

بررسی تأثیر چگونگی استفاده ژئوتکستایل بر به‌سازی باربری مخلوط رس- شن در لایه‌های روسازی

سمانه قاسم‌وش اخیر؛

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، گروه زمین‌شناسی مهندسی،
روزبه دبیری*؛

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، گروه مهندسی عمران

پذیرش ۹۷/۰۵/۱۳

تاریخ: دریافت ۹۶/۰۷/۳۰

چکیده

هدف اصلی از این پژوهش، بررسی آزمایشگاهی تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل در میزان توانایی باربری خاک‌های مخلوط رسی و شنی منطقه‌ی باراندوز برای کاربرد در لایه‌های روسازی راه است. در این پژوهش خاک رسی استفاده شده با خاک شنی با درصد‌های (۲۵، ۵۰ و ۷۵) مخلوط شده است. تأثیر ژئوتکستایل در دو حالت بررسی شد، درحالت اول به‌صورت لایه‌ای (یک لایه، دولایه و سه لایه در نمونه جای‌گذاری شده است) و درحالت دوم، ژئوتکستایل به‌صورت قطعاتی با ابعاد 1×1 و 5×5 سانتی‌متر مربع به‌طور تصادفی با درصد‌های وزنی ۱، ۲ و ۳ درصد با مصالح مخلوط شده و رفتار مصالح ارزیابی شده است. برای انجام تحقیق از آزمون آزمایشگاهی نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) هر دو حالت خشک و اشباع براساس استاندارد ASTM D1883 بهره گرفته شده است. به‌گونه‌ای که طبق استاندارد سرعت بارگذاری $1/27 \text{ mm/min}$ انتخاب شده و عدد CBR برای نفوذ پیستون به میزان $2/5$ و 5 سانتی‌متر برآورد شده است. درحالت اشباع میزان درصد تورم در نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که میزان بهینه ژئوتکستایل مورد نیاز برای مسلح کردن مصالح بررسی شده به‌صورت قراردادن ۱ لایه در قسمت میانی و یا افزودن ۱٪ وزنی ژئوتکستایل به ابعاد 1×1 سانتی‌متر مربع است که این میزان در شرایطی که خاک اشباع باشد به‌طور چشم‌گیری از میزان تورم می‌کاهد و از آن جلوگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ژئوتکستایل، مخلوط رس و شن، به‌سازی باربری، نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)، لایه‌های روسازی.

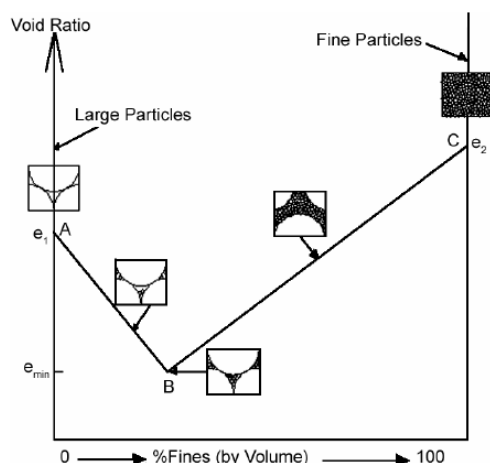
مقدمه

روسازی راه‌ها به‌عنوان بخشی از سازه راه نقش بسیار مهمی در عملکرد و تأمین سطح هموار و ایمن دارد. بستر روسازی راه، سطح لایه متراکم شده خاکریزها، برش‌ها و یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات آماده شده و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. بستر روسازی، که نهایتاً پی روسازی راه محسوب می‌شود، همه بارهای وارده ناشی از جسم روسازی و وسایل نقلیه روی آن را تحمل می‌کند. بنابراین ساخت روسازی‌های با قابلیت باربری و عمر زیاد و کیفیت مناسب و نیز نگهداری آنها در شرایط عملکردی مناسب اهمیت بسیاری دارد. در صورتی‌که مصالح مناسب برای ساخت لایه‌های بدنه روسازی را در دسترس نباشد. در آن صورت باید مصالح موجود در محدوده اجرای راه را تثبیت کرد. روش‌های مختلفی برای این منظور موجود است که شامل روش‌های مکانیکی، شیمیایی هستند. اگرچه امروزه استفاده از مصالح ژئوسنتتیک به‌عنوان ابزاری برای تثبیت و بهبود میزان توانایی باربری لایه‌های روسازی راه و راه آهن و حتی بستر خاک زیر پی‌ها استفاده می‌شود که در بیش‌تر موارد از لایه‌های ژئوتکستایل و ژئوگرید بهره گرفته می‌شود. در ادامه ابتدا به بیان ضرورت تحقیق و سپس مرور ادبیات فنی در زمینه تحقیق می‌پردازیم و سپس مراحل بررسی‌های تحقیقی انجام یافته بیان می‌شود.

ضرورت تحقیق

اضافه شدن رس یا لای به ذرات دانه‌ای خاک مانند شن و ماسه در درصد‌های مختلف می‌تواند به‌طور اساسی رفتار ماتریس ماسه یا شن و رس را تغییر دهد. مطابق شکل ۱ تغییرات درصد تخلخل برحسب درصد ریزدانه قابل مشاهده است. در قسمت A درصد ریزدانه صفر است و دانه‌های شن به‌خوبی با یک‌دیگر تماس دارند و می‌توانند نیرو را منتقل کنند. هنگامی‌که از نقطه A به نقطه B میزان درصد ریزدانه افزایش می‌یابد، در این حالت ریزدانه‌ها فضای خالی بین دانه‌های شن را پر می‌کنند و باعث کاهش تخلخل و دانسیته نسبی می‌شوند بدون آن‌که در باربری شرکت داشته باشند تا این‌که در نقطه B ریزدانه‌های اضافه شده کاملاً فضای خالی بین دانه‌های شنی را پر می‌کنند. به این مقدار ریزدانه، ریزدانه حدی می‌گویند.

با افزایش مقدار ریزدانه و رسیدن به نقطه C، مشاهده می‌شود که دانه‌های شن بیش‌تر از یک‌دیگر جدا می‌شوند و ذرات ریزدانه نقش مهم‌تری را ایفا می‌کنند تا این‌که در نقطه C ریزدانه‌ها نمونه را تشکیل می‌دهند. قابل ذکر است که مقدار حدی ریزدانه به دانه‌بندی خاک اصلی و خصوصیات ریزدانه بستگی دارد. به‌طور مثال خاک‌های خوب دانه‌بندی شده در مقایسه با خاک‌های بد دانه‌بندی شده نسبت تخلخل کم‌تری دارند و در نتیجه مقدار کم‌تری ریزدانه می‌تواند دانه‌های شن را کاملاً از هم جدا کند. هم‌چنین ذرات رس نسبت به ذرات لای دارای نسبت تخلخل بیش‌تری هستند و می‌توانند به‌صورت مؤثرتری در پر کردن فضای خالی بین دانه‌های شن شرکت کنند.

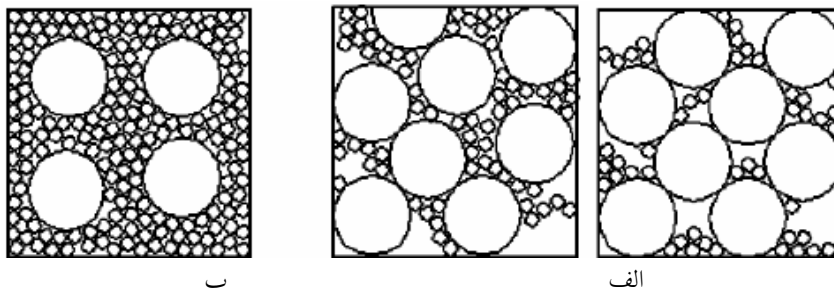


شکل ۱. تغییرات نسبت تخلخل مخلوط ماسه و رس برحسب تغییرات درصد رس [۱]

در حالتی که ریزدانه‌ها به‌طور فعال در باربری نقشی ندارند و کاملاً در فضاهای خالی بین دانه‌های شن قرار گرفته‌اند و تخلخل کلی نمونه را کاهش می‌دهند. با افزایش مقدار ریزدانه به‌تدریج ذرات رس تعدادی از دانه‌های ماسه را نیز از هم جدا می‌کنند. این موضوع در شکل ۲ الف دیده می‌شود. سپس با در نظر گرفتن حجم دانه‌های ریز (f_c) به‌عنوان فضای خالی می‌توان نسبت تخلخل دانه‌ای درشت را بدین‌صورت تعیین کرد:

$$e_s = \frac{e + f_c}{1 - f_c} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، e_s نسبت تخلخل دانه‌ای نامیده می‌شود.



شکل ۲. تأثیر ریزدانه در ساختار خاک (الف) در حالتی که درصد ریزدانه کم‌تر از میزان حدی است، (ب) حالتی که درصد ریزدانه بیش‌تر از میزان حدی است [۱].

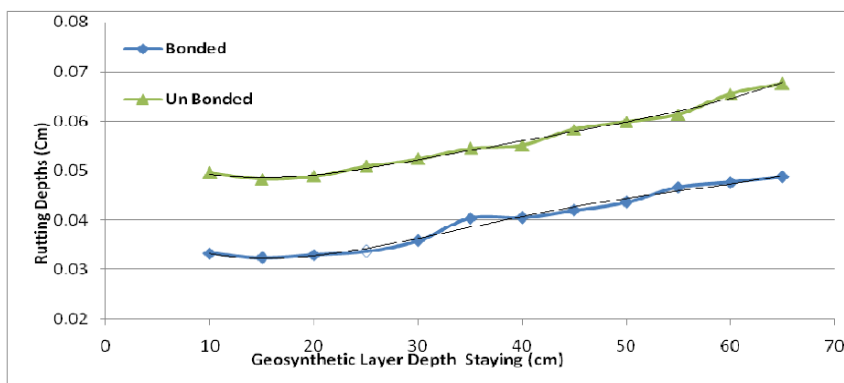
هم‌چنین، دانه‌های ریز فضای خالی بین دانه‌های درشت را کاملاً پر کرده‌اند به‌طوری‌که دانه‌های درشت با یک‌دیگر تماس ندارند. به عبارت دیگر، دانه‌های درشت به صورت غوطه‌ور میان دانه‌های ریز قرار دارند و نمی‌توانند با یک‌دیگر در باربری ماتریس نقش داشته باشند، بلکه تنها به عنوان انتقال‌دهنده نیرو بین دانه‌های ریز اطراف خودشان کار می‌کنند. این شرایط در شکل ۲ ب نشان داده شده است. برخلاف حالت الف که حجم دانه‌های ریز به عنوان فضاهای خالی در نظر گرفته شده است، در این شرایط حجم دانه‌های درشت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود و نسبت تخلخل بین دانه‌های ریز بدین صورت تعیین می‌شود:

$$e_f = \frac{e}{fc} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، e_f نسبت تخلخل بین دانه‌های ریزدانه نامیده می‌شود. در صورتی که ریزدانه‌های موجود در خاک از جنس رس باشند علاوه بر آن که به عنوان پرکننده در بافت خاک عمل می‌کند، می‌تواند با القاء چسبندگی به خاک بافت آن را یکپارچه‌تر سازند. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، برای بررسی امکان احداث لایه‌های زیراساس و اساس و خاک بستر در بدنه راه با استفاده از مصالح مذکور در این پژوهش به تأثیر نحوه کاربرد لایه ژئوتکستایل (به صورت لایه‌ای و یا قطعه‌ای) در بهبود میزان توانایی باربری خاک مخلوط رس- شن و اثر آن بر تغییرات پارامترهای تخلخل حداقل، دانه‌ای و بین دانه‌ای می‌پردازیم.

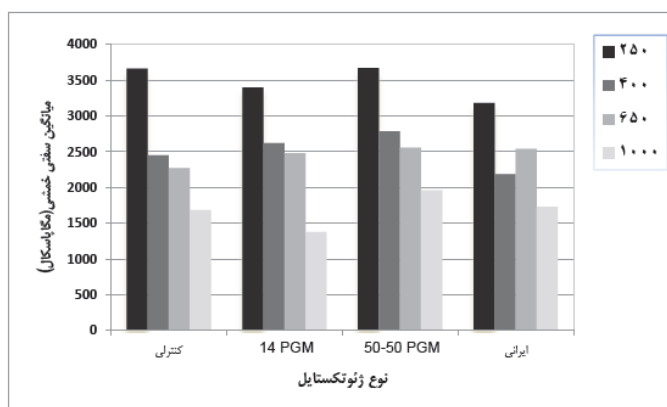
مرور پژوهش‌های گذشته

در صورتی که بتوان خاک‌های نامناسب محلی را قابل استفاده در لایه‌های روسازی کرد از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد. اگرچه در این زمینه پژوهش‌های بسیاری انجام شده است و روش‌های مختلف مکانیکی براساس تراکم مصالح و شیمیایی بر مبنای واکنش شیمیایی بین مصالح و مواد افزودنی بنا نهاده شده است. امروزه به‌منظور اصلاح و بهسازی توانایی باربری خاک‌ها به‌عنوان نمونه در خاک رسی زیر بستر زیر پی‌ها [۲]، [۳] و مصالح لایه‌های روسازی راه از مصالح ژئوسنتتیک استفاده می‌شود. در این زمینه می‌توان به کاربرد لایه‌های ژئوتکستایل و ژئوگرید در احداث بدنه راه و لایه‌های روسازی برای بهبود باربری مصالح اشاره کرد. در مورد کاربرد ژئوتکستایل در بهسازی مقاومت و باربری لایه‌های روسازی می‌توان به بررسی‌های عددی و آزمایشگاهی انجام شده به‌وسیله لثا و مورسی (۲۰۰۷)، نایینی و میرزاخانلری (۲۰۰۸)، شاهی و همکاران (۲۰۱۰)، خبیری (۲۰۱۱)، کومار و راج کومار (۲۰۱۲)، صادقی و دبیری (۲۰۱۵)، نظری و دبیری (۲۰۱۶)، اشاره کرد [۵]، [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰]. نایینی و میرزاخانلری در سال ۲۰۰۸ و صادقی و دبیری در سال ۲۰۱۵ به‌ترتیب در بررسی‌های آزمایشگاهی برای بهبود باربری شن و شن همراه با ۱۵ و ۳۰ درصد لای با استفاده از ژئوتکستایل در حالت خشک انجام دادند. آنها در تحقیقات خود مشاهده کردند که تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و محل قرارگیری آنها می‌تواند در میزان توانایی باربری مصالح تأثیرگذار باشد. کومار و راژکومار در سال ۲۰۱۲ در پژوهش خود برای بهسازی مصالح نرم بستر راه از ژئوتکستایل استفاده کردند. ایشان دریافتند که ژئوتکستایل بافته نشده در مقایسه با حالت بافته شده در تأثیر کم‌تری در میزان توانایی باربری است. هم‌چنین، در مدل‌سازی عددی انجام شده به‌وسیله خبیری، تأثیر جانمایی و تعداد لایه‌های مسلح‌کننده ژئوسنتتیک و عمق استقرار آنها در میزان توانایی باربری لایه‌های روسازی تحت بارگذاری دینامیکی ناشی از وسایل نقلیه بررسی شده است. ایشان در مشاهدات خود دریافتند که با قرار دادن یک لایه مسلح‌کننده در بدنه راه نزدیک به سطح را میزان نشست و تغییر شکل قائم را کاهش داده و هم‌چنین دریافتند که بهترین موقعیت استقرار لایه مسلح‌کننده در عمق ۱۰ سانتی متری نسبت به رویه راه است.

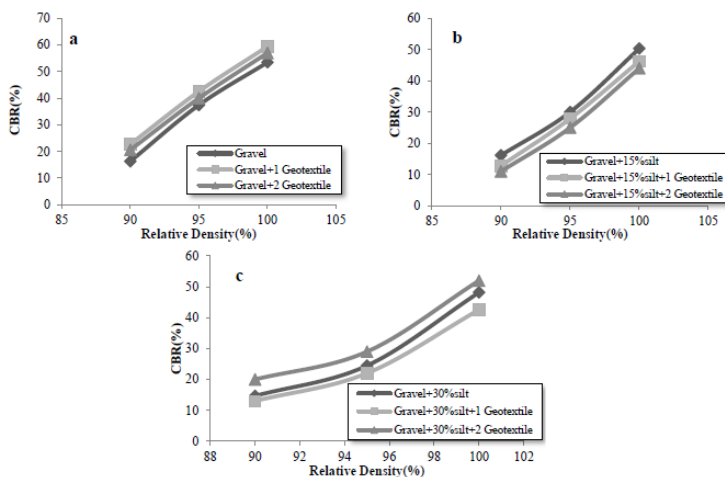


شکل ۳. تأثیر عمق استقرار لایه ژئوتکستایل و جانمایی آن در اصلاح میزان تغییر شکل قائم در بدنه راه [۸]

شاهی و همکاران (۲۰۱۰)، پژوهشی روی تأثیر لایه ژئوتکستایل بر عمر خستگی رویه‌های آسفالتی انجام دادند [۷]. ایشان در تحقیقات خود به منظور افزایش عمر رویه آسفالتی از سه نوع لایه ژئوتکستایل متداول استفاده کردند و آزمایش خستگی را بر نمونه‌های بررسی شده انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داده است که ژئوتکستایل می‌تواند سبب کاهش و یا افزایش میانگین سفتی خمشی نمونه‌های آزمایشگاهی شود ولی به‌طور کلی سبب افزایش کیفیت روسازی آسفالتی می‌شود (شکل ۴).



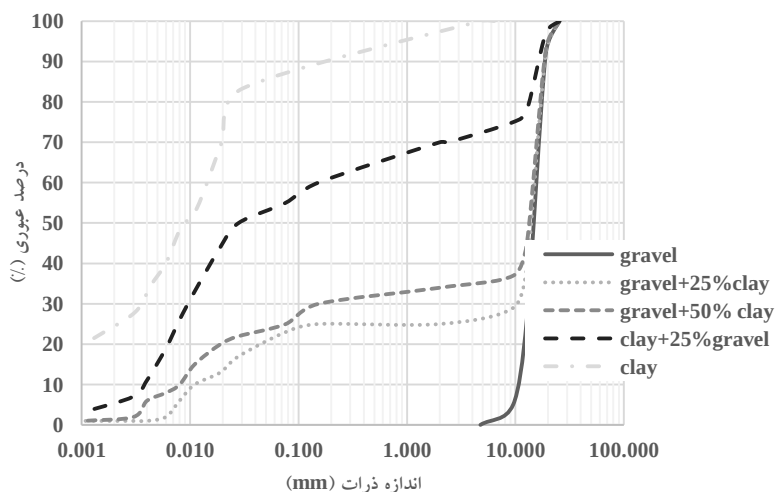
شکل ۴. میانگین سفتی خمشی در برابر نوع نمونه برای کرنش‌های ۲۵۰، ۴۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ میکرو استرین [۷]



شکل (۵): تأثیر تعداد لایه های ژئوتکستایل بر روی میزان توانایی باربری خاک های مخلوط
شن- لای) [۱۰]

مواد و مصالح

در تحقیق حاضر، مصالح شنی و رسی بررسی شده از معدنی نزدیک شهر باراندوز در استان آذربایجان غربی تهیه شده است. خاک های رسی و شنی با درصد های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ با یکدیگر مخلوط شده و منحنی دانه بندی نمونه ها طبق استاندارد ASTM و ASTM D422 تعیین و برآورد شده که در شکل ۶ مشاهده می شود. خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح بررسی شده مطابق جدول ۱ قابل مشاهده هست. میزان چگالی ویژه مصالح با توجه به درصد مخلوط آنها براساس استاندارد ASTM D854 اندازه گیری شده و مطابق جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به این که هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل در مصالح بررسی شده است، ژئوتکستایل بافته نشده از جنس پلی پروپیلن استفاده شده در پژوهش با نام تجاری Fibertex-F-32 است که مشخصات فنی آن در جدول ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۶. منحنی دانه‌بندی مصالح مخلوط در محدوده بررسی شده

جدول ۱. خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح بررسی شده

نوع خاک	استاندارد	توصیف	آزمایش	استاندارد	توصیف
شن	ASTM D421	GP (طبق طبقه‌بندی متحد)	شاخص خمیری	ASTM D4318-95a	۱۴ درصد
رس	ASTM D422	CL (طبق طبقه‌بندی متحد)			

جدول ۲. میزان چگالی ویژه خاک‌های مخلوط بررسی شده

نوع خاک	GS
رس	۲/۷۵
رس + ۲۵٪ شن	۲/۷
رس + ۵۰٪ شن	۲/۶۵
رس + ۷۵٪ شن	۲/۶
شن	۲/۶۳

جدول ۳. مشخصات فنی ژئوتکستایل استفاده شده در تحقیق حاضر (Fibertex-F-32)

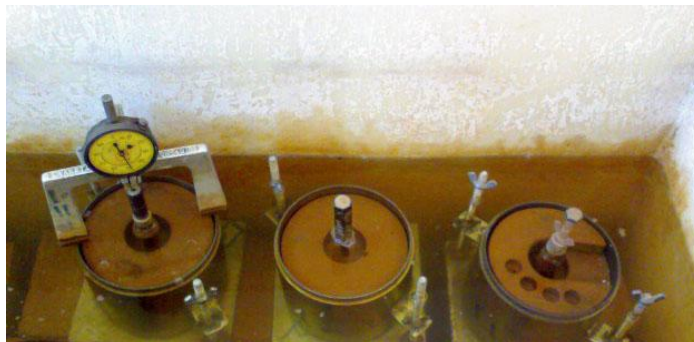
Properties	Values
Weight (g/m ²)	175
Thickness (mm)	0.9
Static puncture (CBR-test) N	2000
Dynamic cone drop (mm)	28
Tensile strength(kN/m)	13
Elongation at peak stress (%)	45-50

کارهای آزمایشگاهی

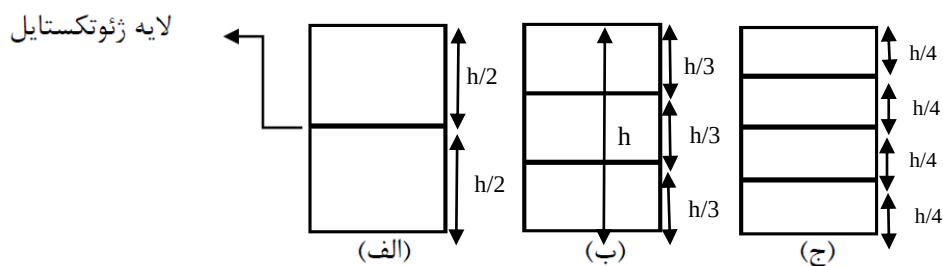
ابتدا آزمون تراکم آزمایشگاهی طبق استاندارد ASTM D698 روی نمونه های مسلح و غیرمسلح انجام شده است. سپس به منظور تعیین میزان توانایی باربری مصالح مخلوط در شرایط مسلح و غیرمسلح، آزمون نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) مطابق با استاندارد ASTM D1883 در دو شرایط خشک و اشباع (شکل های ۷ و ۸) و در سه سطح انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه) انجام شده است. مطابق استاندارد سرعت بارگذاری ۱/۲۷ mm/min انتخاب شده و عدد CBR برای نفوذ پیستون به میزان ۲/۵ و ۵ سانتی متر برآورد شده است. در حالت اشباع، هم چنین میزان تورم احتمالی ایجاد شده در نمونه های خاکی بررسی شده حاصل از آزمایش CBR تعیین شده است. طبق استاندارد پس از انجام تراکم، حلقه گلولی را برداشته و سطح خاک صاف می شود، سپس با قراردادن کاغذ صافی روی نمونه، صفحه مشبک نصب شده و در ادامه سرباری معادل فشار ناشی از وزن لایه های زیر اساس و اساس خاکریز وارد نمونه که حداقل آن ۴/۵۴ کیلوگرمی است روی قالب متصل کرده و اولین قرائت انجام می شود. سپس قالب را به مدت چهار روز در آب غوطه ور کرده به نحوی که حداقل ارتفاع آب روی نمونه ۲۵ میلی متر شود. سپس نمونه را از مخزن آب خارج کرده و برای این که نمونه زهکشی شود ۱۵ دقیقه نمونه را به حال خود رها می شود و وزنه های سربار و صفحه مشبک را برداشته و قالب را وزن می کنند. نحوه آماده سازی نمونه های مسلح شده با ژئوتکستایل در آزمون نسبت باربری کالیفرنیا در دو شرایط لایه ای و مخلوط ران دوم انجام گرفته است. بدین ترتیب که در شرایط لایه ای، ابتدا، یک لایه ژئوتکستایل در وسط لایه سوم در هنگام تراکم قرار داده شده و سپس، دو لایه ژئوتکستایل یکی در بالای لایه دوم و دیگری در بالای لایه چهارم در هنگام تراکم جای گذاری شد. در انتها، سه لایه ژئوتکستایل که یکی در بالای لایه اول و دومی در وسط لایه سوم و دیگری در وسط لایه پنجم قرار داده شده است. در شرایط دوم، ژئوتکستایل به صورت تصادفی با خاک های بررسی شده به ابعاد ۱×۱ و ۵×۵ سانتی متر مربع و با درصدهای وزنی ۱، ۲ و ۳ درصد مخلوط شده است (شکل های ۹ و ۱۰). لازم به ذکر است که آزمایش ها در ۹ حالت انجام شد. برنامه ریزی و تعداد آزمایش های انجام شده در جدول ۴ و ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۷. انجام آزمون نسبت باربری کالیفرنیا در حالت خشک روی نمونه‌های بررسی شده



شکل ۸. انجام آزمون نسبت باربری کالیفرنیا در حالت اشباع روی نمونه‌های بررسی شده



شکل ۹. نحوه قرارگیری لایه‌های ژئوتکستایل در نمونه‌های خاکی بررسی شده در قالب دستگاه نسبت باربری کالیفرنیا، (الف) یک لایه، (ب) دو لایه، (ج) سه لایه



شکل ۱۰. نمونه‌هایی از ژئوتکستایل استفاده شده

جدول ۴. روش تثبیت نمونه‌های بررسی شده

روش ها	روش ها
جای‌گذاری یک لایه ژئوتکستایل	۱
جای‌گذاری دولایه ژئوتکستایل	۲
جای‌گذاری سه لایه ژئوتکستایل	۳
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۱ سانتی‌متر مربع به میزان ۱ درصد	۴
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۱ سانتی‌متر مربع به میزان ۲ درصد	۵
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۱ سانتی‌متر مربع به میزان ۳ درصد	۶
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۲۵ سانتی‌متر مربع به میزان ۱ درصد	۷
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۲۵ سانتی‌متر مربع به میزان ۲ درصد	۸
مخلوط قطعه ژئوتکستایل با مساحت ۲۵ سانتی‌متر مربع به میزان ۳ درصد	۹

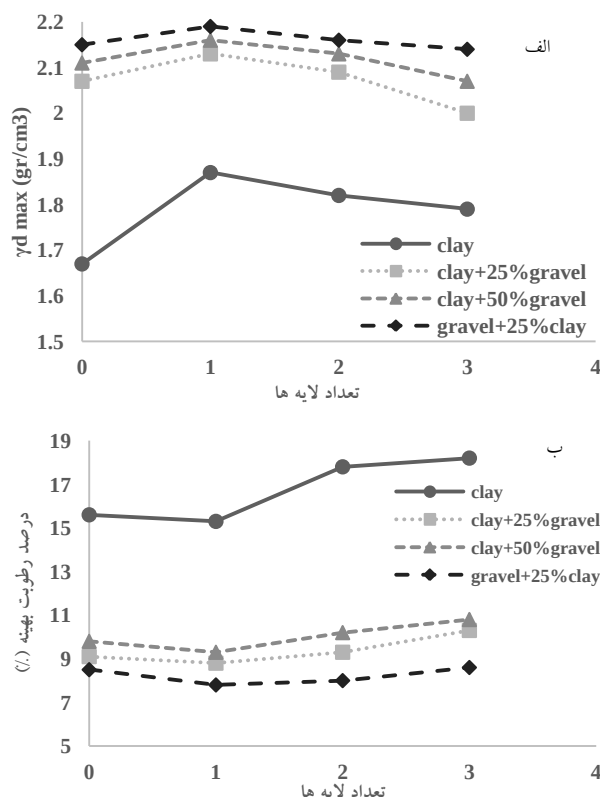
جدول ۵. برنامه آزمون‌های انجام شده روی نمونه‌های بررسی شده

مجموع	رس	شن ۲۵٪+ رس	شن ۵۰٪+ رس	شن ۷۵٪+ رس	مصالح
					آزمون‌ها
۱۸۰	یک سری ۵ نقطه‌ای (در نه حالت)	یک سری ۵ نقطه‌ای (در نه حالت)	یک سری ۵ نقطه‌ای (در نه حالت)	یک سری ۵ نقطه‌ای (در نه حالت)	تراکم
۱۰۸	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	CBR (اشباع) سه اثرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه)
۱۰۸	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	سه سری (در نه حالت)	CBR (خشک) سه اثرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه)

نتایج و بحث

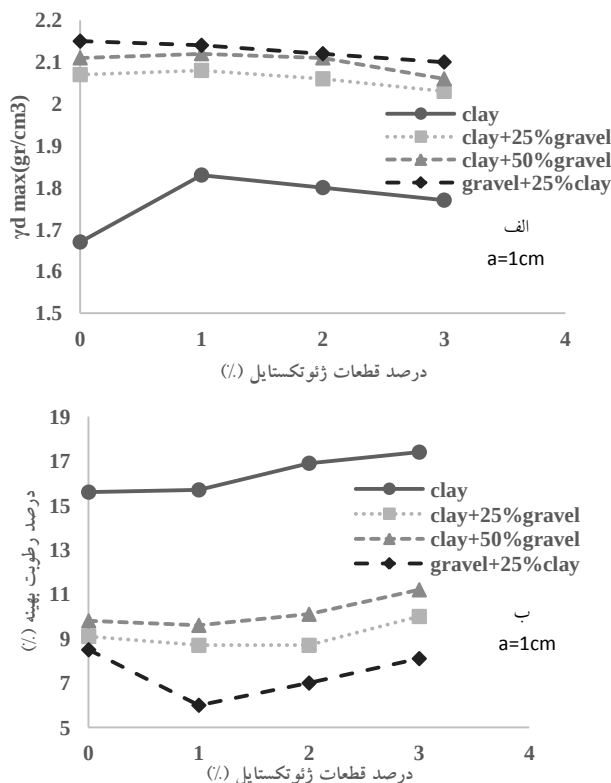
۱. نتایج حاصل از آزمایش تراکم

نتایج حاصل از آزمایش تراکم برای بررسی تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل بر مصالح بررسی شده به ترتیب در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ ارائه شده است. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که در حالت غیرمسلح، با افزایش میزان درصد شن در خاک رسی مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر (γ_{dmax}) افزایش یافته و میزان رطوبت بهینه کاهش یافته است. در حالت مسلح، اولاً، زمانی که یک لایه ژئوتکستایل در خاک رسی قرار داده شد، میزان وزن مخصوص خشک حداکثر به بیش‌ترین حد خود رسیده و مقدار رطوبت بهینه به حداقل میزان خود رسید.

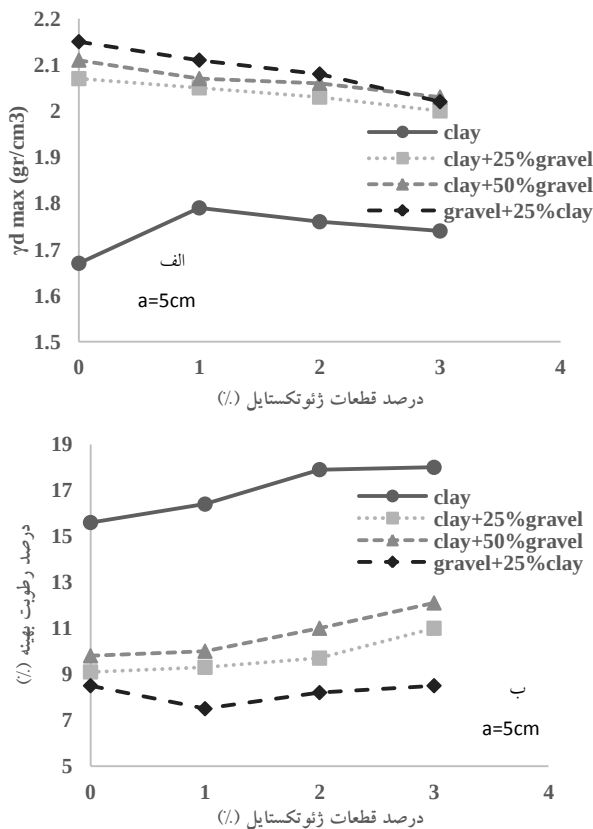


شکل ۱۱. تأثیر تعداد لایه‌های ژئوتکستایل بر نتایج حاصل از آزمایش تراکم، الف) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر، ب) تغییرات رطوبت بهینه

اگرچه با افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل میزان وزن مخصوص حداکثر کاهش و مقدار رطوبت بهینه روند افزایشی از خود نشان داد. در مصالح مخلوط، مشاهده شد، با قرار دادن یک لایه ژئوتکستایل میزان γ_{dmax} افزایش و مقدار رطوبت بهینه کاهش یافته است. ثانیاً، هنگامی که قطعات ژئوتکستایل به صورت راندم با ابعاد 1×1 و 5×5 سانتی متر مربع با نمونه های بررسی شده مخلوط شد مشاهده شد، در خاک رسی با افزودن یک درصد وزنی ژئوتکستایل (در هر دو بعد) وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش یافته و مقدار رطوبت بهینه کاهش یافته است. ولی با افزودن مقدار درصد ذرات ژئوتکستایل مشاهده شد که مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر کاهش و رطوبت بهینه افزایش یافت. در مصالح مخلوط زمانی که یک درصد ژئوتکستایل با ابعاد 1×1 سانتی متر مربع مخلوط می شود میزان وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه کاهش می یابد.

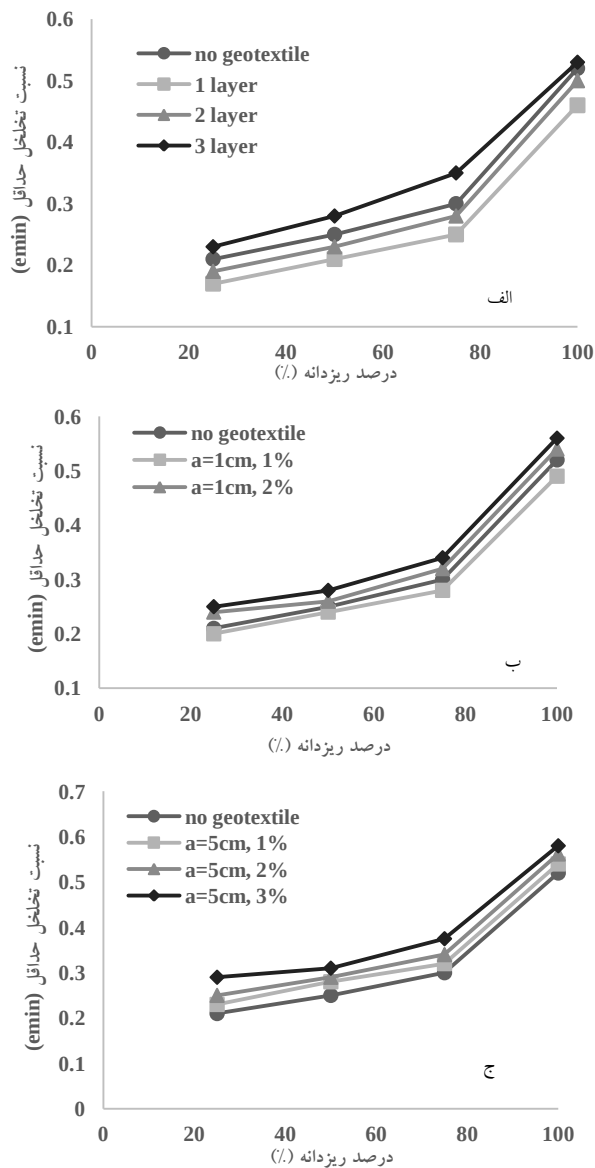


شکل ۱۲. تأثیر قطعات 1×1 سانتی متر مربع ژئوتکستایل بر نتایج حاصل از آزمایش تراکم، (الف) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر، (ب) تغییرات رطوبت بهینه



شکل ۱۳. تأثیر قطعات ۵×۵ سانتی‌متر مربع ژئوتکستایل بر نتایج حاصل از آزمایش تراکم، الف) تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر، ب) تغییرات رطوبت بهینه

این شرایط با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل در نمونه‌های بررسی شده مطابق شکل ۱۴ قابل بیان هست. در حالت غیرمسلح، با افزایش میزان درصد ریزدانه میزان تخلخل روند صعودی یافته است که نتایج تراکم بیان‌کننده این شرایط است. هنگامی که یک لایه در مصالح قرار داده می‌شود و یا یک درصد قطعات ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر مربع افزوده می‌شود مقدار نسبت تخلخل حداقل در مقایسه با حالت غیرمسلح دارای کم‌ترین میزان می‌شود. ولی با افزایش تعداد لایه‌ها و ابعاد و درصد قطعات مقدار نسبت تخلخل حداقل افزایش می‌یابد که بیان‌کننده ایجاد ساختار سست و ناپیوستگی بیش‌تر در بین ساختار دانه‌بندی مصالح است.

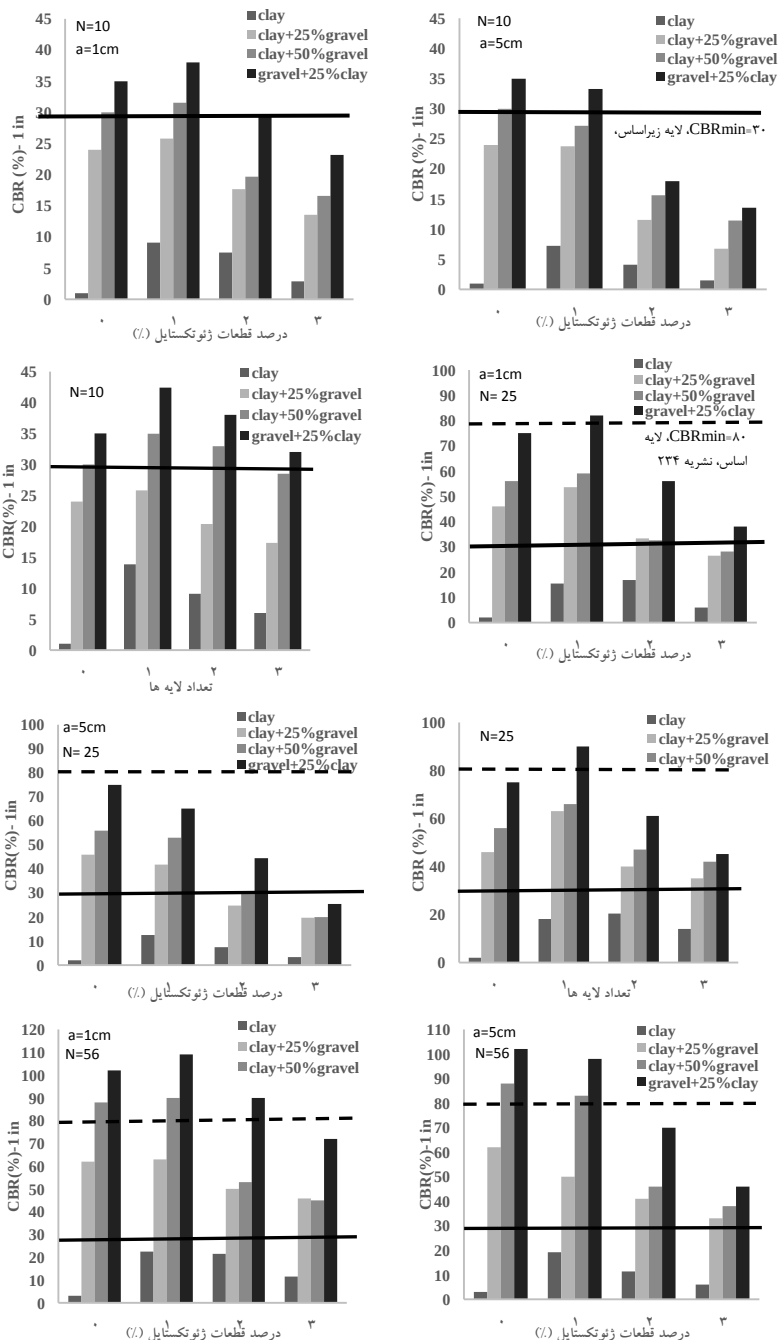


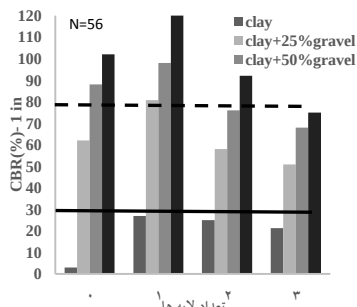
شکل ۱۴. تأثیر میزان درصد ریزدانه و نحوه کاربرد ژئوتکستایل بر تغییرات نسبت تخلخل حداقل نمونه های بررسی شده، الف) تعداد لایه، ب) قطعات ۱×۱ سانتی متر مربع، ج) قطعات ۵×۵ سانتی متر مربع

۲. نتایج حاصل از آزمایش نسبت برابری کالیفرنیا

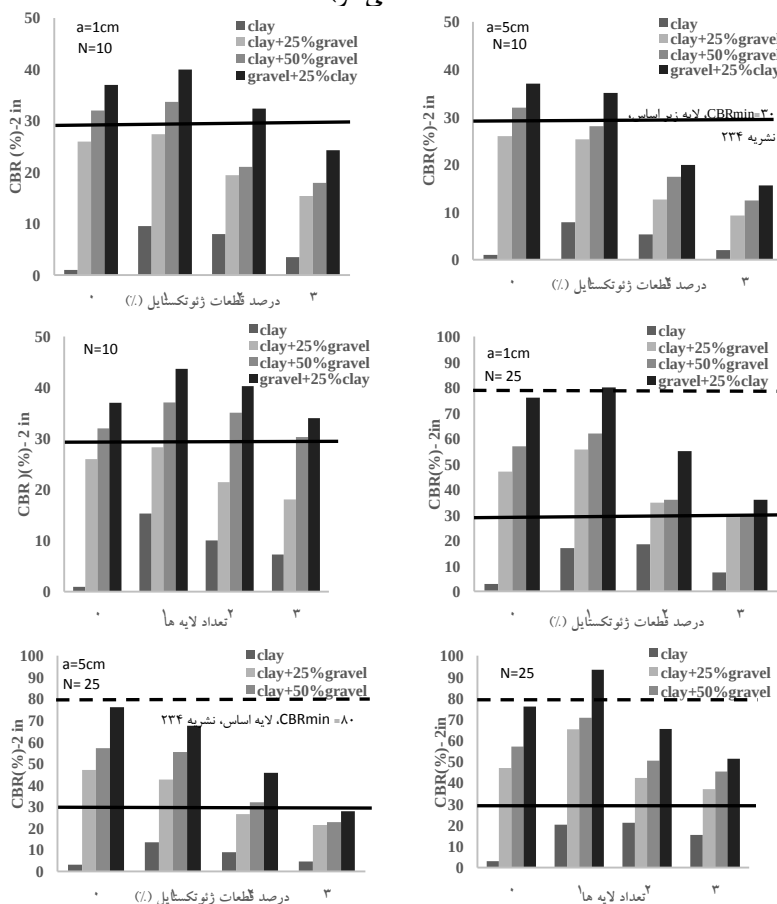
نتایج حاصل از آزمون نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) در دو حالت خشک و اشباع در سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه) که روی نمونه‌های بررسی شده در حالت غیرمسلح و مسلح انجام شده، در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ ارائه شده است. با توجه به نمودارها می‌توان اشاره کرد، در شرایط خشک و در حالت غیرمسلح، با افزایش میزان درصد شن در نمونه‌های رسی میزان CBR افزایش یافته است. در شرایط مسلح، هنگامی که یک لایه ژئوتکستایل در نمونه‌ها جایگذاری می‌شود میزان عدد CBR برای همه انرژی‌های تراکمی دارای بیش‌ترین مقدار است. با جای‌گذاری دو و سه لایه ژئوتکستایل، میزان نسبت باربری کالیفرنیا یک روند کاهشی را طی می‌کند. اگر به مقدار ۱٪ ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر در نمونه‌ها استفاده شود، میزان نسبت باربری کالیفرنیا کالیفرنیا نسبت به حالت غیرمسلح بهبود می‌یابد. در حالت کلی با توجه به نشریه ۲۳۴ سازمان برنامه و بودجه می‌توان دریافت که در انرژی تراکمی پایین ($N=10$) مصالح شنی با ۲۵٪ رس و رس به همراه ۵۰٪ شن با کاربرد یک و دو لایه ژئوتکستایل و یا با مخلوط یک درصد ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر برای احداث لایه زیراساس مناسب است. همچنین در انرژی تراکمی متوسط و زیاد ($N=25$ و $N=56$) مصالح شنی به همراه ۲۵٪ رس، رس به همراه ۵۰٪ شن و رس به همراه ۲۵٪ درصد شن با کاربرد یک لایه ژئوتکستایل یا با مخلوط یک درصد ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر به ترتیب نیز برای استفاده در ساخت لایه‌های اساس و زیراساس مناسب است. البته از دو و سه لایه ژئوتکستایل در انرژی‌های متوسط و زیاد و یا مخلوط تصادفی قطعات ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر و ۵×۵ سانتی‌متر به میزان ۲ الی ۳ درصد در مصالح مذکور را می‌توان در احداث لایه زیراساس استفاده کرد.

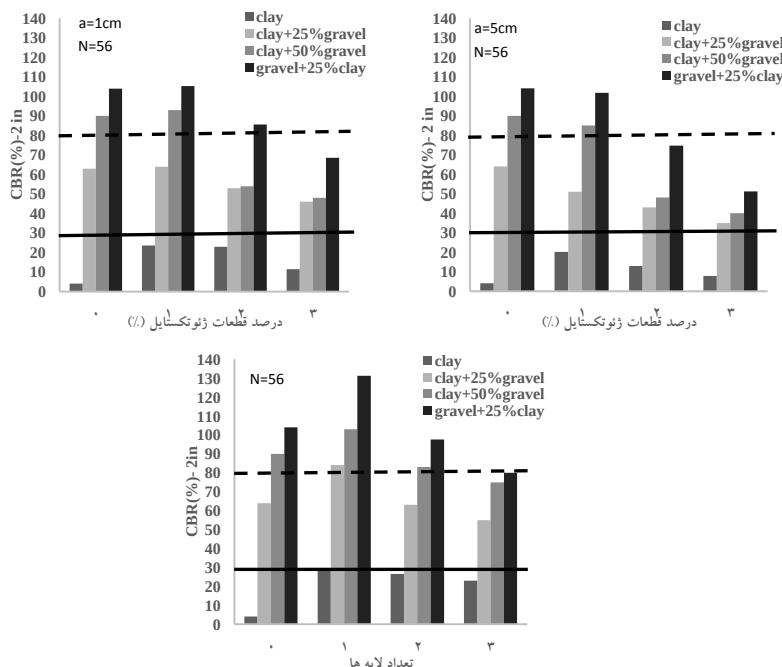
در شرایط اشباع و هنگامی که نمونه غیرمسلح است با افزایش میزان درصد شن در نمونه‌های رسی میزان CBR افزایش می‌یابد. در شرایط مسلح، اگر یک لایه ژئوتکستایل در نمونه‌ها جای‌گذاری شود مشاهده می‌شود عدد CBR در همه انرژی‌های تراکمی دارای بیش‌ترین مقدار است. اگرچه زمانی که دو و سه لایه ژئوتکستایل در نمونه‌ها قرار داده می‌شود میزان عدد نسبت باربری کالیفرنیا در نمونه‌ها یک روند کاهشی را طی می‌کند.





شکل ۱۵. تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل بر نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم‌های متفاوت (۱۰، ۲۵، ۵۶ ضربه برای هر لایه) در حالت خشک برای نفوذ ۱ اینچ (۲/۵ سانتی‌متر)

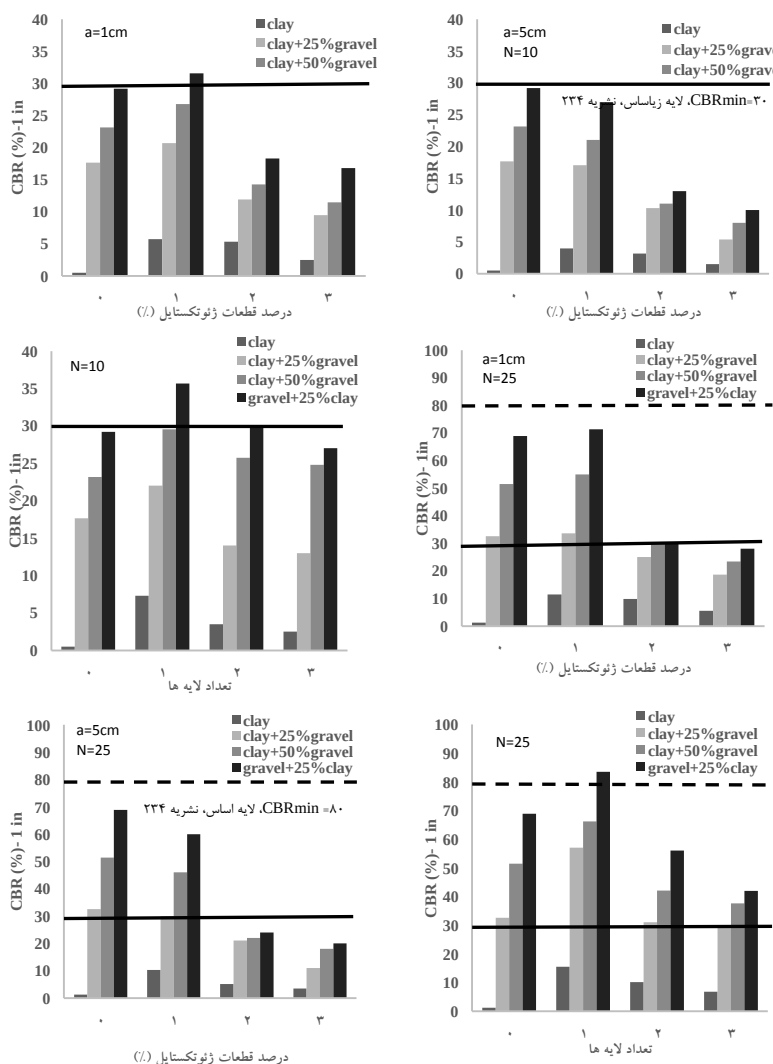


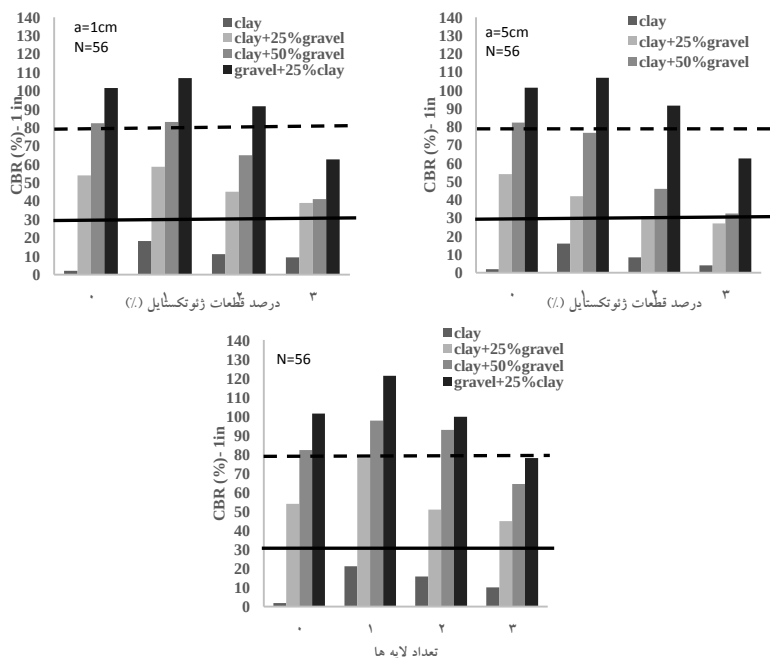


شکل ۱۶. تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل بر نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم های متفاوت (۱۰، ۲۵، ۵۶ ضربه برای هر لایه) در حالت خشک برای نفوذ ۲ اینچ (۵ سانتی متر)

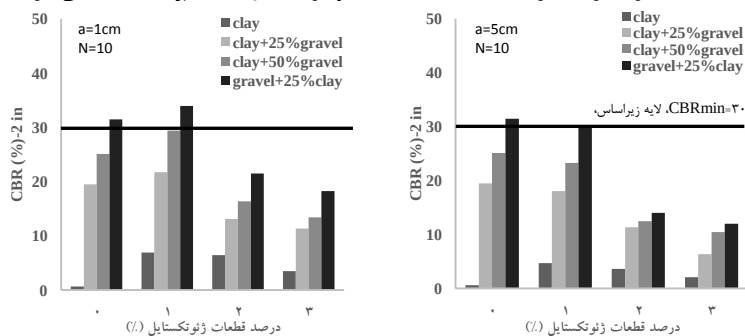
در ادامه، زمانی که به مقدار ۱٪ ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر در نمونه ها استفاده می شود میزان نسبت باربری کالیفرنیا کالیفرنیا نسبت به حالت غیرمسلح بهبود می یابد. با توجه به نشریه ۲۳۴ سازمان برنامه و بودجه می توان دریافت که در انرژی تراکمی کم (N=10) مصالح شنی با ۲۵٪ رس و رس به همراه ۵۰٪ شن با کاربرد یک و دو لایه ژئوتکستایل و یا با مخلوط یک درصد ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر برای احداث لایه زیراساس مناسب است. در انرژی تراکمی متوسط و زیاد (N=25 و N=56) مصالح شنی به همراه ۲۵٪ رس، رس به همراه ۵۰٪ شن و رس به همراه ۲۵٪ درصد شن با کاربرد یک لایه ژئوتکستایل یا با مخلوط یک درصد ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر به ترتیب برای استفاده در ساخت لایه های اساس و زیراساس مناسب است. اگرچه استفاده از دو و سه لایه ژئوتکستایل در انرژی های متوسط و زیاد و یا مخلوط تصادفی قطعات ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر و

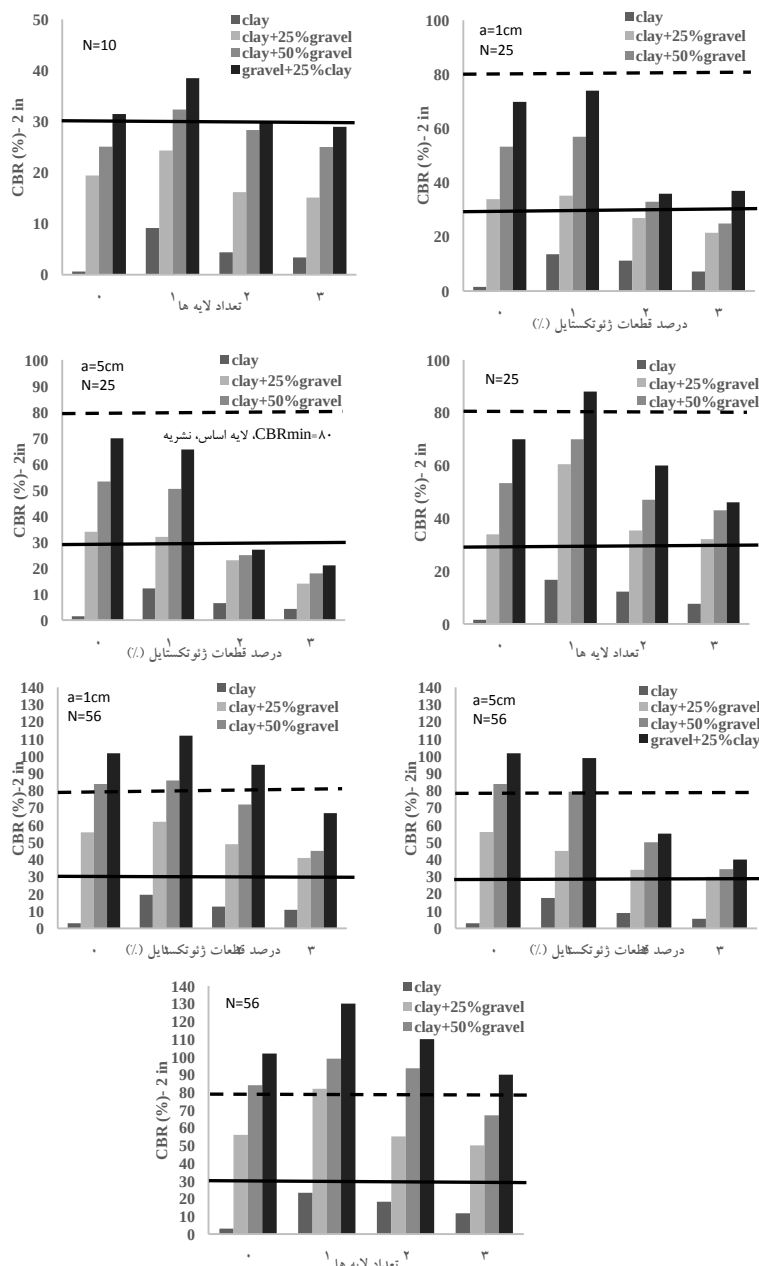
۵×۵ سانتی‌متر به‌میزان ۲ الی ۳ درصد در مصالح مذکور می‌توان در احداث لایه زیراساس بهره‌گرفت. البته لازم به‌ذکر است که نتایج به‌دست آمده از توانایی باربری نمونه‌ها در حالت اشباع در مقایسه با شرایط خشک به‌طور چشم‌گیر دارای میزان کم‌تری است. با این وجود مشاهده می‌شود که با تثبیت مصالح در این شرایط امکان استفاده از آنها در احداث لایه‌های بدنه راه موجود است.





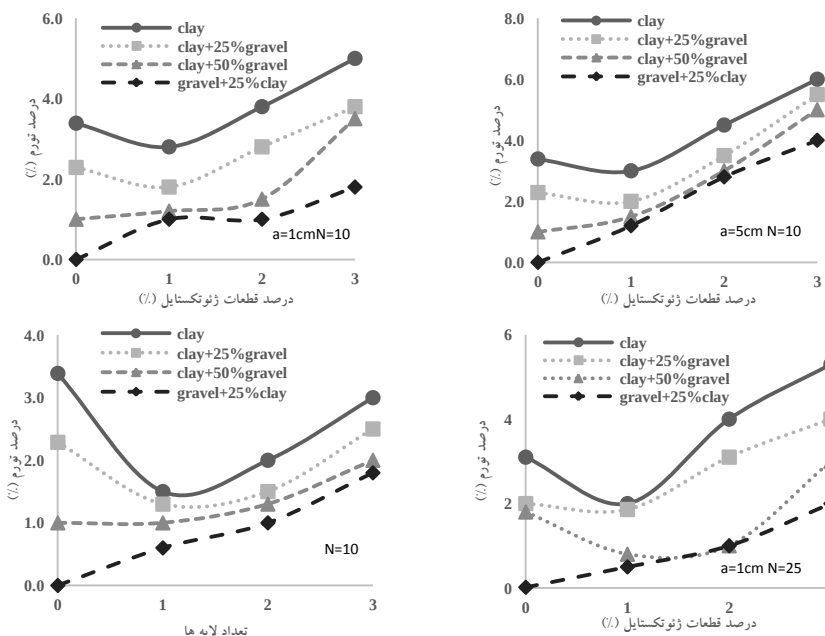
شکل ۱۷. نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم های متفاوت (۱۰، ۲۵، ۵۶ ضربه برای هر لایه) در حالت اشباع برای نفوذ ۱ اینچ (۲/۵ سانتی متر)

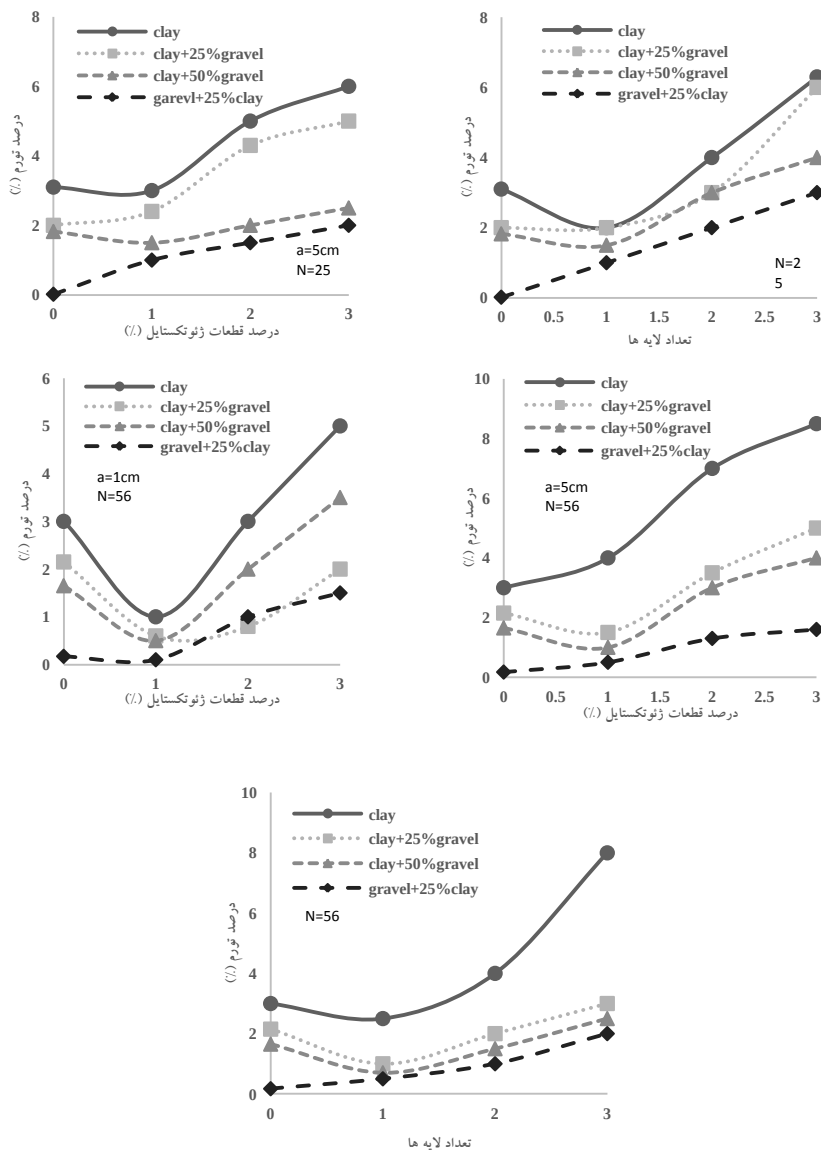




شکل ۱۸. نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا برای تراکم‌های متفاوت (۱۰، ۲۵، ۵۶ ضربه برای هر لایه) در حالت اشباع برای نفوذ ۲ اینچ (۵ سانتی‌متر)

میزان تورم در نمونه های بررسی شده حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا در میزان نفوذ ۲ اینچ (۵ سانتی متر) در تمامی سه انرژی تراکمی متفاوت (۱۰، ۲۵ و ۵۶ ضربه برای هر لایه) اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل ۱۹ ارائه شده است. با توجه به نمودارها می توان دریافت در حالت غیرمسلح میزان تورم در تمامی انرژی های تراکمی با افزایش میزان درصد ریزدانه یک روند افزایشی را طی کرده است. اگر نمونه ها با یک لایه ژئوتکستایل مسلح گردند میزان تورم به طور چشم گیری به طور متوسط تا ۴۰ درصد کاهش می یابد. در صورتی که قطعات ژئوتکستایل به صورت تصادفی با ابعاد ۱×۱ سانتی متر و ۵×۵ سانتی متر در درصدهای مختلف با مصالح مخلوط شود، هنگام افزودن یک درصد ژئوتکستایل به ابعاد ۱×۱ سانتی متر به نمونه ها میزان تورم به مقدار متوسط ۸۰ درصد کاهش می یابد. همچنین با افزودن یک درصد ژئوتکستایل به ابعاد ۵×۵ سانتی متر به نمونه ها میزان تورم کاهش می یابد ولی در مقایسه با ابعاد کوچک تر تأثیر کمتری دارد. البته افزایش درصد مخلوط ابعاد بزرگ تر ژئوتکستایل باعث افزایش میزان تورم در نمونه های مخلوط می شود.





شکل ۱۹. تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل بر تغییرات میزان تورم در نمونه‌های خاکی برای تراکم‌های متفاوت (۱۰، ۲۵، ۵۶ ضربه برای هر لایه) در حالت اشباع برای نفوذ ۲ اینچ (۵ سانتی‌متر) نتایج به‌دست آمده از آزمون نسبت باربری کالیفرنیا با توجه به تغییرات نسبت تخلخل حداقل (e_{min}) و نسبت تخلخل دانه‌ای (e_s) و نسبت تخلخل بین دانه‌ای (e_f) قابل تفسیر

است. با مشاهده جدول های ۶ و ۷ و ۸ می توان تأثیر میزان درصد ریزدانه و نحوه کاربرد ژئوتکستایل را روی هر سه پارامتر را دریافت. در حالتی که دانه های ریز فضای خالی بین دانه های درشت را کاملاً پر کرده اند به طوری که دانه های درشت با یکدیگر تماس ندارند. به عبارت دیگر، دانه های درشت به صورت غوطه ور میان دانه های ریز قرار دارند و نمی توانند با یکدیگر در باربری ماتریس نقش داشته باشند، بلکه تنها به عنوان انتقال دهنده نیرو بین دانه های ریز اطراف خودشان کار می کنند. حال در صورتی که ریزدانه های موجود در خاک از جنس رس باشند علاوه بر آن که به عنوان پرکننده در بافت خاک عمل می کند، با القاء چسبندگی به خاک می تواند بافت آن را یک پارچه تر سازند. بر این پایه با افزایش میزان درصد خاک رسی در خاک شن باعث افزایش نسبت تخلخل حداقل بدون آن که در باربری شرکت داشته باشند که این تغییرات هم چنین در شکل ۱۴ ارائه شده است. به عبارت دیگر ریزدانه ها به طور فعال در باربری نقشی ندارند و کاملاً در فضاهای خالی بین دانه های شن قرار گرفته اند و تخلخل کلی نمونه را کاهش می دهند. با افزایش مقدار ریزدانه به تدریج ذرات رس تعدادی از دانه های شن را نیز از هم جدا می کنند. این شرایط بیان کننده کاهش میزان توانایی باربری مصالح با افزایش میزان درصد ریزدانه است. بنابراین با افزایش درصد شن در خاک رسی تا ۵۰ درصد مطابق جدول ۶ مشاهده می شود که نسبت تخلخل بین دانه های ابتدا کاهش می یابد که در نتیجه آن در تمام نمونه های حاوی شن میزان مقاومت فشاری و توانایی باربری در حالت غیرمسلح یک روند افزایشی را نشان می دهد. اگر یک لایه ژئوتکستایل در نمونه ها جای گذاری شود، نسبت تخلخل حداقل در مقایسه با حالت غیرمسلح کاهش می یابد که تأثیرگذار در بهبود نسبی توانایی باربری است که علت آن افزایش تماس بین ژئوتکستایل و مصالح خاکی است. زمانی که دو لایه ژئوتکستایل در مصالح قرار گیرد، مقادیر نسبت تخلخل حداقل نمونه ها در مقایسه با حالت یک لایه ژئوگريد افزایش و غیرمسلح کاهش یافته است که بیان کننده ایجاد یک ناپیوستگی نسبی بین ذرات و کاهش تماس آنها با یکدیگر است که باعث می شود که در بهبود میزان توانایی باربری مصالح تأثیر کمتری داشته باشد. زمانی که سه لایه ژئوتکستایل در نمونه های بررسی شده قرار داده می شود مشاهده می شود که نسبت های تخلخل حداقل افزایش یافته اند که بیان کننده ایجاد ساختار بین دانه ای غیر یک پارچه در بین مصالح است.

جدول ۶. تأثیر درصد ریزدانه و نحوه کاربرد ژئوتکستایل روی نسبت تخلخل دانه‌ای (e_s)

نمونه	بدون لایه ژئوتکستایل			یک لایه ژئوتکستایل			دو لایه ژئوتکستایل			سه لایه ژئوتکستایل		
نسبت تخلخل	e_f	e_s	e_{min}	e_f	e_s	e_{min}	e_f	e_s	e_{min}	e_f	e_s	e_{min}
رس	۰/۵۲	-	۰/۵۲	۰/۴۶	-	۰/۴۶	۰/۵	-	۰/۵	۰/۵۳	-	۰/۵۳
رس+۲۵٪ شن	۰/۳	-	۰/۳	۰/۲۵	-	۰/۲۵	۰/۲۸	-	۰/۲۸	۰/۴۶	-	۰/۴۶
رس+۵۰٪ شن	۰/۲۵	۱/۵	۰/۲۵	۰/۲۱	۱/۴۲	۰/۲۱	۰/۲۳	۱/۴۶	۰/۳۷	۰/۲۸	۱/۵۶	۰/۴۷
رس+۷۵٪ شن	۰/۲۱	۰/۶۱	-	۰/۱۷	۰/۵۶	-	۰/۱۹	۰/۵۹	-	۰/۲۳	۰/۶۴	-

مطابق جدول ۷، زمانیکه قطعات ژئوتکستایل در ابعاد 1×1 سانتی‌متر مربع و به مقدار یک درصد به صورت تصادفی با مصالح مخلوط می‌شوند میزان نسبت تخلخل حداقل در مقایسه با حالت غیرمسلح به صورت مناسب کاهش یافته ولی اندکی نسبت به حالت تسلیح یک لایه دارای میزان بیش‌تری است. با افزایش درصد قطعات 1×1 سانتی‌متر مربع پارامتر نسبت تخلخل حداقل افزایش می‌یابد که بیان‌کننده کاهش میزان تراکم‌پذیری و شکل‌پذیری مصالح مخلوط مسلح شده است. هم‌چنین با کاربرد قطعات ژئوتکستایل با ابعاد 5×5 سانتی‌متر مربع مطابق جدول ۸ می‌توان دریافت که بزرگ بودن قطعات باعث شده است که یک ناپیوستگی بیش‌تر در بین ذرات خاک ایجاد شده و فضای خالی بین آنها را افزایش دهد که تأثیرگذار در میزان توانایی باربری مصالح مخلوط است که نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده تأثیرگذاری این ابعاد در اصلاح خاک است.

به‌منظور آن‌که بتوان میزان تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل را روی میزان مقاومت و باربری مصالح بررسی شده را ارزیابی کرد مقدار نسبت تسلیح با استفاده از رابطه (۳) ارزیابی شد. هم‌چنین برای تفسیر نتایج به‌دست آمده، میانگین نسبت‌های تسلیح نمونه‌های بررسی شده در تمامی انرژی‌های تراکمی محاسبه شده و دیاگرام تغییرات برای نمونه‌های خشک و اشباع به‌ترتیب در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ آورده شده است.

$$(۳) \quad \text{نسبت تسلیح} = \frac{\text{عدد } CBR \text{ با ژئوتکستایل}}{\text{عدد } CBR \text{ بدون ژئوتکستایل}}$$

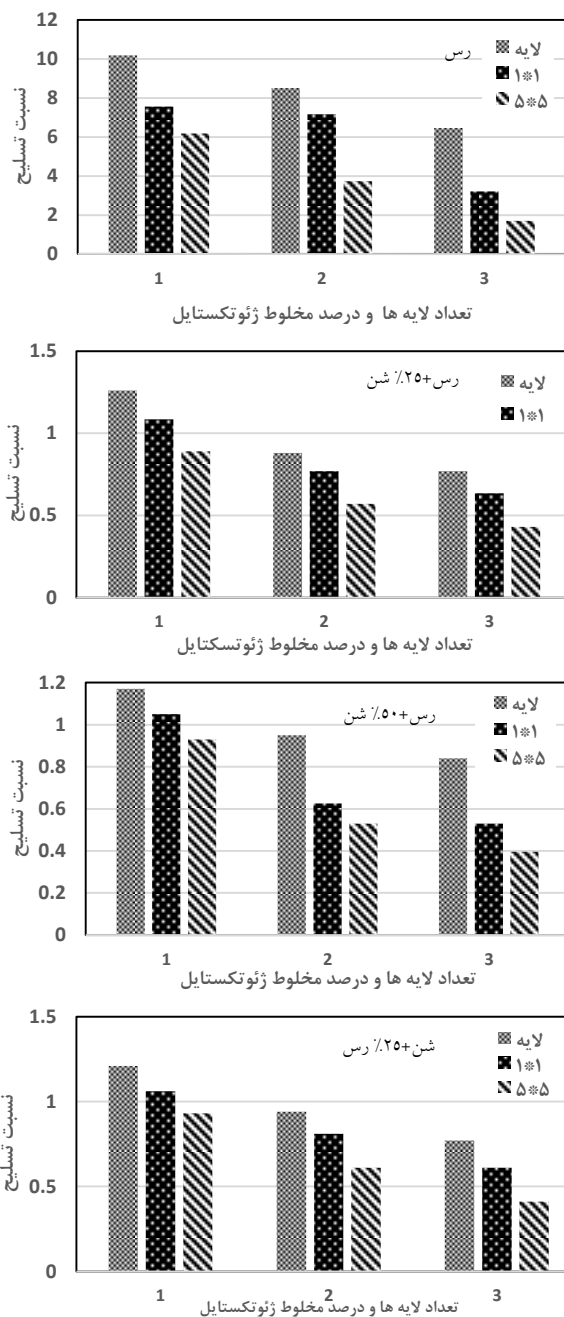
جدول ۷. تأثیر درصد ریزدانه و نحوه کاربرد ژئوتکستایل روی نسبت تخلخل دانه ای (e_s) - ابعاد ۱ سانتی متر مربع

نمونه			یک درصد			دو درصد			سه درصد		
نسبت تخلخل	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s
رس	۰/۴۹	-	۰/۴۹	۰/۵۴	-	۰/۵۴	۰/۵۶	-	۰/۵۷	۰/۵۶	-
رس+۲۵٪ شن	۰/۲۸	-	۰/۴۸	۰/۳۲	-	۰/۵۲	۰/۳۴	-	۰/۵۶	۰/۴۵	-
رس+۵۰٪ شن	۰/۲۴	۱/۴۸	۰/۳۷	۰/۲۶	۱/۵۲	۰/۴۳	۰/۲۸	۱/۵۶	۰/۴۵	-	-
رس+۷۵٪ شن	۰/۲	۰/۶	-	۰/۲۴	۰/۶۵	-	۰/۲۵	۰/۶۷	-	-	-

جدول ۸. تأثیر درصد ریزدانه و نحوه کاربرد ژئوتکستایل روی نسبت تخلخل دانه ای (e_s) - ابعاد ۵ سانتی متر مربع

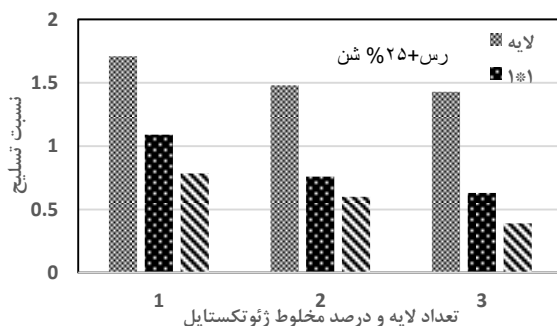
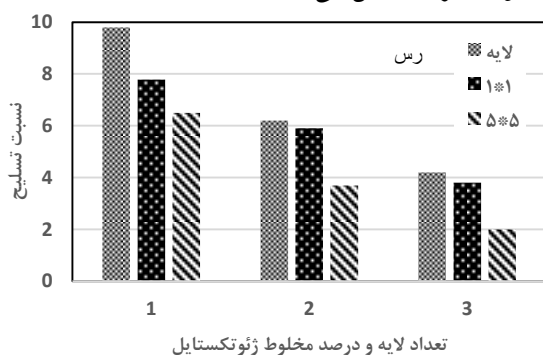
نمونه			یک درصد			دو درصد			سه درصد		
نسبت تخلخل	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s	e_f	e_{min}	e_s
رس	۰/۵۴	-	۰/۵۴	۰/۵۶۲	-	۰/۵۶۲	۰/۵۸	-	۰/۵۸	۰/۵۸	-
رس+۲۵٪ شن	۰/۳۲	-	۰/۴۳	۰/۳۴	-	۰/۴۵	۰/۳۷۵	-	۰/۵	۰/۶۲	-
رس+۵۰٪ شن	۰/۲۸	۱/۵۶	۰/۵	۰/۲۹	۱/۵۸	۰/۵۸	۰/۳۱	۱/۶۲	۰/۶۲	-	-
رس+۷۵٪ شن	۰/۲۳	۰/۶۴	-	۰/۲۵	۰/۶۷	-	۰/۲۹	۰/۷۲	-	-	-

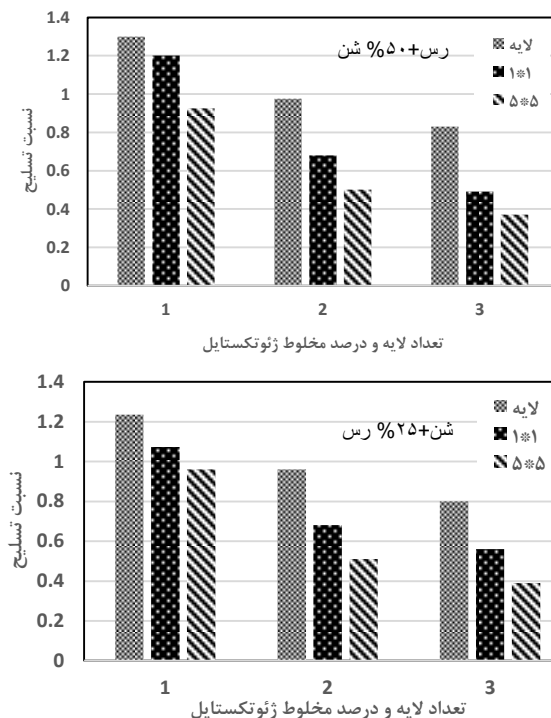
با توجه به نمودارهای شکل ۲۰ می توان دریافت که در حالت کلی و در شرایطی که نمونه بررسی شده خشک است کاربرد ژئوتکستایل باعث بهبود توانایی باربری در مصالح شده است. اگرچه این میزان در خاک رس تا حدود ۱۲ برابر نیز قابل مشاهده است. در تمامی مصالح (به غیر از رس خالص) مشاهده می شود هنگامی که یک لایه ژئوتکستایل استفاده می شود میزان نسبت تسلیح تقریباً برابر ۱/۲ می شود که بیشترین میزان است که بیان کننده بیشترین تأثیرگذاری در توانایی باربری است. در ادامه زمانی که ۱٪ ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع به صورت تصادفی مخلوط می شود باعث بهبود توانایی باربری می شود به طوری که نسبت تسلیح تقریباً برابر ۱/۰۶ است. اگرچه با بزرگتر شدن ابعاد قطعه ژئوتکستایل (۵×۵ سانتی متر) میزان نسبت تسلیح کاهش می یابد. همچنین به طور واضح قابل مشاهده است که با افزایش تعداد لایه ها و درصد مخلوط قطعات ژئوتکستایل در نمونه های بررسی شده تأثیرگذاری آنها در بهبود باربری کاهش می یابد.



شکل ۲۰. تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل در نسبت تسلیم نمونه‌های بررسی شده (حالت خشک)

با توجه به دیاگرام های شکل ۲۱ می توان دریافت که در حالت کلی نمونه های بررسی شده اشباع است کاربرد ژئوتکستایل باعث بهبود توانایی باربری در مصالح شده است. اگرچه این میزان در خاک رس تا حدود ۱۰ برابر نیز قابل مشاهده است. در تمامی مصالح (به غیر از رس خالص) مشاهده می شود هنگامی که یک لایه ژئوتکستایل استفاده می شود میزان نسبت تسلیح تقریباً به طور متوسط برابر ۱/۲ می شود که بیش ترین میزان است که بیان کننده بیش ترین تأثیرگذاری در توانایی باربری است. در ادامه زمانی که ۱٪ ژئوتکستایل با ابعاد ۱×۱ سانتی متر مربع به صورت تصادفی مخلوط می شود باعث بهبود توانایی باربری می شود به طوری که نسبت تسلیح تقریباً برابر ۱/۱ است. اگرچه با بزرگ تر شدن ابعاد قطعه ژئوتکستایل (۵×۵ سانتی متر) میزان نسبت تسلیح کاهش می یابد. هم چنین به طور واضح قابل مشاهده است که با افزایش تعداد لایه ها و درصد مخلوط قطعات ژئوتکستایل در نمونه های بررسی شده تأثیرگذاری آنها در بهبود باربری کاهش می یابد.





شکل ۲۱. تأثیر نحوه کاربرد ژئوتکستایل در نسبت تسلیج نمونه‌های بررسی شده (حالت اشباع)

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

چنان‌که اشاره شد هدف از تحقیق حاضر بررسی امکان به‌سازی و افزایش میزان توانایی باربری خاک‌های مخلوط رس- شن با استفاده از ژئوتکستایل و نحوه کاربرد آن در احداث لایه‌های بستر راه، زیراساس و اساس در بدنه راه هست. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۱. در حالت غیرمسلح، با افزایش میزان درصد مصالح شنی در خاک ریزدانه رسی به‌دلیل ایجاد ساختار سفت و با توجه به نسبت تخلخل دانه‌ای که روند کاهشی را نشان می‌دهد میزان توانایی باربری، مقاومت فشاری و مقاومت برشی در شرایطهای خشک و اشباع افزایش می‌یابد.

۲. در شرایط بارگذاری خشک اگر یک لایه ژئوتکستایل استفاده شود، میزان عدد CBR در تمامی انرژی‌های تراکمی نسبت به حالت غیرمسلح دارای بیشترین مقدار است. البته میزان نسبت تسلیح تقریباً برابر $1/2$ می‌شود بیان‌کننده بیشترین تأثیرگذاری در توانایی باربری است. در صورتی که به میزان وزنی 1% ژئوتکستایل با ابعاد 1×1 سانتی متر مربع به صورت راندم مخلوط شود، نسبت تسلیح تقریباً برابر $1/0.6$ است.

۳. در شرایط بارگذاری اشباع، اگر یک لایه ژئوتکستایل استفاده شود، عدد CBR در تمامی انرژی‌های تراکمی نسبت به حالت غیرمسلح دارای بیشترین میزان است و میزان نسبت تسلیح تقریباً به طور متوسط برابر $1/2$ می‌شود. همچنین، افزودن 1% وزنی ژئوتکستایل با ابعاد 1×1 سانتی متر مربع به صورت راندم نسبت تسلیح تقریباً برابر $1/1$ می‌شود.

۴. اگر نمونه‌های خاکی بررسی شده با یک لایه ژئوتکستایل مسلح شوند میزان تورم به طرز چشم‌گیری به طور متوسط تا 40% درصد کاهش می‌یابد. در صورتی که قطعات ژئوتکستایل به صورت تصادفی با ابعاد 1×1 سانتی متر با درصد یک درصد به نمونه‌ها افزوده شود، میزان تورم به مقدار متوسط 80% درصد کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اشاره کرد که کاربرد ژئوتکستایل به عنوان یک ابزار برای بهسازی مصالح مربوط به بدنه راه مناسب است و با توجه به نشریه 234 ، اعداد CBR به دست آمده حاصل از آزمایش‌ها بیان‌کننده آن است که استفاده از ژئوتکستایل به عنوان یک مصالح تثبیت‌کننده برای تمامی لایه‌های بدنه روسازی راه مناسب است. میزان بهینه ژئوتکستایل مورد نیاز برای مسلح کردن مصالح بررسی شده به صورت قراردادن یک لایه در قسمت میانی مصالح لایه‌های روسازی یا افزودن 1% وزنی ژئوتکستایل به ابعاد 1×1 سانتی متر مربع برآورد شده است. این نتایج بیان‌کننده آن است که استفاده از ژئوتکستایل به صورت‌های ذکر شده باعث افزایش میزان تراکم‌پذیری محیط و کاهش میزان نشست و تغییر شکل (نشست) تحت اثر بارهای احتمالی وارده می‌شود. در صورتی که برای بهسازی مصالح مقادیر ژئوتکستایل از این میزان تجاوز کند و ابعاد قطعات ژئوتکستایل بزرگ انتخاب شود مشاهده می‌شود که بین ذرات ناپیوستگی بیش‌تری به وجود می‌آید و

تماس بین آنها کاهش می‌یابد که در نتیجه آن ایجاد یک ساختار دانه‌بندی نامناسب است و امکان انجام تراکم مناسب از بین می‌رود و در نتیجه میزان توانایی باربری کاهش می‌یابد و هم‌چنین افزایش میزان قطعات ژئوتکستایل و یا تعداد لایه های ژئوتکستایل باعث بیش‌تر شدن میزان نفوذپذیری می‌شود که نتیجه آن، افزایش تورم و حجم، در نمونه‌های خاکی حاوی ذرات رسی است. البته، قضاوت در مورد کاربردی بودن نتایج این مقاله برای به‌سازی مصالح راه‌سازی، مستلزم بررسی نکات دیگری نظیر بررسی اثر ژئوتکستایل بر تراکم‌پذیری و نشست خاک تحت اثر بارهای تکراری و یا اثر ژئوتکستایل بر نفوذپذیری و قابلیت زهکشی مصالح دارد. البته این نکات در چارچوب این مقاله قابل انجام نبوده و نیازمند انجام مطالعات تکمیلی است.

منابع

1. Thevanayagam S., "Liquefaction Potential and Undrained Fragility of Silty Soils", Proc. Of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, (2000) 8-20.
2. Biswas A., Kumar Dash S., Krishna A. M., "Behavior of Geogrid Reinforced Foundation Systems Supported on Clay Subgrades of Different Strength", International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering, 1 (2015) 9-11.
3. Kazi M., Shukla S. K., Habibi D., "Effect of Submergence on Settlement and Bearing Capacity of Surface Strip Footing on Geotextile-Reinforced Sand Bed", International Journal of Geosynthetic and Ground Engineering, (2015a) doi:10. 1007/s40891-014-0006-y.
4. Kazi M., Shukla S. K., Habibi D. "An Improved Method to Increase the Load-Bearing Capacity of Strip Footing Resting on Geotextile-Reinforced Sand Bed", Indian Geotechnical Journal, 45 (2015b) 98-109.

5. Latha G. M., Murthy V. S., "Effects of Reinforcement Form on the Behavior of Geosynthetic Reinforced Sand", Geotextiles and Geomembranes, 25 (2007) 23-32.
6. Naeinie S. A., Mirzakhani M., "The Effect of Geotextile and Grading on the Bearing Ratio of Granular Soils", Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE) 3 (2008) 1-10.
7. Shahie J., Ameri M., Khani Sanij H., "Evaluate the Effect of Geotextile on Life Fatigue of Pavement Asphalt in Iran", Journal of Transportation Engineering, 2 (2010) 41-51(In Persian).
8. Khabiri M. M., "Geosynthetic Material Suitable Depth Staying to Control Failure of Pavement Rutting", Advanced Materials Research, 260 (2011) 3454-3458.
9. Kumar Senthil P., Rajkumar R. "Effect of Geotextile on CBR Strength of Unpaved Road with Soft Subgrade", electronic journal of geotechnical engineering, (EJGE) 17 (2012) 1355-1363.
10. Sadeghi Azar K., Dabiri R., "The Effects of Geotextile Layers on Bearing Capacity of Gravel-Silt Mixture", Trakya University Journal of Engineering Science, 16 (2015) 61-69.
11. Nazari R., Dabiri R., "Comparison of Geotextile Layers Effects on Static and Dynamic behavior of Pavement", Journal of Structural Engineering and Geotechniques, 6 (2016) 15-22.
12. ASTM D421-85, "Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants", Annual book of ASTM standards, (reapproved 1998) (1985).
13. ASTM D422-63, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils", Annual book of ASTM standards (reapproved 1998), (1963).

14. Fibertex-F-32, Fibertex Nonwovens A/S, Svendborgvej 16, 9220 Aalborg, Denmark, www.fibertex.com.
 15. ASTM D 4318-95a, "Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index for soils", Annual book of ASTM standards (1995).
 16. ASTM-D 698-00, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))", Annual book of ASTM standards, (2000).
 17. ASTM D1883-93, "Standard test method for CBR (California bearing ratio) of laboratory- compacted soils", Annual book of ASTM standards, (1993).
۱۸. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (آئین‌نامه روسازی آسفالتی راه های ایران)، معاونت امور فنی، وزارت راه و ترابری، نشریه ۲۳۴ (۱۳۸۱).