



بررسی اثر افزودن اتیلن-وینیل استات بر پارامترهای مقاومت خاک دانه‌ای

مهسا میری، مسعود عامل‌سخی*، مرتضی جیریایی شراهی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸
بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴
پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶
ارائه آنلاین: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

کلمات کلیدی:

بهبودی خاک
تسلیح خاک دانه‌ای
ماده ضایعاتی
اتیلن-وینیل استات (EVA)
محیط زیست

خلاصه: بهسازی خاک‌ها از دیرباز نقش مهمی در علوم عمرانی به خصوص در علم ژئوتکنیک ایفا کرده است لیکن با گذشت زمان و کمبود زمین‌های مقاوم جهت احداث سازه‌های عمرانی پیشرفته‌تر، مهندسی این حوزه بر آن شدند تا روش‌های نوینی در جهت تثبیت و تسلیح خاک‌های مسئله‌دار به کار گیرند. هم‌چنین در سال‌های اخیر با توجه به مشکلات زیست‌محیطی هم‌چون افزایش زباله و ضایعات صنعتی و رها شدن آن‌ها در محیط زندگی افراد، مشکلاتی را برای حیات موجودات زنده به وجود آورده است. در چنین شرایطی مهندسی حوزه ژئوتکنیک تلاش نموده‌اند، با به کارگیری این مواد در پروژه‌های عمرانی، حفاظتی از محیط‌زیست به عمل آید و علاوه بر آن با توجه به هزینه‌های بسیار ناچیز مواد ضایعاتی، باعث کاهش هزینه‌های اقتصادی پروژه‌های بهسازی خاک نیز بشوند. در نتیجه در این پژوهش، به تسلیح خاک دانه‌ای در دو حالت سست و نیمه متراکم با استفاده از ماده ضایعاتی صنعتی پلیمری با نام کامل اتیلن-وینیل استات (EVA) پرداخته شده است. آزمایش‌ها در درصدهای مختلف وزنی EVA (۰، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵، ۲، ۲/۲۵، ۳، ۴) بدون افزودن رطوبت و با استفاده از دستگاه CBR صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد CBR خاک با استفاده از این مواد افزودنی به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده و تاثیر آن با کاهش وزن مخصوص خاک، بر روی خاک بیشتر می‌شود. هم‌چنین مقدار بهینه مواد افزودنی در حالت سست و نیمه متراکم به ترتیب ۲٪ افزودنی و ۱٪ افزودنی می‌باشد.

۱- مقدمه

با وجود پیشرفت جوامع و گسترش راه‌ها و ساختمان‌های بلند و دیگر سازه‌ها، نیاز به زمینی مقاوم‌تر و مستحکم‌تر برای احداث پی سازه‌ها، بستر جاده‌ها، سد‌ها و ... با مقاومت کافی بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است، بنابراین تثبیت و تسلیح خاک‌های سست اعم از رسی و یا ماسه‌ای مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. هم‌چنین بازیافت و دفع زائدات و نخاله‌های صنعتی از مشکلات اصلی محیط زیست به شمار می‌رود که باقی ماندن آن‌ها در محیط زندگی انسان‌ها و موجودات کره زمین باعث آسیب رساندن به زیستگاه طبیعی آن‌ها می‌شود. امروزه سعی می‌شود با هدف افزایش مقاومت و ظرفیت باربری خاک، از مواد ضایعاتی در تثبیت و تسلیح خاک استفاده گردد تا با این روش به حفظ محیط زیست نیز کمک شود. پژوهشگران حوزه ژئوتکنیک بر روی راهکارهای گوناگونی از روش‌های سنتی تا مدرن برای بهسازی، تسلیح و تثبیت انواع خاک‌ها مطالعه و تحقیق کرده‌اند. از جمله این روش‌ها شامل: روش تزریق شیمیایی، تراکم دینامیک، استفاده از تسمه‌ها

و ژئوتکتایل‌ها، نیلینگ، اختلاط خاک با مواد مختلف هم‌چون پلاستیک،

الیاف و ... می‌توان اشاره نمود.

استفاده از هر کدام از این روش‌ها در پروژه‌ها وابسته به شرایط آن از قبیل نوع خاک، قرارگیری زمین مورد نظر، دسترسی آسان به مصالح تسلیح و ... می‌باشد. از این رو لانگ و همکاران (۲۰۱۹) برای بهسازی و تثبیت خاک‌های نرم بستر راه آهن پر سرعت که از نظر سلامت ساختاری و دوام بسیار مهم است، به بررسی اثر افزودن ضایعات محلی ذغال سنگ به خاک ضعیف پرداختند که سبب افزایش فشاری نمونه‌ها شد [۱]؛ هم‌چنین ژئوگریدها دسته‌ای از مواد ژئوستتیک ساخته شده از مواد پلیمری با کاربردهای گسترده حمل و نقل، زیرساختی و ساختاری هستند و در حال حاضر به طور معمول در کاربردهای تثبیت خاک از دیوارهای تقویت کننده تا تقویت خاک زیر اساس یا خاکریزها با پتانسیل افزایش یافته برای کاربردهای سنجش از دور استفاده می‌شوند [۲]. استفاده از سیستم‌های خاک ژئوستتیک به عنوان جایگزینی برای خاکریزهای معمولی، به ویژه برای خطوط سریع السیر راه‌آهن، به دلیل مساحت پایه کوچک‌تر نسبت به خاکریزهای معمولی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: amelsakhi@qut.ac.ir



در تراکم‌های متفاوت پرداختند. نتایج آزمایش CBR^1 نشان می‌دهد که با افزایش درصد حجمی مواد افزودنی عدد CBR افزایش یافته و همچنین نسبت طول به عرض نقش موثری در تغییرات پارامتر CBR دارد [۱۲]. هوشیار و رستمی (۲۰۱۸) به بررسی اثر استفاده از ضایعات پلاستیکی یک بار مصرف در بهبود ظرفیت باربری خاک ماسه‌ای در درصدهای وزنی متفاوت با استفاده از دستگاه CBR پرداختند و نتایج نشان داد که با قرار دادن قطعات پلاستیکی در خاک، ظرفیت باربری افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند و مقادیر بهینه بین ۲ تا ۲/۵ درصد می‌باشد [۱۳]. اثر بهسازی خاک با استفاده از الیاف پلی‌استر بر پارامترهای مقاومت برشی خاک، باعث بهبود قابل توجه خاک SC^2 و همچنین مقدار بهینه این الیاف ۱٪ گزارش شده است [۱۴]. علاوه بر اختلاط مواد با خاک برای بهسازی خاک‌های سست، افزودن مواد شیمیایی و پلیمری یکی دیگر از روش‌های تثبیت خاک‌های مسئله‌دار می‌باشد. خاک رس (شبه مارن) به علت مقاومت پایین، جذب آب زیاد و تغییر حجم یکی از انواع خاک‌های مسئله‌دار می‌باشد. تثبیت این خاک با استفاده از نانوسیلیس و نانو آلومینیوم در درصدهای مختلف نشان می‌دهد افزودن نانو آلومینیوم نسبت به نانوسیلیس تأثیر بیشتری در کاهش تورم نمونه‌های تثبیت شده دارد. با این حال، نانوسیلیس تأثیر بیشتری در افزایش مقاومت دارد [۱۵]. میرزابابایی و همکاران (۲۰۱۷) به مطالعه تأثیر دو ماده افزودنی شیمیایی پلی (وینیل الکل) (PVA^3) و اسید کربوکسیلیک تترا ۱،۲،۳،۴ بوتان ($BTCA^4$) بر روی مقاومت فشاری محدود نشده یک نمونه خاک رس منبسط شونده در دو حالت وزن مخصوص پرداختند و نتایج نشان داد مقاومت فشاری هر دو خاک رس متراکم و نرم به طور قابل توجهی بهبود یافت [۱۶]. در پژوهشی دیگر، به علت عملکرد مکانیکی ضعیف خاک‌های سیلتی به تقویت آن با استفاده از کاه گندم و پلی وینیل الکل (PVA) جهت بهبود مشخصات ژئوتکنیکی خاک با استفاده از آزمایش‌های سه محوری و CBR پرداختند. در ابتدا با توجه به کم هزینه بودن، سازگاری با محیط‌زیست و فراوانی کاه گندم به تقویت خاک‌های سیلتی پرداختند و سپس مواد PVA به آن افزوده شد و نتایج نشان می‌دهد خاک سیلتی تقویت شده با دو ماده مذکور در برابر خوردگی موثر بوده و استحکام کششی آن به میزان قابل توجهی افزایش یافته است [۱۷]. رضایی ملک و همکاران (۲۰۱۷) یک پلیمر مایع فعال شده مرطوب از خانواده عمومی متیلن دیفنیل دیبزیوسیانات

محبوبیت پیدا کرده است [۳]. اثر افزودن مقادیر مختلف سیمان به خاک رسی به روش اختلاط عمیق خاک مرطوب نیز نشان داد مقاومت فشاری نامحدود و سختی نمونه‌های خاک بهبود یافته با محتوای سیمان، افزایش یافت [۴]؛ لیکن یکی از موارد مهم و اثرگذار، هزینه‌های اقتصادی پروژه‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر سعی شده است با استفاده از مواد ضایعاتی هم‌چون پلاستیک‌ها، لاستیک، پودر آهن و ... علاوه بر تقویت خصوصیات خاک، باعث کاهش هزینه‌ها نیز بشود. افزودن پودر آهن بر حدود اتربرگ خاک‌های رس با کاهش شاخص خمیری و حد روانی همراه بوده است [۶] و [۵]. همچنین اختلاط پودر آهن با خاک‌های رمنده باعث بهبود خصوصیات این خاک و کاهش نشست فروریزی هنگام مرطوب شدن، می‌شود و نسبت بهینه پودر آهن در این نوع خاک‌ها، ۰.۵٪ تا ۰.۶٪ وزنی خاک می‌باشد [۷]. در شرایط کمبود خاک‌های دانه‌ای مناسب در محل‌های مختلف، الیاف پوسته بیرونی نارگیل و خاکستر بادی به دلیل در دسترس بودن زیاد به عنوان مواد زائد و حفظ منابع طبیعی در تقویت مشخصات خاک نیز استفاده شده است. همچنین ۳ درصد سیمان نیز به خاک مسلح شده به الیاف و خاکستر بادی افزوده شد و یک سری آزمایشات آزمایشگاهی مانند برش مستقیم و مقاومت فشاری محدود نشده انجام شد. نتایج نشان داد مقاومت برشی افزودن ۲ درصد الیاف نارگیل و ۱۰ درصد خاکستر بادی مخلوط شده، ۱/۵ تا ۲ برابر مقاومت برشی خاک بدون افزودنی می‌باشد [۸]. در پژوهشی دیگر، اختلاط خاک رس و ماسه با استفاده از الیاف کتاف سبب بهبود پارامترهای مقاومت برشی به علت تنش‌های کششی ایجاد شده توسط الیاف در خاک و انعطاف‌پذیری مخلوط می‌شود [۹]. استفاده از مواد زائد پلاستیکی در زمینه مهندسی عمران، یکی از راه‌حل‌های مناسب برای کمک به دفع زباله‌ها به خصوص پلاستیک‌ها می‌باشد. طبق آزمایش‌های تجربی، قطعات زباله‌های پلاستیکی به دلیل افزایش اصطکاک داخلی باعث افزایش قابل توجهی در مقاومت خاک‌های ماسه‌ای و رسی می‌شود اما درصد افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای کمی بیشتر از خاک رس است [۱۰]. همچنین بخیتی و همکاران (۲۰۱۹) با افزودن الیاف تایر لاستیک به خاک رس بنتونیت نشان دادند که مقدار شکل‌پذیری با افزایش مقدار الیاف لاستیک افزایش می‌یابد [۱۱].

علاوه بر تاثیر نوع مواد بر خصوصیات خاک، شکل ظاهری و ابعاد نیز می‌تواند بر بهسازی موثر باشد؛ از این رو مهدی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) به مطالعه رفتار ماسه مسلح شده توسط تراشه‌های کف‌پوش‌های لاستیکی ضایعاتی با نسبت طول به عرض مختلف و سه درصد حجمی مختلف و

1 California Bearing Ratio, CBR

2 ماسه رسی

3 Poly(vinyl alcohol), PVA

4 1,2,3,4 Butane Tetra Carboxylic Acid, 1,2,3,4 BTCA

افزایش یافت، توانایی ضد یخ CESS به طور قابل توجهی بهبود یافت [۲۳].

با توجه به اهمیت و گستردگی استفاده از افزودنی‌های مختلف به منظور بهسازی خاک، هدف از این پژوهش بررسی اثر تسلیح به روش اختلاط بر مقاومت خاک ماسه‌ای با استفاده از مواد ضایعاتی پلیمری اتیلن-وینیل استات (EVA) در درصد‌های وزنی مختلف و در دو نوع تراکم مختلف خاک است. در واقع با توجه به جامد بودن این ماده افزودنی، یک روش آسان، سریع و بدون تغییر بافت خاک است. طبق بررسی‌های انجام شده، تاکنون تلاش چندانی در زمینه بهسازی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از قطعات خرد شده EVA نسبت به مواد دیگر پلیمری انجام نشده است. همچنین با توجه به ضایعاتی بودن این ماده، باعث کاهش هزینه‌های اقتصادی در زمینه بهسازی پروژه‌های عمرانی می‌گردد و به دلیل آن که بسیاری از مواد پلیمری تجدیدناپذیر بوده، به کارگیری آن‌ها در زمینه عمرانی، کمک شایانی به محیط زیست می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- خاک

در این پژوهش از یک نوع خاک دانه‌ای با دانه‌بندی مشخص (رد شده از الک #۴ تا مانده روی الک #۵۰) به عنوان خاک پایه استفاده شده است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد خاک‌ها، این خاک ماسه بد دانه‌بندی شده است. شکل ماسه، منحنی دانه‌بندی و ویژگی‌های آن به ترتیب در شکل ۱، شکل ۲ و جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- مواد مسلح کننده

مواد تسلیح کننده مورد استفاده در این تحقیق با نام کامل اتیلن-وینیل استات (Ethylene-Vinyl Acetate) به عنوان ماده ضایعاتی صنعتی پلیمری می‌باشد. به منظور اختلاط مواد EVA با خاک، در قطعات تقریباً مساوی و هم‌اندازه خرد شده‌اند که تصویر و منحنی دانه‌بندی آن به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است.

همچنین با توجه به ویژگی کشش این ماده، که از مهم‌ترین خواص مکانیکی در مشخصات پلیمرها به حساب می‌آید؛ برای چندین نمونه EVA با ابعاد $۷۳/۵ \times ۱۸/۳۹$ میلی‌متر مربع و میانگین ضخامت $۴/۷۸$ میلی‌متر، با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه (بر اساس خصوصیات ماده اعم از سختی آن تعیین می‌شود تا بتوان به ماده فرصت ازدیاد طول، تغییر شکل و رسم نمودار تنش کرنش را داد) و با استفاده از دستگاه SANTAM STM

(MDI¹) را به عنوان تثبیت کننده خاک برای ماسه بد دانه‌بندی شده مورد مطالعه قرار دادند. مطالعات حاکی از آن است که با افزایش نسبت پلیمر به آب، مقاومت ماسه تثبیت شده با افزایش مقدار پلیمر اضافه شده، تقریباً به صورت خطی افزایش یافته و نسبت بهینه پلیمر به آب $۱:۲$ است [۱۸]. بررسی نتایج خصوصیات مکانیکی خاک رس با پلاستیسیته کم با تثبیت نانوکربنات کلسیم و تسلیح با ضایعات الیاف فرش (CWF²) نشان داد که افزودن نانوذرات به خاک رس باعث بهبود خصوصیات خاک رس می‌شود و علاوه بر این، ضایعات الیاف فرش (CWF) سختی خاک را افزایش می‌دهد [۱۹]. همچنین افزودن براده آلومینیم به خاک رس با پلاستیسیته کم تأثیر فراوانی بر روی وزن مخصوص خشک بیشینه مخلوط رس و ذرات آلومینیم ندارد ولی باعث کاهش چشم‌گیر وزن مخصوص بیشینه در مخلوط رس و ذرات پلی‌اتیلن بازیافتی می‌شود [۲۰]. سعیدی‌کیا و مدنی (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر جایگزینی $۱۵/۵$ و ۲۵ درصد اتیلن وینیل استات و وینیل استات بر خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم پرداختند. خواص مکانیکی مورد بررسی شامل مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بوده است. نتایج نشان می‌دهد اتیلن وینیل استات با نسبت پلیمر به سیمان ۵ و ۲۵ درصد، عملکرد مطلوبی نسبت به وینیل استات داشته و در ۱۵% جایگزینی، این دو پلیمر عملکرد یکسانی از خود نشان داده‌اند [۲۱]. فقیهی و همکاران (۱۳۸۴) به اثر اتیلن وینیل استات (EVA³) بر روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن تقویت شده با الیاف پارچه شیشه پرداختند. با توجه به نتایج، اصلاح ماتریس پلی‌پروپیلن و الیاف پارچه شیشه به وسیله EVA علاوه بر سهولت فرآیند، موجب بهبود خواص مکانیکی این نوع کامپوزیت‌ها شد. علت این پدیده افزایش استحکام سطح مشترک است و از طرفی EVA به دلیل خاصیت چسبناکی ذاتی خود موجب افزایش هر چه بیشتر در استحکام چسبندگی سطح مشترک می‌شود [۲۲]. در پژوهشی از ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز به بررسی اثر کopolymer اتیلن - وینیل استات (EVA) به عنوان عامل سخت کننده خاک تثبیت شده با سیمان پرداختند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری محدود نشان داد EVA می‌تواند استحکام CESS⁴ را در زمان‌های مختلف عمل‌آوری بهبود بخشد و خواص لس تثبیت شده با سیمان را تقویت نماید. همچنین آزمایش چرخه ذوب-انجماد نشان داد که زمانی که مقدار EVA از ۰ به ۴۵۰ میلی‌لیتر بر متر مکعب

1 Methylene Diphenyl Diisocyanate (usually addressed as MDI)

2 Carpet Waste Fibers, CWF

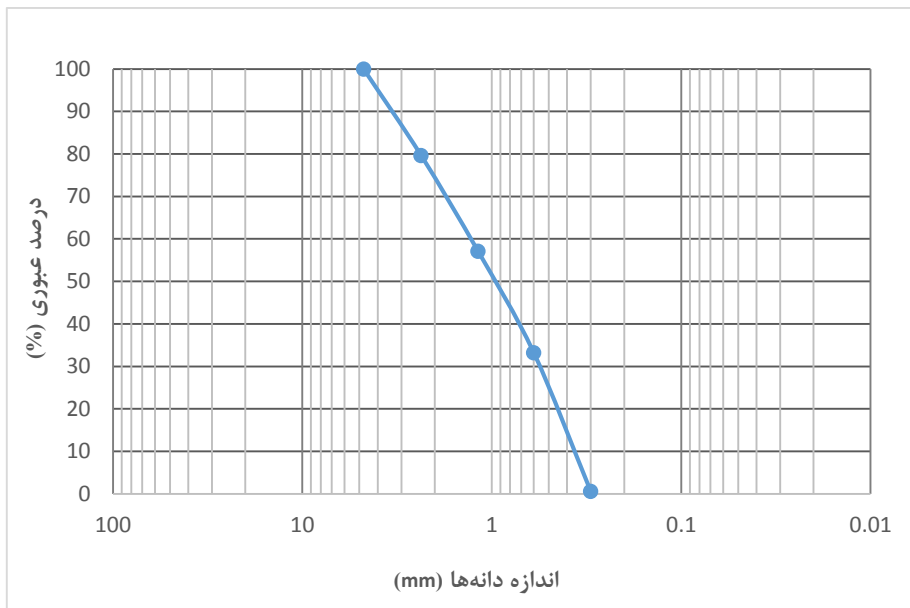
3 Ethylene-vinyl acetate, EVA

4 Cement-EVA Stabilized Soil, CESS



شکل ۱. شکل دانه‌های خاک ماسه‌ای

Fig. 1. Shape of sandy soil grains



شکل ۲. منحنی دانه‌بندی خاک

Fig. 2. Soil granulation curve

جدول ۱. مشخصات خاک

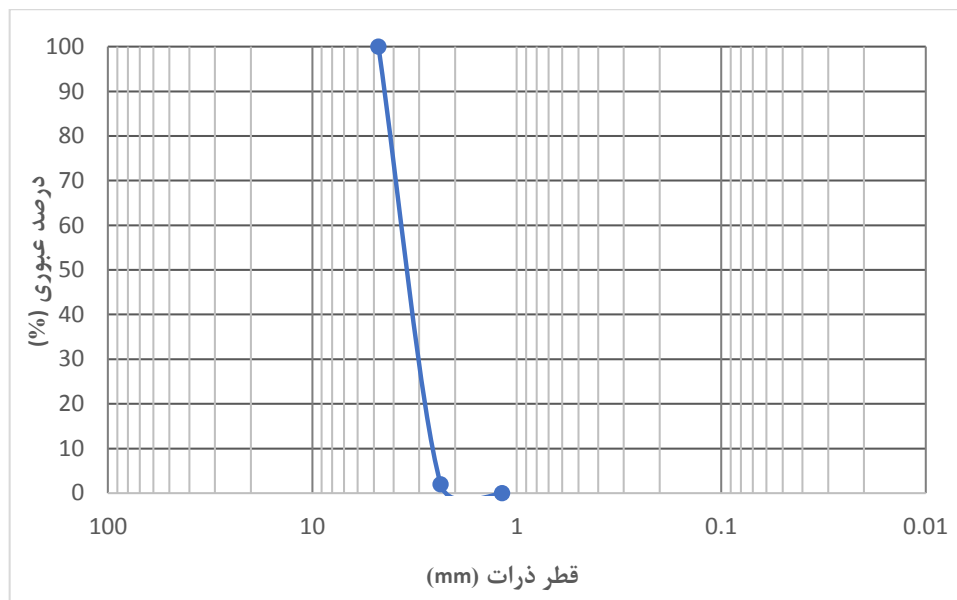
Table 1. soil characteristics

| Cu | Cc | D60 | D30 | D10 | میانگین GS | نام خاک (Unified) | حداقل وزن مخصوص خشک (kN/m ³) | نوع خاک |
|------|------|-----|------|------|------------|-------------------|--|---------|
| ۳/۷۸ | ۰/۶۳ | ۱/۴ | ۰/۵۷ | ۰/۳۷ | ۲/۶۵ | SP ^۱ | ۱۶/۱ | ماسه |



شکل ۳. مواد خرد شده EVA

Fig. 3. Crushed EVA material



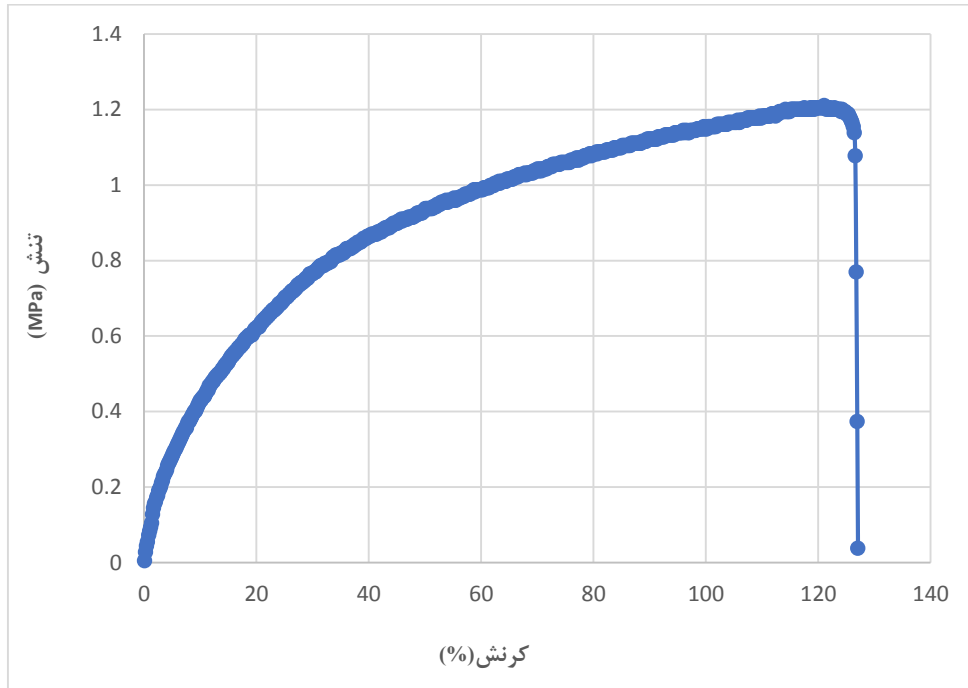
شکل ۴. منحنی دانه‌بندی EVA

Fig. 4. EVA granulation curve

جدول ۲. نتایج میانگین آزمایش کشش EVA در لحظه شکست

Table 2. Average EVA tensile test results at the moment of failure

| کرنش (%) | استحکام کششی (MPa) | مدول الاستیک (MPa) | نوع ماده |
|----------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| ۱۲۹/۴۸ | ۱/۱۴ | ۲/۹ | اتیلن-وینیل استات (EVA) |



شکل ۵. نمودار رفتار ماده EVA

Fig. 5. EVA material behaviour chart

در درصد‌های مختلف EVA، مورد آزمایش قرار گرفته است. حالت سست در حالت نیمه متراکم ($\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$) با توجه داشتن حداقل و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (توسط آزمایش تراکم طبق روش استاندارد) تعیین گردید.

تهیه نمونه‌ها به شیوه درصد وزنی صورت گرفته است و با توجه به محاسبه مقدار وزن ماده افزودنی و خاک ماسه‌ای مورد نظر در درصد‌های مختلف، با یکدیگر مخلوط شدند (شکل ۶). آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه CBR انجام شده است (شکل ۷) و نمونه در قالب مورد نظر با روش تراکم ریزشی از سطح آن، تا ارتفاع مشخص ریخته می‌شود و قرارگیری ماده افزودنی در بین ذرات خاک به صورت تصادفی می‌باشد، هم‌چنین می‌بایست

20 صورت گرفته است. این آزمون یکی از آزمون‌های مخرب می‌باشد که نمونه تحت نیروی کششی تک بعدی تا نقطه شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد، در حالی که ازدیاد طول نیز به صورت همزمان با نیروی اعمالی (بار اعمالی) ثبت می‌شود. میانگین نتایج این آزمایش در جدول ۲ آمده است. منحنی تنش-کرنش مهندسی بر اساس مقادیر نیرو اعمالی-ازدیاد طول رسم می‌شود که نشان دهنده رفتار ماده تحت کشش است، شکل ۵ یک نمونه از رفتار ماده را بر اساس تنش-کرنش نشان می‌دهد.

۲-۳- نحوه آماده‌سازی و شیوه انجام آزمایش‌ها

خاک‌ها بدون افزودن رطوبت و با دو تراکم متفاوت، سست و نیمه متراکم، در حالات بدون استفاده از مسلح کننده و با استفاده از مسلح کننده



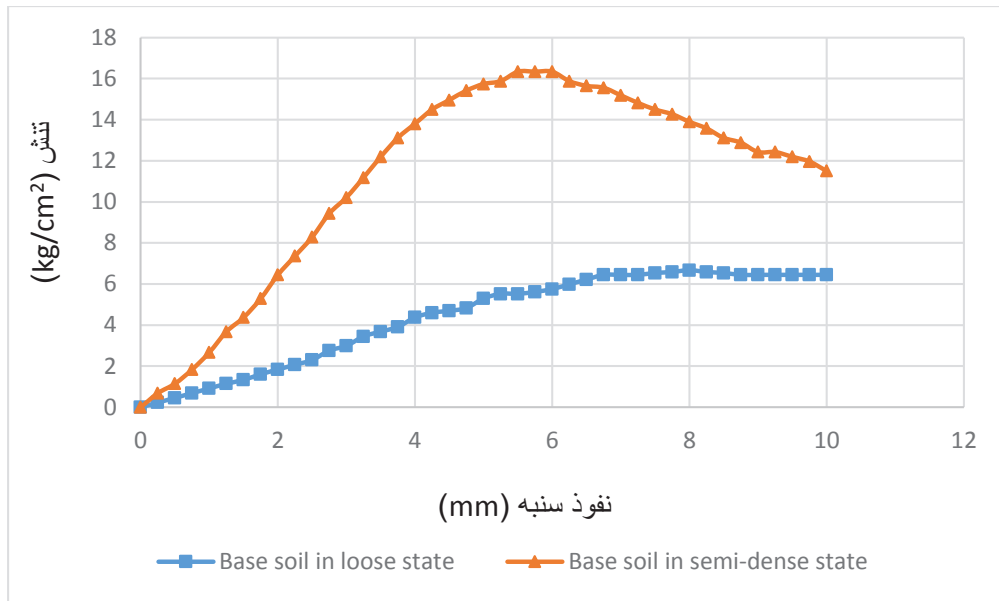
شکل ۶. مخلوط خاک و مواد EVA

Fig. 6. Mixture of soil and EVA materials



شکل ۷. نمونه آزمایش در حین بارگذاری

Fig. 7. Test sample during loading



شکل ۸. نمودار تنش- نفوذ سنبه برای خاک پایه در دو حالت سست و نیمه متراکم

Fig. 8. Stress-Mandrel penetration diagram for base soil in two loose and semi-dense states

۳- بحث و تحلیل نتایج

۳-۱- بررسی ظرفیت باربری در حالت خاک پایه در دو نوع تراکم

به جهت تعیین مقاومت نسبی خاک‌ها با افزودن درصد‌های وزنی مختلف EVA و سپس مقایسه آن‌ها با خاک‌های پایه (بدون افزودنی) مربوط به تراکم‌های مشخص، سست و نیمه متراکم، در ابتدا به بررسی ظرفیت باربری خاک‌های بدون افزودنی در دو تراکم متفاوت پرداخته می‌شود. در شکل ۸ نمودارهای تنش-نفوذ سنبه برای دو نمونه خاک پایه در تراکم‌های سست و نیمه متراکم ارائه شده است.

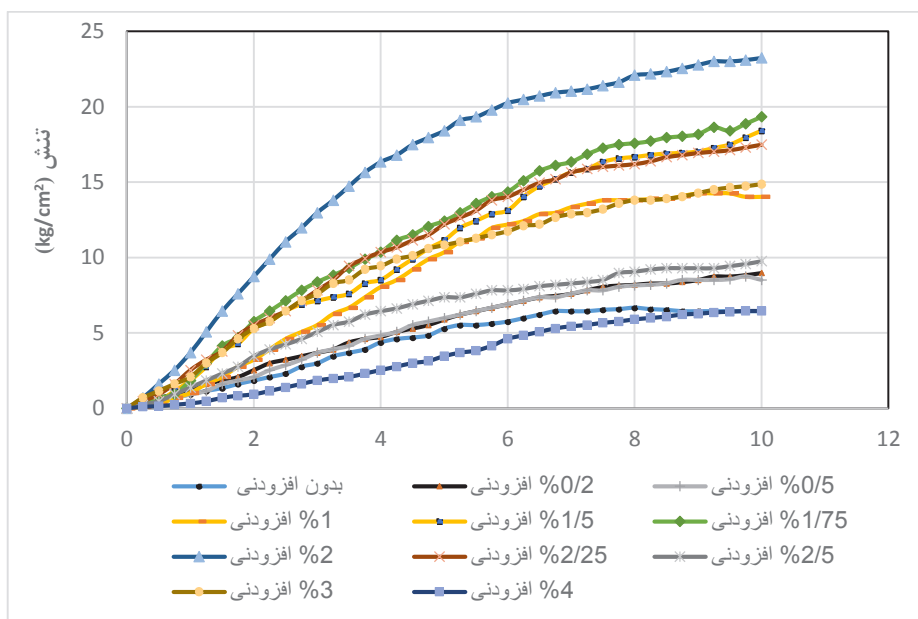
نتایج حاصل نشان می‌دهد ظرفیت باربری نمونه خاک نیمه متراکم بیشتر از نمونه خاک سست است. در خاک سست با افزایش فشار نفوذ سنبه، ظرفیت باربری تا میزان نفوذ ۸ میلی‌متر افزایش پیدا کرده است اما بعد از آن تقریباً ثابت می‌ماند و هم‌چنین در خاک نیمه متراکم تا میزان نفوذ ۶ میلی‌متر به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس ظرفیت باربری آن کاهش می‌یابد.

۳-۲- اثر افزودنی برای نمونه مسلح شده در حالت نمونه سست

در شکل ۹ نمودار تنش- نفوذ سنبه نمونه‌های مسلح شده با EVA در

سعی گردد اختلاط مواد به صورت همگن و به درستی انجام گیرد. با توجه به این که نمونه‌ها می‌بایست تا ارتفاع معینی قرار گیرند، برای مخلوطی که ارتفاع بیشتری دارند، تراکم با وزنه و میز لرزه انجام می‌شود؛ بدین صورت که در حالت سست و یا در درصد افزودنی‌های پایین، صرفاً با وزنه و نیروی کم، به تراکم مورد نظر می‌رسد اما در حالت نیمه متراکم و یا در حالت‌هایی که درصد افزودنی افزایش می‌یابد (چه حالت سست و چه نیمه متراکم) وزنه روی نمونه قرار گرفته و بر روی میز لرزان متراکم می‌شود و برای جلوگیری از غیریکنواختی نمونه، در هنگام لرزش نمونه جهت رسیدن به تراکم مورد نظر، وزنه نیز بر روی آن قرار می‌گیرد تا از غیریکنواختی جلوگیری گردد و در تمام مراحل آزمایش سعی بر آن شد تا یکنواختی نمونه‌ها حفظ و آزمایش به درستی انجام گردد.

سپس هنگام قرار دادن نمونه در دستگاه جهت آزمایش، طوری قرار گرفته است که سنبه بارگذاری تقریباً هم‌مرکز با نمونه و مماس با سطح بالایی آن باشد. هم‌چنین از سرباری یکسان برای کلیه نمونه‌ها استفاده شده و سرعت بارگذاری ۱/۲۷ میلی‌متر بر دقیقه است.



شکل ۹. نمودار تنش- نفوذ سنبه برای درصد افزودنی‌های مختلف حالت نمونه سست

Fig. 9. Stress-Mandrel penetration diagram for the percentage of different additives in the loose sample state

آزمایشی CBR_5 بیشتر از $CBR_{2.5}$ شود، آزمایش مجدد انجام می‌شود و در صورت حصول نتایج مشابه، CBR_5 گزارش می‌شود [۲۴ و ۲۵]. با توجه به شکل ۱۰ واضح است که عدد CBR در نفوذ ۵ میلی‌متر مقدار بیشتری را نشان می‌دهد، در نتیجه برای حالت سست از خاک ماسه‌ای CBR_5 مدنظر قرار می‌گیرد.

با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در محور افقی اولین نقطه مربوط به خاک بدون افزودنی (خاک پایه) و سپس مقادیر خاک همراه با درصد افزودنی‌های متفاوت به ترتیب درصد افزودنی‌هایشان، نشان داده شده است. ابتدا منحنی از خاک پایه (۰٪ افزودنی) تا ۲٪ به صورت افزایشی عمل کرده و در ۲٪ به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس بعد از این مقدار در ۲/۲۵ و ۲/۵ درصد افزودنی، نمودار در قسمت نزولی قرار گرفته و کاهش می‌یابد.

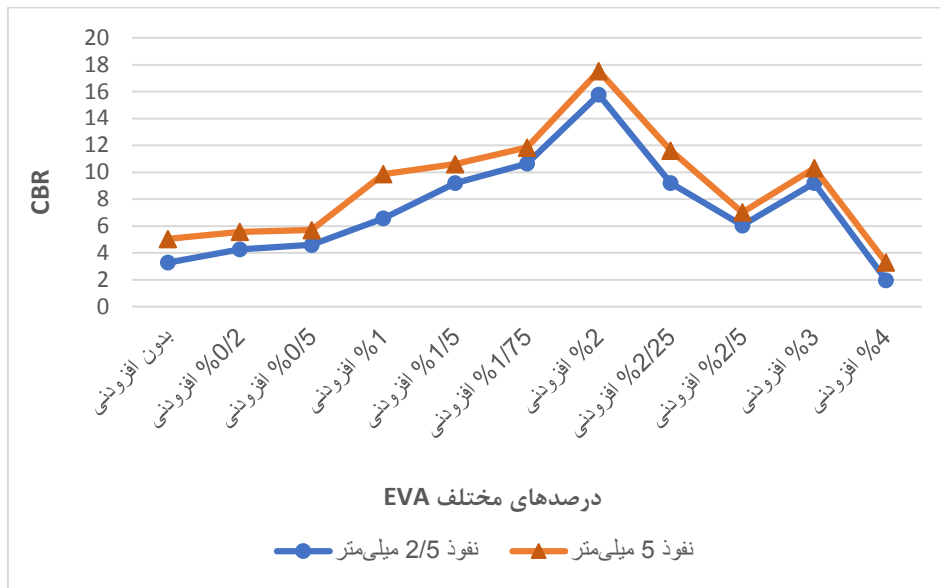
۳-۳- اثر افزودنی برای نمونه مسلح شده در حالت نمونه نیمه متراکم

در شکل ۱۲ نمودار تنش- نفوذ سنبه نمونه‌های مسلح شده با مواد افزودنی در درصدهای وزنی ۰، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ و ۲ برای نمونه‌های نیمه متراکم ارائه شده است. در درصد وزنی ۲٪ به دلیل عدم تراکم تا نقطه مورد نظر و تغییر وزن مخصوص آن، در ادامه مطالعات حذف

درصدهای وزنی ۰، ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۱/۷۵، ۲، ۲/۲۵، ۲/۵، ۳ و ۴ برای نمونه‌های سست نمایش داده شده است.

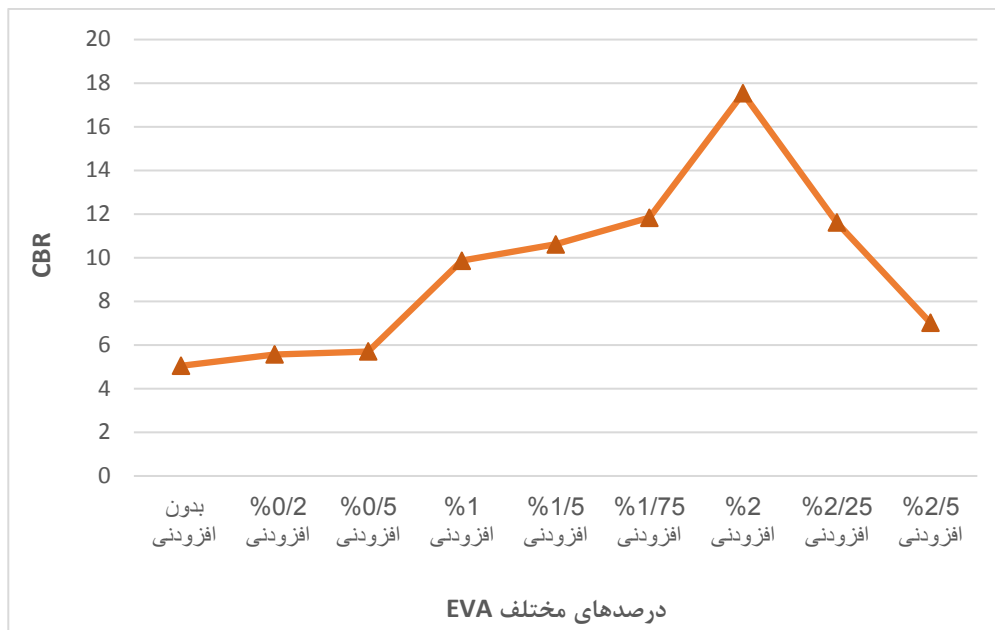
مطابق شکل ۹ مشاهده می‌شود که در ۲٪ افزودنی به بیشترین مقدار خود می‌رسد و هم‌چنین تا ۸ میلی‌متر نفوذ همانند خاک پایه تنش افزایش پیدا کرده اما بعد از این مقدار برخلاف خاک غیرمسلح، تنش با شیب صعودی افزایش می‌یابد. هم‌چنین در درصدهای ۳ و ۴ به جهت آن که رسیدن به تراکم مناسب مقدور نبوده و وزن مخصوص آن تغییر پیدا می‌کند (کم می‌شود)، در ادامه مطالعات حذف می‌گردد و برای حالت سست، نتایج فقط تا ۲/۵٪ افزودنی تحلیل می‌شود.

در این پژوهش با به دست آوردن عدد CBR و تعیین مقاومت نسبی خاک‌ها، به مقایسه نمونه‌ها در درصد افزودنی‌های مختلف نسبت به خاک پایه (بدون افزودنی) پرداخته می‌شود. عدد CBR از یکی از دو نسبت $CBR = \frac{P_5}{105}$ و $CBR = \frac{P_{2.5}}{70}$ حاصل می‌شود که در آن $P_{2.5}$ و P_5 عبارت‌اند از فشارهای لازم برای فرو بردن ۲/۵ میلی‌متر یا ۵ میلی‌متر از پیستون در خاک و ۷۰ و ۱۰۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، فشارهای لازم برای فرو بردن پیستون به همان اندازه در مصالح استاندارد است. معمولاً عدد CBR برای مقدار نفوذ ۲/۵ میلی‌متر بیشتر از ۵ میلی‌متر است اما اگر در



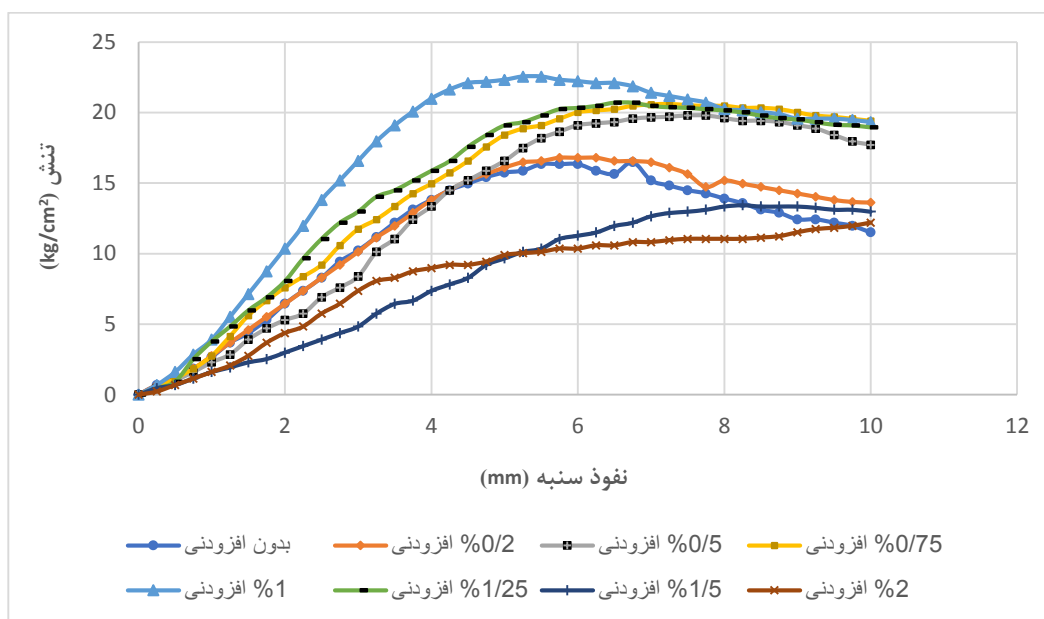
شکل ۱۰. نمودار مقدار CBR برحسب درصد‌های مختلف EVA در دو نفوذ ۲/۵ و ۵ میلی‌متر برای حالت نمونه سست

Fig. 10. Chart of CBR value in terms of different percentages of EVA in two penetrations of 2.5 and 5 mm for loose sample state



شکل ۱۱. نمودار مقدار CBR برحسب درصد افزودنی‌های مختلف در نفوذ ۵ میلی‌متر برای حالت نمونه سست

Fig. 11. Chart of CBR value in terms of percentage of different additives in 5 mm penetration for loose sample state



شکل ۱۲. نمودار تنش- نفوذ سنبه برای درصد افزودنی‌های مختلف حالت نمونه نیمه متراکم

Fig. 12. Stress-Mandrel penetration diagram for the percentage of different additives in the semi-dense sample state

۳-۴ درصد تغییرات مقدار CBR برای دو حالت نمونه سست و نیمه متراکم

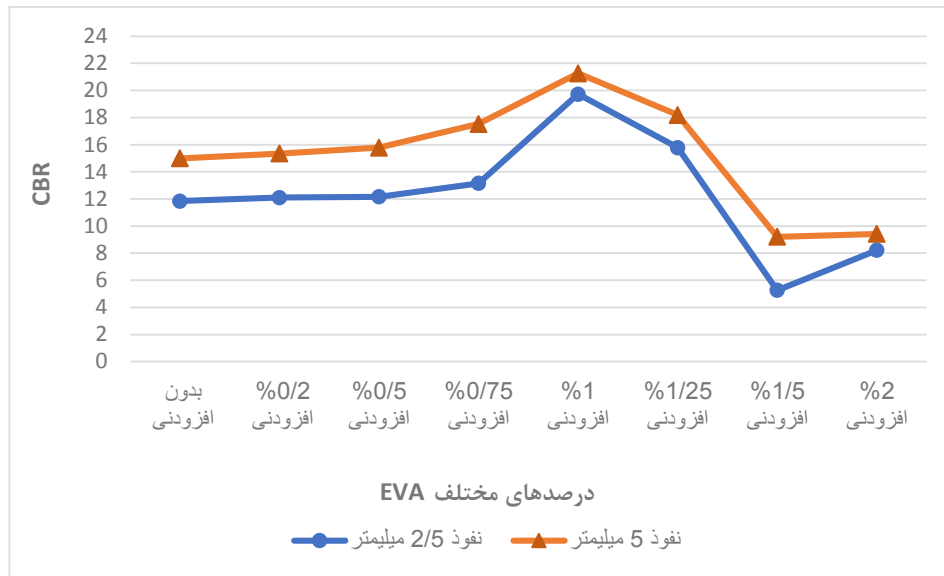
در این قسمت، خاک‌هایی با درصد‌های وزنی مختلف افزودنی نسبت به خاک پایه بر اساس درصد تغییرات مقدار CBR در عمق نفوذ ۵ میلی‌متر، در شکل ۱۵ برای خاک سست ($\gamma = 16/1 \text{ KN/m}^3$) و شکل ۱۶ برای خاک نیمه متراکم ($\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$) نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۵ برای خاک سست، درصد تغییرات مقدار CBR برای مقدار بهینه آن (۲٪)، در ۵ میلی‌متر نفوذ، ۲۴۷/۸۳٪ می‌باشد. طبق نتایج آزمایش‌ها مشاهده می‌شود در درصد افزودنی‌های کم مسلح کننده‌ها، تاثیر چندانی در تغییرات نتایج ندارد به طور مثال در وزن مخصوص ۱۶/۱ کیلونیوتن بر متر مکعب، درصد تغییرات آن‌ها در ۰/۲٪ افزودنی و ۰/۵٪ افزودنی به ترتیب ۱۰/۴۳٪ و ۱۳/۰۴٪ می‌باشد اما هر چه افزودن EVA به خاک بیشتر می‌شود، درصد تغییرات محسوس‌تر می‌گردد که برای نمونه، در ۰/۱٪، ۱/۵٪ و ۲٪ افزودنی به ترتیب مقادیر ۹۵/۶۵٪، ۱۱۰/۴۳٪ و ۲۴۷/۸۳٪ تغییرات مثبت نسبت به خاک پایه را نشان می‌دهند و به صورت صعودی تا ۲٪ افزودنی در حال افزایش می‌باشند که علت این امر تاثیر مثبت مواد

گردید. همچنین با توجه به شکل، بیشترین ظرفیت باربری در حالت نیمه متراکم در ۱٪ افزودنی رخ می‌دهد و تقریباً در میزان نفوذ ۵/۵ میلی‌متر به حداکثر ظرفیت باربری خود می‌رسد و بعد از این مقدار با کاهش تنش همراه است اما قسمت نزولی آن نسبت به خاک پایه با شیب ملایم‌تری همراه است. همچنین طبق شکل مشهود است که با افزایش درصد‌های مختلف افزودنی شیب قسمت نزولی نمودار نیز کاهش می‌یابد.

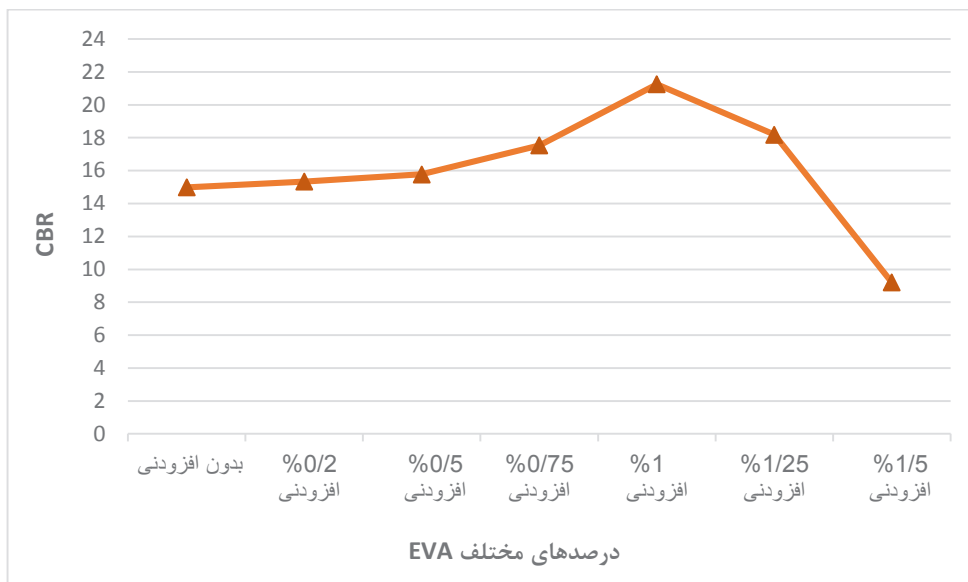
در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که در خاک نیمه متراکم ماسه‌ای نیز همانند خاک سست ماسه‌ای، عدد CBR در نفوذ ۵ میلی‌متر مقدار بیشتری را نسبت به نفوذ ۲/۵ میلی‌متر نشان می‌دهد؛ در نتیجه برای بررسی نتایج حالت نیمه متراکم، CBR_۵ مدنظر قرار می‌گیرد.

با توجه به شکل ۱۴ مقدار CBR برای خاک نیمه متراکم با وزن مخصوص ۱۷/۱ را نشان می‌دهد که همانند خاک سست ابتدا مقاومت آن با افزودن مواد تسلیح کننده به آن، افزایش پیدا کرده و منحنی شکل صعودی به خود گرفته است؛ اما برخلاف خاک سست، در ۱٪ وزنی به حداکثر مقدار خود رسیده و پس از آن در مقادیر ۱/۲۵٪ و ۱/۵٪ شکل نزولی به خود می‌گیرد.



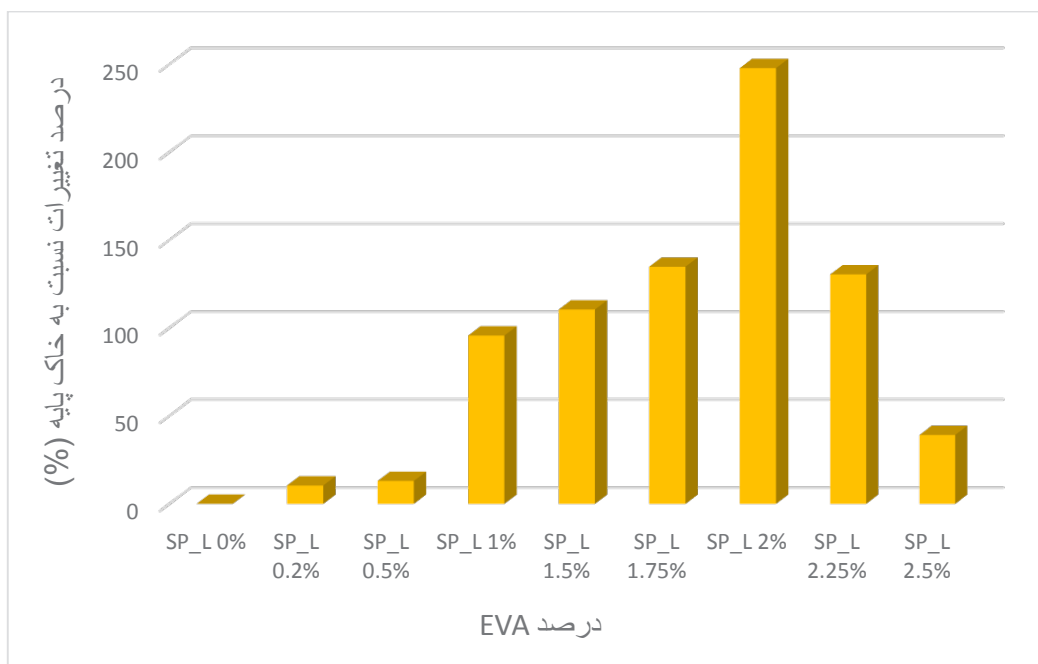
شکل ۱۳. نمودار مقدار CBR برحسب درصدهای مختلف EVA در دو نفوذ ۲/۵ و ۵ میلی متر برای حالت نمونه نیمه متراکم

Fig. 13. Chart of CBR value in terms of different percentages of EVA in two penetrations of 2.5 and 5 mm for semi-dense sample state



شکل ۱۴. نمودار مقدار CBR برحسب درصد افزودنی‌های مختلف در نفوذ ۵ میلی متر برای حالت نمونه نیمه متراکم

Fig. 14. Chart of CBR value in terms of percentage of different additives in 5 mm penetration for semi-dense sample state



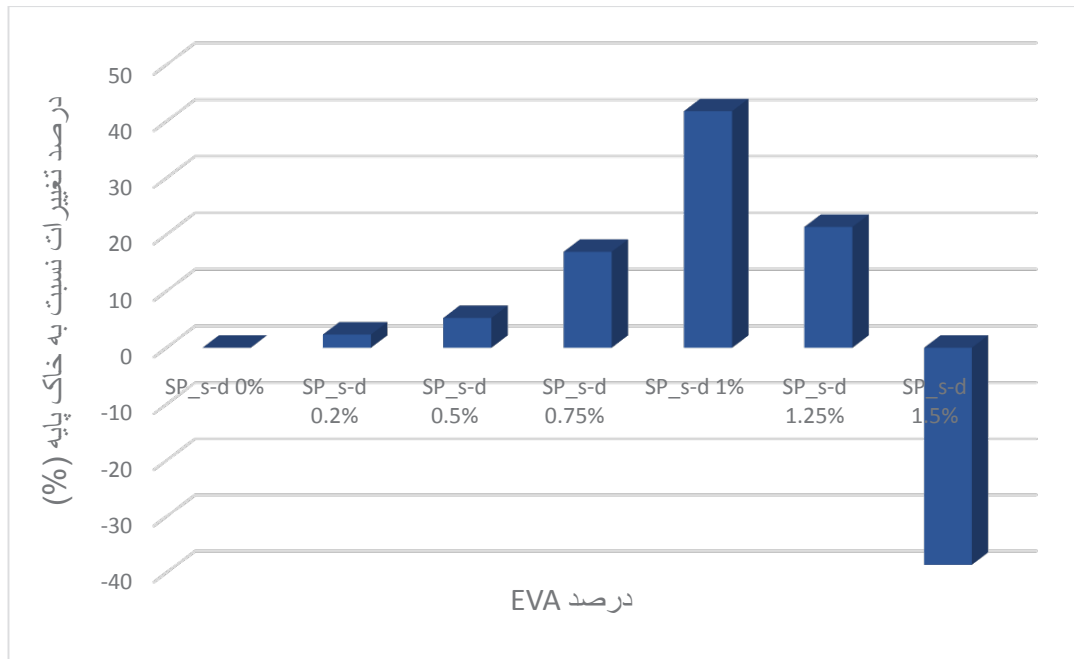
شکل ۱۵. درصد تغییرات مقدار CBR برای درصدهای مختلف افزودنی نسبت به خاک پایه برای حالت نمونه سست

Fig. 15. Percentage changes of CBR value for different percentages of additives compared to the base soil for loose sample state

افزودنی بر مقاومت خاک پایه با کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش مقاومت نسبی آن می‌باشد اما در مقدار ۲/۵٪، با توجه به این که ۳۹/۱۳٪ نسبت به خاک پایه افزایش یافت، پس از مقدار بهینه (۲٪) نسبت تغییرات در حال کاهش است. همچنین بعد از مشخص مقدار بیشینه ۲٪ برای خاک سست، آزمایش‌های ۱/۷۵٪ افزودنی و ۲/۲۵٪ افزودنی برای دقیق‌تر شدن نمودار و مقدار بیشینه آن صورت گرفت که درصد تغییرات این مقادیر به ترتیب ۱۳۴/۸۰٪ و ۱۳۰/۴۶٪ می‌باشد و هر دو مقدار کمتر از ۲٪ است. علاوه بر این، در هیچ یک از درصدهای افزودنی، درصد تغییرات آن‌ها نسبت به خاک پایه (در حالت بدون افزودنی)، با رشد منفی همراه نبوده است و همه مقادیر افزودنی‌ها تاثیر مثبت در مقاومت خاک سست داشته‌اند.

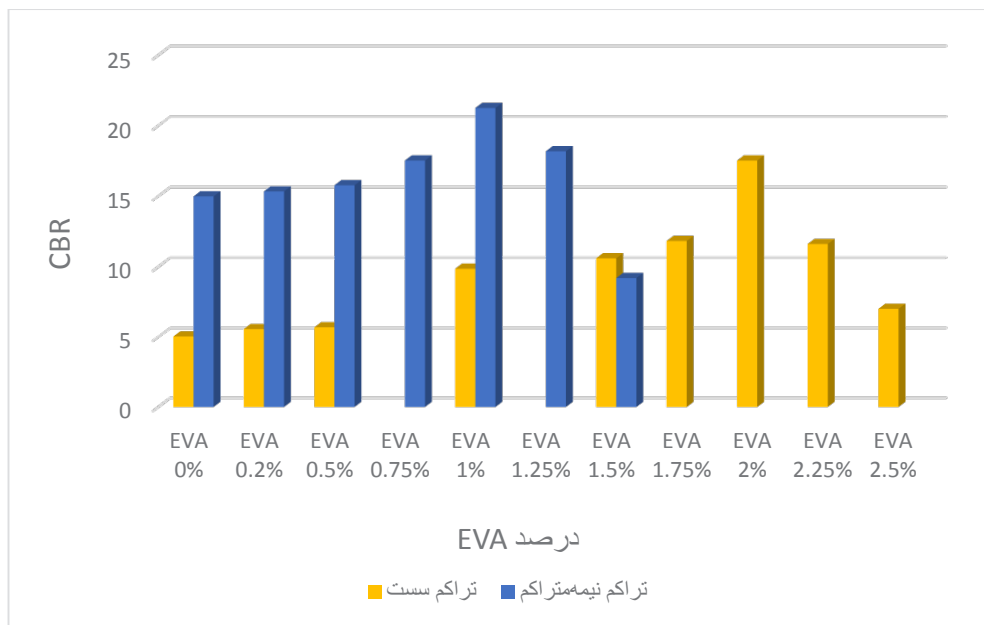
با مقایسه بین نمونه‌های سست و نیمه متراکم از یک نوع خاک ماسه‌ای در شکل‌های ۱۷ و ۱۸، هر دو حالت‌های تراکم، دارای مقدار بهینه بوده با این تفاوت که مقدار بهینه برای نمونه مسلح شده در حالت سست ۲٪ و برای حالت نیمه متراکم ۱٪ می‌باشد که علت این امر افزایش تخلخل حالت سست نسبت به حالت نیمه متراکم است و این افزودنی می‌تواند باعث کاهش تخلخل و ایجاد قفل و بست بیشتر بین ذرات خاک با یکدیگر و مواد افزودنی می‌شود. پس از مقدار بهینه هر دو تراکم با افزودن مواد مسلح کننده، با کاهش درصد تغییرات مقدار CBR نسبت به خاک پایه مربوط به هر

در شکل ۱۶ برای خاک نیمه متراکم، برخلاف خاک سست، در ۱٪ افزودنی به مقدار بیشینه خود می‌رسد و درصد تغییرات مقدار CBR در این مقدار افزودنی برای نفوذ ۵ میلی‌متر، ۴۱/۸۱٪ است؛ که این درصد نسبت به درصد تغییرات مقدار بیشینه (۲٪) خاک سست بسیار کمتر است. همچنین همانند خاک سست، در این وزن مخصوص نیز در درصدهای کم مواد افزودنی برای مقادیر ۰/۲ و ۰/۵ درصد به ترتیب ۲/۳۴٪ و ۵/۲۶٪



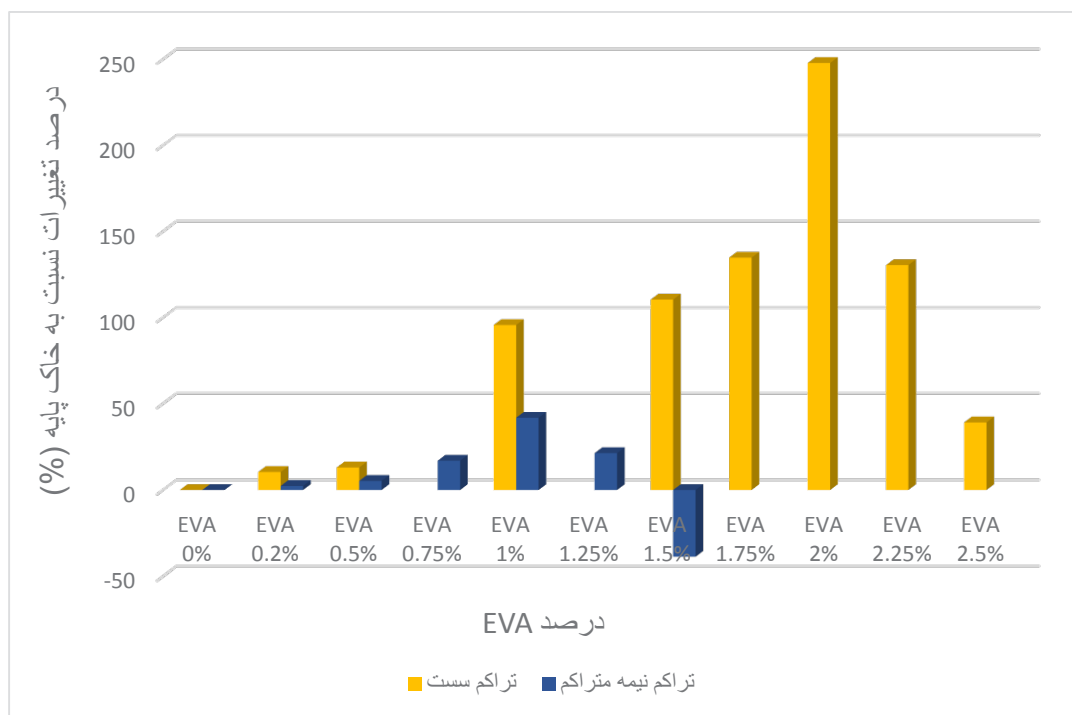
شکل ۱۶. درصد تغییرات مقدار CBR برای درصدهای مختلف افزودنی نسبت به خاک پایه برای حالت نمونه نیمه متراکم

Fig. 16. Percentage changes of CBR value for different percentages of additives compared to the base soil for semi-dense sample state



شکل ۱۷. مقایسه دو تراکم خاک ماسه‌ای بر حسب مقدار CBR در درصدهای مختلف افزودنی

Fig. 17. Comparison of two densities of sandy soil in terms of CBR value in different additive percentages



شکل ۱۸. مقایسه دو تراکم خاک ماسه‌ای بر حسب درصد تغییرات نسبت به خاک پایه هریک، در درصدهای مختلف افزودنی

Fig. 18. Comparison of two densities of sandy soil in terms of percentage changes compared to each base soil, in different additive percentages

علت تاثیرگذاری نوع خاک و افزودنی‌های مختلف، شرایط متفاوت آزمایش می‌باشد.

۳-۵- تکرارپذیری نتایج

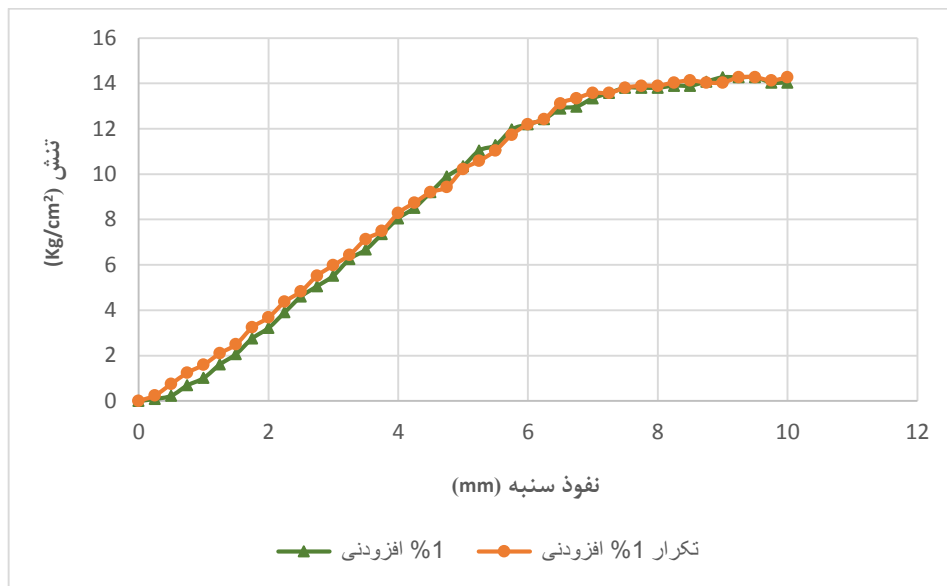
به جهت صحت‌سنجی نتایج، آزمایش کشش برای تعیین خصوصیات ماده EVA و همچنین آزمایش CBR برای خاک ماسه‌ای در دو حالت تراکم سست و نیمه متراکم درصدهای مختلف افزودنی تکرار شد که اختلاف نتایج به دست آمده در حد قابل قبولی قرار دارد. همچنین نمونه‌های که اختلاف آن‌ها با نمونه اصلی بیشتر بود، آزمایش برای بار سوم و چهارم تکرار و میانگین نتایج مورد قبول آن‌ها ارائه گردید. در شکل ۱۹ نمونه‌ای از تکرارپذیری نتایج در ۱٪ افزودنی حالت سست ارائه شده است.

۳-۶- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به تسلیح خاک دانه‌ای با استفاده از مواد ضایعاتی اتیلن-وینیل استات (EVA) در دو حالت سست و نیمه متراکم پرداخته شد. آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه CBR و به صورت درصد وزنی انجام گرفت.

کدام همراه بوده که به علت بر هم خوردن دانه‌بندی ذرات خاک و قرارگیری EVA در بین آن‌ها می‌باشد.

هوشیار و رستمی (۲۰۱۸) مقدار بهینه برای حالت‌های مخلوط منظم (به صورت لایه‌بندی شده) و نامنظم (پخش تصادفی) مسلح کننده در خاک ماسه‌ای را به ترتیب ۲/۵٪ و ۲٪ به دست آوردند که بعد از این مقادیر مقاومت کاهش خواهد یافت [۱۳]. ولی پور و همکاران (۲۰۲۰) به تسلیح خاک رس با استفاده از الیاف پلیمر تایر بازیافت شده و الیاف شیشه پرداختند که بالاترین افزایش مقاومت برای الیاف تایر ۰/۵٪ و الیاف شیشه ۱٪ گزارش شده است و فراتر از آن مقاومت کاهش می‌یابد [۲۶]. همچنین در تحقیقی دیگر برای تثبیت شن و ماسه با استفاده از الیاف پلی پروپیلن، در ۰/۸٪ افزودنی، مقاومت فشاری و کششی به ترتیب ۱۰۸/۰۷٪ و ۲۹۵/۴۲٪ افزایش یافت [۲۷]. در پژوهش ژانگ و همکاران نیز نتایج نشان داد افزودن EVA به خاک تثبیت شده با سیمان سبب بهبود خاک و دارای مقدار بهینه این افزودنی می‌باشد [۲۳]. پژوهش محققین (به دست آمدن مقدار بیشینه مقاومت و سپس کاهش آن) مطابق با نتیجه به دست آمده در این تحقیق است، البته به دست آمدن مقدار بهینه متفاوت در پژوهش‌ها، به



شکل ۱۹. تکرارپذیری نمونه مسلح شده در ۱٪ افزودنی برای حالت سست

Fig. 19. Reproducibility of reinforced sample in 1% additive for loose condition

آن‌ها در کنار یکدیگر است اما با توجه به مقاومت کمتر نسبت به خاک پایه و انعطاف‌پذیری این مواد باعث کاهش مقاومت پس از ۲٪ می‌باشد؛ ولی همچنان افزودن این مواد به خاک خشک پایه (خاک غیرمسلح)، اثر مثبت دارد. لازم به ذکر است مقدار بهینه ۲٪ این ماده افزودنی به خاک ماسه‌ای در این آزمایش، مربوط به دانه‌بندی خاک پایه و افزودنی مورد استفاده در این تحقیق است و طبیعتاً برای دانه‌بندی مختلف خاک و افزودنی، این مقدار بهینه تغییر می‌یابد.

۴- افزودن EVA به خاک ماسه‌ای با وزن مخصوص ۱۷ کیلونیوتن بر متر مکعب (در حالت نیمه متراکم) باعث افزایش مقاومت خاک پایه شده و در ۱٪ افزودنی به حداکثر میزان خود می‌رسد، اما با افزایش درصد وزنی در ۱/۵٪ با کاهش مقاومت همراه بوده که مقاومت نسبی آن نسبت به خاک پایه نیمه متراکم ۳۸/۶۰٪ کاهش می‌یابد.

۵- با توجه به نتایج نمودارها می‌توان دریافت که با افزایش درصد وزنی افزودنی، عدد CBR نسبت به خاک پایه افزایش می‌یابد؛ همچنین با افزایش وزن مخصوص نیز عدد CBR افزایش می‌یابد.

۶- مقدار بهینه افزودن ماده EVA به خاک سست ماسه‌ای که بیشترین مقاومت نسبی را از خود نشان می‌دهد، در ۲٪ افزودنی می‌باشد که درصد

طبق نتایج به دست آمده در این پژوهش عدد CBR برای تمامی آزمایش‌ها در نفوذ ۵ میلی‌متر بیشتر از نفوذ ۲/۵ میلی‌متر می‌باشد که در تحلیل نتایج، CBR_5 مدنظر قرار گرفت و نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

۱- آزمایش CBR برای مخلوط خاک سست ماسه‌ای و EVA در درصدهای وزنی ۰، ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۲۵، ۲/۵، ۳ و ۴ و همچنین برای اختلاط خاک نیمه متراکم ماسه‌ای و مواد افزودنی (EVA) در درصدهای وزنی ۰، ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۲ و انجام گرفت؛ اما درصدهای وزنی ۳ و ۴ برای حالت سست و ۲٪ برای حالت نیمه متراکم، به علت نرسیدن به تراکم مورد نظر و تغییر وزن مخصوص آن (کم می‌شود)، در بررسی و تحلیل نتایج ارائه نگردید.

۲- اختلاف کمتر از ۰/۵٪ افزودنی‌ها با یکدیگر، تاثیر چندانی در تغییر نتایج مشاهده نشد اما این تغییرات، در اختلاف‌های ۰/۵٪ و ۱٪ وزنی مواد مسلح کننده به طور قابل توجهی مشهودتر است.

۳- اثر افزودن EVA در خاک ماسه‌ای با وزن مخصوص ۱۶/۱ کیلونیوتن بر متر مکعب (در حالت سست) تا ۲٪ افزودنی به علت کاهش تخلخل خاک روند صعودی داشته، اما بعد از این درصد افزودنی، نمودار روند نزولی را طی می‌کند که علت این امر افزایش مواد افزودنی و قرارگیری

منابع

- [1] G. Long, L. Li, W. Li, K. Ma, W. Dong, C. Bai, J.L. Zhou, Enhanced mechanical properties and durability of coal gangue reinforced cement-soil mixture for foundation treatments, *Journal of cleaner production*, 231 (2019) 468-482.
- [2] M. Al-Barqawi, R. Aqel, M. Wayne, H. Titi, R. Elhajjar, Polymer Geogrids: A Review of Material, Design and Structure Relationships, *Materials*, 14(16) (2021) 4745.
- [3] A. Esen, P. Woodward, O. Laghrouche, T. Čebašek, A. Brennan, S. Robinson, D. Connolly, Full-scale laboratory testing of a geosynthetically reinforced soil railway structure, *Transportation Geotechnics*, 28 (2021) 100526.
- [4] R. Alipour, J. Khazaei, M.S. Pakbaz, A. Ghalandarzadeh, Settlement control by deep and mass soil mixing in clayey soil, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 170(1) (2017) 27-37.
- [5] A. Barazesh, H. Saba, M. Gharib, The effect of adding iron powder on Atterberg limits of clay soils, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(11) (2012) 2349-2354.
- [6] M.R. Kumar, S. Manasa, S. Asiya, Soil Stabilization using Iron Powder, *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(4) (2015).
- [7] A. AlShaba, T. Abdelaziz, A. Ragheb, Treatment of collapsible soils by mixing with iron powder, *Alexandria engineering journal*, 57(4) (2018) 3737-3745.
- [8] G. Praveen, P. Kurre, Influence of coir fiber reinforcement on shear strength parameters of cement modified marginal soil mixed with fly ash, *Materials Today: Proceedings*, 39 (2021) 504-507.
- [9] N. EsmaeilpourShirvani, A. TaghaviGhalesari, M.K. Tabari, A.J. Choobbasti, Improvement of the engineering behavior of sand-clay mixtures using kenaf fiber reinforcement, *Transportation Geotechnics*, 19 (2019) 1-8.
- [10] M.H. Nsaif, Behavior of soils strengthened by plastic waste materials, *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 17(4) (2013) 182-194.

تغییرات آن نسبت به خاک پایه ۲۴۷/۸۳٪ است. هم‌چنین کمترین درصد تغییرات نسبت به خاک سست پایه، مربوط به ۰/۲٪ افزودنی با ۱۰/۴۳٪ افزایش می‌باشد؛ که نشان دهنده اثر مثبت EVA بر خاک سست ماسه‌ای است.

۷-افزودن ۱٪ وزنی EVA به خاک، باعث بیش‌ترین مقاومت نسبی در خاک نیمه متراکم ماسه‌ای شده و درصد تغییرات آن نسبت به خاک پایه ۴۱/۸۱٪ می‌باشد.

۸-طبق نمودارهای ارائه شده در قسمت تحلیل نتایج و توضیحات بندهای فوق‌الذکر، مقدار بهینه برای خاک سست و نیمه متراکم در ۲٪ و ۱٪ وزنی EVA رخ می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت با کاهش وزن مخصوص خاک، مقدار درصد بهینه مواد افزودنی افزایش می‌یابد و تاثیر افزایش مقاومت نسبی در آن‌ها به علت افزایش فضای خالی در بین ذرات خاک، بسیار بیشتر می‌شود. اما پس از مقادیر بهینه به علت افزایش مواد افزودنی و قرارگیری آن‌ها در کنار یکدیگر و ایجاد فاصله در بین ذرات خاک است و با توجه به مقاومت کمتر EVA نسبت به خاک پایه و انعطاف‌پذیری این مواد باعث کاهش مقاومت پس از درصد بهینه می‌باشد.

۹-با توجه به ویژگی انعطاف‌پذیر بودن این مواد، باعث کاهش تخلخل خاک و در نتیجه افزایش مقاومت نسبی آن شده و دیگر تخلخلی بین EVA و خاک ایجاد نمی‌گردد. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از سایر مواد ضایعاتی همچون خرده لاستیک باید توجه نمود که این مواد و مصالح، انعطاف‌پذیر هستند لذا استفاده از یک درصد مشخص بالاتر در خاک می‌تواند منجر به نتایج نامناسب شده و از سوی دیگر متراکم نمودن آن‌ها نیز مشکل است. مطالعات صورت گرفته توسط قضاوی و عامل‌سخی نشان می‌دهد که نسبت ابعادی تراشه‌های لاستیک اثری مهم بر افزایش مقاومت برشی خاک مسلح دارد که از این بابت مشابهت‌هایی بین چنین مصالح بازیافتی وجود دارد [۲۸ و ۲۹].

۱۰-ضایعاتی بودن این مواد افزودنی و صرف انرژی کم برای اختلاط آن با خاک و رسیدن به مقاومت بیشتر، حتی در سست‌ترین تراکم خاک از محاسن این روش به شمار می‌رود و باعث کاهش هزینه و زمان در پروژه‌ها می‌گردد و با توجه به عمر زیاد این مواد نوع مسلح کننده و ماندگاری آن در محیط زندگی، استفاده از چنین موادی در تسلیح و بهسازی خاک نه تنها باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود بلکه باعث حفظ محیط زیست نیز می‌گردد.

- [20] M. Safar razavizadeh, Study of mechanical and strength characteristics of clay reinforced with aluminum chips, (2014) in Persian.
- [21] A. Saeedi Kia, H. Madani, Performance of ethylene vinyl acetate and vinyl acetate on mechanical properties, shrinkage and durability of calcium aluminate cement base mixtures, Journal of Civil Engineering, 18th volume (2018) No. 4, in Persian.
- [22] J. Faqih, H. Rahimi, H. Arabi, S.M.B. Alavi, Effect of Ethylene Vinyl Acetate on Mechanical Properties of Glass Mat Reinforced Polypropylene Composites, Journal of Polymer Science and Technology, 18th, number 5, (2004) page 303-310, in Persian.
- [23] B. Zhang, W. Jiang, Q. Xu, D. Yuan, J. Shan, R. Lu, Experimental feasibility study of ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) as cement stabilized soil curing agent, Road Materials and Pavement Design, 23(3) (2022) 617-638.
- [24] D. Moradi, Laboratory of Soil Mechanics, Soil Engineering and Geotechnics, First Edition ed., Noavar, (2020) in Persian.
- [25] A.M. Scroochi, M. Siddiqui Manesh, Soil Mechanics Laboratory, Academic book, (2014) in Persian.
- [26] M. Valipour, P.T. Shourijeh, A. Mohammadinia, Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement, Transportation geotechnics, 27 (2021) 100474.
- [27] J. Liu, Y. Bai, Z. Song, D.P. Kanungo, Y. Wang, F. Bu, Z. Chen, X. Shi, Stabilization of sand using different types of short fibers and organic polymer, Construction and Building Materials, 253 (2020) 119164.
- [28] M. Ghazavi, M.A. Sakhi, Optimization of aspect ratio of waste tire shreds in sand-shred mixtures using CBR tests, Geotechnical Testing Journal, 28(6) (2005) 564-569.
- [29] M. Ghazavi, M.A. Sakhi, Influence of optimized tire shreds on shear strength parameters of sand, International Journal of Geomechanics, 5(1) (2005) 58-65.
- [11] M. Bekhiti, H. Trouzine, M. Rabeji, Influence of waste tire rubber fibers on swelling behavior, unconfined compressive strength and ductility of cement stabilized bentonite clay soil, Construction and Building Materials, 208 (2019) 304-313.
- [12] M. Mehdipour, M. Arbani, A. Ghorbani, Laboratory study of the use of waste rubber floor coverings to improve the CBR of sands, in: the fourth International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics of Iran, (2010) in Persian.
- [13] A. Hooshyar, V. Rostami, Granular Soil Bearing Capacity Improvement Using Waste Plastic Materials, Amirkabir Journal of Civil Engineering, 50(4) (2018) 755-764.
- [14] G. Nguyen, E. Hrubešová, A. Voltr, Soil improvement using polyester fibres, Procedia Engineering, 111 (2015) 596-600.
- [15] R. Alipour, A.A. Heshmati R, J. Karimiazar, N. Esazadefar, E. Asghari-Kaljahi, S.H. Bahmani, Resistance and swelling of Tabriz marl soils stabilised using nano-silica and nano-alumina, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, (2022) 1-14.
- [16] M. Mirzababaei, A. Arulrajah, M. Ouston, Polymers for stabilization of soft clay soils, Procedia engineering, 189 (2017) 25-32.
- [17] L. Peng, D. Wang, J. Qi, Study on anti-corrosion of PVA-treated wheat straw and its application in reinforcement of a silty soil, Construction and Building Materials, 291 (2021) 123305.
- [18] S. Rezaeimalek, J. Huang, S. Bin-Shafique, Evaluation of curing method and mix design of a moisture activated polymer for sand stabilization, Construction and Building Materials, 146 (2017) 210-220.
- [19] A.J. Choobbasti, M.A. Samakoosh, S.S. Kutanaei, Mechanical properties soil stabilized with nano calcium carbonate and reinforced with carpet waste fibers, Construction and Building Materials, 211 (2019) 1094-1104.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Miri, M. Amelsakhi, M. Jiryaei Sharahi, *The effect of the addition of ethylene-vinyl acetate on granular soil strength parameters*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 55(1) (2023) 41-60.

DOI: 10.22060/ceej.2022.21307.7683



