

نگهداری زمستانی لایه روکش آسفالتی بسیار نازک (UTBWC): مطالعه موردی ایالت مینسوتا

محمدرضا صبوری^{۱*}، علی روحی^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱- sabouri@sharif.edu

۲- aliruhi33@gmail.com

چکیده:

روکش‌های آسفالتی بسیار نازک (UTBWC) به عنوان یک لایه محافظتی برای به تاخیر انداختن عملیات بهسازی روسازی استفاده می‌شوند. نگهداری UTBWC در زمستان به دلیل دانه‌بندی باز و بافت آن با روکش‌های آسفالتی متراکم متفاوت است که فرآیند نگهداری آن را با چالش‌هایی همراه می‌کند. بدین منظور، در این پژوهش با مرور پژوهش‌های پیشین، بررسی موردی روکش‌های آسفالتی اجراشده در یکی از راه‌های ایالت مینسوتا در آمریکا و مصاحبه با متخصصین ادارات حمل و نقل برخی از ایالت‌های سردسیر این کشور به بررسی نگهداری این روکش‌ها در زمستان پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نگهداری UTBWC در زمستان، نسبت به روکش‌های آسفالتی متراکم نیاز به مواد یخ‌زدا و تعداد دفعات عملیات برف‌روبی بیشتری دارد که هزینه نگهداری آن را افزایش می‌دهد. ارزیابی اقتصادی نیز نشان می‌دهد که هزینه نگهداری زمستانی UTBWC بیشتر از روکش‌های معمول می‌باشد. اما از سوی دیگر، نتایج بررسی موردی نشان می‌دهد که عملکرد UTBWC نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متراکم بهتر است که می‌تواند باعث کاهش هزینه نگهداری کلی آن در طول دوره بهره‌برداری شود.

واژگان کلیدی:

مدیریت و نگهداری روسازی، لایه روکش آسفالتی بسیار نازک، نگهداری زمستانی

* محمدرضا صبوری، استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف.

ایمیل: sabouri@sharif.edu (نویسنده مسئول مقاله)

Winter Maintenance of Ultra-Thin Bonded Wearing Course (UTBWC): A Case Study in Minnesota

M. Sabouri^۱, A. Ruhi^۲

۱- Assistant Prof., Department of Civil Engineering of Sharif University of Technology, Tehran, Iran

۲- M.Sc. Student of Highway and Transportation Engineering of Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

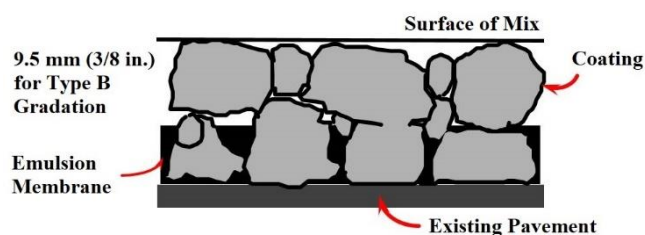
Abstract:

Ultra-Thin Bonded Wearing Course (UTBWC) is utilized as a preventive maintenance option to extend pavement life by postponing the need for rehabilitation or reconstruction operations. UTBWC usually consists of a thin open-graded asphalt mixture over a polymer-modified emulsion membrane which is applied by special pavers. Regarding the open-graded structure and rough texture of UTBWC, their winter maintenance differs from conventional pavements, leading to some challenges in the maintenance process. In this regard, this study aims to investigate the winter maintenance of UTBWC overlays through comprehensive literature review, case study evaluation of a UTBWC section in Minnesota (performance and economic assessments), and field survey on the experiences with the UTBWC winter maintenance from Department of Transportation (DOT) specialists of some US states that are located in cold regions. The results showed that the winter maintenance of UTBWC sections, due to their porous structure and open-graded aggregate texture which promote greater accumulation of snow and ice, require more deicing materials and more frequently snow plowing which results in higher winter maintenance costs. Also, to avoid the accumulation of blown snow on the UTBWC surface, it is recommended to avoid the use of UTBWC in rural windy environments where the roadway runs in a direction perpendicular to the common wind direction. Economic assessment of the UTBWC section shows that the winter maintenance of UTBWC was more costly than the conventional mixtures and overlays. On the other hand, the results of the case study showed that the performance of UTBWC, in terms of Ride Quality Index (RQI), was better than the conventional Hot Mix Asphalt (HMA) overlay which can reduce the overall maintenance cost and make UTBWC an economical preventive maintenance option. Therefore, decision-making regarding the management and maintenance of these overlays can be facilitated by considering a multifaceted approach including technical, economic and environmental performance. Also, a better understanding of the behavior of UTBWC and its maintenance methods can help to make more effective and better decisions for the implementation of this type of wearing courses in the cold regions.

Keywords: Pavement management and maintenance, Ultra-thin bonded wearing course (UTBWC), Winter maintenance

۱- مقدمه

ایالت مینسوتا ۴.۸ تا ۶ درصد، میزان هوای ۱۰ درصد، ضخامت قشای قیری حدوداً ۱۰ میکرون، دمای اختلاط بین ۱۴۳ تا ۱۶۵ درجه سانتی گراد و دمای تراکم بالاتر از ۸۵ درجه سانتی گراد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵] و [۸]. شکل (۱) نمایی شماتیک از یک روکش UTBWC را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایی شماتیک از لایه روکش آسفالتی بسیار نازک (منبع: اداره حمل‌ونقل ایالت مینسوتا (MnDOT))

جدول ۱: حدود دانه‌بندی کارگاهی B مورد استفاده در ایالت مینسوتا برای

UTBWC

اندازه الک	حدود درصد عبوری مجاز
۱/۲ in (۱۲.۵ mm)	۱۰۰
۳/۸ in (۹.۵ mm)	۸۵-۱۰۰
No. ۴ (۴.۷۵ mm)	۲۸-۴۲
No. ۸ (۲.۳۶ mm)	۲۱-۳۳
No. ۱۶ (۱.۱۸ mm)	۱۴-۲۴
No. ۳۰ (۰.۶۰ mm)	۹-۲۰
No. ۱۰۰ (۰.۱۵ mm)	۵-۱۱
No. ۲۰۰ (۰.۰۷۵ mm)	۳-۷

برای اجرای UTBWC از دستگاه فینیشر اصلاح‌شده‌ای (اصطلاحاً Spray Paver) استفاده می‌شود که بتواند ابتدا غشای امولسیون و سپس مخلوط آسفالتی را در یک بار عبور دستگاه اجرا کند [۵] و [۹]. سطح نهایی UTBWC، عملیات اجرا و نمای مقطع آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

لایه‌های روسازی آسفالتی محافظتی برای بهبود سطح روسازی و به تاخیر انداختن عملیات بهسازی و بازسازی روسازی مورد توجه صنعتگران و پژوهشگران هستند. روکش آسفالتی فوق نازک (UTBWC)، یک لایه روسازی محافظتی است که در آن یک غشای نسبتاً ضخیم از امولسیون (معمولاً اصلاح‌شده با پلیمر) روی سطح روسازی موجود پاشیده شده و بلافاصله با یک لایه نازک مخلوط آسفالتی داغ، به طور معمول با دانه‌بندی باز، پوشیده می‌شود [۱]. این رویکرد می‌تواند به کاهش ضعف روسازی در برابر پوسته شدن، ترک‌های از بالا به پایین و ترک‌های انعکاسی منجر شده و سطح هموارتر و بهتری را برای استفاده فراهم سازد [۲]. علاوه بر این، ساختار نسبتاً متخلخل روکش‌های نازک، امکان زهکشی بهتر، کاهش آلودگی صوتی، کاهش خلوص گازهای خروجی ماشین‌ها و خنک شدن بیشتر روسازی را فراهم می‌سازد [۳]. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزودن نانوذرات تیتانوپیم دی‌اکسید (TiO_2) به روکش‌های آسفالتی نازک، علاوه بر بهبود دوام، می‌تواند به کاهش آلاینده‌های ناشی از آگروز وسایل نقلیه از طریق خاصیت فتوکاتالیستی و همچنین خنک شدن بیشتر روسازی کمک کند [۳] و [۴]. ضخامت نهایی این روکش تا حد زیادی به ضخامت غشای امولسیونی و حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌های مورد استفاده بستگی دارد اما به طور معمول بین ۹.۵ تا ۱۹ میلی‌متر می‌باشد [۵].

این لایه محافظتی در گذر سالیان با نام‌ها و جزئیات فنی نسبتاً متفاوت در کشورها و ایالت‌های مختلف آمریکا استفاده شده است [۶] و [۷]. در ایالت مینسوتا در آمریکا، معمولاً سه دانه‌بندی مختلف، به نام‌های A، B و C، برای UTBWC استفاده می‌شود که حداکثر اندازه اسمی سنگدانه در آن‌ها به ترتیب برابر ۴.۷۵، ۹.۵ و ۱۲.۵ میلی‌متر است. استفاده از دانه‌بندی B در ایالت مینسوتا متداول‌تر است که حدود کارگاهی دانه‌بندی آن در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس پژوهش‌ها، در بخش غشای امولسیونی، یک لایه قیر امولسیونی در دمای ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد و در بخش لایه نازک آسفالتی، یک مخلوط آسفالتی با ۵.۲ تا ۵.۸ درصد قیر (در

۲. Minnesota Department of Transportation

۱. Ultra-thin Bonded Wearing Course

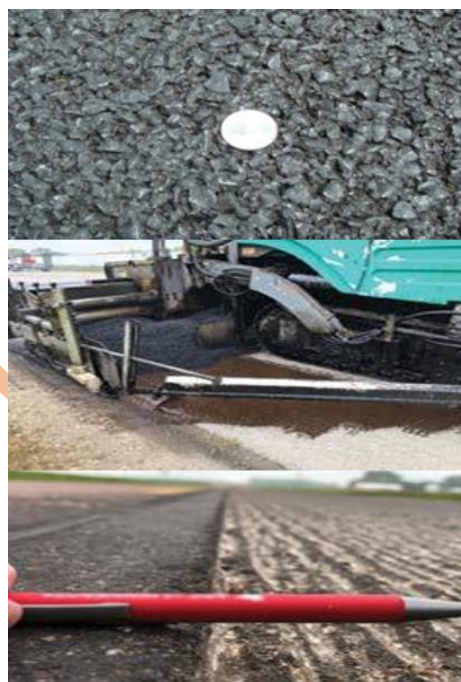
۲-۱- نگهداری UTBWC در زمستان

برخلاف مزایای متعدد عملکردی UTBWC، نگهداری این روکش آسفالتی در زمستان می‌تواند با چالش‌هایی مواجه شود؛ از جمله نیاز به زمان برف روبی، تعداد دفعات برف روبی و مقدار مواد یخ‌زدای بیشتر است. این مشکل بیشتر به دلیل بافت متخلخل و درشت UTBWC به وجود می‌آید که همچنین باعث می‌شود یخ و برفی که با باد جابجا می‌شود، در آن‌ها جمع شود.

مکانیزم تشکیل یخ و برف و ذوب آن‌ها در روکش‌های آسفالتی UTBWC کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود، با توجه به شباهت قابل توجه میان بافت سطحی و ساختار UTBWC و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، می‌توان درک بهتری از رفتار UTBWC در شرایط برف و یخبندان بدست آورد. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده است که دانه‌بندی باز مخلوط‌ها، که منجر به کاهش ۳۰ تا ۶۰ درصدی رسانایی حرارتی می‌شود، باعث می‌شود که دمای سطحی آن‌ها چندین درجه سردتر از مخلوط آسفالتی متناظر با دانه‌بندی متراکم در شرایط یکسان باشد [۱۲]. همچنین، پس از رسیدن دمای سطح آن‌ها به زیر صفر، روکش‌های با دانه‌بندی باز نسبت به آسفالت‌های متراکم، عموماً تحت اثر افزایش دمای هوا، دیرتر گرم می‌شوند و یخ‌زدایی آن‌ها زمان بیشتری می‌برد [۱۳].

در ادبیات فنی موجود به روش‌های مختلفی برای نگهداری روسازی‌های آسفالتی در شرایط برف و یخبندان اشاره شده است که در ادامه به متداول‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود [۱].

- استفاده از ضد یخ: افزودن مواد شیمیایی به سطح راه قبل از بارش برف یا وقوع یخبندان به منظور جلوگیری از تشکیل یخ (پیشگیری).
- یخ‌زدایی: افزودن مواد شیمیایی به راه در حین یا بعد از بارش برف و وقوع یخبندان به منظور جلوگیری از متراکم شدن برف یا بهبود عملیات برف روبی.



شکل ۲: سطح نهایی، عملیات اجرا و نمای مقطع UTBWC (منبع: اداره حمل‌ونقل فدرال (FHWA)^۱، اداره حمل‌ونقل ایالت مینسوتا)

علی‌رغم مزایای استفاده از UTBWC، به دلیل بافت متخلخل و ویژگی‌های خاص این روکش، نگهداری آن در زمستان که روسازی را در معرض یخبندان، برف و سایر مسائل آب‌وهوایی قرار می‌دهد، با چالش‌هایی همراه است [۱] و [۱۰].

با توجه به مطالب ذکر شده، این پژوهش به بررسی روش‌های مختلف برای نگهداری زمستانی UTBWC می‌پردازد. این مقلله، خلاصه‌ای از دو گزارشی است که با حمایت مالی MnDOT انجام شده است [۱] و [۱۱]. شناخت بهتر از رفتار این نوع روکش‌های آسفالتی در زمستان و روش‌های نگهداری آن‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری موثرتر و بهتر در جهت اجرای این نوع روکش آسفالتی در مناطق سردسیر کشور کمک کند.

۲- مرور ادبیات فنی

در این بخش به مرور پژوهش‌های موجود در زمینه نگهداری UTBWC در زمستان و همچنین اثر باد بر آن‌ها و ارزیابی اقتصادی پرداخته شده است.

^۱. Federal Highway Agency

- نمک و شن پاشی: افزودن نمک به مصالح دانه‌ای و پاشش مخلوط حاصل روی سطح جاده برای تسهیل شروع فرآیند ذوب یخ.

- برف روبی: فرآیند مکانیکی کنار زدن برف و یخ از سطح راه.

از بین موارد بالا، استفاده از روش نمک و شن پاشی یا نمک پاشی مستقیم در روسازی‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز توصیه نمی‌شود؛ چراکه این مواد می‌توانند در خلل و فرج سطحی گیر کرده و نفوذ پذیری آن‌ها را، که به منظور حفظ عملکرد مورد انتظار در کاهش لغزش و پاشش آب ضروری می‌باشد، به طرز قابل توجهی کاهش دهد. برف روبی در این نوع روسازی‌های آسفالتی نیز باید با دقت بیشتری انجام شود؛ چراکه لبه تیز برف روب می‌تواند به بافت متخلخل سطح روسازی آسیب بزند. مواد یخ‌زدای شیمیایی به راحتی از طریق خلل و فرج سطح راه زهکشی می‌شوند و از این بابت باید در نرخ‌های بیشتری نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متراکم استفاده شوند. همچنین، به کار بردن مواد پیشگیرانه ضد یخ نیز باید بسیار به موقع باشد؛ چراکه استفاده دیرنگام از آن‌ها می‌تولند باعث تشکیل و متراکم شدن برف و یخ در خلل و فرج مخلوط آسفالتی شود [۱۴]. علاوه بر این، گزارش شده است که مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز نیاز به حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد نمک و حدود ۳۰ درصد مواد ضد یخ بیشتری دارند [۱۵].

۲-۲-۲ اثر باد بر لایه روکش UTBWC

باد می‌تواند برف محیط اطراف روسازی را به سطح روسازی منتقل کند. برف منتقل شده با باد باعث کاهش دید رانندگان شده و می‌تواند به سطح UTBWC بچسبد که مستقیماً باعث افزایش تعداد دفعات و زمان عملیات نگهداری و مواد مورد استفاده در آن‌ها می‌شود. مشکلات ناشی از اثر باد در مسیرهایی که عمود بر جهت غالب باد هستند، نمود بیشتری پیدا می‌کند. همچنین، خطرات ایمنی بیشتری در این گونه مسیرها مشاهده شده است.

بنابراین، معمولاً استفاده از UTBWC در مسیرهایی که در معرض هجوم شدید برف‌های منتقل شده با باد هستند، پیشنهاد

نمی‌شود. شاخص‌های مختلفی برای تشخیص پتانسیل انتقال برف به سطح روسازی وجود دارند که در ادامه معرفی شده‌اند [۱۶].

۲-۲-۱ میانگین بارش برف

اولین شاخص، میانگین بارش برف است. به صورت کلی استفاده از UTBWC در مناطقی که مقدار بارش برف زیادی دارند، توصیه نمی‌شود. شکل (۳-الف) میانگین بارش برف فصلی را در ایالت مینسوتا در بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ میلادی مصادف با ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ شمسی نشان می‌دهد. مطابق این شکل، مناطق شمال شرقی این ایالت در معرض بارش برف زیادی هستند. همچنین، مقدار میانگین بارش برف فصلی از حدود ۵۰ اینچ در مناطق شمالی تا حدود ۳۰ اینچ در مناطق جنوبی کاهش پیدا می‌کند.

۲-۲-۲ شاخص آب به ازای برف (SWE)^۱

شاخص SWE نشان‌دهنده چگالی برف است. این شاخص به صورت نسبت عمق آبی که در نتیجه ذوب کامل برف بدست می‌آید به عمق اولیه برف تعریف می‌شود. مقدار بزرگ‌تر SWE نشان‌دهنده چگال‌تر بودن برف است. از سوی دیگر، اثر چگالی برف در میزان برف جابجا شده توسط باد نسبت به عمق برف بیشتر است. بنابراین، شاخص SWE نشانگر بهتری برای پتانسیل انتقال برف به سطح روسازی است. شکل (۳-ب) پراکنش شاخص SWE را در سطح ایالت مینسوتا نشان می‌دهد که بین ۰.۰۷ تا ۰.۱۱ اینچ بر اینچ است.

^۱. Snow Water Equivalent

۲-۲-۳- ضریب جابجایی

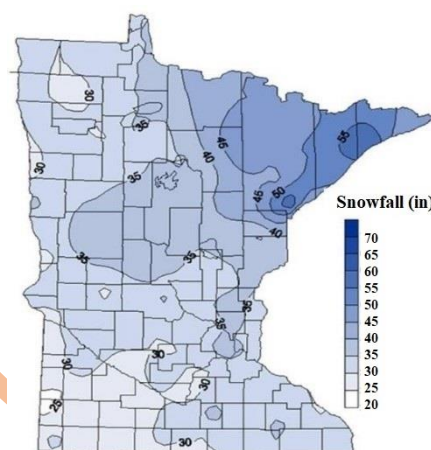
شاخص ضریب جابجایی بر اساس میزان آب متناظر با مقدار برفی که توسط باد جابجا شده است، تعریف می‌شود که شاخص کامل‌تری برای بیان میزان برف منتقل‌شده توسط باد است. برخلاف دو شاخص میانگین بارش برف و SWE که تنها بر اساس میزان برف و چگالی آن تعریف می‌شدند، ضریب جابجایی مشخصه‌هایی محیطی دیگر از جمله سرعت باد، توپوگرافی منطقه، پوشش گیاهی و کاربری زمین را در نظر می‌گیرد.

در پژوهشی، ضریب جابجایی در سطح ایالت مینسوتا محاسبه شده است که در شکل (۳-ج) نشان داده شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، ضریب جابجایی در ایالت مینسوتا بین ۰.۱ تا ۰.۷ در تغییر است. همچنین با توجه به این شکل، اگرچه میانگین میزان بارش برف و شاخص SWE در مناطق شمال شرقی بیشتر است، اما خصوصیات توپوگرافی و کاربری زمین در مناطق شمال غربی و جنوب غربی باعث شده تا میزان انتقال برف توسط باد در این مناطق بیشتر باشد. مقدار میانگین ضریب جابجایی در ایالت مینسوتا تقریباً برابر با ۰.۳۵ است.

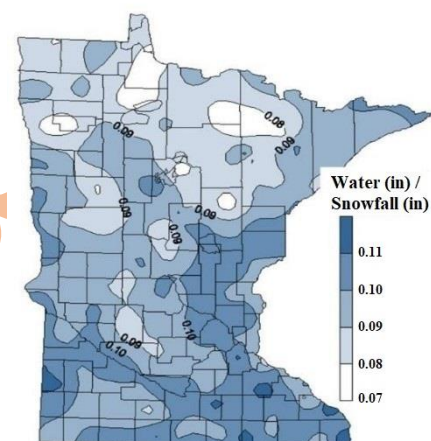
هدف از این پژوهش بررسی اثر برف، یخبندان و باد بر نگهداری UTBWC در زمستان است. برای این منظور از مرور پژوهش‌های موجود، بررسی موردی عملکردی و اقتصادی جاده‌های ساخته‌شده با این روکش آسفالتی، و همچنین انجام مصاحبه از متخصصین این حوزه استفاده شده است.

۲-۳- هزینه نگهداری UTBWC در زمستان

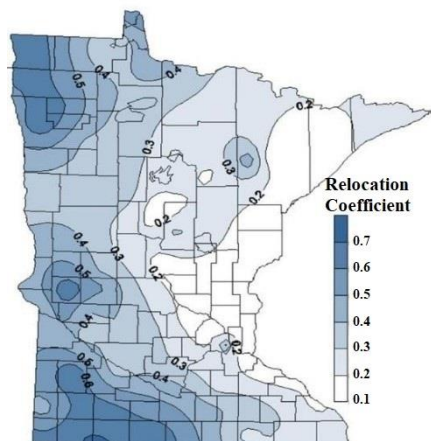
بنا بر گزارش‌های FHWA، تقریباً ۲۰ درصد بودجه اداره حمل‌ونقل هر ایالت صرف نگهداری زمستانی می‌شود [۱۷]. جدول (۲) هزینه نگهداری زمستانی راه‌های ایالت‌های مختلف آمریکا و کشور فنلاند (با تبدیل نرخ یورو به دلار) را بر حسب دلار بر مایل (آمارها مربوط به سال ۲۰۱۹ میلادی) نشان می‌دهد. طبق این جدول، هزینه حدودی نگهداری زمستانی راه‌ها بین ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ دلار بر مایل راه می‌باشد که بستگی به سیاست‌های اتخاذ شده توسط مسئولین هر منطقه دارد. هزینه نگهداری زمستانی شامل مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی است که با توجه به سردسیر بودن ایالت‌ها و مناطق می‌تواند بسیار زیاد باشد.



(1)



(2)



(3)

شکل ۳: نقشه پراکنش شاخص‌های: (۱) میانگین بارش برف؛ (۲) نسبت آب به ازای برف؛ (۳) ضریب جابجایی در ایالت مینسوتا آمریکا [۱] و [۱۶]

جدول ۲: هزینه نگهداری زمستانی راه‌ها در ایالت‌های مختلف آمریکا و کشور فنلاند در سال ۲۰۱۹ میلادی بر حسب دلار بر مایل راه [۱۱]

ایالت/کشور	هزینه (دلار بر مایل راه)
Michigan	۳۱۰۰
Minnesota	۳۵۰۳
Pennsylvania	۳۲۲۹
Wisconsin	۲۵۳۷
Finland	۲۷۳۳

استفاده از روکش UTBWC، علی‌رغم مزایا و چالش‌های ذکر شده، می‌تواند به دلیل نیاز به تمهیدات متفاوت، از لحاظ اقتصادی نیز چالش برانگیز باشد.

۳- روش انجام پژوهش

در راستای اهداف این پژوهش، ابتدا نگهداری UTBWC در زمستان بر اساس پژوهش‌های موجود ارزیابی شده است. در ادامه یک بررسی موردی روی جاده ۱۶۹ US انجام شده است. این جاده دارای هردوی روکش آسفالتی UTBWC و روکش آسفالتی متراکم است که امکان مقایسه را فراهم می‌آورد. همچنین، با متخصصینی از ادارات حمل‌ونقل درباره تجربه میدانی آن‌ها در مواجهه با برف و یخبندان UTBWC مصاحبه شده است. این متخصصین از مناطق مختلف ایالت مینسوتا و همچنین برخی ایالت‌های دیگر آمریکا انتخاب شده‌اند؛ از جمله ایالت‌های سردسیر ویسکانسین، داکوتای شمالی، داکوتای جنوبی، ورمونت، مین، کلرادو و ایالت گرمسیر تگزاس. در انتها، تحلیل اقتصادی از هزینه عملیات نگهداری این روکش در زمستان در ایالت مینسوتا ارائه شده است.

در بررسی موردی این پژوهش از شاخص کیفیت سواری (RQI^1) استفاده شده است. این شاخص که نشان‌دهنده میزان پستی و بلندی روسازی است، کیفیت راه را در مقیاس صفر تا ۵ نشان می‌دهد. مقدار بالاتر شاخص RQI به منزله تجربه سواری بهتر مسافران حین عبور از روسازی است. معمولاً مقدار شاخص RQI برابر با ۲.۵ را برای تشخیص زمان اجرای عملیات بهسازی در نظر می‌گیرند.

برای محاسبه شاخص RQI ابتدا میبایست شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI^2) محاسبه شود. این شاخص معمولاً با استفاده از حسگرهای لیزری به صورت مقدار تغییرات عمودی بر حسب متر در هر کیلومتر از مسیر راه تعریف می‌شود. سپس، مقدار شاخص RQI برای روسازی‌های آسفالتی و بتنی به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه می‌شود:

$$RQI = 5.697 - 2.104IRI \quad (1)$$

$$RQI = 6.634 - 2.183IRI \quad (2)$$

که در آن‌ها RQI شاخص کیفیت رانندگی در مقیاس صفر تا ۵ و IRI شاخص ناهمواری بین‌المللی بر حسب متر بر کیلومتر است.

۴- نتایج، تحلیل و بحث

در این بخش به نتایج پژوهش پرداخته می‌شود که شامل ارزیابی نگهداری UTBWC در زمستان بر اساس ادبیات فنی موجود، بررسی موردی روکش آسفالتی UTBWC اجرا شده در جاده ۱۶۹ US و نتایج مصاحبه با متخصصین ادارات حمل و نقل آمریکا می‌شود.

۴-۱- مرور ادبیات فنی موجود

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، اطلاعات بسیار محدودی از نگهداری روکش‌های آسفالتی UTBWC در زمستان در دسترس است؛ در حالی که پژوهش‌های بسیاری به نگهداری زمستانی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز ($OGFC^3$) پرداخته‌اند. با توجه به شباهت بافت این دو نوع مخلوط آسفالتی و بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود (بخش ۲) می‌توان موارد زیر را درباره نگهداری روکش آسفالتی UTBWC در زمستان برداشت کرد:

- هر دو نوع مخلوط UTBWC و OGFC نیاز به مقدار مواد یخ‌زدا و ضد یخ بیشتری نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متراکم دارند. با این حال با توجه به ساختار

^۳. Open-Graded Friction Course

^۱. Ride Quality Index

^۲. International Roughness Index

بسته‌تر UTBWC نسبت به OGFC، انتظار می‌رود که مواد یخ‌زدای کمتری در روکش آسفالتی UTBWC نیاز باشد.

- اگرچه استفاده از روش نمک و شن پاشی در مخلوط‌های آسفالتی OGFC پیشنهاد نمی‌شود، به‌نظر می‌رسد که بتوان از این روش در روکش آسفالتی UTBWC استفاده کرد؛ چرا که UTBWC بر خلاف OGFC یک لایه نفوذپذیر نیست.

- دمای UTBWC و OGFC سریع‌تر از مخلوط‌های آسفالتی متراکم در شرایط مشابه کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش دمای هوا، این روکش‌های آسفالتی دیرتر گرم می‌شوند. در نتیجه احتمال تجمع برف و یخ در این روکش‌های آسفالتی بیشتر از مخلوط‌های آسفالتی متراکم است.

- احتمال تشکیل برف و یخ در سطح UTBWC و OGFC بیشتر است؛ چراکه مواد ضدیخ معمولاً در سطح مخلوط‌های آسفالتی باقی نمی‌مانند.

- پس از انجام فرآیند برف‌روبی در هر دو نوع مخلوط آسفالتی UTBWC و OGFC، مواد ضدیخ و یخ‌زدا باید به دفعات استفاده شوند تا خرده‌برف‌های حاصل از برف‌روبی دوباره به یخ تبدیل نشوند.

اگرچه در طراحی UTBWC معمولاً از مخلوط‌های متخلخل با دانه‌بندی باز مشابه OGFC استفاده می‌شود، برخی پژوهش‌ها امکان استفاده از مخلوط‌های متراکم و حتی SMA^۱ را نیز مطرح کرده‌اند. در یک پژوهش میدانی گزارش شده است که روکش فوق‌نازک متراکم اصلاح‌شده، پس از یک سال بهره‌برداری تنها ۸.۲ درصد کاهش در عمق بافت سطحی داشته است، در حالی که این مقدار برای مخلوط SMA حدود ۱۳ درصد بوده است [۱۸]. همچنین در پژوهش دیگری نشان داده شد که در صورت استفاده از OGFC با دانه‌بندی ریزتر در ساخت UTBWC، علی‌رغم

نفوذپذیری کم‌تر، دوام و مقاومت در برابر ریزش مصالح افزایش می‌یابد [۱۹]. از آنجا که این پژوهش بر اساس تجربیات و پژوهش‌های مربوط به ایلت مینسوتا انجام شده و در این ایلت عمدتاً از مخلوط‌های با دانه‌بندی باز برای اجرای UTBWC استفاده می‌شود، تمرکز این پژوهش نیز بر بررسی همین نوع مخلوط بوده است.

۴-۲- ارزیابی موردی جاده US۱۶۹ در مینسوتا

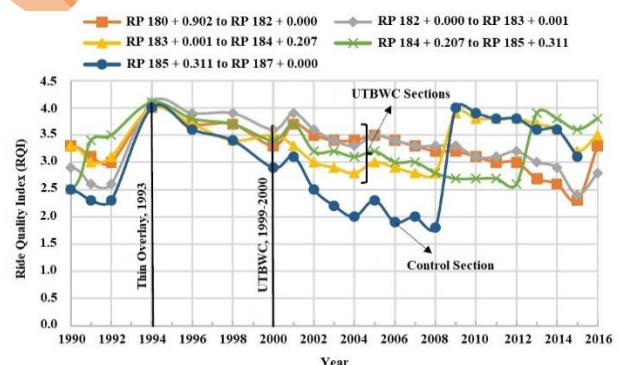
در ایالت مینسوتا، روکش آسفالتی UTBWC در حدود ۱۵۰ کیلومتر راه برون‌شهری و ۲۰۰ کیلومتر راه درون‌شهری اجرا شده است. برای درک بهتر عملکرد مخلوط آسفالتی UTBWC، پروژه US۱۶۹ انتخاب شده که UTBWC در قسمت‌های مختلف آن اجرا شده است. این راه در نزدیکی شهر پرینستون ایالت مینسوتا واقع شده است. این پروژه شامل ۵ بخش مختلف است که طول تقریبی هر کدام بین ۱.۵ تا ۲ کیلومتر است. بخش اول و دوم این پروژه در ماه آگوست سال ۲۰۰۰ میلادی و با روکش آسفالتی UTBWC اجرا شده‌اند. دو بخش سوم و چهارم این پروژه که نیز در ماه سپتامبر ۱۹۹۹ و با روکش آسفالتی UTBWC اجرا شده‌اند. بخش پنجم این پروژه با روکش آسفالتی متراکم اجرا شده و به‌عنوان بخش کنترل در نظر گرفته شده است.

بررسی‌های اولیه پس از هفت سال از اجرای این پروژه نشان داد که روکش آسفالتی UTBWC در هفت سال اولیه عملکرد بسیار خوبی داشته است [۲۰]. شاخص RQI برای بخش‌های روکش‌شده با UTBWC به‌طور میانگین برابر با ۳.۲ بوده و نرم‌افزار مدیریت روسازی ایالت مینسوتا کاهش آن‌ها به مقدار نهایی ۲.۵ را حداقل تا ۵ سال دیگر پیش‌بینی نمی‌کرد [۲۰]. با این وجود، بخش کنترل با روکش آسفالتی متراکم بسیار سریع تخریب شد و شاخص RQI آن در طی این مدت به سرعت به عدد ۱.۹ کاهش پیدا کرد که کمتر از مقدار نهایی ۲.۵ است. این موضوع به این دلیل می‌تواند باشد که روکش آسفالتی متراکم که به‌عنوان بخش کنترل مورد استفاده قرار گرفت، صرفاً با عملیات درزگیری و لکه‌گیری نگهداری شده بود و به همین دلیل، در برابر اثرات ترافیک و شرایط محیطی دوام کافی نداشت و بسیار سریع‌تر از بخش UTBWC تخریب شد. مقدار

^۱. Stone Mastic Asphalt

شاخص RQI برابر ۲.۵ معمولاً به عنوان نقطه‌ای برای انجام عملیات بهسازی یا بازسازی در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۴) تغییرات شاخص RQI بخش‌های مختلف پروژه US ۱۶۹ را تا سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، به صورت کلی بخش‌های دارای روکش آسفالتی UTBWC در ادامه نیز عملکرد بهتری از بخش کنترل نشان داده‌اند. دو بخش اول و دوم این پروژه عملکرد بسیار خوبی نشان داده‌اند و تنها در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶ عملیات وصله در آن‌ها انجام شده است. بخش سوم این پروژه در سال ۲۰۰۹ (پس از گذشت ده سال) تراشیده و روکش شده است؛ در حالی که این عملیات برای بخش چهارم پروژه، سال ۲۰۱۳ (پس از چهارده سال) انجام شده است. عملیات تراش و روکش برای بخش کنترلی پروژه نیز در سال ۲۰۰۹ انجام شده است، در حالی که این بخش از پروژه از سال ۲۰۰۳ دارای شاخص RQI کمتر از ۲.۵ بوده و عملاً نیاز به بهسازی داشته است.



شکل ۴: شاخص RQI در پروژه US ۱۶۹ در ایالت مینسوتا [۱]

نتایج بررسی میدانی نشان می‌دهد که استفاده از مخلوط آسفالتی UTBWC باعث کاهش هزینه‌های نگهداری کلی روسازی می‌شود که این کاهش هزینه، ممکن است بتواند اضافه هزینه نگهداری آن‌ها در زمستان را پوشش دهد.

۴ - ۳ - مصاحبه میدانی با متخصصین اداره‌های حمل و نقل

در ادامه، با تعداد زیادی از متخصصین اداره حمل و نقل ایالت مینسوتا و سایر ایالت‌های آمریکا (به علت همجواری، نزدیکی شرایط

آب‌وهوایی و یا داشتن تجربیات مرتبط) درباره تجربه آن‌ها با UTBWC در شرایط برف و یخبندان مصاحبه انجام شد. این مصاحبه از ۳۲ نفر از مناطق مختلف ایالت مینسوتا، ۳ نفر از ویسکانسین، ۱ نفر از ورمونت، ۲ نفر از مین، ۲ نفر از داکوتای جنوبی، ۱ نفر از کلرادو و ۱ نفر از تگزاس (مجموعاً ۴۲ نفر) صورت گرفت. در این مصاحبه، محورهای اصلی شامل میزان استفاده از UTBWC در ایالت‌ها، دلایل توقف استفاده در صورت عدم ادامه (نظیر مشکلات نگهداری، هزینه یا عملکرد)، محل اجرای این روکش‌ها (شهری، روستایی یا در مقاطع دارای جدول)، و معیارهای انتخاب مخلوط از جمله سطح ترافیک، شرایط آب‌وهوایی، دوام، صدا و هزینه مطرح شده‌اند. همچنین از پاسخ‌دهندگان درباره مزایا و معایب UTBWC (همچون کاهش پاشش آب، بهبود مقاومت لغزشی، هزینه اولیه بالا و دشواری نگهداری زمستانی) پرسش شده است. بخش مهمی از سؤالات نیز به نگهداری زمستانی اختصاص دارد؛ از جمله میزان مصرف نمک و یخ‌زدا نسبت به آسفالت معمولی، نوع مواد استفاده‌شده، اثربخشی روش‌های مختلف و چالش‌هایی نظیر یخ‌زدگی بیشتر یا تشکیل یخ سیاه. در نهایت، سؤالاتی درباره مشخصات فنی اجرای UTBWC مانند درصد قیر، فضای خالی، نوع و نرخ اجرای لایه اتصال، و تجربه استفاده بر روی روسازی بتنی نیز مطرح شده است. نتایج این مصاحبه‌ها را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- در اکثر موارد مشکلات عمده ناشی از برف و یخبندان در مسیرهای ساخته‌شده با روکش آسفالتی UTBWC گزارش نشده و تنها در موارد اندکی نیاز به بستن مسیر تا زمان تامین ایمنی کافی و انجام اقدامات نگهداری بوده است.
- متداول‌ترین مشکل با برف و یخبندان در UTBWC تشکیل یخ و توده برف در سطح این روکش آسفالتی است که مقدار مواد مصرفی و دفعات عملیات نگهداری زمستانه را افزایش می‌دهد.

- برف‌روبی از سطح UTBWC در مسیرهایی که در مناطق بادخیز و تقریباً عمود بر جهت غالب باد احداث شدند، با سختی بیشتری همراه است. این موضوع احتمالاً بیشتر به دلیل برف منتقل شده توسط باد و چسبیدن آن به سطح مخلوط آسفالتی اتفاق می‌افتد.
- میزان چسبیدن برف منتقل شده توسط باد به سطح UTBWC در روزهای گرم و آفتابی بیشتر از روزهای خیلی سرد با دمای حدود ۱۵- درجه سلسیوس است.
- میزان هزینه نگهداری زمستانی برای روکش آسفالتی UTBWC در برخی موارد برابر با هزینه موردنیاز برای روکش آسفالتی متراکم و در برخی موارد نیز تا ۵ برابر آن گزارش شده است. در مواردی که هزینه نگهداری یکسان گزارش شده، معمولاً از مواد ضدیخ شیمیایی قبل از بارش برف یا وقوع طوفان استفاده شده است.
- تقریباً تمام ادارات حمل و نقل از استفاده از UTBWC راضی بودند. اگرچه هزینه نگهداری زمستانی این روکش آسفالتی نسبت به روکش آسفالتی متراکم بیشتر است، اما هزینه کمتر نگهداری‌های دیگر آن‌ها، مانند درزگیری ترک‌ها یا وصله، باعث می‌شود تا در مجموع مقرون به‌صرفه باشند. گزارش‌ها نشان داده‌اند که برخی مقاطع UTBWC پس از گذشت ۷ سال همچنان عملکرد مناسبی داشته‌اند، بدون آن‌که نیاز به بازسازی اساسی داشته باشند، در حالی‌که روکش متراکم در مدت کوتاه‌تری دچار افت کیفیت شده است.
- برخی از پرسنل نگهداری راه از غلظت بیشتر نمک و مواد یخ‌زدا در اولین عملیات برف‌روبی زمستان استفاده می‌کنند. آن‌ها گزارش داده‌اند که میزان اضافه نمک و مواد یخ‌زدا در بافت سطحی UTBWC باقی می‌ماند که در جلوگیری و کنترل تشکیل یخ در ادامه فصل زمستان موثر است.

- در مسیرهای که از مواد ضدیخ و اقدامات پیشگیرانه استفاده نمی‌شود، رطوبت موجود در سطح UTBWC سریع‌تر از مخلوط‌های آسفالتی متراکم یخ می‌زند.
- مصاحبه‌شوندگان متعددی اشاره کردند که مشکلات یخبندان و برف در UTBWC عموماً برای دو سال ابتدایی ساخت بیشتر است و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد. این موضوع می‌تواند به دلیل پر شدن منافذ روکش آسفالتی UTBWC با شن باشد.
- اگر برف و یخ روی UTBWC در لثر ترافیک عبوری متراکم شود، فرآیند برف‌روبی را به مراتب سخت‌تر و پرهزینه‌تر می‌کند.
- یکی از مزایای روکش آسفالتی UTBWC دانه‌بندی نسبتاً باز آن و در نتیجه زهکشی مناسب آب باران است. این موضوع باعث می‌شود تا ایمنی این روکش آسفالتی در شرایط بارندگی افزایش یابد. با این حال، استفاده از عملیات‌های نگهداری پیشگیرانه قابلیت زهکشی مخلوط آسفالتی را کاهش می‌دهد.
- یخبندان در روکش آسفالتی UTBWC نسبت به بقیه روکش‌های آسفالتی زودتر اتفاق می‌افتد و فرآیند ذوب نیز کندتر انجام می‌شود. بنابراین، استفاده از این نوع روکش در یخبندان‌های سریع و یا چرخه‌های ذوب و یخبندانی که سریع اتفاق می‌افتند، می‌تواند مشکل‌ساز باشد.

۴-۴- ارزیابی اقتصادی جاده TH ۱۵ در مینسوتا

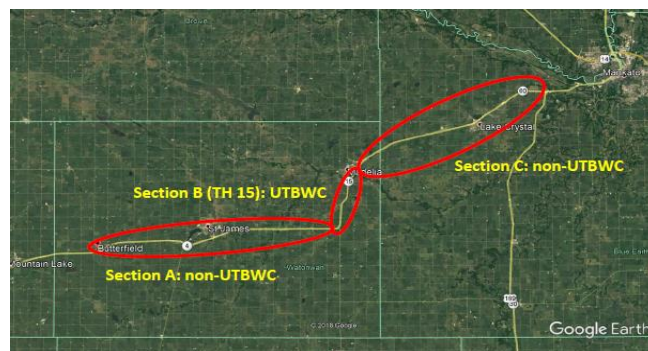
برای ارزیابی اقتصادی نگهداری زمستانی UTBWC، به بررسی جاده TH ۱۵ در ایالت مینسوتا پرداخته می‌شود. این جاده متشکل از ۳ بخش A، B و C به ترتیب با طول‌های ۶۸، ۲۶ و ۷۵ مایل می‌باشد که بخش B دارای روکش UTBWC می‌باشد. شکل (۵)، نقشه این جاده و تقسیم‌بندی آن را نشان می‌دهد.

زمستان نتیجه‌گیری شد. در ادامه از بررسی موردی روکش آسفالتی UTBWC در پروژه ۱۶۹ US و مصاحبه با متخصصین ادارات حمل و نقل آمریکا برای نتیجه‌گیری درباره نگهداری این روکش‌ها در زمستان استفاده شد.

نتایج مرور پژوهش‌های پیشین و مصاحبه با متخصصین نشان داد که روکش‌های آسفالتی UTBWC بیشتر از مخلوط‌های آسفالتی متراکم مستعد تجمع برف و یخبندان هستند و برف تشکیل‌شده در سطح آن‌ها دیرتر ذوب می‌شود. همچنین، نگهداری روکش‌های آسفالتی UTBWC در زمستان نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متراکم نیازمند مقدار مواد یخ‌زدا و دفعات عملیات برف‌روبی بیشتر است. استفاده از این نوع روکش در مسیری که در معرض وزش شدید باد و عمود بر جهت غالب باد هستند، توصیه نمی‌شود. از سوی دیگر، نتایج بررسی موردی نشان داد که استفاده از روکش آسفالتی UTBWC عملکرد بهتری در مقایسه با مخلوط آسفالتی متراکم دارد. بنابراین، اگرچه هزینه‌های نگهداری روکش آسفالتی UTBWC در زمستان بیشتر از مخلوط‌های آسفالتی متراکم است، اما عملکرد بهتر آن‌ها و کاهش هزینه‌های نگهداری کلی روسازی، می‌تواند استفاده از روکش آسفالتی UTBWC را توجیه کند.

منابع

- Wegman, D.E., Sabouri, M. and Intertec, B., ۲۰۱۸. Ultra-thin bonded wearing course (UTBWC) snow, ice, and wind effects: Transportation Research Synthesis (No. TRS ۱۸۰۴). Minnesota. Dept. of Transportation. Research Services & Library.
- Zhao, Y. and Goulias, D., ۲۰۲۴. Factors affecting winter performance of ultra-thin bonded wearing course (UTBWC). *International Journal of Pavement Engineering*, 25(۱), p.۲۴۱۷۹۷۲. <https://doi.org/10.1080/10298436.2024.2417972>
- Guo, M., Zhang, R., Du, X. and Liu, P., ۲۰۲۴. A state-of-the-art review on the functionality of ultra-thin overlays towards a future low carbon road maintenance. *Engineering*, ۳۲, pp.۸۲-۹۸. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.03.020>
- Ayar, P., Ruhi, A., Baibordy, A., Asadi Azadgoleh, M., Mohammadi, M.M. and Abdipour, S.V., ۲۰۲۴. Toward sustainable roads: a critical review on nano-TiO₂



شکل ۵: نقشه جاده ۱۵ TH و تقسیم‌بندی آن [۱۱]

جدول (۳) به بررسی میانگین هزینه‌های نگهداری زمستانی (بر حسب دلار بر مایل راه) انجام شده در سه ناحیه تقسیم‌بندی شده از جاده ۱۵ TH در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ میلادی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود. هزینه نگهداری زمستانی از UTBWC به دلیل افزایش نیاز به مصالح، تجهیزات و نیروی انسانی بیشتر از روسازی بدون این روکش می‌باشد. البته لازم به ذکر است که علی‌رغم بالا بودن هزینه نگهداری زمستانی UTBWC، هزینه کل نگهداری این روکش به علت عملکرد مناسب‌تر نسبت به سایر روگردهای بهسازی و نگهداری راه می‌تواند عملکرد اقتصادی آن را توجیه کند. بدین منظور، تحلیل اقتصادی استفاده از این روکش با توجه به شرایط آب‌وهوایی و عملکرد مورد انتظار ضروری می‌باشد.

جدول ۳: میانگین هزینه نگهداری زمستانی بخش‌های مختلف جاده ۱۵ TH در ایالت مینسوتا در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ میلادی [۱۱]

بخش‌ها	هزینه (دلار بر مایل راه)
A	۲۱۷۵
B	۴۱۲۵
C	۲۲۱۴

۵ - نتیجه‌گیری

در این پژوهش نگهداری روکش آسفالتی بسیار نازک (UTBWC) در زمستان ارزیابی شده است. برای این منظور پژوهش‌های پیشین درباره نگهداری مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز در زمستان بررسی شدند و با توجه به شباهت ساختاری روکش آسفالتی UTBWC و مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی باز، درباره نگهداری روکش آسفالتی UTBWC در

- (No. FHWA-SC-۱۲-۰۴). South Carolina. Dept. of Transportation.
۱۶. Seely, M., ۱۹۹۹. Climatological characterization of snowfall and snowdrift in Minnesota. Center for Transportation Studies. Minnesota. Dept. of Transportation.
 ۱۷. Ye, Z., Veneziano, D. and Shi, X., ۲۰۱۳. Estimating statewide benefits of winter maintenance operations. *Transportation Research Record*, 2329(۱), pp.۱۷-۲۳. <https://doi.org/۱۰.۳۱۴۱/۲۳۲۹-۰۳>
 ۱۸. Geng, L., Ma, T., Zhang, J., Huang, X. and Hu, P., ۲۰۱۷. Research on performance of a dense graded ultra-thin wearing course mixture. *Applied Sciences*, 7(۸), p.۸۰۰. <https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/app۷۰۸۰۸۰۰>
 ۱۹. Hu, M., Li, L. and Peng, F., ۲۰۱۹. Laboratory investigation of OGFC-۰ porous asphalt ultra-thin wearing course. *Construction and Building Materials*, 219, pp.۱۰۱-۱۱۰. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.conbuildmat.۲۰۱۹.۰۴.۲۰۰>
 ۲۰. Ruranika, M.M. and Geib, J., ۲۰۰۷. Performance of ultra-thin bonded wearing course (UTBWC) surface treatment on US-۱۶۹ Princeton, MN (No. MN/RC ۲۰۰۷-۱۸). application in asphalt pavement. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(۰), p.۱۴۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۴۱۰۶۲-۰۲۴-۰۱۴۰-۰۴>
 ۵. Hanson, D.I., ۲۰۰۱. Construction and performance of an ultrathin bonded hot-mix asphalt wearing course. *Transportation research record*, 1749(۱), pp.۵۳-۵۹. <https://doi.org/۱۰.۳۱۴۱/۱۷۴۹-۰۸>
 ۶. Cooper, S.B. and Mohammad, L.N., ۲۰۰۴. Novachip surface treatment: six year evaluation (No. ۰۴-۲TA). Louisiana Transportation Research Center.
 ۷. Yu, J., Chen, F., Deng, W., Ma, Y. and Yu, H., ۲۰۲۰. Design and performance of high-toughness ultra-thin friction course in south China. *Construction and Building Materials*, 246, p.۱۱۸۵۰۸. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.conbuildmat.۲۰۲۰.۱۱۸۵۰۸>
 ۸. Khanal, S., Gilliland, A. and Mohanraj, K., ۲۰۲۳. Ultra-thin bonding wearing course case study (No. FHWA-HIF-۲۴-۰۲۰). United States. Federal Highway Administration. Office of Preconstruction, Construction, and Pavements.
 ۹. Ahmed, S., Dave, E.V., Buttlar, W.G. and Exline, M.K., ۲۰۱۳. Cracking resistance of thin-bonded overlays using fracture test, numerical simulations and early field performance. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(۶), pp.۵۴۰-۵۵۲. <https://doi.org/۱۰.۱۰۸۰/۱۰۲۹۸۴۳۶.۲۰۱۲.۷۱۱۴۷۴>
 ۱۰. Ahmed, A.A., ۲۰۱۰. Ultra-Thin Bonded Wearing Course Performance Update, Minnesota (No. MN/RC ۲۰۰۹-۳۰).
 ۱۱. Sabouri, M., Wegman, D. and Intertec, B., ۲۰۱۹. Ultra-thin bonded wearing course (UTBWC) winter maintenance: *Transportation Research Synthesis (No. TRS 1904)*. Minnesota. Dept. of Transportation. Research Services & Library.
 ۱۲. Yildirim, Y., Dossey, T., Fulst, K., Tahmoressi, M. and Trevino, M., ۲۰۰۷. Winter maintenance issues associated with new generation open-graded friction courses (No. FHWA/TX-۰۸/۰-۴۸۳۴-۲). Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
 ۱۳. Huber, G. and Huber, G.A., ۲۰۰۰. Performance survey on open-graded friction course mixes (Vol. ۲۸۴). *Transportation Research Board*.
 ۱۴. Autelitano, F., Petrolo, D., Chiapponi, L., Giuliani, F. and Longo, S., ۲۰۲۲. Temporary clogging effects induced by a sustainable anti-icing hydrogel on the hydraulic conductivity and inertia coefficient of open-graded asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 361, p.۱۲۹۴۹۵. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.conbuildmat.۲۰۲۲.۱۲۹۴۹۵>
 ۱۵. Putman, B.J., ۲۰۱۲. Evaluation of open-graded friction courses: construction, maintenance, and performance