دانشکده فنی

گروه عمران

گرایش مهندسی راه و ترابری

ارزیابی آزمایشگاهی روسازی آسفالتی اصلاح شده با مواد جوانساز در روش بازیافت گرم درجا

از:

مرتضی بنی میرزا آبکنار

استاد راهنما:

دکتر مهیار عربانی

استاد مشاور:

مهندس شهرام شیخ سندیانی

(دی ۹۱)

تقدیم به :

« روح پاک پدرم و حضور گرم مادرم که درهمه حال دعای خیرشان شامل حالم بوده و همواره یار و پشتیبان من بوده اند »

تشکر و قدردانی

به نام تنها معمار هستی که مرا سزاوار انجام این تحقیق نمود و یاریم کرد تا گامی هرچند ناچیز در ارتقای دانش سرزمینم بردارم.

در ابتدای امر لازم است از استاد دلسوز، جناب آقای دکتر مهیار عربانی که صادقانه هدایت و راهنمایی اینجانب را در پیشبرد اهداف پایان نامه حاضر برعهده گرفتند و با مساعدت هایشان مرا یاری نموده اند ، قدردانی کنم .

همچنین لازم است از استاد گرانقدر جناب آقای مهندس شهرام شیخ سندیانی ، مشاور علمی این پایان نامه که در این مدت نقش بسزایی در ارتقای مفاهیم علمی و عملی اینجانب داشته اند، سپاسگزاری کنم و با قدردانی ویژه از اساتید محترم جناب آقایان دکتر فریدون مقدس نژاد و دکتر میر احمد لشته نشایی که داوری این پایان نامه را برعهده گرفتند.

در انتها نیز از تمامی دوستانی که مرا در تحقیقات این پایان نامه یاری نموده اند ، تشکر می کنم و از خداوند متعال کسب توفیقات روزافزون را برایشان مسالت دارم.

فهرست مطالب:

چکیده فارسی ژ

چکیده انگلیسی س

پیشگفتار ۱

فصل اول: کلیات ۲

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲-تعریف مساله ۳

۱-۳- اهداف پژوهش ۴

۱-۴-تعاریف ۵

۱-۵- فرضیات پژوهش ۶

۱-۶- روش انجام تحقیق ۷

فصل دوم : ادبیات فنی ۸

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- اهمیت قیر ۹

۲-۳- طبیعت و ماهیت قیر ۱۰

۲-۳-۱- ساختار مولکولی و ترکیبات عنصری ۱۱

۲-۳-۲-مدل ترکیبی ۱۲

۲-۳-۳- سیستم کلوئیدی ۱۲

۲-۳-۴-روشهای تحلیلی ۱۳

۲-۴- خصوصیات فیزیکی قیر ۱۴

۲-۴-۱-پیرشدگی ۱۵

۲-۴-۲-آزمایشات تعیین یکنواختی ۱۷

۲-۴-۳-آزمایشات بارگذاری استاتیکی ۱۹

۲-۵- خرابیهای مرتبط با خصوصیات رئولوژی قیر ۲۰

۲-۵-۱- پریدگی مصالح ۲۱

۲-۵-۲- ترکها ۲۱

۲-۵-۲-۱-ترکهای ناشی از بارگذاری ۲۱

۲-۵-۲-۲ ترکهای غیر مرتبط با بارگذاری ۲۲

۲-۵-۳- شیارافتادگی در مسیر چرخها ۲۳

۲-۵-۴- عریان شدگی ۲۴

۲-۵-۴-۱- تفکیک ۲۴

۲-۵-۴-۲- جابه جایی ۲۵

۲-۵-۴-۳- امولسیون خود به خودی ۲۵

۲-۵-۴-۴- فشار منفذی ۲۶
۲-۵-۴-۵- صیقلی شدن هیدرولیکی ۲۶
۲-۶- مواد جوان کننده برای بازیافت روسازیهای آسفالتی ۲۷
۲-۶-۱-روشهای موجود برای انتخاب ماده جوان کننده ۲۸
۲-۷- صنعت بازیافت ۳۰
۲-۷-۱- تاریخچه ۳۰
۲-۷-۲- انواع روشهای بازیافت آسفالت ۳۱
۲-۷-۳- بازیافت گرم درجا ۳۲
۲-۷-۴- طرح اختلاط بازیافت گرم درجا ۳۳
۲-۷-۴-۱- احیای قیر خرده آسفالتی ۳۴
۲-۷-۴-۲- فرآیند طرح اختلاط ۳۶
۲-۷-۴-۲-۱- چارتهای ترکیبی ۳۶
۲-۷-۴-۲-۲- روش جامع و مرسوم ۳۸
۲-۸- تحقیقات پیشین ۴۱
۲-۸-۱- بررسی روشهای مختلف نگهداری روسازیهای آسفالتی و بازیافت ۴۱
۲-۸-۲-ارزیابی روسازیهای بازیافتی و مقایسه عملکرد این روسازیها با روشهای دیگر نگهداری ۴۲
۲-۸-۳-بررسی و ارزیابی تاثیرات نوع و اندازه تکه های تایرهای فرسوده روی عملکرد مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی ۴۲
۲-۸-۴-ارزیابی رفتار مخلوطهای با مدول بالا و حاوی مصالح خرده آسفالتی و با استفاده از قیر با نفوذ کم ۴۲
۲-۸-۵- خصوصیات قیرهای ترکیب شده با درصدهای مختلفی از قیر خرده آسفالتی از طریق شبیه سازی آزمایشگاهی فرآیندهای کوتاه مدت و بلند مدت سخت شدگی ۴۳
۲-۸-۶- تاثیر مواد جوان کننده روی خصوصیات عملکردی مخلوطها و قیرهای احیاشده ۴۳
۲-۸-۷- طرح اختلاط مخلوطهای بازیافتی به روش بازیافت گرم کارخانه ای ۴۴
۲-۸-۸- طرح اختلاط مکانیکی – تجربی برای بازیافت روسازی آسفالتی ۴۵
۲-۸-۹- مطالعه آزمایشگاهی تغییرشکل دائمی مخلوطهای آسفالتی حاوی مصالح خرده آسفالتی ۴۵
۲-۸-۱۰-ارزیابی خرابیهای رطوبتی در مخلوطهای آسفالتی نیمه گرم حاوی مصالح خرده آسفالتی ۴۶
۲-۸-۱۱- مطالعه مخلوطهای آسفالتی حاوی مصالح خرده آسفالتی ۴۶
۲-۹- خلاصه فصل ۴۷

فصل سوم : فعالیتهای آزمایشگاهی ۴۸
۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- مواد و مصالح ۴۹
۳-۲-۱- مصالح خرده آسفالتی ۴۹
۳-۲-۱-۱- درجه نفوذ ۵۰
۳-۲-۱-۲- نقطه نرمی ۵۱
۳-۲-۱-۳-کندروانی ۵۱
۳-۲-۲- مصالح سنگی ۵۳
۳-۲-۳- قیر ۵۴
۳-۲-۴- مواد جوان کننده ۵۴
۳-۳- آزمایشات مخلوط آسفالتی ۵۶
۳-۳-۱- آزمایشات طرح اختلاط ۵۷
۳-۳-۱-۱- وزن مخصوص ۵۸
۳-۳-۱-۲-استحکام و روانی مارشال ۵۸
۳-۳-۱-۳- فضای خالی نمونه های مارشال ۵۹
۳-۳-۱-۴- فضای خالی مصالح سنگی ۶۰
۳-۳-۲- آزمایشات عملکردی ۶۳
۳-۳-۲-۱-خزش و تغییر شکل دایمی ۶۳
۳-۳-۲-۲- خستگی به روش کشش غیر مستقیم ۶۵
۳-۳-۲-۳-کشش غیر مستقیم ۶۶
۳-۳-۲-۴- حساسیت رطوبتی ۶۸
فصل چهارم : نتایج آزمایشگاهی ۷۱
۴-۱- تحلیل نتایج آزمایشات مارشال نمونه های ساده ۷۲
۴-۲- تحلیل نتایج آزمایشات انجام شده روی نمونه های ساده و حاوی ماده HVS ۷۴
۴-۲-۱- تحلیل نتایج آزمایشات مارشال ۷۴
۴-۲-۲- تحلیل نتایج آزمایشات بار محوری مکرر ۸۳
۴-۲-۳- تحلیل نتایج آزمایشات خستگی به روش کشش غیر مستقیم ۹۴
۴-۲-۴- تحلیل نتایج آزمایشات کشش غیر مستقیم و حساسیت رطوبتی ۹۷
۴-۳- تحلیل نتایج آزمایشات انجام شده روی نمونه های ساده و حاوی ماده VB ۱۰۱
۴-۳-۱-تحلیل نتایج آزمایشات مارشال ۱۰۱
۴-۳-۲- تحلیل نتایج آزمایشات بار محوری مکرر ۱۰۸
۴-۳-۳- تحلیل نتایج آزمایشات خستگی به روش کشش غیر مستقیم ۱۱۷
۴-۳-۴- تحلیل نتایج آزمایشات کشش غیر مستقیم و حساسیت رطوبتی ۱۲۰

۴-۴- مقایسه نتایج آزمایشات نمونه های ساده و بازیافتی حاوی مواد جوان کننده VB ,HVS ۱۲۳
۴-۴-۱-مدل تغییر شکل ماندگار نمونه های ساده و بازیافتی حاوی VB, HVS ۱۲۳
۴-۴-۲- مدل عمر خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی مواد جوان کننده VB,HVS ۱۲۷
۴-۴-۳-مدل نسبت مقاومت کششی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی VB , HVS ۱۲۹
۴-۵- مقایسه عملکرد مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی در این پایان نامه با تحقیقات پیشین ۱۳۱
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۳
۵-۱-نتیجه گیری ۱۳۴
۵-۲- پیشنهادات ۱۳۸
منابع و مآخذ ۱۳۹
پیوست یک: نتایج آزمایشات طرح اختلاط نمونه های ساده و بازیافتی حاوی درصدهای مختلف مصالح خرده آسفالتی و ماده جوان کننده ۱۴۲
پیوست دو : نتایج آزمایشات بار محوری مکرر نمونه های ساده و بازیافتی حاوی درصدهای مختلف مصالح خرده آسفالتی و ماده جوان کننده ۱۴۶
پیوست سه : نتایج آزمایشات خستگی به روش کشش غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی درصدهای مختلف مصالح خرده آسفالتی و ماده جوان کننده ۱۵۰
پیوست چهار : نتایج آزمایشات مقاومت کششی غیرمستقیم و حساسیت رطوبتی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی درصدهای مختلف مصالح خرده آسفالتی و ماده جوان کننده ۱۵۳

فهرست جداول:

- **جداول فصل دوم**

جدول ۲-۱-تحلیل عنصری ۴ قیر خالص مختلف ۱۱

- **جداول فصل سوم**

جدول ۳-۱ –ساختار دانه بندی و درصد قیر متوسط مصالح خرده آسفالتی ۵۲
جدول ۳-۲- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح سنگی استخراج شده از مصالح خرده آسفالتی ۵۲
جدول ۳-۳- مشخصات فیزیکی قیر استخراج شده از مصالح خرده آسفالتی ۵۳
جدول ۳-۴- ساختار دانه بندی مصالح سنگی جدید ۵۳
جدول ۳-۵- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح سنگی جدید ۵۴
جدول ۳-۶- مشخصات قیر خالص ۶۰/۷۰ مورد استفاده در این پایان نامه ۵۴
جدول ۳-۷ – خصوصیات فیزیکی و ترکیبات مواد VB,HVS ۵۵
جدول ۳-۸- معیارهی فنی ارایه شده در نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه ۵۷
جدول۳-۹- فضای خالی مصالح سنگی ۵۸
جدول ۳-۱۰- روابط مورد استفاده در تعیین کمیتهای مارشال ۶۳

- **جداول فصل چهارم**

جدول ۴-۱-درصدهای قیر بهینه و درصدهای فضای خالی مصالح سنگی متناظر با آنها در ترکیبات مختلف حاوی HVS ۸۱
جدول ۴-۲-درصدهای قیر بهینه و درصدهای فضای خالی مصالح سنگی متناظر با آنها در ترکیبات مختلف حاوی VB ۱۰۶
جدول ۴-۳- مدل تغییر شکل ماندگار نمونه های ساده برحسب متغیرهای درجه حرارت و سطح تنش ۱۲۴
جدول ۴-۴- مدل تغییر شکل ماندگار نمونه های بازیافتی حاوی ماده HVS برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده HVS ، درجه حرارت و سطح تنش ۱۲۵
جدول ۴-۵- مدل تغییر شکل ماندگار نمونه های بازیافتی حاوی ماده VB برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده VB ، درجه حرارت و سطح تنش ۱۲۶
جدول ۴-۶- مدل خستگی نمونه های بازیافتی حاوی ماده HVS برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده HVS و سطح تنش ۱۲۷

جدول ۴-۷- مدل خستگی نمونه های بازیافتی حاوی ماده VB برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده VB و سطح تنش ۱۲۸
جدول ۴-۸- مدل مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های بازیافتی حاوی ماده HVS برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده HVS ۱۲۹
جدول ۴-۹- مدل مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های بازیافتی حاوی ماده VB برحسب متغیرهای درصد مصالح خرده آسفالتی ، درصد ماده جوان کننده VB ۱۳۰
جدول ۴-۱۰- مقایسه نتایج آزمایشات نمونه های بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی در این پایان نامه با تحقیقات پیشین ۱۳۱

- **جداول پیوست یک**

جدول پ-۱-۱-نتایج آزمایشات طرح اختلاط نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۴۲
جدول پ-۱-۲-نتایج آزمایشات طرح اختلاط نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۴۴

- **جداول پیوست دو**

جدول پ-۲-۱-نتایج آزمایشات بار محوری مکرر نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۴۶
جدول پ-۲-۲- نتایج آزمایشات بار محوری مکرر نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۴۸

- **جداول پیوست سه**

جدول پ-۳-۱- نتایج آزمایشات خستگی به روش کشش غیر مستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۵۰
جدول پ-۳-۲- نتایج آزمایشات خستگی به روش کشش غیر مستقیم نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۵۲

- **جداول پیوست چهار**

جدول پ-۴-۱- نتایج آزمایشات مقاومت کششی غیر مستقیم و حساسیت رطوبتی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۵۳
جدول پ-۴-۲- نتایج آزمایشات مقاومت کششی غیر مستقیم و حساسیت رطوبتی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۵۶

فهرست اشکال:

- **شکلهای فصل دوم**

شکل ۲-۱- رابطه تیپ تنش- کرنش قیر ۲۰

شکل ۲-۲- نموگراف کندروانی برای انتخاب عامل جوان کننده بر حسب کندروانی قیر سخت شده در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ۲۹

شکل ۲-۳- فلوچارت طرح اختلاط بر اساس چارتهای ترکیبی ۳۷

شکل ۲-۴- فلوچارت جامع طرح اختلاط بازیافت گرم درجا ۴۰

- **شکلهای فصل سوم**

شکل ۳-۱- نمایی از دستگاه ریکاوری چرخشی ۵۰

شکل ۳-۲- نمایی از آزمایش نقطه نرمی ۵۱

شکل ۳-۳- فلوچارت برنامه آزمایشگاهی ۵۶

شکل ۳-۴- تصویری از نمونه موم اندود شده در این پایان نامه ۵۹

شکل ۳-۵- تصویری از آزمون رایس ۶۰

شکل ۳-۶- نحوه بارگذاری در آزمایش بار محوری مکرر ۶۵

شکل ۳-۷- نحوه بارگذاری در آزمایش خستگی به روش کشش غیر مستقیم ۶۶

شکل۳-۸- نمایی از آزمایش کشش غیر مستقیم ۶۸

- **شکلهای فصل چهارم**

شکل ۴-۱- نمودارهای مارشال نمونه های ساده ۷۳

شکل ۴-۲- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و بدون ماده جوان کننده ۷۵

شکل ۴-۳- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۵ درصد ماده HVS ۷۶

شکل ۴-۴- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۱۰ درصد ماده HVS ۷۷

شکل ۴-۵- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و بدون ماده جوان کننده ۷۸

شکل ۴-۶- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۵ درصد ماده HVS ۷۹

شکل ۴-۷- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۱۰ درصد ماده HVS ۸۰

شکل ۴-۸- نمودار تغییرات درصد قیر بهینه نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ماده HVS ۸۲

شکل ۴-۹- نمودار تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی HVS ۸۲
شکل ۴-۱۰-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۸۴
شکل ۴-۱۱-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۸۵
شکل ۴-۱۲-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۸۶
شکل ۴-۱۳-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۸۷
شکل ۴-۱۴- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۸۸
شکل ۴-۱۵- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ۸۸
شکل ۴-۱۶-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۸۹
شکل ۴-۱۷-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۹۰
شکل ۴-۱۸-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۹۱
شکل ۴-۱۹-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۹۲
شکل ۴-۲۰- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۹۳
شکل ۴-۲۱- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ۹۳
شکل ۴-۲۲- عمر خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۵
شکل ۴-۲۳- عمر خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۵
شکل ۴-۲۴- مدل خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۶
شکل ۴-۲۵- مدل خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۷
شکل ۴-۲۶- مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۸

شکل ۴-۲۷- مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۹۸
شکل ۴-۲۸- نسبت مقاومت کششی باقیمانده نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۰۰
شکل ۴-۲۹- نسبت مقاومت کششی باقیمانده نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۰۰
شکل ۴-۳۰- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۵ درصد ماده VB ۱۰۲
شکل ۴-۳۱- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۱۰ درصد ماده VB ۱۰۳
شکل ۴-۳۲- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۵ درصد ماده VB ۱۰۴
شکل ۴-۳۳- نمودارهای مارشال نمونه های بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی و ۱۰ درصد ماده VB ۱۰۵
شکل ۴-۳۴- نمودار تغییرات درصد قیر بهینه نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ماده VB ۱۰۷
شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات درصد فضای خالی مصالح سنگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی VB ۱۰۷
شکل ۴-۳۶-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۱۰۹
شکل ۴-۳۷-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۱۰۹
شکل ۴-۳۸-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۱۱۰
شکل ۴-۳۹-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۱۱۱
شکل ۴-۴۰- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۱۱۲
شکل ۴-۴۱- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ۱۱۲
شکل ۴-۴۲-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۱۱۳
شکل ۴-۴۳-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۱۱۴
شکل ۴-۴۴-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۱۵۰ کیلو پاسکال ۱۱۵

شکل ۴-۴۵-تغییرات کرنش در برابر پالس در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و تنش ۳۰۰ کیلو پاسکال ۱۱۵
شکل ۴-۴۶- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد ۱۱۶
شکل ۴-۴۷- تغییرات کرنش ماندگار در نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد ۱۱۶
شکل ۴-۴۸- عمر خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۱۷
شکل ۴-۴۹- عمر خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۱۸
شکل ۴-۵۰- مدل خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۱۹
شکل ۴-۵۱- مدل خستگی نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۱۹
شکل ۴-۵۲- مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۲۱
شکل ۴-۵۳- مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۲۱
شکل ۴-۵۴- نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۷۰ درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۲۲
شکل ۴-۵۵- نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه های ساده و بازیافتی حاوی ۹۰درصد مصالح خرده آسفالتی ۱۲۲

چکیده

ارزیابی آزمایشگاهی روسازی آسفالتی اصلاح شده با مواد جوان ساز در روش بازیافت گرم درجا

مرتضی بنی میرزا آبکنار

استفاده از مصالح خرده آسفالتی می تواند در حفظ منابع تجدید ناپذیر و همچنین در کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از دپوی آنها موثر باشد . افزایش سهم مصالح خرده آسفالتی در ساخت مخلوطهای بازیافتی و بهبود کیفیت آنها می تواند به ترغیب سازمانها و نهادهای مرتبط با حمل ونقل در استفاده مجدد از این مصالح کمک کند . هنگامی که قیرها در معرض هوازدگی و اکسیداسیون قرار می گیرند نسبت اجزای فعالتر آنها به اجزای با فعالیت کم آنها به مرور زمان کاهش می یابد . بطور کلی مواد جوان کننده برای احیای خصوصیات فیزیکی قیرهای پیرشده از طریق اصلاح ساختار شیمیایی آنها مورد استفاده قرار می گیرند .

هدف اصلی این پایان نامه بررسی عملکرد سازه ای مخلوطهای بازیافتی حاوی درصدهای بالایی از مصالح خرده آسفالتی می باشد . روشهای مرسوم برای تعیین خصوصیات فیزیکی قیرها از قبیل کندروانی و نفوذ شامل نواقص متعددی هستند که استفاده از آنها را در شرایط مختلف بارگذاری و دمایی تحت تاثیر قرار می دهد. بنابراین برای ارزیابی تاثیرات مواد جوان کننده در بهبود خصوصیات فیزیکی قیر خرده آسفالتی ، عملکرد مخلوطهای آسفالتی مورد مطالعه قرار گرفت .

دو جوان کننده مختلف با درصد آسفالتین کم برای احیای خصوصیات قیر خرده آسفالتی و بهبود عملکرد سازه ای مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی مورد استفاده قرار گرفت . همچنین برای در نظر گرفتن تاثیر سهم مصالح خرده آسفالتی در ساخت این نمونه ها از دو ترکیب مصالح خرده آسفالتی و مصالح سنگی تازه استفاده گردید . سپس مقادیر وزنی – حجمی برای هر یک از ترکیبات و درصدهای مختلف ماده جوان کننده تعیین گردیدند و درصدهای بهینه قیر متناسب با آنها برگزیده شدند . برای بررسی رفتار این نوع مخلوطها از آزمایشات بار محوری مکرر ، خستگی به روش کشش غیر مستقیم و کشش غیر مستقیم استفاده گردید و نتایج آزمایشات نشان دادند که مخلوطهای حاوی مصالح خرده آسفالتی در دماهای پایین عملکرد خستگی بهتری نسبت به نمونه های ساده دارند و همچنین افزایش سهم مصالح خرده آسفالتی در این نمونه ها می تواند به نحو موثری به کاهش میزان کرنشهای ماندگار و در نتیجه قابلیت شیارافتادگی آنها منجر شود .

کلمات کلیدی: روسازی آسفالتی ، سخت شدگی ، مصالح خرده آسفالتی ، مواد جوان کننده ، عملکرد سازه ای

پیشگفتار:

نقش شبکه راههای هر کشور در فراهم نمودن فرصتهای رشد و توسعه اقتصادی غیر قابل انکار است . در این میان ، افزایش روزافزون ارزش فرآورده های نفتی از یک سو و محدودیت دولتها در تامین منابع مالی برای حفظ سطح کیفی آزادراهها و بزرگراهها از سوی دیگر، همه متخصصین و دست اندرکاران حوزه حمل و نقل را بر آن داشته تا به دنبال جایگزین های مناسب به لحاظ عملکردی و اقتصادی برای روشهای مرسوم نگهداری و بهسازی روسازیهای آسفالتی باشند. در این پژوهش سعی شده است که از طریق بررسی و ارزیابی عملکرد مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی به ارایه راهکارهایی برای بهبود سطح کیفی این نوع روسازیها دست یافت .

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل است . در فصل اول با عنوان کلیات به بیان مساله و اهداف پژوهش و مراحل انجام آن پرداخته شده است .

در فصل دوم تحت عنوان ادبیات فنی ، ابتدا به بررسی فاکتورهای دخیل در رفتار قیرها به عنوان اصلی ترین عامل کنترل کننده رفتار ویسکوالاستیک روسازیهای آسفالتی پرداخته شده است و سپس از طریق بررسی پارامترهای موجود برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی قیرها سعی شده است که به ارایه مناسبترین معیارها برای تشریح تغییرات حاصل در اثر عوامل محیطی در قیرها دست یافت. در ادامه این فصل به انواع خرابیهای مرتبط با خصوصیات قیر خواهیم پرداخت و معیارهای انتخاب عامل جوان کننده را بررسی خواهیم نمود . روشهای مختلف بازیابی روسازیهای آسفالتی را بررسی خواهیم نمود و به روشهای موجود برای طرح اختلاط روش بازیافت گرم درجا می پردازیم . در انتها نیز تحقیقات مرتبط با موضوع این پایان نامه را مرور خواهیم کرد.

در فصل سوم با عنوان فعالیتهای آزمایشگاهی به بیان برنامه و آزمایشات مورد نظر برای ارزیابی پارامترهای عملکردی این نوع از روسازیها پرداخته شده است .

در فصل چهارم با بررسی و تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات به ارزیابی میزان تاثیر فاکتورهای محیطی و دیگر عوامل در عملکرد این نوع از روسازیها پرداخته شده است.

در فصل پنجم نیز به ارایه نتایج حاصل از تحقیق و پیشنهادات برای ادامه آن می پردازیم.

۱-۱مقدمه

ارزش مصالح و انرژی در سالهای اخیر بطور چشمگیری افزایش یافته است . در نتیجه استفاده از مصالح خرده آسفالتی به عنوان جایگزینی برای مصالح سنگی و قیر جدید در تهیه مخلوطهای آسفالتی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است . طبق برآوردهای انجام شده ، هر ساله بیش از ۱۰۰ میلیون تن مصالح خرده آسفالتی از سطح راه ها تراشیده و برداشت می شود که استفاده مجدد از این مصالح می تواند بطور قابل ملاحظه ای در کاهش هزینه های تولید مخلوطهای آسفالتی و همچنین اثرات سوء زیست محیطی موثر واقع شود [۱].

روشهای کنونی بازیافت روسازیهای آسفالتی می توانند با استفاده مجدد از مصالح خرده آسفالتی پاسخی به نیازهایی مانند بهینه سازی ارزش مصالح موجود در سطح راهها ، کاهش اثرات ناشی از دپوی مصالح تراشیده شده از سطح راهها و و حفظ منابع تجدیدناپذیر باشند . از میان روشهای بازیافت موجود فرآیندهای بازیافت درجا از اهمیت و ارزش بالاتری به لحاظ استفاده مقادیر بیشتر از مصالح خرده آسفالتی برخوردار هستند .

روشهای مختلف بازیافت برای انواع ، سطوح و شدتهای مختلفی از خرابی و در نتیجه دوره های مختلفی از عمر روسازی قابل کاربرد هستند . برای مثال بازیافت گرم درجا هنگامی می تواند بطور موثری مورد استفاده قرار گیرد که شدت خرابیهای موجود در حداقل میزان ممکن باشد و هیچ گونه خرابی سازه ای در آن مشاهده نگردد. بازیافت سرد درجا نیز هنگامی می تواند موثر واقع گردد که نوع ، تعداد و شدت خرابیهای غیر مرتبط با بارگذاری تا عمق بیشتری نفوذ یافته باشد . بازیابی عمقی نیز نوع دیگری از بهسازی است که می تواند برای نوسازی ، تعریض خطوط ، اصلاحات هندسی و افزایش ظرفیت سازه ای استفاده گردد .

۱-۲-تعریف مساله

افزایش روزافزون قیمت فرآورده های نفتی و کمبود مصالح سنگی مرغوب در برخی از مناطق و همچنین نزدیکی بسیاری از راه ها به انتهای عمر سرویس دهی خود متخصصین را بر آن داشته است که همواره به دنبال جایگزینهای موثر و اقتصادی برای روشهای

معمول روسازی آسفالتی باشند . بازیافت گرم درجا فرآیندی است که از مواد احیا کننده برای بهبود خصوصیات فیزیکی قیر خرده آسفالتی استفاده می شود و در پاره ای از موارد نیز به منظور اصلاح ساختار دانه بندی موجود از مصالح سنگی و قیر جدید در قالب مخلوط آسفالتی گرم استفاده می شود [۲] .

در این پژوهش سعی شده است که با استفاده از دو عامل جوان کننده رایج در کشور و درصدهای مختلفی از مصالح خرده آسفالتی در ساخت مخلوطهای بازیافتی به بررسی تاثیر فاکتورهای مختلف بر عملکرد این نوع مخلوطها پرداخته شود که از این طریق بتوان به ارایه راهکارهایی برای بهبود عملکرد و کارایی مخلوطهای بازیافتی در شرایط مختلف دست یافت.

۱-۳- اهداف پژوهش

با توجه به گسترش بیش از پیش روشهای بازیافت برای بهسازی روسازیهای آسفالتی در سرتاسر دنیا همواره این سوال مطرح بوده است که اگرچه مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی به لحاظ اقتصادی و زیست محیطی جایگزینهای مناسبی برای مخلوطهای آسفالتی گرم هستند، اما آیا عملکرد این مخلوطها در قیاس با مخلوطهای آسفالتی گرم قابل قبول می باشد یا خیر ؟ در پاسخ به این سوال باید اثرات فاکتورهای مختلف سهیم در عملکرد مخلوطهای بازیافتی گرم را در نظر داشت و مقادیر مناسب هرکدام از این عوامل را تعیین نمود و پس از آن به مقایسه عملکرد آنها پرداخت . هدف از این پژوهش مقایسه عملکرد مخلوطهای بازیافتی حاوی مصالح خرده آسفالتی و مخلوطهای بتن آسفالتی گرم در برابر خرابیهای رایج روسازیهای آسفالتی است .

برای مقایسه عملکرد مخلوطهای بازیافتی در برابر مخلوطهای آسفالتی گرم از آزمایشاتی نظیر خزش استاتیکی و دینامیکی برای مقایسه پتانسیل شیارافتادگی در مقابل بارهای استاتیکی و ترافیکی(دینامیکی) ، آزمایش کشش غیر مستقیم برای تعیین مقاومت در برابر ترک خوردگی ، آزمایش نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم باقیمانده پس از مستغرق نمودن نمونه ها برای تعیین پتانسیل رطوبتی و از آزمایش خستگی به روش کشش غیر مستقیم برای بررسی عملکرد مخلوطهای بازیافتی در برابر بارهای ترافیکی استفاده گردید .

۱-۴- تعاریف

عملیات بازیافت گرم شامل اصطلاحات و مفاهیم زیر می باشد[۲۶]:

الف-بازیافت

استفاده مجدد از از مصالح روسازی موجود به منظور تهیه آسفالت جدید و بهسازی روسازی آسفالتی موجود

ب-بازیافت کارخانه ای

در این روش مصالح حاصل از تراش سرد آسفالت پس از انتقال به یک کارخانه مرکزی با مصالح سنگی جدید و مصالح قیری جدید برای بهبود ساختار دانه بندی و همچنین اصلاح سطح کمی قیر موجود مخلوط می شوند و بار دیگر به محل مصرف منتقل گشته و پس از پخش در سطح راه متراکم می شود .

پ-بازیافت گرم درجا[۱]

در این روش کلیه عملیات مربوط به گرمایش ، تراشیدن ، افزودن مصالح سنگی و قیر جدید به همراه مواد جوان کننده و اختلاط مجدد در محل و بصورت درجا انجام می گیرد .

ت- مصالح خرده آسفالتی[۲]

مصالح بدست آمده از روسازی موجود که از روشهای مختلفی همچون تراش سرد و گرم حاصل می شود و شامل مصالح سنگی و قیر می باشد .

ث- مصالح سنگی بازیافتی

این مصالح شامل مصالح سنگی فاقد قیر غیر قابل استفاده از روسازی آسفالتی قدیمی هستند.

ج-قیر جدا شده

شامل قیری است که از استخراج قیر موجود در مصالح آسفالت بازیافتی و با استفاده از حلالهایی نظیر بنزن و تولوئن بدست می آید.

چ - مصالح سنگی جدا شده

شامل مصالح سنگی جداشده از مصالح خرده آسفالتی می باشد که بعد از آزمایش اکسترکشن بدست می آید.

۱ -Hot in place recycling

۲ - Reclaimed Asphalt Pavement(RAP)

ح- مصالح سنگی جدید

شامل مصالح سنگی جدید با ساختار دانه بندی و کیفیت منطبق با مشخصات است که برای اختلاط با مصالح خرده آسفالتی و به نسبت تعیین شده در طرح اختلاط مصرف می شود .

خ- مواد جوان کننده [۱]

این مواد شامل آسفالتین کم و برای بهبود خصوصیات فیزیکی قیر سخت شده مورد استفاده قرار می گیرند.

د- مخلوط آسفالتی بازیافتی

مخلوط بازیافتی نهایی که از اختلاط مصالح خرده آسفالتی ، مصالح سنگی و قیری جدید ور در صورت لزوم مواد جوان کننده برای بهبود خصوصیات عملکردی روسازی موجود حاصل می شود .

۱-۵- فرضیات پژوهش

- مواد جوان کننده مورد نیاز در داخل کشور تولید می شوند.
- مصالح خرده آسفالتی بدون از بین رفتن ساختار دانه بندی اولیه و از طریق فرآیند بازیافت گرم در جا قابل دسترس هستند.
- در حین ساخت نمونه های بازیافتی با استفاده از مواد جوان کننده ، قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی پیرشدگی مازاد بر آنچه در حین فرآیند بازیافت گرم درجا رخ می دهد را تجربه نمی کند.
- مواد جوان کننده از لحاظ ترکیبات شیمیایی سازگار با قیر موجود در مصالح خرده آسفالتی هستند.

۱ -Rejuvenator agents(RA)

۱-۶- روش انجام تحقیق

مراحل انجام این پژوهش به قرار زیر است :

- تهیه مصالح خرده آسفالتی در حین فرآیند بازیافت گرم درجا
- استخراج و بازیابی قیر و مصالح سنگی از مصالح خرده آسفالتی
- انجام آزمایشات مصالح سنگی مانند دانه بندی و درصد قیر و وزن مخصوص مصالح سنگی روی مصالح خرده آسفالتی اخذ شده
- انجام آزمایشات درجه نفوذ ، کندروانی و نقطه نرمی روی قیر بازیابی شده
- ساخت نمونه های مارشال با درصدهای مختلفی از مواد جوان کننده ، مصالح خرده آسفالتی ، مصالح سنگی و قیر جدید برای تعیین درصدهای قیر بهینه متناسب با هر کدام از درصدهای مواد جوان کننده
- انجام تستهای تکمیلی برای ارزیابی پارامترهای عملکردی این مخلوطها