تأثیر مواد پلیمری در تثبیت جاده‌های جنگلی و کاهش تخریب محیط زیست

فاطمه موسوی[۱]* و احسان عبدی[۲]

[۱] مربی گروه جنگداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان
[۲] دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۵)

چکیده

مصالح روسازی، اغلب از بستر رودخانه‌ها یا معادن داخل جنگل برداشت می‌شود. این کار موجب تخریب محیط زیست و تأثیر منفی بر زیستگاه آبزیان و جانوران و از دست رفتن رویشگاه‌ها می‌شود. امروزه استفاده از روش‌های جایگزین برای تثبیت و تأمین مصالح مناسب و در عین‌حال کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، مسئله‌ای مهم به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، مادهٔ Road Packer Plus به‌عنوان تیمار برای بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی خاک و کاربرد آن به‌عنوان روشی جایگزین به‌منظور کاهش خسارات زیست‌محیطی، بررسی شد. بدین منظور آزمایش‌های مختلف شامل حدود آتربرگ، تراکم و CBR روی نمونهٔ خاک شاهد و نمونه خاک تیمارشده با درصد پیشنهادشدهٔ سازندهٔ ماده (۰/۰۱۹درصد) صورت گرفت. نتایج آزمایش حدود آتربرگ نشان داد که افزودن این ماده به خاک موجب کاهش حد روانی، افزایش حد خمیری و در نهایت کاهش شاخص خمیری خاک می‌شود. نتایج آزمایش تراکم نشان داد افزودن مادهٔ RPP به خاک موجب افزایش حداکثر دانسیتهٔ خشک خاک و ثابت ماندن مقدار رطوبت بهینهٔ خاک می‌شود. نتایج آزمایش CBR نیز نشان داد این ماده موجب افزایش ظرفیت باربری خاک می‌شود. البته میزان بهبود خاک منطقه کمتر از مقدار ادعاشدهٔ شرکت سازنده است. با توجه به نتایج، استفاده از تثبیت‌کنندهٔ پلیمری RPP با نرخ پیشنهادی، تاثیر زیادی در بهبود ویژگی های خاک آزمایش‌شده نداشت.

واژه‌های کلیدی: تراکم، حداکثر دانسیتهٔ خشک، حدود آتربرگ، ظرفیت باربری.

* نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۳۷۵۸۰۳۹۴۶ ایمیل: F.mousavi@bkatu.ac.ir

مقدمه و هدف

جاده‌سازی در جنگل، استانداردها و نکات فنی ویژه‌ای را می‌طلبد، زیرا جادهٔ غیراصولی می‌تواند هزینه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی گسترده‌ای را به موجب شود. بسیاری از زیان‌ها و خسارت‌های عمدهٔ ساخت جاده در جنگل با ویژگی‌های خاکی که بستر جاده را تشکیل می‌دهد، ارتباط مستقیم دارد. خاک مهم‌ترین مصالح ساختمانی راه‌های جنگلی است که در عین‌حال بستر جاده را تشکیل می‌دهد. بنابراین، آگاهی از ویژگی‌های مکانیکی خاک برای اجرای عملیات جاده‌سازی و تضمین پایداری آن ضروری است. خاک رس، از خاک‌هایی است که به‌وفور در طبیعت یافت می‌شود و مشکلاتی را برای جاده‌سازی به‌وجود می‌آورد (Petry and Little, 2002). با توجه به وجود خاک‌های ریزدانه در بیشتر مناطق جنگل‌های شمال، از خاک این مناطق، نمی‌توان به‌عنوان مصالح ساختمانی مورد نظر استفاده کرد. به‌طور کلی دسترسی مشکل و کیفیت نامناسب مصالح استفاده‌شده برای راه‌ها، چالشی رو به رشد برای طراحان راه‌هاست. از طرفی، امروزه با افزایش هزینه‌های روسازی و نیز وارد آمدن و خسارت به محیط زیست در اثر برداشت مخلوط از معادن جنگل، استفاده از روش‌های جایگزین به‌عنوان مسئله‌ای مهم مطرح شده است یکی از روش‌های جایگزین به‌منظور اصلاح خصوصیات نامطلوب، تثبیت با مواد افزودنی است. تثبیت خاک به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی خاک برای تأمین یک رشته اهداف از پیش تعیین‌شده، اطلاق می‌شود (درخشانی و شمس‌راد، ۱۳۸۹). در بیشتر موارد، مطالعات خاک‌شناسی در انتخاب و تعیین روش‌های مناسب اصلاح و بهبود خاک به ما کمک خواهد کرد. اصلاح و بهبود خاک به روش‌های گوناگونی نظیر مکانیکی (Lersow, 2001)، بیولوژیکی (Oades, 1993)، فیزیکی - شیمیایی (رادگهر و همکاران، ۱۳۸۸؛ نامدار الیگودرزی و همکاران،۱۳۹۱) و الکتریکی (Hu *el al.*, 2013; Estabragh *et al.*, 2014) انجام می‌گیرد. به‌تازگی و با معرفی انواع مواد شیمیایی نوین (انواع آنزیم و مخلوط‌های پلیمری)، تحول شگرفی در زمینه تثبیت خاک پدید آمده است (Santoni *et al.*, 2003; Kavak *et al.*, 2010)؛ اما متأسفانه تاکنون در ایران در بخش کشاورزی و منابع طبیعی مطالعاتی برای به کارگیری این مواد انجام نگرفته است. برای تثبیت خاک به‌روش‌های غیرسنتی، نخستین بار در سال ۱۹۹۰ نوعی مادهٔ روغنی به بازار معرفی شد که پس از مشخص شدن آثار زیان‌بخش زیست‌محیطی از رده خارج شد (Scholen, 1995). گزینه‌های بعدی، محلول کلرید کلسیم و قیر امولسیون بودند که تا به امروز نیز مصرف می‌شوند (Scholen, 1995). اما در یک سوی دیگر و در قالب فناوری‌های نوین، مواد پلیمری به بازار عرضه شدند که هیچ‌گونه خسارات زیست‌محیطی ندارند (Hu *el al.*, 2013). همهٔ پلیمرها قابلیت تثبیت‌کنندگی خاک را ندارند و تنها آنهایی مورد توجه قرار گرفته‌اند که خاصیت چسبناکی خوبی با ذرات خاک داشته‌اند، به‌این ترتیب مواد پلیمری کمی برای این منظور شناسایی و معرفی شده‌اند (Scholen, 1995; Rauch *et al.*, 2001; Abadjieva, 2001; Shirsavkar *et al.*, 2010; Faisal, 2012). در زمینهٔ استفاده از مواد تثبیت‌کنندهٔ غیرسنتی مطالعاتی صورت گرفته است از جمله Rauch *et al.* (2001) که تأثیر سه مادهٔ شیمیایی در تثبیت کانی‌های رس مونت‌مریلونیت، ایلیت و کائولینیت در دو بعد ماکروسکوپی و میکروسکوپی را بررسی کردند. مواد شیمیایی استفاده‌شده در این تحقیق شامل تثبیت‌کننده‌های یونی، پلیمرها و آنزیم‌ها بودند. نتایج این بررسی نشان داد که تثبیت‌کننده‌های یونی از طریق جانشینی کاتیونی، موجب بهبود خواص خاک‌های رسی می‌شوند و مادهٔ یونی مورد استفاده با ساختار اسید سولفوریک تغییر چندانی در ساختار خاک ایجاد نمی‌کند. Tolleson *et al.* (2003) اثر یک آنزیم تثبیت‌کننده را بر گسترهٔ وسیعی از خاک‌ها در دامنهٔ بین خاک ماسه‌ای با درجهٔ خیلی پایین تا رس چسبنده بررسی

کردند که نتایج نشان داد آنزیم استفاده‌شده، مقدار CBR را برای همهٔ نمونه‌ها، به جز یک مورد بهبود می‌بخشد. Santoni *et al*. (2003) تأثیر رزین‌های مختلف را بر مقاومت خاک بررسی کردند. آنها آزمایش مقاومت فشاری نامحدود را بر روی خاک شاهد و خاک تیمار شده با پلیمرهای طبیعی و مصنوعی انجام دادند که بیشترین مقاومت در مقایسه با نمونه‌های شاهد برای نمونهٔ تیمارشده با لیگنوسولفونات[1] به‌دست آمد. در بررسی دیگری Santoni *et al*. (2006) تأثیر تثبیت‌کننده‌های غیرسنتی را بررسی کردند که این تثبیت‌کننده‌های غیرسنتی شامل یک لیگنوسولفونات، شش نوع پلیمر، یک سیلیکات و یک رزین بود که نتایج نشان داد نمونه‌های تیمارشده با پلیمرها و سیلیکات، مقاومت فشاری نامحدود بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند.

Oztas *et al*. (2007) اثر پلی‌وینیل الکل را بر تثبیت ذرات خاک بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پس از عمل‌آوری ۴۸ ساعتهٔ نمونه‌ها، مقدار تخلخل، پایداری مصالح ریزدانه، استحکام و مقاومت مصالح به‌طرز چشمگیری با افزایش درصد پلیمر استفاده‌شده، افزایش می‌یابد. در همین سال، تحقیقی در کشور چین دربارهٔ کاربرد مادهٔ Road Packer Plus در خاک‌های سولفید آهک انجام گرفت (Hu *et al*., 2007). در تحقیق مذکور آزمایش‌های، مختلف از جمله آزمایش مقاومت فشاری غیرمحصور و برش مستقیم انجام گرفت و تأثیرات زیست‌محیطی این ماده نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که این ماده موجب افزایش مقاومت نمونه – خاک‌های مورد نظر می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یک مادهٔ حفاظتی زیست‌محیطی در لایهٔ زیراساس[2] شاهراه‌ها یا بزرگراه‌ها و اساس[3] جاده‌های درجه دو و درجه سه استفاده شود (Hu *et al*., 2007). تحقیق دیگری در زمینهٔ بهسازی خاک جاده با استفاده از نوعی پلیمر انجام گرفت که در آن، پلیمر به‌عنوان یک مادهٔ افزودنی به‌منظور بهبود خاکی که برای زیربنای جاده استفاده می‌شد، بررسی شد. آزمایش‌های بارگذاری صفحه‌ای و CBR بر روی خاک تیمارشده با پلیمر انجام گرفت و نتایج با خاک بدون تیمار مقایسه شد که نتایج افزایش مقاومت خاک تیمارشده با پلیمر را نشان داد (Hu *et al*., 2010). نتایج یک بررسی دیگر نشان داد که مواد افزودنی مایع با پایهٔ آنزیم موجب بهبود خصوصیات خمیری، مقاومت فشاری و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک می‌شوند (Mgangira., 2009). در سال ۲۰۱۰ در هند پژوهشی در زمینهٔ تثبیت جاده با استفاده از نوعی پلیمر طبیعی انجام گرفت. در این بررسی از یکی از ضایعات نیشکر به‌عنوان ماده‌ای برای بهبود خصوصیات خاک استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که این ماده، موجب افزایش CBR و مقاومت خاک و همچنین کاهش رطوبت بهینه و شاخص خمیری خاک می‌شود؛ آنالیزهای اقتصادی نیز نشان داد که استفاده از این ماده در ساخت جاده، کاملاً اقتصادی است (Shirsavkar *et al*., 2010).

محققان از پلیمرهای مختلفی مانند پلی وینیل استات، پلی وینیل الکل، پلی وینیل اکریلیک و پلی اکرلامیک نیز برای بهبود خصوصیات خاک‌های مختلف کرده‌اند (Tolleson *et al*., 2003; Abtahi *et al*., 2008).

با توجه به اینکه تاکنون در جاده‌های جنگلی، تجربه‌ای در زمینهٔ استفاده از تثبیت‌کننده‌های پلیمری وجود نداشته است، در این پژوهش اثر نوعی مادهٔ تثبیت‌کنندهٔ یونی (Road Packer Plus) که از لحاظ زیست‌محیطی تأیید شده است (Hu *et al*., 2007) بر روی نمونه‌های خاک رسی جنگلی (CH) که قسمت اعظم خاک جنگل‌های شمال را تشکیل می‌دهد با توجه به درصد پیشنهادشده توسط سازنده ماده (۰/۰۱۹درصد)، بررسی شد.

[1] Lignosulfunate
[2] Sub Base
[3] Base

مواد و روش‌ها

مواد

خاک استفاده‌شده در این پژوهش از کنارهٔ جادهٔ فرعی جنگلی (شیروانی خاک‌برداری)، واقع در بخش نمخانه جنگل آموزشی پژوهشی خیرود دانشگاه تهران تهیه و به آزمایشگاه مکانیک خاک منتقل شد. مادهٔ تثبیت‌کنندهٔ به‌کار رفته در این تحقیق (Road Packer Plus)، ماده‌ای به‌حالت مایع و کاتیونی و به‌رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز است که در کانادا ساخته شده است. این ماده نوعی اسید سولفونیک ارگانیک است که پایهٔ گیاهی از چغندر قند دارد و به تأیید سازمان‌های فعال در زمینهٔ سلامت انسان و محیط زیست رسیده است (Hu *et al*., 2007).

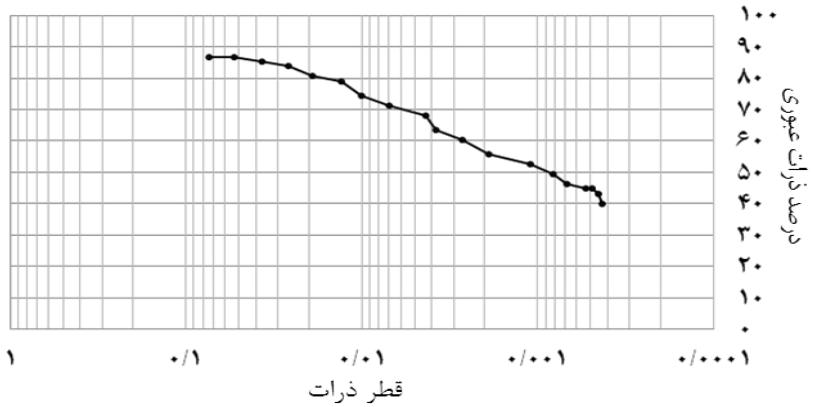
روش آزمایش

آزمایش دانه‌بندی براساس استاندارد ASTM D422 انجام پذیرفت. نمودار دانه‌بندی خاک مورد نظر در شکل ۱ مشاهده می‌شود. آزمایش حدود آتربرگ شامل حد روانی مطابق استاندارد BS[1] و با استفاده از مخروط نفوذ انجام گرفت. برای تعیین حد روانی در استاندارد ASTM[2] روش کاساگرانده معمول است، ولی ازآنجا که در استاندارد BS، روش مخروط نفوذ توصیه شده است. در این تحقیق برای تعیین حد روانی از دستگاه مخروط نفوذ مطابق استاندارد BS و برای تعیین حد خمیری از استاندارد ASTM D4318 استفاده شد. آزمایش چگالی نسبی دانه‌ها مطابق استاندارد ASTM- D128 انجام گرفت و Gs خاک برابر ۲/۷۵ گرم در سانتی‌متر مکعب شد. سپس خاک به‌روش یونیفاید طبقه‌بندی شد که این خاک مطابق سیستم یونیفاید از نوع CH (رس با پلاستیسیته بالا) است.

روش تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها

براساس توصیهٔ سازندهٔ مادهٔ RPP، این ماده برای تثبیت خاک‌هایی که دست‌کم ۱۵ درصد خاک رس و pH کمتر از ۸ دارند، قابل استفاده است. خاک استفاده‌شده در این پژوهش حاوی ۸۵ درصد رس و pH برابر با ۷/۴ است و بنابراین هر دو شرط لازم را دارد. در این پژوهش از درصد پیشنهادشده توسط سازندهٔ ماده به‌منظور اصلاح و بهبود خاک، استفاده شد. در تهیهٔ نمونه‌های خاک تثبیت‌شده، مقدار پیشنهادشدهٔ مادهٔ افزودنی توسط سازندهٔ ماده (۲۲۴ گرم در سانتی‌متر مکعب) براساس وزن خشک خاک به نمونه‌ها اضافه و مقدار رطوبت بهینهٔ لازم نیز برپایهٔ نتایج آزمایش تراکم استاندارد، با افزودن آب به خاک تأمین شد. نمونه‌های خاک تیمارشده با این ماده آماده شد و سپس براساس استانداردهای لازم، آزمایش حدود آتربرگ (ASTM-D43218)، آزمایش تراکم (ASTM-D698) و آزمایش CBR خشک (ASTM-D1883) به‌منظور تعیین ظرفیت باربری خاک بر روی نمونه‌های خاک (با چگالی حداکثر) تیمارشده با این ماده و شاهد انجام گرفت و سپس نتایج مقایسه شد. به‌منظور ساخت نمونه برای آزمایش CBR با توجه به دستورالعمل پیشنهادشده توسط سازندهٔ ماده، آب و ماده به خاک اضافه و مخلوط شد؛ ۳۰ دقیقه بعد دوباره این مخلوط به‌هم زده شد و این عمل شش بار تکرار شد (Hu *et al*., 2007). این نمونه باید دست‌کم ۳۰ روز نگهداری می‌شد. چون در زمین ترافیک و آب‌وهوا بر آن تأثیر می‌گذارد، ولی در آزمایشگاه چون نمی‌توان تأثیر ترافیک و آب‌وهوا را در نظر گرفت، نمونهٔ خاک تیمارشده مطابق دستورالعمل و با مقدار پیشنهادشده تهیه و ۳۰ روز نگهداری شد و سپس آزمایش CBR مطابق استاندارد انجام گرفت.

[1] British Standard
[2] American Society for Testing and Materials



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی

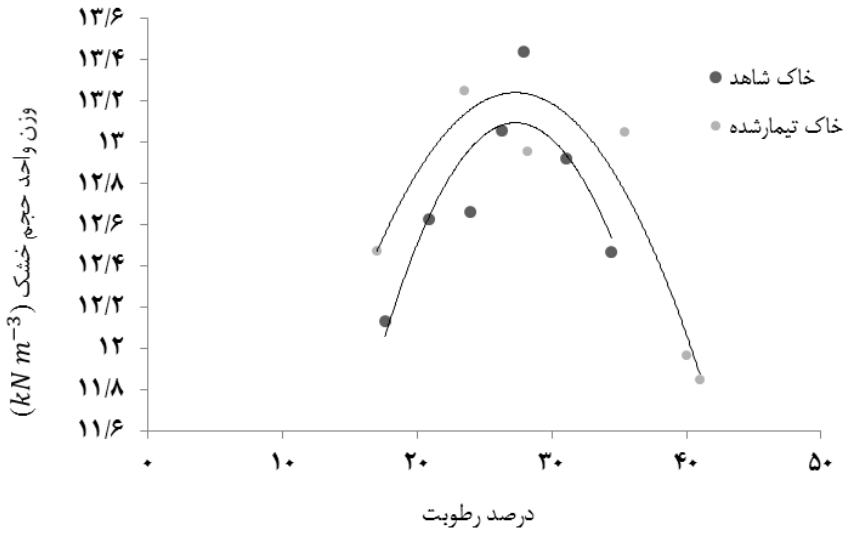
نتایج

نتایج حاصل از مقایسهٔ حدود آتربرگ بر روی خاک تیمارشده و شاهد در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش‌های تراکم روی نمونهٔ خاک شاهد و نیز مخلوط خاک با درصد پیشنهادشدهٔ ماده انجام گرفت. نتایج آزمایش در شکل ۲ مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزودن مادهٔ RPP به خاک موجب افزایش وزن واحد حجم خشک خاک می‌شود و تغییری در رطوبت بهینه مشاهده نمی‌شود.

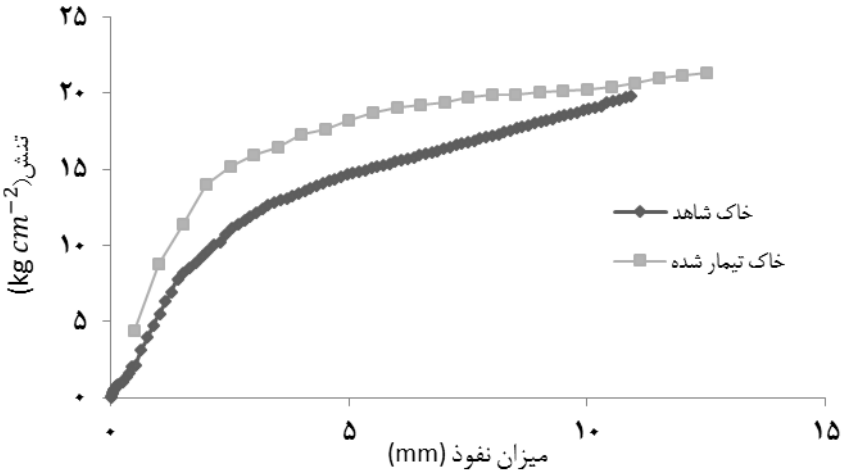
جدول ۱- نتایج حدود آتربرگ بر روی نمونه‌های خاک شاهد و تیمارشده

	خاک شاهد	خاک تیمارشده
حد روانی	۸۹/۱۶	۸۴/۷۶
حد خمیری	۳۵	۳۷/۷۹
شاخص خمیری	۵۴/۱۶	۴۶/۹۷



شکل ۲- نتایج آزمایش تراکم

آزمایش CBR روی نمونه‌های خاک شاهد و نیز نمونهٔ خاک تیمارشده با درصد پیشنهادی سازندهٔ ماده بعد از ۳۰ روز عمل‌آوری مطابق استاندارد ASTM D1883 انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش در شکل ۳ و جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزودن مادهٔ RPP به خاک مطابق با نرخ پیشنهادشده و عمل‌آوری به‌مدت ۳۰ روز موجب افزایش CBR می‌شود.



شکل ۳- نتایج آزمایش CBR

جدول ۲- نتایج آزمایش CBR

خاک تیمار شده	خاک شاهد	میزان نفوذ (mm)
۲۱/۷۳	۱۵/۸۰	۲/۵

بحث

نتایج حدود آتربرگ نشان‌دهندهٔ کاهش ۴/۹۳ درصدی حد روانی و افزایش ۷/۹۷ درصدی حد خمیری و در نهایت کاهش ۱۳/۲۷ درصدی شاخص خمیری خاک بعد از افزودن مادهٔ RPP است که با یافته‌های دیگر محققان مطابقت دارد (Scholen, 1995; Rauch *et al*., 2001; Abadjieva, 2006; Shirsavkar *et al*., 2010; Faisal, 2012). همچنین نتایج آزمایش تراکم نشان داد افزودن ۲۲۴ گرم در متر مکعب RPP (نرخ پیشنهادشده توسط سازنده)، موجب افزایش ۰/۹۱ درصدی وزن واحد حجم خشک خاک می‌شود که این نتایج نیز با یافته‌های دیگر محققان سازگار است (Shirsavkar *et al*., 2010; Faisal, 2012; Abadjieva, 2006). همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن مادهٔ RPP تغییری در رطوبت بهینه مشاهده نمی‌شود. بنابر نظریهٔ Scholen تثبیت‌کننده‌های یونی موجب تغییر شرایط محیطی از قلیایی به‌سمت اسیدی می‌شوند که می‌تواند موجب کامل کردن تغییرات در مولکول‌های مواد شود. ولی این تغییرات اغلب در درازمدت صورت می‌گیرد (Scholen, 1995). افزودن مادهٔ RPP به خاک مطابق با نرخ پیشنهادشده و عمل‌آوری به‌مدت ۳۰ روز موجب افزایش ۳۷/۵۳ درصدی CBR می‌شود که با نتایج Abadjieva (2006)، Shirsavkar *et al* (2010) و Hu *et al*. (2010) همخوانی دارد. براساس مطالعات، مادهٔ RPP قادر است خواص سطح خاک را توسط

یون‌های خود تغییر دهد (Hu *et al*., 2007). از طرفی واکنش‌های تبادل یونی، بزرگ‌ترین عامل کاهش خصوصیات خمیرایی خاک‌های ریزدانه است و شدت این کاهش، به شدت این واکنش‌ها بستگی دارد (فرزانه و مصدق، ۱۳۹۰). تثبیت‌کننده‌های یونی اغلب از طریق جانشینی کاتیونی موجب بهبود خواص خاک‌های رسی می‌شوند (Rauch *et al*., 2001) تثبیت‌کننده‌های یونی به‌عنوان کاتالیزور سرعت فرایند هوازدگی کانی‌های خاک رس را افزایش می‌دهند (Scholen, 1995). این تثبیت‌کننده‌ها، تمرکز آب منفذی را به‌هم می‌زنند. در نتیجه واکنش‌های جانشینی یونی صورت می‌گیرد که موجب تجمع و یکپارچگی کانی‌های رسی می‌شود. همان‌گونه که جاذبهٔ قوی‌تری بین کانی‌های رسی ایجاد می‌شود، کاتیون‌های آزادشده از الکترولیت یونی آب منفذی، به‌دلیل اختلاف والانس کاتیونی به‌وجودآمده، موجب فروپاشی کانی‌های رسی و تبدیل آنها به اشکال پایدارتری می‌شوند. در این فرایند، لایهٔ دوگانهٔ آب نیز از هر طرف زهکشی می‌شود. نتیجهٔ عمومی چنین واکنشی به‌طور معمول کاهش پلاستیسیته، افزایش CBR و دانه‌ای شدن خاک است (Scholen, 1995).

Fairbrother (2011) در یک دسته‌بندی، مصالح روسازی جاده‌های جنگلی را از نظر ترافیک‌پذیری به سه دستهٔ ضعیف (CBR<۴۰)، متوسط (۴۰ < CBR < ۶۰) و خوب (۶۰ < CBR) تقسیم کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که نمونهٔ خاک شاهد در دستهٔ اول، یعنی ضعیف از نظر ترافیک‌پذیری قرار می‌گیرد؛ بعد از افزودن نمونهٔ این ماده، CBR نمونهٔ خاک تیمارشده اگرچه افزایش می‌یابد، باز هم در همان دستهٔ اول قرار می‌گیرد. پس می‌توان اظهار داشت تثبیت خاک مورد نظر با نرخ پیشنهادی تأثیر زیادی در بهبود خصوصیات خاک ندارد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور نتیجه‌گیری بهتر، تأثیر این ماده با درصدهای متفاوت بر روی خاک‌های مختلف بررسی شود.

سپاسگزاری

نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای دکتر قوام‌الدین زاهدی‌امیری به دلیل در اختیار قرار دادن مادهٔ پلیمری ابراز می‌دارند.

منابع

درخشانی، پیمان و شیما شمس‌راد، ۱۳۸۹. بررسی روش استفاده از مایع "آر.آر.پی" جهت تثبیت خاک در راهسازی و احداث خطوط راه آهن در: مجموعه مقالات دومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۲۳ اردیبهشت، کرج. ۱-۱۰.

رادگهر، اسماعیل، راضی صحراییان، علی هاشمی و محمد محمدی، ۱۳۸۸. تثبیت خاک با استفاده از نانوپلیمرها، در: مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌ها، ۱-۲ آبان، تهران، ۱-۹.

فرزانه، اورنگ و عهدیه مصدق، ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی تثبیت خاک بستر راه کرمان – زنگی‌آباد با استفاده از چهار مادهٔ آهک، RRP،ZAM I و ZAM II. نشریهٔ مهندسی عمران و نقشه‌برداری (دانشکدهٔ فنی دانشگاه تهران)، ۴۵ (۱): ۲۳-۳۳.

نامدار الیگودرزی، پوریا، علی رئیسی استبرق، جمال عبداللهی و مهرداد مقدس، ۱۳۹۱. بهسازی خاک‌های رسی با استفاده از سیمان و الیاف پلی‌اتیلن، در: مجموعه مقالات سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۲۴ خرداد ماه، کرج، ۱-۸.

Abadjieva, T., 2001. Chemical stabilization for low cost roads in Botswana, In: Proceeding of First Road Transportation Technology Transfer Conference in Africa, May 23-25, Arusha, Tanzania, 409-414.

Abtahi, M., A. Ebadi., S.M. Hejazi, and M. Sheikhzadeh, 2008. On the use of textile fibers to achieve mechanical soil stabilization, In: Proceeding of 4th international textile, clothing and design conference – magic world of textiles, 5-8th October, Dubrovnik, Croatia.

Estabragh, A.R., M. Naseh, and A.A. Javadi, 2014. Improvement of clay soil by electro-osmosis technique, *Applied Clay Science*, 95(1): 23-36.

Fairbrother, S., 2011. Estimating forest road aggregate strength by measuring fundamental aggregate properties, In: Proceedings of 34th council on forest engineering, 13-15 Jun, Quebec, 1-9.

Faisal, A., 2012. Stabilization of residual soils using liquid chemical, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17(2): 115-126.

Hu, L., H. Wu, and Q. Wen, 2013. Electro-osmotic consolidation: Laboratory test and numerical simulation, In: proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, September 2-6, Paris, 231-234.

Hu, W., Q. Shang, S. Liu, Z. Zhao, Z. Fan, X. Gao, Y. Chang, Y. Zhong, and Q. Ou, 2007. The application technology of Roadpacker solidified limestone soil. In proceeding of first international conference on transportation engineering, July 22-24, Chengdu, China, 692-697.

Hu, W.J., Q.S. Shang, S.T. Liu, Z.Z. Zhao, ZJ. Fan, X.C. Gao, Y. Chang, A. Kavak, G. Bilgen, and U. Mutman1, 2010. In-situ modification of a road material using a special polymer, *Scientific Research and Essays*, 5(17): 2547-2555.

Kavak, A., G. Bilgen, and U. Mutman1, 2010. In-situ modification of a road material using a special polymer, *Scientific Research and Essays*, 5(7): 2547-2555.

Lersow, M., 2001. Deep soil compaction as a method of ground improvement and to stabilization of wastes and slopes with danger of liquefaction, determining the modulus of deformation and shear strength parameters of loose rock, *Waste Management*, 21(1): 161-171.

Mgangira, M.B., 2009. Evaluation of the effect of enzyme based liquid chemical stabilizer on subgrade soils. In: the proceedings of the 28th southern African transport conference, July 6-9, Pretoria, South Africa, 192-199.

Oades, J.M, 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure, *Geoderma*, 56(1-4): 377-400.

Oztas, T., A. Ozbek, and L. Aksakal, 2007, Structural developments in soil treated with polyvinyl alcohol, In: Proceedings of international conference on sustainable land use and management. June 10-13, Kanakkale, Turkey, 143-148.Petry, T., and D. Little, 2002. Review of stabilization of clays and expansive soils in pavements and lightly loaded structures—history, practice, and future, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(6): 447-460.

Rauch, A.F., J.S. Harmon, I. Katz, and H.M. Liljestrand, 2001. Liquid soil stabilizer: Measured effects on engineering properties of clay. In: Proceedings of 81th annual transportation board meeting, Washington, DC, 33-41.

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

Santoni, R.L., J.S. Tingle, and S.L. Webster, 2003. Stabilization of silty sand with non-traditional additives. Transportation research record, 1787, TRB, National research council, Washington D.C, 61-70.

Scholen, D.E., 1995. Stabilizer mechanisms in nonstandard stabilizers. In: Proceeding of 6Th international conference on low-volume roads, 2, TRB, national academy press, June 25-29, Washington, DC, 252-260.

Shirsavkar, S.S., and S. Koranne, 2010. Innovation in road construction using natural polymer, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15(1): 1614-1624.

Tolleson, R., M. Shatnswi, E. Harman, and E. Mahdavian, 2003. An Evaluation of strength change on subgrade soils stabilized with an enzyme catalyst solution using CBR and SSG comparisons" Final report to university transportation center grant R-02-UTC-ULTERPAVB–GEO-01.

The influence of polymeric materials on soil stabilization of forest road and reduce environmental disturbance

F. Mousavi[1*], and E. Abdi[2]

[1]Instructor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, I. R. Iran
[2]Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 20 December 2014, Accepted: 26 October 2015)

Abstract

The pavement materials are always supplied from riverbed or mines located inside the forest. This leads to damages to animal and aquatic environments and habitat destruction. Finding efficient and low cost alternatives for supplying pavement materials along with environmental considerations are considered as an important issue. In this study, the effect of Road Packer Plus as a treatment to improve the physical and mechanical properties of soil, as a superseded method to reduce the environmental damages, was assessed. Various laboratory tests, including identify, Atterberg limit, compaction and California Bearing Ratio (CBR), were performed on control and treated samples with the recommended percentage of producer (0.019%). The results of Atterberg limit tests indicated that adding this material to soil decreased liquid limit, increased plasticity limit and finally decreased plasticity index. The result of compaction test showed that adding of RPP mater led to increased maximum dry density but the optimum water of soil remain constant. The result of CBR test showed that adding of RPP mater led to increasing in the bearing capacity, but the amount of improvement was less than the value claimed by the producer company. Therefore, this matter with the proposed dose has no significant effect on improvement of soil properties.

Keywords: Atterberg limit, Bearing capacity, Compaction, Maximum dry density.

*Corresponding author Tel: 09375803946 Email: F.mousavi@bkatu.ac.ir