انجام شده

آزمایش تراکم

این آزمایش با استفاده از استاندارد ASTM-D698 صورت گرفته است. هر ترکیب از خاک با دو نوع الیاف شیشه مورد آزمایش قرار گرفت. به عبارتی در ۹ حالت مختلف از ترکیب خاک، آزمایش تراکم صورت گرفته است. برای رسیدن به حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و حداکثر رطوبت بهینه، آزمایش تراکم برای هر نمونه در ۵ مرحله صورت گرفته است. مراحل انجام آزمایش تراکم در شکل ۳ نشان داده شده است.

آزمایش برش مستقیم

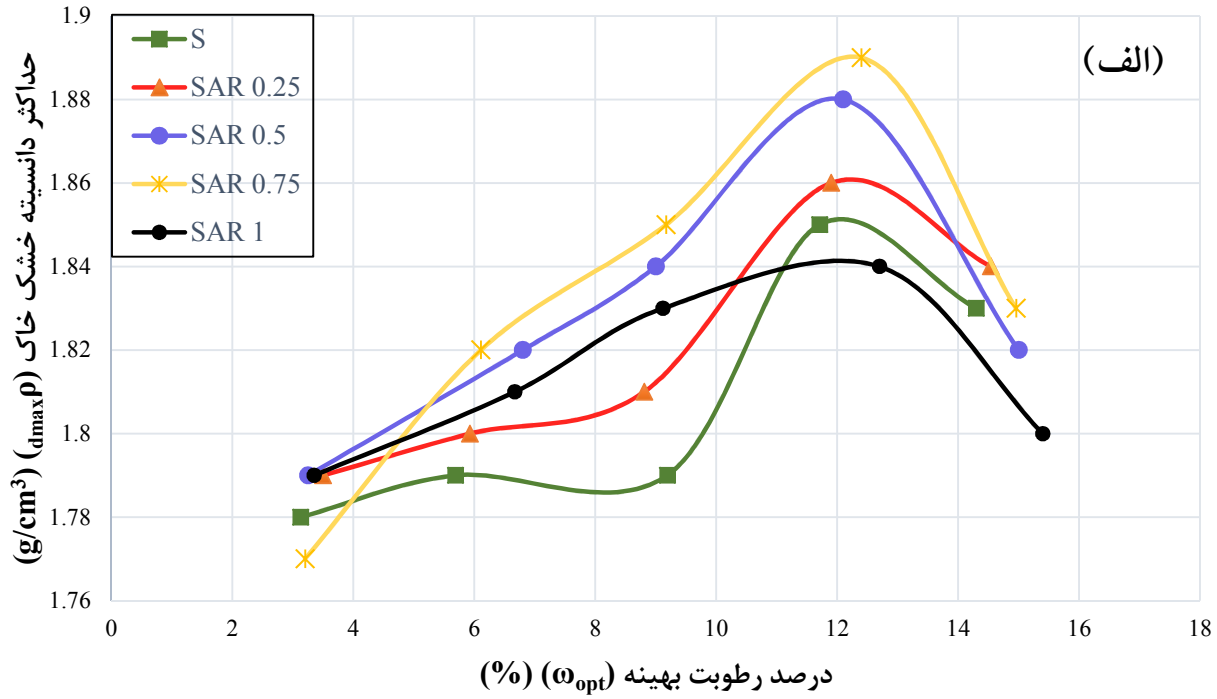
از استاندارد ASTM-D3080 برای انجام آزمایش برش مستقیم استفاده شده است. ابعاد قالب استفاده شده در این آزمایش ۶۰x۶۰x۲۰میلی‌متر بوده است. این آزمایش با سه تنش نرمال ۱، ۱/۵ و ۲ کیلوگرم بر متر مکعب صورت گرفته است. با توجه به نوع خاک مورد مطالعه که ماسه بادی می‌باشد، آزمایش با سرعت تند ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه انجام شده است. در این مطالعه ۸۱ آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌ها انجام شد. در واقع برای دقت بیشتر هر آزمایش، هر ترکیب خاک با مواد افزودنی آن، سه بار مورد آزمایش قرار گرفته است.

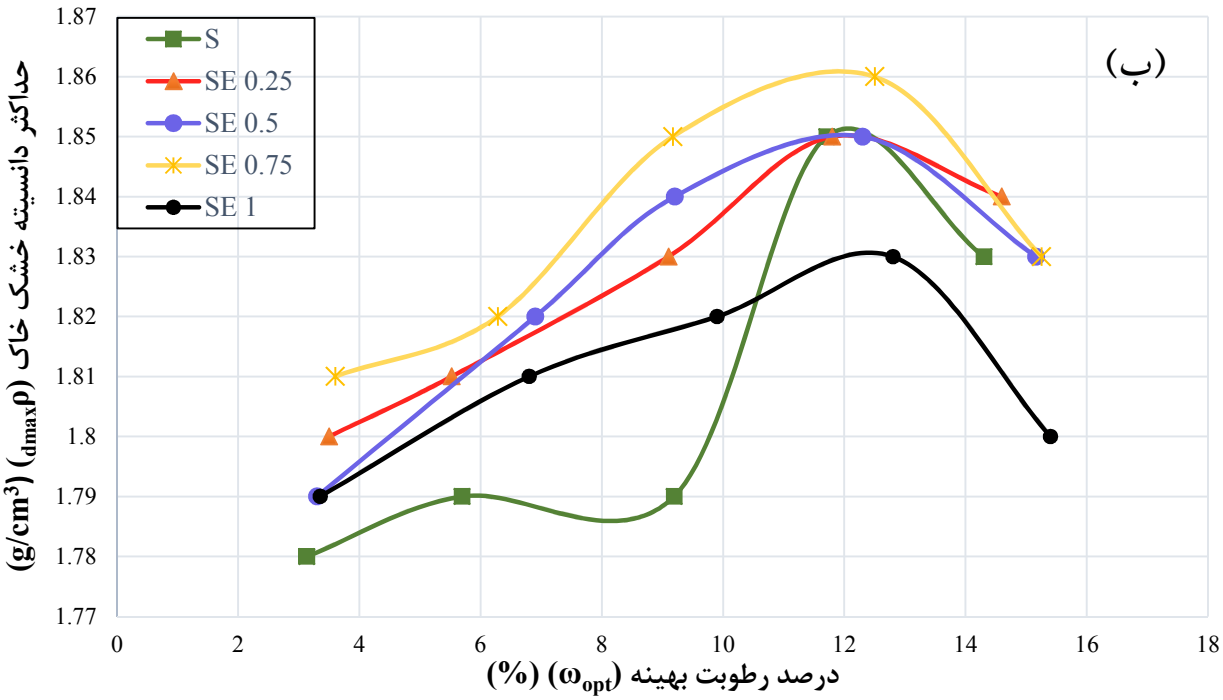
شکل ۳. مراحل انجام آزمایش تراکم

٤- نتایج

٤-١- آزمایش تراکم

منحنی درصد رطوبت و وزن مخصوص خشک خاک که بیانگر نتایج آزمایش تراکم استاندارد می‌باشد، در شکل ٤ (الف و ب) قابل مشاهده می‌باشد. رفتار متفاوت خاک طبیعی در منحنی تراکم نشان داده شده، به دلیل نوع خاک طبیعی و همچنین ایجاد مویینگی در آن در مراحل ابتدایی آزمایش تراکم بوده است. در واقع در خاک‌های ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت، با افزایش رطوبت در مراحل اولیه تراکم و به‌دلیل وجود نیروی کشش سطحی (مویینگی) بین دانه‌ها و آب، دانه‌های خاک در اطراف قالب تراکم دچار لغزش نمی‌شوند و این موضوع از تراکم بیشتر جلوگیری می‌کند. افزودن الیاف شیشه در درصدهای متفاوت به خاک، در هر دو نوع آن، موجب کاهش اثر موئینگی در خاک می‌شود. در واقع رفتار خاک با افزودن الیاف شیشه بهبود یافته است. با توجه به شکل ٤، نتایج نشان داد که در ترکیب‌های مختلف خاک با هر دو نوع الیاف شیشه (E و AR) ترکیب خاک با ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه دارای حداکثر وزن مخصوص خشک خاک می‌باشد. همانطور که در نمودارها قابل مشاهده است، منحنی تراکم در ترکیب خاک با الیاف شیشه نوع E، شیب کمتری نسبت به منحنی تراکم افزودن الیاف شیشه نوع AR به خاک دارد. همچنین می‌توان به این نتیجه رسید که افزودن الیاف شیشه در دو نوع E و AR به این خاک، تاثیر چندانی بر روی حداکثر وزن مخصوص خشک خاک نداشته و این مقدار افزایش ناچیز نیز قابل چشم‌پوشی می‌باشد. به‌علاوه، با افزایش درصد الیاف شیشه، میزان رطوبت بهینه نیز افزایش می‌یابد. در واقع زیاد شدن درصد رطوبت بهینه با اضافه کردن الیاف شیشه نسبت به خاک طبیعی، در اثر جذب آب الیاف‌ها و همچنین ایجاد قفل و بست و چسبندگی در خاک است. نتایج آزمایش تراکم در جدول ۳ ارایه شده است. در نمودار موجود SAR نماد ترکیب خاک با الیاف شیشه نوع AR می‌باشد و نماد SE مربوط به ترکیب خاک با الیاف شیشه نوع E است.





شکل ٤. منحنی تراکم برای دو نوع الیاف شیشه (الف) AR و (ب) E

جدول ۳. نتایج آزمایش تراکم

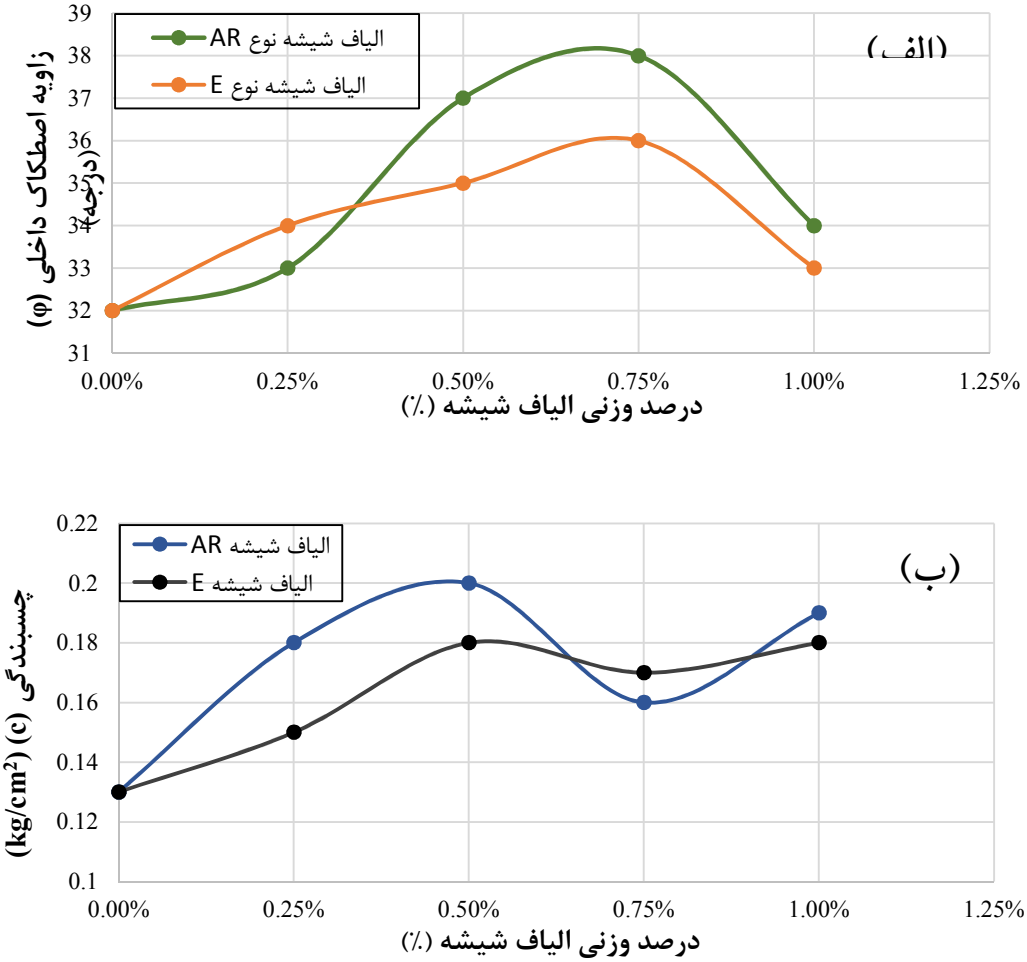
نمونه‌های آزمایش تراکم	حداکثر دانسیته خشک خاک (ρ_{dmax}) (g/cm^3)	درصد رطوبت بهینه (ω_{opt}) (%)
خاک	۱/۸۵	۱۱/۷
خاک + ۰/۲۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۱/۸٦	۱۱/۹
خاک + ۰/۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۱/۸۸	۱۲/۱
خاک + ۰/۷۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۱/۸۹	۱۲/٤
خاک + ۱٪ الیاف شیشه نوع AR	۱/۸٤	۱۲/۸
خاک + ۰/۲۵٪ الیاف شیشه نوع E	۱/۸۵	۱۱/۸
خاک + ۰/۵٪ الیاف شیشه نوع E	۱/۸۵	۱۲/۳
خاک + ۰/۷۵٪ الیاف شیشه نوع E	۱/۸٦	۱۲/۵
خاک + ۱٪ الیاف شیشه نوع E	۱/۸۳	۱۲/۸

٤-۲- آزمایش برش مستقیم

همانطور که در بخش ۳-۱ بیان شد الیاف شیشه با درصد وزنی‌های مختلف به خاک اضافه گردید و پارامترهای مقاومت برشی خاک در حالت‌های مختلف بررسی شد. نتایج درصدهای مختلف الیاف شیشه در مقایسه با زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در شکل ۵ ترسیم شده است. در شکل ۵ میزان تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و همچنین چسبندگی خاک با تغییر در درصد الیاف استفاده شده در خاک مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ۵ (الف) مشخص است، با افزایش درصد الیاف شیشه تا ۰/۷۵ درصد، میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش یافته است و پس از آن روند نزولی داشته است. زاویه اصطکاک داخلی خاک طبیعی ۳۲ درجه بوده است که با افزودن ۰/۷۵ درصد وزنی الیاف شیشه نوع AR و E به خاک، زاویه اصطکاک داخلی به ترتیب به ۳۸ و ۳٦ درجه می‌رسد. با توجه به نزولی بودن منحنی نشان داده شده در شکل ۵ (الف)، ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه برای هر دو نوع AR و E به عنوان درصد بهینه برای زاویه اصطکاک داخلی خاک انتخاب شد. همانطور که در شکل ۵ (ب) مشخص است با افزودن الیاف شیشه به خاک، چسبندگی خاک به صورت نوسانی تغییر می‌کند. در واقع با افزودن الیاف شیشه به خاک تا میزان ۰/۵ درصد، چسبندگی خاک نیز افزایش می‌یابد. افزایش میزان الیاف شیشه در خاک به میزان بیشتر از ۰/۵ درصد موجب کاهش چسبندگی خاک می‌شود و مجددا با افزودن ۱ درصد الیاف شیشه به خاک، روند افزایشی در چسبندگی خاک مشاهده می‌شود. به دلیل داشتن بیشترین زاویه اصطکاک داخلی در ترکیب خاک با ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه، میزان چسبندگی در آن کاهش یافته است. این در حالیست که افزودن الیاف شیشه با ۱ درصد وزنی، سبب ایجاد قفل و بست بیشتری بین ذرات خاک می‌گردد که این امر موجب افزایش چسبندگی در خاک می‌شود. بیشترین چسبندگی خاک در ترکیب با ۰/۵ درصد الیاف شیشه، برای هر دو نوع الیاف شیشه AR و E حاصل می‌شود و در این حالت میزان چسبندگی در خاک طبیعی که ۰/۱۳ (کیلوگرم بر مترمکعب)، است به ۰/۲ و ۰/۱۸ (کیلوگرم بر مترمکعب)، به ترتیب برای الیاف شیشه نوع AR و E تغییر می‌کند. همانطور که از نتایج پیداست، الیاف شیشه نوع AR تاثیر بیشتری نسبت به الیاف شیشه نوع E بر پارامترهای مقاومت برشی خاک داشته است. همچنین نتایج آزمایش برش مستقیم در جدول ٤ نشان داده شده است.

جدول ٤. نتایج آزمایش برش مستقیم

نمونه‌های آزمایش تراکم	چسبندگی (kg/cm^2) (c)	زاویه اصطکاک داخلی (°) (φ)
خاک	۰/۱۳	۳۲
خاک + ۰/۲۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۰/۱۸	۳۳
خاک + ۰/۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۰/۲	۳۷
خاک + ۰/۷۵٪ الیاف شیشه نوع AR	۰/۱٦	۳۸
خاک + ۱٪ الیاف شیشه نوع AR	۰/۱۹	۳٤
خاک + ۰/۲۵٪ الیاف شیشه نوع E	۰/۱۵	۳٤
خاک + ۰/۵٪ الیاف شیشه نوع E	۰/۱۸	۳۵
خاک + ۰/۷۵٪ الیاف شیشه نوع E	۰/۱۷	۳٦
خاک + ۱٪ الیاف شیشه نوع E	۰/۱۸	۳۳



شکل ۵. میزان تغییرات (الف) زاویه اصطکاک داخلی و (ب) چسبندگی خاک با درصدهای مختلف دو نوع الیاف شیشه

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر بر روی ماسه بادی واقع در جنوب شرقی استان یزد در ایران صورت پذیرفت. برای بهسازی و تثبیت خاک این منطقه برای اجرای پروژه‌های راهسازی از دو نوع الیاف شیشه AR و E استفاده شد. در این مطالعه به کمک آزمایش‌های تراکم استاندارد و برش مستقیم تاثیرات دو نوع الیاف شیشه بر روی خاک منطقه بررسی و مقایسه شد. آزمایش تراکم و آزمایش برش مستقیم بر روی ترکیب خاک با دو نوع الیاف شیشه صورت پذیرفت که منجر به نتایجی شد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

-افزودن الیاف شیشه به خاک طبیعی در آزمایش تراکم، موجب افزایش درصد رطوبت بهینه شده است به طوری که هرچه میزان هر دو نوع الیاف افزایش یافته است، درصد رطوبت بهینه نیز مقدار بیشتری داشته است. در نتیجه بیشترین میزان آن در ترکیب خاک با ۱ درصد الیاف شیشه می‌باشد.

-افزایش الیاف شیشه در خاک طبیعی تاثیری بر حداکثر وزن مخصوص خشک خاک ندارد و تغییرات آن قابل چشم‌پوشی می‌باشد. در حالی که این الیاف منجر به بهبود رفتار خاک در آزمایش تراکم می‌شود.

-در آزمایش برش مستقیم از ٤ درصد مختلف الیاف شیشه استفاده شد. نتایج نشان داد زاویه اصطکاک داخلی خاک با افزودن الیاف شیشه تا ۰/۷۵ درصد، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. در واقع زاویه اصطکاک داخلی در خاک طبیعی از ۳۲ درجه به ۳۸ درجه در ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه نوع AR رسیده و در ۱ درصد الیاف شیشه همین نوع به ۳٤ درجه کاهش یافته است. این روند برای الیاف شیشه نوع E نیز ادامه داشته و به گونه‌ای بوده است که بیشترین میزان زاویه اصطکاک داخلی در ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه به ۳٦ درجه رسیده و سپس در ۱ درصد الیاف شیشه به ۳۳ درجه رسیده است. بنابراین، ۰/۷۵ وزنی

از الیاف شیشه نوع AR و E، بیشترین میزان زاویه اصطکاک داخلی را ایجاد می‌کند و به عنوان درصد بهینه برای این پارامتر انتخاب گردیده است. همچنین چسبندگی خاک مورد مطالعه با افزودن ۰/۵ درصد الیاف شیشه نوع AR و E، به ترتیب مقدار ۰/۲ و ۰/۱۸ کیلوگرم بر متر مربع را نشان می‌دهد که به حداکثر مقدار خود در این آزمایش رسیده است. پس از آن میزان چسبندگی برای هر دو نوع الیاف روند کاهشی داشته و مقدار آن به ترتیب به ۰/۱۶ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر متر مربع کاهش یافته است.

-نتایج نشان داد افزودن الیاف شیشه نوع AR و E بر روی تنش‌های برشی خاک مورد مطالعه تاثیرگذار بوده است و موجب افزایش پارامترهای مقاومت برشی خاک می‌شود. از طرفی الیاف شیشه AR نتایج بهتری در آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه داشته است که به دلیل وجود پوشش زیرکونیوم در این نوع الیاف می‌باشد و برای بهسازی خاک بستر راه‌ها گزینه بهتری است.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. Alkali Resistant
2. Electronic
3. X-Ray Diffraction

۷-مراجع

-Ates, A., (2016), "Mechanical properties of sandy soils reinforced with cement and randomly distributed glass fibers (GRC)", Composites Part B-Engineering, Vol. 96, pp. 295-304.

-Benessalah, I., Arab, A., Villard, P., Sadek, M. and Kadri, A., (2016), "Laboratory Study on Shear Strength Behaviour of Reinforced Sandy Soil: Effect of Glass-Fibre Content and Other Parameters", Arabian Journal for Science and Engineering, Vol.41, No.4, pp. 1343-1353.

-Changizi, F. and Haddad, A., (2017), "Effect of nanocomposite on the strength parameters of soil", Ksce Journal of Civil Engineering, Vol.21, No.3, pp. 676-686.

-Hejazi, S.M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S.M. and Zadhoush, A., (2012), "A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers", Construction and Building Materials, Vol.30, pp. 100-116.

-Lian, B.Q., Peng, J.B., Zhan, H.B. and Cui, X.S., (2020), "Effect of randomly distributed fibre on triaxial shear behavior of loess", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol.79, No.3, pp. 1555-1563.

-Maher, M.H. and Gray, D.H., (1990), "Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers", Journal of Geotechnical Engineering-Asce, Vol.116, No.11, pp. 1661-1677.

-Orakoglu, M.E. and Liu, J.K., (2017), "Effect of Freeze-Thaw Cycles on Triaxial Strength Properties of Fiber-Reinforced Clayey Soil", Ksce Journal of Civil Engineering, Vol.21, No.6, pp. 2128-2140.

-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.

-Patel, S.K. and Singh, B., (2020), "A Comparative Study on Shear Strength and Deformation Behaviour of Clayey and Sandy Soils Reinforced with Glass Fibre", Geotechnical and Geological Engineering, Vol.38, No.5, pp. 4831-484.

-Rabab'ah, S., Al Hattamleh, O., Aldeeky, H. and Abu Alfoul, B., (2021), "Effect of glass fiber on the properties of expansive soil and its utilization as subgrade reinforcement in pavement applications", Case Studies in Construction Materials, Vol.14, pp. 12.

-Sujatha, E.R., Atchaya, P., Darshan, S. and Subhashini, S., (2021), "Mechanical properties of glass fibre reinforced soil and its application as subgrade reinforcement", Road Materials and Pavement Design, Vol. 22, No.10, pp. 2384-2395.

Experimental Study of Investigating and Comparing the Effect of Glass Fibers of Type E and AR on the Stabilization of Wind Sand and Its Resistance Parameters on Road Base

Anahita Farshadi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Mohammad Abdoli, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

Hamid Mehrnahad, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

E-mail: hmehrnahad@yazd.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

Nowadays, as the population has expanded, the need for development projects has increased, and, given that soil is one of the most basic and most essential sectors in implementing a project, the need for ideal soil is felt. In road projects, a suitable base for project execution is essential. Many of the soil types, such as wind sand, are not suitable for road building, and there is a need to carry out operations to prepare these soils for the base. In many cases, there is a need to switch to bed soil, but it is costly and will prolong the execution time of the project. Since it is challenging to reach ideal soil for road construction projects, soil improvement is being carried out. This is done in different ways, one of which is adding different materials to the soil. In this study, this method is used to stabilize the wind sand of Yazd. Two different types of glass fibers (type E and AR) have been used in this study. In order to perform the compressive test, the soil with both types of glass fibers was mixed in different percentages of 0.25, 0.5, 0.75, and 1 percent dry soil weight. The results showed that the percentage of optimum moisture increased by increasing the percentage of glass fibers. It should be noted that glass fibers did not affect the maximum dry soil weight. The direct shear test was done with the same percentages used in the compressive experiment. In this experiment, adding 0.75 and 0.5 percent of the type of AR and E to soil was selected as optimal for internal friction angle and cohesion, respectively. Also, using glass fibers of type AR in the studied soil had better results.

Keywords: Glass Fiber, Ground Improvement, Shear Strength Parameters, Wind Sand