

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

مجید لطفعلیان\*<sup>۱</sup>، امیر سوادکوهی<sup>۲</sup>، آیدین پارساخو<sup>۳</sup> و سمیه کرمی راد<sup>۴</sup>

- 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.
- ۴- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۹

### چکیده

در این پژوهش نانوپلیمر سی بی آر پلاس (CBR+) برای تثبیت خاک جاده جنگلی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های تعیین بافت، حدود آتربرگ، تراکم و سی بی آر (CBR) بر روی نمونه خاک شاهد و تیمار شده 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 ماده پلیمری سبب کاهش حدود روانی و خمیری شده است. در منحنی دانه‌بندی نمونه‌های شاهد و تیمار، با افزایش درصد افزودنی سی بی آر پلاس از مقدار عناصر ریزدانه خاک کاسته شد. به طوری که تیمار یک درصد دارای کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت‌دانه در مقایسه با دیگر تیمارها بود. همچنین تیمار مورد نظر موجب کاهش رطوبت بهینه و افزایش حداکثر دانسیته خشک و ظرفیت باربری می‌شود. نتایج حاصل از بررسی خواص شیمیایی نشان‌دهنده افزایش مقدار پتاسیم، کلسیم و منیزیم در رواناب حاصله بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار یک درصد نانو پلیمر سی بی آر 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.

## مقدمه

تثبیت خاک به کار می رود که انتخاب نوع آن به عوامل مختلفی مانند جنس خاک، شرایط جوی، هدف از تثبیت، مسائل زیست محیطی و اقتصادی بستگی دارد (Taherkhani, 2016). این افزودنی ها به دو گروه افزودنی های متعارف مانند آهک، سیمان، قیر و گروه غیرمتعارف مانند سیلیکات ها، افزودنی های معدنی، نمک ها، اسیدها، آنزیم ها، پلیمرها و صمغ ها تقسیم بندی می شوند (Tingle, 2004). از موادی که برای تثبیت خاک های رسی استفاده می شود می توان به آهک و سیمان اشاره کرد. اضافه کردن آهک به خاک سبب ایجاد واکنش هایی می شود که از مشکلات آن می توان به آلودگی، کاهش ایمنی و هزینه بالا اشاره کرد (Sharma et al., 2012; Mishra, 2012). در مورد سیمان هم از آنجایی که پس از ترکیب با آب تبدیل به ماده چسبنده می شود، برای خاک های ریزدانه با دامنه خمیری زیاد توصیه نمی شود (Mallick and El-Korchi, 2009). از مواد دیگری که می توان برای تثبیت استفاده کرد پلیمرها هستند. اولین بار در سال ۱۹۸۹ پلیمر برای کنترل گردوغبار جاده به کار 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 لایه حفاظتی روغنی روی سطح دانه های رس تشکیل داده، جاذب های آب را از بین برده، خاک رس را آب گریز کرده، حساسیت خاک را به رطوبت کاهش داده و سبب افزایش کارایی و تراکم پذیری و در نتیجه افزایش مقاومت و باربری خاک می شود. این ماده فقط برای تثبیت خاک هایی قابل استفاده است که دارای یک حداقل مقداری از خاک رس باشند؛ بنابراین تثبیت خاک های غیرچسبنده زمانی امکان پذیر است که با مقداری خاک رس مخلوط شوند (Ziaie Moayed

جاده های جنگلی بخشی از شبکه حمل و نقل عمومی را تشکیل داده که از این رو نیز به عنوان رکن اساسی در زیربنای توسعه یک کشور محسوب می شوند (Safari, 2010). یکی از مشکلات راه سازی به خصوص در ساخت جاده های جنگلی روبه رو شدن با خاک های ریزدانه نامرغوب است که در صورت وجود در سطح جاده سبب پدیده شیاری شدن و نشست جاده می شود. به منظور برطرف کردن این قبیل مشکلات اغلب نسبت به شن ریزی مجدد و یا استفاده از دیگر مصالح روسازی اقدام می شود. تهیه چنین مصالحی با برداشت از بستر رودخانه ها یا معادن و فرآوری آنها در کارخانه انجام می گیرد که در برخی مواقع هزینه های اجرایی را افزایش می دهد (Kavak et al., 2010). از طرف دیگر در بسیاری از مناطق برداشت مصالح مناسب از معادن طبیعی شن و ماسه، مثل بستر رودخانه ها سبب آسیب به محیط زیست می شود (Mousavi et al., 2016). استفاده از تثبیت کننده ها، از زمان های 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 خاک های نامناسب به کار گرفته شده اند (Mishra, 2012, Mgangira, 2009). از معدود پژوهش هایی که در زمینه تثبیت خاک در جاده های جنگلی در ایران انجام شده است می توان به پژوهش Majnounian and Sadeghi (2005) اشاره کرد که اقدام به تعیین درصد بهینه آهک برای تثبیت و اصلاح خاک جاده های جنگلی در سری نم خانه کردند که نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که خاک های CHH، ML، CH و CHL به ترتیب در درصدهای ۷، ۷، ۳ و ۱۰ درصد به بیشترین مقاومت خود می رسند (Majnounian and Sadeghi, 2005). انواع مختلفی از مواد افزودنی برای

(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 دوره تکامل می‌گویند که مدت آن از حدود دو تا چهار هفته است. واکنش پذیری خاک با این ماده و مقدار ماده موردنیاز برای تثبیت با ارسال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه پژوهشگاه پلیمر و آنالیز خاک و انجام آزمون واکنش پذیری 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 پایه گیاهی از چغندر قند داشته و به تأیید سازمان‌های بین‌المللی فعال در زمینه سلامتی انسان و محیط‌زیست رسیده است. pH این ماده ۳/۱ و نقطه جوش و انجماد آن به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۰- درجه سلسیوس است (Honarзад and Heidarian, 2013). این ماده که به صورت 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 این رو سبب خروج آب از ذرات رس می‌شوند. به این ترتیب 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 قابل استفاده 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). ماده سی‌بی‌آر پلاس به علت دارا بودن خاصیت یونی خود موجب کاهش ضخامت لایه آب جذب، 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 تبدیلی و نیز کاهش دامنه خمیری آنهاست (Farrokhi and Mousavi et al., 2014). در واقع، یک لایه حفاظتی روغنی روی سطح ذرات خاک رس به وجود آورده و بدین ترتیب حرکت پذیری یون و مبادله آن را کاهش داد و هم‌زمان با حذف کردن جذب آب این مواد را آب‌گریز می‌کند. در نتیجه ماده خاکی کمتر به رطوبت حساس بوده، سبب کارایی بیشتر و توان فشردگی و به هم پیوستن بهتر ذرات توسط تجهیزات و ماشین‌آلات عبوری می‌شود. به هم پیوستن بهتر ذرات به معنی قفل و بست بیشتر داخلی و بهبود ظرفیت باربری است. در این راستا پلیمرهای نانو ذرات که به عنوان 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 زلی بادوام زیاد تبدیل شوند که این موضوع سبب کنترل فرسایش خاک و تثبیت زیرساخت‌ها در پروژه‌های مربوط به راه‌سازی خواهد شد (Mousavi et al., Taherkhani et al., 2012). (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

های نامتعارف، در این پژوهش ماده پلیمری به نام سی بی آر پلاس برای تثبیت لایه روسازی جاده جنگلی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به ادعای شرکت سازنده 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 تیمار شده با درصد‌های مختلف انجام و نتایج با هم مقایسه شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در جاده جنگلی سری یک بخش دو طرح جنگلداری نکا- ظالم رود در حوزه آبخیز ۷۵ جنگل- های شمال در چهار کیلومتری جنوب شرقی شهر نکا 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 جاده فرعی جنگلی تهیه شد. برای بررسی وضعیت مکانیکی مصالح لایه روسازی پنج کرت شامل یک کرت شاهد (بدون نانوپلیمر) و چهار کرت نمونه به ابعاد ۳ × ۳ متر و با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر بر روی جاده پیاده شد. نانو پلیمر سی بی آر 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 قطعه نمونه 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 انحراف معیار نمونه برداری اولیه تعیین شد (Parsakhoo and Yazarlou, 2016). پس از دو هفته (طبق دستور شرکت سازنده) به منظور ارزیابی تأثیر

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 درعین حال کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست- محیطی خاک جنگل از ماده Road Packer Plus برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی خاک و همچنین کاهش خسارات زیست محیطی، 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 ماده پلیمری نسبت به خاک شاهد نشان داد. این ماده موجب افزایش مقاومت نمونه خاک‌های موردنظر می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یک ماده حفاظتی زیست- محیطی در لایه زیر اساس بزرگراه‌ها و اساس جاده- های درجه دو و درجه سه استفاده شود (Hu et al., 2007). همچنین این ماده با پایه گیاهی (چغندر قند) به تأیید سازمان‌های بین‌المللی فعال در زمینه سلامت انسان و محیط زیست رسیده و بدون ذرات معلق و گاز بوده و قابلیت انتشار ندارد. همچنین بدون تشعشع و پرتو زایی است (CBR PLUS, 2017).

در این پژوهش نانومواد سی بی آر پلاس مورد استفاده قرار گرفت تا اینکه بتواند مقاومت مکانیکی لایه 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-

سپرده شد. تعداد ۱۶ قطعه نمونه از مجموع کرت‌های تیمار شده انتخاب و در نهایت نتایج به دست آمده از آزمایش‌های ذکر شده با نمونه شاهد مقایسه شد. آزمایش حدود آتربرگ بر اساس استاندارد AASHTO-D43218 و آزمایش دانه بندی بر طبق استاندارد AASHTO-D422 انجام گرفت. مشخصات ماده پلیمری سی بی آر پلاس در (جدول ۱) نشان داده شده است (CBR PLUS, 2017). برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

نانوپلیمر، از هر کرت چهار نمونه به روش تصادفی منظم برداشت شد. همچنین جاده از نوع درجه دو جنگلی در محلی انتخاب شد که در طی دوره پژوهش بدون تردد بوده است. وزن هر نمونه که از عمق پنج تا ۲۰ سانتی متری با استفاده از ابزارآلات دستی جمع-آوری شد، ۳۰ کیلوگرم بود. در مجموع مقدار ۱۲۰ کیلوگرم خاک از مصالح روسازی جاده برای هر کرت به دست 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 دانه بندی، حدود آتربرگ، تراکم و CBR

جدول ۱- مشخصات نانوپلیمر سی بی آر پلاس

Table 1. characteristics of Nano-polymer CBR PLUS

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

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

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

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

با پوشش پلاستیکی برای از بین بردن 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

شیب‌سازی باران به منظور برآورد رواناب جاده از دستگاه باران‌ساز ۶۰×۶۰ سانتی متر مربع استفاده شد و برای جلوگیری از نشتی، قاب به دقت از خاک خارج شد و شیب‌ساز

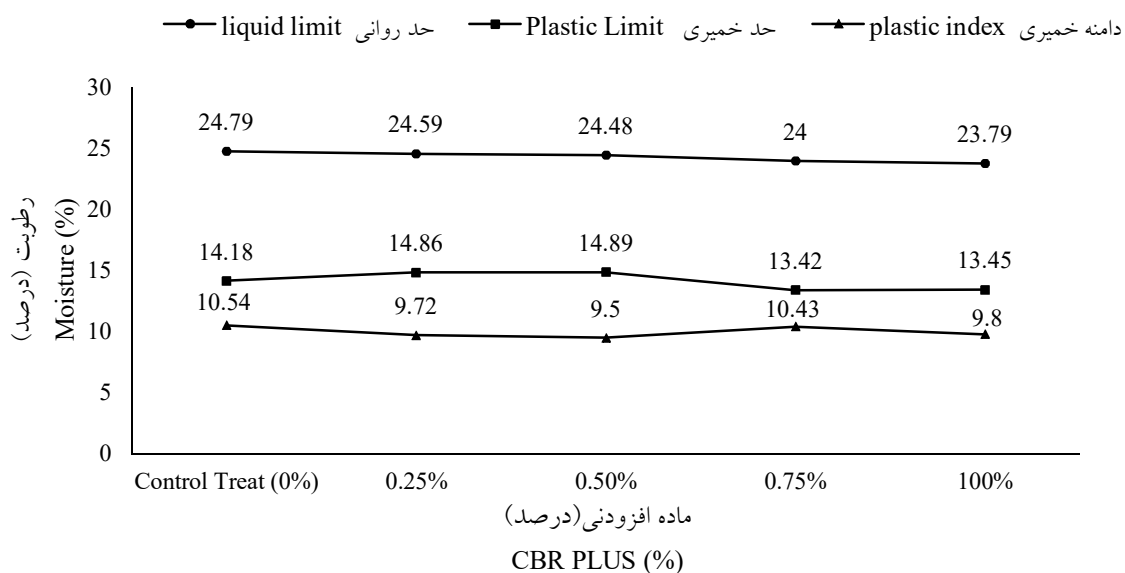
یک نمونه کوچک تر ۵۰۰ میلی لیتری (Sheridan et al., 2008) از آن گرفته و به منظور اندازه گیری رسوب به آزمایشگاه منتقل شد. پس از عبور محلول از کاغذ صافی وات من شماره ۴۲ و گذاشتن باقی مانده مواد روی کاغذ در دستگاه اون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس (Foltz et al., 2009) به مدت ۲۴ ساعت و خشک و توزین کردن، وزن رسوب به دست آمد.

### نتایج

برای بررسی تأثیر نانوپلیمر سی بی آر پلاس بر روی خاک های مورد استفاده در این پژوهش، چهار ترکیب خاک مورد استفاده، با درصد های مختلف ماده تثبیت کننده مخلوط و تحت آزمایش های آتربرگ، CBR، نفوذ پذیری و تراکم قرار گرفتند. نتایج آزمایش ها تغییرات حد روانی، حد خمیری و دامنه خمیری بر حسب درصد ماده افزودنی نشان می دهد (شکل ۱).

شیب سنج سونتو تعیین شد. شبیه ساز باران دارای یک نازل قابل حمل است که از طریق یک لوله لاستیکی به یک پمپ خودکار متصل است و برای شبیه سازی بارندگی استفاده می شود. با توجه به شرایط منطقه مورد بررسی متوسط شدت بارندگی ۵۲ میلی متر در ساعت در نظر گرفته شد و برای هر مخلوط مدت و تکرار شبیه سازی باران، به مدت ۳ دقیقه و ۵ تکرار انتخاب شد. سپس مدت زمان رواناب، ضریب رواناب، نرخ رواناب، غلظت رسوب و میزان تلفات خاک برای هر طرح تعیین شد.

پس از هر بار همانند سازی، نمونه های رواناب به طور مستقیم در خروجی پلات به کمک استوانه مدرج جمع آوری شد. پس از جمع آوری نمونه رواناب در مدت ۳۰ دقیقه، مقدار رواناب برآورد شد. سپس برای اندازه گیری رسوب آن، رواناب حاصل به هم زده شد تا رسوب ته نشین شده در ظرف به حالت معلق درآید و



شکل ۱- حد روانی، حد خمیری و دامنه خمیری نمونه خاک شاهد و تیمار در درصد های مختلف سی بی آر پلاس  
Figure 2. Liquid limit, plastic limit and plastic index in control and treatment soil by different percentages of CBR PLUS

با توجه به جدول ۳ با افزایش درصد ماده افزودنی سی بی آر پلاس و به تبع آن چسبیدن ذرات ریزدانه خاک به یکدیگر از درصد وزنی عناصر ریزدانه خاک کاسته شد. به طوری که تیمار یک درصد دارای کمترین درصد وزنی ریزدانه و بیشترین درصد وزنی درشت دانه در مقایسه با دیگر تیمارها بود.

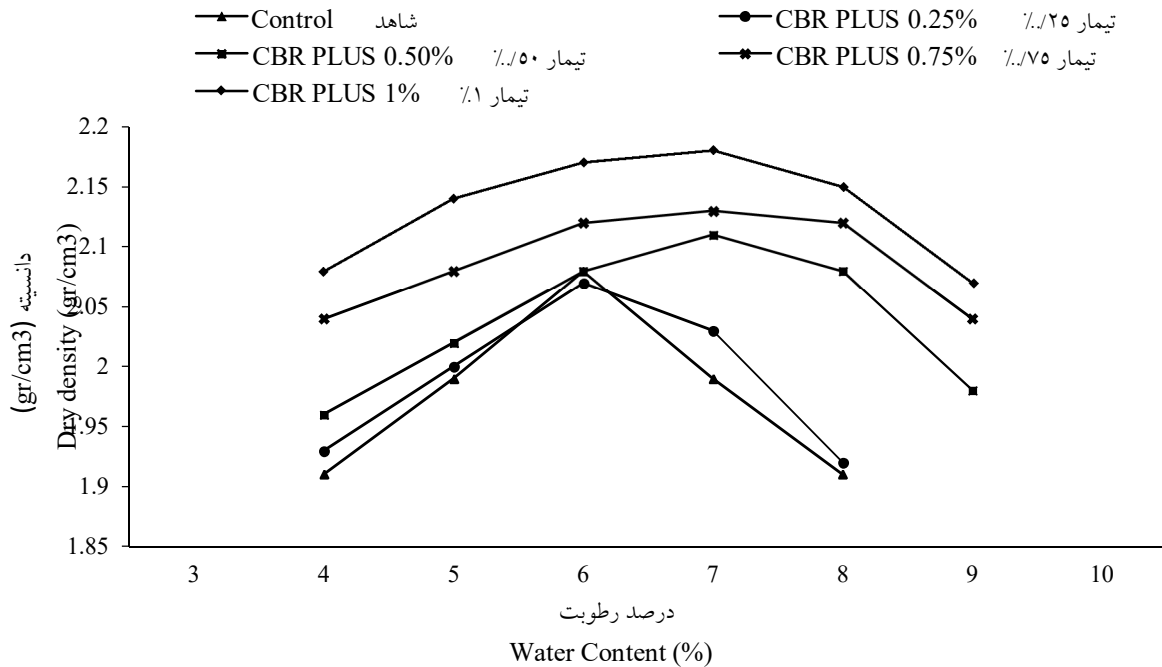
جدول ۳- درصد عناصر ریزدانه و درشت دانه در درصد های مختلف نانوپلیمر

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

بافت خاک Soil Texture	درصد درشت دانه Coarse particles (%)	درصد ریزدانه Fine particles (%)	عمق Depth	نمونه Treatment	شاهد
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

انجام شد. شکل ۲ تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه خاک را با درصد ماده افزودنی نشان می دهد.

به منظور تعیین اثر ماده افزودنی بر خصوصیات تراکمی، آزمایش تراکم اصلاح شده با استاندارد AASHTO-T180D بر روی چهار نوع خاک تثبیت شده با درصد های مختلف ماده سی بی آر پلاس

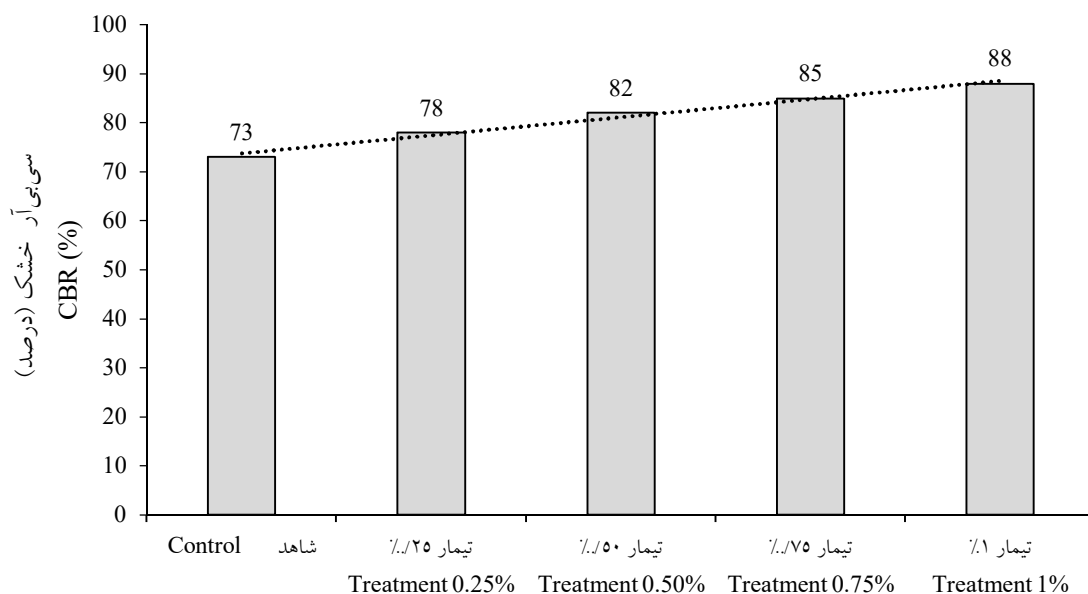


شکل ۲- تغییرات وزن مخصوص خاک و رطوبت در استفاده از نانوپلیمر در درصد های مختلف

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

بر روی خاک نمونه شاهد و تیمارها با درصد های مختلف انجام شد.

در این پژوهش آزمایش CBR به صورت خشک و بر طبق استاندارد AASHTO-T193 و با تعداد ۶۵ ضربه



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 ۴- تأثیر استفاده از نانوپلیمر در مقدار عناصر مختلف خاک

نوع آزمایش Variables	نمونه شاهد (میلی‌گرم بر لیتر)	تیمار در سطح ۰/۷۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر)	تیمار در سطح ۰/۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر)	تیمار در سطح ۰/۲۵ درصد (میلی‌گرم بر لیتر)
کلسیم کربنات Calcium carbonate	352	594	513	432
پتاسیم Potassium	7	8.26	7.84	7.42
کلسیم Calcium	120	195	171.6	145.2
منیزیم Magnesium	12.61	24.7	20.6	16.6



## بحث

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

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

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

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد ماده افزودنی سی‌بی‌آر پلاس مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم افزایش یافته (جدول ۴) و این به دلیل 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 لایه روسازی جاده‌های جنگلی نیستند. در این پژوهش از ترکیب ۴۲ درصد شن، ۳۰ درصد ماسه و ۲۰ درصد لای و ۸ درصد رس استفاده شد. ترکیبات با درصدهای مختلف ماده 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 ماده افزودنی بر روی حد خمیری و شاخص خمیری خاک بیان کرد. حد روانی خاک با افزایش ماده افزودنی به مقدار کمی (یک درصد) کاهش یافت، اما مقدار وزن مخصوص خشک خاک با افزایش ماده افزودنی افزایش یافته است که ناشی از افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری خاک در اثر افزایش درصد ماده 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 ماده افزودنی افزایش یافت که این نشان‌دهنده 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 منطقه 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 نشان‌دهنده آن است که این جاده ممکن است دارای ذرات رس باشد و همان‌طور که می‌دانیم وجود رس در جاده نشانه خوبی نبوده و موجبات ایجاد ضرر و زیان اقتصادی و به‌دنبال آن افزایش هزینه را خواهد داشت. از این رو می‌توان با استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلفی که وجود دارد برای این نوع جاده‌ها راهکارهایی را

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 ماده افزودنی افزایش یافت که این نشان‌دهنده افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری خاک در اثر افزایش درصد ماده افزودنی سی‌بی‌آر پلاس است. با توجه به جدول ۳ منحنی دانه‌بندی نمونه‌های تیمار شده و تیمار نشده، با افزایش درصد ماده افزودنی سی‌بی‌آر پلاس از مقدار عناصر ریزدانه خاک کاسته شد؛ به طوری که 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 به دلیل اینکه مواد شیمیایی آب منفذی را تغییر می‌دهند، از ضخامت لایه مضاعف می‌کاهند و نیروی جاذبه را در محیط خاک بالا می‌برند. در نتیجه، ذرات خاک را بهم 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 هزینه اجرای تثبیت با این مواد است. هزینه کاهش تورم هر تن خاک با این ماده در سال ۱۳۹۲، ۲۴۰۰۰ تومان است. از طرفی در هر خاکی، فقط یکی از مواد هستند که می‌توانند مقدار تورم را تا سطح معینی کاهش دهند. به‌عنوان مثال خاک با دامنه 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

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

Abdi و همکاران (2012) در جنگل آموزشی - پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران با استفاده از ماده پلیمری سی‌بی‌آر پلاس به تثبیت مصالح روسازی جاده جنگلی منطقه خیرودکنار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ماده پلیمری سبب کاهش حدود روانی و خمیری و دامنه خمیری شده - است (Abdi et al., 2012). همچنین تیمار مورد استفاده موجب کاهش رطوبت بهینه شده که این امر در این پژوهش با توجه به نمودار حد روانی صادق است (شکل ۱) ولی در مورد دامنه 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 انجام شده 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 تثبیت شده با تثبیت‌کننده سی‌بی‌آر پلاس در محدوده مسیر جاده 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

تیمار شده بیشتر از پلات‌های تیمار نشده بود. ضمن آنکه با افزایش درصد ماده 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 به دست آمده 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.

به دلیل وارداتی بودن این محصول است و در صورت تولید آن در داخل کشور می‌توان با قیمت کمتری آن را تهیه کرد و هزینه اجرای تثبیت را کاهش داد (Taherkhani and Javanmard, 2015).

#### نتیجه‌گیری کلی

زمان تأثیر نانوپلیمر 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 ماده افزودنی بر روی حد خمیری و شاخص خمیری خاک نیاز دارد. به طوری که در این آزمایش حد روانی خاک با افزایش ماده افزودنی به مقدار کمی (یک درصد) کاهش یافته است. در این پژوهش، مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم در رواناب پلات‌های

#### 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.
- Honarзад, 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

- 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: Kheyroud 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.

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

M. Lottfalian<sup>\*1</sup>, A. Savadkoobi<sup>2</sup>, A. Parsakhoo<sup>3</sup> and S. Karamirad<sup>4</sup>

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, Nekachooob 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 used 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.

---

\* Corresponding author:

Email: mlotfalian@sanru.ac.ir