



مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن

مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالتی گرم در خطوط ریلی بالاستی

تألیف:

دکتر مرتضی اسماعیلی

« عضو هیأت علمی دانشکده علم و صنعت ایران »

مهندس کاوه مهرزاد

دانشجوی دکترای مهندسی راه‌آهن

دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس سید علی قهاری

دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت

دانشگاه پردو آمریکا

گروه آموزشی تأسیسات فنی و زیر بنایی

مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

فروردین ۱۳۹۵

سرشناسه : اسماعیلی، مرتضی، ۱۳۵۲ -
 عنوان و نام پدیدآور : مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالتی گرم در خطوط ریلی بالاستی / تألیف مرتضی اسماعیلی، کاوه مهرزاد، سید علی قهاری؛ [برای] گروه آموزشی تأسیسات فنی و زیربنایی مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن جمهوری اسلامی ایران.
 مشخصات نشر : تهران : جهانتاب، ۱۳۹۵.
 مشخصات ظاهری : ۲۱۴ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار .
 شابک : 978-964-8247-76-3
 وضعیت فهرست‌نویسی : فیا
 موضوع : روسازی با آسفالت
 موضوع : بالاست
 شناسه افزوده : مهرزاد، کاوه، ۱۳۶۷ -
 شناسه افزوده : قهاری، سید علی، ۱۳۶۷ -
 شناسه افزوده : راه آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز تحقیقات و آموزش. گروه آموزشی تأسیسات فنی و زیربنایی
 رده بندی کنگ : TE۲۷۵/الف ۷م ۱۳۹۵
 رده بندی دیویی : ۳۵/۸۵
 شماره کتابشناسی ملی : ۴۲۰۰۵۹



درس، میدا راه آهن، خیابان دشت آزادگان، درب غربی حوزه شش راه آهن،
 ساختمان مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالتی گرم در خطوط ریلی بالاستی

تألیف: دکتر مرتضی اسماعیلی - مهندس کاوه مهرزاد - مهندس سید علی قهاری

ناشر: نشر جهانتاب - به سفارش مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن

ویرایش ادبی و آماده‌سازی نهایی: ناصر مجیدی فرد

صفحه‌آرایی: فریبا نظری

طراحی روی جلد: غلامحسن رکنی

چاپ اول: ۱۳۹۵

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

بها: ۱۲۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۸۲۴۷-۷۶-۳

«کلیه حقوق این اثر برای مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن محفوظ می‌باشد.»

• پست الکترونیکی: Rwamaouzesh@rai.ir

• سایت مرکز آموزش: <http://www.raita.rai.ir>

• شماره تماس: ۵۵۱۲۴۱۲۹-۳۰

«فهرست مطالب»

صفحه	عنوان
۱۱.....	پیشگفتار
۱۳.....	پیشگفتار مؤلفان
۱۵.....	فصل ۱: آسفالت و مخلوط آسفالتی گرم
۱۶.....	۱-۱- مقدمه
۱۶.....	۲-۱- ساختار مصالح روسازی
۱۸.....	۱-۲-۱- لایه رویه
۱۸.....	۱-۲-۱-۱- اندود نفوذی
۱۸.....	۱-۲-۱-۲- اندود سطحی
۱۹.....	۲-۲-۱- لایه اساس
۲۰.....	۳-۲-۱- لایه زیر اساس
۲۰.....	۴-۲-۱- بستر روسازی
۲۰.....	۵-۲-۱- مصالح سنگی
۲۱.....	۶-۲-۱- قیر و انواع آن
۲۲.....	۱-۶-۲-۱- قیرهای طبیعی
۲۳.....	۲-۶-۲-۱- قیرهای نفتی
۲۳.....	۷-۲-۱- پخش قیر
۲۶.....	۳-۱- مخلوط آسفالت گرم HMA
۲۸.....	۱-۳-۱- مخلوط آسفالت گرم با دانه‌بندی متراکم
۲۹.....	۲-۳-۱- مخلوط‌های دانه‌بندی باز
۲۹.....	۳-۳-۱- مخلوط‌های دارای دانه‌بندی گسسته
۳۰.....	۴-۳-۱- مهارت در اجراء
۳۰.....	۴-۱- طرح اختلاط روش‌های کارگاهی

- ۱-۴-۱- سیستم دسته‌بندی و ویژگی‌های سیمان آسفالتی ۳۲
- ۱-۴-۲- ویژگی‌ها و خصوصیات مصالح سنگی ۳۴
- ۱-۴-۲-۱- بافت و شکل سطح ۳۴
- ۱-۴-۲-۲- توزیع اندازه ذره ۳۵
- ۱-۴-۲-۳- درصد جذب قیر ۴۰
- ۱-۴-۲-۴- درصد رس ۴۰
- ۱-۴-۲-۵- دیگر فاکتورهای مؤثر بر دوام ۴۱
- ۱-۴-۳- فآندها، طرح اختلاط ۴۱
- ۱-۴-۳-۱- روش مارشال ۴۱
- ۱-۴-۳-۲- روش ریمپ ۴۶
- ۱-۴-۳-۳- روش سوزش ۴۷
- ۱-۴-۴- مخلوط تولید در آزمایشگاه، کارخانه‌ای ۴۹
- ۱-۴-۴-۱- میزان قیردر آسفالت ۵۰
- ۱-۴-۴-۲- سنگدانه ۵۰
- ۱-۴-۴-۳- فرایند اختلاط ۵۳
- ۱-۴-۴-۴- تراکم ۵۴
- ۱-۵- حمل آسفالت به محل اجراء ۵۵
- ۱-۶- پخش آسفالت ۵۶
- ۱-۶-۱- ضخامت آسفالت ۵۷
- ۱-۶-۲- نکات اجرایی پخش آسفالت ۵۸
- ۱-۶-۳- شرایط جوی هنگام پخش آسفالت گرم ۵۹
- ۱-۷- تراکم آسفالت ۵۹
- ۸- کنترل یکنواختی رقوم و سطح آسفالت کوبیده شده ۶۱
- ۹- مشخصات و آزمایش‌های استاندارد برای بتن آسفالتی گرم ۶۲
- ۱۰-۱- مراجع و منابع ۶۵

فصل دوم: کاربرد مخلوط آسفالت گرم در خطوط ریلی..... ۶۷

- ۱-۲- مقدمه ۶۸
- ۲-۲- طراحی ساخت و اجرای HMA در خطوط بتن آسفالتی ۶۸
- ۱-۲-۲- توسعه و تنوع اجرای خطوط بتن آسفالتی ۶۹
- ۲-۲-۲- نمونه‌ای از ساخت خطوط بتن آسفالتی با اهداف پژوهشی ۷۱
- ۳-۲- طراحی ضخامت برای زیرسازی آسفالتی ۷۴
- ۴-۲- اندازه‌گیری تنش، تغییر شکل و مدول بستر در خطوط آسفالتی ۷۷
- ۵-۲- اجرای خطوط آسفالتی در کشورهای مختلف ۷۸
- ۱-۵-۲- کارکرد راه‌ط آسفالتی در ایتالیا ۷۸
- ۲-۵-۲- کارکردهای خطوط آسفالتی در ژاپن ۸۲
- ۳-۵-۲- کارکردی خطوط آسفالتی در آلمان ۸۶
- ۴-۵-۲- کارکردهای بتن آسفالتی در فرانسه ۸۸
- ۵-۵-۲- کارکردهای بتن آسفالتی در اسپانیا ۸۹
- ۶-۲- ارزیابی خطوط آسفالتی در بایسدها خطوط بالاستی سنتی ۹۰
- ۱-۶-۲- ارزیابی عملکرد خطوط آسفالتی ۹۰
- ۲-۶-۲- ارزیابی اجرای خطوط آسفالتی از نظر اقتصادی ۹۱
- ۷-۲- جمع‌بندی نکات حائز اهمیت ۹۲
- ۸-۲- منابع و مراجع ۹۴

فصل سوم: تئوری حاکم در مدل‌سازی و تحلیل خطوط بالاسته آسفالتی..... ۹۵

- ۱-۳- مقدمه ۹۶
- ۲-۳- مدل ایلی ترک ۹۸
- ۳-۳- مدل ژئوترک ۹۹
- ۴-۳- مقایسه کنتراک با ژئوترک ۱۰۰
- ۵-۳- مبانی تئوریک برنامه کنتراک ۱۰۱
- ۱-۵-۳- روش به‌کارگیری اصل برهم نهی نیروها ۱۰۱
- ۲-۵-۳- تفاوت نسبت به اجزای محدود ۱۰۳
- ۳-۵-۳- ماتریس سختی اساس ۱۰۶
- ۶-۳- تحلیل سیستم چند لایه‌ای در نرم‌افزار کنتراک ۱۰۷
- ۷-۳- مدول الاستیک مواد ۱۱۱

۱۱۲	۱-۷-۳- مدول دینامیکی
۱۱۳	۲-۷-۳- مدل انستیتو آسفالت
۱۱۵	۳-۷-۳- مدل Witczak برای پیش بینی E
۱۱۷	۴-۷-۳- روش حساسیت ویسکوزیته دما (VTS)
۱۱۸	۸-۳- تحلیل خرابی
۱۲۲	۹-۳- ترک ناشی از خستگی لایه HMA
۱۲۳	۱۰-۳- تغییر شکل‌های دائمی بر اساس کرنش فشاری
۱۲۴	۱۱-۳- تبدیل کرنش فشاری به تنش فشاری
۱۲۸	۱۲-۳- تغییر شکل دائمی بر اساس تنش فشاری
۱۳۰	۱۳-۳- روش توپ به نرم‌افزار کنترک
۱۳۱	۱۴-۳- کارایی نرم‌افزار
۱۳۳	۱۵-۳- منابع و مراجع

فصل چهارم: آشنایی با مقدمات نرم‌افزار ۱۳۵

۱۳۶	۱-۴- مقدمه
۱۳۶	۲-۴- روند کار با برنامه و معرفی پارامترها و ورودی
۱۳۸	۱-۲-۴- خطوط بالابستی
۱۵۶	۲-۲-۴- خطوط آسفالتی
۱۶۳	۳-۲-۴- خطوط بازسازی ترکیبی
۱۶۴	۳-۴- مراجع و منابع

فصل پنجم: بررسی نتایج عددی ۱۶۵

۱۶۶	۱-۵- مقدمه
۱۶۶	۲-۵- اعتبارسنجی نرم‌افزار
۱۶۹	۱-۲-۵- آزمایش میدانی
۱۷۳	۲-۲-۵- سیستم پیش‌بینی‌کننده نتایج
۱۷۳	۳-۲-۵- مشخصات محل‌های تست میدانی
۱۷۶	۴-۲-۵- ارائه اطلاعات خروجی و تحلیل آن‌ها
۱۸۳	۳-۵- تحلیل حساسیت
۱۸۶	۱-۳-۵- تأثیر تغییر مدول بستر
۱۸۹	۲-۳-۵- تأثیر تغییر بار محوری
۱۹۳	۴-۵- مثال‌هایی عددی از تحلیل خطوط ریلی

- ۱۹۳..... ۵-۴-۱- خطوط بالابستی مرسوم
- ۱۹۵..... ۵-۴-۲- خطوط آسفالتی
- ۱۹۷..... ۵-۴-۳- خطوط ترکیبی
- ۱۹۹..... ۵-۵- نتایج عددی
- ۲۰۰..... ۵-۵-۱- مقایسه با تحلیل‌های بوسینسک
- ۲۰۱..... ۵-۵-۲- مقایسه با ژئوترک
- ۲۰۳..... ۵-۵-۳- اثر تعداد تراورس‌ها
- ۲۰۴..... ۵-۵-۴- اثر ضخامت لایه‌ها
- ۲۱۰..... ۵-۶- مراجع و منابع
- ۲۱۱..... کتاب‌ها، منشأ شده مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن

پیشگفتار

در راستای ارتقای سطح دانش علمی و تخصصی کارکنان و پژوهشگران عرصه حمل و نقل ریلی، مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن ج.ا.ایران بر اساس رسالت خویش وظیفه خود می‌داند تلاش‌های مجدانه‌ای در جهت غنی‌سازی منابع علمی و فنی در حوزه‌های مختلف صنعت حمل و نقل ریلی به‌عمل آورد.

تدوین و تألیف کتب مرجع با رویکرد آموزشی - کاربردی در زمینه‌های فن‌آوری‌های رایج در راه‌آهن‌های ایران و به‌عنوان یک راهکار اصولی در انتقال دانش برای اجرای سیاست‌های دانش‌محوری راه‌آهن کشور در دستور کار مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن قرار دارد.

با توجه به روند و به‌دست‌آمده‌های راه‌آهن ایران، اثر حاضر تحت عنوان "مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالت گرم در خطوط ریلی" مباحث مطروحه در آن می‌تواند راهنمای ارزشمندی در جهت نیل به اهداف متری راه‌آهن ج.ا.ایران باشد.

تألیف و تدوین این اثر ارزشمند توسط حجت‌الاسلام آقایی دکتر مرتضی اسماعیلی عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران با همکاری آقایان کرب شهناز دانشجوی دکترای مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت ایران و سید علی قهاری دانشجوی دکترای مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه پردو آمریکا صورت پذیرفته که پس از تاییدیه کمیته تخصصی و به هیئت تحریریه این مرکز، چاپ و به جامعه بزرگ راه‌آهن هدیه می‌گردد.

در پایان ضمن تشکر از بزرگان این اثر ارزشمند، شایسته است سایر عزیزانی که ایشان را یاری نموده‌اند به‌ویژه آقایان مهندس فریدون ساکی رئیس گروه آموزش تأسیسات فنی و امور زیربنایی در معرفی و فراهم‌آوری شرایط چاپ و ناصر مجیدی فرد کارشناس ارشد حوزه مطالعات و برنامه‌ریزی این مرکز در ویرایش ادبی و رعایت استانداردهای مورد نیاز کیفی چاپ و انتشار کتاب تشکر و قدردانی گردد.

امید است تدوین و نشر این‌گونه کتب بتواند بسترهای مورد نیاز برای شکوفایی صنعت حمل و نقل ریلی را فراهم آورد.

مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن

جمهوری اسلامی ایران

پیشگفتار مؤلفان

قریب به دو صده است که به شکل وسیع از خطوط ریلی برای حمل و نقل استفاده می شود و در طول این مدت، ساختار خط، سرعت قطار، تناژ عبوری سالیانه و بار قطارها به شکل مهمی دستخوش تغییر شده اند؛ به عنوان مثال، امروزه در برخی نقاط دنیا به طور متداول از لکوموتیوهای محور سنگین استفاده می شود که در این قطارها بار محوری بیشینه تا ۳۶ تن افزایش یافته است. همچنین، هر سال رکورد بیشتری برای تناژ عبوری ثبت می شود. تمامی این تحولات، به منظور افزایش سوددهی و مستلزم خطوط کارآمد و اجزای سالم است. به دلیل نارسایی های ساختار خطوط بالاستی، مشکلات عیدهای در این خطوط مسترشد یافتن این مشکلات را می توان در دو گروه، دسته بندی نمود.

گروه اول، مربوط به گسیختگی بستر است. این گسیختگی زمانی رخ می دهد که فشار موجود روی سطح فوقانی بستر، از ظرفیت تحمل فشار بستر بزرگتر باشد. در شرایط وقوع گسیختگی بستر در خطوط ریلی اثرات آن بر هندسه مسیر، مطلوب و اصلاح آن مشکل و پرهزینه خواهد بود. لذا جلوگیری از آن، یکی از اهداف اصلی طراحی، ساخت و نگهداری زیرسازی خطوط ریلی است.

گروه دیگر ناشی از گسیختگی در اجزای سازه ای خط می باشد. به طور متداول این نوع خرابی ها در اجزایی مانند ریل، صفحه زیر تراورس، پایه، برورس، بالاست و زیربالاست در دوره زمانی بهره برداری رخ می دهند. کاملاً روشن است که شکست اجزای سازه ای خط نیز بر هندسه خط تأثیرگذار است و این امر رابطه تنگاتنگی با مباحث ایمنی دارد.

راه حل جلوگیری از گسیختگی بستر، شامل ترکیبی از کاهش فشار روی لایه بستر، بهبود وضعیت سیستم زهکشی، افزایش ضخامت مصالح دانه ای و یا استفاده از اجزای خط با کیفیت و باربری بیشتر است. از این رو ضرورت مطالعه روش های نوین ساخت خطوط ریلی از جمله استفاده از لایه آسفالت به منظور برطرف نمودن این معضل اهمیت به سزایی خواهد داشت. کاربردهای عمده این سیستم روسازی ریلی را می توان در خطوط سنگین دارای یک یا چند شرط زیر جستجو نمود. خطوط متکی بر بسترهای ضعیف با باربری کم و نشست پذیری بالا، خطوط در معرض بارندگی های قابل توجه و شرایط زهکشی نامناسب، خطوط بنا شده بر سفره آب زیرزمینی بالا و خطوط در معرض اضافه تنش های ناگهانی همانند نواحی انتقال خطوط بالاستی به پل ها و تونل ها را می توان به عنوان برخی از این شرایط نام برد.

طی دو دهه گذشته تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از خطوط آسفالتی انجام شده است. نتیجه این تحقیقات مؤید آن است که وجود لایه آسفالت به عنوان یکی از اجزای زیرسازی خطوط ریلی، مزایای

متعددی را فراهم می‌کند که در نهایت، منجر به افزایش ظرفیت خط و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن می‌گردد. از جمله مزایای عمده به‌کارگیری این سیستم می‌توان به مواردی همچون جداسازی بستر از لایه بالاست، کاهش توزیع تنش روی بستر، آب‌بندی و نفوذناپذیری بستر و تسهیل در توزیع یکنواخت تنش ناشی از بار زنده روی بستر اشاره نمود.

با عنایت به نکات مطرح شده در خصوص مزایا و کاربردهای خطوط آسفالتی در شبکه ریلی کشور و همچنین عدم وجود منابع مدون در خصوص طراحی و اجرای این خطوط، کتاب حاضر سعی دارد تا مجموعه‌ای از مطالب کاربردی را در این خصوص ارائه نماید. این مجموعه در پنج فصل تنظیم شده است. فصل اول با عنوان آسفالت و مخلوط آسفالت گرم به معرفی آسفالت و اجزای آن پرداخته و با تمرکز بر مختصات آسفالت گرم به بررسی نقش لایه آسفالت در روسازی اشاره دارد. در فصل دوم با عنوان کاربرد مخلوط آسفالت در خطوط ریلی، آسفالت به‌عنوان یک لایه زیرسازی در خطوط ریلی مورد بررسی قرار گرفته و اجزای مورد استفاده در این زمینه در نقاط مختلف دنیا ارائه گردیده است. در فصل سوم کتاب با عنوان تئوری حاکم در مدر سازی و تحلیل خطوط بالاستی و آسفالتی از لحاظ تئوری اشاره شده است. فصل چهارم با عنوان آشنایی با محیط نرم‌افزار KENTRACK، به معرفی این نرم‌افزار به‌عنوان یک برنامه تحلیل زیرسازی در خطوط بالاستی و انواع خطوط آسفالتی پرداخته است. حل مثال‌های مختلف تحلیل خطوط ریلی و انواع کارهای عددی انجام شده در این زمینه توسط نرم‌افزار کن‌ترک از جمله تحلیل‌های حساسیت صورت گرفته بر پارامترهای مؤثر بر تحلیل، در فصل پنجم کتاب با عنوان بررسی نتایج علمی، ارائه شده است. ارائه کار علمی حاضر با توجه به حجم بالای مطالب ارائه شده، یقیناً عاری از نارسایی‌ها و نقص احتمالی نخواهد بود و لذا امید است خوانندگان محترم، نویسندگان را از نظرات ارزشمند خود آگاه سازند.

دکتر مرتضی ابدی

مهندس کاوه مهرزاد - مهندس سید علی قهاری

تهران - فروردین ۱۳۹۵