امکان سنجی افزایش ظرفیت باربری خاک بستر ماسه رس‌دار با استفاده از ترکیب الیاف شیشه و گرانول پلی اتیلن

مقاله علمی – پژوهشی

داریوش دریایی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
محمدرضا الیاسی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
فاطمه سرابی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
علی یوسفی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: D.daryae@malayeru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۲– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵
صفحه ۱۶۲-۱۴۹

چکیده

امروزه با معضل افزایش زباله‌های پلاستیکی، می‌توان با بهسازی خاک توسط پلی‌اتیلن که ماده پایه بیشتر مواد پلاستیکی است، خاک بستر راه را تقویت نمود. در این پژوهش برای بهسازی خاک از پلی‌اتیلن بصورت گرانول استفاده شده است، زیرا از نظر شکلی شباهت زیادی به دانه‌های ماسه دارد و امکان جواب‌دهی مشخصات فیزیکی را بالا می‌برد. از طرفی برای بالا بردن مقاومت برشی خاک، از الیاف شیشه هم استفاده شده است. روند تغییرات مقدار CBR خاک در سه سناریوی افزودن الیاف شیشه تنها، افزودن پلی اتیلن گرانول تنها و افزودن ترکیبی الیاف شیشه و پلی اتیلن گرانول بررسی گردید. با افزودن درصد کم الیاف شیشه (۰/۷۵ درصد) مقدار CBR کمی افزایش داشته ولی با افزایش درصد الیاف روند کاهشی در مقاومت CBR دیده شد. از طرفی با افزایش درصد پلی‌اتیلن گرانول تنها به خاک، مقاومت CBR خاک افزایش قابل توجهی داشت ولی با افزایش درصد پلی‌اتیلن گرانول به ۷ درصد روند کاهشی در مقاومت CBR دیده شد. علاوه بر این، آزمایش CBR روی دو نمونه ترکیبی هم انجام شد به این صورت که نمونه اول با ۰/۷۵ درصد پلی‌اتیلن و ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه و نمونه دوم با ۳ درصد پلی‌اتیلن و ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه ساخته شد. در نمونه ترکیبی پلی اتیلن گرانول و الیاف شیشه به صورت درصد مساوی، افزایشی در عدد CBR خاک مشاهده نشد اما اضافه کردن ۳ درصد پلی اتیلن به همراه ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه به خاک باعث افزایش نسبت باربری کالیفرنیا در خاک شد. می‌توان دریافت که اگرچه افزودن پلی‌اتیلن به خاک در تمامی درصدهای استفاده شده در این تحقیق، میزان CBR خاک را نسبت به خاک مبنا افزایش می‌دهد، ولی این میزان افزایش در مقدار بهینه (۳ درصد پولی اتیلن گرانول) بالاتر و مقرون بصرفه تر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: الیاف شیشه، بهسازی، پلی اتیلن گرانول، نسبت باربری کالیفرنیا، خاک بستر

۱- مقدمه

الیاف شیشه در صنعت ساختمان برای پوشش‌های حفاظتی و مقاوم‌سازی المان‌های مختلف سازه‌ای استفاده می‌شود. از ویژگی‌های این الیاف می‌توان به مقاومت کششی بالا، وزن کم و قیمت کمتر نسبت به الیاف کربن اشاره کرد. الیاف باعث افزایش زاویه اصطکاک داخلی و به دنبال آن افزایش مقاومت برشی نمونه‌های خاک مسلح می‌گردد (Attom& Al-Tamimi, 2010). باروآ با افزودن الیاف شیشه در خاک لومی قرمز دریافت که اگر چه حد مایع و حد پلاستیک خاک با افزودن الیاف افزایش میابد، اما شاخص پلاستیسیته کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش ماهیت تراکم‌پذیری خاک است. با افزودن الیاف، رطوبت بهینه افزایش، حداکثر چگالی خشک کاهش و مقاومت فشاری نامحدود خاک افزایش یافت (Baruah, 2015). سندیانی با مطالعه روی خاک شنی با افزودن دو الیاف شیشه و نانورس با درصد وزن بهینه دریافت

این دو افزودنی مقاومت روانگرایی چرخه‌ای را افزایش دادند. از طرفی افزودن نانورس و الیاف شیشه بهینه به نمونه ماسه باعث ایجاد ساختار منسجم‌تری برای نمونه شد (Sandiani&Tanzadeh, 2020). محتوای بهینه الیاف شیشه بدون در نظر گرفتن رطوبت فشرده در شرایط اشباع و غیراشباع، ۰٫۷۵ درصد است (Patel&Singh, 2017). علاوه براین اختلاط خاک با الیاف ۱۲ میلی‌متری نسبت به الیاف ٦ میلی‌متری عملکرد بهتری دارد، یعنی با افزایش طول الیاف، مقدار CBR افزایش می‌یابد (Kulkarni& Patil, 2014). در جدول ۱ تحقیقاتی که بر روی تاثیر طول الیاف شیشه روی خاک انجام شده، مشاهده می‌شود.

جدول۱. بررسی مقالات بر روی الیاف شیشه

محقق	منبع	نوع الیاف	طول الیاف	نتیجه‌گیری
کولکارنی و پاتیل	Kulkarni&Patil, 2014	سرباره کوره و شیشه	۱۲ میلی‌متر	افزایش CBR خاک
آتس	Ates, 2016	شیشه با سیمان	٤ میلی‌متر	افزایش استحکام خاک
اوریا و زرداری	Oriya & Zardari, 2017	شیشه	۱۰ میلی‌متر	ایجاد حداکثر مقاومت برشی خاک
پاتل و ساین	Patel & Singh, 2017	شیشه	۲۰ میلی‌متر	کاهش شکنندگی و افزایش ظرفیت جذب انرژی
لوکمن	Lokmane et al. 2019	شیشه	۲۵ میلی‌متر	افزایش نیروهای پیوند بین ذرات خاک
جاودانیان و همکاران	Javdanian, 2017	شیشه و پلی‌پروپلین	۱۲ میلی‌متر	افزایش مقاومت برشی خاک
سوجاتا و همکاران	Sujatha et al. 2018	شیشه	۱۲ میلی‌متر	افزایش مقاومت فشاری نامحدود خاک و ظرفیت جذب انرژی
پاتل	Kumar Patel, 2022	شیشه	۲۰ میلی‌متر	افزایش مقاومت فشاری نامحدود خاک و CBR

پس از بررسی جدول به این نتیجه می‌توان رسید که طول الیاف بالای ۱۰ میلی‌متر بر روی بهبود وضعیت خاک تاثیر مثبتی دارد. از طرفی استفاده مجدد از پسماندهای جامد مصنوعی جهت تسلیح خاک در پروژه‌های عمرانی از دو حیث حائز اهمیت است؛ یکی کمک به حفظ محیط زیست و دیگری بهبود رفتار مکانیکی خاک. از آنجا که رشد جمعیت موجب شده تا زمین‌های دارای خصوصیات ژئوتنیکی مناسب کاهش یابند، بنابراین امروزه نیاز به بهسازی خصوصیات مکانیکی خاک بیش از پیش احساس می‌شود. از این رو استفاده از ضایعات جامد جهت تسلیح خاک محبوبیت بسیاری در جهان به دست آورده است. در تحقیقی الیاف پلی اتیلن ترفتالات (پت) با ماسه ریزدانه مخلوط شد تا رفتار مکانیکی خاک بهبود

یابد. آزمایشات برش مستقیم روی نمونه‌های خاک که با الیاف به مقادیر ۰ تا ۰,۵ از وزن خاک خشک مسلح شده بودند، انجام شد .نتایج نشان داد تسلیح موجب افزایش مقاومت برشی و شکل پذیری خاک شده که این افزایش با درصد الیاف پت موجود در خاک رابطه مستقیم دارد (Hajiannejad et al, 2019). در پی یک مطالعه برای بهبود خواص ژئوتکنیکی شن و ماسه ضعیف با استفاده از فرم پودری زباله‌های پلاستیکی، زباله‌های پلاستیکی بطری‌های آب موجود در محل بازیافت شد و پلاستیک پودری DRPET [1] تولید شد. اثرات DRPET بر خواص خاک با درجه بندی ضعیف از طریق یک سری آزمایشات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که خاک مخلوط شده با DRPET با کاهش نسبت خالی و افزایش مقاومت برشی همراه بوده است (Al-Taie et al, 2019). هدف این پژوهش ارزیابی تاثیر ترکیبی الیاف شیشه و پلی اتیلن بر مقاومت خاک بستر می‌باشد. باتوجه به اینکه پلی اتیلن یکی از مهمترین ماده‌های پایه برای تولید انواع پلاستیک است و بدلیل اینکه از آن در بیشتر پلاستیک‌های مصارف شهری مانند بطری آب معدنی و بطری انواع نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود و مقدار تولید ضایعات آن روز به روز افزوده می‌گردد، در این پژوهش سعی بر آن است استفاده از آن را در خاک بستر بصورت گرانول که شباهت زیادی به دانه‌های ماسه دارد همراه با الیاف شیشه مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین در این تحقیق سعی شده است که چون خیلی به ندرت از پلی اتیلن گرانول در تثبیت خاک استفاده شده، ابتدا تاثیر تنهای این ماده بر مقاومت خاک و بدست آوردن مقدار بهینه آن و سپس تاثیر ترکیبی آن و الیاف شیشه بر مقاومت خاک بررسی و بخش کوچکی از این خلا تحقیقاتی پر شود.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- الیاف شیشه

الیاف شیشه (FG)[2] تارهای بسیار باریک از جنس شیشه با قطر ثابت (حدود ۵ تا ۲۵ میکرون) و طول نامحدود هستند. تفاوت الیاف شیشه با پشم شیشه در این است که قطر تارها در پشم شیشه غیر یکنواخت و طول آن محدود است. همچنین در پروسه تولید پشم شیشه به خاطر تفاوت در نوع سرد شدن، ساختمان شیشه شکننده است. این تفاوت به‌طوری است که از الیاف شیشه در بالا بردن مقاومت کششی و تقویت کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود ولی پشم شیشه به عنوان عایق حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

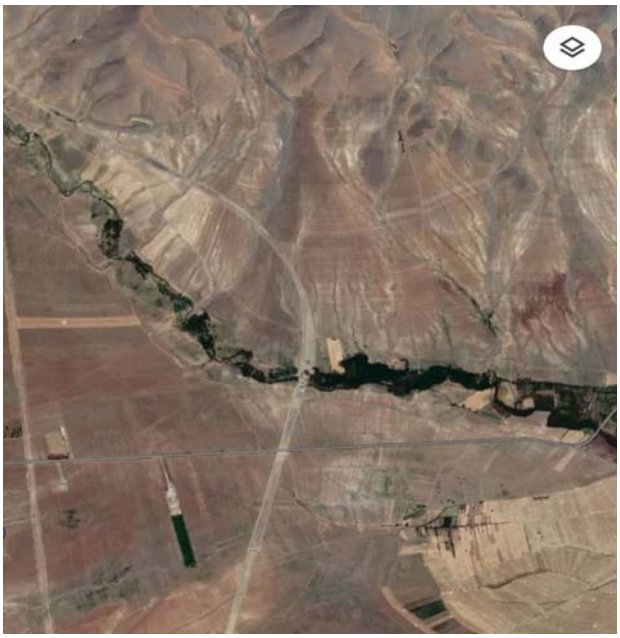
۲-۲- پلی اتیلن

پلی اتیلن، ساختار ساده‌ای دارد و جزو پرمصرف‌ترین پلیمرهای دنیاست. این ماده، یکی از پلیمرهای گرمانرم است؛ بدین شکل که با رسیدن به نقطه ذوب به حالت مایع درآمده و با رسیدن به نقطه انجماد به حالت جامد در می‌آید. یک مولکول پلی‌اتیلن زنجیر بلندی از اتم‌های کربن است که به هر اتم کربن دو اتم هیدروژن چسبیده است. گرانول پلی اتیلن[3] **(PE)**، شکل خاصی از پلی اتیلن است. در واقع، گرانول، ترکیب خاصی از پلی اتیلن نیست، بلکه به شکل گلوله‌ای آن اطلاق می‌شود و جنس مولکولی گرانول می‌تواند متفاوت باشد. در شکل ۱ تصویری از گرانول پلی اتیلن مشاهده می‌شود.

۲-۳- منطقه مورد آزمایش

نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از خاک منطقه طاسبندی جاده ریلی همدان – ملایر برداشت شده است. شکل ۲ نقشه هوایی از سایت راه آهن همدان – ملایر، منطقه طاسبندی می‌باشد.

شکل۱. گرانول پلی اتیلن



شکل۲. نقشه هوایی از سایت راه آهن همدان – ملایر، منطقه طاسبندی

۲-٤- آزمایش دانه‌بندی

هدف از آزمایش دانه‌بندی جداسازی دانه‌های خاک در اندازه‌های مختلف است که هر بخش به صورت درصدی از کل نمونه بیان می‌شود. این آزمایش طبق استاندارد ASTM D 6913 (ASTM, 2017) در آزمایشگاه انجام شد و نام خاک مورد استفاده برای پژوهش، شناسایی شد.

۲-۵- آزمایش تراکم

مجموعه عملیاتی که باعث کاهش تخلخل و افزایش وزن مخصوص (چگالی) در اثر در هم رفتن دانه‌های خاک می‌شود را تراکم می‌گویند. این آزمایش طبق استاندارد ASTM D698 (ASTM, 2021) انجام شد. بمنظور تعیین درصد تراکم، ابتدا آزمایش‌های تعیین دانسیته خشک حداکثر و رطوبت بهینه بر روی خاک در آزمایشگاه انجام شد تا با توجه به چگالی تعیین شده در محل، درصد تراکم مشخص گردد.

۲-٦- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا یکی از آزمایشاتی است که بواسطه آن می توان برای خاک محل موردنظر، حداکثر فشار قابل اعمال را محاسبه کرد. به طوری که با انجام آزمایش CBRمی‌توان حداکثر فشار قابل اعمال به خاک زیر پی ساختمان را تعیین نموده و بر اساس آن ابعاد پی ساختمان را طراحی نمود. این آزمایش در نهایت یک عدد را به‌عنوان نسبت باربری به‌دست می‌دهد. عدد آزمایش (نسبت باربری کالیفرنیا) بنا به تعریف، بار استفاده شده برای فرو رفتن و نفوذ یک سنبه استاندارد به میزان معین در یک نمونه مورد آزمایش، به مقدار بار استاندارد برای همان نفوذ است. ارزش تست CBR در راهسازی بسیار زیاد است و CBR خاک یکی از مهمترین عوامل در طرح ضخامت رویه راه ها است. به طوری که با تعیین عدد CBR می توان ظرفیت باربری خاک بستر و کلیه لایه های روسازی، از قبیل زیر اساس و اساس را تعیین نموده و بر طبق آن ضخامت لایه‌ها را بدست آورد. آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا معمولاً بر روی نمونه‌هایی که با درصد رطوبت بهینه متراکم شده باشند، انجام می‌شود. این آزمایشات طبق استاندارد ASTM D1883 (ASTM, 2021) روی خاک

خالص، خاک ترکیب شده با درصدهای مختلف الیاف شیشه (FG)، خاک ترکیب شده با درصدهای مختلف گرانول پلی اتیلن (PE) و خاک مخلوط شده با ترکیب‌هایی از هر دو افزودنی پلی اتیلن و الیاف شیشه صورت گرفت. نسبت باربری کالیفرنیا عبارتست از فشار اصلاح شده در ۰/۱ یا ۰/۲ اینچ (۲/۵ یا ۵ میلی‌متر) به ترتیب بر فشار استاندارد ۱۰۰۰ یا ۱۵۰۰ پوند بر اینچ مربع (۷۰ یا ۱۰۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) که به صورت درصد بیان می‌شود.

۳- نتایج و بحث

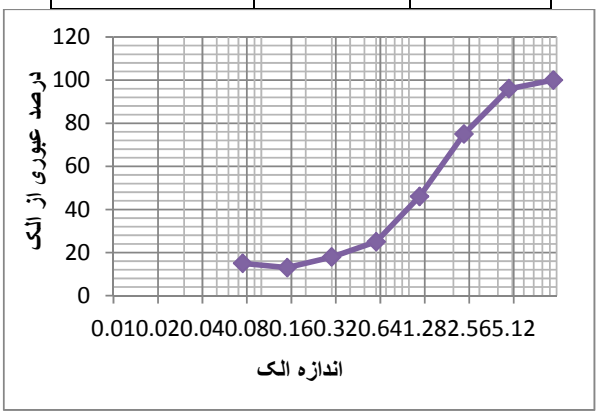
در این قسمت به بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک تثبیت نشده مانند آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود اتربرگ و تراکم که پیش نیاز انجام آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا است پرداخته می‌شود. همچنین نتایج آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا بر روی نمونه شاهد و نمونه‌های تثبیت شده با الیاف شیشه و پلی‌اتیلن گرانول نیز مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳-۱- نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود اتربرگ و تراکم

با نمونه برداری از خاک منطقه طاسبندی جاده ریلی همدان ملایر و انجام آزمایش دانه بندی و حدود اتربرگ نتایج زیر بدست آمد. در جدول ۲ نتایج حاصل از آزمایش حدود اتربرگ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲. نتایج آزمایش حدود اتربرگ

حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
٤٦	٢٢	٢٤



شکل۳. منحنی دانه‌بندی خاک خالص

در ادامه در شکل ۳ منحنی دانه‌بندی نمونه برداشت شده از سایت مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

با توجه به نمودار شکل ۳ درصد عبوری الک۲۰۰ بیشتر از ۱۲٪ است، خاک دارای مصالح ریزدانه می‌باشد. از طرفی با توجه به میزان شاخص خمیری خاک مورد مطالعه، نام خاک بر اساس طبقه بندی سیستم متحد ماسه رسدار (SC) می‌باشد. با انجام آزمایش تراکم اصلاح شده که دارای ۵ لایه و ۵۵ ضربه می‌باشد، رطوبت بهینه ۹/۸ درصد و میزان حداکثر دانسیته خشک خاک ۲/۰۵ بدست آمد.

۳-۲- نتایج آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا بر روی خاک ماسه رسدار در ٤ مرحله انجام شد. این مراحل عبارتند از:

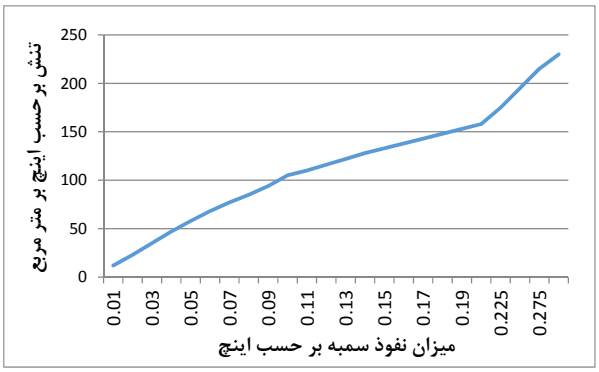
۱. مرحله خاک خالص
۲. مرحله افزودن الیاف شیشه (FG)
۳. مرحله افزودن گرانول پلی اتیلن (PE)
٤. مرحله افزودن ترکیبی گرانول پلی اتیلن و الیاف شیشه

۳-۲-۱- مرحله خاک خالص

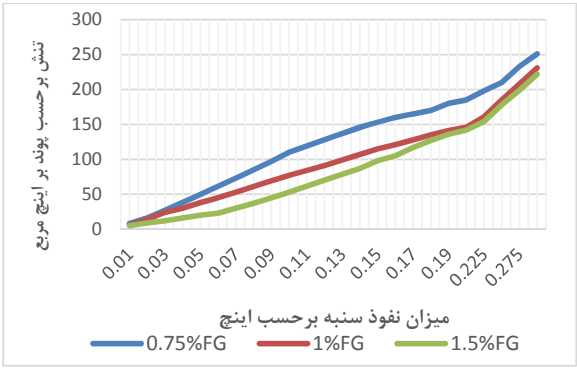
در این مرحله برای اینکه بتوان خاک تثبیت نشده را با خاک تثبیت شده مقایسه کرد باید آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا را نیز روی نمونه شاهد انجام داد. در شکل ٤ منحنی محاسبه CBR برای خاک خالص آورده شده است.

۳-۲-۲- مرحله افزودن الیاف شیشه

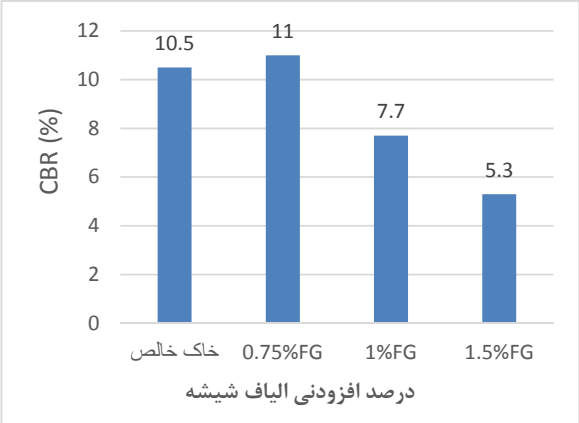
در این مرحله با اضافه کردن الیاف شیشه ٦ میلی‌متری به میزان درصدهای ۰/۷۵ درصد، ۱ درصد و ۱/۵ درصد به خاک، آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا انجام شد و میزان درصد بهینه مشخص شد. نتایج به صورت نمودار در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های CBR روی خاک مخلوط با درصدهای مختلف الیاف شیشه می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه باعث افزایش مقدار CBR خاک شد و می‌توان میزان ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه را به عنوان درصد بهینه الیاف شیشه در این تحقیق معرفی نمود. (شکل ٦).



شکل ٤. منحنی محاسبه CBR برای خاک خالص



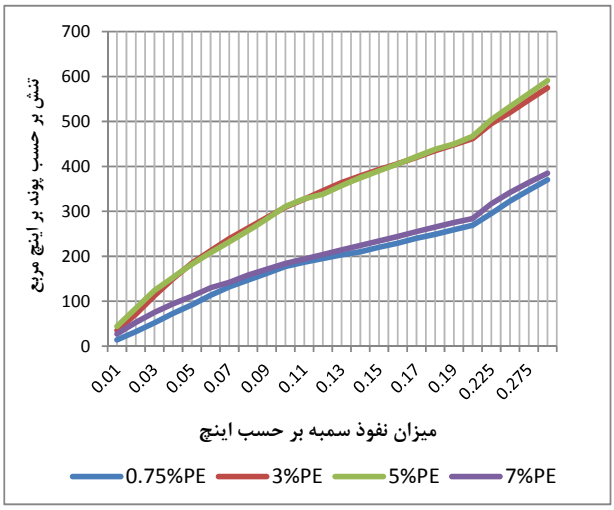
شکل ۵. نتایج CBR خاک همراه با درصدهای مختلف الیاف شیشه



شکل ٦. میزان CBR خاک همراه افزودنی الیاف شیشه در درصدهای مختلف

۳-۲-۳- مرحله افزودن گرانول پلی اتیلن

برای اضافه کردن این افزودنی باید مقدار خاصی را اضافه نمود، به همین علت برای بدست آوردن این موضوع باید انقدر آزمایش تکرار شود تا مقدار بهینه مشخص گردد. از همین رو از کمترین مقدار یعنی زیر ۱ درصد شروع به انجام آزمایش نموده و تا ۷ درصد آزمایش دامه یافت تا میزان بهینه پلی اتیلن بدست آید. این مراحل در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد.

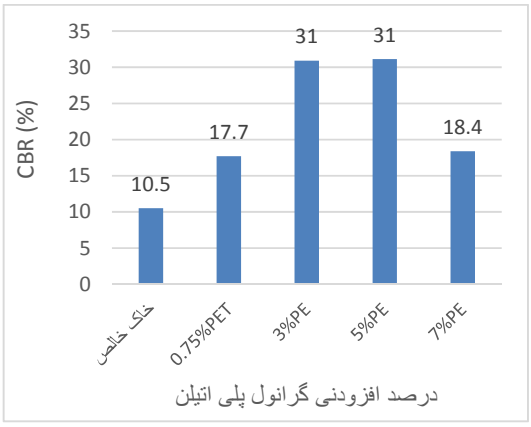


شکل ۷. مقدار CBR خاک همراه با درصدهای مختلف گرانول پلی‌اتیلن

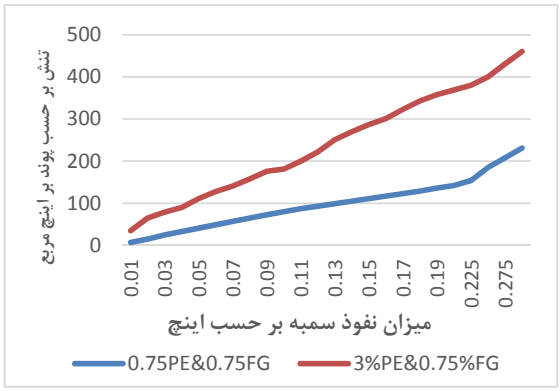
با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های CBR روی خاک مخلوط با درصدهای مختلف پلی‌اتیلن می‌توان نتیجه گرفت که افزودن پلی‌اتیلن گرانول به خاک باعث افزایش چشمگیری در عدد CBR خاک می‌شود بگونه‌ای که در ۳ درصد و ۵ درصد تقریبا باعث افزایش ۳۰۰ درصدی نسبت باربری کالیفرنیا شد (شکل ۸). از همین رو بدلیل اینکه ۳ درصد افزودنی و ۵ درصد افزودنی به نسبت، برابری می‌کنند میزان ۳ درصد که اقتصادی‌تر است به عنوان عدد بهینه انتخاب شد.

۳-۲-٤- مرحله افزودن ترکیبی گرانول پلی اتیلن و الیاف شیشه

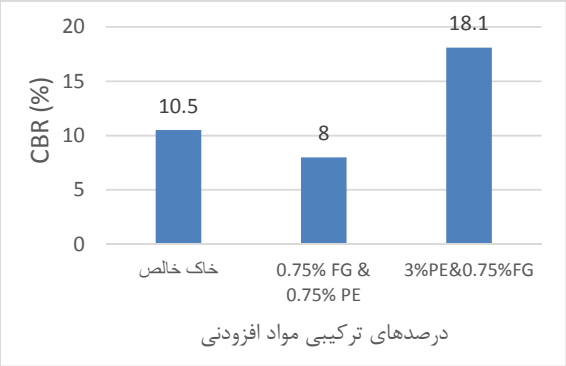
در این مرحله با توجه به پیشینه تحقیق میزان بهینه الیاف شیشه ۰٫۷۵ درصد ، تصمیم بر اضافه کردن مساوی الیاف شیشه و پلی‌اتیلن به خاک گرفته شد. با نتیجه‌گیری ضعیف عملکرد ترکیبی این دو ماده بصورت درصدهای مساوی تصمیم به انجام آزمایش با میزان بهینه هر دو ماده شد. به این معنی که ترکیب ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه و ۳ درصد پلی‌اتیلن گرانول با خاک مخلوط شد و مورد آزمایش قرار گرفت. داده‌ها و نتایج آن به شرح زیر در شکل ۹ و ۱۰ آورده شده است.



شکل ۸. میزان CBR خاک همراه افزودنی گرانول پلی اتیلن در درصدهای مختلف

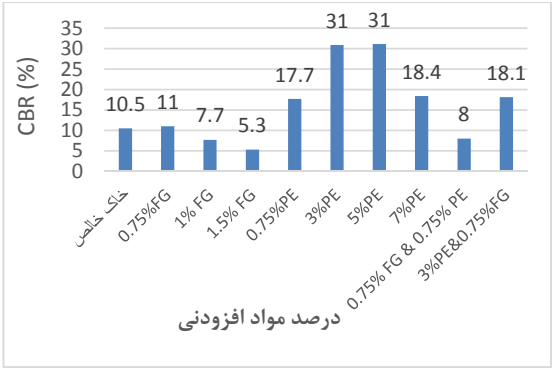


شکل ۹. میزان CBR خاک همراه با افزودن ترکیبی افزودنی‌ها



شکل ۱۰. میزان CBR خاک همراه افزودنی گرانول پلی‌اتیلن و الیاف شیشه

با توجه به شکل ۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب دوم (ترکیب ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه و ۳ درصد پلی‌اتیلن گرانول) تاثیر خوبی روی افزایش میزان CBR خاک داشته است. در ادامه در شکل ۱۱ به مقایسه میزان CBR خاک همراه با افزودنی و بدون افزودنی پرداخته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های CBR بر روی نمونه‌های ترکیبی دارای الیاف شیشه و پلی اتیلن (شکل ۱۱) دریافت می‌شود که عدد CBR خاک در ترکیب مساوی افزودنی‌ها افزایشی نداشت اما اضافه کردن میزان بهینه پلی اتیلن و الیاف شیشه به خاک منجر به افزایش در عدد CBR خاک شد. اما با یک مقایسه کلی باید گفت افزودن مقدار بهینه گرانول پلی‌اتیلن به خاک به تنهایی، بیشترین تاثیر در افزایش CBR خاک را داشته است. در این پژوهش بدلیل عدم یافتن الیاف شیشه ۱۲ میلی‌متر به بالا، از الیاف ٦ میلی‌متری استفاده شد و عدم افزایش چشمگیر CBR خاک می‌تواند ناشی از همین موضوع باشد.

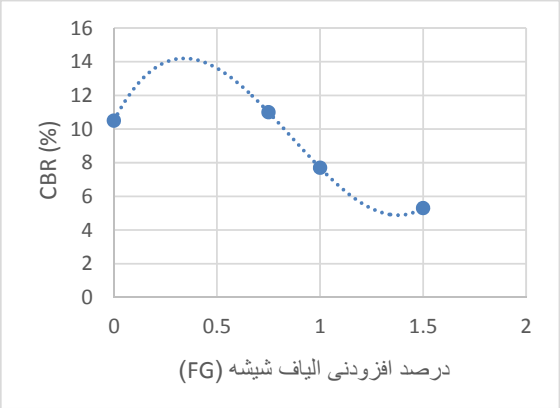


شکل ۱۱. مقایسه‌ای میزان CBR خاک همراه افزودنی و بدون افزودنی

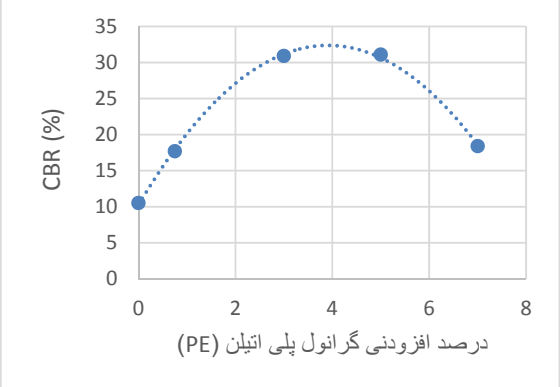
۳-۳- نمودار تغییرات CBR با افزایش افزودنی‌های مختلف

شکل‌های ۱۲ تا ۱٤ روند تغییرات مقدار CBR خاک را در سه سناریوی افزودن الیاف شیشه تنها، افزودن پلی اتیلن گرانول تنها و افزودن ترکیب الیاف شیشه و پلی اتیلن گرانول به ترتیب نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۱۲ پیداست با افزودن درصد کم الیاف شیشه (۰/۷۵ درصد) مقدار CBR کمی افزایش داشته ولی با افزایش درصد الیاف روند کاهشی در مقاومت CBR دیده می‌شود.

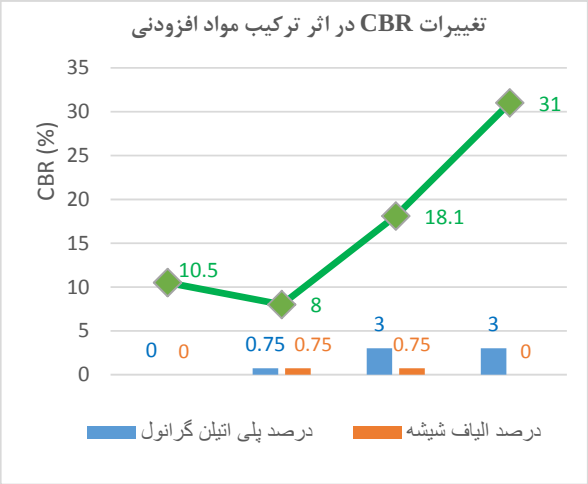
در شکل ۱۳، با افزایش درصد پلی اتیلن گرانول به خاک مقاومت CBR خاک افزایش قابل توجهی (حدوداً ۲۰۰ درصد) داشته ولی با افزایش درصد پلی اتیلن گرانول به ۷ درصد روند کاهشی در مقاومت CBR دیده می‌شود. همچنین می‌توان دریافت که اگرچه افزودن پلی اتیلن به خاک در تمامی درصدهای استفاده شده در این تحقیق جهت تثبیت خاک می‌تواند اثرات مثبتی داشته باشد و میزان CBR خاک را نسبت به خاک مبنا افزایش می‌دهد، ولی این میزان افزایش در مقدار بهینه (۳ درصد پولی اتیلن گرانول) بالاتر و مقرون بصرفه‌تر خواهد بود. در شکل ۱٤ نیز روند تغییرات مقاومت CBR خاک در درصدهای ترکیبی الیاف شیشه و پلی اتیلن گرانول نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، ترکیب ۳ درصد پلی اتیلن گرانول با مقادیر ۰/۷۵ و ۰ درصد الیاف شیشه دارای مقاومت CBR بیشتری نسبت به خاک مبنا می‌باشد، ولی ۳ درصد پولی اتیلن گرانول بهینه و مقرون بصرفه‌تر خواهد بود.



شکل۱۲. روند تغییرات CBR با افزودن الیاف شیشه



شکل۱۳. روند تغییرات CBR با افزودن پولی اتیلن گرانول



شکل ۱۴. تغییرات CBR در سناریوی ترکیبی پلی‌اتیلن و الیاف شیشه

۵-نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌هایی که بر روی نمونه‌های ساخته شده با افزودنی پلی اتیلن گرانول و نمونه‌های ترکیبی ساخته شده با پلی اتیلن گرانول و الیاف شیشه انجام شد، می‌توان به نتایج زیر رسید:

- با توجه به افزایش روز افزون جمعیت شهری و در پی آن افزایش تولید زباله و با در نظر گرفتن این مقوله که پلی اتیلن یکی از پرکاربردترین مواد در تولید قطعات پلاستیکی، صنایع بسته بندی، بطری‌های آب و دیگر محصولات مصرفی انسان است، بنابراین استفاده از آن برای تثبیت خاک هم باعث رفع مشکلات زیست محیطی مانند دفن زباله می‌شود و هم باعث افزایش خواص فیزیکی خاک می‌گردد.
- میزان بهینه پلی اتیلن گرانول ۳ درصد بدست آمد. این میزان نسبت به مقدار ۵٪ بهینه‌تر و اقتصادی‌تر می‌باشد.
- افزودن پلی اتیلن گرانول (PE) به تنهایی به میزان بهینه باعث افزایش عدد CBR خاک به شکل چشمگیری تا ۲۰۰ درصد نسبت به نمونه شاهد شد.
- در نمونه ترکیبی پلی اتیلن گرانول و الیاف شیشه به صورت درصد مساوی، افزایشی در عدد CBR خاک مشاهده نشد اما اضافه کردن ۳ درصد پلی اتیلن به همراه ۰/۷۵ درصد الیاف شیشه به خاک باعث افزایش نسبت باربری کالیفرنیا در خاک شد.
- افزایش مقاومت خاک توسط پلی‌اتیلن و الیاف شیشه باعث کاهش ضخامت لایه‌های بعدی و در نتیجه باعث کاهش هزینه‌ها و مقرون بصرفه کردن پروژه می‌گردد.
- طبق بررسی‌های انجام شده از چندین مقاله می‌توان گفت میزان طول الیاف تاثیر مستقیمی بر نتیجه آزمایش‌ها دارد یعنی با افزایش طول الیاف، مقدار CBR افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در این تحقیق از الیاف با طول ٦ میلیمتر استفاده شده بود، تاثیر کمتری در تغییرات CBR مشاهده شد.

٦-پی‌نوشت‌ها

1. Depolymerized Recycled Polyethylene Terephthalate
2. Fiber Glass
3. Polyethylene

٦- مراجع

-Al-Taie, A.J, Al-Obaidi.A, Alzohairi.M. (2019). Utilization of Depolymerized Recycled Polyethylene Terephthalate in Improving Poorly Graded Soil. *Springer Science Business Media*, LLC, part of Springer Nature 2019. s40515-019-00099-2**.**

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

-Attom, M. F. and Al-Tamimi, A. K. (2010)**.** Effects of polypropylene fibers on the shear strength of sandy soil. Int. J. Geosci., 1(1): 44-50**.**

-Baruah, H. (2015). Effect of glass fiber on red soil. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*,3(1), 217–223**.**

-Hajiannejad, Zahra and Karamati, Mohsen and Naderi, Reza (2018). investigation of the effect of reinforcement with PET fibers on the shear strength of Anzali sand, the 6th National Conference of Applied Researches in Civil Engineering, *Architecture and Urban Management and the 5th Specialized Exhibition of Housing and Building Builders Tehran Province***.** Tehran**.** https://civilica.com/doc/927397 (in Persian**)**

-Javdanian, H., (2017). The effect of geopolymerization on the unconfined compressive strength of stabilized fine-grained soils. *Int. J. Eng. Trans*. B: Appl., 30(11): 1673-1680.

-Kumar Patel, S. (2022). Experimental Investigation of Glass Fiber Reinforced Clayey Soil for Its Possible Application as Pavement Subgrade Material. *New Approaches in Foundation Engineering*.
doi: 10.5772/intechopen.102802

-Lokmane Abdeldjouad , Afshin Asadi, R.J. Ball, Haslinda Nahazanan,Bujang B.K. Huat. (2019). Application of alkali-activated palm oil fuel ash reinforced with glass fibers in soil stabilization. *Soils and Foundations 59*, 1552–1561.

-Mohsen Sandiani, Javad Tanzadeh. (2020). Laboratory assessing of the liquefaction potential and strength properties of Sand soil treated with mixture of nanoclay and glass fiber under dynamic and static loading. *J Mater Res Techno* l.2020;9(6):12661–12684.

-Oriya, Ahad and Zardari, Saeed (2016). Investigating the effect of length and weight percentage of fibers on the shear strength of soil stabilized with artificial fibers by accident, *Infrastructure and Transportation Engineering*, 3(1), 99-110.
doi: 10.22075/jtie.2017.1469.1118

-Patel, S. K., & Singh, B., (2017). Experimental investigation on the behaviour of glass fibre reinforced cohesive soil for application as pavement Sub grade material. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 3(13), 12.

-Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, (2021). ASTM D1883, (West Conshohocken, PA: *ASTM International*, Last Updated, Dec 10.

-Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)), (2021). ASTM D698, West Conshohocken, PA: *ASTM International*, Last Updated: Jul 05.

-Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis eLearning Course, (2017). ASTM D6913 (West Conshohocken, PA: *ASTM International*, Last Updated: May 18.

-Sujatha, E. R., Lakshmi Priya, E., Sanghavi, A. R., & Poonkuzhali, V. (2018a). Influence of random inclusion of sisal fibres on the unconfined compressive strength of highly compressible clay. *ScientiaIranica*, 25(5), 2517–2514.

-Vikas Rameshrao Kulkarni, Ganesh Keshavrao Patil. (2014). Expermental Study of Stabilization of B.C Soil by Using Slag and Glass Fibers. *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, 12, 107-112.

Feasibility of Increasing the Bearing Capacity of Sand-Clay Subgrade Soil using the Combination of Glass Fibers and Polyethylene Granules

Daryoosh Daryaee, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Mohammadreza Elyasi, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Fatemeh Sarabi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

Ali Yoosefi, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, Malayer University, Malayer, Iran.

E-mail: D.daryae@malayeru.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Dealing with the problems of waste plastic, it is possible to strengthen the soil of the pavement subgrade by adding polyethylene, which is the basic component of the plastic materials. In this research, polyethylene is used in the form of granules as an additive with soil, because it is very similar to sand grains in terms of formation, and it increases the possibility of obtaining specifications. On the other hand, glass fibers are also used to increase the shear strength of the soil. The change trend of soil CBR value was investigated in three scenarios: adding only glass fibers, adding only granulated polyethylene and adding a combination of glass fibers and granulated polyethylene. By adding a small percentage of glass fibers (0.75%), the CBR value increased slightly, but with an increase in the percentage of fibers, a decrease in CBR resistance was seen. On the other hand, by increasing the percentage of polyethylene granules in the soil, the CBR resistance of the soil increased significantly, but with an increase in the percentage of polyethylene granules to 7%, a decrease in CBR resistance was observed. In addition, the CBR test was performed on two composite samples in such a way that the first sample was made with 0.75% polyethylene and 0.75% glass fibers and the second sample was made with 3% polyethylene and 0.75% glass fibers. In the combined sample of polyethylene granules and glass fibers in equal percentage, no increase in soil CBR number was observed, but adding 3% of polyethylene along with 0.75% of glass fibers to the soil increases the CBR value in the soil.

Keywords: Glass Fibers, Stabilization, Polyethylene Granules, California Load Ratio, Subgrade