دانشکده مهندسی عمران

عنوان:

خصوصیات خستگی مخلوط بتن آسفالتی اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - راه و ترابری

استاد راهنما:

دکتر امیر مدرس

دانشجو:

حمیدرضا حامدی

زمستان 92

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب **حمیدرضا حامدی** به شماره دانشجویی **904240006** دانشجوی رشته **عمران گرایش راه و ترابری** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج پایان‌نامه/رساله تحت عنوان **خصوصیات خستگی مخلوط بتن آسفالتی اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی** به استاد راهنمایی **آقای دکتر امیر مدرس** حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: حمیدرضا حامدی

امضا و تاریخ: 1392/11/9

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون میزان آمد و شد وسایل نقلیه، تنوع شرایط آب و هوایی و عدم قابلیت قیرها در تأمین برخی رفتارهای مطلوب مخلوط‌های آسفالتی از جمله انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر شیارشدگی و تغییرشکل‌های دائمی، امکان بروز خرابی‌های زودرس در رویه‌های آسفالتی افزایش می‌یابد. لذا در سالیان اخیر استفاده از افزودنی‌ها جهت بهبود خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی مورد توجه قرار گرفته که برخی از این افزودنی‌ها شامل مواد ضایعاتی و پسماند سایر صنایع بوده‌اند. استفاده از این مواد باعث کاهش هزینه‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی حاصل از این مواد خواهد شد. از جمله این مواد می‌توان به ضایعات بطری‌های پلاستیکی (PET) اشاره کرد.

ترک‌های خستگی یکی از مهم‌ترین خرابی‌ها در روسازی‌های آسفالتی هستند. از اینرو، آگاهی از خصوصیات خستگی می‌تواند نقش مهمی در طراحی روسازی جاده‌ها ایفا کند. اطلاعات کافی در ارتباط با خصوصیات خستگی مخلوط اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی (PET) وجود ندارد. در این پژوهش، آزمایش‌های مقاومت کششی غیر مستقیم، مدول برجهندگی و خستگی در دماهای 5 و 20 درجه سانتیگراد انجام شد. ضایعات PET در مقادیر 2 تا 10 درصد (نسبت به وزن قیر) با روش خشک به مخلوط اضافه شد. برنامه اصلی این پژوهش بررسی خصوصیات سختی و خستگی مخلوط آسفالتی اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی می‌باشد. همچنین با استفاده از نتایج آزمایش‌های سختی و خستگی، توسعه مدل خستگی مخلوط اصلاح‌شده با PET انجام شد. نتایج نشان داد که مقادیر کم PET (تا 2 درصد نسبت به وزن قیر) باعث افزایش سختی مخلوط آسفالتی شده و روند نتایج از آن به بعد نزولی می‌شود. همچنین در دمای کم که مخلوط آسفالتی تمایل به سخت شدن دارد، افزودن PET باعث کاهش سختی آن می‌شود. رابطه بین عمر خستگی و کرنش اولیه نشان می‌دهد که در شرایط بارگذاری سنگین خرابی خستگی در دماهای کم تا متوسط بحرانی‌تر می‌شود. ولی در شرایط بارگذاری سبک و سطح کرنش کمتر از محدوده 210-160 میکرو، خرابی خستگی در دمای کم بحرانی نخواهد بود. در کرنش‌های بیشتر از 210 میکرو، با افزایش مدول برجهندگی عمر خستگی کاهش می‌یابد، ولی در کرنش‌های کمتر از 210 میکرو نتیجه برعکس است. نهایتا طبق نتایج آزمایشگاهی یک مدل خستگی بر اساس کرنش حد مرزی 210 میکرو محاسبه شد. مدل خستگی نهایی وابسته به مقدار کرنش اولیه و سختی مخلوط اصلاح‌شده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: PET، سختی، مخلوط آسفالتی اصلاح‌شده، عمر خستگی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	**9**
1-1- تعریف مسئله	10
1-2- فرضیه پژوهش	11
1-3- اهداف پژوهش	12
1-4- ساختار پایان نامه	12
فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع	**14**
2-1- مقدمه	15
2-2- بخش اول	15
2-2-1- تاریخچه اصلاح قیر	16
2-2-2- مواد افزودنی لاستیکی و پلاستیکی	17
2-2-3- روش‌های ترکیب مواد افزودنی با قیر و مخلوط آسفالتی	19
2-2-4- عوامل موثر بر خواص قیر اصلاح‌شده با افزودنی‌های مختلف	20
2-2-5- مورفولوژی قیرهای اصلاح‌شده با افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی	23
2-2-5- اثر افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی بر خصوصیات رفتاری قیر و آسفالت	27
2-2-5-1- قیر	27
2-1-6-2- آسفالت	30
2-3- بخش دوم	33

2-3-1- مکانیزم بروز ترک خوردگی بر اساس تئوری کلاسیک 33

2-3-2- انواع ترک خوردگی خستگی 34

2-3-3- مرور بر تحقیقات مختلف 35

فصل سوم: مواد و مطالعات آزمایشگاهی **41**

3-1- قیر مصرفی و سنگدانه 42

3-2- افزودنی 44

3-3- طرح اختلاط 45

3-4- شرایط و روش‌های آزمایش 49

فصل چهارم: نتایج و بحث **56**

4-1- مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS) و مدول برجهندگی (M_r) 57

4-1-1- رابطه مقاومت کششی با مدول برجهندگی 60

4-1-2- رابطه مدول برجهندگی با دما 61

4-1-3- مدل تخمین مدول برجهندگی 63

4-2- خستگی 64

4-3- مدل خستگی 68

4-3-1- رابطه کلی کرنش اولیه – عمرخستگی 68

4-3-2- تعیین کرنش حد مرزی 69

4-3-3- رابطه مدول برجهندگی – عمر خستگی 70

4-3-4- مدل‌های خستگی نهایی 74

فصل پنجم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد **80**

5-1- جمع‌بندی 81

5-2- پیشنهاد 82

مراجع **83**

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل 2-1- مورفولوژی قیر اصلاح‌شده با EVA	24
شکل 2-2- مورفولوژی قیر اصلاح‌شده با LDPE	25
شکل 2-3- مورفولوژی قیر اصلاح‌شده با SBS	26
شکل 2-4- عکس العمل روسازی آسفالتی زیر بار ترافیکی	33
شکل 2-5- ایجاد ترک در زیر لایه	34
شکل 2-6- ترک بالا به پایین در نمونه آسفالتی	35
شکل 3-1- دانه‌بندی مصالح سنگی	43
شکل 3-2- ضایعات PET	45
شکل 3-3- تغییرات ویسکوزیته قیر مصرفی بر حسب دما	46
شکل 3-4- نتایج طرح اختلاط مارشال	47-49
شکل 3-5- نمونه‌های آسفالتی	50
شکل 3-6- دستگاه UTM	51
شکل 3-7- تغییرات تغییرشکل‌های افقی در برابر سیکل‌های بارگذاری در آزمایش خستگی به روش کشش غیرمستقیم	54
شکل 3-8- تعاریف عمر خستگی در روش خستگی با کشش غیرمستقیم	55
شکل 4-1- مقاومت کششی غیرمستقیم – دما 5 و 20 درجه سانتیگراد	57
شکل 4-2- مدول برجهندگی مخلوط اصلاح‌شده در سطوح تنش مختلف – دما 20 درجه سانتیگراد	58
شکل 4-3- مدول برجهندگی مخلوط اصلاح‌شده در سطوح تنش مختلف – دما 5 درجه سانتیگراد	60

شکل 4-4- رابطه مقاومت کششی غیرمستقیم و مدول برجهندگی 61

شکل 4-5- تاثیر دما بر مدول برجهندگی نمونه های آسفالتی 62

شکل 4-6- مقایسه مقادیر محاسبه شده با استفاده از رابطه (9) و مقادیر بدست آمده از آزمایش 64

شکل 4-7- نمودار تغییرات تغییرشکل افقی در برابر تعداد سیکل‌های بارگذاری 65

شکل 4-8- منحنی کرنش اولیه - خستگی مخلوط معمولی و اصلاح‌شده (دما 5 و 20 درجه سانتیگراد) 66

شکل 4-9- رابطه عمرخستگی و مدول برجهندگی در دمای 5 و 20 درجه سانتیگراد و سطوح مختلف کرنش 72

شکل 4-10- ارتباط بین مقادیر تخمینی و آزمایشگاهی 79

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 3-1- نتایج آزمایش‌های قیر مورد استفاده	42
جدول 3-2- وزن مخصوص مصالح سنگی	44
جدول 4-1- نتایج آنالیز همبستگی برای تعیین کرنش حد مرزی	70
جدول 4-2- روابط (20) تا (23) در کرنش‌های کمتر از 210 میکرو	75
جدول 4-3- روابط (20) تا (23) در کرنش‌های بیشتر از 210 میکرو	75
جدول 4-4- رتبه‌بندی روابط (20) تا (23) در کرنش‌های کمتر از 210 میکرو	76
جدول 4-5- رتبه‌بندی روابط (20) تا (23) در کرنش‌های بیشتر از 210 میکرو	77

فصل اول: مقدمه

فصل اول: مقدمه

1-1- تعریف مسئله

در سال‌های اخیر، مهندسان به دنبال تکنیک‌های جدید در ساخت و ساز روسازی جاده‌ها هستند که سازگار با محیط زیست بوده (مثل بازیافت آسفالت، استفاده از مواد زائد در آسفالت و ...) و تحقیقات زیادی در این ارتباط انجام شده است [1-3]. در طول عمر خدمت‌دهی مخلوط آسفالتی نیروهای خارجی زیادی به آن وارد می‌شود که می‌تواند منجر به شکست شود. ترک خستگی به عنوان یکی از خرابی‌های اصلی در روسازی‌ها به شمار می‌رود. مقاومت خستگی مخلوط آسفالتی را می‌توان توانایی در برابر بارهای مکرر بدون وقوع شکست تعریف کرد. معمولا اعمال بار قائم ترافیکی به لایه آسفالتی باعث ایجاد تنش‌های فشاری افقی در نیمه بالایی لایه و تنش کششی افقی در نیمه پایینی لایه می‌شود. کرنش‌هایی که در اثر این تنش‌ها به وجود می‌آیند (مخصوصا کرنش کششی در پایین لایه)، نهایتا در اثر تکرار بار باعث شکست خستگی در آن لایه می‌شوند. ترک‌ها در پایین لایه توسعه یافته و در اثر تکرار بار به صورت عمودی انتشار می‌یابند [4]. در دماهای بالا، خرابی‌هایی که در اکثر مخلوط‌های آسفالتی به وجود می‌آید، وابسته به تغییر شکل می‌باشد (مثل شیار شدگی) ولی در دماهای کم و متوسط ترک‌های خستگی بیشتر اتفاق می‌افتد. اکثر استانداردهای اولیه مربوط به آزمایش خستگی، رفتار خستگی مخلوط آسفالتی را در دماهای متوسط (مثل 20درجه سانتیگراد) آنالیز کرده‌اند. با این حال، اطلاعات کافی در مورد این پدیده در دماهای کم وجود ندارد. معمولا مخلوط‌های آسفالتی با درصد قیر کم و فضای خالی زیاد مستعد ترک خوردگی از نوع خستگی می‌باشند [5]. گزارشات نشان داد که روسازی‌های آسفالتی با سختی، ضخامت، درصد فضای خالی و درصدهای مختلف قیر، می‌توانند در برابر ترک‌های خستگی رفتار متفاوتی داشته

باشند [6]. همچنین بررسی‌ها نشان داد که مخلوط آسفالتی با دانه‌بندی ریزدانه‌تر عمر خستگی بالاتری نسبت به مخلوط با دانه‌بندی درشت‌تر دارد [7]. استفاده از مواد افزودنی مثل انواع مختلفی از پلیمرها و الیاف‌ها یک راه حل برای افزایش طول عمر خدمت‌دهی روسازی جاده‌ها می‌باشد. تحقیقات قبلی نشان داد که افزودن پلیمرها و الیاف‌ها باعث افزایش چسبندگی بین سنگدانه‌ها و قیر در مخلوط می‌شود [8,9]. در حال حاضر اصلاح مخلوط آسفالتی با پلیمرها هزینه بالایی دارد [10,11]. بنابراین استفاده از مواد ضایعاتی می‌تواند یک راه حل مناسب برای اصلاح مخلوط آسفالتی و کاهش هزینه‌های ساخت جاده‌ها باشد. در سال‌های اخیر استفاده از مواد ضایعاتی برای اصلاح مخلوط آسفالتی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این مواد باعث کاهش هزینه‌ها و کاهش آلودگی زیست محیطی حاصل از این مواد می‌شود. استفاده مجدد از ضایعات به خصوص در برخی مواد مانند ظروف پلاستیکی مفید است. از جمله این مواد می‌توان به ضایعات بطری‌های پلاستیکی (PET) اشاره کرد. PET یک رزین پلیمری ترموپلاستیک از خانواده پلی‌استر بوده و به طور گسترده در تولید بطری‌های آب و نوشابه استفاده می‌شود [12]. استفاده از ضایعات بطری‌های پلاستیکی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات بطری‌های پلاستیکی باعث بهبود خصوصیات مخلوط آسفالتی می‌شود.

1-2- فرضیه پژوهش

استفاده از ضایعات بطری‌های پلاستیکی می‌تواند خصوصیات مخلوط آسفالتی را تحت تاثیر خود قرار دهد. البته اطلاعات کافی در ارتباط با خصوصیات خستگی مخلوط اصلاح‌شده با PET به خصوص در محدوده‌های دمایی مختلف وجود ندارد. بنابراین به دلیل احتمال وقوع ترک خستگی در دماهای کم و متوسط، بررسی رفتار خستگی مخلوط اصلاح شده با PET در این محدوده دمایی مناسب است. در این پژوهش فرض براین است که می‌توان با

افزودن ضایعات بطری‌های پلاستیکی باعث بهبود خصوصیات خستگی مخلوط بتن آسفالتی و افزایش طول عمر خدمت‌دهی آن شد.

1-3- اهداف پژوهش

در این تحقیق اثر ضایعات بطری‌های پلاستیکی بر خصوصیات سختی و خستگی مخلوط آسفالتی در دماهای کم و متوسط مورد بررسی قرارگرفته است. برنامه اصلی این تحقیق به صورت زیر است:

1 - تأثیر ضایعات بطری‌های پلاستیکی بر مقاومت و سختی مخلوط آسفالتی

2 - ارزیابی رفتار خستگی مخلوط آسفالتی اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی

3 - ارزیابی سطوح کرنش مختلف و تأثیر آن بر عمر خستگی در دماهای مختلف

4- توسعه مدل خستگی مخلوط‌های اصلاح‌شده با PET

1-4- ساختار پایان نامه

این پایان نامه دارای پنج فصل به شرح زیر می‌باشد:

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع

این فصل شامل دو بخش می‌باشد. در بخش اول با مروری بر تحقیقات انجام شده در طول دو دهه گذشته، خصوصیات رفتاری قیر و مخلوط بتن آسفالتی اصلاح‌شده با افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی بررسی شده است.

در بخش دوم با مروری بر تحقیقات مختلف، خصوصیات خستگی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده با مواد افزودنی مثل پلیمرها و الیاف‌ها بررسی شده است. همچنین نتایج تحقیقاتی که در ارتباط با تاثیر PET در خصوصیات خستگی می‌باشد، بیان شده است. نهایتا مطابق تحقیقات انجام شده، ضرورت انجام این پژوهش و ارزیابی خصوصیات خستگی مخلوط اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی بیان شده است.

فصل سوم: مواد و مطالعات آزمایشگاهی

در این فصل به معرفی مصالح و آزمایش‌های مورد نیاز پرداخته می‌شود.

فصل چهارم: نتایج و بحث

در این فصل نتایج آزمایش‌های مختلف ارائه می‌شود و تحلیل‌های مورد نیاز انجام می‌شود.

فصل پنجم: جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد

در این فصل جمع‌بندی نتایج آزمایش‌های مختلف انجام شده و پیشنهادهای مورد نیاز با توجه به نتایج به دست آمده ارائه می‌شود.

فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع

فصل دوم: بررسی ادبیات موضوع

2-1- مقدمه

در بخش اول با مروری بر تحقیقات انجام شده در طول دو دهه گذشته، خصوصیات رفتاری قیر و مخلوط بتن آسفالتی اصلاح‌شده با افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی بررسی شده است. در بخش دوم با مروری بر تحقیقات مختلف، خصوصیات خستگی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح‌شده با مواد افزودنی مثل پلیمرها و الیاف‌ها بررسی شده است. همچنین نتایج تحقیقاتی که در ارتباط با تاثیر PET در خصوصیات خستگی می‌باشد، بیان شده است. نهایتا مطابق تحقیقات انجام شده، ضرورت انجام این پژوهش و ارزیابی خصوصیات خستگی مخلوط اصلاح‌شده با ضایعات بطری‌های پلاستیکی بیان شده است.

2-2- بخش اول

یکی از چالش‌های عمده‌ای که تقریبا همه در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته با آن روبه رو هستند، رقابت‌های اقتصادی و بهره‌وری می‌باشد. با این حال، رقابت‌های اقتصادی نه تنها به افزایش بی سابقه در تولید کالا، بلکه به ایجاد امکانات حمل و نقل برای ارائه محصولات منجر شده است. به عنوان یک نتیجه، تولید کنندگان به ساخت وسایل نقلیه بزرگ‌تر، با بار محوری و فشار تایر بیشتر، به منظور حفظ رقابت اقتصادی در تحویل کالا در بازار جهانی روی آورده‌اند. از این رو، تعداد وسایل نقلیه سنگین در جاده‌ها به شدت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این افزایش بی سابقه در ترافیک جاده‌ها، باعث زوال سریع روسازی آسفالتی جاده‌ها، زودتر از زمان مورد انتظار آن می‌شود. محدویت‌های خواص قیرهای معمولی را به شرح زیر می‌توان عنوان نمود:

در دمای بالا و بارگذاری طولانی مدت امکان جاری شدن قیر، قیرزدگی، تغییرشکل دائم شیارشدگی وجود دارد. در دمای پایین و بارگذاری طولانی مدت تحت اثر تنش‌های حرارتی، امکان بروز ترک در مخلوط آسفالتی وجود دارد.

محدودیت‌های قیر معمولی باعث گردیده که در زمینه اصلاح رفتار قیر و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوط‌های آسفالتی گام‌هایی برداشته شود. در دهه‌های اخیر در این زمینه روش‌های مختلف و طیف گسترده‌ای از موارد اصلاح کننده و افزودنی به منظور بهبود خواص و رفتار قیر و در نتیجه بهبود عملکرد مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی از جمله مواد افزودنی موثر در اصلاح مخلوط بتن آسفالتی می‌باشند و از جمله این مواد افزودنی که طیف گسترده‌ای از کاربردها را در اصلاح مخلوط آسفالتی دارد، پلیمرها می‌باشند. پلیمرها بیشترین پتانسیل را برای استفاده در طراحی روسازی‌های انعطاف پذیر دارند که باعث افزایش طول عمر خدمت‌دهی و یا کاهش ضخامت لایه‌های روسازی می‌شود [15-13]. در این فصل خصوصیات رفتاری مخلوط‌های بتن آسفالتی اصلاح‌شده با افزودنی‌های لاستیکی و پلاستیکی بررسی شده است.

2-2-1- تاریخچه اصلاح قیر

استفاده از مواد مصنوعی و طبیعی به عنوان اصلاح کننده در قیر به اوایل دهه 1840 میلادی بر می‌گردد. اولین پروژه‌های اصلاح قیر در اروپا در دهه 1930 شروع شد. همچنین در آمریکا، استفاده از لاستیک خام به عنوان اصلاح کننده قیر، در دهه 1950 میلادی شروع شد. در دهه 1980 میلادی، اروپا در زمینه استفاده از آسفالت پلیمری از ایالات متحده آمریکا پیش افتاد زیرا در اروپا به دلیل به کار گرفته شدن پیمانکارانی که طول عمر آسفالت را تضمین می‌کردند، انگیزه بیشتری برای پایین آوردن هزینه طول عمر مفید آسفالت وجود داشت [16].