DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2012.107242

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۰ شمارهٔ ۲، صفحهٔ ۱۹۳-۱۸۳، (۱۳۹۱)

اندازه‌گیری ظرفیت باربری جاده جنگلی تازه روسازی شده به‌روش صحرایی با استفاده از نفوذسنج دینامیک (DCP)

احسان عبدی[1*]، حمید صوفی مریو[2] و جعفر فتحی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج. پست الکترونیک: abdie@ut.ac.ir
۲- کارشناس مسئول گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
۳- کارشناس جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۳۰

چکیده

جاده‌های جنگلی با وجود هزینه‌بر بودن، به‌عنوان عاملی ضروری برای دسترسی به‌منظور مدیریت منابع جنگلی مطرح هستند. کیفیت این جاده‌ها تا حدود زیادی به نوع مصالح به‌ویژه در روسازی بستگی دارد که گاهی تا ۷۰ درصد هزینه کل را دربرمی‌گیرد. هدف از این مطالعه بکار بردن ابزار نفوذسنج دینامیک (DCP) به‌منظور کنترل و بررسی مقدار ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) در جاده تازه تکمیل شده با استفاده از تثبیت‌کننده یونی در بخش نم‌خانه جنگل خیرود بود. به این‌منظور با استفاده از DCP اقدام به برآورد ظرفیت باربری در رابطه با عمق در ۲۸ نمونه و با پنترومتر مقاومت به نفوذ سطح جاده در محور وسط و کناره‌ها گردید. سپس مقادیر ایندکس نفوذ حاصل از DCP تبدیل به مقادیر CBR گردید. نتایج نشان داد که با وجود استفاده از تثبیت‌کننده، مقاومت قسمت‌های با مصالح رس و مخلوط درشت‌دانه بیشتر از قسمت دارای خاک رس می‌باشد. همچنین بین مقادیر دو ابزار در لایه سطحی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری که مقادیر CBR جاده کمتر از حد انتظار و ناکافی برای عبور ترافیک و در کلاسه ضعیف از نظر ترافیک‌پذیری قرار داشت. با توجه به عدم انجام آزمایش CBR در پروژه جاده‌های جنگلی به دلیل زمان و هزینه‌بر بودن، استفاده از DCP به عنوان ابزاری ساده، کارا، کم هزینه و بدون تخریب برای برآورد CBR عرصه توصیه می‌گردد.

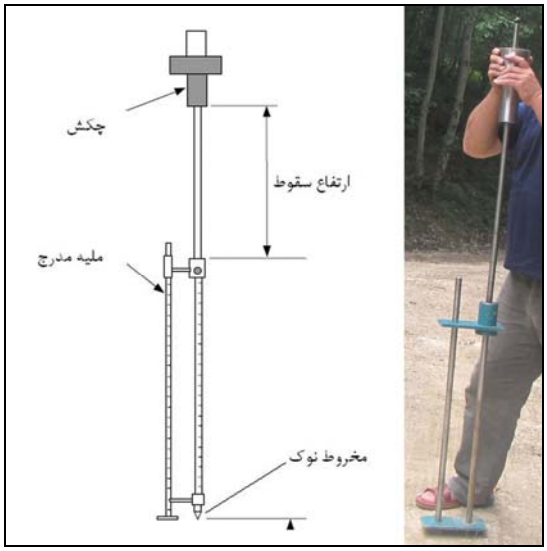
واژه‌های کلیدی: جاده جنگلی، روسازی، CBR، DCP، تثبیت‌کننده یونی.

مقدمه

جاده‌های جنگلی به‌عنوان مهمترین عامل هزینه و نیز دسترسی در مدیریت جنگل شناخته می‌شوند. این زیرساخت‌ها در گذشته تنها از نظر قابلیت خروج چوب در نظر گرفته می‌شدند، ولی امروزه کارکرد چند منظوره دارند. با وجود مزایای فراوان غیرقابل بحث، هزینه‌های بالای ساخت و مسائل زیست‌محیطی از عوامل محدودیت‌ساز توسعه جاده‌ها می‌باشند. کیفیت و دانه‌بندی مصالح جاده جنگلی، نقش مهمی در هزینه و دوام آنها دارد. اگر مصالح مناسب در محل پیدا نشود، برای تهیه و نقل و انتقال مواد به محل پروژه هزینه بالایی باید پرداخت شود. در این مواقع جایگزین‌های دیگر، استفاده از مواد بی‌کیفیت موجود در محل (که باعث کاهش دوام و پایداری جاده می‌شود) و یا تثبیت مصالح محلی با روشهای مختلف می‌باشد که این مورد هم هزینه‌های خاص خود را در پی خواهد داشت. تثبیت‌کننده‌های کلاسیک مانند سیمان و آهک از گذشته‌های دور مطرح و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از تثبیت‌کننده‌های جدید،

می‌توان از پلیمرها و نانوپلیمرها نام برد که استفاده از آنها در مهندسی عمران و ساختمان بسیار متداول است (Kavak *et al*., 2010) ولی در مورد جاده‌ها به‌ویژه جاده‌های جنگلی هنوز کاربرد محدودی دارند. دلیل این مسئله نتیجه نگرفتن از کاربرد در نتیجه اعمال روشهای نامناسب قبل و بعد از تیمار با این مواد (Savege, 2001) و یا ناشناخته بودن این مواد برای جاده‌سازی می‌باشد. به‌دلیل اینکه ادعا شده این مواد نیاز به مخلوط را تا حد زیادی کاهش خواهند داد، تأثیر چشمگیری بر کاهش هزینه‌های روسازی دارند. با افزایش قیمت مخلوط و محدود شدن برداشت از رودخانه‌ها و معادن جنگل، اهمیت این موضوع بیشتر نیز شده است. استفاده از پلیمرها به منظور بهبود ویژگیهای ژئوتکنیکی خاک اجازه استفاده از مواد با کیفیت پایین‌تر در دسترس را می‌دهد که منجر به کاهش نیاز به معادن (منابع قرضه) و در نتیجه کاهش هزینه‌های حمل و نقل و زیست‌محیطی خواهد شد (Kavak *et al*., 2010). از جمله مصالح مسئله‌دار جنگل انواع رس‌ها می‌باشند که مواد پلیمری تأثیر مناسبی بر روی آنها دارند (Savege, 2001). زیادتر بودن درصد رس در این نوع تثبیت عامل مثبتی قلمداد شده و در خاکهایی که رس کمتری دارند نیاز به اضافه کردن رس وجود دارد. متأسفانه در بسیاری از تجربه‌های استفاده از این مواد به‌دلیل استفاده از روشها و تیمارهای نادرست قبل از ساخت و پس از اضافه کردن ماده به خاک، نتایج قابل قبولی حاصل نشده است (Savege, 2001). یکی از مهمترین عوامل موفقیت، زهکشی مناسب جاده می‌باشد (Savege, 2001). مسئله مهم دیگر در مورد جاده‌های جنگلی، شناسایی ویژگیهای مهندسی خاک به‌عنوان مصالح می‌باشد که معمولاً با نمونه‌گیری و انتقال به آزمایشگاه مکانیک خاک انجام می‌شود. ولی تعیین ویژگیهای مصالح با استفاده از داده‌های آزمایشگاه مشکلی اساسی در زمینه استفاده در جاده‌سازی (به‌ویژه طرح روسازی) است. این مشکل دو جنبه دارد: اول اینکه جمع‌آوری و آزمایش نمونه‌هایی که نمایانگر منطقه باشد مشکل است، چون به دلیل تنوع بالای مصالح تعداد زیادی نمونه تصادفی باید جمع‌آوری شود تا نتایج مناسب از نظر آماری حاصل شود. دوم اینکه شبیه‌سازی و کمی‌کردن نمونه‌های دست‌نخورده و شرایط محیط در آزمایشگاه مشکل است (Burnham & Johnson, 1993). این مشکلها در مورد مصالح زیراساس (Sub Base) عینی‌تر است، زیرا از مصالح محیط تشکیل شده‌اند و تنوع بسیار بالایی دارند. در همایش سالانه پژوهش‌های حمل و نقل در سال ۱۹۹۳ دو مقاله (Daleiden *et al*., 1993; Forsyth, 1993) نقص‌های روشهای آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری زیراساس را برجسته نمودند. در این همایش پیشنهاد شد «از آنجا که در علم ژئوتکنیک حرکت از سمت روابط تجربی به سمت روشهای ریاضی و آماری است، بنابراین لازم است ابزارهایی که اطلاعات مورد نیاز در این زمینه را فراهم می‌کنند جستجو شوند که نفوذسنج دینامیک (Dynamic Cone Penetration: DCP) یکی از این ابزارها به‌منظور ارزیابی زیرسازی و روسازی است». این ابزار نسبتاً ساده، ارزان و قابل حمل است و تفسیر نتایج آن پیچیده نیست و به‌سرعت اطلاعات مهندسی اساس (Base)، زیراساس و بستر روسازی (Sub Grade) را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. از جمله کاربردهای آن: بررسیهای مقدماتی خاک، کنترل عملیات ساخت و برآورد عمر مفید روسازی است. با استفاده از این ابزار می‌توان تغییرهای CBR (California Bearing Ratio) (ظرفیت باربری کالیفرنیا) در رابطه با عمق را بررسی و نقاط و قسمت‌های ضعیف را مشخص نمود. در اینجا ذکر این نکته ضروریست که معمولاً در پروژه‌های جاده‌های جنگلی در ایران آزمایش CBR بنا به دلایلی انجام نمی‌شود.

سابقه پژوهش از دو منظر قابل بررسی است: بخش اول مربوط به کاربرد پلیمرها در جاده و بخش دوم سابقه ابزار DCP می‌باشد. اولین بار در سال ۱۹۸۹ پلیمر برای کنترل گرد و غبار جاده به‌کار رفت (Surdahl *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 شده است. با توجه به منابع موجود تاکنون در ایران این مواد در جاده‌های جنگلی مورد استفاده قرار نگرفته است. معمولاً روش استفاده از این مواد به این صورت است که بعد از اتمام زیرسازی و آماده شدن بستر جاده، ماده محلول در آب روی سطح جاده پاشیده می‌شود (بعد از کمی خراش دادن سطح یا اضافه کردن خاک روی سطح). سپس گریدر به‌منظور اختلاط بهتر، خاک را جابه‌جا کرده (ریسه کردن) و سطح را تنظیم و در پایان غلتک عمل تراکم را انجام می‌دهد. تاریخچه DCP هم به قرن ۱۷ و کشور آلمان برمی‌گردد. Kunzel (1936) نفوذسنج سبک، Scala (1956) مدل اولیه DCP و Van Vuuren (1969) ساده و تعدیل‌سازی DCP اولیه را انجام دادند. با معرفی این ابزار به بخش حمل و نقل مینه‌سوتا در سال ۱۹۹۱، این ابزار به صورت جزیی تعدیل و کاربرد بین‌المللی یافت (Burnham & Johnson, 1993). این دستگاه از دو میله اصلی تشکیل شده که یکی مدرج و برای اندازه‌گیری میزان نفوذ و دیگری با ضربه چکش استاندارد در زمین فرو می‌رود. یک چکش ۸ کیلوگرمی از فاصله ۵۷۵ میلی‌متری بر کفشک متصل به میله فرو می‌افتد و مخروط نوک با زاویه ۶۰ درجه در خاک فرو می‌رود. طرح شماتیک در شکل ۱ مشاهده می‌گردد.



شکل ۱- طرح شماتیک دستگاه DCP

با توجه به ضرورت انجام آزمایش‌های CBR، دشواری مدل‌سازی شرایط جنگل در آزمایشگاه و عدم انجام این آزمایش در بیشتر پروژه‌ها، هدف از این پژوهش اندازه‌گیری و کنترل میزان ظرفیت باربری جاده فرعی جنگلی تازه‌ساخت با استفاده از DCP می‌باشد. لازم به‌ذکر است که برای ساخت جاده مذکور از تیمار پلیمر CBR^{+}

بر مبنای قابلیت تثبیت یونی (۰/۰۰۹٦ وزنی) استفاده شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی بخش نم‌خانه از جنگل آموزشی پژوهشی دانشگاه تهران می‌باشد. جاده مورد نظر جاده فرعی جنگلی بوده که عملیات خاکی آن در سال ۱۳۸٤ انجام و عملیات روسازی با استفاده از ماده پلیمری در خردادماه ۱۳۹۰ انجام شد. نوع خاک بر مبنای نتایج Majnonian & Sadeghi (2002) رس با خمیرایی زیاد (CH) و رس با خمیرایی کم (CL) در سیستم یونیفاید می‌باشد که از مشکل‌دارترین خاک‌ها در عملیات جاده‌سازی می‌باشد. البته لازم به یادآوری است که در منابع خاک‌های رسی خاکهای مناسبی برای روش تثبیت یونی ذکر شده‌اند (Savege, 2001). طول جاده فرعی سه کیلومتر می‌باشد.

روش تحقیق

در شاخه مذکور در بیشتر قسمت‌ها قبلاً مصالح (مخلوط) هم ریخته شده بود و فقط در ۲۸۰ متر از طول آن تنها خاک رس وجود داشت. بنابراین شامل دو قسمت از نظر نوع مصالح می‌شد، یک قسمت تنها خاک رس و یک قسمت خاک رس و مخلوط. به دلیل وجود رس فعال، گاهی مخلوط ریخته شده در رس فرو رفته (خورده شده) و از دسترس خارج شده بود. بنابراین تصمیم به استفاده از تثبیت‌کننده یونی گرفته شد.

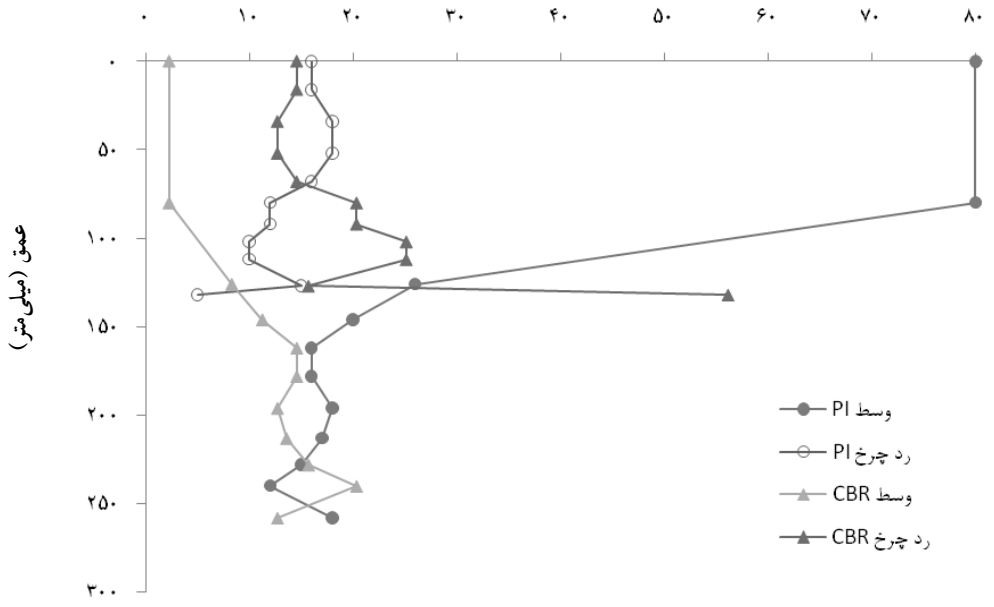
یک ماه بعد از انجام عملیات تثبیت، ۲۸ نمونه (۱٦ نمونه در قسمت دارای مخلوط و ۱۲ نمونه در قسمت با مصالح خاکی) در روی شاخه مورد نظر انتخاب و علامت‌گذاری گردید. در محل هر نمونه دو آزمایش DCP انجام شد (از سطح تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر). یکی در محور وسط و یکی در حاشیه مسیر (Alishahi & Salari, 2009). اکیپ نمونه‌برداری شامل دو نفر که یکی وظیفه بالا بردن چکش و دیگری اندازه‌گیری میزان نفوذ را بر عهده داشتند. بعد از سوارکردن اجزای دستگاه، چکش تا حد ممکن بالا برده و رها می‌شد و میزان نفوذ متناظر اندازه‌گیری و یادداشت می‌گردید. معمولاً برای هر ۵-۲ ضربه، میزان نفوذ اندازه‌گیری می‌گردد ولی در این مطالعه با توجه به مقاومت پایین، میزان نفوذ برای هر ضربه اندازه‌گیری و ثبت گردید. با توجه به داده‌ها، ایندکس یا میزان نفوذ (Penetration Index or Rate) در برابر عمق تعیین و ترسیم گردید. در آزمایش‌های DCP برای هر کیلومتر ٤-۲ و برای هر مقطع حداقل ۸ آزمایش پیشنهاد شده است (Alishahi & Salari, 2009) که در این پژوهش به دلیل اینکه مصالح جاده جنگلی ناهمگن‌تر است تعداد بیشتری نمونه برداشت گردید. به‌منظور تبدیل داده‌های DCP به CBR درجا (In situ CBR) یا عرصه (Field CBR) از رابطه $\log CBR = 2.56-1.16\times \log PR$ استفاده شد (Harison, 1986; Edil & Benson, 2005)، که CBR میزان ظرفیت باربری درجا و PR میزان نفوذ می‌باشد. با وجود اینکه مقدار رطوبت و دانسیته خشک تأثیر زیادی بر مقاومت خاکهای ریزدانه دارند، در این فرمول لحاظ نگردیده‌اند. دلیل این امر این است که ثابت شده این دو فاکتور تأثیر یکسانی بر PI و CBR دارند (Burnham & Johnson, 1993; Forsyth, 1993).

از آنجا که در بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با شبکه جاده برای بررسی مقاومت از پنترومتر استفاده گردیده (Schjnonning & Rasmussen, 1994; Whitman *et al.*, 1997; Fredrickson & Pariona, 2002; Junior *et al.*, 2007; Han *et al.*, 2009; Mac Donagh *et al.*, 2010)، در این پژوهش رابطه مقادیر پنترومتر با DCP نیز مورد توجه قرار گرفت. به این منظور با استفاده از یک دستگاه پنترومتر دستی مقاومت به نفوذ در قسمت با مصالح خاکی

در وسط و کنار جاده (دقیقاً در محل نمونه‌های DCP) بررسی شد. به‌منظور کاهش خطا، به جای یک قرائت در هر نمونه ۵ قرائت برداشت و میانگین آنها به‌عنوان عدد آن نمونه منظور می‌شد (Han *et al*., 2009; Mac Donagh *et al*., 2010). به‌دلیل وجود تکه‌های سنگ و مخلوط امکان برداشت در قسمت دارای مخلوط مقدور نشد. ابتدا میانگین اعداد CBR با استفاده از آزمون t یک نمونه‌ای با اعداد ۸۰ و ٤٠ مقایسه گردید. سپس نتایج آزمون اندرسون دارلینگ نشان داد که مقادیر ظرفیت باربری از توزیع نرمال برخوردار نبوده ($p < 0.005$)، بنابراین با استفاده از آزمون کوریسکال والیس وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر مقاومت باربری نمونه‌های ٤ تیمار (حاشیه مسیر، محور وسط، مصالح خاکی و مصالح مخلوط) بررسی گردیدند. همبستگی و نوع رابطه بین مقاومت به نفوذ (به مگاپاسکال) و میزان CBR با استفاده از آزمون همبستگی بررسی گردید. به‌منظور انجام تحلیلهای آماری از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده گردید.

نتایج

وضعیت تغییرهای ایندکس نفوذ و ظرفیت باربری در رابطه با عمق در حاشیه مسیر و محور وسط برای یکی از نمونه‌ها در شکل ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش عمق میزان ایندکس نفوذ و ظرفیت باربری به‌ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند.



شکل ۲- تغییرات ایندکس نفوذ (PI) و ظرفیت باربری (CBR) در رابطه با عمق

اطلاعات مربوط به شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی کلیه داده‌های ظرفیت باربری در جدول۱ خلاصه شده است.

جدول۱- داده‌های توصیفی مقادیر ظرفیت باربری (CBR) تیمارهای مختلف

تیمار	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	میانه	حداقل	حداکثر	چارک اول	چارک سوم	دامنه تغییرات
محور وسط (خاک)	۱۹/۹٤	۲۲/٦۳	۱۱۳/٤٦	۱٦/۰۲	۱/٥٦	۱٤۹/۹۲	۹/۰۸	۲۲/٦۰	۱٤۸/۳٦
حاشیه مسیر (خاک)	۱۳/۷۳	۱٥/٥۹	۱۱۳/٥۸	۱۰/٤۷	۱/۲۹	۱٤۹/۹۲	٦/۸٥	۱٦/۰۲	۱٤۸/٦۳
محور وسط (مخلوط)	٤۲/٦۸	۲۸/۷۱	٦۷/۲۷	۳۲/۱۸	۱٦/۰۲	۱٤۹/۹۲	۲٥/۱۲	٥٤/۲۲	۱۳۳/۹۰
حاشیه مسیر (مخلوط)	٤۷/۳۹	۲۹/۰۹	٦۱/۳۹	۳۷/۳۲	۱۳/۰۸	۱٤۹/۹۲	۲۸/۲٤	٥٤/۲۲	۱۳٦/۸٤

همانطور که از جدول ۱ پیداست مقادیر ضریب تغییرات (در واقع قابلیت تکرارپذیری (Repeatability)) نشان‌دهنده این است که واریانس‌ها در قسمت رس بیشتر است. دلیل این مسئله می‌تواند از بین رفتن زهکش سطح جاده و تأثیر منفی رطوبت باشد. نتایج آزمون t یک نمونه‌ای نشان داد که میانگین اعداد CBR تفاوت معنی‌دار با اعداد ۸۰ ($p = 0.00$) و ٤۰ ($p = 0.00$) دارد (در مورد علت انتخاب اعداد ٤۰ و ۸۰ به قسمت بحث مراجعه شود) و میانگین CBR جاده پایین‌تر از این اعداد است.

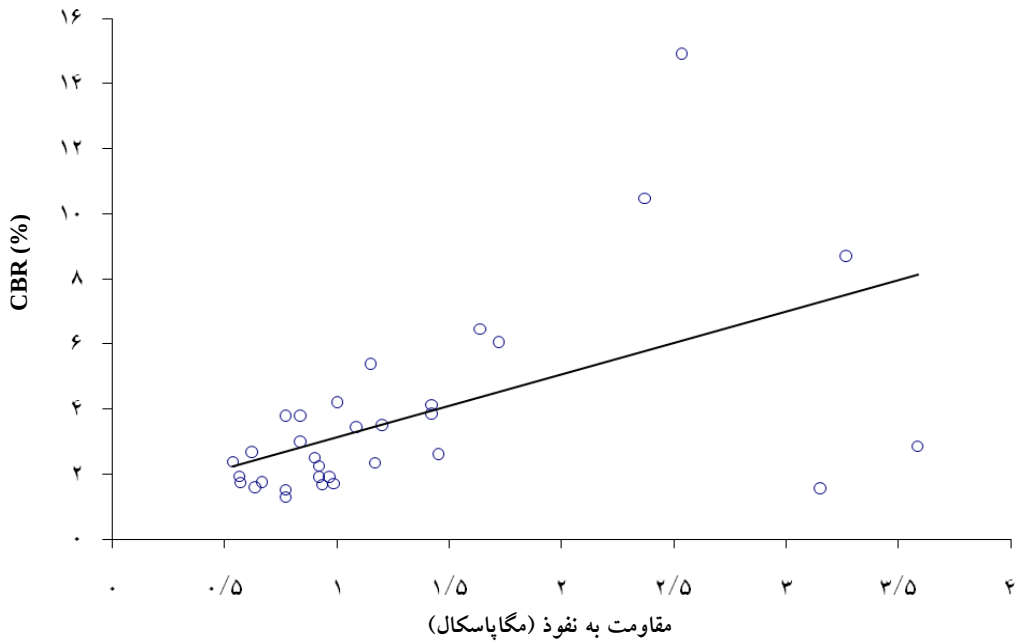
نتایج آزمون کروسکال- والیس (Kruskal-Wallis) نشان داد که با احتمال ۹۹ درصد بین میانگین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود دارد ($p = 0.000$). با توجه به معنی‌دار شدن اثر تیمارها، از آزمون من- ویتنی (Mann-Whitney) به‌منظور مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که تنها نوع مصالح باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار است و بین تیمار محور وسط و حاشیه مسیر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. نتایج مربوط به آزمون من- ویتنی در جدول۲ خلاصه شده است.

جدول۲- نتایج آزمون من- ویتنی برای مقایسه میانگین‌ها

تیمار	تعداد	میانه	گروه‌بندی
محور وسط مصالح خاک	۱٦	۱٦/۰۲	A
حاشیه مسیر مصالح خاک	۱٦	۱۰/٤۷	A
محور وسط مصالح مخلوط	۱۲	۳۲/۱۸	B
حاشیه مسیر مصالح مخلوط	۱۲	۳۷/۳۲	B

نتایج آزمون همبستگی نشان داد که بین مقاومت به نفوذ پنترومتر (PR) و ترافیک‌پذیری (CBR) همبستگی مثبت معنی‌دار (شکل۳) وجود دارد (r=0.845, p=0.000).

نتایج نشان داد که بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین خطای استاندارد برآورد مربوط به مدل خطی می‌باشد ($r = 0.845$, *std. Error of Estimation* = 1.641). نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که مدل خطی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد ($F = 69.73$, $p = 0.00$). نتایج آزمون t استیودنت نشان داد که ضریب ثابت معادله معنی‌دار نبوده ($p = 0.175$) بنابراین معادله‌ای انتخاب شد که از مبدأ مختصات شروع شود (CBR= 5.75 PR که CBR مقدار این شاخص به درصد و PR مقاومت به نفوذ به مگاپاسکال می‌باشد).



شکل۳- ارتباط بین نتایج پنترومتر و DCP

بحث

استفاده از DCP روشی مناسب با در نظر گرفتن هزینه، زمان و قابل حمل بودن می‌باشد که امکان برداشت تعداد بیشتری نمونه نسبت به روش آزمایشگاهی را ممکن می‌سازد (Burnham & Johnson, 1993). همچنین می‌توان مقادیر CBR لایه‌ها و عمق‌های مختلف را به‌صورت پروفیلی پیوسته بررسی نمود (Burnham & Johnson, 1993). از مزایای عمده آن برآورد CBR در شرایط عرصه (که احتمال مدل‌سازی نادرست شرایط رطوبت و دانسیته عرصه در آزمایشگاه را از بین می‌برد) و نیز غیر مخرب بودن (Non destructive) آن است (Herrin & Thompson, 1990). تحلیل نتایج نیز به‌آسانی و به‌سرعت قابل انجام است. با استفاده از نمودار تغییرات ایندکس نفوذ نسبت به عمق می‌توان مقاومت و ضخامت لایه‌های مختلف را بررسی و موقعیت عمقی لایه‌های ضعیف را مشخص نمود. به‌عنوان مثال در شکل ۱ می‌توان مشاهده نمود که ضعیف‌ترین لایه مربوط به عمق ۷۵-۰ میلی‌متر می‌باشد و از آنجا رفته رفته مقدار مقاومت افزایش می‌یابد. با استفاده از این نمودار می‌توان عمقی را که احیاناً نیاز به تثبیت بیشتر دارد و یا در طراحی روسازی ضخامت لایه‌ها را تعیین کرد. نکته مهم اینکه معمولاً در پروژه‌های جاده جنگلی با وجود ضروری بودن، CBR اندازه‌گیری نمی‌شود. از دلایل این امر هزینه و زمان‌بر بودن، مخرب بودن و نسبتاً پیچیده بودن روش آزمایشگاهی است. این مسئله گاهی منجر به صدمه جبران‌ناپذیر به جاده در اثر ترافیک می‌شود، زیرا ممکن است مقاومت جاده ساخته شده کمتر از مقادیر در نظر گرفته شده باشد که آزمایش CBR این مشکل را قبل از عبور ماشین‌آلات نشان خواهد داد. ذکر این نکته ضروریست که استفاده از این ابزار در پروژه‌های دقیق مانند بزرگراه‌ها و باند فرودگاه‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Burnham & Johnson, 1993).

Fairbrother (2011) ارزش مقادیر میانه ترافیک‌پذیری مصالح روسازی جاده جنگلی را ۶۹-۲۷ گزارش کرد، در

صورتی که مقادیر مربوط به این پژوهش ۳۷–۱۰ می‌باشد. Fairbrother *et al*. (2010) خاکهای با CBR کوچکتر از ۳ را کاملاً نامناسب برای جاده‌سازی می‌دانند، در صورتی که در این مطالعه مقادیر کمتر از ۳ نیز مشاهده گردید (حدود ٦٪ داده‌ها). Vedula *et al*. (2005) حداقل CBR زیراساس را ۱۵ می‌دانند، در صورتی که حدود ٤٠٪ داده‌ها کمتر از این مقدار می‌باشند. ذکر این نکته ضروریست که انتظار می‌رفت با تثبیت پلیمری لایه‌های موجود نقش روسازی را بازی کنند و احتیاجی به اضافه کردن مخلوط نباشد. نتایج نشان داد که میانگین داده‌ها با عدد ۸۰ و ٤٠ تفاوت معنی‌دار داشته و کوچکتر می‌باشد. انتخاب عدد ۸۰ به این دلیل بود که شرکت تهیه‌کننده ادعا کرده بود بعد از تیمار، میزان CBR همه قسمت‌ها بیشتر از ۸۰ خواهد شد. حاصل نشدن نتایج دلخواه می‌تواند دو دلیل داشته باشد. اول اینکه نحوه بکار بردن تیمار و عملیات بعد از تیمار نامناسب بوده یا اینکه این پلیمر مورد استفاده تأثیر زیادی در تثبیت نخواهد داشت. البته قابل ذکر است که هدف اصلی این پژوهش پرداختن به تأثیر این پلیمر نبوده بلکه بررسی قابلیت DCP در برآورد و پیش‌بینی ترافیک‌پذیری بود. دلیل در نظر گرفتن عدد ٤٠ نیز کلاسه‌بندی Fairbrother (2011) بود. وی در یک تقسیم‌بندی مصالح روسازی جاده‌های جنگلی را از نظر ترافیک‌پذیری به سه دسته ضعیف (CBR<٤٠)، متوسط (٤٠<CBR<٦٠) و خوب (CBR>٦٠) تقسیم نمود. نتایج نشان داد که جاده مورد نظر در کلاسه اول و با توان ضعیف از نظر ترافیک‌پذیری می‌باشد و بنابراین در صورت تردد خسارت‌هایی به جاده وارد خواهد شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌دار بین نتایج دو ابزار وجود دارد با این تفاوت که DCP قادر به برداشت در عمق‌های مختلف (برداشت پروفیل ترافیک‌پذیری) بوده ولی پنترومتر به صورت نقطه‌ای قادر به برداشت داده‌ها می‌باشد. داده‌برداری از عمق‌های بیشتر با پنترومتر نیازمند تخریب و برداشت لایه‌های رویی می‌باشد. بنابراین با استفاده از پنترومتر می‌توان تنها اطلاع از سطح جاده بدست آورد (با فرض عدم تخریب).

با توجه به نتایج کسب شده، هزینه نسبتاً پایین ساخت دستگاه DCP، سهولت کاربرد و تفسیر نتایج و قابلیت استفاده توسط کارشناس جنگل، این ابزار می‌تواند در جاده‌های جنگلی تازه‌ساخت و قبل از عبور ماشین‌آلات قابلیت جاده از نظر ترافیک‌پذیری را کنترل و سپس در صورت تأیید اجازه عبور ماشین‌آلات داده شود. از طرف دیگر به دلیل اجرای عملیات ساخت جاده‌ها توسط پیمانکاران، ارائه روشی برای کنترل رعایت شدن استانداردهای ساخت ضروری به نظر می‌رسد که این ابزار می‌تواند در این مورد راهگشا باشد و بدین‌ترتیب جای خالی آزمایش CBR به‌عنوان یک آزمایش ضروری در پروژه‌های جاده جنگلی پُر خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروریست، با وجود اینکه در این پژوهش تعداد نمونه بیشتر از استاندارد راه‌سازی عمومی در نظر گرفته شد، هنوز هم مقادیر انحراف از معیار و ضریب تغییرات CBR نسبتاً زیاد بوده و به همین دلیل پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی تعداد بیشتری نمونه برداشت گردد.

منابع مورد استفاده

References

- Alishahi, K.E. and Salari, S., 2009. DCP test and its relationships with CBR. 14th national conference on civil engineering, Semnan University, 6 p.
- Burnham, T. and Johnson, D., 1993. In situ foundation characterization using the Dynamic Cone Penetrometer. Final Report, Minnesota Department of Transportation, Office of Research Administration, 42 p.
- Daleiden, J., Rauhut, B. and Killingsworth, B., 1993. Evaluation of the AASHTO Flexible Pavement Design Equation Utilizing the SHRP LTF'P Data. Presented at Transportation Research Board 72nd Annual Meeting, Jan., Washington DC., Paper No. 931171, 7 p.
- Edil, T.B. and Benson, C.H., 2005. Investigation of the DCP and SSG as Alternative Methods to Determine Subgrade Stability. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Madison, Scientific report no. 0092-01-05, 163 p.
- Fairbrother, S., 2011. Estimating forest road aggregate strength by measuring fundamental aggregate properties. 34th Council on Forest Engineering, Quebec, 9 p.
- Fairbrother, S., McGregor, R. and Aleksandrov, I., 2010. Development of a Correlation Equation between Clegg Impact Values and California Bearing Ratio for In-Field Strength Assessment of Forest Road Subgrades. 33th annual meeting of the council on forest engineering: Fueling the future, 7 p.
- Forsyth, R., 1993. The Case for Reliability in Pavement Design. Presented at Transportation Research Board 72nd Annual Meeting, Jan., 1993, Paper No. 9331005, 8 p.
- Fredrickson, T.S. and Pariona, W., 2002. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. Forest Ecology and Management, 171: 223-230.
- Han, S.K., Han, H.S., Page Dumroese, D.S. and Johnson, L.R., 2009. Soil compaction associated with cut to length and whole tree harvesting of coniferous forest. Can. J. For. Res., 39: 976-989.
- Harison, J.A., 1986. Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer strength measurement of soils. Australian Road Research**,** 16 (2): 130-136.
- Herrin, S. and Thompson, M., 1990. Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Airfield Pavement Engineering. Presented at 1990 International Air Transportation Conference, ASCE Air Transport Division, Seattle, 12 p.
- Inyang, H.I., Bae, S., Mbamalu, G. and Park, S.W., 2007. Aqueous polymer effects on volumetric swelling of Namontrollonite. J. Mate. Civil Eng., 19 (1): 84-90.
- Junior, M.S.D., Fonseca, S., Junior, C.F.A. and Silva, A.R., 2007. Soil compaction due to forest harvesting operations. Pesq. Agropec. Bras., Brasilia, 4 (2): 257-264.
- Kavak, A., Bilgen, G. and Mutman, U., 2010. In-situ modification of a road material using a special polymer. Scientific Research and Essays, 5 (7): 2547-2555.
- Kunzel, W., 1936. Prufstab: A Standard Penetration Testing Tool. German Road Research, 13 (4): 285-294.
- Liu, J., Shi, B., Jiang, H., Bae, S. and Huang, H., 2009. Improvement of water stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. Catena, 77: 175-179.
- MacDonagh, P., Rivero, L., Garibaldi, J., Alvez, M., Cortez, P. and Marek, M., 2010. Effects of selective harvesting on traffic pattern and soil compaction in a subtropical forest in Guarani, Misiones, Argentine. Sci. For. Piracicaba, 38 (8): 115-124.
- Majnounian, B. and Sadeghi, R., 2005. Determination of Optimum Lime Percent Content for Forest Road Soils Stabilization and Treatment in Namkhaneh District of Kheiroodkenar Research Forest. Iranian Journal of Natural Resources, 57 (4): 663-673.
- Miller, W.P., Willis, R.L. and Levy, G.J., 1998. Aggregate stabilization in kaolinitic soils by low rates of anionic polyacrylamide. Soil Use Manage., 14 (2): 1001-1005.
- Savage, P.F., 2001. Rural road betterment: consideration when using CBR plus and/or con-aid materials. First Road Transportation Technology Transfer Conference in Africa. Tanzania: 378-390.

- Scala, A.J., 1956. Simple method of flexible pavement design using cone penetrometers. Proceedings of the 2nd Australian and New Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Zealand Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering: Christchurch: 73-83.
- Schjnonning, P. and Rasmussen, K.J., 1994. Danish experiments on subsoil compaction by vehicle with high axle load. Soil and Tillage Research, 29(2–3): 215–227.
- Surdahl, R.W., Woll, J.H. and Marquez H.R., 1989. Stabilization and dust control at the Buenos Aires National Wildlife Refuge. Transportation Research Record, 1: 312-321.
- Van Vuuren, D.J., 1969. Rapid Determination of CBR With the Portable Dynamic Cone Penetrometer. The Rhodesian Engineer, 7 (5): 852-854.
- Vedula. M., Nath, P. and Chandrashekar, B., 2005. A critical review of innovative rural road construction techniques and their impacts. Civil Engineering Seminar, India, 9 p.
- Whitman, A.A., Brokaw, N.V.L. and Hagan, J.M., 1997. Forest damage caused by selection logging of mahagony (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. Forest Ecology and Management, 92: 87-96.

Measuring the *in situ* California Bearing Ratio of a new constructed forest road using DCP

E. Abdi [1*], H. Soofi Mariv [2] and J. Fathi [3]

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: abdie@ut.ac.ir
2- Expert, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Expert, Kheyrudkenar Educational and Research Forest, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Noshahr, Iran

Abstract

Despite the cost of forest roads, they are essential infrastructure to provide access for resource management. The quality of roads pavement depends largely on the material used, particularly type of pavement that sometimes includes up to 70% of total cost. The purpose of this study was to use the DCP for CBR assessment of a newly completed road segment. Therefore, a DCP and a penetrometer were used to assess penetration resistance. Then penetration index of DCP was converted to field CBR. The results showed that bearing ratio of sections with clay material (which treated with Ionic stabilizer) was significantly lower than sections with clay and gravel material. There is a significant positive correlation between values of DCP and penetrometer. CBR values of the investigated road were less than expected and improper for passing traffic, which road destruction and wheel rut caused by traffic pass at the end of summer, confirms the achieved result. Regarding the lack of CBR tests in forest road projects due to its cost-time consuming and road surface destruction, using DCP as a simple, efficient and non destructive tool is suggested for estimating field CBR.

Key words: forest road, pavement, CBR, DCP, ionic stabilizer.