فصلنامهٔ علمی - پژوهشی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۴، شماره ۳، صفحه ۳۰۱-۲۸۹، (۱۳۹۷)

اثر نانو مواد +CBR بر مقاومت مکانیکی و خواص شیمیایی رواناب جاده جنگلی

مجید لطفعلیان*[۱]، امیر سوادکوهی[۲]، آیدین پارساخو[۳] و سمیه کرمی‌راد[٤]

۱- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- کارشناس ارشد مهندسی جنگل، شرکت نکا چوب، ساری، ایران.
۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
٤- دانشجوی دکترای مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ دریافت: ۹٦/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹٦/۱۱/۰۹

چکیده

در این پژوهش نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس (+CBR) برای تثبیت خاک جادهٔ جنگلی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های تعیین بافت، حدودآتربرگ، تراکم و سی‌بی‌آر (CBR) بر روی نمونهٔ خاک شاهد و تیمارشده با درصدهای وزنی ۰/۲۵ درصد، ۰/۵۰ درصد، ۰/۷۵ درصد و یک درصد بر روی کرت‌ها انجام شد. برای بررسی وضعیت مکانیکی مصالح لایه روسازی پنج کرت شامل یک کرت شاهد (بدون نانوپلیمر) و چهار کرت نمونه بر روی جاده پیاده شد. نتایج نشان داد مادهٔ پلیمری سبب کاهش حدود روانی و خمیری شده است. در منحنی دانه‌بندی نمونه‌های شاهد و تیمار، با افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس از مقدار عناصر ریزدانه خاک کاسته شد. به‌طوری‌که تیمار یک‌درصد دارای کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت‌دانه در مقایسه با دیگر تیمارها بود. همچنین تیمار موردنظر موجب کاهش رطوبت بهینه و افزایش حداکثر دانسیتهٔ خشک و ظرفیت باربری می‌شود. نتایج حاصل از بررسی خواص شیمیایی نشان‌دهندهٔ افزایش مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم در رواناب حاصله بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار یک‌درصد نانو پلیمر سی‌بی‌آر پلاس در مقایسه با دیگر تیمارها عملکرد بهتری را به نمایش گذاشت.

واژه‌های کلیدی: تثبیت خاک، تراکم خاک، حدود آتربرگ، رواناب، ظرفیت باربری، نانو پلیمر.

* نویسنده مسئول: Email: mlotfalian@sanru.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

جاده‌های جنگلی بخشی از شبکهٔ حمل‌ونقل عمومی را تشکیل داده که از این‌رو نیز به‌عنوان رکن اساسی در زیربنای توسعه یک کشور محسوب می‌شوند (Safari, 2010). یکی از مشکلات راه‌سازی به‌خصوص در ساخت جاده‌های جنگلی روبه‌رو شدن با خاک‌های ریزدانه نامرغوب است که در صورت وجود در سطح جاده سبب پدیدهٔ شیاری‌شدن و نشست جاده می‌شود. به‌منظور برطرف‌کردن این قبیل مشکلات اغلب نسبت به شن‌ریزی مجدد و یا استفاده از دیگر مصالح روسازی اقدام می‌شود. تهیهٔ چنین مصالحی با برداشت از بستر رودخانه‌ها یا معادن و فرآوری آنها در کارخانه انجام می‌گیرد که در برخی مواقع هزینه‌های اجرایی را افزایش می‌دهد (Kavak *et al*., 2010). از طرف دیگر در بسیاری از مناطق برداشت مصالح مناسب از معادن طبیعی شن و ماسه، مثل بستر رودخانه‌ها سبب آسیب به محیط‌زیست می‌شود (Mousavi *et al*., 2016). استفاده از تثبیت‌کننده‌ها، از زمان‌های دور موردتوجه بوده است. موادی مثل آهک، سیمان، خاکستر بادی، مواد پلیمری و انواع دیگر مواد شیمیایی و معدنی برای تثبیت و اصلاح خصوصیات خاک‌های نامناسب به‌کار گرفته شده‌اند (Mgangira, 2009، Mishra, 2012، Santoni *et al*., 2005). از معدود پژوهش‌هایی که در زمینهٔ تثبیت خاک در جاده‌های جنگلی در ایران انجام شده است می‌توان به پژوهش Majnounian and Sadeghi (2005) اشاره کرد که اقدام به تعیین درصد بهینهٔ آهک برای تثبیت و اصلاح خاک جاده‌های جنگلی در سری نم‌خانه کردند که نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که خاک‌های CHH، ML، CH و CHL به‌ترتیب در درصدهای ۷، ۷، ۳ و ۱۰ درصد به بیشترین مقاومت خود می‌رسند (Majnounian and Sadeghi, 2005). انواع مختلفی از مواد افزودنی برای تثبیت خاک به‌کار می‌رود که انتخاب نوع آن به عوامل مختلفی مانند جنس خاک، شرایط جوی، هدف از تثبیت، مسائل زیست‌محیطی و اقتصادی بستگی دارد (Taherkhani, 2016). این افزودنی‌ها به دو گروه افزودنی‌های متعارف مانند آهک، سیمان، قیر و گروه غیرمتعارف مانند سیلیکات‌ها، افزودنی‌های معدنی، نمک‌ها، اسیدها، آنزیم‌ها، پلیمرها و صمغ‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند (Tingle, 2004). از موادی که برای تثبیت خاک‌های رسی استفاده می‌شود می‌توان به آهک و سیمان اشاره کرد. اضافه کردن آهک به خاک سبب ایجاد واکنش‌هایی می‌شود که از مشکلات آن می‌توان به آلودگی، کاهش ایمنی و هزینه بالا اشاره کرد (Sharma *et al*., 2012; Mishra, 2012). در مورد سیمان هم ازآنجایی‌که پس از ترکیب با آب تبدیل به ماده چسبنده می‌شود، برای خاک‌های ریزدانه با دامنه خمیری زیاد توصیه نمی‌شود (Mallick and El-Korchi, 2009). از مواد دیگری که می‌توان برای تثبیت استفاده کرد پلیمرها هستند. اولین بار در سال ۱۹۸۹ پلیمر برای کنترل گردوغبار جاده به‌کار رفت (Surdahl *et al*., 2007). بعد از آن پلیمر برای تجمیع رس و برای تثبیت جاده (Kavak *et al*., 2010) استفاده شد.

CBR PLUS محصولی ترکیبی از مشتقات سنتزی بوده که یک لایهٔ حفاظتی روغنی روی سطح دانه‌های رس تشکیل داده، جاذب‌های آب را از بین برده، خاک رس را آب‌گریز کرده، حساسیت خاک را به رطوبت کاهش داده و سبب افزایش کارایی و تراکم‌پذیری و در نتیجه افزایش مقاومت و باربری خاک می‌شود. این ماده فقط برای تثبیت خاک‌هایی قابل‌استفاده است که دارای یک حداقل مقداری از خاک رس باشند؛ بنابراین تثبیت خاک‌های غیرچسبنده زمانی امکان‌پذیراست که با مقداری خاک رس مخلوط شوند (Ziaie Moayed

Archive of SID

www.SID.ir

and Allahyari, 2012). این ماده به همراه مقدار آبی که در حد رطوبت بهینه تراکم خاک باشد مخلوط شده و به خاک اضافه می‌شود .تغییرات ایجادشده در خاک آنی نبوده و فرآیند رساندن نانو پلیمر CBR PLU به تمام ذرات خاک رس به زمان معینی نیاز دارد که به آن دورهٔ تکامل می‌گویند که مدت آن از حدود دو تا چهار هفته است. واکنش‌پذیری خاک با این ماده و مقدار مادهٔ موردنیاز برای تثبیت با ارسال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه پژوهشگاه پلیمر و آنالیز خاک و انجام آزمون واکنش‌پذیری و آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا تعیین می‌شود. در پروژه‌های زیادی در سراسر دنیا از این ماده برای ساخت راه‌های کم‌هزینه استفاده شده است (Taherkhani, 2016).

نانو پلیمر سی‌بی‌آر پلاس که با نام کون آید نیز شناخته می‌شود یک اسید سولفونیک ارگانیک است که پایهٔ گیاهی از چغندرقند داشته و به تأیید سازمان‌های بین‌المللی فعال در زمینهٔ سلامتی انسان و محیط‌زیست رسیده است. pH این ماده ۳/۱ و نقطه‌جوش و انجماد آن به‌ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰- درجهٔ سیلسیوس است (Honarzad and Heidarian, 2013). این ماده که به‌صورت مایع غلیظ به رنگ شکلاتی است، دارای مولکول‌های پیچیده بوده که از دو جزء سر و دم تشکیل شده که سر آن آب‌دوست و دم آن آب‌گریز است (Taherkhani, 2016).

این ماده سبب افزایش مقاومت مکانیکی خاک شده و با داشتن کاتیون‌های مثبت خود به ذرات رس که دارای بار منفی هستند چسبیده از این‌رو سبب خروج آب از ذرات رس می‌شوند. به‌این‌ترتیب می‌توان خاک را در چگالی بالاتری متراکم کرد که منجر به افزایش اصطکاک داخلی بین ذرات شده و ظرفیت باربری خاک افزایش می‌یابد. این ماده برای تثبیت خاک‌هایی قابل‌استفاده است که دارای حداقل ۱۵ درصد رس باشند؛ بنابراین تثبیت خاک‌های غیرچسبنده زمانی امکان‌پذیر است که با مقداری خاک رس مخلوط شود (Ziaie moayed *et al*., 2014). مادهٔ سی‌بی‌آر پلاس به‌علت دارا بودن خاصیت یونی خود موجب کاهش ضخامت لایه آب جذبی، نزدیک شدن ذرات خاک به هم و کاهش پتانسیل تورم خاک می‌شود. اصلاح خاک‌های رسی با این ماده سبب می‌شود که قابلیت تورم این خاک‌ها کم شود. علت این امر کاهش میل به جذب آب، توسط دانه‌های رس پس از انجام واکنش‌های تبادلی و نیز کاهش دامنه خمیری آنهاست (Mousavi *et al., 2*014، Farrokhi and Saadati, 2015). در واقع، یک لایهٔ حفاظتی روغنی روی سطح ذرات خاک رس به‌وجود آورده و بدین ترتیب حرکت‌پذیری یون و مبادله آن را کاهش داد و هم‌زمان با حذف کردن جذب آب این مواد را آب‌گریز می‌کند. در نتیجه مادهٔ خاکی کمتر به رطوبت حساس بوده، سبب کارایی بیشتر و توان فشردگی و به هم پیوستن بهتر ذرات توسط تجهیزات و ماشین‌آلات عبوری می‌شود. به‌هم پیوستن بهتر ذرات به معنی قفل و بست بیشتر داخلی و بهبود ظرفیت باربری است. در این راستا پلیمرهای نانو ذرات که به‌عنوان سوپر جاذب آب عمل می‌کنند، ضمن بالا بردن ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌توانند با جذب سریع آب به مقدار صد برابر وزن خود به ژلی بادوام زیاد تبدیل شوند که این موضوع سبب کنترل فرسایش خاک و تثبیت زیرساخت‌ها در پروژه‌های مربوط به راه‌سازی خواهد شد (Taherkhani *et al*., 2012، Mousavi *et al*., 2014).

Abadjieva (2001) دو نوع خاک را با نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس ترکیب کرد و آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم و CBR را بر روی نمونه‌های تیمار شده و بدون تیمار انجام داد. وی بیان کرد که این نانو

Archive of SID

www.SID.ir

پلیمر می‌تواند هزینه ساخت و نگهداری جاده را کاهش داده و در فصل باران و گردوغبار می‌توان بدون مشکل از جاده استفاده کرد. Musavi و همکاران (2014) برای تثبیت و تأمین مصالح مناسب و درعین‌حال کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست-محیطی خاک جنگل از ماده Road Packer Plus برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی خاک و همچنین کاهش خسارات زیست‌محیطی، استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که افزودن این ماده موجب کاهش حد روانی، افزایش حد خمیری و در نهایت کاهش شاخص خمیری خاک می‌شود. همچنین ظرفیت باربری خاک افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، Musavi و همکاران (2014) به پژوهش و بررسی پتانسیل تغییر حجم خاک جنگلی بهسازی شده با مواد پلیمری پرداخت و به این نتیجه رسید که قدرت تورمی و فشار تورمی کاهش معنی‌داری را بعد از افزودن مادهٔ پلیمری نسبت به خاک شاهد نشان داد. این ماده موجب افزایش مقاومت نمونه خاک‌های موردنظر می-شود و می‌تواند به‌عنوان یک ماده حفاظتی زیست-محیطی در لایه زیر اساس بزرگراه‌ها و اساس جاده-های درجهٔ دو و درجهٔ سه استفاده شود (Hu *et al.*, 2007). همچنین این ماده با پایهٔ گیاهی (چغندرقند) به تأیید سازمان‌های بین‌المللی فعال در زمینهٔ سلامتی انسان و محیط‌زیست رسیده و بدون ذرات معلق و گاز بوده و قابلیت انتشار ندارد. همچنین بدون تشعشع و پرتوزایی است (CBR PLUS, 2017).

در این پژوهش نانومواد سی‌بی‌آر پلاس مورد استفاده قرار گرفت تا اینکه بتواند مقاومت مکانیکی لایهٔ روسازی جاده را افزایش داده و از سوی دیگر بتواند سبب تغییر برخی از ویژگی‌های شیمیایی رواناب حاصل از خاک تثبیت شده شود. با توجه به مطالب ذکر شده و نیز گسترش روزافزون تثبیت‌کننده-های نامتعارف، در این پژوهش مادهٔ پلیمری به‌نام سی‌بی‌آر پلاس برای تثبیت لایه روسازی جادهٔ جنگلی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ادعای شرکت سازندهٔ این ماده قابلیت بسیار زیادی در افزایش ظرفیت باربری خاک و نیز تا حد زیادی کاهش مصالح درشت‌دانه روسازی دارد. در این پژوهش آزمایش‌های مختلفی بر روی خاک شاهد و تیمارشده با درصدهای مختلف انجام و نتایج باهم مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در جادهٔ جنگلی سری یک بخش دو طرح جنگلداری نکا– ظالم‌رود در حوزهٔ آبخیز ۷۵ جنگل-های شمال در چهار کیلومتری جنوب شرقی شهر نکاء با طول جغرافیایی ″۵۳°۲۰′۱۵ تا ″۵۳°۳۵′۰۰ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۶°۲۸′۵۵ تا ″۳۶°۳۶′۵۵ شمالی انجام شد. خاک مورداستفاده در این پژوهش، از مصالح روسازی جادهٔ فرعی جنگلی تهیه شد. برای بررسی وضعیت مکانیکی مصالح لایهٔ روسازی پنج کرت شامل یک کرت شاهد (بدون نانوپلیمر) و چهار کرت نمونه به ابعاد ۳ × ۳ متر و با فاصلهٔ ۱۰ متر از یکدیگر بر روی جاده پیاده شد. نانو پلیمر سی‌بی‌آر پلاس با درصدهای وزنی ۰/۲۵ درصد، ۰/۵۰ درصد، ۰/۷۵ درصد و یک درصد نسبت به وزن آبی که در آن حل می‌شود بر روی کرت‌ها ریخته شد (به هر کرت یکی از درصدهای وزنی نانوپلیمر تعلق گرفت). هر کرت به ۱۰ قطعه‌نمونه که دارای شرایط یکسانی از نظر شیب طولی بودند به ابعاد ۱/۵ × ۰/۶ متر (مساحت ۰/۹ مترمربع) تقسیم شد. انتخاب تعداد مناسب نمونه بر اساس فرمول کوکران و با توجه به انحراف‌معیار نمونه‌برداری اولیه تعیین شد (Parsakhoo and Yazarlou, 2016). پس از دو هفته (طبق دستور شرکت سازنده) به‌منظور ارزیابی تأثیر

Archive of SID

www.SID.ir

نانوپلیمر، از هر کرت چهار نمونه به روش تصادفی منظم برداشت شد. همچنین جاده از نوع درجهٔ دو جنگلی در محلی انتخاب شد که در طی دورهٔ پژوهش بدون تردد بوده است. وزن هر نمونه که از عمق پنج تا ۲۰ سانتی‌متری با استفاده از ابزارآلات دستی جمع‌آوری شد، ۳۰ کیلوگرم بود. در مجموع مقدار ۱۲۰ کیلوگرم خاک از مصالح روسازی جاده برای هر کرت به‌دست آمد. نمونه‌ها پس از عبور از الک نمره ۲۰۰ در داخل کیسه‌های پلاستیکی گنجانده شده و سپس به آزمایشگاه مکانیک خاک شهرستان ساری برای انجام آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تراکم و CBR سپرده شد. تعداد ۱۶ قطعه‌نمونه از مجموع کرت‌های تیمار شده انتخاب و در نهایت نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های ذکرشده با نمونه شاهد مقایسه شد. آزمایش حدود آتربرگ بر اساس استاندارد AASHTO-D43218 و آزمایش دانه‌بندی بر طبق استاندارد AASHTO-D422 انجام گرفت. مشخصات مادهٔ پلیمری سی‌بی‌آر پلاس در (جدول ۱) نشان داده شده است (CBR PLUS, 2017). برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقهٔ مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس

Table1. characteristics of Nano-polymer CBR PLUS

فرمول شیمیایی Chemical Formula	نام شیمیایی Chemical Name	وزن مولکولی Molecular Weight (mol)	وزن مخصوص Specific Gravity (gr cm^{-3})	pH
R1-SO3H	Sulphonic Acid Derivatives	340	1.05	3.1

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد بررسی

Table 2. Some Physical and Chemical properties of soil in the study area

رس (درصد) Clay (%)	31	درصد مواد آلی C (%)	4.45
سیلت (درصد) Silt (%)	38	ازت کل (درصد) N (%)	0.33
شن (درصد) Gravel (%)	31	فسفر قابل‌جذب P	28.4
بافت خاک Soil texture (%)	CL	پتاسیم قابل‌جذب K	290
اسیدیته کل اشباع pH	6.3	نسبت کربن به ازت C/N	16
هدایت الکتریکی EC	0.87		

شبیه‌سازی باران

به‌منظور برآورد رواناب جاده از دستگاه باران‌ساز ۶۰×۶۰ سانتی‌متر مربع استفاده شد و برای جلوگیری از نشتی، قاب به‌دقت از خاک خارج شد و شبیه‌ساز با پوشش پلاستیکی برای از بین‌بردن اثر باد پوشانده شد. حداقل شیب سه درصد (حداقل شیب طولی جاده‌های جنگلی) در هر قطعه برای سطح خاک مورد بررسی قرار گرفت و شیب طولی با استفاده از یک

Archive of SID

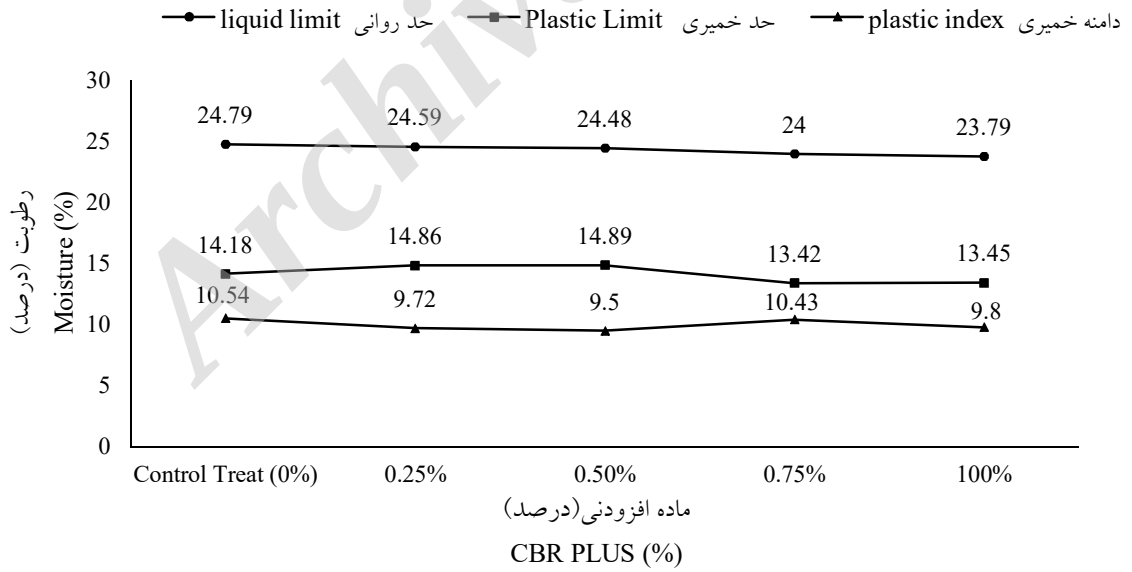
www.SID.ir

شیب‌سنج سونتو تعیین شد. شبیه‌ساز باران دارای یک نازل قابل‌حمل است که از طریق یک لولهٔ لاستیکی به یک پمپ خودکار متصل است و برای شبیه‌سازی بارندگی استفاده می‌شود. با توجه به شرایط منطقهٔ مورد بررسی متوسط شدت بارندگی ۵۲ میلی‌متر در ساعت درنظر گرفته شد و برای هر مخلوط مدت و تکرار شبیه‌سازی باران، به‌مدت ۳ دقیقه و ۵ تکرار انتخاب شد. سپس مدت‌زمان رواناب، ضریب رواناب، نرخ رواناب، غلظت رسوب و میزان تلفات خاک برای هر طرح تعیین شد.

پس از هر بار همانندسازی، نمونه‌های رواناب به‌طور مستقیم در خروجی پلات به‌کمک استوانهٔ مدرج جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری نمونهٔ رواناب در مدت ۳۰ دقیقه، مقدار رواناب برآورد شد. سپس برای اندازه‌گیری رسوب آن، رواناب حاصل به‌هم زده شد تا رسوب ته‌نشین شده در ظرف به حالت معلق درآید و یک نمونهٔ کوچک‌تر ۵۰۰ میلی‌لیتری (Sheridan *et al*., 2008) از آن گرفته و به‌منظور اندازه‌گیری رسوب به آزمایشگاه منتقل شد. پس از عبور محلول از کاغذ صافی وات‌من شمارهٔ ۴۲ و گذاشتن باقی‌مانده مواد روی کاغذ در دستگاه اون در دمای ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس (Foltz *et al*., 2009) به‌مدت ۲۴ ساعت و خشک و توزین کردن، وزن رسوب به‌دست آمد.

نتایج

برای بررسی تأثیر نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس بر روی خاک‌های مورد استفاده در این پژوهش، چهارترکیب خاک مورد استفاده، با درصدهای مختلف مادهٔ تثبیت‌کننده مخلوط و تحت آزمایش‌های آتربرگ، CBR، نفوذپذیری و تراکم قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها تغییرات حد روانی، حد خمیری و دامنه خمیری برحسب درصد ماده افزودنی نشان می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱- حد روانی، حد خمیری و دامنه خمیری نمونهٔ خاک شاهد و تیمار در درصدهای مختلف سی‌بی‌آر پلاس

Figure 2. Liquid limit, plastic limit and plastic index in control and treatment soil by different percentages of CBR PLUS

Archive of SID

www.SID.ir

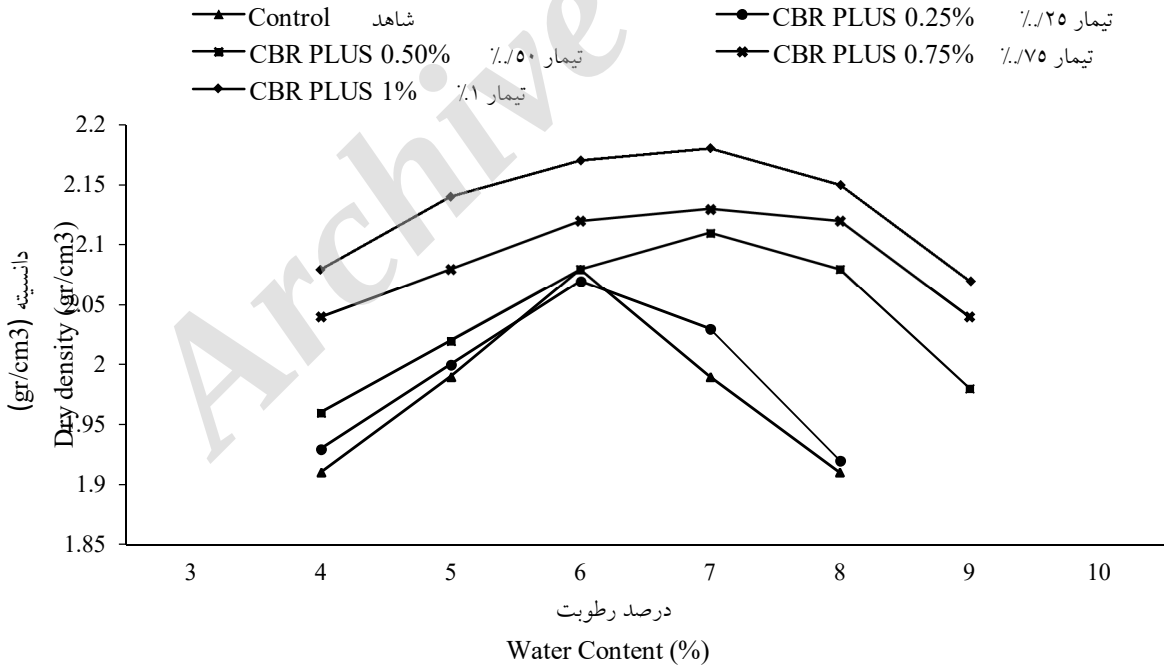
با توجه به جدول ۳ با افزایش درصد ماده افزودنی سی‌بی‌آر پلاس و به‌تبع آن چسبیدن ذرات ریزدانه خاک به یکدیگر از درصد وزنی عناصر ریزدانه خاک کاسته شد. به‌طوری‌که تیمار یک درصد دارای کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت‌دانه در مقایسه با دیگر تیمارها بود.

جدول ۳- درصد عناصر ریزدانه و درشت‌دانه در درصدهای مختلف نانوپلیمر

Table 3. Weight distribution of particle size for GM materials treated by CBR PLUS

بافت خاک Soil Texture	درصد درشت‌دانه Coarse particles (%)	درصد ریزدانه Fine particles (%)	عمق Depth	نمونه Treatment	
GM	72	28	5-20	Control	شاهد
GM	73	27	5-20	CBR PLUS 0.25%	تیمار در سطح ۰/۲۵ درصد
GM	77.1	22.9	5-20	CBR PLUS 0.5%	تیمار در سطح ۰/۵ درصد
GM	79.1	20.9	5-20	CBR PLUS 0.75%	تیمار در سطح ۰/۷۵ درصد

به‌منظور تعیین اثر مادهٔ افزودنی بر خصوصیات تراکمی، آزمایش تراکم اصلاح‌شده با استاندارد AASHTO-T180D بر روی چهار نوع خاک تثبیت‌شده با درصدهای مختلف ماده سی‌بی‌آر پلاس انجام شد. شکل ۲ تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک را با درصد ماده افزودنی نشان می‌دهد.



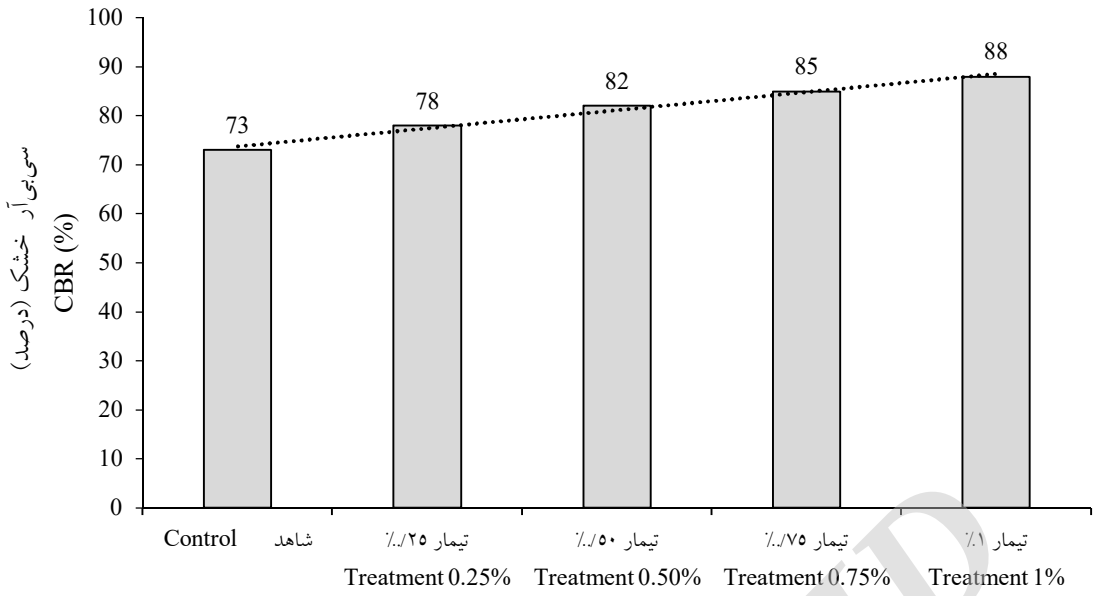
شکل ۲- تغییرات وزن مخصوص خاک و رطوبت در استفاده از نانوپلیمر در درصدهای مختلف

Figure 2. Change of soil bulk density and moisture by different weight percentages of CBR PLUS

در این پژوهش آزمایش CBR به‌صورت خشک و بر طبق استاندارد AASHTO-T193 و با تعداد ٦٥ ضربه بر روی خاک نمونه شاهد و تیمارها با درصدهای مختلف انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- منحنی مقایسه‌ای تأثیر نانو پلیمر بر روی نسبت باربری کالیفرنیا در نمونه شاهد و تیمار در سطوح مختلف

Figure 3- Variations of California bearing ratio (dry CBR) by increasing the percentage of CBR PLUS

آزمایش رواناب حاصل از پلات‌های تیمار شده در چهار سطح یک درصد، ۰/۷۵ درصد، ۰/۵ درصد و ۰/۲۵ درصد با ایجاد یک حالت ناودانی شکل پس از ایجاد باران مصنوعی توسط دستگاه شبیه‌ساز باران و عبور از صافی جمع‌آوری و برای پی بردن تأثیر نانو پلیمر سی‌بی‌آر پلاس بر مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم به آزمایشگاه فرستاده شد.

جدول ٤- تأثیر استفاده از نانوپلیمر در مقدار عناصر مختلف خاک

Table 4. Amount of Calcium, Magnesium and Potassium in treated and untreated plots (mg/Li)

نوع آزمایش Variables	نمونه شاهد (میلی‌گرم بر لیتر) Control (mg/L)	تیمار در سطح یک درصد (میلی-گرم بر لیتر) CBR+ 1% (mg/L)	تیمار در سطح ۰/۷۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر) CBR+ 0.75% (mg/L)	تیمار در سطح ۰/۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر) CBR+ 0.50% (mg/L)	تیمار در سطح ۰/۲۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر) CBR+ 0.25% (mg/L)
کلسیم کربنات Calcium carbonate	352	680	594	513	432
پتاسیم Potassium	7	8.7	8.26	7.84	7.42
کلسیم Calcium	120	224	195	171.6	145.2
منیزیم Magnesium	12.61	29.1	24.7	20.6	16.6

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

همان‌گونه که در شکل ۱ ملاحظه شد روند معینی را نمی‌توان برای تأثیر مادهٔ افزودنی بر روی حد خمیری و شاخص خمیری خاک بیان کرد. حد روانی خاک با افزایش مادهٔ افزودنی به مقدار کمی (یک درصد) کاهش یافت.

چنان‌که در شکل ۲ دیده می‌شود مقدار وزن مخصوص خشک خاک با افزایش مادهٔ افزودنی افزایش‌یافته که در نتیجه افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری خاک در اثر افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس است.

همچنین مقدار نسبت باربری کالیفرنیا با افزایش مادهٔ افزودنی افزایش‌یافته (شکل ۳) که ناشی از افزایش مقاومت و ظرفیت باربری مصالح در اثر افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس است.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم افزایش‌یافته (جدول ٤) و این به‌دلیل جذب یون‌های فلزی یادشده توسط ذرات ریزدانه رس است. یون‌های فلزی مقدار زیادی آب جذب کرده و سبب کاهش مقاومت خاک و افزایش حجم می‌شود، اما سی‌بی‌آر پلاس جاذب‌های آب را از بین برده و با شکستن پیوند جاذب‌ها با رس، خود جانشین آنها می‌شود و خاک رس را آب‌گریز می‌کند و بدین ترتیب سبب آزادسازی یون‌هایی چون کلسیم، منیزیم و پتاسیم و افزایش مقاومت و باربری خاک می‌شود.

مصالح رسی، ماسه و شن هیچ‌کدام به‌تنهایی دارای ویژگی‌های لازم برای کاربرد در لایهٔ روسازی جاده‌های جنگلی نیستند. در این پژوهش از ترکیب ٤٢ درصد شن، ۳۰ درصد ماسه و ۲۰ درصد لای و ۸ درصد رس استفاده شد. ترکیبات با درصدهای مختلف مادهٔ افزودنی نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس تثبیت شده و ویژگی‌های مکانیکی و شیمیایی آنها قبل و بعد از تثبیت مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده روند معینی را نمی‌توان برای تأثیر مادهٔ افزودنی بر روی حد خمیری و شاخص خمیری خاک بیان کرد. حد روانی خاک با افزایش مادهٔ افزودنی به مقدار کمی (یک درصد) کاهش یافت، اما مقدار وزن مخصوص خشک خاک با افزایش مادهٔ افزودنی افزایش‌یافته است که ناشی از افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری خاک در اثر افزایش درصد مادهٔ افزودنی است. در آزمایش دانه‌بندی نیز تیمار یک درصد کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت‌دانه در مقایسه با دیگر تیمارها را داشت. مقدار مقاومت فشاری نیز با افزایش مادهٔ افزودنی افزایش یافت که این نشان‌دهندهٔ افزایش مقاومت و ظرفیت باربری مصالح در اثر افزایش درصد ماده افزودنی سی‌بی‌آر پلاس است. این نانوپلیمر سبب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک نیز شده بود. در نهایت این نتیجه حاصل شد که تیمار در سطح ۱ درصد استفاده از نانو پلیمر در مقایسه با دیگر تیمارها عملکرد بهتری را به نمایش گذاشته است.

در استفاده نوع مصالح به‌کاررفته در منطقهٔ مورد بررسی می‌توان اذعان داشت که مصالح موجود از نوع رودخانه‌ای بوده اما کیفیت آن مطلوب نبوده چرا که پراکندگی ذرات گردوغبار در فصول خشک‌سال و ایجاد حالت چسبندگی در فصول بارندگی و به‌تبع آن، مشکل‌شدن حرکت ماشین در این نوع جاده‌ها نشان‌دهندهٔ آن است که این جاده ممکن است دارای ذرات رس باشد و همان‌طور که می‌دانیم وجود رس در جاده نشانهٔ خوبی نبوده و موجبات ایجاد ضرر و زیان اقتصادی و به‌دنبال آن افزایش هزینه را خواهد داشت. از این‌رو می‌توان با استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلفی که وجود دارد برای این نوع جاده‌ها راهکارهایی را

Archive of SID

www.SID.ir

ایجاد کرد تا هم مصالح محلی نامرغوب مورد استفاده قرار گیرد و هم هزینهٔ نگهداری کاهش یابد. Taherkhani و همکاران (2012) در بررسی استفاده از مواد تثبیت‌کننده نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس برای ساخت لایه‌های روسازی راه در منطقهٔ تکاب استان آذربایجان غربی به این نتیجه رسیدند که این ماده سبب افزایش حد خمیری و کاهش حد روانی و دامنهٔ خمیری شده است که این امر در منطقهٔ مورد بررسی در سطح یک درصد استفاده این نانو پلیمر صادق است (Taherkhani *et al*., 2012).

Abdi و همکاران (2012) در جنگل آموزشی - پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران با استفاده از مادهٔ پلیمری سی‌بی‌آر پلاس به تثبیت مصالح روسازی جادهٔ جنگلی منطقهٔ خیرودکنار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مادهٔ پلیمری سبب کاهش حدود روانی و خمیری و دامنهٔ خمیری شده است (Abdi *et al*., 2012). همچنین تیمار مورد استفاده موجب کاهش رطوبت بهینه‌شده که این امر در این پژوهش با توجه به نمودار حد روانی صادق است (شکل ۱) ولی در مورد دامنهٔ خمیری کاهش در سطح ۰/۲۵ درصد و ۰/۵ درصد استفاده از نانوپلیمر مشاهده شده است و این در حالی است که حد خمیری برخلاف پژوهش انجام‌شده دارای روند افزایش بوده و فقط در سطح ۰/۷۵ درصد و یک درصد استفاده از نانو پلیمر سیر نزولی مشاهده شده است. طبق نظر Karami و همکاران (2014) که به ارزیابی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های رس‌دار تثبیت‌شده با تثبیت‌کننده سی‌بی‌آر پلاس در محدودهٔ مسیر جادهٔ شهر انزلی پرداختند، افزودن این نانوپلیمر سبب بهبود خواص مهندسی خاک از طریق کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی شاخص خمیری خاک شده است (Karami *et al*., 2014). در این پژوهش نیز این کاهش در سطح ۰/۲۵ درصد و ۰/۵ درصد استفاده از نانوپلیمر مشخص شده است.

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقدار دانسیته خشک خاک با افزایش مادهٔ افزودنی افزایش یافت که این نشان‌دهندهٔ افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری خاک در اثر افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس است. با توجه به جدول ۳ منحنی دانه‌بندی نمونه‌های تیمارشده و تیمارنشده، با افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس از مقدار عناصر ریزدانه خاک کاسته شد؛ به‌طوری‌که تیمار یک درصد دارای کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت‌دانه در مقایسه با دیگر تیمارها بود. با توجه به نتایج آزمایش تراکم، افزودن ماده CBR PLUS به خاک در درصدهای مختلف سبب افزایش وزن واحد خشک می‌شود که با نتایج پژوهش (Mousavi *et al*., 2014) مطابقت دارد. در واقع به‌دلیل اینکه مواد شیمیایی آب منفذی را تغییر می‌دهند، از ضخامت لایهٔ مضاعف می‌کاهند و نیروی جاذبه را در محیط خاک بالا می‌برند. در نتیجه، ذرات خاک را به‌هم متصل می‌کنند و سبب افزایش وزن مخصوص خاک می‌شوند. افزایش وزن مخصوص خاک نیز با افزایش مقدار مقاومت خاک رابطه دارد.

همچنین یکی از معیارهای مهم ارزیابی مواد تثبیت‌کننده هزینهٔ اجرای تثبیت با این مواد است. هزینهٔ کاهش تورم هر تن خاک با این ماده در سال ۱۳۹۲، ۲٤۰۰۰ تومان است. از طرفی در هر خاکی، فقط یکی از مواد هستند که می‌توانند مقدار تورم را تا سطح معینی کاهش دهند. به‌عنوان‌مثال خاک با دامنهٔ خمیری زیاد، تنها با CBR PLUS، می‌توان مقدار تورم را به کمتر از ۰/۰۳ درصد رساند؛ بنابراین اگر هدف رساندن مقدار تورم به کمتر از حد معینی باشد، تنها یک گزینه وجود دارد. از طرفی قیمت زیاد این ماده

Archive of SID

www.SID.ir

به‌دلیل وارداتی‌بودن این محصول است و در صورت تولید آن در داخل کشور می‌توان با قیمت کمتری آن را تهیه کرد و هزینهٔ اجرای تثبیت را کاهش داد (Taherkhani and Javanmard, 2015).

نتیجه‌گیری کلی

زمان تأثیرنانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس بر تمام ذرات خاک رس و واکنش با این ذرات طولانی بوده و حداقل به دو هفته زمان برای طی شدن روند تأثیر مادهٔ افزودنی بر روی حد خمیری و شاخص خمیری خاک نیاز دارد. به‌طوری‌که در این آزمایش حد روانی خاک با افزایش مادهٔ افزودنی به مقدار کمی (یک درصد) کاهش یافته است. در این پژوهش ، مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم در رواناب پلات‌های تیمارشده بیشتر از پلات‌های تیمارنشده بود. ضمن آنکه با افزایش درصد مادهٔ افزودنی سی‌بی‌آر پلاس، مقدار این یون‌ها نیز افزایش یافت. در واقع سی‌بی‌آر پلاس با شکستن پیوند جاذب‌ها با رس، خود جانشین آنها می‌شود و خاک رس را آب‌گریز می‌کند و بدین ترتیب سبب آزادسازی یون‌هایی چون کلسیم، منیزیم و پتاسیم و افزایش مقاومت و باربری خاک می‌شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده تیمار یک درصد نانوپلیمر سی‌بی‌آر پلاس در مقایسه با دیگر تیمارها عملکرد بهتری را به نمایش گذاشت. هرچند که پیشنهاد می‌شود تا در پژوهش‌های آتی سطوح بالاتر این ماده نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

References

- Abdi, E., H. Soofi Marvi & J. Fathi, 2012. Measuring the in situ California Bearing Ratio of a new constructed forest road using DCP, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2):183-193. (In Persian).
- Abadjieva, T., 2001. Chemical Stabilization for low cost roads in Botswana, Proceedings of First road transportation technology transfer conference in Africa Tanzania Ministry of Works, Tanzania.
- CBR PLUS, 2017. Soil stabilization & dust control for roads, "Technical information on soil stabilization using liquid chemical soil stabilizers", CBR PLUS North American Inc. #2-5136 Imperial Street Bumaby. BC V5J 1E2. Available from http://www.cbrplus.com.
- Farrokhi, F. & M. Saadati, 2015. The effect of CBR + on CBR and infiltration of clay and sulfated clay soil, Proceedings of 3th International Congress on Civil Engineering, Architecture & Urban Development, Shahid Beheshti University, Iran, 14 p.
- Foltz, R. B., N. S. Copeland & W. J. Elliot, 2009. Reopening abandoned forest roads in Northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters, *Journal of Environmental Management*, 90(8): 2542-2550.
- Honarzad, H. & H. Heidarian, 2015. Investigate the impact of nanotechnology on the CBR + clay soil erosion, Proceedings of 7th National Congress of Civil Engineering, Zahedan. (In Persian)
- Karami, M., M. Arabani & A. Hashemi, 2014. Evaluation of geotechnical properties of clay soils stabilized ionic liquid stabilizer, Proceedings of the First National Congress of Geotechnice, Ardebil. (In Persian).
- Kavak, A., G. Bilgen & U. Mutman, 2010. In-situ modification of a road material using a special polymer, Scientific Research and Essays, 5(7): 2547-2555.
- Hu, W. J., Q. S. Shang, S. T. Liu, Z. Z. Zhao, Z. J. Fan, X. C. Gao, Y. Chang, Y. Zhang & Q. C. Ou, 2007. The application technology of road packer solidified limestone soil, Proceedings of the 1th International Conference on Transportation Engineering. Chengdu, China, pp. 692-697.
- Majnounian, B. & B. Sadeghi, 2005. Determination of Optimum Lime Percent Content for Forest Road Soils Stabilization and Treatment in Namkhaneh District of Kheiroodkenar Research Forest, *Journal of Iranian Natural Resources*, 57(4): 663-673. (In Persian)
- Mallick, R. B. & T. El-Korchi, 2009. Pavement engineering: principle and

Archive of SID

www.SID.ir

practice, Second Edition. CRS Press, NewYork, 659 p.
- Mgangira, M. B., 2009. Evaluation of the effect of enzyme-based liquid chemical stabilizer on sub grade soils, Proceedings of The 28th southern African Transport Conference, South Africa.
- Mishra, E. N. K., 2012. Strength characteristics of clays sub-grade soil stabilization with fly-ash and lime for roadworks, *Indian Geotechnical Journal*, 4(7): 206-211.
- Mousavi, F., E. Abdi, A. R. Estabragh & B. Majnounian, 2014. Assessing the capability of polymer stabilizer in forest road stabilization (Case study: Kheyrud forest), *Iranian Journal of Forest*, 6(1): 1-10. (In Persian).
- Mousavi, F. & E. Abdi, 2016. The influence of polymeric materials on soil stabilization of forest road and reduce environmental disturbance, *Iranian Journal of Forest*, 7(4): 497-505.
- Parsakhoo, A. & H. Yazarlou, 2016. Effect of the longitudinal slope of trail and number of mule passes on forest soil compaction during wood transportation, *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23(3): 309-327. (In Persian)
- Safari, A., 2010. Assess the optimum density of transport networks Fishnet forest roads (Series Vaston Mazandaran Province), Proceedings of the 5th National Conference of Civil Engineering Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Santoni, R., J. Tingle & M. Nieves, 2005. Accelerated strength improvement of silty sand with Non-traditional additives, *Journal of Transportation Research Board*, 1936: 34-42.
- Sharma, N. K., S. K. Swain & U. C. Sahoo, 2012. Stabilization of a clayey soil with fly-ash and lime: a micro level investigation, *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 30(5): 1197-1205.
- Sheridan, G. J., P. J. Noske, P. N. J. Lane & C. B. Sherwin, 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rates from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements, *Catena*, 73(1): 49-62
- Surdahl, R. W., J. H. Woll & H. R. Marquez, 2007. Stabilization and dust control at the Aires. National Wildlife Refuge, *Transportation Research Record*, 1(5): 312-321.
- Taherkhani, H., A. Hashemi & V. Sharifi, 2012. Evaluating the use of CBR PLUS for constructing the pavement layers from stabilized soils, *Journal of Transportation Engineering*, 3(4): 339-344. (In Persian).
- Taherkhani, H. & M. Javanmard, 2015. Comparison of the effects of cement, lime and CBR PLUS on reducing the swelling of clay soils, *Geology Engineering Journal*, 9(4): 3131-3150. (In Persian).
- Taherkhani, H., 2016. Investigation of Compressive Strength of Clay Soils Stabilized by Cement, Lime and CBR PLUS Nano- Polymer, Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J), 16(4): 161-173. (In Persian)
- Tingle, J. S., 2004. Emulsion polymers for soil stabilization, Proceedings of the FAA Worldwide Airport Technology Transfer conference, Atlantic city, New jersey, USA.
- Ziaie moayed, R., M. S. Mirsajadi & S. A. Hashemi, 2014. CBC sulfate ion exchange with a solution of clay soil stabilization and lime Plus, Proceedings of the 8th National Conference of Civil Engineering, Babol. (In Persian)
- Ziaie Moayed, R. & F. Allahyari, 2012. Determination of required ion exchange solution for stabilizing clayey soil with various PI, Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 1098-1102.

Archive of SID
www.SID.ir

Effects of CBR+ nano materials on mechanical resistance and chemical characteristics of forest roads runoff

M. Lotfalian[*1], A. Savadkoohi[2], A. Parsakhoo[3] and S. Karamirad[4]

1- Associate Professor, Department of Forestry, Department of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I. R. Iran.
2- M.Sc. of Natural Resources Engineering, Nekachoob Company, Sari, I. R. Iran.
3- Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran.
4- PhD Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I. R. Iran.

Received: 31.07.2017 Accepted: 29.01.2018

Abstract

In this study, Nano-polymer CBR PLUS is sued for soil stabilization in forest roads. Tests were carried out to identify the texture, Atterberg limits, compaction and CBR on the control and treated soil samples with different percentage of 0.25%, 0.50%, 0.75% and 1%. In order to study the mechanical characteristics of upper layer, five plots including one control plot (untreated) and four sample plots were carried out on forest road. The results showed that the Nano-polymer reduced liquid and plastic limits. By increasing the percentage of CBR PLUS, the soil fine particles decreased in control and treated samples, in which that 1% treatment has the minimum content in weight percent of soil fine particles and maximum content in coarse particles compare to other treatments. Also soil treated with CBR PLUS, reduces the optimum moisture content and increases maximum dry density and California Bearing Capacity (CBR). Investigation of chemical properties showed that the amount of Calcium, Magnesium and Potassium increased in runoff. It was concluded that 1% of Nano-polymer CBR PLUS acted better in comparison with other treatments.

Keywords: Atterberg limits, BR, Nano polymer, Runoff C, Soil compaction, Soil stabilization.

Archive of SID

[*] Corresponding author: Email: mlotfalian@sanru.ac.ir

www.SID.ir