کاربرد بتن آسفالتی به عنوان زیر بالاست در خطوط ریلی با رویکرد توسعه پایدار

مقاله علمی – پژوهشی

ندا کامبوزیا*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، گروه راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمدرضا خاکباز، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، گروه راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: nkamboozia@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸
صفحه ۱۲-۱

چکیده

اخیراً در برخی از کشورها در زمینه حمل و نقل ریلی بر روی تکنیک‌های جدید و مدرن همانند استفاده از روسازی آسفالتی به منظور بهبود کیفیت آن تمرکز کرده است. استفاده از بتن آسفالتی برای لایه‌های بستر راه‌آهن در برخی کشورها حتی به عنوان راه حل استاندارد و مناسبی برای خطوط پرسرعت یا با تناژ بالا پذیرفته شده است. استفاده از مخلوط آسفالتی در خطوط راه‌آهن به عنوان راهکاری مناسب برای ارتقای کیفیت روسازی محسوب می‌شود. هدف از نگارش این مقاله و مرور این سیستم، بهبود ناوگان حمل و نقل ریلی در مقایسه با روسازی بالاستی است. در مقایسه با سیستم روسازی بالاستی سنتی، استفاده از روسازی آسفالتی افزایش ظرفیت باربری و حفاظت بیشتر از زیرساخت و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری را فراهم می‌کند. با این حال بدلیل اینکه مخلوط آسفالتی داغ بایستی تحت دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تولید شود، استفاده از این سیستم می‌تواند هزینه‌های قابل توجهی در زمان ساخت در بر داشته باشد و ضمن اینکه همراه با افزایش آلودگی و مصرف انرژی زیاد است و بایستی از لحاظ زیستی‌محیطی نیز بررسی‌های لازم صورت گیرد و توجه خاصی به بحث توسعه پایدار شود. بدین ترتیب روش‌های جایگزین مناسب از جمله استفاده از مخلوط آسفالتی گرم، مخلوط آسفالتی سرد و بهره‌گیری از انواع مختلف بازیافت گرم و سرد مطرح می‌گردد. علاوه بر آن، استفاده از بازیافت آسفالت با مزایای زیست‌محیطی و فنی بصورت‌های مختلف در لایه روسازی راه‌آهن با تمرکز بر مباحث توسعه پایدار مورد تاکید است.

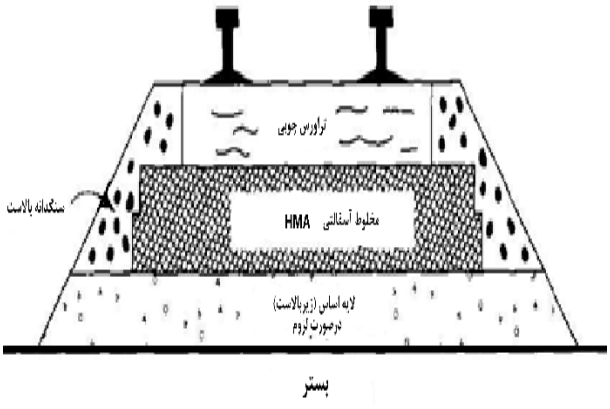
واژه‌های کلیدی: بازیافت آسفالت، توسعه پایدار، روسازی انعطاف‌پذیر، روسازی راه‌آهن، مخلوط آسفالتی

۱- مقدمه

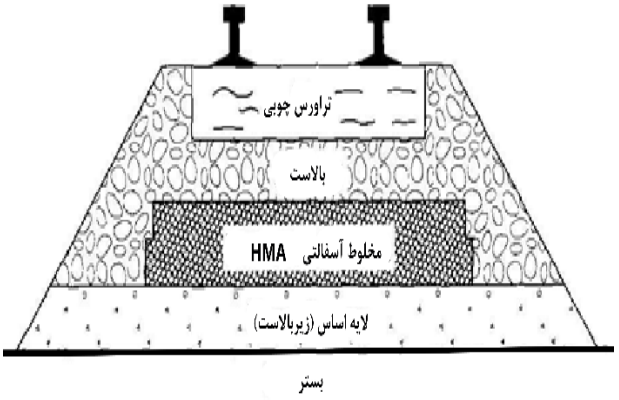
راه‌آهن به عنوان یک عنصر مهم و حیاتی در بخش حمل و نقل، به دلیل قابلیت‌های بسیار در زمینه حمل بار و مسافر نیازمند توسعه و گسترش روزافزون است. به‌طور کلی یکی از بهترین مزیت‌های راه‌آهن نسبت به راه، اشغال کمتر زمین و در نتیجه آسیب کمتر به محیط‌زیست است. تحقیقات و مطالعات زیادی در سال‌های گذشته در جهت توسعه بخش‌های مختلف از جمله روسازی، صورت گرفته است. بطور کلی و از لحاظ سازه‌ای، روسازی راه‌آهن به دو نوع روسازی بالاستی و روسازی بدون بالاست تقسیم‌بندی می‌گردد. در روسازی بالاستی هدف از ریختن سنگدانه‌ها، ایجاد انعطاف‌پذیری مطلوب در هنگام عبور قطار و اصطلاحاً میرایی تنش‌های وارده ناشی از عبور قطار است. به مرور زمان و با افزایش بار محوری و سرعت قطارها، نیاز به احداث خطوط صلب احساس گردید. در این نوع روسازی بجای استفاده از مصالح بالاست، از مصالحی جایگزین همانند

بتن یا بتن آسفالتی استفاده می‌شود. بطور کلی، روسازی راه‌آهن صرفنظر از نوع آن، باید قادر به تامین الزامات اساسی از جمله انتقال بارهای وارده از قطار به لایه‌های زیرین و توزیع متوازن این بارها تا رسیدن به بستر خاکی، میرایی انرژی و کاهش تنش‌های دینامیکی اعمال شده به بخش زیرین خط راه‌آهن، حفظ مشخصات هندسی خط در زمان بارگذاری و باربرداری، ایجاد بستری هموار و ایمن برای حرکت قطار، پایین بودن هزینه‌های احداث، نگهداری و تعمیر تا حد قابل‌قبول، تامین خاصیت ارتجاعی و فنریت لازم در بارگذاری با بهره‌گیری از سنگدانه بالاست و یا مخلوط آسفالتی و یا استفاده از لاستیک‌های ارتجاعی در خط و نهایتاً زهکشی آسان آب به خارج از حریم راه‌آهن باشد (Mirmohamadsadeghi, 2020)

با تحلیل‌های فنی و مهندسی و اقتصادی چرخه عمر روسازی و به موازات آن توجه به مسائل توسعه پایدار، می‌توان از دو نوع روسازی بالاستی و بدون بالاست بهره گرفت. اما باید توجه داشت که تنوع روسازی بدون بالاست بسیار بیشتر از روسازی بالاستی است؛ این موضوع در جدول ۱ مشهود است (Mirmohamadsadeghi, 2020). این تنوع در روسازی بدون بالاست می‌تواند به شکل‌گیری لایه‌ای تحت عنوان "لایه پشتیبان آسفالتی (ASL)" منجر شود. ضمن اینکه دو نوع سیستم روسازی بالاستی همراه با مخلوط بتن آسفالتی می‌توان متصور شد (شکل ۱ و ۲) (Yang H, Huang, 1993).



شکل ۱. خطوط HMA از نوع رولایه
(Yang H, Huang, 1993)



شکل ۲. خطوط HMA از نوع رولایه
(Yang H, Huang, 1993)

کاربرد استفاده از مخلوط بتن آسفالتی در راه‌آهن تنها به خطوط پرسرعت ختم نشده و می‌تواند در خطوط معمولی نیز بکار رود، اما باید بررسی‌های لازم درمورد اقتصادی بودن آن نیز صورت گیرد (Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016). در زیرسازی راه‌آهن مواردی از جمله کاهش ارتعاشات، دوام بالا، خاصیت ضد آب بودن، قابلیت بالای نگهداری و تعمیرات مورد نظر است. بکارگیری مخلوط آسفالتی به دلیل برآورده کردن الزامات ذکر شده به عنوان یک ماده ویسکوالاستیک، یک گزینه رقابتی برای بستر راه‌آهن محسوب می‌گردد و می‌تواند به حفظ شرایط هندسی خط‌آهن کمک شایانی کند (Di Mino, G. and C. M. Di Liberto 2012). در حال حاضر، استفاده از مخلوط آسفالتی در راه‌آهن در بیش از چهارده کشور مورد استفاده و تحقیق و بررسی است که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد (Fang, M., et al. 2020).

جدول ۱. مقایسه کلی روسازی و زیرسازی خطوط بالاستی و بدون بالاست (**Mirmohamadsadeghi, 2020**)

طبقه	خط بالاستی	خط بدون بالاست
روسازی	ریل	ریل
	ادوات اتصال	ادوات اتصال
	تراورس	تکیه‌گاه‌های مجزا با استفاده از تراورس یا نقطه تکیه‌گاهی یا تکیه‌گاه پیوسته (ریل مدفون)
	بالاست	لایه پشتیبان بتنی (CSL) یا لایه پشتیبان آسفالتی (ASL)
		لایه پشتیبان هیدرولیکی (HBL)
	زیربالاست	لایه محافظ در برابر یخبندان (لایه پشتیبان بالایی)(FPL)
زیرسازی	لایه شکل دهی (بستر منتخب)	خاکریز یا خاکبرداری متراکم و اصلاح شده (لایه پشتیبان پایینی)
	بستر متراکم	بستر متراکم (با معیارهای سختگیرانه‌تر از خط بالاستی)

شکل ۳. نمای جهانی از کاربردهای مخلوط آسفالتی در راه‌آهن (Fang, M., et al. 2020)

استفاده از مخلوط‌های آسفالتی جایگزین‌های فنی و مهندسی خوبی برای خطوط بالاستی سنتی راه‌آهن است. ضمن اینکه استفاده از مخلوط آسفالتی به کاهش ارتعاش و سر و صدا کمک شایانی می‌کند و این موضوعی است که در سالهای اخیر به آن توجه ویژه‌ای می‌گردد (Pirozzolo, 2017). مخلوط آسفالتی داغ۱ به طور وسیع در خطوط راه‌آهن مدرن در لایه زیر بالاست استفاده می‌شود. یکی از دلایل استفاده از مخلوط آسفالتی این است که در مقایسه با زیربالاست دانه‌ای سنتی که در راه‌آهن‌های پرسرعت استفاده می‌شود، این مواد امکان افزایش ظرفیت باربری و حفاظت بیشتر از زیرساخت را فراهم می‌کنند و کاهش فعالیت‌های تعمیر و نگهداری را بدنبال دارد (Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016). با وجود مزایایی که در استفاده از مخلوط آسفالتی داغ وجود دارد، بدلیل آنکه این مواد در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌گردد، هزینه بالایی برای تولید آن نیاز است و ضمن اینکه بحث زیست‌محیطی نیز مطرح است. در این زمینه بایستی به مساله توسعه پایدار توجه ویژه‌ای داشت.

بنابراین، بررسی امکان استفاده از مخلوط آسفالتی گرم و نیمه‌گرم ساخته شده در دماهای پایین‌تر به عنوان زیربالاست نیز مطرح است. استفاده از آسفالت گرم و آسفالت نیمه‌گرم باعث صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول فرآیند تولید و همچنین کاهش هزینه‌های جهانی این لایه می‌گردد (Pirozzolo, 2017). نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مخلوط آسفالتی گرم در زیربالاست رفتار مکانیکی را ارایه می‌دهد که با مخلوط آسفالتی داغ معمولی قابل مقایسه است و حتی در مواردی مخلوط آسفالتی گرم عملکرد بهتری را دارد (Jain, Singh, 2021). بدین ترتیب به دلیل مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی می‌توان آن را به یک جایگزین بالقوه برای استفاده در ساخت این لایه تبدیل کرد. بحث زیست‌محیطی و گرمایش زمین یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های امروز بشر است. در این راستا در سال‌های اخیر استفاده از مخلوط آسفالتی سرد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این نوع آسفالت دیگر نیازی به حرارت‌دهی ندارد و این موضوع فوق‌العاده با اهمیتی است و نشان از اهمیت به موضوع توسعه پایدار و بخصوص بحث زیست‌محیطی دارد. برای تولید مخلوط آسفالتی سرد، دمای مورد نیاز در محدوده ۰ تا ٤٠ درجه سانتی‌گراد است. تولید مخلوط سرد نیازی به سرمایه گذاری زیاد در تجهیزات ندارد و همین امر استفاده از آن را آسان‌تر می‌کند. در کنار مزایای استفاده از مخلوط آسفالتی سرد، استحکام کمتر، فضای خالی بیشتر و حساسیت بیشتر به رطوبت را می‌توان به عنوان معایب این نوع مخلوط نام برد (Jain, Singh, 2021).

۲- مخلوط‌های آسفالتی

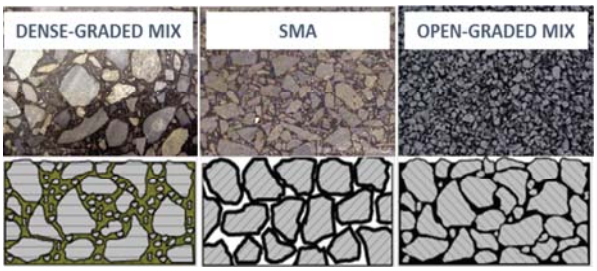
۲-۱- مخلوط آسفالتی داغ (HMA)

این مخلوط آسفالتی انعطاف‌پذیر از ترکیب سنگدانه‌های ریز و درشت و چسباننده قیری تشکیل شده است که روسازی بسیار مقاوم در برابر شرایط جوی را ایجاد می‌کند. این نوع آسفالت در دمای حدود ۱۵۰ تا ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد گرم شده و ریخته می‌شود. کار کردن با آن در حالت گرم آسان است، اما خیلی سریع سرد می‌شود و بنابراین نیاز به تخصص بالایی در بکارگیری آن دارد. در سال‌های اخیر بدلیل اهمیت بیشتر در زمینه توسعه پایدار، سعی شده است استفاده از این مخلوط آسفالتی با تمام مزایای آن کنار گذاشته شود و بجای آن از مخلوط آسفالتی گرم استفاده شود.

۲-۱-۱- تقسیم‌بندی مخلوط آسفالتی داغ بر اساس دانه‌بندی

مخلوط آسفالتی داغ بر اساس دانه‌بندی به سه دسته تقسیم‌بندی می‌گردد (Bardesi, 2010). دسته اول به مخلوط متراکم درجه‌بندی شده موسوم است. این مخلوط بصورت خوب دانه‌بندی شده و پیوسته است و منحنی درجه‌بندی آن هیچ تغییر شیب ناگهانی ندارد. همچنین این مخلوط بصورت متراکم و نسبتا غیرقابل نفوذ است. مخلوط‌های متراکم معمولاً با حداکثر اندازه اسمی سنگدانه‌ها طبقه‌بندی می‌شوند و می‌توان آنها را به‌عنوان درجه‌بندی ریز یا درشت طبقه‌بندی کرد. مخلوط‌های با درجه بندی ریز، دارای ذرات ریز و ماسه‌ای بیشتری نسبت به مخلوط‌های با درجه‌بندی درشت هستند. دسته دوم مخلوط آسفالت با استخوان‌بندی درشت‌دانه است. این مخلوط آسفالتی دارای مقدار ناچیزی از اندازه متوسط است، اما دارای نسبت نسبتاً بالایی از ریزه‌دانه است. این ترکیب یک مخلوط آسفالت گرم با درجه شکاف است که در اروپا برای به حداکثر رساندن مقاومت در برابر شیار و دوام ساخته شده است. بحث شیارشدگی در روسازی آسفالتی راه‌آهن نیز مطرح است و استفاده از این مخلوط می‌تواند تا حد زیادی به حل این مشکل کمک کند. هدف اصلی از طراحی چنین مخلوطی، ایجاد تماس سنگ به سنگ در مخلوط آسفالتی است. از آنجایی که سنگدانه‌ها به اندازه قیر تحت بار تغییر شکل نمی‌دهند، این تماس سنگ به سنگ تا حد زیادی شیار شدن را کاهش می‌دهد. ترکیب SMA معمولی شامل۷۰-۸۰٪ سنگدانه درشت، ۸-۱۲ درصد پرکننده، ٦-۷ درصد قیر و ۰,۳ درصد فیبر است. دسته سوم به مخلوط با درجه‌بندی باز معروف است. این مخلوط بگونه‌ای طراحی شده است که دارای نفوذپذیری مناسب در برابر آب باشد. مخلوط‌های با درجه‌بندی باز با سنگدانه‌های نسبتاً یکنواخت تولید می‌شوند که مشخصه آن عدم وجود ذرات با

اندازه متوسط است و منحنی درجه‌بندی آن دارای افت تقریباً عمودی در محدوده اندازه متوسط است. این مخلوط برای استفاده در روسازی راه‌آهن نسبتاً نامناسب است، مگر اینکه تدابیر لازم برای زهکشی فراهم گردد.



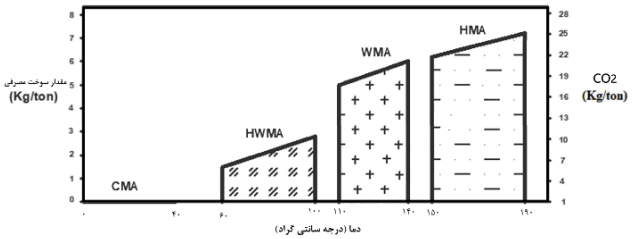
شکل ٤. طبقه بندی مخلوط آسفالتی داغ بر اساس دانه‌بندی آن
(Bardesi, 2010)

۲-۲- مخلوط آسفالتی گرم

مخلوط آسفالتی گرم یک فناوری نسبتاً جدید در صنعت تولید آسفالت است. این نوع آسفالت در دمای ۱۳۵ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود و تقریباً مشابه مخلوط آسفالتی داغ است. اما به دلیل دمای آن به آرامی خنک می‌شود و حتی در ماه‌های سردتر نیز قابل اجرا است. همچنین می‌توان آن را برای مسافت‌های طولانی‌تر بدون به خطر انداختن کیفیت آن حمل کرد و به دلیل کاربرد نسبتاً آسان‌تر و ایمن‌تر، می‌توان آن را به طور مؤثرتری اعمال کرد. مخلوط آسفالتی گرم به ما این امکان را می‌دهد که از سوخت کمتری استفاده کنیم و گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر کنیم و آن را مقرون به صرفه‌تر و برای محیط زیست ایمن‌تر و برای کارگران ایمن‌تر می‌کند.

۲-۳- مخلوط آسفالتی سرد

مخلوط آسفالتی سرد، یک روش نوین در بین مخلوط‌های آسفالتی است که از اختلاط سنگدانه‌ها با قیرهای محلول یا قیرآبه‌ها در دمای محیط تهیه و در همین دما پخش و متراکم می‌شود. آسفالت سرد بر حسب روش تهیه و اجرا به دو نوع کارخانه‌ای و مخلوط در محل تقسیم‌بندی می‌گردد. آسفالت سرد را می‌توان در مسافت‌های زیاد حمل و پخش کرد و یا اینکه در کارگاه انبار نمود و در موقع مناسب مورد استفاده قرار داد. در راهسازی استفاده از این نوع آسفالت در قشرهای رویه و آستر با ترافیک سنگین و خیلی سنگین توصیه نمی‌گردد. بنابراین بایستی برای استفاده از این نوع آسفالت در روسازی راه‌آهن با توجه به بار محوری و تناژ موردنظر، دقت‌نظر بیشتری داشت. تاکنون استفاده از مخلوط آسفالتی سرد در راه‌آهن بصورت خیلی محدود و در حد مطالعات بوده است و بنابراین نیاز است مطالعات گسترده‌ای در این حوزه صورت گیرد.



شکل ۵. انواع مخلوط‌های آسفالتی با دمای ساخت و میزان مصرف سوخت در هر تن (Jain, Singh, 2021)

۳- بازیافت مصالح آسفالت

بازیافت عبارتست از استفاده مجدد از مصالحی که کارایی اولیه خود را انجام داده‌اند و نیاز است تا با استفاده از فعل و انفعالات مجدد دوباره مورد استفاده قرار گیرند(Ziyari, Tabatabaii, Khabiri, 2014). بازیافت آسفالت، یکی از روش‌های بسیار مناسب برای بکارگیری مجدد از آسفالت است که مزایای فراوانی دارد. از مهم‌ترین مزایای بازیافت آسفالت حفاظت از منابع محدود طبیعی غیرقابل بازگشت، توجه به مساله توسعه پایدار، حفاظت از محیط زیست و کاهش ایجاد تغییر در آن، حفظ انرژی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها نسبت به روش‌های بهسازی سنتی اشاره نمود (Nasrazadani & Rezaii, 2009). در کنار این مزایا، استفاده از آسفالت بازیافتی شیارشدگی و حساسیت رطوبتی آسفالت را کاهش می‌دهد که در بحث استفاده از مخلوط آسفالتی در راه‌آهن بسیار اهمیت دارد. یکی از دغدغه‌ها و نگرانی‌های موجود در استفاده بیشتر از مصالح بازیافتی، بوجود آمدن ویژگی‌هایی از قبیل کاهش مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و پیرشدگی قیر است که راهکار مقابله با این موضوع، استفاده از عامل‌های بازیافت (جوان‌سازها) و مواد افزودنی است (Yosefi Abbasaliol, 2020).

۳-۱- استفاده از آسفالت بازیافتی در راه‌آهن

تاکنون استفاده از آسفالت بازیافتی در خط‌آهن به مقدار ۳۰ درصد محدود شده است و این مساله با توجه به تجربه گذشته در این زمینه بوده است. اما با وجود تحقیقات جدید در این حوزه، لزوم بکارگیری درصدهای بالاتری از آسفالت بازیافتی برای بهبود مسیر و قابلیت‌های آن حس می‌گردد. در این راستا بصورت آزمایشی در جمهوری چک، استفاده از مخلوط آسفالتی با ۷۰ درصد از آسفالت بازیافتی بررسی گردید و نتایج قابل قبولی بدست آمد. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش، بهبود هندسه خط و ایجاد مسیر یکنواخت‌تر است (Kucera, Lidmila, Jasansky, et al. 2021).

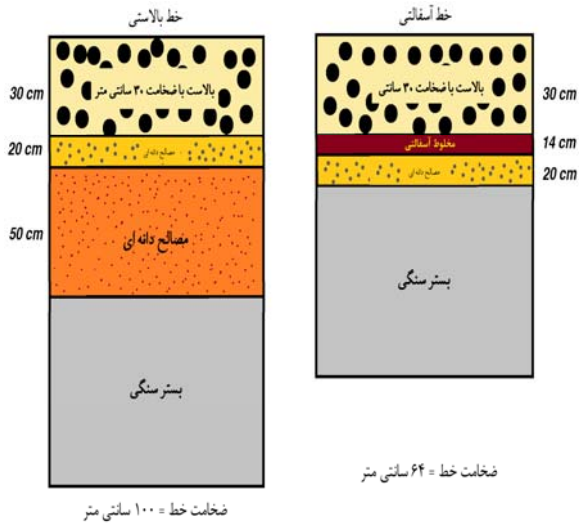
٤- رویکردهای نوین در استفاده از مخلوط آسفالتی در راه‌آهن

طبق تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر، استفاده از موادی همچون خرده لاستیک (Ghavibazoo, A. and M. Abdelrahman, 2014)، کیسه‌های زباله و ضایعات پلاستیکی بازیافتی (Rotimi, A., 2022)، پلی‌اتیلن بازیافتی (dos Santos Ferreira, J. W., et al., 2022) و غیره در بهبود خواص مخلوط آسفالتی تاثیرات مثبتی دارند. استفاده از موارد فوق در مخلوط آسفالتی در راه‌آهن همانند استفاده از خرده‌آسفالت، می‌تواند بهبودهایی را به مخلوط آسفالتی ببخشد و حتی در هزینه اجرای راه‌آهن نیز صرفه‌جویی کرد. در روسازی و حتی زیرسازی راه‌آهن بایستی مقاومت در برابر تغییر شکل، ترک‌خوردگی و شکست ناشی از خستگی مصالح مورد توجه ویژه‌ای باشد.

در این راستا در یک پروژه زیرسازی راه‌آهن در چین، استفاده از نوعی آسفالت اصلاح شده مرکب استایرن – بوتادین – استایرن و (SBS+CR CMA) پیشنهاد گردید. سپس چندین آزمایش برای ارزیابی پایداری حرارتی و مقاومت خستگی آن در سطح چسباننده قیری و مخلوط آسفالتی انجام گردید. در نهایت، در مقایسه با نتایج SBS+TPS (پلی استایرن سخت)، خرده‌لاستیک و SBS CMA، نتیجه آن شد که استفاده از SBS + CR CMA عملکرد بسیار بهتری در برابر ترک خوردگی در دمای پایین و مقاومت در برابر خستگی نسبت به دو آسفالت دارد اما عملکرد دمای بالای ضعیف‌تری دارد. بنابراین، SBS+CR CMA پیشنهادی برای این پروژه و آن دسته از کاربردها در مناطق سردسیر است (Fu, Chen, Xu, et al., 2019).

٥- تنوع اجزای خطوط بتن آسفالتی

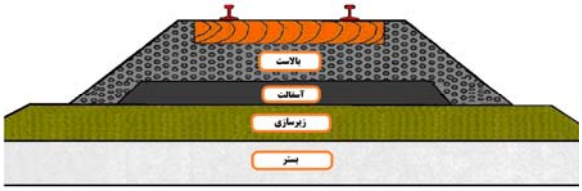
از سال ۱۹۸۰ میلادی استفاده از مخلوط آسفالتی در خطوط راه‌آهن در ایالات متحده آمریکا به عنوان یک گزینه اجرایی توسعه پیدا کرد. همچنین در سایر کشورها این کارکرد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. انواع مختلفی را در بهره‌گیری از خطوط راه‌آهن آسفالتی می‌توان متصور شد. بطور کلی قابلیت خطوط آسفالتی راه‌آهن در پایداری روسازی اثبات گردیده است. این قابلیت در نقاط حساس از جمله در نواحی سوزن‌ها، چلیپاها، نقاط تماس پل‌ها با خاکریز بیشتر قابل توجه است. پروفسور رُز و همکاران در دانشگاه کنتاکی به کاربرد لایه‌ی آسفالتی در خطوط ریلی کشورهای آمریکا، آلمان، فرانسه، ژاپن، ایتالیا، اسپانیا و استرالیا پرداخت. با بهره‌گیری از اطلاعات خطوط ریلی فرانسه با اجرای آسفالت در خط‌آهن می‌توان ضخامت تمام‌شده کل خط را از عدد ۱۰۰ سانتی‌متر به ٦٤ سانتی‌متر تقلیل داد (Rose, 2011).



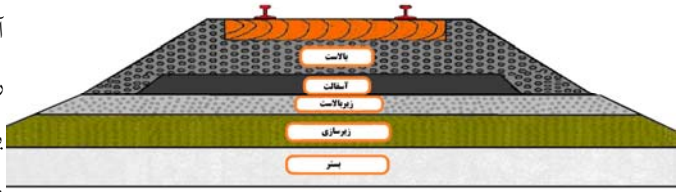
شکل ٦. مقایسه ضخامت خط بالاستی و آسفالتی راه‌آهن

(Rose, 2011)

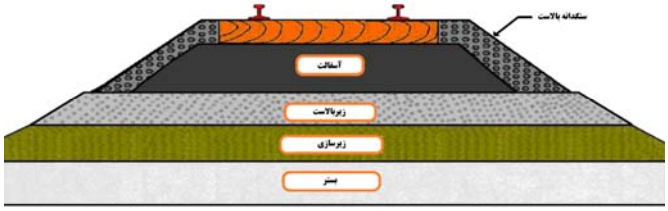
علاوه بر کاهش ضخامت خط، یکی از مهم‌ترین خرابی‌ها در خطوط بالاستی سنتی آلودگی بالاست است که استفاده از مخلوط آسفالتی در خطوط راه‌آهن می‌تواند این معضل را از بین ببرد. همچنین استفاده از چنین خطوطی می‌تواند مانع از نفوذ آب در بستر راه‌آهن و خرابی آن گردد و با استفاده از یک مکانیزم ساده می‌توان آب ورودی به خط‌آهن را به محلی مناسب هدایت نمود (Fang, Hu, Rose, 2020). سه نوع متداول از خطوط آسفالتی راه‌آهن بیشتر مورد توجه بوده است (شکل ۷ تا ۹).



شکل ۷. خطوط راه‌آهن آسفالتی نوع اول (فاقد زیربالاست)
(Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016)

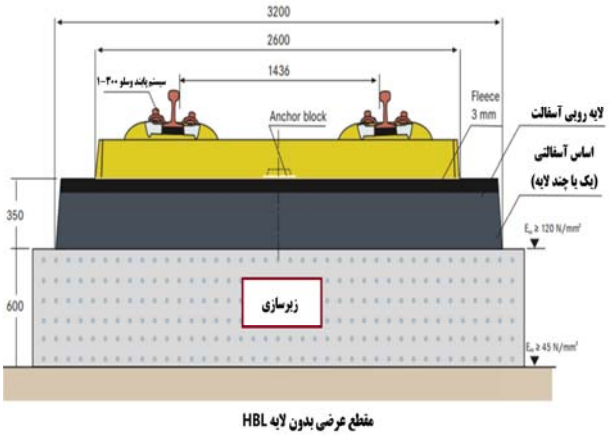


شکل ۸. خطوط راه‌آهن آسفالتی نوع دوم (همراه با زیربالاست)
(Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016)

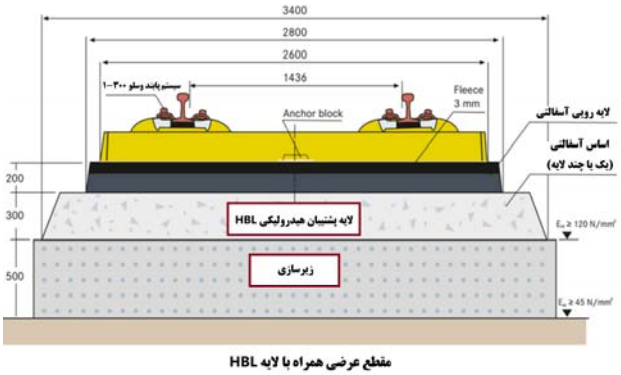


شکل ۹. خطوط راه‌آهن آسفالتی نوع سوم (تمام عمق با رویه آسفالتی) (Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016)

راه‌آهن آلمان برای بهبود و حفظ خطوط خود در طول ۵۰ سال گذشته همواره در حال پیشرفت و توسعه بوده است و سرعت‌های بهره‌برداری ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت را راه‌اندازی نموده است. یکی از گزینه‌های پیش روی راه‌آهن آلمان، جایگزینی خطوط بالاستی با خطوط آسفالتی به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و توجه به مساله توسعه پایدار و کاهش ارتعاش و سروصدا بوده است. در حال حاضر در کشور آلمان، خطوط راه‌آهن آسفالتی بدون بالاست موسوم به گترک یکی از متداول‌ترین نوع خطوط آسفالتی به حساب می‌آید که از لایه آسفالتی و تراورس‌های قفل‌شده به آسفالت تشکیل شده است. این سیستم شامل دو طرح متفاوت با نام‌های A1 و A3 تشکیل شده است. در هر دو سیستم برای انتقال نیرو بصورت ارتجاعی از تراورس‌های بتنی به لایه آسفالتی، از بست‌های بتنی با مقاومت بالا استفاده می‌شود. این بست‌های بتنی جایگزینی مناسب برای بالاست هستند که نیروهای طولی و جانبی را به لایه آسفالتی منتقل کنند (شکل ۱۴). طرح گترک از نوع A1 یک سیستم مسیر بدون بالاست است که روی یک لایه نگهدارنده آسفالت قرار گرفته است. تراورس‌ها از بتن پیش تنیده ساخته شده‌اند و بر روی لایه آسفالتی قرار داده می‌شوند. تراورس‌ها با آسفالت در هم قفل می‌شوند تا نیروهای طولی و جانبی وارده از ریل‌ها به لایه آسفالتی منتقل شوند. لایه پشتیبان آسفالتی بر روی یک لایه بالاست باربر یا لایه پشتیبان هیدرولیکی با مدول بزرگتر یا مساوی ۱۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع نصب می شود (شکل ۶ و ۷) (Yang, Wang, Qiu et al. 2016).

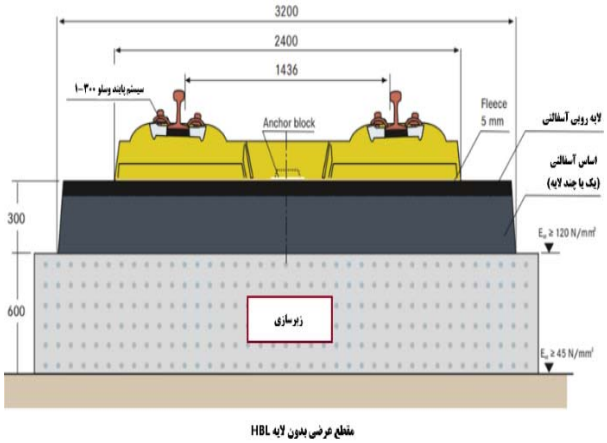


شکل ۱۰. مقطع متداول خطوط گترک از نوع A1 فاقد لایه پشتیبان هیدرولیکی (Yang, Wang, Qiu et al. 2016)

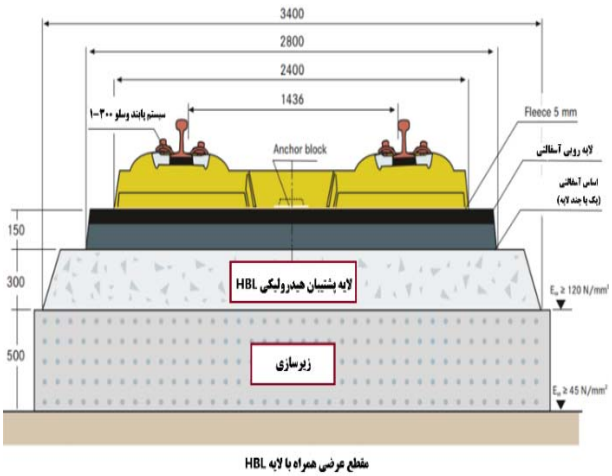


شکل ۱۱. مقطع متداول خطوط گترک از نوع A1 همراه با لایه پشتیبان هیدرولیکی (Yang, Wang, Qiu et al. 2016)

طرح گترک از نوع A3 بیشتر برای فضاهای تنگ از جمله تونل‌ها کاربرد دارد. تراورس‌های مورد استفاده از سطح باربری بالاتری نسبت به گترک از نوع A1 است و این موضوع باعث کاهش فشار واحد تماسی بین تراورس و آسفالت می‌گردد و بنابراین منجر به کاهش ضخامت آسفالت مورد استفاده می‌گردد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). نمونه‌ای از اجرای این طرح در تونل، در شکل ۱۵ قابل مشاهده است. در چین استفاده از آسفالت اپوکسی در پل‌های فولادی راه‌آهن پیشنهاد گردیده است. به منظور بهبود ایمنی و عمر مفید پل‌های راه‌آهن، یک لایه محافظ بتن آسفالت اپوکسی برای پل‌های فولادی راه‌آهن پیشنهاد شده است. در این تحقیق، ابتدا عملکرد مقاومت بتن آسفالت اپوکسی از طریق آزمایش‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از EAC عملکرد مقاومتی و مقاومت در برابر ترک‌خوردگی بهتری نسبت به بتن سیمانی پرتلند دارد و بیشترین مقاومت خمشی تقریباً سه برابر بزرگ‌تر از مقاومت خمشی بتن سیمانی است. ضمن اینکه عملکرد مشارکتی EAC با آزمون مقاومت سایشی و آزمون ضریب انقباض خطی ارزیابی گردید. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از EACPC عملکرد همکاری خوبی با لایه بالاست و عرشه فولادی دارد. بنابراین، یک تحلیل عددی از یک سیستم عرشه پل فولادی راه‌آهن معمولی انجام شد و پاسخ‌های دینامیکی EACPC تحت بار قطار از طریق یک مدل المان محدود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که استحکام EAC می‌تواند الزامات دوره حفاظتی را برآورده کند و EAC به خوبی با عرشه فولادی همکاری می‌کند. می‌توان نتیجه گرفت که EAC ماده خوبی برای مسیر حفاظتی عرشه پل راه‌آهن است (Chen, Qian, Hu, 2013).



شکل ۱۲. مقطع متداول خطوط گترک از نوع A3 فاقد لایه پشتیبان هیدرولیکی (ابعاد به میلی‌متر)
(Yang, Wang, Qiu et al. 2016)



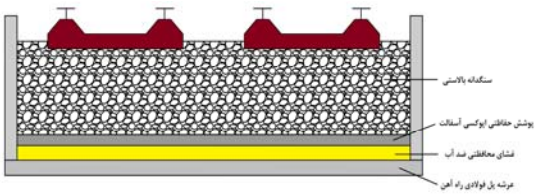
شکل ۱۳. مقطع متداول خطوط گترک از نوع A3 همراه با لایه پشتیبان هیدرولیکی (ابعاد به میلی‌متر)
(Yang, Wang, Qiu et al. 2016)

شکل ۱۴. بست بتنی قطعات

(Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016)

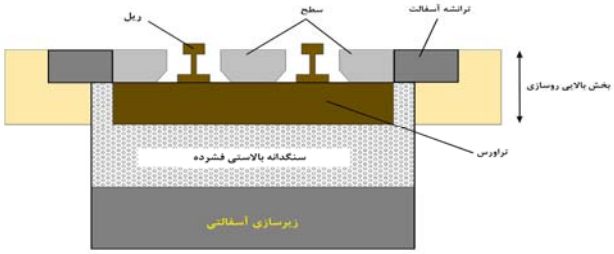
شکل ۱۵. خط گترک پس از تکمیل مراحل احداث

(Esmaili, Mehrzad, Ghahari, 2016)



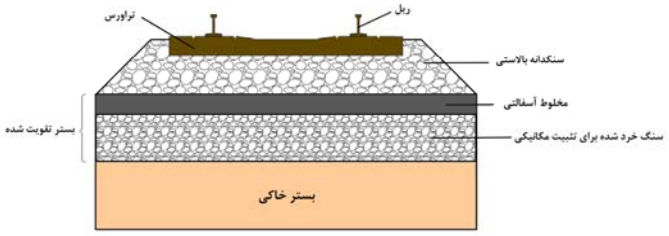
شکل ۱۶. کاربرد استفاده از آسفالت اپوکسی در عرشه پل فولادی راه‌آهن (Chen, Qian, Hu, 2013)

در تقاطعات همسطح راه‌آهن با جاده‌ها، نیاز اساسی عبور ایمن و راحت وسایط نقلیه موتوری و همچنین ترافیک ریلی است. در این راستا استفاده از زیرسازی آسفالتی و همچنین ترانشه آسفالتی در تقاطعات همسطح راه‌آهن با جاده پیشنهاد گردیده است (شکل ۱۷). استفاده از این مکانیزم باعث می‌شود که ترافیک پیچیده جاده – قطار برای روسازی قابل تحمل گردد و نیاز کمتری به تعمیر و نگهداری نسبت به روسازی معمول بالاستی راه‌آهن فراهم گردد و انعطاف‌پذیری بالاتری در عبور از این ناحیه فراهم شود (Rose, 2002).



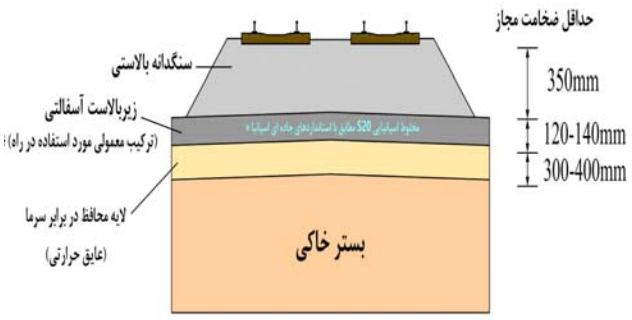
شکل ۱۷. کاربرد مخلوط آسفالتی در روسازی همسطح راه‌آهن و جاده (Rose, 2002)

در ژاپن، استفاده از یک لایه مخلوط آسفالتی و یک لایه سنگ خردشده برای تثبیت مکانیکی جهت بهره‌گیری از یک بستر تقویتی پیشنهاد گردیده است (شکل ۱۸). استفاده از این مکانیزم در کاهش وقوع بی‌نظمی‌های مسیر و ایجاد یک بستر یکپارچه کارساز است (Momoya, Sekine, 2004).



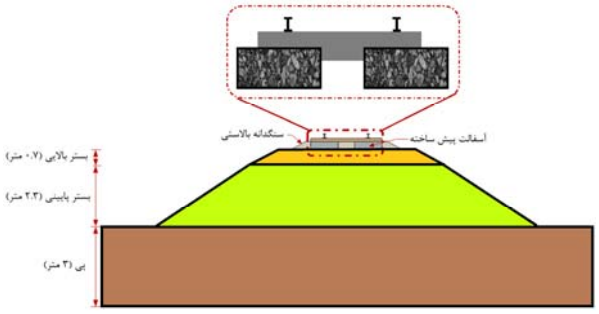
شکل ۱۸. کاربرد استفاده از مخلوط آسفالتی در ایجاد یک بستر تقویتی راه‌آهن (Momoya, Sekine, 2004)

در اسپانیا از مخلوط آسفالتی مخصوص S20 در یک لایه از روسازی حتی برای بهره‌برداری از راه‌آهن سریع‌السیر استفاده گردید (شکل ۱۹). این تجربه حاکی از آنست که این طراحی منجر به بهبود ظرفیت باربری و دوام مسیر می‌گردد (Teixeira, Pita, Ferreira, 2010).



شکل ۱۹. کاربرد استفاده از مخلوط آسفالتی به عنوان زیربالاست در راه‌آهن سریع‌السیر اسپانیا (Teixeira, Pita, Ferreira, 2010)

در یک پژوهش استفاده از مخلوط آسفالت اپوکسی لاستیکی خشک در یک لایه از روسازی خط‌آهن بررسی گردید. طرح مخلوط آسفالتی با استفاده از روش روسازی ممتاز (سوپرپیو) انجام می‌گردد. مبنای کار در روش طرح اختلاط به روش سوپرپیو، شرایط محیطی و ترافیکی و شرایط محلی اجرای پروژه می‌باشد (Ziyari, Goli, 2013). با انجام آزمایشات برای یافتن مقدار بهینه خرده‌لاستیک، مقدار ۱۱ درصد وزنی خرده‌لاستیک مقاومت بیشتری را در برابر گسیختگی و خستگی مصالح تحمل می‌نماید. این طرح برای راه‌آهن سریع‌السیر به علت مزایایی که دارد، پیشنهاد گردیده است (Shi, Zhang, Wang, et al, 2021).



شکل ۲۰. شماتیکی از کاربرد بستر آسفالتی پیش‌ساخته برای راه آهن پرسرعت (Shi, Zhang, Wang, et al, 2021)

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شده تا مروری بر تمامی سیستم‌های روسازی راه‌آهن با بکارگیری مخلوط آسفالتی انجام شود. استفاده از هر نوع از این سیستم‌ها مزیت‌ها و معایب خاص خود را دارد و در غیر این صورت، مطرح شدن سیستم‌های نوین در روسازی راه‌آهن با بکارگیری مخلوط آسفالتی بی‌معنا است.

در کل استفاده از مخلوط آسفالتی در روسازی راه‌آهن می‌تواند مزایای مشترک زیر را داشته باشد:

– استفاده از مخلوط آسفالتی به کاهش ارتعاش و سر و صدا حین حرکت قطار کمک شایانی می‌کند.

–استفاده از مخلوط آسفالتی در مقایسه با زیربالاست دانه‌ای سنتی که در راه‌آهن‌های پرسرعت استفاده می‌شود، امکان افزایش ظرفیت باربری و حفاظت بیشتر از زیرساخت را فراهم می‌کند.

–استفاده از مخلوط آسفالتی در خط‌آهن، کاهش فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات را بدنبال دارد.

–ضمن اینکه مزایای فوق در اکثر منابع مورد تایید است، اما باید به این نکته توجه داشت که بحث زیست محیطی نیز یکی از بحث‌های مهم در دوره کنونی است و بایستی به ایجاد آلودگی‌های ناشی از تولید و پخش آسفالت گرم در روسازی‌های ریلی توجه کافی داشت.

در کنار این موضوع، بایستی به بحث استفاده از مخلوط‌های بازیافتی نیز توجه جدی گردد تا به محیط‌زیست آسیب کمتری وارد شود. از این رو امید است که محققین در مطالعات آتی به این موارد توجه بیشتری کرده و به سمت توسعه‌ی پایدار حرکت کنند.

۷- مراجع

- میرمحمدصادقی، ج.، (۱۳۹۹)، "اصول و مبانی تحلیل و طراحی خطوط بالاستی راه‌آهن"، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

- اسماعیلی، م. و مهرزاد، ک. و قهاری، ع.، (۱۳۹۵)، "مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالتی گرم در خطوط ریلی بالاستی"، تهران، گروه آموزشی تاسیسات فنی و زیربنایی مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران.

-زیاری، ح. و گلی، ا.، (۱۳۹۲)، "طرح اختلاط آسفالت به روش روسازی ممتاز"، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

-Huang, Y. H., (1993), “Pavement analysis and design”.

-Di Mino, G. and C. M. Di Liberto, (2012), "Experimental survey on dry asphalt rubber concrete for sub-ballast layers", Journal of Civil Engineering and Architecture 6(12), pp. 1615-1626.

-Fang, M., et al., (2020), "Geometric composition, structural behavior and material design for asphalt trackbed: A review", Construction and Building Materials 262: 120755.

-Pirozzolo, L., (2017), “Optimization of bituminous sub-ballast in railways infrastructures under sustainability criteria”, Universidad de Granada.

-Jain, S. and B. Singh, (2021), "Cold mix asphalt: An overview", Journal of cleaner production 280: 124378.

-Bardesi, A., (2010), "Introducción a las mezclas bituminosas", Barcelona: Curso de Mezclas Bituminosas: dosificacion, fabricacion, puesta en obra y control de calidad, Intevia.

-Kucera, P., et al., (2021), "The feasibility of using asphalt concrete with a high percentage of recycled asphalt material in a railway tracked layer".

-Ghavibazoo, A. and M. Abdelrahman, (2014), "Effect of crumb rubber dissolution on low-temperature performance and aging of asphalt–rubber binder", Transportation Research Record 2445(1), pp. 47-55.

-Rotimi, A., (2022), "Reuse of Waste Plastic as an Additive in Asphalt Concrete", ATBU Journal of Science, Technology and Education 10(1), pp. 49-59

-dos Santos Ferreira, J. W., et al., (2022), "The feasibility of recycled micro polyethylene terephthalate (PET) replacing natural sand in hot-mix asphalt", Construction and Building Materials 330: 127276.

-Fu, Q., et al., (2019), “Performance Evaluation of SBS+ CR Composite Modified Asphalt Binder and Mixture for Railway Substructure”, CICTP 2019: 928-940.

-Rose, J. G., et al., (2011), "International design practices, applications, and performances of asphalt/bituminous railway trackbeds", GEORAIL, Paris, France, pp.1-23.

-Chen, L., et al., (2013), "Epoxy asphalt concrete protective course used on steel railway bridge", Construction and Building Materials 41, pp.125-130.

-Rose, J. G., et al., (2002), “Quick-Fix, Fast-Track Road Crossing Renewals Using Panelized Asphalt Underlayment System”, Proceedings of the American Railway Engineering and Maintenance of Way Association 2002 Annual Conference and Expositions.

-Momoya, Y. And E. Sekine, (2004), "Reinforced roadbed deformation characteristics under moving wheel loads", Quarterly Report of RTRI 45(3), pp.162-168.

-Teixeira, P., et al., (2010), "New possibilities to reduce track costs on high-speed lines using a bituminous sub-ballast layer", International Journal of Pavement Engineering 11(4), pp.301-307.

-Shi, C., et al., (2021), "Design and performance evaluation of Bi-block precast rubberized epoxy asphalt trackbed for railway", Construction and Building Materials 313: 125347.

Application of Asphalt Concrete as Sub-Ballast in Railway Lines with a Sustainable Development Approach

Neda Kamboozia, Assistant Professor, Department of Road and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Mohammadreza Khakbaz, M.Sc., Student, Department of Road and Transportation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology , Tehran, Iran.

E-mail: nkamboozia@iust.ac.ir

Received: March 2023- Accepted: August 2023

ABSTRACT

Recently in some countries in the field of rail transportation, it has focused on new and modern techniques such as the use of asphalt pavement in order to improve quality. The use of asphalt concrete for railway bed layers has even been accepted as a standard and suitable solution for high-speed or high-tonnage lines in some countries. The use of asphalt mixture in railway lines is considered as a suitable solution to improve the quality of pavement. The purpose of writing this article and reviewing this system is to improve the rail transport fleet compared to ballast pavement. Compared to the traditional ballast pavement system, the use of asphalt pavement provides increased bearing capacity and greater protection of the infrastructure and reduced maintenance costs. However, due to the fact that the hot asphalt mixture must be produced under a temperature of 160 degrees Celsius, the use of this system can involve significant costs in the construction time, and at the same time, it is accompanied by an increase in pollution and energy consumption, and it should also be environmentally friendly. Necessary reviews should be done and special attention should be paid to the issue of sustainable development. In this way, suitable alternative methods such as the use of hot asphalt mixture, cold asphalt mixture and the use of different types of hot and cold recycling are suggested. In addition, the use of asphalt recycling with environmental and technical advantages in different ways in the railway pavement layer is emphasized with a focus on sustainable development issues.

Keywords: Asphalt Recycling, Sustainable Development, Flexible Pavement, Railway Pavement, Asphalt Mixture