

رفتارشناسی قیرهای روسازی

(رئولوژی، عملکرد، اصلاح کننده‌ها)

نویسندگان: دکتر سید هادی سیدین

مهندس مصطفی بی‌م

مهندس هادی آیینخانی

تحت نظر:

دکتر سید محمد ضیا علوی

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تهران

سرشناسه	سیدین، سیدهادی. ۱۳۶۳ -
عنوان و نام پدیدآور	رفتارشناسی قیرهای روسازی (ریولوژی، عملکرد، اصلاح کننده‌ها) / سیدهادی سیدین، مصطفی برم، هادی علیخانی؛ تحت نظر سیدمحمد ضیاعلوی؛ ویراستار سیدوحید سیدین.
مشخصات نشر	تهران: سازمان جهاد دانشگاهی تهران، انتشارات، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۲۵۷ ص: جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۳۳-۳۴۲-۲
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	واژه‌نامه.
موضوع	قیر Bitumen
موضوع	قیر -- تجزیه و آزمایش Bitumen -- Analysis
شناسه افزوده	برم، مصطفی، ۱۳۶۶ -
شناسه افزوده	علیخانی، هادی، ۱۳۶۹ -
شناسه افزوده	بوم، سیدمحمد، ۱۳۵۳ - ناظر
شناسه افزوده	سیدین، سیدوحید، ویراستار
شناسه افزوده	سازمان جهاد دانشگاهی تهران، تهران، ایران.
رده بندی کنگره	۱۳۹۷ ۹۷۸/۳۵۰/۷ TN
رده بندی دیویی	۵۵۳/۲۷
شماره کتابشناسی ملی	۵۱۵۳۵۷۸



سازمان تهران
انتشارات

- ♦ مؤلفان: سیدهادی سیدین، مصطفی برم، هادی علیخانی؛ تحت نظر سیدمحمد ضیاعلوی
- ♦ ناشر: انتشارات سازمان جهاد دانشگاهی تهران
- ♦ طراح جلد: سعید صحابی
- ♦ چاپ و صحافی: رامین
- ♦ شمارگان: ۲۰۰ نسخه
- ♦ قیمت: ۲۰۰،۰۰۰ ریال
- ♦ نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۹۷

ISBN-978-600-133-342-2

شابک: ۹۷۸-۱۳۳-۶۰۰-۳۴۲-۲

www.jahat.ir

♦ نشانی: تهران - صندوق پستی ۱۸۶-۱۳۱۴۵

en.jahat@gmail.com

♦ تلفن: ۶۶۹۵۴۳۸ تلفکس: ۶۶۴۶۴۹۱

♦ خانه کتاب دانشگاه: ۶۶۹۷۳۴۲۳

♦ تلفن مراکز پخش: ۶۶۹۵۴۳۸-۶۶۹۵۵۷۵۳

این اثر، مشمول قانون حمایت مولفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مولف یا ناشر تکثیر و کپی برداری نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

مقدمه مولفین

با افزایش میزان عبور و مرور وسایل نقلیه و اقلیم‌های مختلف در کشور، قیرهای معمولی قابلیت انعطاف پذیری مطلوب مخلوط‌های آسفالتی، مانند انعطاف پذیری، مقاومت در برابر خستگی و شیارشدگی و تغییر شکل دائمی را ندارد. در سال‌های اخیر استفاده از افزودنی‌ها از جمله پلیمر، برای بهبود خواص قیر و بهبود رفتار مخلوط‌های آسفالتی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. اصلاح خواص قیر، باعث افزایش کیفیت مخلوط‌های آسفالتی، طولانی تر شدن فواصل تعمیرات اساسی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی می‌شود.

این کتاب به بررسی خواص رئولوژیکی قیر و معرفی دستگاه‌های مهم مورد استفاده برای آزمایش روی قیرم پرداخته. قیر به عنوان یک ماده مصرفی در صنایع مختلف به ویژه راه و ساختمان، از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. قسمت عمده تحقیقات انجام شده در راهسازی معطوف به بررسی خواص قیر است. زیرا این ماده علی‌رغم درصد وزنی کم، یعنی حدود ۴ تا ۶ درصد، در استحکام و پایداری بتن، جاده در مقابل عوامل فرسایشی نقش مهمی دارد و لذا، هرگونه بهبود خواص قیر، باعث بهبود عملکرد آسفالت می‌شود. بنابراین تلاش‌های زیادی برای بهبود عملکرد قیر به وسیله اصلاح شایستگی‌های فیزیکی شده است. قیر عمدتاً به منظور ساخت پوشش آسفالت برای جاده‌ها، بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها استفاده می‌شود. ماهیت ویسکوالاستیسیته قیر، نقش برجسته‌ای در عملکرد پوشش آسفالتی ایفا می‌کند و متغیرهای دما و میزان بارگذاری روی مخلوط آسفالتی اهمیت بسیاری دارند.

در این کتاب، خواص رئولوژیکی قیرهای مختلف، در مناطق میدانی بالا، میانی و پایین بر حسب مشخصه‌های عملکردیشان و تغییر دما و نرخ بارگذاری و تغییر شایستگی روی رفتار و مقاومت قیر مطالعه می‌شوند. از آنجا که، هیچ اثری خالی از نقص و اشتباه نمی‌باشد، بنابراین از خوانندگان و دانشجویان عزیز درخواست می‌شود، که نظرات یا پیشنهادات خود را از طریق انتشارات بیان کرده یا بازتاب دهند، تا در چاپ‌های بعدی کتاب اصلاح گردد و باعث بهبود کیفیت شود.

این کتاب قابل استفاده برای دانشجویان و اساتید رشته عمران و شرکت‌های تولید کننده قیر و محصولات قیری است.

فهرست مطالب

۵.....	مقدمه ناش
۷.....	مقدمه مولفین
۱۵.....	فصل اول: آشنایی با صنعت قیر و مفاهیم پایه
۱۵.....	۱-۱ مقدمه
۱۶.....	۲-۱ قیرهای مورد استفاده در ایران
۱۶.....	۳-۱ نیاز به مطالعه خواص فیزیکی و رئولوژیک قیر
۱۷.....	۴-۱ افزایش عمر روسازی با اصلاح خواص رئولوژیکی قیر
۱۷.....	۵-۱ هدف از مطالعه خواص رئولوژیکی قیر
۱۷.....	۶-۱ آنالیز شیمیایی مواد تشکیل دهنده قیر
۱۹.....	۷-۱ خواص فیزیکی و مکانیکی قیر
۲۱.....	۸-۱ خواص ویسکوالاستیک قیر
۲۲.....	۹-۱ طبقه بندی قیرها در روش شارپ (SHRP)
۲۸.....	۱۰-۱ اصلاح قیر
۲۹.....	۱۱-۱ تاریخچه اصلاح قیر
۲۹.....	۱۲-۱ مفهوم اصلاح قیر
۳۰.....	۱۳-۱ تاریخچه استفاده از قیرهای اصلاح شده
۳۰.....	۱۴-۱ استفاده از اصلاح کننده در قیر
۳۱.....	۱۵-۱ انواع قیرهای اصلاح شده
۳۱.....	۱-۱۵-۱ قیرهای اصلاح شده با پودر لاستیک
۳۱.....	۲-۱۵-۱ قیرهای پلیمری بهبود یافته با مواد نرم کننده شبکه ساز

۱۶-۱	بررسی قیرهای اصلاح شده براساس طبقه بندی SHRP	۳۲
۱۷-۱	اصلاح قیر توسط پلیمر	۳۳
۱۸-۱	ترکیب شیمیایی و خواص رئولوژیکی پلیمرها	۳۴
۱۹-۱	استفاده از لاستیک‌های فرسوده در صنعت قیر اصلاح شده	۳۴
۲۰-۱	چالش‌های طراحی ترکیب لاستیک در آسفالت	۳۶
۲۱-۱	فرآیندهای متفاوت تولید ترکیبات و پیوند دهنده‌های RTR	۳۶
۲۲-۱	فرآیند خشک تولید لاستیک	۳۷
۲۳-۱	فرآیند مرطوب - ترکیب در محیط	۳۸
۲۴-۱	فرآیند مرطوب - ترکیب نهایی	۳۹
۲۵-۱	چالش اجرایی	۴۰
۲۶-۱	لاستیک ناب - مشکلات محیطی یا منابع مهندسی؟	۴۱
۲۷-۱	معرفی روسازی اعطاء پذیر	۴۳
۴۵	فصل دوم: بررسی رفتار و خواص رئولوژیکی و اثرات اصلاح بر روی قیر	۴۵
۱-۲	تعریف رئولوژی و علت رفتار رئولوژیکی در قیرها	۴۵
۲-۲	خواص رئولوژیکی قیرها	۴۸
۱-۳-۲	کاربرد مواد اصلاح کننده در تغییر رفتار رئولوژیکی قیر	۴۸
۲-۳-۲	تأثیر پدیده خستگی قیر در مخلوط‌های آسفالتی	۵۰
۳-۳-۲	آزمایشات خستگی قیر	۵۱
۱-۴-۲	خواص رئولوژیکی سنتی	۵۲
۱-۵-۲	پارامترهای حساسیت قیر	۵۸
۲-۵-۲	پارامترهای حساسیت حرارتی (Succceptibility)	۵۸
۱-۶-۲	خواص بحرانی در قیرها	۶۳
۲-۶-۲	عملکرد و خواص ویسکوالاستیک قیر در روسازی	۶۴
۳-۶-۲	خواص ویسکوالاستیک خطی	۶۹
۱-۷-۲	مدل سازی خواص ویسکوالاستیک قیرها	۶۹
۲-۷-۲	خواص ویسکوالاستیک و خرابی قیر در پروژه SHRP	۷۴
۱-۸-۲	سنجش خواص رئولوژیکی قیر	۷۷
۲-۸-۲	رئومتر برش دینامیکی (DSR)	۷۷

۸-۳	مدول برشی کمپلکس دینامیک (G^*) و زاویه فاز (δ)	۸۰
۹-۲	۱- جمع بندی نکات مهم در اصلاح خواص رئولوژیکی قیرها	۸۱
۹-۲	۲- استراتژی های اصلاح قیر	۸۳
۹-۲	۳- بررسی مواد اصلاح کننده خواص رئولوژیکی قیر	۸۳
۹-۲	۴- اثرات اصلاح بر روی خواص ویسکوالاستیک	۸۶
۹-۲	۵- اثرات اصلاح بر روی خواص مقاومت در مقابل خرابی	۹۰
۹-۲	۶- اثرات اصلاح بر روی خواص Super Pave	۹۶
۱۰-۲	۱- فرایات استفاده از قیر در روسازی ممتاز (Super Pave)	۹۸
۱۰-۲	۲- درج بندی های جدیدتر قیرها	۱۰۲
۱۱-۲	۱۱- توسعه آزمایشات جدید برای بررسی رفتار خرابی در قیر	۱۰۵
۱۱-۲	۱- بررسی رفتار پیرشدگی قیر	۱۰۵
۱۱-۲	۲- انتخاب پارامتر پیرشدگی قیر	۱۱۰
۱۲-۲	۱- بررسی رفتار خستگی قیر	۱۱۲
۱۲-۲	۲- انتخاب پارامتر خستگی قیر	۱۱۴
۱۳-۲	۱۳- خلاصه یافته های پارامترهای مرتبط در مقابل خرابی قیر	۱۱۸
۱۴-۲	۱۴- استفاده از قیر در عایقکاری رطوبتی ساختمان	۱۱۹
۱۵-۲	۱۵- مدلسازی رطوبتی قیرها	۱۲۱
۱۵-۲	۱- انرژی سطحی قیر	۱۲۱
۱۵-۲	۲- پروتکل آزمایش صفحه Wilhelmy برای انرژی سطحی	۱۲۴
۱۵-۲	۳- نتایج آزمایش انرژی سطحی قیر	۱۲۵
فصل سوم:	آزمون های استاندارد مهم برای بررسی رفتار رئولوژیکی قیرها	۱۲۷
۱-۳	۱- مقدمه	۱۲۷
۲-۳	۲- فرایند پیرشدگی در قیرها (BITUMEN AGING)	۱۲۸
۳-۳	۳- تست های رئولوژیکی قیر	۱۳۰
۳-۳	۴- تست رفتار خستگی در قیرها	۱۳۱
۳-۵	۵- توصیف مشخصات قیرها تحت شرایط و تست های استاندارد	۱۳۲
۳-۵	۱- بررسی تست جاروب تنش	۱۳۳
۳-۵	۲- نتیجه تست جاروب فرکانس	۱۳۴

۳-۵-۳	نتیجه تست جاروب دما	۱۳۶
۳-۵-۴	تست بازیابی خزش برشی چندگانه	۱۳۸
۳-۵-۵	آزمون جاروب دامنه خطی (LAST)	۱۴۱
۳-۶	تحقیقات در زمینه خستگی قیر با استفاده از آزمایش جاروب دامنه خطی	۱۴۱
۳-۷	رفتار خستگی در قیرها	۱۴۷
۳-۸	تاثیر آزمون‌های خستگی بر کنترل و بهبود کیفیت قیر	۱۴۸
۳-۹	تولید قیرهای اصلاح شده بر اساس درجه عملکردی (PG)	۱۴۹
۳-۱۰	تنظیم دستگاه رئومتر برشی دینامیکی (DSR)	۱۵۱
۳-۱۱	بررسی ویسکوزیته چرخشی قیرهای اصلاح شده	۱۵۲
۳-۱۲	ویژگی‌های اجرایی در خدمات با دمای بالا	۱۵۲
۳-۱۳	ویژگی‌های اجرایی در خدمات دمای متوسط	۱۵۳
۳-۱۴	ویژگی‌های اجرایی در خدمات با دمای پایین	۱۵۵
۳-۱۵	پیرشدگی قیر (AGING)	۱۵۵
۳-۱۶	نقش قیر در بهبود مقاومت در برابر آسفالتی	۱۵۶
۳-۱۶-۱	ترک خوردگی ناشی از خستگی	۱۵۶
۳-۱۶-۲	ترک خوردگی در دمای پایین	۱۵۶
۳-۱۷	آزمون رئومتر تیرچه خمشی (BBR)	۱۵۷
فصل چهارم: پژوهش بر روی اصلاح کننده‌های مختلف قیر		
۴-۱	معرفی اصلاح کننده‌های مرسوم در صنعت قیر	۱۵۹
۴-۲	تاثیر قیر در اصلاح خواص مخلوط آسفالتی	۱۵۹
۴-۳	استفاده از قیر طبیعی یا گیلسونایت برای اصلاح قیر	۱۶۵
۴-۳-۱	هدف از استفاده از گیلسونایت در تهیه آسفالت قیری	۱۶۶
۴-۳-۲	نتایج آنالیز نمونه گیلسونات به عنوان اصلاح کننده قیر	۱۶۷
۴-۴-۱	پلیمرهای مرسوم در اصلاح قیر (SBS, EVA, CRM, PPA)	۱۶۸
۴-۴-۲	مکانیزم اصلاح قیر با انواع پلیمر	۱۶۹
۴-۴-۳	پایداری قیرهای پلیمری	۱۷۱
۴-۵-۱	شرایط استفاده از قیرهای اصلاح شده پلیمری	۱۷۲
۴-۵-۲	روش‌های تولید قیر پلیمری و کاربرد و مزایای آن در راهسازی	۱۷۲

۱۷۴.....	۶-۴ مشکلات استفاده از قیرهای پلیمری
۱۷۵.....	۷-۴ استفاده از قیرهای اصلاح شده در روسازی آسفالتی
۱۷۵.....	۸-۴ مزیت استفاده از پودر لاستیک در کیفیت قیر
۱۷۶.....	۹-۴ ترکیب بعضی از قیرهای خالص و مواد افزودنی
۱۷۷.....	۹-۴ آماده سازی نمونه های قیر اصلاح شده
۱۷۸.....	۱۰-۴ انجام فرایند پیرسازی استاندارد قیر
۱۷۸.....	۱۱-۴ آزمایش با ویسکومتر چرخشی (RV)
۱۷۹.....	۱۲-۴ بررسی نتایج قیر اصلاح شده با SBS روی نمونه های مختلف
۱۸۴.....	۱۳-۴ بررسی پایداری در خستگی
۱۸۶.....	۱۴-۴ بررسی نتایج دستگاه BBF بر روی نمونه های قیر اصلاح شده
۱۸۸.....	۱۵-۴ بررسی خواص رئولوژیکی اختلاط قیر با روغن صنعتی
۱۹۳.....	۱۶-۴ بررسی خواص رئولوژیکی اختلاط قیر با نانورس
۱۹۸.....	۱۷-۴ بررسی نتایج خواص رئولوژیکی تعدادی از قیرهای اصلاح شده
۲۰۱.....	۱۸-۴ مثال های متنوعی از اصلاح قیر با استفاده از مواد مختلف
۲۰۱.....	۱۸-۴ اصلاح با پودر لاستیک
۲۰۱.....	۱۸-۴ اصلاح با گیلسونایت
۲۰۱.....	۱۸-۴ اصلاح با SBS
۲۰۱.....	۱۸-۴ اسید پلی فسفریک
۲۰۲.....	۱۹-۴ انجام تست پیرشدگی تحت RTFO
۲۰۲.....	۲۰-۴ ویژگی های ترکیبات آسفالت اصلاح شده
۲۰۴.....	۲۱-۴ دمای سرویس دهی
۲۰۹.....	۲۲-۴ جمع بندی نتایج مفید مواد اصلاح کننده قیر

فصل پنجم: آشنایی با مهمترین دستگاه های مورد استفاده برای بررسی خواص رئولوژیکی قیر.. ۲۱۳

۲۱۳.....	۱-۵ معرفی اجمالی دستگاه های متداول در زمینه رئولوژی قیر
۲۱۴.....	۲-۵ پالوت اختلاط تنش برشی بالا (HIGH SHEAR) تولید قیر اصلاح شده
۲۱۵.....	۳-۵ دستگاه تست RTFO
۲۱۷.....	۴-۵ دستگاه تست پیرسازی طولانی مدت تحت فشار PAV
۲۱۸.....	۵-۵ دستگاه حذف گاز یا حباب (DEGASSING) در قیرها بعد از PAV

۲۱۹	۵-۱-۵ دستگاه تست DSR
۲۲۱	۵-۲-۵ مراحل راه اندازی دستگاه DSR
۲۲۳	۵-۶-۱ دستگاه تست BBR
۲۲۴	۵-۶-۲ مراحل راه اندازی دستگاه BBR
۲۲۵	۵-۷-۷ تست های تاثیرات مخرب دمایی روی نمونه های قیر
۲۲۸	۵-۸-۸ دستگاه کشش مستقیم قیر (DTT)
۲۲۹	۵-۹-۹ مراحل راه اندازی دستگاه DTT
۲۳۰	۵-۱۰-۱۰ دستگاه ویسکومتر چرخشی (RV) و کاربرد آن
۲۳۳	ضمیمه الف: نتایج مدل سازی و داده های تجربی نمونه های مختلف قیر
۲۳۳	الف (۱) نتایج مدل سازی رابطه تجربی ویسکوزیته با PG
۲۳۹	ضمیمه ب: نتایج آزمون های مهم استاندارد برای قیرهای مختلف
۲۳۹	ب-۱) رابطه شاخص نمود
۲۴۰	ب-۲) نتایج آزمایش درجه نمود و نقطه نرمی
۲۴۳	ضمیمه ج: نتایج حاصل از آزمایشات
۲۴۳	ج-۱) نتایج حاصل از آزمایشات PG بر مبنای شاخص شیارشدگی
۲۴۹	ج-۲) توضیحات مربوط به نمودارهای نتایج شیارشدگی مرحله RTFO
۲۵۰	ج-۳) توضیحات مربوط به نمودارهای شیارشدگی مرحله PA۱
۲۵۳	منابع و مراجع
۲۵۷	لیست اختصارات مهم