

بررسی استفاده از مواد تثبیت کننده نانوپلیمر CBR PLUS برای ساخت لایه های روسازی راه

حسن طاهرخانی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

علی هاشمی، دانشیار، پژوهشگاه پلیمر، تهران، ایران

وحید شریفی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی زنجان، زنجان، ایران

E-mail: taherkhani.hasan@znu.ac.ir

دریافت: ۹۱/۰۶/۰۶ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۵

چکیده

تهیه مصالح مناسب برای ساخت لایه های روسازی یکی از مشکلات راهسازی در بسیاری از مناطق است. تهیه مصالحی که مشخصات فنی لازم برای استفاده در لایه های اساس و زیراساس و رویه شنی را داشته باشند در بسیاری از مناطق مشکل و هزینه بر است. در این تحقیق امکان استفاده از مصالح نامناسب محلی در ساخت لایه های اساس، زیراساس و رویه شنی راهها با استفاده از تثبیت کننده نانوپلیمر CBR PLUS مورد بررسی قرار گرفته است. مصالح رسی، ماسه و شن که هیچکدام به تنهایی دارای ویژگیهای لازم برای کاربرد در لایه های روسازی نیستند، در سه ترکیب مختلف شامل ۱۰۰٪ رس، ۸۰٪ ماسه و ۲۰٪ رس، و ۵۰٪ شن، ۲۰٪ ماسه و ۳۰٪ رس با استفاده از ماده افزودنی مذکور تثبیت شده و ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی آنها بعد از تثبیت مورد اندازه گیری قرار گرفته اند. آزمایشهای تراکم، حدود اتراکرم، مقاومت فشاری، نسبت باربری کالیفرنیا و نفوذپذیری بر روی نمونه های تثبیت شده با درصدهای مختلف انجام گرفت. نتایج، نشان دهنده افزایش قابل توجه در مقاومت نمونه ها با استفاده از ماده تثبیت کننده است. ماده پلیمری مورد مطالعه در این تحقیق تأثیر مشخصی بر روی رطوبت بیبینه و حداکثر وزن مخصوص خشک ندارد. نفوذپذیری نمونه های تثبیت شده با افزایش ماده افزودنی به شدت کاهش می یابد. ماده افزودنی CBR PLUS باعث افزایش حد خمیری و کاهش حد روانی و دامنه خمیری شده است. نتایج این تحقیق نشان دهنده این است که با استفاده از این ماده می توان از ترکیب خاک رس با مصالح شن و ماسه نامرغوب محلی، مصالح مناسبی که قابل استفاده در لایه های اساس و زیراساس باشد، تهیه کرد.

واژه های کلیدی: مقاومت فشاری، نسبت باربری کالیفرنیا، نفوذپذیری، دامنه خمیری

۱. مقدمه

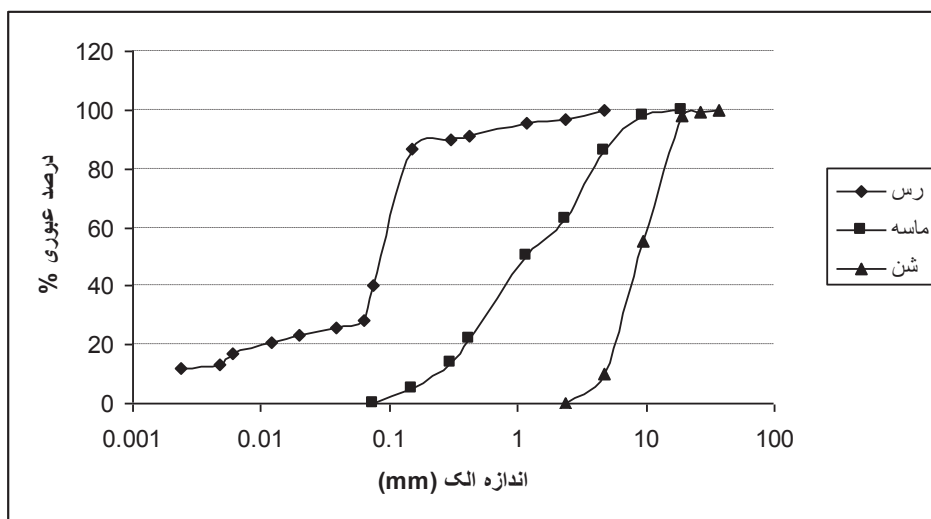
یکی از مشکلات در صنعت راهسازی تهیه مصالحی است که دارای مشخصات فنی لازم برای استفاده در لایه های روسازی باشند. در اغلب مناطق، تهیه چنین مصالحی با برداشت از بستر رودخانه هایامعدان و فرآوری آنها در کارخانه انجام می گیرد که در برخی اوقات فاصله حمل نیز طولانی بوده و هزینه اجرا را افزایش می دهد. از طرف دیگر در بسیاری از مناطق برداشت مصالح مناسب از معدن طبیعی شن و ماسه، مثل بستر رودخانه ها باعث آسیب به محیط زیست می شود. در صورتی که بتوان خاکهای نامناسب محلی را قابل استفاده در لایه های روسازی کرد از نظر اقتصادی و زیست محیطی دارای اهمیت زیادی خواهد بود. استفاده از مواد سیمانی به عنوان تثبیت کننده، از زمانهای دور مورد توجه بوده است. موادی مثل آهک، سیمان، خاکستر بادی، مواد پلیمری و انواع دیگر مواد شیمیایی و معدنی برای تثبیت و اصلاح خصوصیات خاکهای نامناسب بکار گرفته شده اند [Mgangira, 2009; Katz et al., 2001; Santoni et al., 2003, Tingle, 2004; Santoni et al., 2006; Mishra, 2012].

خاک رس یکی از خاکهایی است که به وفور در طبیعت یافت شده و در صورت وجود در بستر و لایه های روسازی مشکلاتی ایجاد می کند. وجود رطوبت در کنار خاک رس مقاومت آن را به شدت کاهش داده و باعث تغییر حجم در آن می شود که نتیجه تمام اینها ایجاد ناهمواری در سطح روسازی و تحمیل هزینه های نگهداری زیاد است [Sharma e al., 2012; Liongso, 2012]. رسها ذراتی از خاک با اندازه های کوچک تر از $0/002$ بوده و پولکی شکل هستند. ذرات خاک رس باعث جذب یونهای فلزی می شود که خود این یونهای فلزی مقدار زیادی آب جذب کرده و باعث کاهش مقاومت و افزایش حجم می شود. این یونها که جاذبهای آب نیز نامیده می شوند، قویا به سطح خاک رس پیوند خورده و به راحتی قابل جدا کردن نیستند. یکی از موادی که برای تثبیت خاکهای رسی استفاده می شود آهک است. واکنش آهک با خاک رس در حضور آب مواد سیمانی را ایجاد می کند که مقاومت خاک تثبیت شده را به مرور زمان افزایش می دهد

[Beeghly, 2003]. اما از مشکلات مربوط به استفاده از آهک، ایمنی، آلودگی و هزینه حمل آن است. CBR PLUS محصولی ترکیبی از مشتقات سنتزی است که یک لایه حفاظتی روغنی بر روی سطح دانه های رس تشکیل داده و جاذبهای آب را از بین می برد و خاک رس را آب گریز کرده و حساسیت خاک را به رطوبت کاهش می دهد و باعث افزایش کارایی و تراکم پذیری می شود که نتیجه آن، افزایش مقاومت و باربری خاک است. این ماده فقط برای تثبیت خاکهایی قابل استفاده است که دارای حداقل مقدار حدود 15% از خاک رس باشند. بنابراین، تثبیت خاکهای غیر چسبنده زمانی امکان پذیر است که با مقداری خاک رس مخلوط شوند. این ماده به همراه آبی که در حدرطوبت بهینه خاک باشد مخلوط شده و به خاک اضافه می شود. تغییرات ایجاد شده در خاک آبی نبوده و فرآیند رساندن نانوپلیمر CBR PLUS به تمام ذرات خاک رس به زمان معینی نیاز دارد که به آن دوره تکامل گویند و مقدار آن از حدود دو تا چهار هفته است. واکنش پذیری خاک با این ماده و مقدار ماده مورد نیاز برای تثبیت، با ارسال نمونه های خاک به آزمایشگاه پژوهشگاه پلیمر و آنالیز خاک و انجام تست واکنش پذیری و آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا تعیین می شود.

۲. مواد و مصالح

خاکهای مورد استفاده در این تحقیق از منطقه تکاب در استان آذربایجان غربی تهیه شدند. خاک رس، ماسه و شن به طور جداگانه از سه محل متفاوت تهیه شدند. آزمایشهای حدود اتربرگ و دانه بندی بر روی خاک رس انجام گرفت. حدروانی، حدخمیری و دامنه خمیری خاک به ترتیب، 40 ، 20 و 20 تعیین شد. این نتایج به همراه دانه بندی خاک، که در شکل ۱ نشان داده شده است، نشان داد که خاک از نوع A-6، رس با حد روانی کم، در طبقه بندی اش تو است. آزمایشهای دانه بندی بر روی نمونه های شن و ماسه نیز انجام شد که نتیجه در شکل ۱ نشان داده شده است. ضریب یکنواختی و خمیدگی ماسه، به ترتیب، $7/8$ و $1/96$ و برای شن، 202 محاسبه شد، که نشان دهنده دانه بندی بد شن و ماسه



شکل ۱: دانه بندی شن و ماسه و رس مورد استفاده در تحقیق

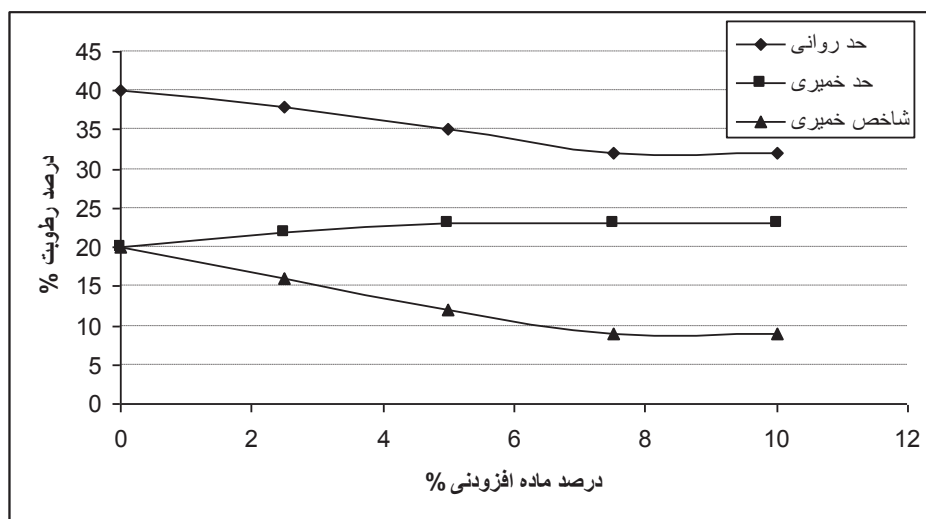
۳. کارهای آزمایشگاهی

۳-۱ برنامه آزمایشها

برای بررسی تأثیر نانوپلیمر CBR PLUS بر روی خاکهای مورد استفاده در این تحقیق، سه ترکیب خاک مورد استفاده، با درصد‌های مختلف ماده تثبیت کننده مخلوط و تحت آزمایشهای مقاومت فشاری، نسبت باربری کالیفرنیا، نفوذپذیری و تراکم قرار گرفتند. برای تعیین میزان ماده افزودنی در این تحقیق، ابتدا خاک رس مورد استفاده در درصد‌های مختلف از ۰/۲۵ تا ۱٪ با اختلاف ۰/۲۵٪ توسط ماده افزودنی تثبیت شده وحد خمیری و روانی آنها اندازه گیری شد. مقادیر ذکر شده از ماده افزودنی نسبت به وزن آبی است که در آن حل شده و با خاک ترکیب می شود. شکل ۱ نتایج این آزمایشها را نشان می دهد که در آن تغییرات حدروانی، حدخمیری و دامنه خمیری برحسب درصد ماده افزودنی ترسیم شده اند. همان گونه که ملاحظه می شود، حد خمیری خاک با افزایش درصد ماده افزودنی تا ۰/۷۵٪ افزایش یافته و بعد از آن تقریباً ثابت می ماند. حد روانی خاک نیز با افزایش ماده افزودنی تا ۰/۷۵٪ کاهش یافته و بعد از آن ثابت می ماند. دامنه خمیری خاک نیز با افزایش درصد ماده افزودنی کاهش می یابد، که این تغییر بعد از ۰/۰۷۵٪ ناچیز است. این آزمایشها نشان دادند که مقادیر بیش از ۰/۷۵٪ از ماده پلیمری حل

است. سه ترکیب مختلف از این خاکها در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند که شامل رس خالص، ۸۰٪ ماسه و ۲۰٪ رس و ۵۰٪ شن، ۲۰٪ ماسه و ۳۰٪ رس است، که در این مقاله، به ترتیب، با SC، C و GSC نشان داده می شوند. ترکیبات دوم و سوم برای این اساس تعیین شده اند که دانه بندی حاصل، در داخل محدوده توصیه شده توسط سازنده قرار گیرد. این درصد ها با روش سعی و خطا تعیین شده اند.

ماده تثبیت کننده در این تحقیق یک نوع نانوپلیمر به نام CBR PLUS است که در پژوهشگاه پلیمر ایران تهیه می شود. این ماده یک اسید سولفونیک ارگانیک است که پایه گیاهی از چغندر قند داشته و به تایید سازمانهای بین المللی فعال در زمینه سلامتی انسان و محیط زیست رسیده است. PH این ماده ۹، و نقطه جوش و انجماد آن به ترتیب ۱۰ و ۱۰۰ درجه سلسیوس است. این ماده که به صورت مایع غلیظ به رنگ شکلاتی است، دارای مولکولهای پیچیده بوده که از دو جزء سر و دم تشکیل شده اند که سر آن آب دوست و دم آن آب گریز است. برای استفاده، این ماده در مقدار زیادی آب حل شده و با خاک مخلوط می شود. یونهای ایجاد شده توسط این ماده به سطح خاک رس چسبیده و جاذبهای آب را از بین برده و خاک رس را آب گریز می کنند و اثر روغنی به خاک می دهند.



شکل ۲. تغییرات حدروانی، حدخمیری و دامنه خمیری با درصد ماده افزودنی

بر اساس استاندارد ASTM D4767 انجام گرفت. برای تمام شرایط آزمایشگاهی دو نمونه تحت آزمایش قرار گرفته و از میانگین آنها انتخاب شد. از نمونه های استوانه ای به ارتفاع ۷/۵ سانتیمتر و قطر تقریبی ۳.۸ سانتیمتر وزن - ۱۹۰- ۱۷۰ گرم استفاده شد. ابتدا اجزای مختلف خاک خشک شده و بعد از خرد کردن کلوخه های رسی، مقدار مشخص از هر جزء با هم مخلوط و سپس مخلوط ماده افزودنی و آب به آرامی به آن اضافه شده و به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد تا مخلوط یکنواختی به دست آید. سپس مخلوط حاصل در سه لایه در داخل قالبهای آزمایش تراکم پروکتور ساده به قطر ۴ اینچ ریخته و کوبیده شد. بعد از تراکم، نمونه های آزمایش تک محوری با لوله های نمونه گیر گرفته شده و با قراردادن در داخل کیسه های پلاستیکی سر بسته به مدت یک ماه عمل آوری شده و سپس تحت آزمایش مقاومت تک محوری با سرعت بارگذاری ۱ میلیمتر در دقیقه قرار گرفتند. شکل ۵ خلاصه نتایج آزمایش مقاومت تک محوری را برای ترکیبهای مختلف خاک و یا درصد های مختلف ماده تثبیت کننده نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود با افزایش مقدار ماده افزودنی، مقاومت تک محوری هر سه ترکیب افزایش می یابد، اما تأثیر آن در افزایش مقاومت سه ترکیب یکسان نیست. با استفاده از این ماده افزودنی در ترکیبی که متشکل از تنها خاک رس است، مقاومت حدود ۱۰٪ نسبت به خاک بدون تثبیت کننده افزایش می یابد

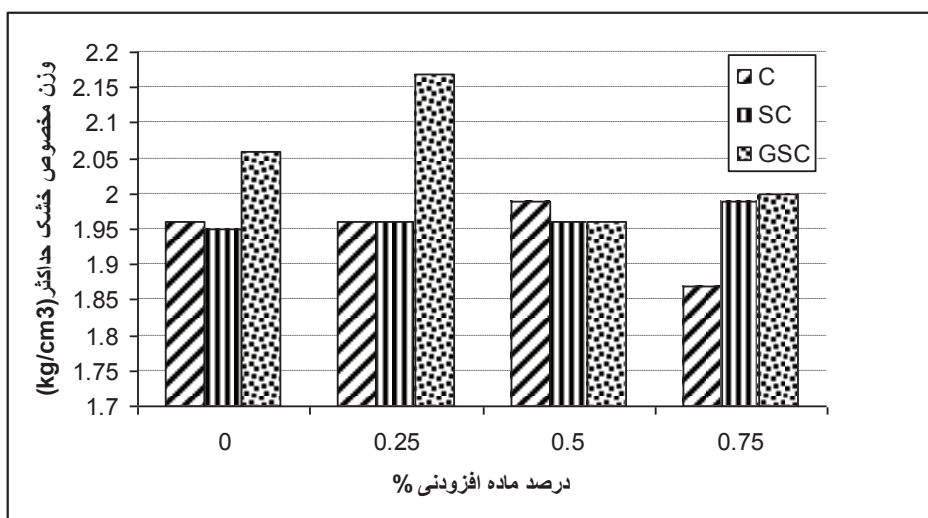
شده در آب تغییری در تاثیر بر روی خصوصیات خاک رس ندارد. بنابراین، ادامه آزمایشها علاوه بر خاک بدون ماده تثبیت کننده، با ۳ درصد مختلف ۲/۵ و ۵ و ۷/۵ گرم در هر لیتر آب انجام گرفت. برای اختلاط ماده تثبیت کننده و خاک، ابتدا خاک رس بعد از خشک کردن در هوا با ضربات پتک لاستیکی خرد شده و از الک شماره ۱۰ عبور داده شد. سپس ماده پلیمری و آب در نسبت معین مخلوط و به خاک اضافه و به خوبی مخلوط شدند تا رطوبت در تمامی نقاط همگن شود. برای تکمیل واکنشها به مخلوطهای خاک و ماده تثبیت کننده یک ماه فرصت داده شد.

۲-۳ آزمایشهای تراکم

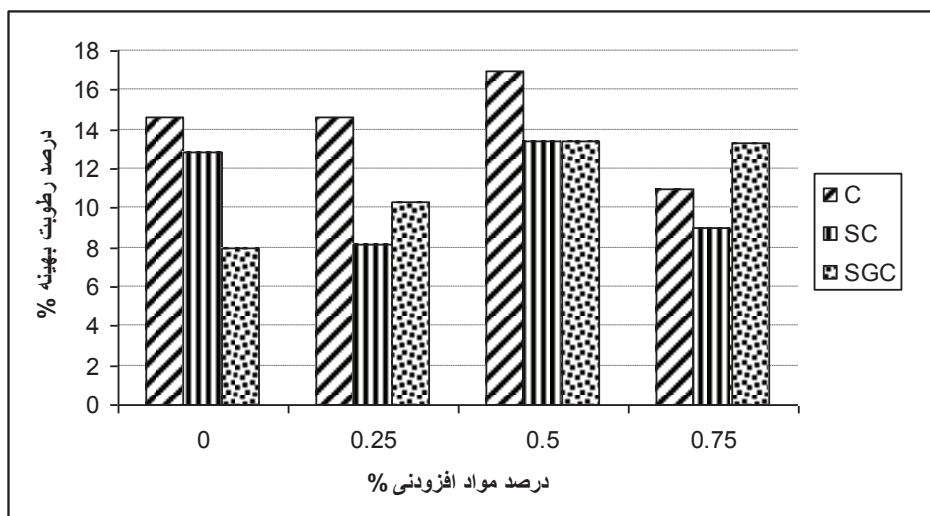
به منظور تعیین ماده افزودنی بر خصوصیات تراکمی آزمایش تراکم اصلاح شده بر روی سه نوع خاک تثبیت شده با درصد های مختلف ماده CBR PLUS انجام شد. شکل ۳ و ۴ به ترتیب تغییرات مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه خاکها را با درصد ماده افزودنی نشان می دهد. همان گونه که در شکلها دیده می شود روند معینی را نمی توان برای تأثیر ماده افزودنی بر روی رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر بیان کرد.

۳-۳ آزمایشهای مقاومت تک محوری

آزمایشهای مقاومت تک محوری بر روی نمونه های آزمایشگاهی



شکل ۳: تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک متراکم برحسب درصد ماده افزودنی

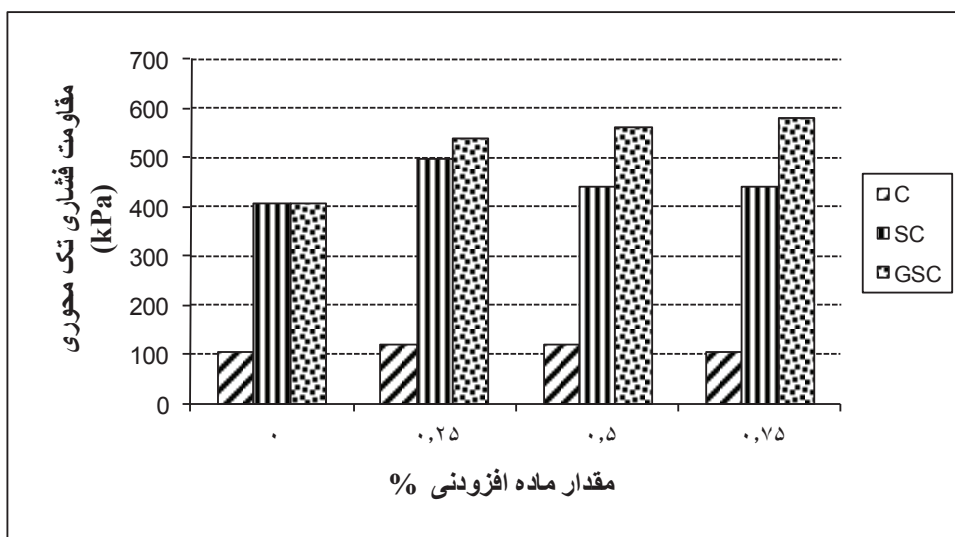


شکل ۴: تغییرات درصد رطوبت بهینه با درصد ماده افزودنی

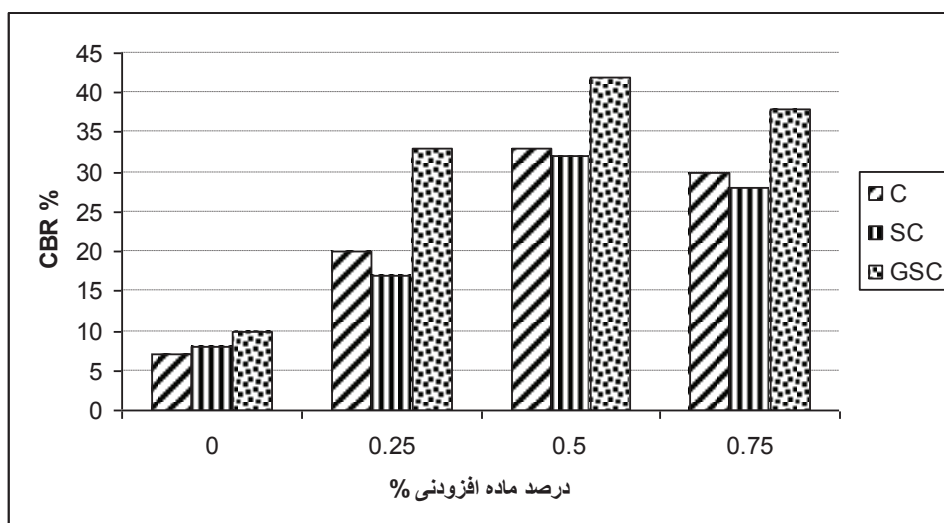
۳-۴ آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا نیز بر روی نمونه های تثبیت شده با ماده CBR PLUS در درصدهای مختلف درحالت های اشباع و خشک براساس استاندارد AASHTO T193 انجام شد. بعد از اختلاط اجزاء مختلف خاک رس، ماسه و شن، برای هر ترکیب به مقدار نیاز، مخلوط ماده افزودنی و آب به آنها اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شده و در داخل قالب های ۶ اینچی در سه لایه ریخته شده و هر لایه با ۵۶ ضربه متراکم شد. برای آزمایش CBR در حالت اشباع، نمونه ها به مدت یک هفته

و این مقدار برای ترکیبی که شامل رس و ماسه و شن و ماسه رس است، به ترتیب حدود ۲۵٪ و ۴۷٪ است. این تفاوت را می توان به ساختار دانه بندی ترکیبات مختلف ارتباط داد. در ترکیباتی که دارای ماسه و شن هستند، بعد از تثبیت خاک رس، اثر اصطکاک بین دانه های درشت بیشتر قابل توجه می شود. شکل ۳ همچنین نشان می دهد که ترکیب GSC دارای بالاترین مقاومت در هر چهار مقدار ماده افزودنی بوده و مقاومت آن تا مقدار ۰/۷۵ درصد ماده افزودنی افزایش می یابد، در حالی که مقاومت ترکیب SC بعد از ۰/۲۵٪ و ترکیب C بعد از ۰/۰۵٪ ماده افزودنی کاهش می یابد.



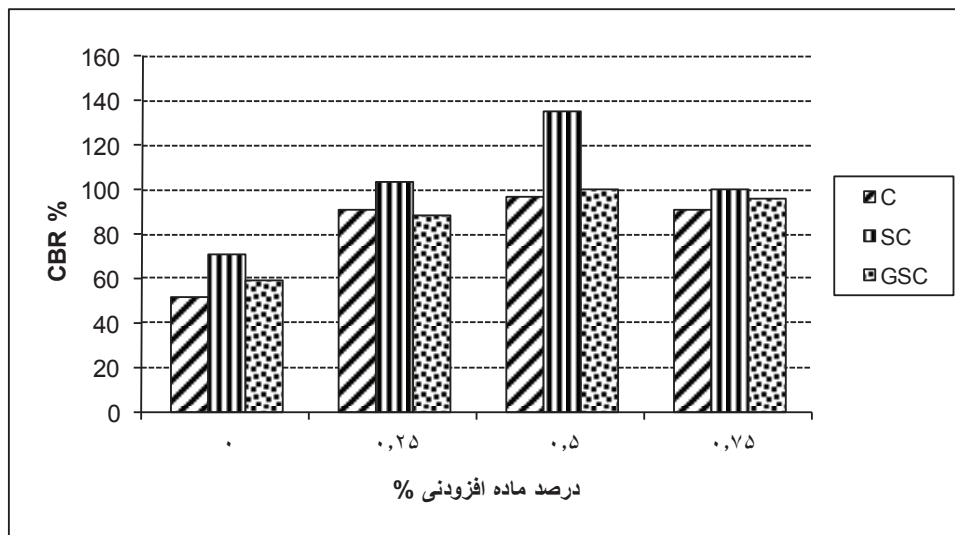
شکل ۵: تغییرات مقاومت تک محوری خاک تثبیت شده با CBR PLUS



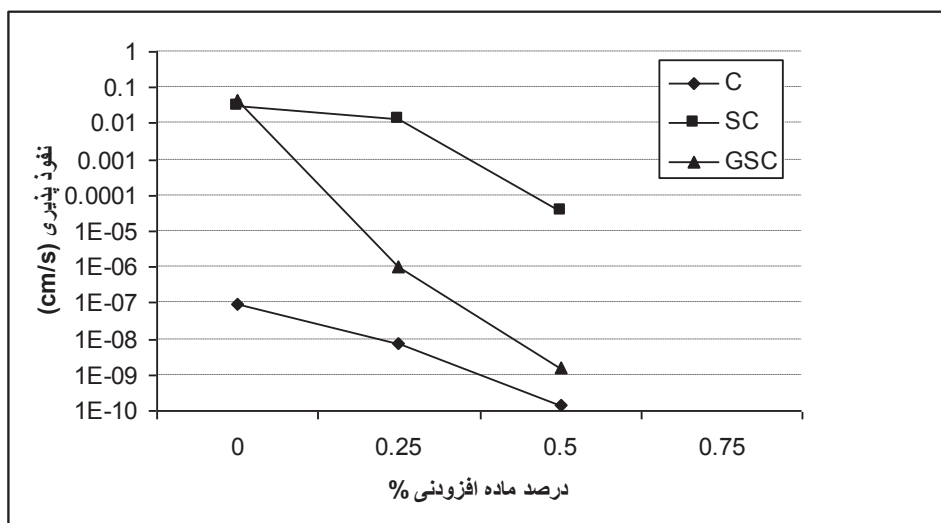
شکل ۶: تغییرات نسبت باربری کالیفرنیا اشباع برحسب مقدار ماده افزودنی

یابد. مقایسه دوشکل نشان دهنده این است که درهرسه ترکیب بدون ماده افزودنی مقاومت اشباع نسبت به خشک مقدار بسیار کمتری از آن برای حالتی است که با ماده افزودنی تثبیت شده اند و نشان دهنده آن است که این ماده تثبیت کننده مانع از کاهش قابل توجه مقاومت خاک درحالت اشباع می شود. همچنین، همان گونه که دیده می شود درحالت اشباع بیشترین مقاومت مربوط به ترکیب SC و درحالت خشک بیشترین مقاومت مربوط به ترکیب SC است. مطابق مشخصات فنی مورد نیاز برای لایه های

درآب قرارگرفتند. نمونه های آماده شده در دستگاه آزمایش تحت بارگذاری با سرعت ۱/۲۷ میلی متر در دقیقه قرار گرفته و نیروی لازم در دو مقدار نفوذ ۲/۵ میلی متر قرائت و براساس آن مقدار نسبت باربری کالیفرنیا محاسبه شد. شکل ۴ نتایج آزمایشهای نسبت باربری کالیفرنیا را برای حالت اشباع و شکل ۵، نتایج را برای حالت خشک نشان می دهد. همان گونه که در شکل ۶ و ۷ نشان داده می شود، مقدار نسبت باربری کالیفرنیای ترکیبات مختلف با افزایش ماده افزودنی تا ۰/۵ درصد افزایش و بعد از آن کاهش می



شکل ۷: تغییرات نسبت باربری کالیفرنای خشک برحسب مقدار ماده افزودنی



شکل ۸: تغییرات میزان نفوذپذیری برحسب مقدار ماده افزودنی

روسازی می شوند اهمیت بسیاری دارد. ورود این آبها به بستر و لایه های فاقد ماده چسباننده و ماندن در آنها باعث کاهش مقاومت و افزایش خرابیها می شود. نفوذ ناپذیر کردن اساس یا زیراساس مانع از نفوذ آبهای سطحی به بستر و کاهش مقاومت آن می شود که در کاهش خرابیهای ترک خوردگی و شیار شدگی روسازی بسیار موثر است. نفوذپذیری نمونه های تثبیت شده با ماده نانوپلیمر در درصدهای مختلف مطابق با استاندارد ASTM D2434-87 انجام گرفت. شکل ۸ نتایج آزمایش نفوذپذیری را بر روی سه ترکیب مختلف که با درصدهای مختلف ماده افزودنی تثبیت شده

اساس، زیراساس و رویه شنی، حداقل نسبت باربری کالیفرنیا باید ۸۰، ۳۰ و ۲۵ باشد. همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است هیچیک از ترکیبات نمی توانند با استفاده از ماده تثبیت کننده به مقاومت لازم برای لایه اساس برسند. اما، با استفاده از ۰/۵٪ ماده افزودنی می توان از هریک از ترکیبات مورد مطالعه به مقاومت لازم برای لایه زیراساس و رویه شنی رسید.

۳-۵ آزمایش نفوذپذیری

تخلیه آبهای سطحی که از طریق ترکهای رویه وارد ساختار

مختلف خاک کاهش یافته و درمقدار ۰/۷۵٪ از ماده افزودنی، نفوذپذیری به صفر می رسد.

• باتوجه به الزامات آئین نامه ای برای دامنه خمیری ریزدانه زیراساس، اساس و رویه شنی که به ترتیب ۶، ۴ و ۶ است، ماده افزودنی نتوانسته است که دامنه خمیری اولیه خاک رس مورد استفاده در این تحقیق را که ۲۰ بوده است به اندازه لازم کاهش دهد. از نظر نسبت باربری کالیفرنای اشباع، تمام ترکیبات مورد استفاده در این تحقیق که با ۰/۵٪ ماده افزودنی تثبیت شده اند، دارای نسبت باربری کالیفرنای بیش از مقدار مورد نیاز ۳۰ برای لایه زیراساس و ۲۵ برای رویه شنی هستند، ولی جوابگوی مقاومت مورد نیاز برای لایه اساس نیستند. استفاده از خاکهای رسی بادامنه خمیری کمتر می تواند مورد بررسی قرار گیرد.

• استفاده از مواد تثبیت کننده خاک باید از نظر دوام نیز مورد بررسی قرار گیرد، اما به دلیل نفوذپذیری بسیار پایین خاک تثبیت شده با این ماده، انتظاری رود که تکرار یخبندان و ذوب تأثیری در عملکرد آن نداشته باشد.

۵. مراجع

-Beeghly, J. H. (2003) "Recent experiences with lime-fly ash stabilization of pavement subgrade soils, base and recycled asphalt" Proceeding of the International Ash Utilization Symposium, University of Kentucky, Lexington, USA, pp.20-22.

-Katz, L. E., Rauch, A. F., Liljestrang, H. M., Harmon, J. S., Shaw, K. S. and Alberes, H. (2001) "Mechanisms of soil stabilization with a liquid Ionic stabilizer" Transportation Research Record, 1757, TRB, National Research Council, Washington D.C.

-Liongso, P. E. (2012) "Field evaluation of stabilization in swelling clay for concrete pavement", International Conference on Sustainable Design and Construction, ASCE Texas Section.

-Mgangira, M. B. (2009) "Evaluation of the effect of enzyme base liquid chemical stabilizer on subgrade soils" in the Proceedings of the 28th Southern African Transport Conference.

اند نشان می دهد. همان گونه که در شکل دیده می شود، با افزایش مقدار ماده افزودنی، مقدار نفوذپذیری به مقدار قابل توجهی کاهش یافته و نفوذ پذیری هر سه نوع خاک درمقدار ۰/۷۵٪ ماده افزودنی به صفر رسیده است.

۴. نتیجه گیری و جمع بندی

در این تحقیق نمونه های گرفته شده از خاکهای رس و ماسه و شن از سه معدن مختلف در سه ترکیب شامل رس، مخلوط رس و ماسه و مخلوط شن و ماسه و رس با درصدهای مختلف از ماده تثبیت کننده CBR PLUS با استفاده از آزمایشهای تراکم، حدود اتربرگ، مقاومت تک محوری، نسبت باربری کالیفرنیا و نفوذپذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. خلاصه نتایج به شرح زیر قابل بیان است:

• حد خمیری خاک مورد استفاده در این تحقیق با افزایش درصد ماده افزودنی نانوپلیمر CBR PLUS تا ۰/۷۵٪ افزایش یافته و بعد از آن تغییر چندانی نمی کند.

• حد روانی خاک رس مورد استفاده در این تحقیق با افزایش درصد ماده افزودنی تا ۰/۷۵٪ کاهش یافته و بعد از آن تغییر نمی کند.

• افزایش ماده افزودنی تا ۰/۷۵٪ دامنه خمیری را کاهش داده و بعد از آن تغییر در دامنه خمیری ایجاد نمی کند.

• رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک ترکیبات مختلف خاک مورد استفاده در این تحقیق با روند مشخصی بر حسب مقدار ماده افزودنی تغییر نمی کنند.

• مقاومت تک محوری ترکیبات مختلف مورد استفاده در این تحقیق با افزایش ماده افزودنی افزایش می یابد، اما این تغییرات بعد از مقدار معینی از ماده افزودنی برای هر ترکیب کاهش می یابد.

• نسبت باربری کالیفرنای خشک و اشباع ترکیبات مختلف مورد استفاده در این تحقیق تا ۰/۵٪ ماده افزودنی افزایش و بعد از آن کاهش می یابد.

• افزودن ماده نانوپلیمر CBR PLUS باعث می شود که مقاومت خاک رس در حالت اشباع شده نسبت به حالت خشک افت زیادی نداشته باشد.

• با افزایش ماده افزودنی CBR PLUS نفوذپذیری ترکیبات

"Stabilization of silty sand with non-traditional additives" Transportation Research Record, 1787, TRB, National Research Council, Washington D. C.

-Santoni, R. L., Tingle J. S. and Nieves, M. (2006) "Accelerated strength improvement of silty sand with non-traditional additives" Transportation Research Board, 1936, pp. 34-42.

-Sharma, N. K., Swain, S. K. and Sahoo, U. C. (2012) "Stabilization of a clayey soil with fly-ash and lime: a micro level investigation" Journal of Geotechnical and Geological Engineering, June 2012.

-Tingle, J. S. (2004) "Emulsion polymers for soil stabilization", Proceeding of the FAA Worldwide Airport Technology Transfer conference, Atlantic city, New jersey, USA.

-Mishra, E. N. K. (2012) "Strength characteristics of clays sub-grade soil stabilization with fly-ash and lime for roadworks" Indian Geotechnical Journal, Sep., Vol. (4), Issue 7, pp. 206-211.

-Petry, T. and Little, D. (2002) "Review of stabilization of clays and expansive soils in pavements and lightly loaded structures—History, practice and future." J. Mater. Civ. Eng., 14(6), pp.447–460.

-Piratheepan, J., Gnanendran, C. and Lo, S. (2010) "Characterization of cementitiously stabilized granular materials for pavement design using unconfined compression and IDT testing with internal displacement measurements." J. Mater. Civ. Eng., 22(5), pp.495–505.

-Santoni, R. L., Tingle, J. S. and Webster, S. L. (2003)