بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

بررسی کاربرد ذرات لاستیک در قیر بر پارامترهای ساختاری و رفتار قیر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری

امین طائریان

استاد راهنما

دکتر سید مهدی ابطحی

دکتر بهروز کوشا

۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – راه و ترابری آقای امین طائریان

تحت عنوان

بررسی کاربرد ذرات لاستیک در قیر بر پارامترهای ساختاری و رفتار قیر

در تاریخ ۹۱/۱۲/۲۶ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه — دکتر سید مهدی ابطحی

۲- استاد راهنمای پایان‌نامه — دکتر بهروز کوشا

۳- استاد داور — دکتر سید مهدی حجازی

۴- استاد داور — مهندس محمدرضا جعفری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر عبدالرضا کبیری

بر خود لازم می‌دانم که از توجه و راهنمایی‌های ارزنده اساتید گرانقدر، آقایان دکتر سید مهدی ابطحی و دکتر بهروز کوشا تشکر نمایم. همچنین مراتب قدردانی و سپاس خود را نسبت به مساعدت‌های برادرانه آقایان مهندس احمد گلی، مهندس سیاوش حاجی‌اکبری، مهندس سید حسین احمد دیباجی، مهندس آرش حافظی، اعلام می‌دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادرم

به پاس زحمات و حمایت های بی دریغشان که در تمامی مراحل زندگی با من همراه بوده است.

همسرم

که همواره همراه و مشوق من بوده و در مدت انجام این پژوهش، متقبل سختی های فراوان گردیده اند.

برادرانم

که وجودشان باعث دلگرمی و نیز روشنگر راهم بوده است.

خداوند را به خاطر نعمت حضور این عزیزان در زندگی ام شاکر هستم.

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
چکیده ۱۰
فصل اول: کلیات ۱۱
۱-۱- مقدمه ۱۱
۱-۲- طرح موضوع ۱۲
۱-۳- بیان مسئله ۱۳
۱-۴- ضرورت انجام تحقیق ۱۳
۱-۵- فرضیه‌های پژوهش ۱۴
۱-۶- اهداف پژوهش ۱۴
۱-۷- کاربرد پژوهش ۱۴
۱-۸- روش انجام پژوهش ۱۵
۱-۹- ساختار پایان نامه ۱۵
فصل دوم: شناخت قیر و پودر لاستیک، تاریخچه و مطالعات انجام شده ۱۶
۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- قیر ۱۶
۲-۲-۱- تاریخچه قیر ۱۷
۲-۲-۲- منابع قیر ۱۷
۲-۲-۳- ساختار شیمیایی قیر ۱۷
۲-۲-۴- اجزاء قیر ۱۹
۲-۲-۵- رفتار قیر ۲۱
۲-۳- افزودنی‌های قیر ۲۶
۲-۳-۳- انواع اصلاح‌کننده‌های پلیمری ۲۹
فصل سوم: قیر لاستیکی ۳۵
۳-۱- مقدمه ۳۵
۳-۲- اختلاط مخلوط‌های آسفالتی با لاستیک ۳۵
۳-۲-۱- فرآیند خشک ۳۶
۳-۲-۲- فرآیند مرطوب ۳۸
۳-۳- مزایا و معایب استفاده از لاستیک‌های بازیافتی ۴۰
۳-۳-۱- مزایا ۴۰
۳-۳-۲- معایب کاربرد ۴۲
۳-۴- ملاحظات زیست محیطی ۴۲

۳-۴-۱- منافع ۴۲
۳-۴-۲- چالش‌ها و نگرانی‌ها ۴۳
۳-۵- مطالعات اقتصادی ۴۴
۳-۵-۱- پژوهش‌ها و تجربیات ۴۴
۳-۶- مروری بر فعالیت‌های انجام شده در زمینه آسفالت لاستیکی ۴۸
۳-۶-۱- تاریخچه ۴۸
۳-۶-۲- مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کاربرد لاستیک در قیر و آسفالت ۵۰
۳-۷- پودر لاستیک و بازیافت لاستیک‌های مستعمل ۶۰
۳-۷-۱- فرایندهای بازیافت ۶۱
۳-۷-۲-کاربرد تایر های فرسوده ۶۲
۳-۷-۳- نتیجه‌گیری ۶۳
۳-۸- ریکلیم (لاستیک احیا شده) ۶۴
۳-۸-۱- روش‌های تولید ریکلیم ۶۴
۳-۹- سرباره ۶۵
۳-۱۰- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۶۷
فصل چهارم: آزمایشات انجام شده ۶۸
۴-۱- مقدمه ۶۸
۴-۲- مشخصات مصالح مصرفی ۶۸
۴-۲-۱- مصالح سنگی ۶۸
۴-۲-۲- قیر ۶۹
۴-۲-۳- پودر لاستیک ۶۹
۴-۳- طراحی آزمایشات ۷۲
۴-۳-۱- آزمایش نیروی خروج ۷۲
۴-۳-۲-آزمایش طیف سنجی مولکولی ۷۶
۴-۳-۳- آزمایش رئومتر برش دینامیکی (AASHTO TP5) ۸۱
۴-۳-۴- برآورد دمای بالای عملکردی قیر ۸۸
فصل پنجم: مدلسازی و تحلیل نتایج ۹۰
۵-۱- مقدمه ۹۰
۵-۲- آزمایش نیروی خروج ۹۰
۵-۲-۱- تئوری آزمایش نیروی خروج ۹۰
۵-۲-۲- تحلیل و بررسی نتایج آزمایشات نیروی خروج ۹۳
۵-۳- آزمایش طیف سنجی تبدیل فوریه ۱۰۶
۵-۳-۱- تحلیل و بررسی نتایج آزمایش ۱۰۶
۵-۴- رئومتر برش دینامیکی ۱۱۱

۵-۴-۱- نتایج آزمون رئومتر برش دینامیکی ۱۱۱
۵-۵- برآورد دمای بالای عملکردی ۱۱۴
۵-۶- تحلیل اقتصادی ۱۲۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری ۱۲۸
۶-۱- مقدمه ۱۲۸
۶-۲- مراحل انجام مطالعه ۱۲۸
۶-۳- نتیجه‌گیری نهایی ۱۲۸
۶-۳-۱- آزمون نیروی خروج ۱۲۹
۶-۳-۲- طیف سنجی تبدیل فوریه ۱۲۹
۶-۳-۳- آزمون رئومتر برش دینامیکی ۱۲۹
۶-۳-۴- درجه عملکردی ۱۳۰
۶-۳-۵- جمع‌بندی ۱۳۰
۶-۴- پیشنهادات توسعه‌ای ۱۳۰
مراجع ۱۳۲

فهرست اشکال

عنوان ..... صفحه

فصل دوم: شناخت قیر و پودر لاستیک، تاریخچه و مطالعات انجام شده ۱۶

شکل ۲- ۱-دسته‌بندی هیدروکربن‌ها ۱۸

شکل ۲- ۲-ساختمان مولکولی نفت ۱۸

شکل ۲- ۳-محصولات فرایند تقطیر ۱۹

شکل ۲- ۴- اجزاء قیر ۱۹

شکل ۲- ۵-رفتار روانی قیر خالص ۲۲

شکل ۲- ۶-منظره میکروسکوپی ویژگی‌های روانی مایع ۲۳

شکل ۲- ۷- ویژگی‌های ویسکوزیته مایعات مختلف ۲۴

شکل ۲- ۸- مدل رفتار ویسکوالاستیک ۲۵

فصل سوم: قیر لاستیکی ۳۵

شکل ۳- ۱- اصطلاحات تکنولوژی آسفالت لاستیکی ۳۶

شکل ۳- ۲- تصاویر دو قطعه از بزرگراه بین ایالتی؛... ..... ۴۵

شکل ۳- ۳- هزینه نگهداری آسفالت لاستیکی در مقایسه با آسفالت معمولی ۴۷

شکل ۳- ۴- برچسب‌های پیش‌ساخته قیر لاستیکی ۴۸

شکل ۳- ۵- کاربرد قیر در روکش‌های حفاظتی در دهه ۱۹۷۰ ..... ۴۹

شکل ۳- ۶- اثر افزودن روغن آروماتیک بر روی مدول سفتی مخلوط‌های آسفالت لاستیکی ۵۰

شکل ۳- ۷- اثر افزودن روغن آروماتیک بر روی تغییرشکل محوری مخلوط‌های آسفالت لاستیکی ۵۰

شکل ۳- ۸- تغییرات ویسکوزیته قیر **AC-5** در مقابل زمان اختلاط برای درصدهای مختلف پودر لاستیک ۵۲

شکل ۳- ۹- تغییرات ویسکوزیته قیر **AC-10** در مقابل زمان اختلاط برای درصدهای مختلف پودر لاستیک ۵۲

شکل ۳- ۱۰-نمودار سختی خزشی قیر لاستیکی در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد در مقابل زمان عمل‌آوری ۵۴

شکل ۳- ۱۱- نمودار ویسکوزیته مختلط قیر لاستیکی با درصد(۵٪ و ۱۰٪) و... ..... ۵۴

شکل ۳- ۱۲- نمودار حساسیت دمایی قیر لاستیکی با درصد(۵٪ و ۱۰٪) و ۵۵

شکل ۳- ۱۳- نمودار ویسکوزیته دمای بالای قیر لاستیکی در دمای ۱۹۳ درجه ۵۵

شکل ۳- ۱۴- ویسکوزیته قیر اصلاح‌شده با پودر لاستیک ۰/۳۵ میلی‌متری ۵۷

شکل ۳- ۱۵- ویسکوزیته قیر اصلاح‌شده با اندازه‌های مختلف پودر لاستیک ۵۸

شکل ۳- ۱۶- مشخصات رئولوژیکی قیر اصلاح شده با پودر لاستیک با ۵۹

شکل ۳- ۱۷- تغییرات مقاومت مارشال به ازاء درصد های مختلف پودر لاستیک ۵۹

شکل ۳- ۱۸- تغییرات روانی به ازاء درصد های مختلف پودر لاستیک در مقابل ۵۹

شکل ۳- ۱۹- پودر ریکلیم ۶۴

فصل چهارم: آزمایشات انجام شده ۶۸

شکل۴- ۱- دانه‌بندی و ظاهر پودر لاستیک ۰/۲ میلی‌متر ۷۰

شکل۴- ۲- دانه‌بندی و ظاهر پودر لاستیک ۰/۴ میلی‌متر ۷۰
شکل۴- ۳- دانه‌بندی و ظاهر پودر لاستیک ۰/۶ میلی‌متر ۷۱
شکل۴- ۴- دانه‌بندی و ظاهر ریکلیم ۷۱
شکل۴- ۵- الف- دستگاه زوئیک قبل از تغییر، ب- دستگاه زوئیک پس از تغییر ۷۳
شکل۴- ۶- الف- طرز قرارگیری ظرف ... ، ب- نمونه آماده‌شده و اجزاء آن ۷۳
شکل۴- ۷- موقعیت ارتعاش پیوندهای مختلف در طیف مادون قرمز ۷۷
شکل۴- ۸- روند تولید طیف در دستگاه **FTIR** ۷۸
شکل۴- ۹- تهیه پودر نرم از مخلوط قیر و نمک پتاسیم برمید ۸۰
شکل۴- ۱۰- روند آماده‌سازی قرص برای طیف سنجی ۸۰
شکل۴- ۱۱- قرارگیری قرص در دستگاه **FTIR** ۸۱
شکل۴- ۱۲-دستگاه **DSR** ۸۱
شکل۴- ۱۳- عملیات رئومتر برش دینامیکی ۸۲
شکل۴- ۱۴- رفتار ویسکوالاستیک قیر ۸۳
شکل۴- ۱۵- قالب‌های مورد استفاده برای تهیه قرص قیر ۸۴
شکل۴- ۱۶- جایگذاری قرص قیر روی صفحه ثابت دستگاه و انجام حرکت رفت‌وبرگشتی ۸۵
شکل۴- ۱۷- اتصال رایانه و دستگاه **DSR** برای گزارش داده‌های خروجی ۸۶
شکل۴- ۱۸- خروجی منحنیهای تنش _کرنش، مربوط به رئومتر با تنش ثابت ۸۶
شکل۴- ۱۹- حرکت متقابل تنش- کرنش یک ماده ویسکوالاستیک، مربوط به رئومتر با تنش ثابت ۸۷
شکل۴- ۲۰- محاسبات نمونه قیر **DSR** ۸۷
فصل پنجم: مدلسازی و تحلیل نتایج ۹۰
شکل ۵- ۱- وضعیت لحظه خروج سنگدانه از قیر و گرادیان سرعت در قیر ۹۱
شکل ۵- ۲- معادل‌سازی سنگدانه مصرفی با یک استوانه فرضی ۹۲
شکل ۵- ۳- تأثیر درصد پودر لاستیک اصلاح کننده قیر در مقدار نیروی خروج ۹۳
شکل ۵- ۴- نمودارهای نیرو-تغییر مکان برای درصدهای مختلف پودر لاستیک ۹۴
شکل ۵- ۵- نمودارهای نیرو-تغییر مکان برای درصدهای مختلف پودر لاستیک ۹۵
شکل ۵- ۶- نمودار نیروی خروج- مدت زمان اختلاط ۹۷
شکل ۵- ۷- نمودار نیروی خروج- تغییر مکان برای قیرهای لاستیکی ۹۷
شکل ۵- ۸- نمودار نیروی خروج- دمای اختلاط برای قیر لاستیکی ۹۹
شکل ۵- ۹- نمودار تغییر مکان تسلیم- دمای اختلاط برای قیر لاستیکی ۹۹
شکل ۵- ۱۰- نمودار نیروی خروج- تغییر مکان برای نمونه‌های قیر لاستیکی ۹۹
شکل ۵- ۱۱- تأثیر اندازه ذرات پودر لاستیک بر روی نیروی خروج ۱۰۱
شکل ۵- ۱۲- مقایسه تأثیر ریکلیم با پودر لاستیک به عنوان اصلاح کننده در قیر لاستیکی ۱۰۱
شکل ۵- ۱۳- نمودار نیروی خروج- تغییر مکان قیر اصلاح‌شده ۱۰۲
شکل ۵- ۱۴- نیروی لازم برای خارج نمودن سنگدانه‌ی ۱۰۳

شکل ۵- ۱۵- نمودار نیروی خروج- تغییر مکان قیر خالص ... ۱۰۴
شکل ۵- ۱۶- نمودار نیروی خروج- تغییر مکان قیر لاستیکی ... ۱۰۴
شکل ۵- ۱۷- بررسی اثر درصد پودر لاستیک در برقراری پیوند؛ مرحله اول طرح آزمایشات ۱۰۷
شکل ۵- ۱۸- بررسی اثر مدت زمان اختلاط پودر لاستیک با قیر در برقراری پیوند؛ مرحله دوم طرح آزمایشات ۱۰۸
شکل ۵- ۱۹- بررسی اثر دمای اختلاط پودر لاستیک با قیر در برقراری پیوند؛ مرحله سوم طرح آزمایشات ۱۰۸
شکل ۵- ۲۰- بررسی اثر اندازه ذرات پودر لاستیک در برقراری پیوند؛ مرحله چهارم طرح آزمایشات ۱۰۹
شکل ۵- ۲۱- بررسی اثر دمای اختلاط ریکلیم با قیر در برقراری پیوند؛ مرحله پنجم طرح آزمایشات ۱۰۹
شکل ۵- ۲۲- طیف ذرات لاستیک به کار رفته در اختلاط با قیر؛ مرحله ششم از طرح آزمایشات ۱۱۰
شکل ۵- ۲۳- نمودار $G^* / Sin\delta$ در دماهای مختلف؛ خروجی آزمون **DSR** ۱۱۱
شکل ۵- ۲۴- نمودار $G^* \times Sin\delta$ در دماهای مختلف؛ خروجی آزمون **DSR** ۱۱۲
شکل ۵- ۲۵- نمودار $Sin\delta$ در دماهای مختلف؛ خروجی آزمون **DSR** ۱۱۳
شکل ۵- ۲۶- نمودار مدول مختلط بر حسب زاویه اختلاف فاز ($G^* - \delta$)؛ خروجی آزمون **DSR** ۱۱۳
شکل ۵- ۲۷- مدول مختلط و مدول الاستیک در دماهای بالا برای قیر خالص؛ خروجی آزمایش **DSR** ۱۱۴
شکل ۵- ۲۸- مدول مختلط و مدول الاستیک در دماهای بالا برای قیر لاستیکی؛ خروجی آزمایش **DSR** ۱۱۴
شکل ۵- ۲۹- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلی پیر شده کوتاه مدت در دمای **C** ° ۵۲ ۱۱۵
شکل ۵- ۳۰- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلی پیر شده کوتاه مدت در دمای **C** ° ۵۸ ۱۱۶
شکل ۵- ۳۱- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلی پیر شده کوتاه مدت در دمای **C** ° ۶۴ ۱۱۷
شکل ۵- ۳۲- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلی پیر شده کوتاه مدت در دمای **C** ° ۷۰ ۱۱۸
شکل ۵- ۳۳- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و ... ۱۱۹
شکل ۵- ۳۴- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و ... ۱۲۰
شکل ۵- ۳۵- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و ... ۱۲۱
شکل ۵- ۳۶- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و ... ۱۲۲
شکل ۵- ۳۷- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر اصلاح شده با پودر لاستیک و ... ۱۲۳
شکل ۵- ۳۸- نمودار جریان نقدینگی برای اجرای آسفالت و نگهداری آن ۱۲۵

فهرست جداول

عنوان ..... **صفحه**

فصل دوم: شناخت قیر و پودر لاستیک، تاریخچه و مطالعات انجام شده ۱۶
جدول ۲- ۱-عناصر تشکیل دهنده قیر ۱۸
جدول ۲- ۲- اصلاح کننده‌های قیر ۲۸
جدول ۲- ۳- نام تجاری تعدادی از پلیمرهای اصلاح کننده‌ی قیر ۲۹
جدول ۲- ۴- خواص انواع پلی‌الفین (آلفا) های راه‌سازی ۳۲
فصل سوم: قیر لاستیکی ۳۵
جدول۳- ۱- مقایسه هزینه اجرای مخلوط‌های آسفالت لاستیکی نسبت به مخلوط آسفالت معمولی ۴۵
جدول۳- ۲- ضخامت معادل آسفالت معمولی و لاستیکی، ۴۶
جدول۳- ۳- مشخصات پودر لاستیک مصرفی در تحقیقات ناوارو ۵۶
جدول۳- ۴- نتایج خواص فیزیکی قیر و قیر اصلاح شده با پودر لاستیک ۵۸
جدول۳- ۵- واحدهای فعال بازیافت تایرهای فرسوده در ایران تا سال ۸۹ ..... ۶۱
جدول۳- ۶- آمار تولید و حجم دپوی سرباره در سه کارخانه تولید فولاد در ایران ۶۶
جدول۳- ۷- ویژگی‌های مکانیکی مصالح سرباره فولادی ۶۶
فصل چهارم: آزمایشات انجام شده ۶۸
جدول۴- ۱- خصوصیات مصالح سنگی مورد استفاده ۶۹
جدول۴- ۲- مشخصات شیمیایی سرباره مورد استفاده ۶۹
جدول۴- ۳- نتایج آزمایشات بر روی قیر خالص مورد استفاده در مطالعه ۶۹
جدول۴- ۴- برنامه آزمایشات نیروی خروج ۷۵
جدول۴- ۵- موقعیت برخی از گروه‌های عاملی ۷۷
جدول۴- ۶- برنامه آزمایشات انجام طیف سنجی فوریه (**FTIR**) ۷۹
جدول۴- ۷- طرح آزمایشات انجام شده توسط دستگاه **DSR** برای برآورد دمای بالای عملکردی قیر ۸۹
فصل پنجم: مدلسازی و تحلیل نتایج ۹۰
جدول۵- ۱- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای درصدهای مختلف پودر لاستیک ۹۶
جدول۵- ۲- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای مدت زمان‌های مختلف اختلاط قیر با ذرات پودر لاستیک ۹۸
جدول۵- ۳- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای مدت زمان‌های مختلف اختلاط قیر با ذرات پودر لاستیک ۱۰۰
جدول۵- ۴- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای قیرهای لاستیکی با اندازه ذرات متفاوت لاستیک ۱۰۲
جدول۵- ۵- تأثیر سنگدانه مصرفی در پارامترهای آزمون خروج برای قیر خاص و لاستیکی ۱۰۵
جدول۵- ۶- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای قیر خالص و قیر اصلاح شده با لاستیک ۱۰۵
جدول۵- ۷- مقادیر نیروی خروج و تغییر مکان برای قیر خالص و قیر اصلاح شده با لاستیک ۱۰۶
جدول۵- ۸- نتایج آزمایش **DSR** بر روی نمونه‌های قیر برای برآورد **PG** ۱۲۴
جدول۵- ۹- هزینه اولیه اجرای آسفالت به طول یک کیلومتر در یک راه دو خطه (به عرض ۷/۵ متر) ۱۲۵

جدول۵- ۱۰- هزینه نگهداری آسفالت بر حسب دلار به طول یک کیلومتر در یک راه دو خطه ... .۱۲۵
جدول۵- ۱۱- ارزش کنونی هزینه‌های نگهداری برای آسفالت معمولی و آسفالت لاستیکی.....۱۲۶
جدول۵- ۱۲- نسبت هزینه آسفالت لاستیکی به آسفالت معمولی.....۱۲۷

«هُوَ الَّذِی جَعَلَ لَکُمُ الْأَرْضَ ذَلُولًا فَامْشُوا فِی مَنَاکِبِهَا وَکُلُوا مِن رِّزْقِهِ وَإِلَیْهِ النُّشُورُ»

«اوست که زمین را برای شما رام قرار داد، بنابراین بر اطراف و جوانب آن راه روید و از روزی خدا بخورید، و برانگیختن مردگان و رستاخیز به سوی اوست.»[۱]

پیامبر اعظم (ص) فرمودند :"هرکس از راه مسلمین آنچه را که موجب آزارشان است، برطرف کند، خداوند برای آن کارش اجر خواندن چهارصد آیه که بر هر حرف آن نیز ده حسنه است را منظور می نماید."[۲]

۱قرآن کریم ، سوره مُلک ، آیه ۱۵ ، چاپ الهادی قُم ۱۳۷۸

۲حاج شیخ عباس قُمی (ره) ، "سفینه البحار" ، جلد پنجم ، چاپ سوم، انتشارات اُسوه.

چکیده

امروزه لاستیک‌های ضایعاتی یک مشکل جدی محسوب می‌شوند. به بیان دیگر هر تایری که دور انداخته می‌شود، یک تهدید برای سلامتی جامعه و محیط زیست به حساب می‌آید. از آن‌جایی که این مواد برای از بین رفتن در طبیعت به زمانی در حدود ۶۰۰۰ سال احتیاج دارند، بازیافت آن‌ها بسیار مورد توجه جوامع قرار گرفته است.

از طرف دیگر از آن‌جایی که روسازی تأثیر اساسی بر روی اقتصاد یک جامعه دارد، باید دارای طول عمر طولانی باشد. علت خرابی راه را می‌توان در سه عامل ترافیک و یا بار اضافی، مصالح به کار رفته ضعیف و شرایط نامناسب آب‌وهوایی جست‌وجو نمود. بنابراین نیاز به عملکرد بهتر روسازی، مهندسین راهسازی را به سمت اصلاح خواص قیر و آسفالت سوق داده است. قیرهای اصلاح شده عمدتاً عواملی نظیر شیارشدگی، خستگی، ترک انقباضی، مقاومت اصطکاکی و چسبندگی مصالح را بهبود می‌بخشد.

محققان نشان داده‌اند که خرده لاستیک می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده به قیر افزوده شود. این ماده علاوه بر اینکه عملکرد و طول عمر آسفالت را بهبود می‌بخشد، نیاز به استفاده از مواد خام جدید را در قیر بر طرف می‌سازد و از نظر محیط زیستی راهکاری مناسب می‌باشد. اساسی‌ترین مزیت کاربرد لاستیک در قیر، ایجاد رفتار الاستیک در آن می‌باشد که این عامل باعث کمک به افزایش طول عمر خستگی در روسازی و نیز کاهش ترک‌های انعکاسی می‌گردد. این افزایش در الاستیسیته هم‌چنین باعث افزایش انعطاف‌پذیری روسازی و در نتیجه کاهش ترک‌های انقباضی می‌گردد. هم‌چنین برای کاربرد لاستیک در قیر گزارش گردیده که این ماده باعث افزایش مقاومت در برابر پیری، مقاومت کششی، نرمی، چغرمگی، برجهندگی، سختی و به طور کلی دوام مخلوط‌های آسفالتی می‌گردد.

این پایان‌نامه با استفاده از آزمایشات نیروی خروج، طیف‌سنجی تبدیل فوریه، رئومتر برش دینامیکی و رده عملکردی به بررسی کاربرد ذرات لاستیک در قیر بر پارامترهای ساختاری و رفتار قیر پرداخته است. آزمایش ابداعی نیروی خروج به بررسی تنش برشی بین سنگدانه و قیر (خالص و یا اصلاح شده)، می‌پردازد. در طرح این آزمایش بررسی شرایط عمل‌آوری نظیر ابعاد ذرات، میزان ذرات لاستیک، دما اختلاط، مدت زمان اختلاط و نوع سنگدانه‌ها مد نظر قرار داده شده است. سپس از پارامترهای بهینه بدست آمده از این آزمایش، در ساخت نمونه برای بقیه آزمایشات، استفاده شده است. آزمایش طیف سنجی تبدیل فوریه برای بررسی پیوند بین قیر و ذرات لاستیک صورت گرفته است. در ادامه برای برآورد عملکرد مخلوط آسفالت لاستیکی با استفاده از قیر، آزمایش رئومتر برش دینامیکی انجام گردید. سپس دمای بالای عملکردی آسفالت در ادامه آزمایشات برآورد گردید.

نتایج مطالعات و آزمایشات حاکی از آن است که استفاده از پودر لاستیک به عنوان اصلاح کننده در قیر علاوه بر اینکه از نقطه نظر زیست محیطی مطلوب است، از جهت اقتصادی به صرفه و قابل توجیه و از نقطه نظر فنی و عملکردی بسیار مناسب و مطلوب است.

کلمات کلیدی: قیر لاستیکی، خرده لاستیک، ریکلیم، آزمون نیروی خروج، طیف‌سنجی تبدیل فوریه، رئومتر برش دینامیکی، رده عملکردی.

فصل اول:
کلیات

۱-۱- مقدمه

قیر ماده‌ای هیدروکربوری به رنگ سیاه تا قهوه ای تیره است که در صنعت راه‌سازی به شکل امروزی برای اولین بار در سال ۱۸۳۰ در کشور فرانسه و سپس در آمریکا مورد استفاده قرارگرفته است و استفاده از آن در ایران برای اولین بار به سال ۱۳۱۲ در خیابان فلسطین (کاخ سابق) بر می‌گردد [۱ و ۲].

بیش از یک و نیم قرن از زمانی که نخستین جاده‌ها توسط مخلوطی از قیر و سنگدانه پوشش یافته‌اند، گذشته است. در این مدت مخلوط‌های آسفالتی چه از نظر روش‌ها و تجهیزات ساخت و چه از نظر کیفیت و کمیت و چه از نظر استانداردها و کاربردها، دچار تحولات وسیعی شده‌اند. به طور کلی چسبندگی و نفوذ ناپذیری از خصوصیات منحصر به فرد قیرها است که به موجب آن بیش از ۲۵۰ کاربرد برای آن‌ها مفروض است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای قیرها در راهسازی می‌باشد. یک قیر مناسب ماده‌ای است که سنگدانه‌ها را به یکدیگر یا به سایر سطوح می‌چسباند و منجر به تولید پوششی با دوام و مقاوم در مقابل تغییر شکل و خستگی می‌گردد. این ماده، علیرغم درصد وزنی کم (۴ الی ۶٪)، سهم قابل توجهی را در قوام و استحکام پوشش‌های آسفالتی در مقابل عوامل مختلف فرساینده سطح، داراست.

از سوی دیگر همزمان با رشد روز افزون ترافیک شهری و عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین، مشکلاتی همچون شیارشدگی در دمای بالا و ترک خوردگی در دمای پایین، استفاده از قیرها را تحت‌الشعاع قرار داده‌اند. بنابراین تلاش‌های بسیاری جهت بهبود خواص قیر در چند دهه اخیر صورت گرفته است. در چهار دهه اخیر یکی از مؤثرترین افزودنی‌های قیر، ذرات خرد شده لاستیک‌های ضایعاتی هستند. به منظور مقایسه عملکرد قیرهای پایه و قیرهای اصلاح شده، از آزمایش‌های رئولوژیکی استفاده شده است؛ چرا که ماهیت ویسکوالاستیک قیرها تنها با

انجام این آزمایشات، قابل شناخت و ارزیابی است. متأسفانه آزمایش‌های جدید شارپ[1] که بر روی خواص رئولوژیکی تأکید دارند، هنوز کاربرد آن‌ها در کشور متداول نشده است، در حالی که به زودی این آزمایشات، باید جایگزین آزمایشات قبلی گردند. نتایج تحقیقات صورت گرفته در زمینه کاربرد ذرات لاستیک به عنوان اصلاح‌کننده در ساختار قیر و آسفالت، نشان داده است که اضافه نمودن پودر لاستیک به قیر باعث افزایش انعطاف‌پذیری آسفالت، مقاومت در برابر شیارشدگی و ترک خوردگی می‌گردد و محدوده دمایی سرویس دهی قیر را افزایش دهد. به علاوه، پودر لاستیک عمر مفید آسفالت را افزایش می‌دهد و لذا هزینه های نگهداری و بازسازی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. بنابراین کاربرد ذرات لاستیک در قیر و آسفالت، علی رغم تحمیل هزینه‌های اولیه بیشتر، منافعی همچون افزایش قابل توجه طول عمر راه‌ها را به دنبال دارد که این امر پتانسیل اقتصادی شدن را برای این لاستیک‌ها ایجاد می‌کند، به خصوص اینکه از یک امتیاز بهبود زیست محیطی نیز برخوردارند.

۱-۲- طرح موضوع

عملکرد روسازی‌های آسفالتی در ایران، مانند بسیاری دیگر از کشورهای در حال توسعه با انتظارات و خواسته‌های جوامع امروزی سازگار نیست. عملکرد ضعیف روسازی و عمر کوتاه آن ناشی از عوامل مختلفی به شرح زیر است:

الف- عوامل مربوط به طرح روسازی

- استفاده از قیر و مصالح نامناسب با توجه به شرایط آب و هوایی و کاربری روسازی
- طرح اختلاط نامناسب مخلوط آسفالتی با توجه به شرایط و کاربری روسازی
- طراحی نامناسب روسازی و لایه های تشکیل دهنده آن

ب-عوامل مربوط به اجرا و نگهداری روسازی

- کاربرد قیر و مصالح غیر استاندارد
- اجرا و نظارت ضعیف
- باز کردن زود هنگام ترافیک پس از اجرا
- نگهداری نامناسب

برای دستیابی به روسازی با عملکرد مطلوب، در نظر گرفتن و اجرای هماهنگ کلیه عوامل فوق لازم است. پژوهش حاضر با هدف کلی بهبود عملکرد روسازی آسفالتی و تاکید بر نقش قیر در این راستا صورت می‌گیرد. فقدان سابقه از انجام تحقیقات پایه‌ای در زمینه شناخت قیرها و خصوصیات عملکردی آن‌ها در کشور برای دستیابی به هدف ذکر شده در بالا از یکسو، و تحقیقات انجام شده در ۱۰ سال گذشته در قالب پروژه تحقیقاتی شارپ ۱ و ۲ و مشابه آن در سطح جهانی، فرصت‌های جدیدی را برای انجام تحقیقات پایه‌ای در رابطه با شناخت خصوصیات قیر به عنوان ماده چسباننده در روسازی آسفالتی گشوده است.

---

[1] SHRP

از طرفی شناخت زیربناهای تحقیقات شارپ از اساسی‌ترین ملزوماتی است که انجام تحقیقات در زمینه قیر و آسفالت در سطح قابل قبول بین‌المللی را میسر می‌سازد. متأسفانه در ایران، به سبب در دسترس نبودن امکانات کافی برای آشنایی محققین داخلی با جنبه های عملیاتی مطالعات شارپ، به دلیل نبودن یک سازمان متولی، سطح مطالعات انجام شده در این زمینه، در حد ترجمه و آشنایی کلی با موضوع بوده است. به همین سبب تلاش‌های صورت گرفته در داخل کشور از مطالعات مشابه انجام شده در سایر کشورها فاصله ای قابل توجه گرفته است. فراهم نبودن این شناخت و امکانات مربوطه، مانع از انجام گرفتن تحقیقات پایه ای و زیربنایی در زمینه قیر و آسفالت می‌شده و در نتیجه فاصله مزبور روندی رو به رشد داشته است. امید است با فراهم شدن تجهیزات و مطالعه بنیادی در زمینه زیربناهای تحقیقات شارپ و بررسی گزارش‌های منتشر شده پیرامون آن گامی در راستای رفع خلأ موجود و ایجاد پشتوانه لازم برای انجام تحقیقات به روز وهم تراز مطالعات جهانی، برداشته شود.

۱-۳- بیان مسئله

یکی از مسایل و مشکلاتی که در روسازی‌های آسفالتی با آن مواجه هستیم، جدا شدن سنگدانه‌ها از سطح روسازی به علت عدم چسبندگی مناسب بین قیر و مصالح سنگی می‌باشد. در این تحقیق به جهت عدم دسترسی به آزمایشات نوین آسفالت، با استفاده از آزمایشی ابتکاری نیروی خروج، مقایسه‌ای بین قیر معمولی و قیر اصلاح شده با پودر لاستیک صورت می‌پذیرد. از طرفی موضوع بررسی پیوند بین ذرات لاستیک و قیر در دستور کار، قرار خواهد گرفت. در ادامه با شناسایی خصوصیات عملکردی و رفتار رئولوژیکی قیر معمولی در مقایسه با قیرهای اصلاح‌شده با پودر لاستیک، ارزیابی در خصوص انتخاب قیر مناسب جهت رفع مشکلات رایج در روسازی‌های آسفالتی صورت می‌پذیرد.

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

بدون تردید می‌توان اهمیت و ضرورت انجام این پژوهش را در محدودیت‌های خواص قیرهای معمولی در دماهای بالا از جمله امکان جاری شدن قیر، قیرزدگی، مواج گردیدن سطح آسفالت در زیر بار ترافیک و شیارشدگی و ... و همچنین مشکلات روسازی در دماهای پایین، که ممکن است قیر شکننده شده و ترک‌هایی نیز در روسازی به وجود آید، جست‌وجو کرد. از این رو با توجه به حساسیت قیرها نسبت به تغییرات درجه حرارت و برای جلوگیری از خرابی‌های ناشی از آن، می‌توان با استفاده از مواد افزودنی (که در این پژوهش از پودر لاستیک استفاده گردیده است) و به اصلاح خواص آن‌ها پرداخت. این عمل منجر به اصلاح رفتار قیر و دامنه کاربرد آن خواهد شد و به دنبال آن اصلاح عملکرد مخلوط‌های آسفالتی را به همراه خواهد داشت.

از طرفی یکی از مشکلات بشر در قرن حاضر، مشکل دفع زباله‌ها و مواد زاید ناشی از تولیدات کارخانه‌ها و سایر فن‌آوری‌های جدید است. افزایش تعداد وسایل نقلیه به نوبه خود باعث افزایش مواد اضافی نظیر لاستیک‌های فرسوده شده که علاوه بر آلودگی محیط زیست باعث اشغال فضا گردیده است. سالیانه در دنیا میزان بسیار زیادی تایر فرسوده تولید می‌شود آمار ارائه شده در این مورد عددی بالغ بر ۶ میلیون تن در سال را نشان می‌دهد که بیانگر ۲٪