



## بررسی مشخصات مکانیکی رویه‌های رنگی حاوی اکسیدهای فلزی

هامون فتحی<sup>1\*</sup>، کیانوش فردین طلا<sup>2</sup>، سینا حسینی<sup>2</sup> و سعید امیری<sup>3</sup>

<sup>1</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران

<sup>2</sup> کارشناس، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران

<sup>3</sup> دانشجو، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران

fathi@sau.ac.ir

**چکیده:** رنگ در مصالح موجب ایجاد تنوع ظاهری و افزایش توان معماری در اجرای سازه می‌گردد. هدف از طراحی مصالح رنگی، ایجاد نما و ظاهری متنوع با حفظ مشخصات مکانیکی مصالح است. در این تحقیق به بررسی مشخصات رویه‌های رنگی آسفالتی و بتنی پرداخته می‌شود. برای بررسی رفتار رویه‌های رنگی از افزودنی‌های مختلفی (اکسید آهن، اکسید کروم) استفاده گردید. اکسید فلزی با نسبت ۰،۲۵٪، ۰،۵٪ و ۰،۷۵٪ وزنی به قیر و سیمان افزوده شده و ۸۰ نمونه با ابعاد ۲۰×۱۰×۲ سانتیمتری تهیه گردید. نمونه‌ها در سن ۷ روزه تحت آزمایشات خمش سه نقطه و لوس‌انجلس قرار گرفتند. نتایج برای تعیین مقاومت رویه و همچنین تاثیر یخ زدگی در دماهای ۲۳ و ۱۸- مورد مقایسه قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که درصد اکسید آهن دو و سه ظرفیتی در هر دو نوع رویه آسفالتی و بتنی مقاومت خمشی و فشاری را افزایش می‌دهد. همچنین آزمایش لوس‌انجلس نشان می‌دهد که افزودن اکسید آهن موجب تردتر شدن رفتار رویه‌ها می‌گردد. البته افزودن هرچه بیشتر نسبت اکسیدهای فلزی، تردی مصالح رویه آسفالتی و بتنی را به همراه دارد. تغییر شکل در رویه‌های آسفالتی و بتنی نشان می‌دهد که کرنش ماکزیمم با افزایش مقدار پودر فلز افزایش داشته و این افزایش با در نظر گرفتن تغییرات موجود در لنگر ماکزیمم، رابطه خطی ایجاد می‌کند. تاثیر کاهش دما به صورتی است که از مقدار شدت تغییرات می‌کاهد. البته تاثیر کاهش دما بر رویه‌های آسفالتی بیشتر از رویه‌های بتنی است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار تغییر شکل در مرکز رویه آسفالتی بسیار وابسته به تغییرات دما بوده و تا حدود ۵۰٪ از تغییر شکل‌ها در رویه بدون پودر فلز روی می‌دهد. افزودن پودر فلز موجب افزایش مقدار ریزدانه در ترکیب مخلوط آسفالتی شده و موجب تغییر مقدار انحنا در مرکز نمونه می‌گردد. البته این تغییرات با کاهش توان تحمل رویه همراه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** رویه‌ی آسفالتی، آسفالت رنگی، اکسید فلز، مقاومت خمشی، مقاومت برشی.

## Mechanical Properties of Colored Pavement Containing Metal Oxides

H. Fathi, K. Fardintala, S. Hossaini and S. Amiri

**Abstract:** The color of materials causes surface varieties leading to increase the architectural power in structure performance. The colored materials create different view keeping mechanical features of the materials. This study aims to investigate the features of asphalt and concrete colored pavement, hence different additives such as iron oxide and chromium oxide are used to analyze the behavior of colored covers. Metal oxides were added to bitumen and cement in the ratios of 25, 50 and 75 wt%, leading to make a total of 70 samples of 20×10×20 cm in dimension. After 7 days curing, samples were tested by three-point bending and Los Angeles methods. The obtained results for pavement strength and freezing effects at -18 0C and -23 0C were carefully analyzed. The findings reveal that the amount of bivalent and trivalent iron oxides added to asphalt and concrete pavements, increases its bending and compressive strengths. Furthermore, the result of Los Angeles experiment shows that the addition of iron oxide, crisps the behavior of covers. Collectively, the more metal oxides are added, the more crisp in asphalt and concrete pavement will be produced.

**Keywords:** Asphalt cover, Colored asphalt, Metal oxide, Bending strength, Shear strength.

## ۱- مقدمه

انسان و طبیعت در دنیایی از رنگ‌ها زندگی می‌کنند. مسیرها، جاده‌ها و گذرگاه‌های عمومی، و گستره‌ای از مناظر شهری و طبیعی را به ما نشان می‌دهند، به یقین روزهایی که زمین زیر پای ما و چرخ‌ها به رنگ‌های خاکستری محدود می‌شد، گذشته است. طراحی مناظر شهری مدرن به دلیل المان‌های طراحی رنگی مطرح شده‌اند، در این میان می‌توان از آسفالت رنگی نام برد، این تکنولوژی کاربردهای فراوانی در صنعت و روسازی دارد. آسفالت رنگی، مناطق و گذرگاه‌های زیادی را می‌تواند با رنگ‌های متنوع خود زیبا ساخته و شدت رنگ‌های قوی و ملایمی را، که می‌تواند با محیط اطراف ما و با رنگ‌هایی که در زندگی ما وجود دارند سازگاری دهد. علاوه بر این آسفالت رنگی فواید دیگری هم دارد که شامل:

دستیابی به اهداف زیست محیطی مانند کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش در مصرف سوخت‌های فسیلی و یا توسعه زیرساخت‌های پایدار است. همچنین با شناخت آسفالت رنگی به عنوان یک عنصر ذخیره سازی انرژی دارای کاربردهای متنوع بسیاری شده است. به این ترتیب، استفاده از آسفالت‌های رنگی بجای آسفالت‌های معمولی که در معرض تابش خورشید هستند می‌تواند راه حل مناسبی برای پایین آوردن درجه حرارت بالای سطح این روسازی‌ها در تابستان باشد [1-2]. برای محدودیت‌های ترافیکی و جدا سازی محل‌های عبور خاص نیز کاربرد فراوانی دارد. محیط زیست شهری که عمدتاً توسط افزایش تراکم روسازی تحت تاثیر موادی با خواص نوری و گرمایی نامناسب قرار گرفته، موجب افزایش حرارت و افزایش آلودگی هوا می‌شود [3-4]. لذا دمای سطح آسفالت در روسازی‌ها، از نخستین موادی است که بر درجه حرارت هوای شهر موثر است. همینطور می‌توان از آسفالت رنگی برای ایجاد تعادل انرژی بین سطح آسفالت و دمای شهر استفاده کرد [5]. Mallick و همکاران [6-7] مطالعات متعددی بر روی نمونه‌های آسفالتی در مقیاس‌های کوچک و بزرگ انجام داده و در این آزمایش با تعبیه شبکه‌های لوله مسی در درون این نوع روسازی‌ها به تجزیه و تحلیل

تاثیر پارامترهای مختلف بر راندمان ذخیره حرارت و ظرفیت ذخیره سازی این سیستم پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که این سیستم موجب کاهش دمای آسفالت در فصل تابستان شده و با ذخیره سازی گرما و انتشار گرمای ذخیره شده زیر روسازی‌ها در فصول سرد سال باعث ذوب شدن یخ و برف در سطح روسازی‌ها می‌گردد. روسازی‌ها (جاده‌ها، فضاهای پارکینگ و غیره) که درصد مهمی از سطح شهرها را پوشش می‌دهند، با ویژگی‌های حرارتی آنها نقش مهمی بر شکل‌گیری جزیره گرمایی شهری ایجاد می‌کنند (به وجود آمدن توده‌های گرمایی با درجه حرارت بالا در ارتفاعاتی از شهر را جزیره گرمایی گویند). سطوح هموار به جذب حرارت نور خورشید کمک می‌کند.

این امر می‌تواند حرارت را زیرسطح این روسازی‌ها ذخیره کرده و آنها را در شب بصورت گرما منتشر کند [8]. یکی از استراتژی‌های کاهش خطرات جزیره گرمایی که توسط محققان پیشنهاد شده، استفاده از مواد سرد است. (آسفالت سرد ترکیبی از رنگ‌های لاتکس و آکرلیک و روغن‌های رزین و خشک شونده و ترکیبات لاستیکی است) لذا استفاده از این کار باعث به وجود آمدن بازتاب بالای انرژی و انعکاس نور خورشید می‌گردد. این بازتاب در فصل تابستان نسبتاً بالا است. همچنین آسفالت سرد قابل بازیافت است که یکی از ویژگی‌های مواد سرد نیز محسوب می‌شود [9-10]. محققان و تولید کنندگان، در حال توسعه مواد سرد رنگی جایگزین در آسفالت‌های معمولی بر روی پوشش سطحی روسازی‌ها هستند. در آسفالت‌های معمولی بروز مشکلات بازتاب نور از جمله ایجاد رنگ‌های روشن خیره کننده وجود دارد [11-13].

روسازی‌های سرد نشانه‌ای از پدیدار شدن طیف وسیعی از مصالح و مواد استفاده شده در آسفالت‌ها است، که تمایل به ذخیره حرارت کمتر و کاهش دمای سطحی بیشتر نسبت به مصالح معمولی دارد. نحوه عملکردها ممکن برای ایجاد روسازی‌های سرد شامل:

الف) افزایش بازتاب سطحی، که باعث کاهش انرژی گرمایی خورشید در سطح آسفالت می‌شود.

ب) افزایش نفوذ پذیری از طریق تبخیر آب

مثال، تنها 15% از مصالح می‌تواند از نوع رنگی باشد و لازم است که حداقل میزان مصرف سنگدانه شکسته در طرح مخلوط در حدود 90% باشد [22]. از انواع دیگر رویه‌ها می‌توان به رویه‌های بتنی اشاره نمود. رویه‌های بتنی با توجه به دوام و مقاومت دارای کاربردهای مختلفی هستند. در بخشهایی نیز از رویه‌های بتنی به صورت رنگی استفاده می‌گردد. بتن‌های رنگی می‌تواند ناشی از سیمان رنگی، سنگدانه رنگی و یا افزودنی‌هایی همانند میکروسیلیس رنگی باشد. نوع ماده سازنده رنگ و میزان پایداری آن بر روی مشخصات مکانیکی بتن و رویه اثر دارد [23-27]. استفاده از اکسید آهن یکی از روشها برای تغییر رنگ رویه‌ها می‌باشد [24]. بتن‌های خودتراکم رنگی از جمله بتن‌هایی است که در بخش‌های سازه‌ای و رویه‌ها کاربرد دارد [25]. کیفیت و شدت رنگ‌های مورد استفاده با توجه به مواد افزوده شده لازم است با دقت بررسی و کنترل گردد [26]. مقایسه کیفیت و تاثیر افزودن پودرهای اکسید فلزی به رویه‌های آسفالتی و بتنی با توجه به کاربرد آنها از جمله معیارهایی است که در انتخاب مصالح موثر است. لذا در این تحقیق با ساخت نمونه‌های کوچک مقیاس از آسفالت‌های رنگی، به بررسی اثر افزودن مواد با درصد‌ها مختلف در طرح مخلوط آسفالت بر خواص مکانیکی رویه آسفالتی پرداخته می‌شود. مواد افزودنی شامل پودری از اکسید فلزات با درصد‌های مختلف در نمونه به عنوان جایگزین سنگدانه است. شبیه سازی رفتار هیدرولیکی آسفالت با توجه به درصد‌های مختلف ریزدانه با بررسی آزمایش کشش مستقیم و غیر مستقیم (خمش سه محوره) نشان می‌دهد که ریزدانه بودن ملات قیر موجب کاهش دوام هیدرولیکی و افزایش همگنی رفتار در تغییرات دما می‌باشد [28]. جهت مقایسه نتایج و مشخص نمودن تاثیر اکسید فلزی بر روی رویه‌ها، نمونه‌های با ابعاد مشابهی از جنس رویه بتنی تهیه شده و تحت آزمایش خمشی، فشاری و سایش قرار گرفتند. مقاومت سایشی بتن طبق تعریف (ACI201) توانایی مقابله روسازی در برابر سایش و اصطکاک ناشی از تماس چرخ وسایل نقلیه و لغزش بار سنگین و غیره می‌باشد [29]. مقدار تراکم و

ج) ساختار کمپوزیت (ساختار کمپوزیت که می‌تواند تشکیل شده از پودر لاستیک و پلاستیک باشد) برای کاهش صدا و همچنین انتشار حرارت کمتر در شب، توسط آسفالت را موجب می‌شود. افزایش بازتاب نورخورشید، بر سطوح روسازی‌های سرد، دمای سطح روسازی‌ها را پایین تر نگه می‌دارد که با کاهش تبادل دما سطح روسازی‌ها با هوا و کاهش دمای محیط را به همراه دارد. کاهش دمای محیط باعث کاهش تقاضای انرژی‌های خنک کننده می‌گردد و در نتیجه تولید مه دودهای شهری کمتر می‌شود [14]. بخشی از تحقیقات بر روی نوع قیر و مصالح مخلوط شده با قیر صورت می‌گیرد. معمولاً آسفالت رنگی با استفاده از قیر رنگی تهیه می‌شود. یکی از مواد افزودنی به قیر که برای بهبود مشخصات آسفالت به کار می‌رود، گیلسونیت است. این ماده موجب افزایش مقاومت شیارشدگی و کاهش ترک می‌شود [15]. در برخی موارد به آسفالت، زباله افزوده می‌شود. این زباله‌ها تاثیر اندکی بر مشخصات مکانیکی داشته و موجب کاهش آلودگی محیط می‌شود [16].

مصالح ترد و دارای طول نسبتاً زیاد، حساسیت بالایی به شکستن تحت بارهای برشی مانند وزن وسایل نقلیه دارند و این عامل نیاز به اصلاح خواص و طرح اختلاط موجود در آسفالت معمولی را به همراه دارد [17-19]. تعیین تاثیر نسبت و نوع مصالح در مخلوط آسفالت‌های رنگی یک فرایند پیچیده است و این ویژگی‌ها بسته به نوع مصالح شیمیایی و منشأ سنگ‌های آنها متفاوت است. علاوه بر این رفتار رویه آسفالتی وابسته به خواص فیزیکی و کانی شناسی و فرآیند خرد کننده دانه‌ها بستگی دارد [17, 20-21]. در برخی از مطالعات تنها نوع فرآیند شکسته شدن سنگدانه‌ها در نظر گرفته می‌شود. اما انواع این روش‌ها موجب می‌شود تا مفهومی از کل سطح رویه را بتوان به وسیله محدوده بزرگتری از مورفولوژی نمونه اجرا کرد (علمی که به بررسی ساختار و شکل خارجی اجسام می‌پردازد). با توجه به مطالب بالا، برخی از استانداردها از جمله استاندارد شیلی اثر مورفولوژی سنگدانه در اختلاط آسفالت که با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی قابل قبول می‌شمارد. برای

جدول ۱ مشخصات پودر فلز و اکسیدهای فلزی افزوده شده به رویه‌های بتنی و آسفالتی را نشان می‌دهد. این مواد به صورت ذرات ریز با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون به مخلوط اضافه شده‌اند. مصالح سنگر مورد آزمایش بر اساس استاندارد AASHTO2001 دسته‌بندی گردیده است [31].

## ۱-۲ مواد و مصالح

همچنین طرح مخلوط مورد استفاده برای نمونه‌ها دارای دو حالت مختلف بوده و تنها مقدار ماده چسبنده در نمونه‌ها متفاوت می‌باشد. ماده چسبنده در نمونه‌های بتنی از سیمان تیپ ۲ اصلاح شده تهیه شده است. مقدار مصالح به کار رفته به صورت وزنی تعیین شده و از نظر حجم نمونه‌ها تفاوت چندانی ندارند (جدول ۲). استاندارد مورد استفاده برای قیر، ASTM بوده و آزمایشات کنترلی ASTM D70 و ASTM D5 بر روی قیر انجام گردید [32]. دانه بندی سنگدانه‌ها در هر دو نمونه دارای یک شکل بوده و بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ۱۲٫۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. محدوده استاندارد مطابق نشریه ۱۰۱ با حداکثر سایز ۱۲٫۵ میلی‌متر می‌باشد. محدوده استانداردها و نمودار دانه بندی نیز در شکل ۱ مشخص شده است.

فشار وارده بر روی رویه‌ها نشان می‌دهد که اثر ریزدانه‌ها و پودر فلزی افزوده شده بر روی مانگاری رویه نیز تاثیر دارد. با گذشت زمان مقدار تراکم ذرات رویه کاهش داشته و رویه مقاومت خود را از دست می‌دهد. افزایش پودر سنگ و ریزدانه به ملات قیر موجب افزایش ماندگاری رویه های بتنی و آسفالتی در طول زمان است [30]. در این تحقیق با بررسی اثر افزودن پودر فلز مختلف به رویه‌های آسفالتی و رویه‌های بتنی به بررسی رفتار و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته می‌شود. نتایج تحقیق با مقایسه رویه های بتنی و آسفالتی در دماهای مختلف به بررسی اثر افزایش ریزدانه در ملات رویه اشاره دارد.

## ۲- مطالعات آزمایشگاهی

در این بخش مواد و مصالح، نمونه‌ها و آزمایشات مختلفی که صورت گرفته است معرفی می‌شود. آزمایشات خمش و تاثیر افزودن اکسید فلز به رویه‌ها کنترل گردید و پارامتر متغییر درصد افزودنی موجود در نمونه‌ها است. مخلوط مورد استفاده برای نمونه‌های آسفالتی شامل قیر و سنگدانه واکسید فلزی می‌باشد. همچنین برای مقایسه رویه‌های بتنی نیز تهیه شده و در این مخلوط‌ها از ملات سیمانی به عنوان ماده چسبنده استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات مواد مضاف به مخلوط رویه

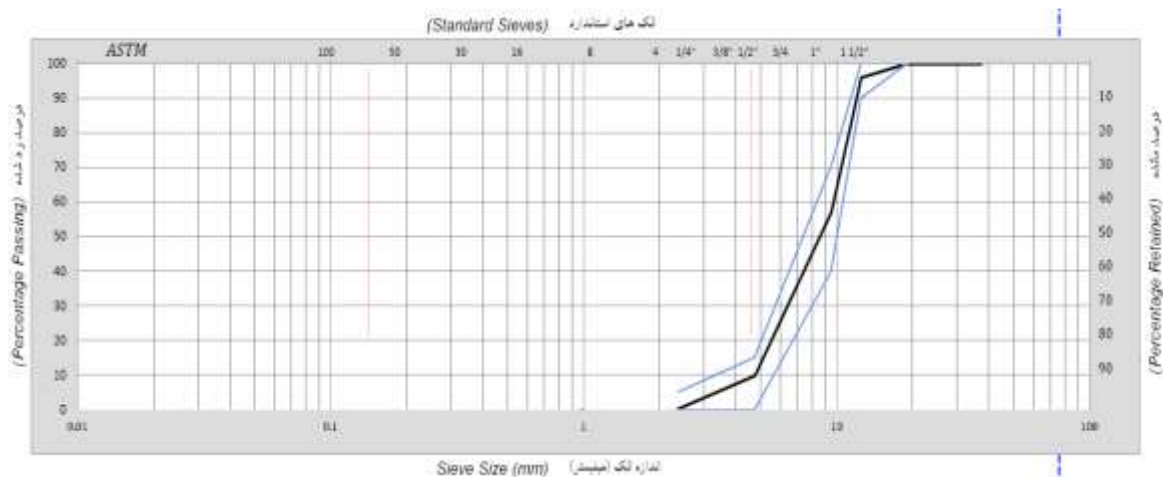
Table 1. Properties of Substances to Mix

Melting temperature (celsius)	Color	( $g/cm^3$ ) Density	Formula	Type of Material
2800	Shiny silver	7.87	Fe	Iron
1597	Black	5.17	$Fe_3O_4$	iron oxide
1377	Black crystals	5.745	$FeO$	Iron bivalent iron oxide
3465	Gray	7.19	Cr	Chrome
2435	Green	5.22	$Cr_2O_3$	Tri-chromium oxide

جدول ۲. طرح مخلوط نمونه های آسفالتی

Table 2. Mixture designs of asphalt samples

Weight gr	Substances in percent				gravel	Sand	Weight of material	Type	name
1427	0.75	۰٫۰	۰٫۲۰	۰	% 58	% 37	% ۰	Bitumen 60-70	Ac1
1828	0.75	۰٫۰	۰٫۲۰	۰	% 58	% 37	% ۱۵	Cement T2	Ac2



شکل ۱. نمودار دانه بندی سنگدانه

Fig. 1. Grain aggregate graph

## ۲-۲ نمونه‌ها و عمل آوری

در این تحقیق نمونه‌هایی از روبه آسفالتی و بتنی با ابعاد  $2 \times 10 \times 20$  سانتیمتر تهیه گردید. از هر طرح مخلوط ۸ نمونه تهیه شده و تعداد کل نمونه‌ها ۸۰ نمونه می‌باشد. که ۴۰ نمونه روبه قیری و ۴۰ نمونه بتنی است. سنگدانه (شن و ماسه) با هم مخلوط شده و بعد از یک دقیقه مخلوط شدن در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قیر با دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مخلوط افزوده می‌شود. این دما برای نمونه‌های بتنی ۲۳ درجه بود. مخلوط حاصل به دو دقیقه با هم ترکیب شده و در درون قالب فلزی ریخته شدند.

نمونه‌های آسفالتی تحت انرژی تراکم با استفاده از بارگذاری با وزنه ثابت ۱۸٫۵ کیلوگرمی به مدت ۲۴ ساعت متراکم گردیده و نمونه‌ها به مدت ۶ روز نیز بیرون از قالب و در دمای آزمایشگاه (۲۳ درجه سانتیگراد) قرار داده شد. در پایان نمونه‌ها در سن ۷ روزه تحت بارگذاری خمشی قرار گرفتند. نمونه‌های بتنی عمل آوری با استفاده از حوضچه آب با کمی اهک بوده و نمونه‌ها در سن ۶ روزه از آب خارج شده و به مدت یک روز در دمای محیط قرار گرفته تا خشک و بارگذاری شوند.

## ۳-۲ بارگذاری

نمونه‌های ساخته شده در سن ۷ روزه تحت آزمون خمش سه نقطه قرار گرفتند. دهانه خمش به مقدار  $3/4$  طول نمونه‌ها و به مقدار ۱۵ سانتیمتر انتخاب شد.

سرعت بارگذاری در محدوده شبه استاتیکی و معادل ۱ کیلو نیوتن بر ثانیه انتخاب گردید. همچنین نمونه‌ها در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد قرار داده شدند و بعد از ۲۴ ساعت از یخزدگی نمونه‌ها از سردخانه خارج شده و تحت بارگذاری خمش سه نقطه (شکل ۲) و سایش لوس آنجلس قرار گرفتند. دمای ۲۳ درجه سانتیگراد به عنوان دمای آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین دمای منفی ۱۸ درجه سانتیگراد برای تعیین تاثیر یخبندان طولانی در تحقیقات در نظر گرفته می‌شود و با توجه به استاندارد کانادا از ۱ تا ۲۴ ساعت درجه بندی می‌گردد.

## ۳-۱ بحث و بررسی

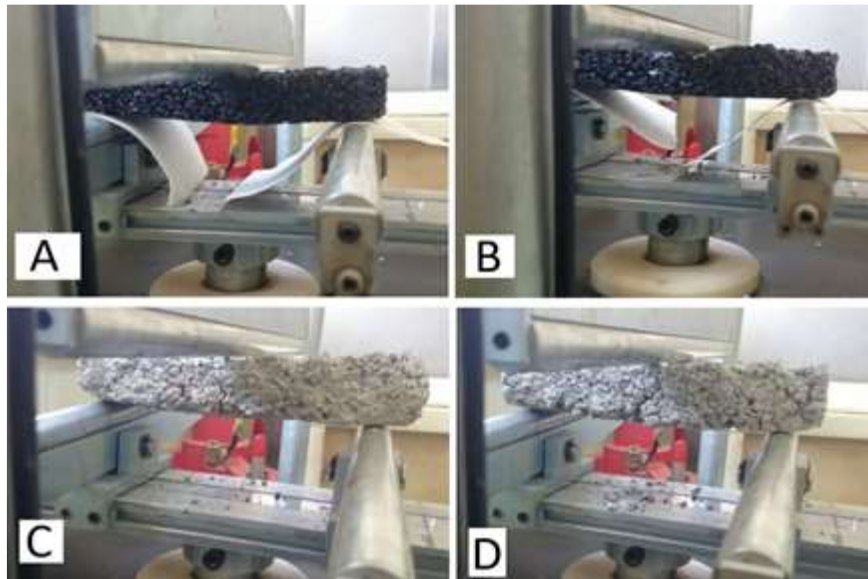
در این قسمت به بررسی نتایج آزمایشگاهی و مقایسه نمونه‌ها باهم پرداخته می‌شود. پارامتر متغیر در این تحقیق درصد پودر فلز (۰٪، ۰٫۲۵٪، ۰٫۵٪، ۰٫۷۵٪) و نوع مواد (اکسید آهن، اکسید کروم) به کار رفته در نمونه‌ها می‌باشد. تاثیر افزودن این مواد بر تغییرات دما و مقاومت خمش روبه آسفالتی و بتنی نیز مورد آزمایش و مطالعه قرار گرفت.

## ۳-۱ مقاومت خمشی

نمونه‌ها تحت خمش سه نقطه و با در نظر داشتن طول نمونه دهانه خمش ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد.

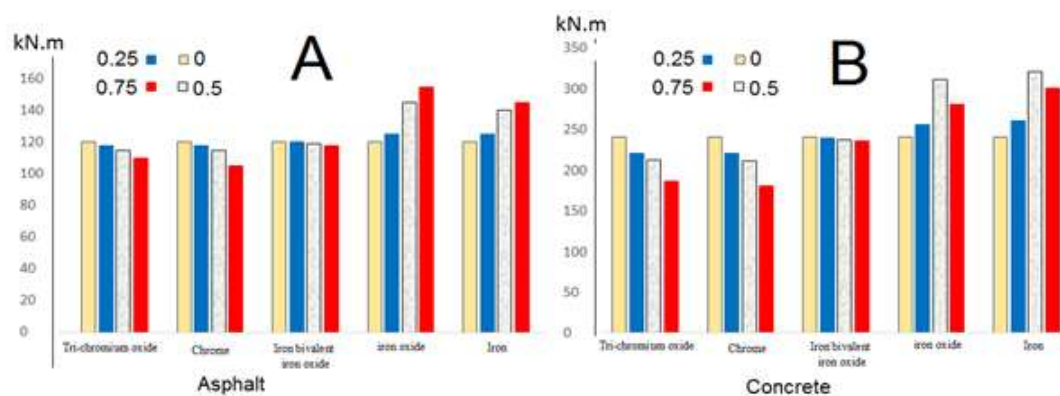
کروم، اکسید کروم و مقاومت خمشی رویه ها را کاهش می دهند. البته کروم و اکسید کروم مقاومت خمشی رویه بتنی را به نسبت رویه آسفالتی بیشتر کاهش می دهند. اکسید دو ظرفیتی آهن مقاومت رویه بتنی را کاهش می دهد ولی بر روی مقاومت خمشی رویه آسفالتی تاثیر چندانی ندارد.

تعیین دهانه خمش با توجه به ضخامت نمونه و نسبتی از طول می باشد. تاثیر دمای پایین بر مقاومت خمشی هر دو نوع رویه آسفالتی و بتنی مورد مقایسه قرار گرفت است. مقاومت خمشی نمونه رویه های آسفالتی و بتنی با افزودن براده آهن و اکسید آهن یک ظرفیتی افزایش می یابد (شکل ۳).



شکل 2. نمونه تحت آزمایش خمش سه نقطه (رویه آسفالتی الف: ۲۳ درجه سانتیگراد ، ب: ۱۸- درجه سانتیگراد) و (رویه بتنی ج: ۲۳ درجه سانتیگراد ، د: ۱۸- درجه سانتیگراد)

Fig. 2. The sample is tested for bending three points (Asphalt A: 23 ° C, B: 18 ° C) And (Concrete C: 23 ° C, D: 18 ° C)



شکل 3. مقاومت خمشی رویه های با توجه به پودر فلزات افزوده شده ( الف: رویه آسفالتی، ب: رویه بتنی)

Fig. 3. Flexural strength of the procedures according to the powdered metals

بررسی نتایج ناشی از مقایسه تاثیر دما نشان می‌دهد که کاهش دما موجب افزایش میزان ریز دانه‌ها در رویه ساییده شده تا حدود ۲ برابر در مدت زمانی معین است. همچنین نوع ریز دانه نیز در نتایج تاثیر اندکی دارد. البته به صورت کلی افزودن پودر فلزات موجب افزایش مقدار ریز دانه در بررسی مقاومت سایشی نمونه‌ها می‌گردد و با افزایش درصد پودر فلز، مقدار تاثیرات شدت بیشتری می‌یابد.

#### ۳-۴ نمودار لنگر - انحنا

مقدار کرنش در بخش مرکزی نمونه با توجه به مقدار نیرو محاسبه گردیده است. همچنین با در نظر داشتن بارگذاری خمشی سه نقطه صورت گرفته می‌توان برای رویه‌های مورد مطالعه نمودار لنگر-انحنا ترسیم کرد. این نمودارها بیشتر در طراحی تیر کاربرد دارد. علاوه بر این، هدف از بررسی تغییرات انحنا در رویه‌ها، بررسی اثر شما بر مقدار تغییر شکل رویه می‌باشد. تغییر شکل در نمونه‌ها با توجه به دو دمای ۲۳ و ۱۸- درجه سانتیگراد بر ترد شدن نمونه‌ها اشاره می‌نماید. شکل ۶ تغییر شکل وسط نمونه‌ها را در دماهای مختلف با یک نیرو (لنگر خمشی) یکسان نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که، مقدار تغییر شکل در مرکز نمونه‌های رویه آسفالتی بسیار وابسته به تغییرات دما بوده و تا حدود 50% از تغییر شکل‌ها در رویه بدون پودر فلز روی می‌دهد.

در واقع افزودن پودر فلز موجب افزایش مقدار ریز دانه در ترکیب مخلوط آسفالتی شده و موجب تغییر مقدار انحنا در مرکز نمونه می‌گردد. البته این تغییرات با کاهش توان تحمل رویه همراه می‌باشد. شدت کاهش در رویه‌های بتنی بیشتر از رویه‌های آسفالتی (به صورت نسبی) می‌باشد. افزایش درصد اکسید آهن مخلوط در نمونه‌های بتنی، بیش از 0.55% تاثیرات مشابهی همانند اکسید کروم دارد. لذا اثر نوع اکسید فلز با افزایش مقدار مخلوط کاهش پیدا می‌کند.

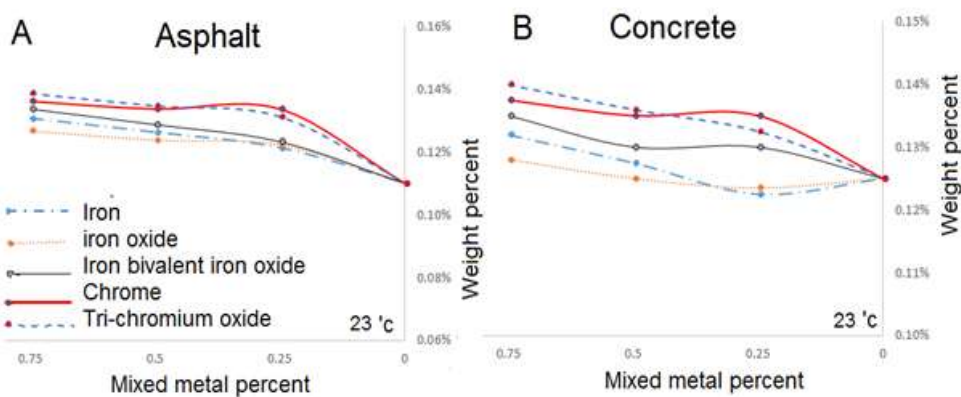
#### ۲-۲ مقاومت سایشی

در این بخش مقاومت سایشی رویه در برابر برخورد به صورت دوره‌ای و با دستگاه لوس‌آنجلس مورد مطالعه قرار گرفت است. بررسی اثرات بر روی نمونه‌ها در دو دمای ۲۳ و منفی ۱۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. سپس مقدار عبوری از الک ۲۰ وزن شده و با توجه به وزن نمونه درصد خوردشدگی محاسبه و مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که درساییدگی رویه‌های بتنی و آسفالتی با افزودن براده های فلزی افزایش می‌یابد. البته تاثیر براده‌های فلزی بر مقدار ساییدگی در رویه‌های بتنی و آسفالتی متفاوت است (شکل ۴). مقدار ساییدگی در رویه های بتنی در درصدهای کمی از پودر فلزات اندک می‌باشد. در واقع هر چه قدر مقدار ریزدانه در بتن بیشتر باشد مقدار ساییدگی بیشتر و مقاومت رویه در برابر ساییدگی کمتر است. این نتایج برای رویه‌های آسفالتی متفاوت است. در مقدار کم تاثیر چندانی بر روی مقاومت سایشی ندارد. اما در مقادیر بالایی از پودر فلز، قیر حالتی ترد داشته و می‌شکند.

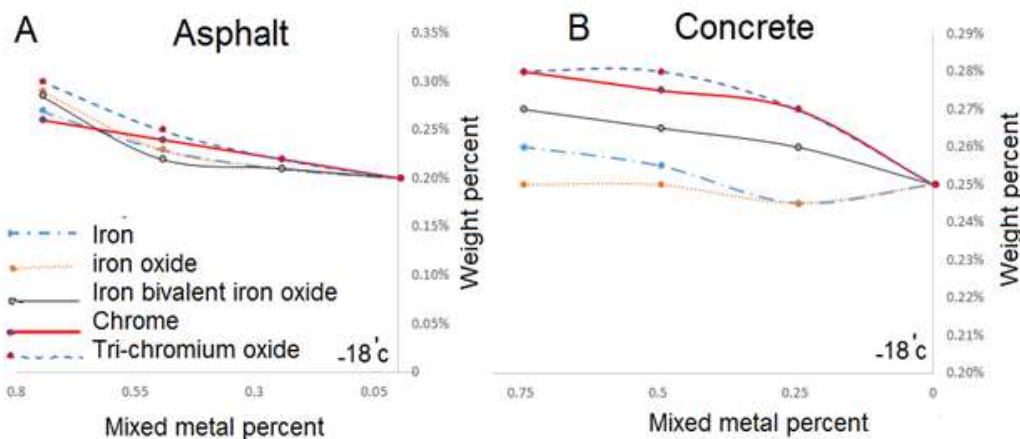
#### ۳-۳ تاثیر دما

تاثیر دما بر تغییرات مقاومت سایشی نشان می‌دهد که، افزودن پودر فلز رفتار رویه‌ها را تردتر می‌نماید. ترد شدن رویه در نمونه‌های آسفالتی بیشتر از رویه‌های بتنی است. سرما موجب ترد شدن ماده چسبنده در سنگدانه‌ها شده و این ترد شدن در قیر بیشتر از سیمان روی داده است. البته مقدار مقاومت رویه‌های بتنی بیشتر از رویه‌های آسفالتی است و نسبت تغییرات به همین مقدار افزایش می‌یابد (شکل ۵).

دما مقاومت خمشی و مقاومت سایشی رویه‌ها را کاهش می‌دهد. این کاهش از طریق ایجاد ترک در ماده چسبنده (مالات سیمانی و قیر)، ماده پرکننده (سنگدانه) و یا کاهش ارتباط میان ماده چسبنده و ماده پرکننده روی می‌دهد. با توجه با اینکه ضریب انبساط حرارتی پودر فلزی با مواد اصلی رویه‌های بتنی و آسفالتی متفاوت است، وجود این ذرات تا حدودی موجب جدایی ماده چسبنده و پرکننده و در نتیجه کاهش مقاومت رویه می‌شوند.



شکل 4. تعیین میزان سایش رویه های با مقایسه درصد عبوری از الک نمره ۲۰ در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد  
 Fig. 4. The wear rate of the procedures by comparing the percentage of the passage from sieve 20 at 23 ° C

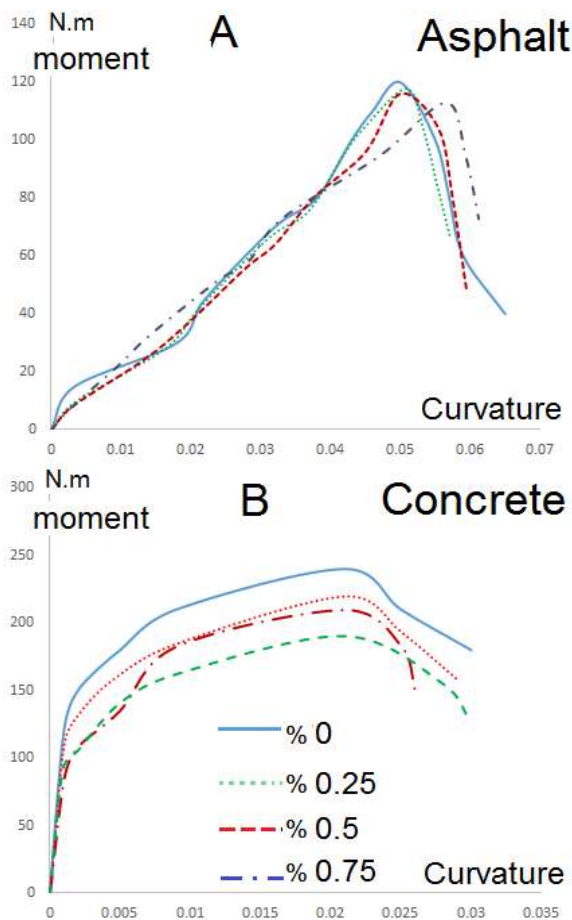


شکل 5. تعیین میزان سایش رویه های با مقایسه درصد عبوری از الک نمره ۲۰ در دمای -۱۸- درجه سانتیگراد  
 Fig. 5. Determine the amount of abrasion, comparing the percentage of passage from at -18 ° C

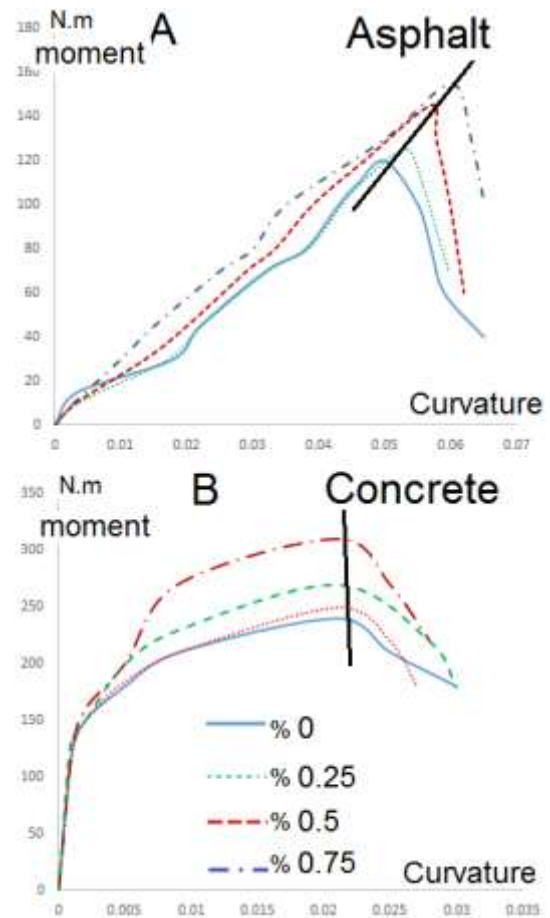
نرم شدگی برای وریشه های بتنی بیشتر در جهت کاهش توان تحمل بار (لنگر) و در رویه های آسفالتی می تواند با افزایش باربری همراه باشد. پودر فلزات و اکسید فلزات که برای رنگی نمودن رویه ها مورد استفاده قرار می گیرید، می تواند این تغییرات را تشدید نماید. رفتار نرم در رویه های بتنی ناشی از ترک هاب ریز می باشد. بررسی اثر کاهش دما بر روی نمونه های آسفالتی حاوی اکسید فلزی نشان می دهد که، میزان افزایش اکسید فلز تاثیر اندکی بر تغییرات دارد. خط متصل کننده کرنش و لنگر های ماکزیمم به سمت قائم تغییر جهت داده که نشان از کاهش کرنش در نمونه ها می باشد (شکل ۸).

تغییرات مشاهده شده در رفتار مصالح نشان می دهد که رویه های آسفالتی بعد از ایجاد ترک و عبور از محدوده رفتار الاستیک، وابستگی زیاد به مقدار پودر فلز (اکسید آهن) و ذرات ریز داخل مخلوط پیدا می کنند (شکل ۶-ب). البته در مخلوط های آسفالتی این مقدار تا محدوده بیش از 0.75% نیز تاثیر نوع اکسید فلزی مشاهده می گردد. همچنین تغییرات کرنش مربوط به نقطه پیک در رویه های آسفالتی رو به افزایش و در رویه های بتنی مورد مطالعه اندکی رو به کاهش می باشد. مقدار این تغییرات در قرار گیری نقطه پیک نمودار برای اکسید کروم بیشتر می باشد (شکل ۷).

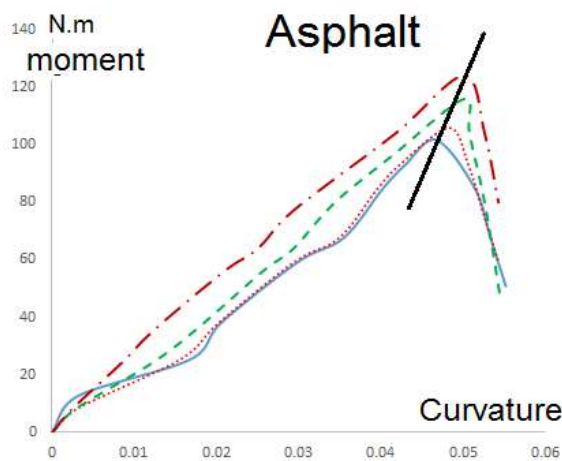




شکل 7. نمودار لنگر-انحنای نمونه‌های حاوی اکسید کروم  
 Fig. 7. Moment-curvature curves of samples containing chromium oxide



شکل 6. نمودار لنگر-انحنای نمونه‌های حاوی اکسید آهن  
 Fig. 6. Moment-curvature graphs of samples containing iron oxide



شکل 8. نمودار لنگر-انحنای نمونه‌های رویه‌های آسفالتی در دمای -18°C و حاوی اکسید آهن  
 Fig. 8. Moment-curvature patterns of asphalt-treated specimens at -18 °C with iron oxide

بررسی اثر دما بر روی رویه‌های حاوی اکسید آهن (مقایسه نمودار لنگر-انحنای در شکل 6-الف و شکل 8) با توجه به کاهش دما در رویه آسفالتی به کاهش انحنای در نقطه لنگر ماکزیمم رویه اشاره دارد. همچنین کاهش لنگر ماکزیمم نشان می‌دهد که شیب نمودار لنگر انحنای تقریباً ثابت مانده و رفتار تردتری روی نداده است.

#### ۴- نتیجه گیری

بیشتر وابسته به مدت زمان می‌باشد و نمونه‌ها بعد از ۳ ساعت یخ‌زدایی مقاومتی مشابه با حالت اولیه می‌یابند، لذا بررسی اثر چرخه یخ زدن و ذوب شدن می‌تواند برای ادامه تحقیقات مناسب باشد. اختلاف دمای ۴۰ درجه در مدت یک ساعت و به علت تفاوت میان ضریب انبساط حرارتی پودر فلز و رویه آسفالتی موجب جدایی مصالح از هم و کاهش مشخصات مکانیکی رویه می‌شود. البته ضریب حرارتی فلز آهن و رویه بتنی به هم نزدیکتر از رویه آسفالتی و آهن بوده و به همین دلیل تاثیر افت در مشخصات مکانیکی بر اثر کاهش دما در رویه بتنی کمتر است. در نمونه‌ها با مشخصات یکسان، کاهش توان تحمل لنگر خمشی در اثر کاهش دما مشاهده می‌گردد. نمونه‌های حاوی اکسید آهن این کاهش را با کاهش کرنش انحنای همراه نموده و در واقع رفتار تردی را بر اثر کاهش دما نشان می‌دهد.

#### مراجع

- [1] Pascual-Muoz, P. Castro-Fresno, D. Serrano-Bravo, P. Alonso-Estébanez, A. "Thermal and hydraulic analysis of multilayered asphalt pavements as active solar collectors", *Appl Energy*. 111, 324-332. 2013.
- [2] Wendel, IL. "Paving and solar energy system and method", *United States Patent*, Patent number, U.S. 4,132, 74-79. 1979.
- [3] Oke, TR. Johnson, DG. Steyn, DG. Watson, ID. "Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night e part 2, diagnosis of causation", *Bound-Layer Meteorology*. 56(4). 339-358. 1991.
- [4] Santamouris, M., "Energy and climate in the urban built, environment", London: James and James Science Publishers. 2001.
- [5] Voogt, JA. Oke, TR., "Thermal remote sensing of urban climates", *Remote Sensing of Environment*. 86(37), 370-384. 2003.
- [6] Mallick, RB. Chen, BL. Bhowmick, S. Hulen, MS. "Capturing solar energy from asphalt pavements", In: International ISAP symposium on asphalt pavement sand

در این تحقیق به بررسی مشخصات مکانیکی رویه‌های آسفالتی و بتنی حاوی اکسید فلزات مختلف پرداخته شد. این مشخصات هم برای مقایسه رویه‌های آسفالتی و بتنی به صورت مجزا و هم با یکدیگر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. فلزات مختلف شامل پودر آهن و اکسید یک و دو ظرفیتی آهن، کروم و اکسید کروم است. برای بررسی دقیق تر اثر این پودرهای فلزی، از درصد‌های 0، 0.25، 0.5 و 0.75 استفاده شد. این پودرها در اندازه نانو و به نمونه‌هایی با ابعاد  $10 \times 2 \times 20$  سانتیمتر افزوده شد. نمونه‌ها تحت آزمایش مقاومت خمشی و سایشی و در دماهای ۲۳ و ۱۸- درجه سانتیگراد مورد مطالعه قرار گرفتند. بررسی نتایج نشان می‌دهد که افزودن پودر اکسید یک ظرفیتی آهن در دمای ۱۱۰ درجه به رویه آسفالتی موجب افزایش مقاومت خمشی و حفظ مقاومت سایشی رویه است. این نتایج به نوع فلز نیز اشاره داشته و نشان می‌دهد که اکسید آهن شرایط مناسب تری را نسبت به اکسید کروم در رویه‌های آسفالتی و بتنی فراهم می‌آورد. هر چند که مقاومت مورد نظر بیشتر وابسته به ماده چسبنده بوده و اثر تغییرات دما در ابتدا بر روی ملات قیری تغییرات شدید داشته و در دماهای پایین تر شدت این تغییرات به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. مقاومت خمشی رویه‌های بتنی در حدود ۲ الی ۳ برابر رویه‌های آسفالتی است. البته هزینه مصالح در مورد امکان ساخت انبوه با توجه به اختلاف قیمت اکسید فلزهای به کار رفته، کمتر مد نظر بوده و بیشتر تفاوت ساختاری رویه مد نظر می‌باشد. این مورد برای ماده چسبنده نیز صادق است. ماده چسبنده سیمانی نسبت به قیر دارای مقاومت فشاری بیشتری بوده اما ساختار شکست نشان می‌دهد که رویه بتنی نیز به همان نسبت تردتر از رویه آسفالتی عمل می‌نماید. اثر ترد بودن و مقاومت سایشی رویه‌ها با درصد عبوری از الک ۲۰ مشخص شده و بررسی نتایج نشان می‌دهد که در مدت زمان معین یک ساعته، تردی نمونه‌ها در دمای ۱۸- سانتیگراد می‌تواند تا حدود ۲ برابر افزایش و مقاومت سایشی کاهش پیدا کند. تاثیر کاهش دما

*materials for road construction Resources*”, *Conservation and Recycling*. 116, 32-44. **2017**.

[17] Golalipour, A. Jamshidi, E. Niazi, Y. Afsharikia, Z. Khadem, M. “Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt pavements”, *Proc, Soc, Behav, Sci*. 53, 440-449. **2012**.

[18] Chen, J.-S. Chang, M. Lin, K., “Influence of coarse aggregate shape on the strength of asphalt concrete mixtures”, *J, East, Asia Soc, Transp, Stud*. 6, 1062-1075. **2005**.

[19] Topal, A. Sengoz, B. “Determination of fine aggregate angularity in relation with the resistance to rutting of hot-mix asphalt”, *Constr, Build, Mater*. 19 (2), 155-163. **2005**.

[20] G. Valdés, R. Miró, A. Martínez, A. Calabi, “Effect of the physical properties of aggregates on aggregate-asphalt bond measured using the UCL method”, *Constr, Build, Mater*. 73, 399-406. **2014**.

[21] Cui, S. Blackman, B.R. Kinloch, A.J. Taylor, A.C. “Durability of asphalt mixtures: effect of aggregate type and adhesion promoters”, *Int, J, Adhes, Adhes*. 54, 100-111. **2014**.

[22] Obras Públicas, M.D. “Agregadospetreos: Método para determinar lacubicidad de partículas”, *Manual de Carreteras*. 8, 251-256. **2010**.

[23] Annerel, E. Taerwe, L. “Methods to quantify the colour development of concrete exposed to fire”, *Constr, Build, Mater*. 25, 3989-3997. **2011**.

[24] Lee, H. Lee, Yu, J. M. “Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks”, *Cem, Concr, Res*. 33, 1889-1896. **2003**.

[25] López, A. Tobes, J.M. Giaccio, G. Zerbino, R. “Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete”, *Cem, Concr, Compos*. 31, 754-761. **2009**.

[26] Teichmann, G. “The use of colorimetric methods in the concrete industry”, *Betonwerk Fertigteil-Technik/Concr, Precast, Plant Technol*. 10, 58-73. **1990**.

[27] Rahmani, E. et al. “Constitutive modeling of coupled aging-viscoelastic response of asphalt

environment. Switzerland, Zurich, p.p.161-172, **2008**.

[7] Mallick, RB. Chen, BL. Bhowmick, S. “Reduction of urban heat island effect through harvest of heat energy from asphalt pavements”, *Int J Sustain Eng*. 2(3), 214-228. **2009**.

[8] Pomerantz, M. Pon, B. Akbari, H. Chang, SC. “The Effect of Pavements’ Temperatures on air temperatures in large cities”, *LBNL Report-43442*. **2000**.

[9] Karlessi, T. Santamouris, M. Apostolakis, K. Synnefa, A. Livada, I. “Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures”, *Solar Energy*. 83(4), 538-551, **2009**.

[10] Santamouris, M. Synnefa, A. Kolokotsa, D. Dimitriou, V. Apostolakis, K. “Passive cooling of the built environment e use of innovative reflective materials to fight heat island and decrease cooling needs”, *International Journal Low Carbon Technologies*. 3(2), 71-82. **2008**.

[11] Levinson, R. Akbari, H. Reilly, JC. “Cooler tile-roofed buildings with near infrared-reflective non-white coatings”, *Building and Environment*. 42(7), 2591-2605. **2007**.

[12] Levinson, R. Berdahl, P. Akbari, H. Miller, W. Joedicke, I. Reilly, J. et al. “Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their application to residential roofing materials”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 91(4), 304-314, **2007**.

[13] Synnefa, A. Santamouris, M. Apostolakis, K., “On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment”, *Solar Energy*. 81, 488-497. **2007**.

[14] Akbari, H. Pomerantz, M. Taha, H. “Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas”, *Solar Energy*. 70(3), 295-310, **2001**.

[15] Jahanian, H.R. Shafabakhsh, Gh. Divandari, H., “Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite”, *Construction and Building Materials*. 131, 156-164. **2017**.

[16] Poulidakosa, L.D. et al. “Harvesting the unexplored potential of European waste

[30] T.Anil Pradyumna, T.A and Jain, P.K. "Use of RAP Stabilized by Hot Mix Recycling Agents in Bituminous Road Construction", *Transportation Research Procedia*. 17, 460-467. **2016**.

[31] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, *American Association of State Highway and Transportation Officials*. **2001**.

[32] ASTM, *American Society for Testing and Materials*. **2001**.

*Concrete*", *Constru and Buil Mater*. 131, 1-15. **2017**.

[28] M. Smesnik, M. et al. "Laboratory method to simulate short-term aging of hot mix asphalt in hydraulic engineering", *Constru and Build Mater* 150 (30), 435-441. **2017**.

[29] Ytterburg, R. "Wear-Resistant Industrial Floors of Portland Cement Concrete", *Civil Engineering - ASCE*, 41(1), 68-71. **1971**.