

ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی و مقاومت مخلوط رودخانه‌ای و معدن برای روسازی و شن‌ریزی مجدد جاده‌های جنگلی

احسان عبدی^{۱*} و فاطمه موسوی^۲

^۱دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
^۲دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۶)

چکیده

به‌طور معمول به‌دلیل محدودیت‌های بودجه و مصالح مورد نیاز برای روسازی یا شن‌ریزی مجدد از مصالح موجود در رودخانه‌های محلی یا معدن برای عملیات روسازی و تعمیر استفاده می‌شود. قبل از استفاده از این مصالح، آزمایش‌های مکانیک خاک به‌منظور تعیین قابلیت‌های فنی این مصالح برای روسازی ضروری است، اما متأسفانه در طرح‌های جنگلداری ایران، به‌طور معمول مطالعات مکانیک خاک انجام نمی‌شود، که سبب ظهور نشانه‌های تخریب روسازی می‌شود. به همین منظور در این مطالعه، بر روی دو نوع مخلوط شنی رودخانه‌ای و معدن تهیه‌شده از جنگل خیرود، آزمایش‌های مختلف مکانیک خاک انجام گرفت و نتایج با استانداردها مقایسه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که از لحاظ دانه‌بندی، مخلوط رودخانه‌ای در قسمت‌های بیشتری از منحنی دانه‌بندی به استانداردهای موجود نزدیک‌تر است. مخلوط معدن، ریزدانه بیشتری از استاندارد و مخلوط رودخانه‌ای ریزدانه کمتری از استاندارد داشتند. نتایج آزمایش لس‌آنجلس برای مصالح رودخانه‌ای و معدن به ترتیب ۲۳/۰۹ و ۲۹/۳۸ درصد و میزان شکستگی برای مصالح رودخانه‌ای و معدن به ترتیب ۶۳/۲۶ و ۹۴/۷۳ به‌دست آمد که با استانداردها مطابقت داشت. نتایج آزمایش تراکم برای هر دو نمونه نسبت به استانداردهای موجود مطابقت نداشت و نتایج آزمایش CBR برای مخلوط رودخانه‌ای و معدن به ترتیب برابر ۱۳/۲۱ و ۱۱/۷۹ شد که حاکی از توان ضعیف هر دو نوع مخلوط از نظر ترافیک‌پذیری است. با توجه به بودجه در دسترس می‌توان با اقداماتی از قبیل اصلاح دانه‌بندی یا تثبیت، معایب مخلوط را رفع کرد و در صورت اصلاح نکردن، باید منتظر تبعات و خسارت به جاده بود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش سایش لس‌آنجلس، تراکم، درصد شکستگی، مخلوط رویه، CBR.

مقدمه

بیش از اندازه در خاک در اثر بارگذاری، باید از شدت تنش‌های فشاری قائم روی خاک کاسته شود که این عمل با قرار دادن لایه یا لایه‌هایی از مصالح مرغوب و با مقاومت بیشتر بر روی خاک انجام می‌گیرد. جنس و ضخامت این لایه یا لایه‌ها که به روسازی معروف هستند، باید طوری باشد که ضمن کاهش شدت تنش‌های فشاری قائم به میزان قابل تحمل خاک

به‌طور معمول خاک‌های ریزدانه در حالت طبیعی مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارد در اثر ترافیک را ندارند (Fertal, 1994) و بارگذاری روی این گونه خاک‌ها موجب شکست برشی خاک و در نتیجه تغییر شکل‌های بیش از اندازه می‌شود (Bowles, 1992). برای جلوگیری از شکست برشی و تغییر شکل‌های

تأمین کرد، باید مطالعات مکانیک خاک و تعیین ویژگی‌های مصالح ساختمانی مورد نظر، برای روسازی صورت گیرد تا میزان تناسب مشخصات فنی مصالح و اهداف مشخص شود و در صورت کیفیت ضعیف، راهکار مناسب مانند افزایش ضخامت لایه مخلوط یا اصلاح مکانیکی ارائه شود. شایان ذکر است که هزینه‌های مربوط به این مطالعات، بخش بسیار کوچکی از هزینه‌های جاده‌سازی را تشکیل می‌دهد، درحالی‌که صرفه‌جویی‌های حاصل از نتیجه این تحقیقات، خیلی زیاد و تعیین‌کننده است.

به‌طور کلی به‌منظور روسازی جاده‌های جنگلی باید از مصالح درشت‌دانه دارای مواد چسبنده کم استفاده شود، که این مصالح به‌طور معمول به‌صورت شن و ماسه طبیعی از بستر رودخانه‌ها یا از معدن به‌دست می‌آید. این مصالح قبل از استفاده باید نمونه‌برداری شده و از نظر قابلیت‌های مکانیکی برای روسازی، شن‌ریزی مجدد و لکه‌گیری آزمایش شوند تا اطمینان حاصل شود که مشخصات لازم برای استفاده در روسازی جاده را دارند. حداقل مشخصاتی که برای بررسی مصالح پیشنهاد شده‌اند، شامل دانه‌بندی، خواص خمیری، درصد شکستگی، مقاومت در برابر سایش و ظرفیت باربری است (Fairbrother, 2009). در ایران نیز استانداردها برای مصالح جاده‌های شن‌ریزی مشخص شده است (Tabatabaei, 2006) ولی در منابع، پژوهشی که ویژگی‌های مخلوط جاده را بررسی کرده باشد دیده نشد. دانه‌بندی مصالح شنی مهم‌ترین ویژگی خاک و از عواملی است که بر دیگر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند توزیع خلل و فرج (Kazi & Al-Mansour, 1980)، نگهداری آب و قابلیت هدایت الکتریکی خاک (Arya & Paris 1981; Theyse, 2002; Prosperini & Perugini, 2008; Taskiran, 2010) و همچنین مقاومت و قدرت باربری خاک و حساسیت به تورم (Ballivy & Dayre, 1984; Barksdale, 1989; Paige-Green, 2007; Fairbrother, 2011) تأثیرگذار است. در منابع

بستر روسازی، خود نیز قادر به تحمل بارهای وارد بر آن باشد (Lee et al., 2003).

در شرایط حاضر که گاه مصالح با منشأهای متفاوت (مثلاً چند معدن مختلف یا رودخانه و معدن) در اختیار پیمانکاران ساخت قرار دارد و اکثر کارهای جاده‌سازی نیز به کمک ماشین‌آلات صورت می‌گیرد، بسته به امکانات واحدهای جنگلداری می‌توان روش مناسبی را برای احداث جاده‌های جنگلی و روسازی جاده انتخاب و برحسب مورد از انواع مصالح استفاده کرد (Fairbrother, 2009). این نکته نیز شایان توجه است که علاوه بر مسائل فنی، محدودیت‌های اقتصادی نیز در تهیه و انتخاب مواد و مصالح ساختمانی برای روسازی جاده‌های جنگلی دارای اهمیت زیادی است. به همین دلیل به‌طور معمول استفاده از مصالح با کیفیت مناسب و دارای دانه‌بندی استاندارد حاصل از سنگ‌شکن‌ها که در ساختن راه‌های مواصلاتی متداول است در جنگل مقدور نیست. این موضوع به‌ویژه در جنگل‌های شمال ایران که به‌طور معمول بستر از خاک ریزدانه تشکیل شده و نمی‌توان از خاک منطقه به‌عنوان ماده ساختمانی مناسب برای روسازی جاده استفاده کرد، اهمیت بسیار زیادی دارد. به‌طور کلی در جاده‌های جنگلی هزینه روسازی قسمت عمده‌ای از هزینه‌ها را شامل می‌شود که گاه حتی تا ۶۰ درصد هزینه کل جاده‌سازی است (Fairbrother, 2009)؛ بنابراین مشکل هزینه از عوامل محدودیت‌ساز توسعه جاده‌ها و نیز شن‌ریزی مجدد در عملیات تعمیر محسوب می‌شود. در برخی موارد نیز به‌منظور صرفه‌جویی در هزینه‌ها و با توجه به محدودیت‌های شدید بودجه در عملیات ساخت و به‌ویژه تعمیر، تا حد ممکن به مصالح محلی اکتفا می‌شود و حمل‌ونقل مصالح در فواصل دور به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. از طرفی کیفیت و دانه‌بندی مصالح جاده جنگلی، نقش مهمی در هزینه و دوام آنها دارد (Fairbrother, 2009). طبیعی است برای اینکه بتوان با حداقل هزینه، حداکثر مقاومت را برای رویه جاده

یکی دیگر از عوامل اساسی برای انتخاب مصالح روسازی در جاده‌سازی مقاومت سایشی مصالح است که با وجود اهمیت بسیار در جاده‌سازی، کمتر مطالعه شده است. سایش به پاسخ شن نسبت به عوامل مخرب فیزیکی گفته می‌شود و مقیاسی برای سنجش کیفیت مکانیکی مصالح مورد استفاده در جاده از نظر دوام تحت تأثیر تنش حاصل از بارگذاری ماشین‌ها (به‌ویژه کامیون‌ها در جاده‌های جنگلی) است. محققان به‌منظور بررسی سایش سنگ در آزمایشگاه روش‌های متنوعی را ارائه کرده‌اند که برخی کاربرد عمومی پیدا کرده و برخی دیگر در کشوری خاص یا در مراکزی محدود استفاده شده‌اند. در این بین، آزمایش لس‌آنجلس کاربرد وسیعی یافته و به‌عنوان استاندارد ASTM پذیرفته شده است، به‌طوری‌که بیش از ۹۴ درصد از ایالت‌های آمریکا از این روش استفاده می‌کنند (Wu et al., 1998). شواهد نشان می‌دهد که ارتباط نزدیکی بین مقاومت مصالح سنگی و افت سایشی آنها در دستگاه لس‌آنجلس وجود دارد. از تبعات انجام ندادن این آزمایش، خرد شدن مصالح پس از چند عبور کامیون در صورت کم بودن مقاومت سایشی است که پیامد آن افزایش درصد ریزدانه مخلوط و کاهش شدید ظرفیت باربری در جاده‌های جنگلی است. از آنجا که به‌طور معمول در جاده‌سازی و عملیات تعمیر رویه، محدودیت‌های بودجه اجازه استفاده از مخلوط‌های با استاندارد سنگ‌شکن‌ها را نمی‌دهد و سنگ‌شکن‌های متحرک نیز کمتر در دسترس است، مجری مجبور به استفاده از مصالح محلی با منشأ رودخانه یا معدن است. بنابراین ممکن است این مصالح فاصله زیادی با استانداردهای تعریف‌شده داشته باشند. آزمایش‌های مکانیک خاک در مورد مصالح، علاوه بر نشان دادن ایرادها و کاستی‌ها، امکان انتخاب از بین چند منبع احتمالی را فراهم می‌کند. بعد از مشخص شدن ایرادها نیز ممکن است بتوان با ایجاد تغییراتی در مخلوط، ویژگی‌های مکانیکی را بهبود بخشید که البته عملی بودن آن را

مختلفی استانداردهای منحنی دانه‌بندی مخلوط جاده جنگلی نیز پیشنهاد شده است (Hudec, 1983). یکی از مشخصات مهم دیگر مصالح مورد استفاده در روسازی جاده، ظرفیت باربری این مصالح است. نوع مصالح و ویژگی‌های خمیری بخش ریزدانه مصالح شنی فاکتورهای مهم تأثیرگذار بر ویژگی‌های روسازی هستند (Black, 1962; Agarwal & Ghanekar, 1970;) (Pienkos, 1997; Arnold, 2007; Taskiran, 2010) و اثر زیادی بر مقاومت مصالح دارند. در خیلی از کشورها ظرفیت باربری مصالح استفاده‌شده برای روسازی جاده به‌عنوان اولویت بررسی می‌شود و مقدار CBR از ویژگی‌های اساسی به‌منظور بررسی مصالح مورد استفاده در روسازی جاده و طرح روسازی است (Black, 1962; Agarwal & Ghanekar, 1970;) (Kamal et al., 2006; Taskiran, 2010) و مطالعات زیادی نیز در زمینه بررسی مقاومت مصالح مورد استفاده برای روسازی با استفاده از آزمایش‌های مختلف برای تعیین مواد نامناسب برای ساخت، صورت گرفته است (Agarwal & Ghanekar, 1970;) (Barksdale, 1989; Trzcinski & Kaczmarzyk, 2006; Paige-Green, 2007; Taskiran, 2010). در ایران تاکنون مطالعه‌ای در مورد ظرفیت باربری مخلوط جاده جنگلی انجام نگرفته و تنها ظرفیت باربری بستر جاده جنگلی بررسی شده است (Abdi et al., 2012). یکی دیگر از مشخصات مصالح که شناخت آن دارای اهمیت است، مقدار تراکم مصالح استفاده‌شده است. Bowles (1992) به این نتیجه رسید که اختلاف در رطوبت بهینه و تراکم تأثیر چشمگیری در پتانسیل مقاومتی مصالح روسازی خاک دارد. Theyse (2002) عملکرد مصالح دانه‌ای در جنوب آفریقا را با تمرکز ویژه بر پیش‌بینی تغییر شکل پایدار بر مصالح لایه‌ای بررسی کرد و به این نتیجه رسید که بیشترین فاکتورهای تأثیرگذار بر مقاومت مصالح، وزن واحد حجم خشک بیشینه خاک مصالح و رطوبت بهینه هستند.

آزمایش دانه‌بندی

در این مطالعه آزمایش دانه‌بندی مخلوط رودخانه و معدن براساس استاندارد ASTM- D422 انجام گرفت. به همین منظور برای هر نمونه آزمایش دانه‌بندی به تفکیک انجام و سپس میانگین آنها به‌عنوان منحنی دانه‌بندی این مصالح قرار داده شد. برای تعیین دانه‌بندی مطلوب مصالح شنی نیز از رابطه فولر استفاده شد (رابطه ۱) (طباطبایی، ۱۳۸۷) و منحنی دانه‌بندی فولر به‌عنوان استاندارد رسم و منحنی‌های دانه‌بندی مصالح رودخانه‌ای و معدن با آن مقایسه شد.

$$P_i = 100 \left(\frac{d_i}{D}\right)^n \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، D اندازه بزرگ‌ترین الک، d_i اندازه الک P_i ، درصد عبوری از الک μm و n برابر ۰/۵ خواهند بود (Tabatabaei, 2006).

به‌منظور ارزیابی منحنی دانه‌بندی نیز از ضرایب یکنواختی (رابطه ۲) و دانه‌بندی (خمیدگی) (رابطه ۳) استفاده شد.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، C_U ضریب یکنواختی، D_{60} ، اندازه‌ای که ۶۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن کوچک‌تر است و D_{10} ، اندازه‌ای که ۱۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن کوچک‌تر است.

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad \text{رابطه ۳}$$

که C_C ، ضریب انحنا یا دانه‌بندی و D_{30} ، اندازه‌ای است که ۳۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن کوچک‌تر است (Ebnejalal & Shafai Bejesta, 2011)

آزمایش حدود آتربرگ

با توجه به نبود بخش ریزدانه در مخلوط رودخانه‌ای این آزمایش فقط بر روی مخلوط معدن

میزان بودجه تعیین می‌کند. در ایران و در طرح‌های جنگلداری با وجود ضروری بودن، به‌طور معمول مطالعات مکانیک خاک در زمینه مصالح شنی انجام نمی‌شود، که سبب خسارت‌ها و اشکالاتی در جاده می‌شود. بنابراین این مطالعه در نظر دارد آزمایش‌های لازم را بر روی دو نوع مخلوط شنی رودخانه‌ای و معدن انجام دهد و داده‌ها را با استانداردها مقایسه و نقاط ضعف را مشخص کند.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود در شهرستان نوشهر، در حوضه آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال واقع است. این منطقه در عرض $27^{\circ} 36'$ و $40^{\circ} 36'$ شمالی و طول $51^{\circ} 32'$ و $51^{\circ} 43'$ قرار گرفته و به هشت بخش تفکیک شده است. نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه از مخلوط‌های دپوشده در کنار جاده به‌منظور استفاده در عملیات تعمیر رویه جمع‌آوری شدند. پنج نمونه از مخلوط رودخانه و شش نمونه از معدن کوهی هر یک به وزن حدود ۲۰ کیلوگرم تهیه و به آزمایشگاه مکانیک خاک مهندسی جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. مخلوط رودخانه‌ای از بستر رودخانه خیرودکنار برداشت شد. مخلوط معدن مربوط به دیواره‌ای در حاشیه جاده جنگلی (پارسل ۳۰۶ بخش گرازبن جنگل خیرود) بود که در زمان ساخت جاده‌های گرازبن به‌عنوان معدن انتخاب و از دهه ۱۳۷۰ برداشت از آن آغاز شد که تاکنون نیز ادامه یافته است.

روش پژوهش

آزمایش‌ها شامل دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تراکم پراکتور، CBR، سایش لس‌آنجلس و درصد شکستگی بودند (Kamal et al., 2006; Fairbrother, 2009; Taskiran, 2010).

روش برای تعیین مقاومت سایشی یا سختی سنگدانه‌ها، آزمایش لس آنجلس است که در این مطالعه سختی مصالح شنی با اجرای آزمایش سایش لس آنجلس مطابق استاندارد ASTM-C131 و با استفاده از دستگاه لس آنجلس (شکل ۱) تعیین شد (ASTM, 2006).



شکل ۱- دستگاه لس آنجلس

آزمایش تعیین درصد شکستگی

میزان شکستگی مصالح شنی با آزمایش تعیین درصد شکستگی به دست می‌آید. در این آزمایش، ابتدا با الک کردن قسمت درشت‌دانه مصالح شنی (بخشی که از الک شماره ۴ رد نمی‌شود) از کل نمونه، یک کیلوگرم از مصالح، جدا شده و سپس تک‌تک دانه‌ها بررسی و تعداد وجه‌های شکسته آنها تعیین می‌شود. درصد شکستگی دانه‌ها از تقسیم وزن دانه‌هایی که یک وجه شکسته دارند، به کل وزن دانه‌ها به دست می‌آید (Road General Technical Specification, 2013).

نتایج

نتایج آزمایش دانه‌بندی مخلوط معدن و رودخانه‌ای در مقایسه با منحنی دانه‌بندی فولر (بهترین حالت قابل دستیابی یا استاندارد) به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. نتایج آزمایش دانه‌بندی مخلوط معدن نشان می‌دهد که مقدار

صورت گرفت. به همین منظور بر روی شش نمونه مصالح معدن کوهی آزمایش شد و در نهایت میانگین آنها در نظر گرفته شد. حد روانی خاک در این مطالعه براساس استاندارد ASTM-D423 و با استفاده از دستگاه کازاگرانده و حد خمیری و شاخص خمیری خاک نیز براساس استاندارد ASTM D424 مشخص شد و طبقه‌بندی خاک نیز براساس استاندارد ASTM D2487 به روش یونیفاید انجام گرفت (ASTM, 2004).

آزمایش تراکم

به منظور به دست آوردن پارامترهای تراکمی خاک، آزمایش استاندارد پراکتور مطابق استاندارد ASTM-D698-12 انجام گرفت (ASTM, 2004). هدف از آزمایش تراکم در این مطالعه، به دست آوردن پارامتر رطوبت بهینه و حداکثر وزن خشک خاک جهت استفاده در آزمایش CBR بود.

آزمایش CBR

در این مطالعه آزمایش CBR مطابق استاندارد ASTM-D1883 بر روی نمونه‌های مخلوط رودخانه‌ای و معدن در درصد رطوبت بهینه حاصل از آزمایش تراکم انجام گرفت (ASTM, 2004).

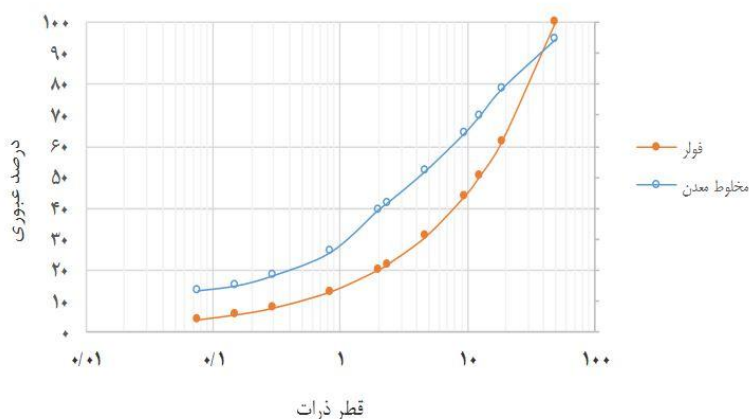
آزمایش سایش لس آنجلس

به طور کلی مصالح استفاده شده در روسازی جاده باید در برابر وزن وسایل نقلیه سنگین و همچنین وزن غلتک‌ها مقاومت کافی داشته باشد و نباید در اثر تنش‌های ناشی از آن شکسته و خرد شود (Larson et al., 1971; Rogers et al., 1980; Kahraman, 2007). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مکانیکی سنگ که به طور معمول در آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف از جمله ایران، نیوزیلند و آمریکا به آن اشاره شده مقاومت سایشی آن است که همان‌طور که اشاره شد، با استفاده از آزمایش لس آنجلس تعیین می‌شود. به عبارتی متداول‌ترین

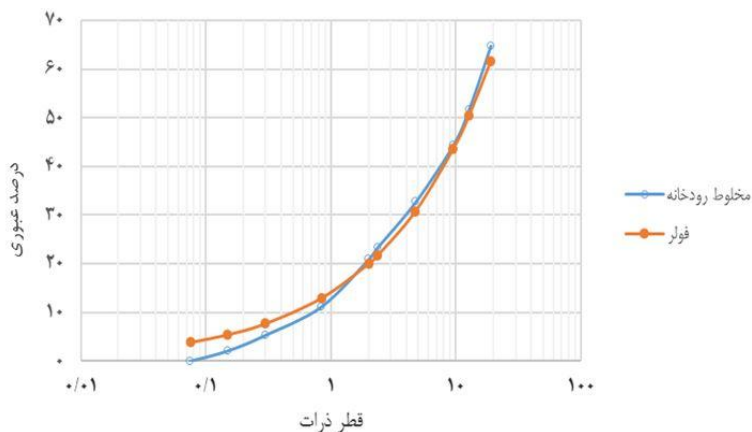
است (ابن جلال و شفافی بجستان، ۱۳۹۰)، بنابراین محاسبات تنها بر روی منحنی دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای انجام گرفت. نتایج نشان داد که ضریب یکنواختی و دانه‌بندی برای مخلوط رودخانه‌ای به ترتیب $1.8/3.3$ و $1/0.2$ است که نشان‌دهنده دامنه تغییرات وسیع اندازه ذرات بین D_{60} و D_{10} است و از آنجا که ضریب دانه‌بندی این مخلوط نیز نزدیک ۱ است، منحنی دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای خوب ارزیابی شد؛ البته ضعف کمبود ریزدانه در آن به قوت خود باقی است. شایان ذکر است که مطابق طبقه‌بندی یونیفاید مخلوط رودخانه و معدن به ترتیب در طبقات شن با دانه‌بندی خوب (GW) و شن رسی (GC) دسته‌بندی شدند که از نظر نوع مصالح مرغوبی تلقی می‌شود.

ریزدانه بیش از مقدار استاندارد است و چون منحنی بالاتر از منحنی استاندارد قرار گرفته، در هر قطر، درصد عبوری نیز بیش از استاندارد و در واقع مخلوط ریزتر است. نتایج آزمایش دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای نیز نشان می‌دهد که این منحنی با منحنی دانه‌بندی فولر مطابقت خوبی دارد، به جز در قسمت قطرهای کمتر از ۱ میلی‌متر که منحنی رودخانه پایین‌تر از فولر قرار گرفت که به معنای کمتر بودن درصد عبوری آن قطرها از حد استاندارد است.

به منظور ارزیابی منحنی دانه‌بندی نیز ضرایب یکنواختی و دانه‌بندی یا اتحنا، محاسبه شد. با توجه به اینکه این ضرایب، برای خاک‌هایی که بیش از ۱۰ درصد وزن آنها از الک شماره ۲۰۰ می‌گذرد بی‌معنی



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی مخلوط معدن

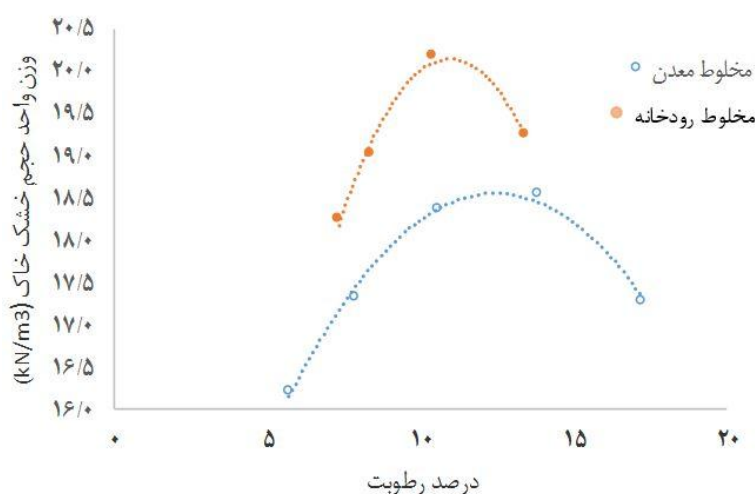


شکل ۳- منحنی دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای

۶ درصد است.

نتایج آزمایش تراکم مخلوط رودخانه‌ای و معدن در شکل ۴ نشان داده شده است که مطابق آن، وزن واحد حجم بیشینه و درصد رطوبت بهینه مصالح رودخانه‌ای به ترتیب ۲۰/۲ کیلونیوتن بر مترمکعب و ۱۱ درصد و برای مصالح معدن ۱۸/۶ کیلونیوتن بر مترمکعب و ۱۲/۵ درصد است.

همان‌طور که در قسمت مواد و روش نیز بیان شد، آزمایش حدود آتربرگ به علت نداشتن بخش ریزدانه مخلوط رودخانه‌ای تنها بر روی مخلوط معدن صورت گرفت و به علت نبود مصالح ریزدانه رسی در مخلوط رودخانه‌ای، این مصالح دانه‌ای یا غیرخمیری محسوب می‌شوند. نتایج آزمایش حدود آتربرگ بر روی مخلوط معدن نشان داد که میانگین حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیری برای این مصالح به ترتیب ۳۳، ۲۷ و

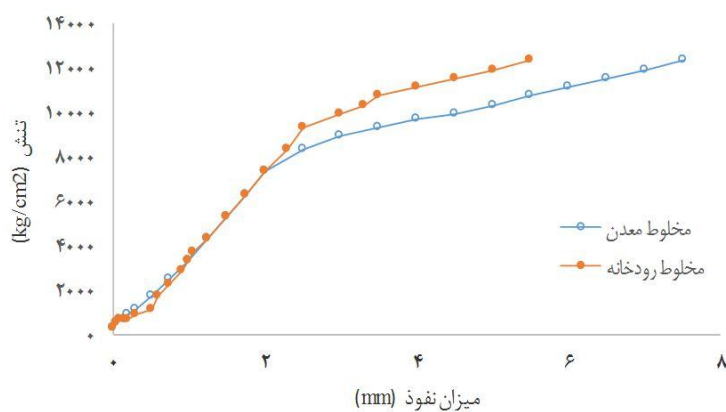


شکل ۴- نتایج آزمایش تراکم مخلوط معدن و رودخانه

همان‌طور که بیان شد سختی مصالح مورد استفاده برای روسازی جاده با آزمایش لس آنجلس تعیین می‌شود. در این مطالعه درصد ساییدگی مصالح برای مخلوط رودخانه‌ای و معدن به ترتیب ۲۳/۰۹ و ۲۹/۳۸ درصد به دست آمد. در شکل ۶ نمونه‌های تحت آزمایش لس آنجلس در این مطالعه مشاهده می‌شود.

همچنین نتایج آزمایش درصد شکستگی نیز نشان داد که این میزان برای مصالح رودخانه‌ای ۶۳/۲۶ درصد و برای مخلوط معدن ۹۴/۷۳ درصد است.

نتایج آزمایش CBR در شکل ۵ و جدول ۱ نشان داده شده است. این نکته شایان توجه است که در محاسبه CBR، به طور معمول عدد CBR مربوط به نفوذ ۲/۵ میلی‌متر و ۵ میلی‌متر را محاسبه می‌کنند و عدد مربوط به نفوذ ۲/۵ میلی‌متر نشان‌دهنده CBR خاک مورد نظر است. چنانچه برای CBR مربوط به نفوذ ۵ میلی‌متر عدد بزرگ‌تری به دست آمد آزمایش باید تکرار شود و اگر دوباره بزرگ‌تر بود، آن عدد را به عنوان عدد CBR خاک در نظر می‌گیرند که در این مطالعه عدد مربوط به نفوذ ۲/۵ میلی‌متر بیشتر از ۵ میلی‌متر بود و عدد CBR مربوط به این نفوذ در نظر گرفته شد.



شکل ۵- نتایج آزمایش CBR

جدول ۱- نتایج آزمایش CBR

میزان نفوذ	۲/۵۴	۵/۰۸
مخلوط معدن	۱۱/۷۹	۹/۸۱
مخلوط رودخانه	۱۳/۲۱	۱۱/۳۳



ب) مخلوط معدن قبل از آزمایش

الف) مخلوط معدن بعد از آزمایش



د) مخلوط رودخانه قبل از آزمایش

ج) مخلوط رودخانه بعد از آزمایش

شکل ۶- نمونه‌های مخلوط بعد و قبل از آزمایش لس آنجلس

بحث

همان طور که در قسمت نتایج نیز بیان شد با توجه به منحنی دانه‌بندی، مقدار ریزدانه مخلوط معادن بیش از مقدار استاندارد است. بنابراین مخلوط معدن حساس به یخبندان (در صورت وجود در منطقه) و دارای پتانسیل تورم خواهد بود و در این حالت مقاومت مصالح بر اتکای دانه‌های درشت بر یکدیگر استوار است (Tabatabaei, 2006). نتایج آزمایش دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای نیز نشان داد که این منحنی به جز در قسمت قطره‌های کمتر از ۱ میلی‌متر، منطبق بر منحنی استاندارد است. در قسمت قطره‌های کمتر از ۱ میلی‌متر، منحنی رودخانه پایین‌تر از استاندارد قرار گرفت که به معنای کمتر بودن درصد عبوری آن قطرها از حد استاندارد است. در نتیجه چسبندگی کافی نیز بین مصالح وجود نخواهد داشت و احتمال پدید آمدن ایرادهای شل شدن مصالح شنی^۱ و کرم‌شدگی^۲ بعد از شن‌ریزی زیاد خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در این حالت نیز مانند حالت قبل مقاومت مصالح بر اتکای دانه‌های درشت بر یکدیگر استوار است و مقدار آن به اصطکاک بین دانه‌ها بستگی دارد. از طرف دیگر، مقاومت این مصالح بدون مواد ریزدانه عملاً به مقدار رطوبت آن‌ها بستگی ندارد (Tabatabaei, 2006). به‌عنوان راهکار در این بخش، می‌توان دانه‌بندی موجود مصالح را اصلاح کرد. به همین منظور می‌توان به مخلوط رودخانه‌ای با توجه به منحنی دانه‌بندی و حد کمبود ریزدانه‌ها، مصالح ریزدانه اضافه کرد.

مقایسه نتایج حدود آت‌برگ مخلوط معدن با استانداردهای موجود نشان داد که این نتایج، با توجه به مقادیر حد روانی و شاخص خمیری مندرج در نشریه ۱۰۱ برنامه و بودجه که به ترتیب نباید از ۳۵ و ۹-۴ درصد بیشتر شود، در محدوده مجاز قرار دارند (Road General Technical Specification, 2013).

به‌طور کلی خواص خمیری بخش ریزدانه مصالح، تأثیر زیادی بر مقاومت مصالح مصرفی دارد و هر اندازه مصالحی خمیری‌تر باشد، حد روانی و دامنه خمیری آن بیشتر است. بنابراین نباید مصالحی که در لایه‌های مختلف روسازی به‌کار می‌رود بیش از حد مجاز خمیری باشد، زیرا هرچه دامنه خمیری مصالح بیشتر باشد مقاومت مصالح کمتر خواهد شد (Black, 1962; Agarwal & Ghanekar, 1970; Pienkos, 1997; Arnold, 2007; Taskiran, 2010).

با توجه به اینکه محدوده مجاز وزن واحد حجم خشک بیشینه خاک مطابق آیین‌نامه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای خاک GW و GC به ترتیب ۲۵-۲۹ و ۲۴-۲۹ کیلونیوتن بر مترمکعب است (Iran Highway Asphalt Paving, 2011)، مقادیر به‌دست‌آمده برای هر دو نمونه در محدوده مجاز قرار ندارد. از طرفی مطابق آیین‌نامه سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، محدوده مجاز میزان CBR برای خاک‌های GW و GC به ترتیب ۶۰ تا ۸۰ و ۲۰ تا ۴۰ است (Iran Highway Asphalt Paving, 2011) و Fairbrother (2011) نیز در یک دسته‌بندی مصالح روسازی جاده‌های جنگلی را از نظر ترافیک‌پذیری به سه دسته ضعیف ($CBR < 40$)، متوسط ($40 < CBR < 60$) و خوب ($CBR > 60$) تقسیم کرد که نتایج نشان داد نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه از نظر ترافیک‌پذیری، توان کمی دارند و بنابراین در صورت تردد خسارت خواهند دید. از طرف دیگر مطابق آیین‌نامه سازمان برنامه و بودجه، میزان CBR در محدوده ۷ تا ۲۰ دارای کیفیت متوسط است (مشخصات فنی عمومی راه، ۱۳۷۳) که بنابراین مصالح مورد استفاده در این مطالعه کیفیت متوسطی دارند؛ بنابراین با توجه به نتایج، به‌منظور بهبود ظرفیت باربری، در صورت امکان باید ضخامت لایه شن‌ریزی یا شن‌ریزی مجدد را بیشتر در نظر گرفت تا کمبود ظرفیت باربری جبران شود.

براساس مشخصات فنی عمومی راه مندرج در

¹ Loose gravel

² Ravelling

مصالح با دانه‌های گردگوشه دارند. براساس آیین‌نامه سازمان برنامه و بودجه باید بیش از ۵۰ درصد وزنی مصالح لایه اساس که روی الک شماره ۴ باقی می‌ماند، لاقفل در یک جبهه شکسته باشد (Road General Technical Specification, 2013) که با توجه به نتایج به دست آمده، درصد شکستگی نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه با این استاندارد مطابقت داشت.

با توجه به نتایج ذکر شده، دو نوع مخلوط بررسی شده از برخی جنبه‌ها در محدوده مجاز قرار داشتند (مانند شکستگی و سایش) و از برخی جنبه‌ها (مانند دانه‌بندی، تراکم) در محدوده مجاز نبودند؛ ولی در حالت مقایسه‌ای مخلوط رودخانه‌ای شرایط بهتری نسبت به مخلوط معدن از نظر تراکم، CBR، و ساییدگی داشت. مخلوط معدن تنها از جنبه شکستگی برتر بود. بنابراین اگر بتوان با اضافه کردن مقداری ریزدانه به مخلوط رودخانه‌ای کمبود ریزدانه‌های آن را برطرف کرد، نسبت به مخلوط معدن گزینه بهتری خواهد بود. شایان ذکر است که این نتیجه‌گیری مربوط به مخلوط‌های منطقه تحقیق است و بدون اجرای آزمایش‌های لازم به دیگر مناطق تعمیم‌پذیر نخواهد بود. به طور کلی با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود به منظور بهبود ویژگی‌های مکانیکی مصالح روسازی جاده، تغییراتی از قبیل اصلاح دانه‌بندی (با توجه به منحنی دانه‌بندی و کمبودها نسبت به استاندارد)، افزایش ضخامت لایه شن‌ریزی یا تثبیت بستر راه با مواد مناسب صورت گیرد. نادیده گرفتن این موضوع، خسارت به جاده و هزینه‌های سنگین تعمیر رویه جاده را در پی خواهد داشت.

نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه (Road General Technical Specification, 2013) و اشتو (AASHTO Guide, 1993) مقدار افت مجاز در آزمایش لس‌آنجلس ۵۰ درصد است که با توجه به نتایج این آزمایش، مقادیر به دست آمده برای مخلوط رودخانه و معدن در محدوده مجاز قرار می‌گیرد و در نتیجه دوام مورد انتظار را خواهند داشت. این نتایج در مقایسه با معیار (Lutton & Erickson, 1992) که مقدار مجاز افت سایش را کمتر از ۲۵ و با معیار (Kamphuis, 1991) که مقدار مجاز افت سایش را کمتر از ۴۵ معرفی کرده نیز در وضعیت مناسبی قرار دارند. بنابراین مصالح مورد استفاده در این مطالعه مقاومت کافی را در برابر تنش‌های موجود دارند و به سرعت خرد نمی‌شوند. با توجه به اینکه هرچه سختی دانه‌های مصالح شنی بیشتر باشد، خرد و ساییده شدن آن کمتر خواهد بود، بدیهی است که هرچه این درصد بیشتر باشد، مصالح ضعیف‌تر و مقاومت سایشی آن کمتر خواهد بود. گرچه این آزمایش برای تعیین مقاومت سایشی دانه‌های سنگی است، اما به نظر می‌رسد که مقاومت سایشی ارتباط نزدیکی با سایر خصوصیات مقاومتی سنگ به ویژه شکست ذرات داشته باشد. سنگ‌هایی که زود ساییده می‌شوند، در صورتی که در جاده مصرف شوند، عمر کوتاهی خواهند داشت. مقادیر افت وزنی کمتر از ۱۰ درصد برای راه‌هایی که عمر طولانی برای آنها در نظر گرفته می‌شود (Taskiran, 2010) بسیار مناسب است، که با توجه به نتایج این مطالعه، مصالح مورد استفاده در این محدوده قرار نمی‌گیرند. نتایج آزمایش درصد شکستگی نیز نشان داد که دانه‌های مصالح شنی معدن، گوشه‌های تیز و سطح ناصاف دارند و از این نظر بهتر در یکدیگر قفل می‌شوند و اصطکاک داخلی بیشتری نسبت به

References

- Abdi, E., Soofi Mariv, H., & Fathi, J. (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), 183-195.
- Agarwal, K. B., & Ghanekar, K. D. (1970). Prediction of CBR from plasticity characteristics of soil. In *Proceeding of 2nd South-east Asian Conference on Soil Engineering*, Singapore. June (pp. 11-15).
- American Association of State Highway, & Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO
- Arnold, G., Werkmeister, S., & Alabaster, D. (2007). *The effect of grading on the performance of basecourse aggregate* (No. 325).
- Arya, L. M., & Paris, J. F. (1981). A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal*, 45(6), 1023-1030.
- ASTM. (2004). *Annual book of ASTM standards*. American Society for Testing and Materials Annual, Philadelphia, PA, USA, 4(04.08).
- ASTM. (2006). *Resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine*. American Society for Testing Materials Annual, Philadelphia, PA, USA, C-131-01.
- Ballivy, G., & Dayre, M. (1984). The mechanical behaviour of aggregates related to physicommechanical properties of rocks. *International Association Engineering Geology Bulletin*, 29(1), 339-342.
- Barksdale, R.D. (1989). Influence of aggregate shape on base behavior, *Transportation Research Record*, 40(5), 76-89.
- Black, W. P. M. (1962). A method of estimating the California bearing ratio of cohesive soils from plasticity data. *Geotechnique*, 12(4), 271-282
- Bowles, J. E. (1992). *Engineering properties of soils and their measurement*. McGraw-Hill, Inc.
- Ebnejalal, R., & Shafai Bejestan, M. (2011). *Theoretical and practical principles of soil mechanics*. Shahid Chamran University Press.
- Fairbrother, S. (2011). Estimating forest road aggregate strength by measuring fundamental aggregate properties. *34th Council on Forest Engineering*, Quebec, Canada.
- Fairbrother, S. (2011). Aggregate Gradation – Getting the Road Surface Right, *New Zealand Journal of Forestry*, 55(4), 11-22.
- Fairbrother, S., Visser, R., & McGregor, R. (2009). Forest Road Pavement Design, *New Zealand Journal of Forestry*, 34(2), 35-54.
- Fertal, D. (1994). Transport intensity in forest hauling Road, *Zaprawy Lesnickeho Vyzkumu*, 2(1), 34-37.
- Hudec, P.P. (1983). Aggregate Tests-Their Relationship and Significance, *Durability of Building Materials*, 1(3), 275-288.
- Kahraman, S., & Fener, M. (2007). Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength. *Materials Letters*, 61(26), 4861-4865.
- Kamal, M.A., Sulehri, M.A. & Hughes, D.A. (2006). Engineering characteristics of road aggregates from northern Pakistan and the development of a toughness index, *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 24(4), 819-831.

- Kamphuis, J. W. (1991). Alongshore sediment transport rate. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(6), 624-640.
- Kazi, A., & Al-Mansour, Z.R. (1980). Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates. *Engineering Geology*, 15(1), 195-203.
- Larson, L. J., Mathiowetz, R. P., & Smith, J. H. (1971). Modification of the Standard Los Angeles Abrasion Test. *Highway Research Record*, 353 (7), 15-24.
- Lee, Y.P.K., Fwa, T.F., & Choo, Y.S. (2003). Skid Resistance Evaluation of Concrete Pavement Surfaces. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5(1), 972-984.
- Lutton, R.J., & Erickson, R.L. (1992). Problems with armor-stone quality on Lakes Michigan. *American Society for Civil Engineers*, 3(1), 115-136.
- Office of Deputy for Strategic Supervision Department of Technical Affairs, (2013). *Road General Technical Specification* (NO. 101).
- Paige-Green, P. (2007). Durability testing of basic crystalline rocks and specification for use as road base aggregate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66(4), 431-440.
- Pienkos, K. (1997). The role of relations between the ground and water in the forest engineering management. *Sylvan journal*, 3(1), 91-100.
- Prosperini, N., & Perugini, D. (2008). Particle size distributions of some soils from the Umbria Region (Italy): fractal analysis and numerical modelling. *Geoderma*, 145(4), 185-195.
- Rogers, C. A., Senior, S.A. & Boothe, D. (1989). Development of an Unconfined Freeze-Thaw Test for Coarse Aggregates. *Ontario Ministry of Transportation*, 2(4), 223-235.
- Tabatabaei, A. M. (2006). *Road pavement*. University Publication Center.
- Taskiran, T. (2010). Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine grained soils by AI methods. *Advances in Engineering Software*, 41(6), 886-892.
- Theyse, H.L. (2002). Stiffness, strength, and performance of unbound aggregate material: application of South African HVS and laboratory results to California flexible pavements. *Pavement Research Centre*, 24(3), 426-438.
- Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision. (2011). *Iran Highway Asphalt Paving Code Number 234*.
- Wu, Y., Parker, F., & Kandhal, K. (1998). Aggregate Toughness/Abrasion Resistance and Durability/Soundness Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements. *Report National Center for Asphalt Technology*, 1(2), 23-34.



Evaluation of mechanical properties and strength of river and mine aggregate for pavement and maintenance of forest roads

E. Abdi*¹ and F. Mousavi²

¹Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

²Phd Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 02 March 2016, Accepted: 06 August 2016)

Abstract

The difference between subgrade and expected bearing capacity is compensated with pavement. Usually, due to budget constraints, local aggregate material is used for road construction and maintenance activities. Before using these materials, conducting mechanical tests is necessary, but unfortunately, these tests are neglected in forest management plans which may cause future problems for the road. In this study, mechanical tests were conducted on two source aggregate samples and the results were compared with standard values. The results showed that river gravel was better matched with standard particle size distribution but had low fine-grained particles than standard. Also the uniformity coefficient and coefficient of gradation for riverine mix represent a wide range of particle size and size distribution between D10 and D60. The results of Los Angeles tests for riverine and mine mix were 29.38 and 23.09%, respectively and broken face content was for riverine and mine mix was 94.73 and 63.26% respectively. The results showed that abrasion and broken face content were in the standard range but maximum dry density and CBR were lower than standard. Regarding available budget, some modifications like particle distribution modification or stabilization could resolve the disadvantages of the aggregate. If improvement measurements are neglected, the consequences and damages to the road will be expected, a phenomenon that many roads have due to lack of knowledge about the properties of used aggregate material.

Keywords: CBR, Density, Los Angeles abrasion test, Percentage of fractured particles, Surfacing aggregate.

