بررسی قابلیت تثبیت جاده‌های جنگلی با استفاده از مواد پلیمری (مطالعهٔ موردی: جنگل خیرود)

فاطمه موسوی[۱]، احسان عبدی[۲*]، علی رئیسی استبرق[۳] و باریس مجنونیان[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران
[۲] استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران
[۳]استادیار گروه مهندسی آبادانی و آبیاری، دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
[۴] استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۱۶)

چکیده

بسیاری از زیان‌های عمدهٔ ساخت جاده در جنگل با خصوصیات خاک تشکیل دهندهٔ بستر جاده ارتباط مستقیم دارد. برخی خاک‌ها به‌دلیل مشخصات فنی نامطلوب، مشکلاتی را در جاده‌سازی ایجاد می‌کنند. روش‌های مختلفی برای بهبود و اصلاح خاک‌های مشکل‌دار پیشنهاد شده است. در این پژوهش قابلیت یک نوع مادهٔ پلیمری در این زمینه آزمون شد. از آنجا که بافت خاک مسیر جاده در سری نم‌خانهٔ جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود، ریزدانه با درصد رس و خمیرایی بالاست، برای ساخت جاده بر روی آن باید خواص مکانیکی را تغییر داد و خاک را تثبیت کرد. به‌همین منظور آزمایش‌های متنوع شامل شناسایی، حدود آتربرگ، تراکم و CBR بر روی نمونه‌های خاک تیمارشده با درصد پیشنهادی از طرف سازندگان این ماده و نمونه‌های خاک شاهد انجام گرفت. نتایج نشان داد مادهٔ پلیمری سبب کاهش حدود روانی و خمیری و شاخص خمیری شده است. همچنین تیمار مورد نظر موجب کاهش رطوبت بهینه و افزایش حداکثر دانسیتهٔ خشک و ظرفیت باربری می‌شود. البته میزان بهبود خصوصیات خاک و به‌ویژه ظرفیت باربری در حد ادعاشده توسط شرکت تولیدکننده نیست و سبب بهبود کلاسهٔ خاک از نظر ظرفیت باربری نمی‌شود. بنابراین این ماده هنوز نمی‌تواند جایگزینی مناسب برای کاهش ضخامت شن‌ریزی باشد.

واژهای کلیدی: جاده‌های جنگلی، خصوصیات مکانیکی خاک، ظرفیت باربری، مواد پلیمری.

*نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲ ایمیل: abdie@ut.ac.ir

مقدمه و هدف

جاده‌ها دسترسی به قسمت‌های مختلف جنگل، حمل‌ونقل، نیروی کار، محصولات و خدمات را ممکن می‌کنند. جاده‌های جنگلی در ادارهٔ علمی و عملی جنگل‌ها بسیار اهمیت دارند. از طرفی احداث جاده عمده‌ترین دخالت و دگرگونی در طبیعت بکر جنگل و از پرهزینه‌ترین فعالیت‌ها برای مجریان طرح‌های جنگلداری است.

گرچه طراحی اصولی راه می‌تواند در کاهش هزینه‌های جاده‌سازی مفید باشد، ازآنجا که جاده بر روی بستر طبیعی ساخته می‌شود، آگاهی از خصوصیات مکانیکی خاک و تعیین مشخصات فنی آن برای اجرای کارهای ساختمانی و تنظیم پایداری آن، هزینه‌ها را به‌طور چشمگیری کاهش خواهد داد و بسیار ضرورت دارد (مجنونیان و صادقی، ۱۳۸۳). به‌عبارت دیگر وضعیت خاک شاخص بسیار مهمی در برآورد زیان‌های ناشی از راه‌سازی در جنگل است (Petry and Das, 2001) و طراحی و ساخت جاده بدون مطالعهٔ این بخش توجیه علمی ندارد (مجنونیان و صادقی، ۱۳۸۳). به‌طور کلی هدف از مطالعه و شناخت قابلیت‌های مکانیکی خاک شامل کاهش تخریب جنگل به‌عنوان عرصهٔ تولید، کاهش هزینه‌های ساخت جاده، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده و کاهش فرسایش خاک است (Petry and Das, 2001). بعضی از خاک‌ها در زمرهٔ خاک‌های مسئله‌دار قرار می‌گیرند و خاک‌های ریزدانه نیز از این دسته‌اند که در قسمت‌های زیادی از جنگل‌های شمال وجود دارند. به‌طور کلی کیفیت مواد مورد استفاده در زیربنای جاده و کارهای ساختمانی جاده اهمیت بسیار زیادی دارد. در بسیاری پروژه‌ها، مصالح مناسب جاده‌ای به‌راحتی در اطراف محل پروژه یافت نمی‌شوند که این وضعیت هزینهٔ پروژه را افزایش می‌دهد. یک راه‌حل برای کاهش هزینهٔ زیاد نقل و انتقال مواد، استفاده از مواد موجود در محل است که اغلب به‌دلیل کیفیت کم آنها، دوام و پایداری جاده کاهش می‌یابد. استفاده از مواد محلی برای جاده‌های شنی همیشه مناسب نیست و مشکلات زیادی مانند خرابی سطح جاده و گرد و غبار سطح جاده را در پی دارد (Kavak *et al.*, 2010). یکی از اقداماتی که برای رساندن مقاومت به حد مطلوب، صورت می‌گیرد، استفاده از روش‌های اصلاح و تثبیت مناسب خاک است. Tingle (2003) مواد تثبیت‌کننده را به گروه‌های زیر دسته‌بندی می‌کند:

۱- افزودنی‌های متعارف؛ ۲- سیلیکات‌ها؛ ۳- فراورده‌های معدنی؛ ۴- نمک‌ها؛ ۵- اسیدها؛ ۶- آنزیم‌ها؛ ۷- افزودنی‌های یونی؛ ۸- پلیمرها؛ و ۹- لیگنین‌ها. افزودنی‌های متعارف از قبیل آهک، سیمان و قیر از پرکاربردترین افزودنی‌ها هستند که به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی در تثبیت محدودهٔ وسیعی از خاک‌ها کاربرد دارند. هرچند برخی از این تثبیت‌کننده‌ها تأثیراتی غیر از چسباندن ذرات خاک را نیز دارا هستند اما تثبیت خاک با استفاده از این تثبیت کننده‌ها، اغلب براساس چسباندن ذرات به یکدیگر صورت می‌گیرد. اساس کار دو تثبیت‌کنندهٔ اول، واکنش شیمیایی بین تثبیت‌کننده، آب و ذرات خاک است و این دو ماده به تثبیت‌کننده‌های سیمانی معروفند. علاوه بر افزودنی‌های متعارف، دیگر افزودنی‌های ذکرشده جزو دستهٔ افزودنی‌های غیرمتعارف قرار می‌گیرند (بیات، ۱۳۸۵). سابقهٔ استفاده از این مواد به جنگ جهانی دوم می‌رسد. هدف راهبردی در آن زمان این بود که با استفادهٔ اندک از یک ماده بتوانند ظرفیت باربری خاک را به‌سرعت ارتقا دهند و فرودگاه یا مسیر مناسب برای عبور وسایل نقلیه فراهم کنند. از طرفی اوج ساخت جاده‌های جنگلی در دههٔ ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ بود (Primusz *et al.*, 2009). پژوهش دربارهٔ تثبیت جاده‌های جنگلی در همین زمان شروع شد و برای تثبیت جاده‌های جنگلی از آهک، سیمان، خاکستر پرا و مواد پلیمری مانند RPP[1] استفاده شد

[1] Road Packer Plus

(Primusz *et al.*, 2009). امروزه بیش از ۳۰ سال از کاربرد تثبیت‌کننده‌های یونی در تثبیت جاده‌ها می‌گذرد. مروری بر پژوهش‌های انجام گرفته، نشان می‌دهد که تعداد پژوهش‌هایی که در زمینه پایدارسازی سنتی با افزودنی‌های متعارف مانند آهک و سیمان صورت پذیرفته بسیار زیاد بوده (Ingles, 1972; Little, 1995; Rama Rao *et al.*, 2008; Sirivitmaitrie *et al.*, 2008; Mutaz *et al.*, 2011) اما در مقایسه، موارد بسیار کمی دربارهٔ پایدارسازی غیرمتعارف، به‌خصوص در جاده‌های جنگلی وجود دارد. اولین بار در ۱۹۸۹، پلیمر برای کنترل گرد و غبار جاده به کار رفت (Surdah *et al.*, 1989). بعد از آن از پلیمر برای تجمیع رس (Miller *et al.*, 1998)، پایدارسازی خاک‌های درشت‌دانه (Liu *et al.*, 2009)، کاهش تورم‌پذیری رس (Inyang *et al.*, 2007)، و تثبیت سطح جاده (Kavak *et al.*, 2010)، استفاده شد. یکی از مواد پلیمری که در آمریکا، کانادا و آفریقا به فراوانی استفاده شده است، ماده‌ای با نام تجاری CBRPLUS می‌باشد که برای تثبیت و کنترل ذرات خاک به بازار عرضه شده است. مادهٔ CBRPLUS به‌صورت مایع، به رنگ قهوه‌ای تیره مایل به قرمز و بدون بو و مزه است و از مواد نفتی چسبناکی ساخته شده و چسبندگی زیادی دارد. طبق ادعای سازندگان این ماده، CBRPLUS در مقایسه با مواد مشابه، دارای قابلیت نفوذپذیری زیاد و عمل‌آوری سریع است (Abadjieva, 2001). Abadjieva (2001) دو نوع خاک را با مادهٔ CBRPLUS تیمار کرد و آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم و CBR را بر روی نمونه‌های تیمارشده و بدون تیمار انجام داد. وی بیان کرد که تثبیت‌کنندهٔ CBRPLUS می‌تواند هزینهٔ ساخت و نگهداری جاده را کاهش دهد و در فصل باران و گرد و غبار می‌توان بدون مشکل از جاده استفاده کرد. با توجه به مطالب ذکرشده و نیز گسترش روزافزون تثبیت کننده‌های نامتعارف، در این پژوهش اولین بار، نوعی مادهٔ پلیمری با نام تجاری CBRPLUS در شرایط کنترل‌شدهٔ آزمایشگاهی برای تثبیت خاک رس جنگلی استفاده شد. با توجه به ادعای شرکت سازنده، این ماده قابلیت بسیار زیادی در تثبیت رس دارد و قادر به افزایش ظرفیت باربری (حدود ۸۰ درصد) و تا حد زیادی کاهش مصالح درشت‌دانه روسازی است. بنابراین هدف از این پژوهش، آزمون ادعاها در مورد این ماده است. در این پژوهش آزمایش‌های مختلف روی خاک تیمارشده با درصد پیشنهادشده توسط شرکت سازنده (۰/۰۰۹۶ درصد وزنی) و خاک تیمارنشده انجام و نتایج آنها مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

- منطقهٔ مورد بررسی

جنگل آموزشی - پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران در خیرودکنار نوشهر، در حوزه آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال واقع است. این منطقه در عرض ′۲۷ °۳۶ و ′۴۰ °۳۶ شمالی و طول ′۳۲ °۵۱ و ′۴۳ °۵۱ شرقی واقع است و به هشت بخش تفکیک شده است که یکی از بخش‌های آن به نام نم‌خانه بررسی شد.

- مشخصات خاک و مادهٔ مورد استفاده

خاک مورد استفاده در این پژوهش، از حاشیهٔ جادهٔ فرعی در سه کیلومتری بخش نم‌خانهٔ جنگل آموزشی - پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران در نوشهر، تهیه و به آزمایشگاه مکانیک خاک گروه آبیاری دانشگاه تهران منتقل شد. بعد از خشک کردن در هوای آزاد، خاک کاملاً مخلوط و به دو قسمت تقسیم شد؛ یک قسمت خاک شاهد و یک قسمت خاک که با ماده پلیمری تیمار شد و برای آزمایش‌های حدود آتربرگ، تراکم و CBR به‌کار رفت. به‌منظور شناسایی خاک، آزمایش‌های حدود آتربرگ بر اساس استاندارد ASTM-D43218 و دانه‌بندی طبق استاندارد ASTM-D422 انجام گرفت. به‌همین منظور ۵۰۰ گرم خاک بر روی الک نمره ۲۰۰ با آب

شسته شد که تمامی خاک از آن عبور کرد. به‌همین دلیل فقط آزمایش هیدرومتری برای این خاک انجام پذیرفت و طبقه‌بندی این خاک براساس سیستم یونیفاید (USCS) و استاندارد ASTM-D248 صورت گرفت. وزن مخصوص نسبی ذرات جامد نیز بر اساس استاندارد ASTM-D128 تعیین شد. هدف از این آزمایش، تعیین نسبت وزن مخصوص بخش جامد خاک به وزن مخصوص آب است. مشخصات ماده پلیمری (CBRPLUS) مورد استفاده در این پژوهش در جدول۱ نشان داده شده است (CON-AID, 1998).

- روش تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها

از پیش‌شرط‌های عملکرد مناسب مادۀ CBRPLUS وجود دست‌کم ۱۵درصد رس در خاک و همچنین شاخص خمیری بیشتر از ۱۱ است (Abadjieva, 2001) که خاک مورد آزمایش این شرایط را دارا بود. در این پژوهش از درصد پیشنهادشده توسط سازندۀ ماده به‌منظور اصلاح و بهبود خاک استفاده شد. در تهیۀ نمونه‌های خاک تثبیت‌شده، مقدار پیشنهادشده سازندگان ماده (۰/۰۰۹۶درصد وزنی) براساس وزن خشک خاک به نمونه‌ها اضافه و رطوبت نهایی لازم نیز بر پایۀ نتایج آزمایش تراکم استاندارد، با افزودن آب به خاک تأمین شد. نمونه‌های خاک تیمارشده با این ماده آماده و سپس بر اساس استانداردهای موجود آزمایش حدود آتربرگ[1]، آزمایش تراکم[2] و آزمایش CBR خشک[3] به‌منظور تعیین ظرفیت باربری خاک بر روی این نمونه‌ها و شاهد انجام گرفت و سپس نتاج حاصل با یکدیگر مقایسه شد. آزمایش تراکم استاندارد روی نمونۀ اختلاط‌یافته با مادۀ شیمیایی انجام گرفت که مشخص شد اندازه ۲۵ ضربه در هر لایه با انرژی $۵۹۲/۰۵kJ/m^3$ برای تراکم آن کافی نیست. لذا مقدار انرژی به ۳۵ ضربه در لایه افزایش یافت. این آزمایش به‌وسیله چکش استاندارد ۲/۴۹ کیلوگرمی انجام گرفت که با توجه به جنس خاک، خاک در سه لایه با ۳۵ ضربه کوبیده شد تا حداکثر تراکم خاک و رطوبت بهینۀ آن به‌دست آید. به‌منظور انجام آزمایش CBR نمونه‌های مخلوط‌شده با مواد افزودنی، درون قالب CBR با توجه به رطوبت بهینۀ حاصل از نتایج آزمایش تراکم، در سه لایه با ۷۸ ضربه با انرژی $۸۲۹/۷۲kJ/m^3$ تهیه شد و آزمایش CBR انجام گرفت. آزمایش حد روانی نیز با استفاده از مخروط نفوذ[4] اجرا شد. شایان ذکر است که درصد رطوبت مربوط به ۲۰mm نفوذ، درصد رطوبت را در حد روانی نشان می‌دهد.

نتایج

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک تحت آزمایش در جدول ۲ و منحنی دانه‌بندی آن در شکل ۱ ارائه شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، این خاک مطابق سیستم یونیفاید از نوع CH (رس با پلاستیسیته بالا) است. درصد رد شدۀ نمونۀ خاک از الک نمرۀ ۲۰۰، حدود ۱۰۰درصد و درصد ذرات رسی (کوچک‌تر از ۲ میکرون) آن در حدود ۸۵ درصد است.

- تأثیر تثبیت بر خواص خمیرایی خاک

نتایج حاصل از مقایسه آزمایش حد روانی با استفاده از مخروط نفوذ بر روی خاک تیمارشده و شاهد در شکل ۲ و نتایج حاصل از مقایسه حدود آتربرگ بر روی خاک تیمارشده و شاهد در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان‌دهندۀ کاهش ۳/۳۸ درصد در حد روانی، ۰/۹۵درصد در حد خمیری و ۵/۰۴ درصد در شاخص خمیری خاک است. شاخص خمیری با افزودن این ماده کاهش می‌یابد.

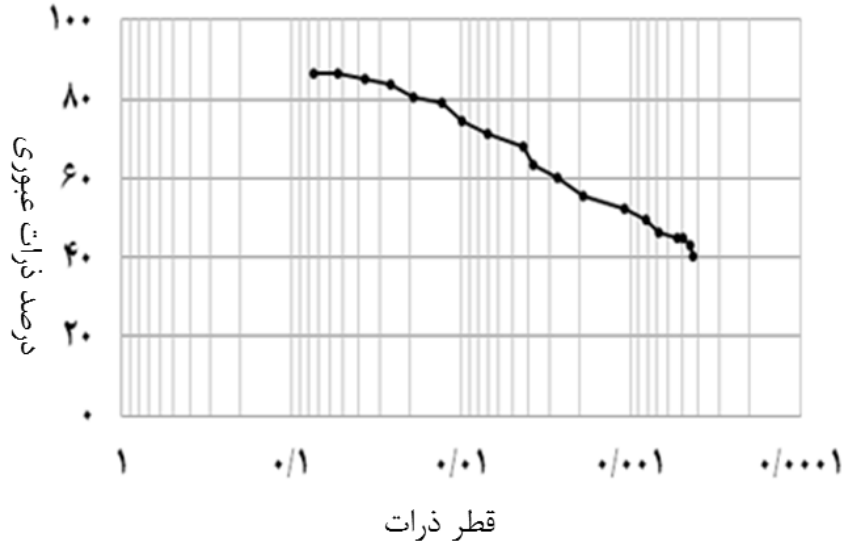
[1] ASTM-D43218
[2] ASTM-D698
[3] ASTM-D1883
[4] Cone Penetrometer

جدول ۱- مشخصات ماده CBRPLUS

فرمول شیمیایی	نام شیمیایی	وزن مولکولی	وزن مخصوص	pH
R^{1}-SO_3H	Sulphonic Acid Derivatives	۳۴۰	۱/۰۵	۳/۱

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های شناسایی خاک

نوع خاک	ماسه (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	Gs ($\frac{gr}{cm^3}$)	حدروانی (٪LL)	حد خمیری (٪ LP)	شاخص خمیری (٪ PI)
CH	۰	۱۵	۸۵	۲/۷۵	۸۹/۱۶	۸۶/۳۶	۵۲/۳۰

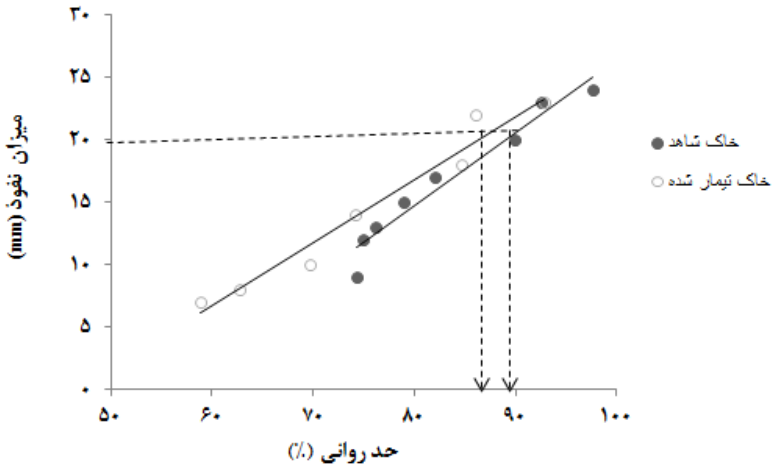


شکل ۱- نمودار دانه‌بندی خاک تحت آزمایش

جدول ۳- نتایج مقایسهٔ حدود آتربرگ خاک تیمارشده و شاهد

حدود آتربرگ	حد روانی (٪)	حد خمیری (٪)	شاخص خمیری (٪)
خاک شاهد	۸۹/۱۶	۳۵	۵۴/۱۶
خاک تیمار شده	۸۶/۲۴	۳۴/۶۷	۵۱/۵۶

[1] Hydrocarbon



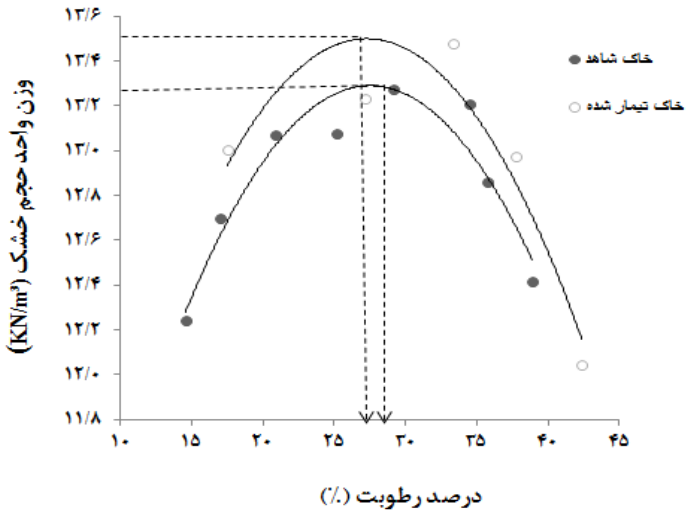
شکل ۲- نتایج حاصل از مقایسهٔ حد روانی بین خاک تیمارشده و شاهد

- تأثیر تثبیت بر مشخصات تراکمی خاک

نتایج آزمایش تراکم خاک تیمارشده و مقایسهٔ آن با نمونهٔ شاهد در یک انرژی تراکمی ثابت در شکل ۳ ارائه شده است. وزن مخصوص خشک بیشینه، قبل از تیمار خاک با ماده در خاک شاهد $13/29 kN/m^3$ و رطوبت بهینه خاک ۲۸ درصد است. وزن مخصوص خشک بیشینه و رطوبت بهینه در خاک تیمارشده به ترتیب $13/50 kN/m^3$ و ۲۷ درصد است (جدول ۴). نتایج نشان داد که اصلاح خاک جنگلی تحت آزمایش با این ماده شیمیایی سبب افزایش ۱/۵درصد وزن مخصوص خشک و کاهش ۳/۷ درصد رطوبت بهینهٔ خاک می‌شود.

- تأثیر تثبیت بر CBR خاک

مقایسهٔ نتایج حاصل از آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا[1] بر روی نمونهٔ خاک تیمارشده با مادهٔ مذکور و خاک شاهد در شکل ۴ ارائه شده است. مقدار CBR برای خاک شاهد ۱۷/۹۹ و برای خاک تیمارشده ۲۲/۴۱ است (جدول ۵). نتایج آزمایش CBR نشان‌دهندهٔ افزایش ۴۱/۹۲ درصد نسبت باربری است.

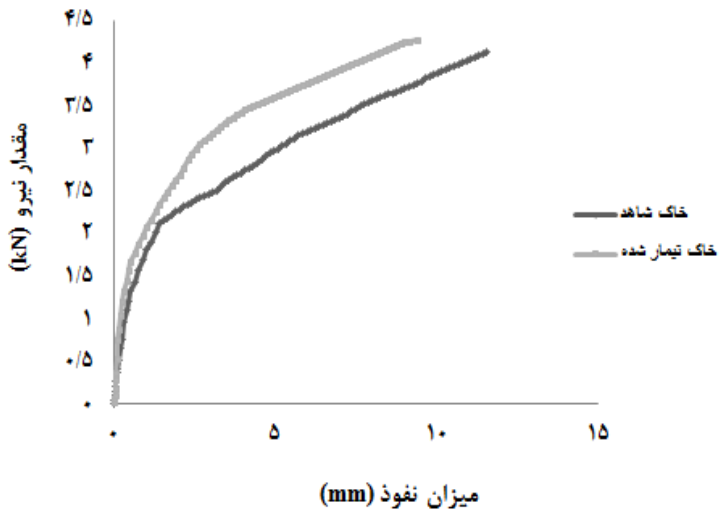


شکل ۳- نمودار حاصل از تراکم خاک تیمارشده و شاهد

[1] CBR

جدول ۴- نتایج مقایسه تراکم خاک تیمارشده و شاهد

تراکم خاک	$\gamma_{dmox}(\frac{kN}{m^3})$	$\%\omega_{opt}$
خاک شاهد	۱۳/۲۹	۲۸
خاک تیمار شده	۱۳/۵۰	۲۷



شکل ۴- نمودار حاصل از آزمایش CBR خاک تیمارشده و شاهد

جدول ۵- نتایج مقایسهٔ نسبت باربری خاک تیمارشده و شاهد

نسبت باربری	۲/۵۴	۵/۰۸
خاک شاهد	۱۷/۹۹	۱۵/۰۳
خاک تیمار شده	۲۲/۴۱	۱۸/۱۱

بحث

اگرچه افزایش مقاومت درازمدت خاک مهم‌ترین هدف تثبیت است، در زمین‌های بسیار مرطوب و سست کاهش خواص خمیری خاک به‌منظور افزایش کارایی ماشین‌آلات راه‌سازی نیز معمولاً یکی از اهداف تثبیت است که این موضوع با اجرای آزمایش‌های حدود آتربرگ بررسی می‌شود (Sherwood, 1993). در این پژوهش آزمایش‌های مختلفی بر روی نمونه‌های خاک تیمارشده با درصد پیشنهادی توسط تولیدکنندهٔ ماده CBRPLUS (۰/۰۰۹۶درصد وزنی) و نمونه‌های خاک تیمارنشده (شاهد) انجام گرفت. نتایج نشان داد که تیمار نمونه‌های خاک با این ماده سبب کاهش شاخص خمیری می‌شود که با نتایج Scholen (1995) و Abadjieva (2001) همخوانی دارد. کاهش خصوصیات خمیری در خاک تیمارشده به‌علت این است که این تثبیت‌کننده به‌عنوان کاتالیزور به فرایند هوازدگی کانی‌های خاص رسی شتاب می‌بخشد و تمرکز آب منفذی را به‌هم می‌زند.

در نتیجه واکنش‌های جانشینی یونی صورت‌گرفته سبب تجمع و یکپارچگی کانی‌های رسی می‌شوند. همان‌گونه که جاذبهٔ قوی‌تری بین کانی‌های رسی ایجاد می‌شود، کاتیون‌های آزادشده از الکترولیت یونی آب منفذی، به‌دلیل اختلاف والانس کاتیونی ایجادشده، سبب فروپاشی کانی‌های رسی و تبدیل آنها به اشکال پایدارتری می‌شوند. در این فرایند لایهٔ دوگانه آب نیز از هر طرف زهکشی می‌شود (بیات، ۱۳۸۵). این ذرات با استفاده از خاصیت نانو اعمال-شده بر روی آنها، به‌شدت آب‌دوست هستند. نانوپلیمر CBRPLUS فقط روی خاک رس موجود در خاک تأثیر می‌گذارد که این تأثیر به‌دلیل کوچک بودن و سطح زیاد رس است. خاک رس بعد از مخلوط شدن با این پلیمر، لایه‌هایی می‌دهد که سبب جذب یون‌های فلزی می‌شود که خود این‌ها مقدار فراوانی آب را جذب می‌کنند (جاذب‌های آب نامیده می‌شوند). این جاذب‌های آب باز هم آب جذب می‌کنند و سبب انبساط خاک رس می‌شوند و مقاومت خود را از دست می‌دهند. جاذب‌های آب به سطح خاک رس پیوند می‌خورند و حتی با حرارت هم جدا نمی‌شوند. این ماده مولکول‌های کمپلکس است و از دو جزء سر و دم تشکیل شده که سر آن آب‌دوست و دم آن آب‌گریز است. این یون‌ها خود را به سطح خاک رس می‌چسبانند که یا آنها را جابه‌جا یا درون یون‌های فلزی قفل می‌کنند و جاذب‌های آب را از بین می‌برند و خاک رس را آب‌گریز می‌نماید و تقریباً اثر روغنی به آن می‌دهند (رادگهر و همکاران، ۱۳۸۸). همچنین نتایج نشان داد که افزودن این ماده سبب کمک به افزایش حداکثر دانسیته خشک می‌شود که با نتایج Abadjieva (2001) مطابقت دارد. به دلیل اینکه ماده CBRPLUS ذرات خاک را به‌هم متصل می‌کند، سبب افزایش وزن مخصوص می‌شود. همزمان با افزودن این ماده، هر کاتیون دیگری مانند آب به‌سادگی از ذرات خاک رس جدا شده و جایگزین می‌شود. همچنین این ماده سبب افزایش ظرفیت باربری و مقاومت می‌شود که این یافته با نتایج Abadjieva (2001) مطابقت دارد. این ماده دارای چسبندگی، فشردگی و قدرت نفوذ پذیری زیاد است که موجب بهبود عملکرد تحمل بار انواع خاک‌های رسی و لایه‌دار می‌شود. این ماده حرکت‌پذیری یون و مبادلهٔ آن را کاهش می‌دهد و همزمان با حذف آب، این مواد را آب‌گریز می‌کند در این حالت خاک رس در برابر آب نسبتاً بی‌اثر شده و تودهٔ خاک پایدار می‌شود. خاصیت آب‌گریزی این ماده سبب افزایش کارایی و به‌هم‌فشردگی بهتر ذرات می‌شود در نتیجه مقدار CBR افزایش می‌یابد. با اینکه این ماده سبب بهبود ویژگی‌های خاک شده است، بهبود در حد انتظار و ادعای شرکت سازنده نبود. در شرایط فعلی و با دوز پیشنهادی این ماده در خاک مورد آزمایش به-هیچ وجه نمی‌تواند جاده را از مصالح درشت‌دانهٔ روسازی بی‌نیاز کند یا مقدار مورد نیاز آنها را تا حد زیادی کاهش دهد. Fairbrother (2011) در یک دسته‌بندی مصالح روسازی جاده‌های جنگلی را از نظر ترافیک‌پذیری به سه دسته ضعیف (CBR<۴۰)، متوسط (۴۰<CBR<۶۰) و خوب (CBR >۶۰) تقسیم می‌کنند. نتایج نشان داد که خاک مورد نظر چه قبل از تثبیت و چه بعد از تثبیت در کلاسهٔ اول و با توان ضعیف از نظر ترافیک‌پذیری است و بنابراین در صورت تردد خساراتی به جاده وارد خواهد شد. بنابراین مادهٔ مزبور با وجود افزایش اندک ترافیک‌پذیری تأثیر معنی‌داری در تثبیت خاک نداشته است. از طرفی هنوز دوام و ماندگاری ماده در مقایسه با مصالح روسازی نیز مشخص نیست، هر چند شرکت سازنده ادعای ماندگاری چند ده‌سالهٔ این ماده را عنوان می‌کند. بنابراین با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته و بهبود اندک خصوصیات خاک، نمی‌توان این ماده را به‌منظور تثبیت (دست‌کم برای خاک مورد آزمایش) جاده‌های جنگلی و به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کاهش ضخامت شن‌ریزی پیشنهاد کرد.

منابع

بیات، آرش. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی تثبیت خاک بستر راه شهداد-نهبندان با استفاده از (آهک، سیمان، ZAM1، ZAM2، RRP)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۹۶ ص.

رادگهر، اسماعیل، علی‌هاشم راضی صحراییان، و محمد محمدی، ۱۳۸۸. تثبیت خاک با استفاده از نانو پلیمرها، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیر ساخت‌ها، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ۱۰۲ ص.

مجنونیان، باریس و رضا صادقی، ۱۳۸۳. تعیین درصد آهک بهینه برای تثبیت و اصلاح خاک جاده های جنگلی سری نم‌خانهٔ جنگل خیرود، مجله منابع طبیعی ایران، دانشگاه تهران، ۵۷ (۴): ۶۶۳-۶۷۳.

Abadjieva, T., 2001. Chemical stabilisation for low cost roads in Botswana, First road transportation technology transfer conference in Africa, Tanzania, 364-369.

CON-AID., 1998. Consumer guidelines for the CON-AID Super. CBR PLUS and CBR classis for the construction of roads, Florida, USA.

Fairbrother, S., 2011. Estimating forest road aggregate strength by measuring fundamental aggregate properties. 34th Council on Forest Engineering, Quebec, 1-9.

Inyang, H.I., S. Bae, G. Mbamalu and S.W. Park, 2007. Aqueous polymer effects on volumetric swelling of Namontrollonite, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(1): 84.

Ingles, O.G. and J.B. Metcalf, 1972. Soil stabilization principles and practice. ButterWorth. Sydney, 374 pp.

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

Liu, J., B. Shi, H. Jiang, S. Bae and H. Huang, 2009. Improvement of water stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers, *Catena*, 77(3): 175-179.

Little, D.N., 1995. Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime. Kendall Hunt Publishing Company, Lowa, 219 pp.

Miller, W.P., R.L. Wilis and G.J. Levy, 1998. Aggregate stabilization in kaolinitic soils by low rates of anionic polyacrylamide, *Soil Use Manage*, 14(2): 105-1001.

Mutaz, E., M.A. Dafalla and M.A. Shamrani, 2011. Stabilization of al- chatt clay shale by using a mixture of lime and cement, *American Society of Civil Engineer*, 81-88.

Petry, T. M. and B. Das, 2001. Evaluation of chemical modifiers/stabilizers for chemically active soils –clays, TRR No. 1757. NRC/NAS, Washington, *The Journal of the Transportation Research Board*, 43-49.

Primusz, P., J. Peterfalvi, M. Koaztka and G. Marko, 2009. Bearing capacity of lime-stabilized soils. Proceedings of the international scientific conference, Forest constructions in the country and their recreational use, Zvolen, October 2008.

Rama Rao, M., A. Sreerama Rao and R. Dayakara Babu, 2008. Efficacy of cement-stabilized fly ash cushion in arresting heave of expansive soils, *Geotechnica Geology Engineering*, 26: 189-197.

Surdah, R.W., J.H. Woll and H.R. Marquez, 1989. Stabilization and dust control at the buenos aires national wildlife refuge, *Transportation Research Record*, 1: 312-321.

Scholen, D.E., 1995. Stabilizer Mechanisms in Nonstandard Stabilizers. Proc.,6th International Conference on Low- Volume Roads, Vol.2.Transportation Research Boars. Washington. D.C. 252-260.

Sirivitmaitrie, C., A. Puppala, V. Chikyala, S. Saride and L. Hoyos, 2008. Combined lime and cement treatment of expansive soils with low to medium soluble sulfate levels, American Society of Civil Engineers, Proceedings of the GeoCongress, New Orleans, Louisiana, 646-653.

Sherwood, P.T., 1993. Soil stabilisation with cement and lime, HMSO Publishing Company, London, 193 pp.

Tingle, J.S., 2003. Emulision polymers for soil stabilization. FAA World Wide Airport Technology Transfer Conference Atlantic City, New Jersey, USA April.

Assesing the capability of polymer stabilizer in forest road stabilization (Case study: Kheyrud forest)

F. Musavi [1], E. Abdi[2*], A.R. Estabragh[3], and B. Majnounian[4]

[1]Forest Engineering Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2] Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3]Assistant Prof., Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran, I. R. Iran
[4] Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 15 September 2012, Accepted: 7 July 2013)

Abstract

Some soils cause many problems to the road because of their undesirable mechanical properties. Several methods have been proposed for improving the mechanical properties of soil and in this study the ability of a polymeric was tested. As the soil of study area is fine-grained texture, with high clay content and plasticity, it's necessary to improve the mechanical properties and stabilize the soil before road construction. Therefore, various laboratory tests including grain size distribution, Atterberg limits, soil compaction and California Bearing Ratio (CBR) were performed on control and treated samples. The results showed that the material decreased the liquid limit and plasticity index and increased the optimum moisture, maximum dry density and bearing capacity. However, the improvements in soil properties, especially increasing the bearing capacity, were not as high as claimed by producer company.

Keywords: Bearing capacity, Forest roads, Mechanical properties of soil, Polymer materials.

* Corresponding author Tel: 02632249312 Email: abdie@ut.ac.ir