بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

ارزیابی عملکرد مخلوط بتن آسفالتی ساخته شده با استفاده از قیر گوگردی اصلاح شده و مسلح شده با الیاف پلی‌پروپیلن

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری

امیر خیراللهی نجف آبادی

استاد راهنما

دکتر سید مهدی ابطحی

استاد مشاور

دکتر عبدالرضا حاجی‌پور

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – راه و ترابری

آقای امیر خیراللهی نجف آبادی

تحت عنوان

ارزیابی عملکرد مخلوط بتن آسفالتی ساخته شده با استفاده از قیر گوگردی اصلاح شده و مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن

در تاریخ ۹۲/۱۱/۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سید مهدی ابطحی
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر عبدالرضا حاجی پور
۳- استاد داور پایان نامه	دکتر سید مهدی حجازی
۴- استاد داور پایان نامه	دکتر محسن ابوطالبی اصفهانی
۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر عبدالرضا کبیری سامانی

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات

و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله)

متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

این پایان نامه تحت حمایت سازمان عمران شهرداری اصفهان

بوده و آزمایشات آسفالت آن در محل کارخانه صفه انجام شده است.

تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ و منان را سپاسگزارم که توفیق خدمتی هر چند کوچک را برایم میسر کرد و درهای علم و دانش را بسویم گشود تا بتوانم سهمی در تولید علم در کشور داشته باشم.

بر دستان پدر و مادری بوسه می‌زنم که تمامی زندگانی خویش را فدای موفقیتم کردند و از خواسته‌ها و آرزوهای خود در جهت آمال و نیات من گذشتند. همچنین از همسری وفادار و مهربان تشکر و قدردانی می‌کنم چرا که همه تلاش خود را برای به ثمر رسیدن این پایان‌نامه متوجه من کرد. امیدوارم بتوانم روزی زحمات این بزرگواران را جبران نمایم.

از اساتید گرانقدری که در این پایان‌نامه مرا همراهی نمودند و از رهنمودهای آنان هر روز بیش از پیش استفاده کردم و توصیه‌های آنان چراغ راهم بود، بسیار سپاسگزارم. بزرگوارانی چون دکتر سید مهدی ابطحی که زحمت راهنمایی پایان-نامه را بر عهده گرفتند و آقای دکتر عبدالرضا حاجی پور که مشاوره پایان‌نامه را متقبل شدند و آقای دکتر گلی که در تمامی مراحل لطفشان شامل حال اینجانب می‌شد، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات اساتید محترم جناب آقای دکتر سید مهدی حجازی و جناب آقای دکتر محسن ابوطالبی اصفهانی که عهده‌دار امر داوری پایان‌نامه بودند، اعلام می‌دارم.

از زحمات جناب آقای مهندس کشاورز ریاست محترم سازمان عمران شهرداری اصفهان که تجهیزات آزمایشگاهی را در اختیار گذاشتند و جناب آقای مهندس حسین‌زاده که هماهنگی‌های لازم را انجام دادند، تشکر می‌نمایم.

از تلاش های آقایان مهندس جاوید، مهندس کرباسی‌زاده، مهندس اسماعیلی و مهندس شفیعیان که در انجام آزمایشات همراه اینجانب بوده و از هیچ تلاشی دریغ ننمودند، تشکر می‌نمایم.

در پایان از تمامی عزیزانی که سهمی در انجام این پایان‌نامه داشتند و ذکر نام آن بزرگواران در این مجال نمی‌گنجد بسیار ممنون بوده و امیدوارم بتوانم روزی حمایت‌های این عزیزان را جبران کنم.

و من الله التوفیق

امیر خیراللهی

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدری بزرگوار

مادری مهربان

و

همسری پرتلاش و فداکار

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... نه
فهرست نمودارها ..... سیزده
فهرست جداول ..... پانزده
چکیده ۱
فصل اول ۲
بیان مسئله، اهمیت موضوع و کاربردها ۲
۱-۱ مقدمه ۳
۱-۲ اهمیت مسئله ۳
۱-۳ تعریف مسئله ۴
۱-۴ فرضیه های پژوهش ۴
۱-۵ کاربرد پژوهش ۵
فصل دوم ۷
گوگرد، الیاف و آسفالت‌های اصلاح شده ۷
۲-۱ مشخصات فیزیکی و شیمیایی گوگرد ۸
۲-۲ هشدارها و مراقبت‌ها درباره سمی بودن گوگرد ۸
۲-۲-۱ هشدارها و مراقبت‌های شخصی ۸
۲-۲-۲ خطرات زیست محیطی ۹
۲-۲-۳ مقررات حمل و نقل و انبارداری ۹
۲-۳ اشکال مختلف صنعتی و تجاری گوگرد ۱۰
۲-۴ مصارف گوگرد ۱۰
۲-۵ تجارت گوگرد ۱۰
۲-۵-۱ آمار تولید و مصرف گوگرد در نقاط مختلف جهان ۱۱
۲-۵-۲ تولید گوگرد در ایران ۱۲
۲-۵-۳ تقاضا برای گوگرد در ایران ۱۲
۲-۶ قیرهای اصلاح شده و افزودنی های آسفالت ۱۳
۲-۶-۱ آسفالت‌های اصلاح شده با قیرهای اصلاح شده ۱۳
۲-۶-۱-۱ پلاستیک‌های گرماسخت یا ترموستها ۱۳
۲-۶-۱-۲ پلاستیک‌های گرمانرم یا ترموپلاستیک‌ها(پلاستومرها) ۱۴
۲-۶-۱-۳ الاستومرها ۱۴
۲-۶-۲ آسفالت‌های با قیر به همراه مواد افزودنی غیر پلیمری و پلیمری ۱۵
۲-۶-۲-۱ مواد افزودنی پرکننده و جایگزین ۱۵
۲-۶-۲-۲ مواد افزودنی الیافی ۱۵
۲-۶-۲-۳ مواد افزودنی اکسیدکننده (نمک‌های منگنز) و اکسیدشونده (کربن و نمک‌های کلسیم) ۱۶

۲-۶-۲-۴ مشتقات نفتی از جمله قیر ۱۶
۲-۶-۲-۵ پودر لاستیک حاصل از بازیافت تایرهای کهنه ۱۶
۲-۷ آسفالت گوگردی و روش‌های تهیه آن ۱۶
۲-۷-۱ اختلاط قبلی قیر و گوگرد ۱۶
۲-۷-۲ افزایش مستقیم گوگرد به مخلوط کن آسفالت ۱۷
۲-۸ حالات فیزیکی مختلف گوگرد در مخلوط‌های بتن آسفالتی ۱۷
۲-۸-۱ آسفالت گوگردی تهیه شده با گوگرد مذاب ۱۷
۲-۸-۲ آسفالت گوگردی تهیه شده با گوگرد جامد ۱۸
۲-۸-۳ امولسیون آسفالت گوگردی ۱۹
۲-۹ تاریخچه استفاده از گوگرد در راهسازی ۲۰
۲-۱۰ مروری بر برخی مطالعات انجام شده روی استفاده از گوگرد در روسازی ۲۰
۲-۱۰-۱ طباطبایی ۲۱
۲-۱۰-۱-۱ اثر گوگرد بر قیر ۲۱
۲-۱۰-۱-۲ نتایج آزمایشات افزودن گوگرد به قیر ۲۱
۲-۱۰-۱-۳ نتایج افزودن گوگرد به قیر و آزمایشات بتن آسفالتی ۲۲
۲-۱۰-۲ نظربیگی، معینی و همکاران ۲۴
۲-۱۰-۲-۱ نتایج افزودن گوگرد به قیر ۲۵
۲-۱۰-۲-۲ نتایج آزمایش روی بتن آسفالتی ۲۶
۲-۱۰-۳ نتایج آزمایشات کارگاهی ۲۶
۲-۱۰-۴ ژانگ و همکاران ۲۷
۲-۱۰-۵ جوادی و همکاران ۲۷
۲-۱۱ آشنایی با پلی‌پروپیلن ۳۰
۲-۱۲ مصارف پلی‌پروپیلن ۳۱
۲-۱۳ مقایسه پلی‌پروپیلن با سایر پلیمرها ۳۱
۲-۱۴ تولید پلی‌پروپیلن ۳۱
۲-۱۵ بررسی تجارت جهانی پلی‌پروپیلن ۳۲
۲-۱۶ آمار مربوط به ظرفیت تولید، تولید و مصرف پلی‌پروپیلن در جهان ۳۲
۲-۱۷ تاریخچه استفاده از الیاف مختلف در روسازی راه‌ها ۳۳
۲-۱۸ مروری بر تحقیقات انجام شده بر استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در تسلیح بتن آسفالتی ۳۶
۲-۱۸-۱ ژیانگ ۳۶
۲-۱۸-۲ هوانگ ۳۶
۲-۱۸-۳ الحدیدی و تان یی ۳۶
۲-۱۸-۴ محمد زاده و همکاران ۳۷
۲-۱۸-۵ سرکان و همکاران ۳۸
۲-۱۸-۶ ابطحی و همکاران ۳۹
۲-۱۸-۷ حجازی و همکاران ۴۲

فصل سوم ۴۳
شرح روش انجام آزمایشات ۴۳
۳-۱ تقسیم‌بندی کلی آزمایشات ۴۴
۳-۲ آزمایش‌های تعیین مشخصات مصالح مورد استفاده در تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی ۴۴
۳-۲-۱ آزمایش دانه‌بندی ۴۴
۳-۲-۲ آزمایش سختی (سایش لوس آنجلس) ۴۴
۳-۲-۳ آزمایش درصد شکستگی مصالح سنگی ۴۵
۳-۲-۴ چگالی و درصد جذب آب مصالح درشت‌دانه با قطر بیش از ۴/۷۵ میلی‌متر ۴۵
۳-۲-۵ چگالی مصالح سنگی ریزدانه با قطر ۰/۰۷۵ تا ۴/۷۵ میلی‌متر ۴۵
۳-۳ آزمایش های تعیین خصوصیات قیر مصرفی ۴۶
۳-۳-۱ آزمایش درجه نفوذ ۴۶
۳-۳-۲ آزمایش نقطه (درجه) نرمی ۴۶
۳-۳-۳ آزمایش ویسکوزیته یا کندروانی ۴۷
۳-۳-۴ آزمایش خاصیت انگمی یا شکل پذیری ۴۸
۳-۳-۵ آزمایش تعیین وزن مخصوص ۴۸
۳-۳-۶ آزمایش افت وزنی در اثر حرارت ۴۹
۳-۳-۷ آزمایش درجه اشتعال ۵۰
۳-۴ رفتار انواع مواد ۵۰
۳-۴-۱ رفتار الاستیک ۵۰
۳-۴-۲ رفتار پلاستیک ۵۰
۳-۴-۳ رفتار الاستوپلاستیک ۵۱
۳-۴-۴ رفتار ویسکوز ۵۱
۳-۴-۵ رفتار ویسکوالاستیک ۵۲
۳-۴-۶ رفتار ویسکوپلاستیک ۵۲
۳-۴-۷ رفتار ویسکوالاستوپلاستیک ۵۳
۳-۵ رفتار سیالات مختلف ۵۴
۳-۶ رفتار اجزای مختلف یک سیستم روسازی ۵۷
۳-۷ رفتار قیر ۵۷
۳-۸ بررسی خصوصیات رئولوژیک مواد ویسکوالاستیک از جمله قیر تحت اثر بارهای دینامیکی ۶۰
۳-۹ آزمایشات نهایی بر روی نمونه‌های بتن آسفالتی ۶۶
۳-۹-۱ آزمایش وزن مخصوص واقعی نمونه‌های بتن آسفالتی ۶۷
۳-۹-۲ آزمایش تعیین مقاومت فشاری و تغییر شکل نسبی ۶۷
۳-۹-۳ آزمایش تعیین چگالی نظری حداکثر بتن آسفالتی ۶۸
فصل چهارم ۶۹
ارائه نتایج آزمایشات ۶۹
۴-۱ نتایج مربوط به آزمایشات تعیین مشخصات مصالح سنگی و الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌های مارشال ۷۰

۴-۱-۱ دانه‌بندی ۷۰
۴-۱-۲ آزمایش سختی ۷۰
۴-۱-۳ آزمایش درصد شکستگی مصالح سنگی ۷۱
۴-۱-۴ چگالی و درصد جذب آب مصالح درشت دانه با قطر بیش از ۴/۷۵ میلی‌متر ۷۱
۴-۱-۵ چگالی مصالح سنگی ریزدانه با قطر ۰/۰۷۵ تا ۴/۷۵ میلیمتر ۷۲
۴-۲ مشخصات الیاف مورد استفاده ۷۲
۴-۳ نتایج مربوط به آزمایشات تعیین مشخصات قیر مورد استفاده ۷۲
۴-۳-۱ نتایج آزمایشات استاتیکی روی قیر پایه ۷۳
۴-۳-۲ نتایج آزمایشات استاتیکی انجام شده روی قیر اصلاح شده با درصد های مختلف قیر اصلاح شده ۷۳
۴-۳-۳ نتایج آزمایش جریان برشی دینامیکی برای قیر پایه و قیر اصلاح شده با درصدهای مختلف گوگرد اصلاح شده ۷۴
۴-۴ نتایج مربوط به آزمایشات تعیین مشخصات نمونه‌های بتن آسفالتی ۸۰
۴-۴-۱ آزمایشات انجام شده جهت تعیین درصد وزنی قیر بهینه ۸۰
۴-۴-۲ اختلاط قیر و گوگرد، ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی الیافی و ارائه نتایج آزمایش مارشال این نمونه‌ها ۸۳
فصل پنجم ۹۱
نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۹۱
۵-۱ نتایج آزمایشات بتن آسفالتی ۹۲
۵-۱-۱ افزودن ۱۰٪ گوگرد به قیر ۹۲
۵-۱-۲ افزودن ۲۰٪ گوگرد به قیر ۹۳
۵-۱-۳ افزودن ۲۵٪ گوگرد به قیر ۹۳
۵-۱-۴ افزودن ۳۰٪ گوگرد به قیر ۹۴
۵-۱-۵ افزودن ۳۵٪ گوگرد به قیر ۹۴
۵-۱-۶ افزودن ۴۵٪ گوگرد به قیر ۹۵
۵-۲ نتایج آزمایشات انجام شده روی ترکیبات مختلف قیر و گوگرد ۹۶
۵-۲-۱ آزمایشات پایه ۹۶
۵-۲-۲ آزمایش جریان برش دینامیکی ۹۶
۵-۳ پیشنهادات جهت مطالعات تکمیلی ۹۸
فهرست منابع و مراجع ۹۹

فهرست نمودارها

نمودار ۲-۱ : میزان تولید و مصرف گوگرد در جهان طی سالهای ۲۰۱۲-۲۰۰۳ و پیش بینی مقدار آنها در سال ۲۰۱۵ ..... ۱۱
نمودار ۲-۲ : میزان مصرف گوگرد در ایران طی سال های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۱ بر حسب هزار تن ۱۲
نمودار ۲-۳ : تغییرات ویسکوزیته قیر گوگردی در تحقیقات طباطبایی ۲۲
نمودار ۲-۴ : تغییرات ضریب برجهندگی ارتجاعی بر حسب درصد گوگرد در تحقیقات طباطبایی ۲۳
نمودار ۲-۵ : مقایسه مقاومت خستگی نمونه های با درصد گوگرد متفاوت در تحقیقات طباطبایی ۲۴
نمودار ۲-۶ : تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های ساخته شده با درصد گوگرد متفاوت در تحقیقات طباطبایی ۲۴
نمودار ۲-۷ : مقاومت مارشال نمونه‌های ساخته شده با درصد گوگرد ثابت و دانه بندی و قیر متفاوت توسط جوادی و همکاران ۲۸
نمودار۲-۸ : مقاومت شیاری نمونه‌های ساخته شده با گوگرد ثابت و دانه‌بندی و قیر متفاوت توسط جوادی و همکاران ۲۹
نمودار۲-۹ : مدول برجهندگی ارتجاعی نمونه‌های بتن آسفالتی با و بدون گوگرد با دانه‌بندی و قیرهای مختلف ۳۰
نمودار ۲-۱۰ : وضعیت ظرفیت تولید، تولید و عرضه پلی‌پروپیلن طی سالهای ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱ میلادی بر حسب میلیون تن ۳۳
نمودار ۲-۱۱: درصد افزایش رشد ظرفیت تولید، تولید و مصرف پلی‌پروپیلن طی سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۱ ..... ۳۳
نمودار ۲-۱۲ : نتایج آزمایشات الحدیدی و تان یی ۳۷
نمودار ۲-۱۳ : نتایج آزمایشات الحدیدی و تان یی ۳۷
نمودار ۲-۱۴ : نتایج تحقیقات سرکان و همکاران ۴۰
نمودار ۲-۱۵ : نتایج تحقیقات ابطحی و همکاران ۴۱
نمودار ۲-۱۶ : نتایج تحقیقات حجازی و همکاران ۴۲
نمودار ۳-۱ : رفتار الاستیک ۵۰
نمودار ۳-۲ : رفتار پلاستیک ۵۱
نمودار ۳-۳ : رفتار الاستو پلاستیک ۵۱
نمودار ۳-۴ : رفتار ویسکوز ۵۲
نمودار ۳-۵ : رفتار ویسکوالاستیک ۵۲
نمودار ۳-۶ : رفتار ویسکوپلاستیک ۵۳
نمودار ۳- ۷ و ۳-۸ : رفتار ویسکوالاستوپلاستیک ۵۳
نمودار ۳- ۹ : نمودارهای میزان نرخ کرنش برحسب تنش در سیالات نیوتنی (ویسکوزیته ثابت) ۵۵
نمودار ۳-۱۰ : میزان نرخ کرنش بر حسب تنش برشی در سیالات غیرنیوتنی با رفتار رقیق گردانی برش ۵۵
نمودار ۳-۱۱ : میزان نرخ کرنش بر حسب تنش برشی در سیالات غیر نیوتنی با رفتار ویسکوپلاستیک ۵۵
نمودار ۳-۱۲: میزان نرخ کرنش بر حسب تنش برشی در سیالات غیرنیوتنی با رفتار ضخیم شونده برشی ۵۶
نمودار ۳-۱۳ : نمودارهای میزان نرخ کرنش بر حسب تنش برشی و تغییرات ویسکوزیته بر حسب زمان در سیالات غیرنیوتنی وابسته به زمان ۵۶
نمودار ۳-۱۴ : مقایسه کلی رفتار سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی ۵۷
نمودار ۳-۱۵ : تغییرات سفتی قیر نسبت به دما ۵۸
نمودار ۳-۱۶:رفتار ویسکوالاستیک قیر ۵۸
نمودار ۳-۱۷ : مشخصه‌های رفتار مواد ویسکوالاستیک ۵۹
نمودار ۳-۱۸ : بار گذاری دینامیک قیر به عنوان یک ماده ویسکوپلاستیک ۶۰
نمودار ۳-۱۹ : بارگذاری استاتیک قیر به عنوان یک ماده ویسکوپلاستیک ۶۰

نمودار ۳- ۲۰: ترسیمه ساده عملکرد دستگاه DSR ۶۲
نمودار ۳-۲۱ : بارگذاری سینوسی در دستگاه SDR ۶۲
نمودار ۳-۲۲ : مقایسه رفتار الاستیک و ویسکوز با استفاده از آزمایش DSR ۶۵
نمودار ۴-۱ : حدود بالا، پایین و متوسط دانهبندی ۷۱
نمودار ۴-۲ : تغییرات درجه نفوذ قیر اصلاح شده با درصد های متفاوت گوگرد ۷۳
نمودار ۴-۳ : تغییرات نقطه نرمی قیر اصلاح شده با درصدهای متفاوت گوگرد ۷۴
نمودار ۴-۴ : تغییرات مدول برشی مختلط و مدول برشی اتلافی و مدول برشی ذخیره برای قیر پایه در دماهای مختلف ۷۴
نمودار ۴-۵ : تغییرات مدول برشی مختلط و مدول برشی اتلافی و مدول برشی ذخیره برای قیر ۵٪ در دماهای مختلف ۷۵
نمودار ۴-۶ : تغییرات مدول برشی مختلط و مدول برشی اتلافی و مدول برشی ذخیره برای قیر ۱۰٪ در دماهای مختلف ۷۵
نمودار ۴-۷ : تغییرات مدول برشی مختلط و مدول برشی اتلافی و مدول برشی ذخیره برای قیر ۱۵٪ در دماهای مختلف ۷۵
نمودار ۴-۸ : تغییرات مدول برشی مختلط و مدول برشی اتلافی و مدول برشی ذخیره برای قیر ۲۰٪ در دماهای مختلف ۷۶
نمودار ۴-۹ : تغییرات مدول برشی مختلط در دماهای مختلف و برای قیرهای پایه و اصلاح شده با درصد گوگرد متفاوت ۷۶
نمودار ۴-۱۰ : تغییرات مدول برشی اتلافی در دماهای مختلف و برای قیرهای پایه و اصلاح شده با درصد گوگرد متفاوت ۷۶
نمودار ۴-۱۱ : تغییرات مدول برشی ذخیره شده در دماهای مختلف و برای قیرهای پایه و اصلاح شده با درصد گوگرد متفاوت ۷۷
نمودار ۴-۱۲ : زاویه فاز برای قیر پایه در دماهای مختلف ۷۷
نمودار ۴-۱۳ : زاویه فاز برای قیر ۵٪ در دماهای مختلف ۷۷
نمودار ۴-۱۴ : زاویه فاز برای قیر ۱۰٪ در دماهای مختلف ۷۸
نمودار ۴-۱۵ : زاویه فاز برای قیر ۱۵٪ در دماهای مختلف ۷۸
نمودار ۴-۱۶ : زاویه فاز برای قیر ۲۰٪ در دماهای مختلف ۷۸
نمودار ۴-۱۷ : مقایسه زاویه فاز در دماهای مختلف برای قیر اصلاح شده با درصد های مختلف گوگرد ۷۹
نمودار۴-۱۸: تغییرات $G^*/\sin\delta$ در دماهای مختلف برای قیرهای اصلاح شده با درصد های متفاوت گوگرد ۷۹
نمودار۴-۱۹ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (چگالی) (درصد قیر بهینه ۵) ۸۱
نمودار ۴-۲۰ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (مقاومت مارشال) (درصد قیر بهینه ۵) ۸۱
نمودار ۴-۲۱ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (روانی) (درصد قیر بهینه ۴/۶) ۸۲
نمودار ۴-۲۲ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی) (درصد قیر بهینه ۳/۹۵) ۸۲
نمودار ۴-۲۳ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (VMA) (درصد قیر بهینه ۴/۶) ۸۲
نمودار ۴-۲۴ : پارامتر های آزمایش مارشال در تعیین قیر بهینه (Air Void) (درصد قیر بهینه ۳/۹) ۸۳
نمودار ۴-۲۵ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۱۰ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۸۵
نمودار ۴-۲۶ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۲۰ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۸۶
نمودار ۴-۲۷ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۲۵ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۸۷
نمودار ۴-۲۸ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۳۰ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۸۸
نمودار ۴-۲۹ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۳۵ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۸۹
نمودار ۴-۳۰ : نتایج پارامترهای آزمایش مارشال برای نمونههای ساخته شده با ۴۵ درصد گوگرد و الیاف با طول و درصد متفاوت ۹۰

فهرست جداول

جدول۲-۱ : برخی مشخصات شیمیایی و فیزیکی گوگرد ۸
جدول ۲-۲ : نتایج آزمایشات نمونه‌های بتن آسفالتی در مطالعات طباطبایی ۲۳
جدول ۲-۳ : نتایج آزمایشات مخلوط قیر و گوگرد در مطالعات نظربیگی، معینی و همکاران ۲۶
جدول ۲-۴ : مقادیر بهینه پارامترهای آزمایش مارشال در مطالعات نظربیگی، معینی و همکاران ۲۶
جدول۲-۵ : دانه بندی مصالح بکار رفته در مطالعات جوادی و همکاران ۲۸
جدول ۲-۶ و ۲-۷ : ارزش صادرات و واردات کشورهای عمده صادر کننده PP ۳۲
جدول ۲-۸ : خصوصیات الیاف PP مورد تأکید ODOT در بتن آسفالتی ۳۵
جدول ۲-۹ : پارامترهای مارشال تحقیقات الحدیدی و تان یی ۳۶
جدول۲-۱۰ : نتایج آزمایشات محمدزاده و همکاران در بررسی استفاده از الیاف مختلف درمخلوط‌های SMA ۳۸
جدول۲-۱۱ : خصوصیات قیر مورد استفاده در تحقیقات سرکان و همکاران ۳۹
جدول ۲-۱۲ : خصوصیات فیزیکی مصالح مورد استفاده در تحقیقات سرکان و همکاران ۳۹
جدول۲-۱۳ : دانهبندی مصالح مورد استفاده در تحقیقات سرکان و همکاران ۴۰
جدول۲-۱۴ : مشخصات نمونه‌های قیر اصلاح شده با الیاف مختلف در تحقیقات حجازی و همکاران ۴۲
جدول ۴-۱ : دانه‌بندی مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی ۷۰
جدول ۴-۲ : چگالی و درصد جذب آب مصالح درشت‌دانه ۷۱
جدول۴-۳ : چگالی مصالح ریزدانه ۷۲
جدول ۴-۴ : مشخصات فیزیکی الیاف پلی‌پروپیلن ۷۲
جدول ۴-۵ : خواص استاتیکی قیر پایه ۷۳
جدول ۴-۶ : نتایج آزمایشات روی قیر اصلاح شده با درصد های متفاوت گوگرد اصلاح شده ۷۳
جدول ۴-۷ : وزن قیر مورد نیاز در ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی جهت تعیین قیر بهینه ۸۰
جدول ۴-۸ : وزن گوگرد مورد نیاز جهت اصلاح قیر در درصد های متفاوت ۸۳
جدول ۴-۹ : وزن الیاف مورد نیاز در ساخت نمونه هایی با درصد الیاف متفاوت ۸۴
جدول۵-۱ : درصد الیاف بهینه برای در طولهای ۱۲ و۱۸ میلیمتر برای نمونه‌های ساخته شده با قیر اصلاح شده متفاوت ۹۵
جدول ۵-۲ : برخی نتایج آزمایشات جریان برش دینامیکی ۹۶

چکیده

گوگرد از جمله عناصر شیمیایی است که مصارف بسیاری در صنایع مختلف دارد. اما با این وجود، همه ساله حجم زیادی از این ماده در جهان به دلایل مختلف از جمله دلایل صنعتی و آتشفشانی تولید می‌گردد که مازاد بر مصرف می-باشد. از طرفی انباشت حجم زیاد چنین محصولی در یک منطقه، به علت سمی بودن و قابلیت اشتعال، خطرناک می‌باشد. لذا کارخانه‌های تولید کننده، نیازمند یافتن مکانی برای مصرف آن می‌باشند. یکی از بهترین مکان‌ها، مصارف راهسازی و اصلاح خواص قیر می‌باشد. افزودن گوگرد به قیر به طور کلی باعث بهبود خواص آن می‌گردد ولی در این موارد، علاوه بر امکان ایجاد آلودگی و آتش سوزی، بتن آسفالتی تولید شده اندکی سخت و شکننده خواهد شد. به همین علت امروزه از مواد گوناگونی استفاده می‌شود که مشکل ترد شدن آسفالت را مرتفع نماید.

در این مطالعه سعی شده است که عملکرد گوگرد معمولی که با فرآیندی خاص، به صورت اصلاح شده(بی بو) در آمده است، در ترکیب با قیر بررسی شود. به این منظور از جایگزینی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی گوگرد در قیر(نسبت به وزن قیر) استفاده شد. همچنین برای ممانعت از سخت و ترد شدن بتن آسفالتی، از الیاف پلی پروپیلن استفاده شده است. نمونه-های قیر برای ساختن نمونه‌های بتن آسفالتی در مراحل مختلف با ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۵ درصد وزنی گوگرد(نسبت به وزن کل مخلوط) ترکیب شده است و نیز از الیاف پلی‌پروپیلن(PP) با طول ۱۲ و ۱۸ میلی‌متر در درصدهای ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۵ و ۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن ۱۰ الی ۱۵ درصد گوگرد به قیر عملکرد آن را بطور قابل ملاحظه‌ای بالا می‌برد. همچنین استفاده از ۲۰ الی ۳۰ درصد گوگرد در قیری که برای ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی استفاده می‌شود وکاربرد الیاف با طول ۱۲ میلی‌متر در درصدهای ۰/۳ الی ۰/۵، ضمن کاهش مصرف قیر و صرفه اقتصادی، شاخص‌های مقاومتی نمونه‌های بتن آسفالتی را بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: ۱- گوگرد اصلاح شده ۲- الیاف پلی‌پروپیلن(PP) ۳- قیر اصلاح شده ۴- آسفالت گوگردی ۵- تسلیح بتن آسفالتی

فصل اول

بیان مسئله، اهمیت موضوع و کاربردها

۱-۱ مقدمه

عملکرد روسازی‌های آسفالتی در ایران، مانند بسیاری از کشورهای درحال توسعه دیگر با انتظارات و خواسته‌های جوامع امروزی چندان سازگار نیست و این عدم سازگاری و مخصوصا کوتاهی عمر، عمدتا ناشی از عواملی چون موارد زیر می‌باشد:

- استفاده از قیر و مصالح نامناسب از نظر عدم تطابق با شرایط آب و هوایی منطقه و شرایط عملکردی و کاربری روسازی؛
- طرح اختلاط نامناسب مخلوط آسفالتی با توجه به شرایط اقلیمی و کاربری روسازی؛
- طراحی نه چندان مناسب روسازی؛
- عدم اجرای مناسب و نظارت درخورو نیز نگهداری و تعمیرات در زمان بهینه؛

برای دستیابی به یک روسازی با عملکرد مطلوب، اعمال تمامی موارد بالا ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر، با هدف کلی بهبود عملکرد روسازی آسفالتی از طریق بهبود خواص قیر مصرفی و مخلوط بتن آسفالتی صورت گرفته است.

۱-۲ اهمیت مسئله

خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی بطور کلی ناشی از مواردی از جمله مناسب نبودن قیر مصرفی و نداشتن خصوصیات مناسب آن جهت مصرف در مخلوط بتن آسفالتی و همچنین عدم کاربرد مصالح مناسب می‌باشد. بروز این خرابی‌ها، نه تنها عمر مفید روسازی و ایمنی استفاده کنندگان از راه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه هزینه‌های تعمیر و نگهداری را افزایش داده و ممکن است باعث افزایش زمان سفر شود که خود، لطمات اقتصادی جبران ناپذیری را متوجه ارگان‌های مسئول و نیز استفاده کنندگان و خودروها می‌کند.

با وجود کاربردهای زیاد و خواص مناسب قیر جهت مصارف راهسازی، این ماده ضعف‌هایی عمده و ذاتی دارد که به نوبه خود خرابی‌هایی را در روسازی باعث می‌شود. از جمله این ضعف‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد:

- حساسیت زیاد قیرها علی الخصوص به دما؛
- نرمی زیاد قیرها در دماهای بالا که باعث شیارشدگی بتن آسفالتی در این دماها می‌شود؛
- مدول الاستیسیته پایین در دماهای پایین که در نتیجه ترک خوردگی حرارتی مخلوط بتن آسفالتی را به دنبال دارد؛
- خواص ویسکوالاستیک قیر که سبب تغییر شکل دائم روسازی آسفالتی تحت ترافیک می‌شود.

لذا به منظور بهبود این ضعف‌ها، اصلاح خواص قیر ضروری به نظر می‌رسد. امروزه مواد بسیار زیادی از جمله پلیمرها به این منظور استفاده می‌شود اما تولید خود این مواد، عمدتا هزینه‌بر می‌باشد. لذا استفاده از موادی که بصورت فراوان در دسترس می‌باشند، توجه جوامع مهندسی را برانگیخته است. از جمله این مواد می‌توان پودر لاستیک بازیافتی و بالاخص، منابع گوگردی را نام برد که هم بسیار فراوان وجود دارند و هم در اکثر مناطق در دسترس می‌باشند و استفاده از آنها جهت اصلاح خواص قیر، در تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مثبتی را در بر داشته است.

از طرفی ضعف اساسی بتن آسفالتی در کشش، همواره چالش برانگیز بوده است. از بهترین موادی که برای جبران این ضعف استفاده می‌شود، الیاف طبیعی و مصنوعی می‌باشد. کاربرد الیاف مختلف از جمله پنبه، راکول، پلی‌اتیلن، پلی-پروپیلن، آزبستوس، شیشه، پشم سنگ و ... در بتن آسفالتی، در تحقیقات مختلفی در سراسر دنیا مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق نیز از الیاف پلی‌پروپیلن به منظور تسلیح آسفالت استفاده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳ تعریف مسئله

استفاده از گوگرد در مصارف راهسازی به حدود صد سال پیش باز می‌گردد. پژوهش‌هایی که در این دوره زمانی روی استفاده از گوگرد در لایه های مختلف روسازی انجام شده است، همگی دلالت بر مناسب بودن این ماده داشته‌اند؛ اما مشکل اصلی، سمی بودن این ماده طبیعی و صنعتی و احتمال بالای ایجاد گازهای سمی از جمله SO_2, SO_3, H_2S و غیره می‌باشد که در شرایط معمولی و خصوصا در اثر وجود رطوبت، به وجود خواهند آمد. وجود این گازها به علت ایجاد مشکلات تنفسی و عصبی، بسیار خطرناک بوده و به دلایل زیست محیطی، امکان استفاده از این ماده بصورت معمولی، محدود شد و استفاده از پلیمرها جهت اصلاح خواص قیر، رشد بیشتری یافت. با گذشت زمان و تولید روز افزون گوگرد در جهان به دلایل صنعتی و طبیعی و نیز عدم امکان انباشت زیاد این ماده به علت احتمال اشتعال، سمی بودن و اشغال فضای زیاد، محققان دانشگاه صنعتی اصفهان را بر آن داشت تا به دنبال اصلاح آن از طریق واکنش‌های شیمیایی و در نتیجه امکان استفاده مجدد از این ماده در مصارف راهسازی باشند. این امر منوط به آزمایش مجدد خواص این محصول به عنوان یک اصلاح کننده قیر بود. به همین علت سعی شد در این مطالعه، برخی از این آزمایشات انجام شود. در صورت داشتن نتایج مناسب، مسلما نظر مساعد جوامع مختلف جلب و با رفع مشکلات زیست محیطی، کاربرد آن افزون خواهد شد. اما با وجود رفع مشکلات زیست محیطی در اثر استفاده از گوگرد اصلاح شده و کاهش ضخامت روسازی مورد نیاز بر اساس حجم ترافیک وارده در عمر طراحی روسازی، استفاده از این ماده در بتن آسفالتی تا حدی سبب ترد شدن و کاهش ظرفیت کشش بتن آسفالتی می‌شود. به همین دلیل به نظر می‌رسد که استفاده از الیاف مختلف و به ویژه پلی‌پروپیلن که دارای مزایای زیادی نسبت سایر الیاف می‌باشد، ضروری است. در این مطالعه اثر افزودن این الیاف در طول و درصدهای متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۴ فرضیه‌های پژوهش

در حالت کلی موارد زیر به عنوان فرضیه‌های پژوهش در نظر گرفته شده‌اند:

- بهبود مقاومت خستگی مخلوط بتن آسفالتی؛
- تهیه مخلوطی سفت‌تر در دماهای بالاتر به منظور کاهش شیارشدگی؛
- تهیه مخلوطی نرم‌تر در دماهای پایین‌تر به منظور کاهش ترک‌های حرارتی؛
- تهیه مخلوط قیری با گرانروی پایین‌تر به منظور پمپ شدن و اختلاط راحت‌تر؛

- چسبندگی بیشتر قیر به مصالح سنگی و پوشش بهتر و بهینه مصالح سنگی توسط قیر؛
- کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری؛

۱-۵ کاربرد پژوهش

انتخاب قیرهای اصلاح شده متناسب‌تر با شرایط اقلیمی، علاوه بر کاهش خرابی‌ها و افزایش طول عمر روسازی، استهلاک کمتر وسایل نقلیه و هزینه‌های کمتر تعمیر و نگهداری از راه و در نتیجه حفظ سرمایه‌های ملی و انسانی را در کوتاه‌مدت و بلندمدت در پی خواهد داشت. از طرفی انتخاب یک ماده مناسب برای اصلاح خواص قیر و همچنین بتن آسفالتی همواره چالش برانگیز بوده و نیاز به تحقیقات گسترده دارد.

یکی از بهترین مواد جهت اصلاح خواص قیر، گوگرد است که به مقدار فراوان در طبیعت وجود دارد و در اثر فعالیت های آتشفشانی و فرآیندهای صنعتی نیز به مقدار زیادی تولید می‌شود. با وجود مصارف زیاد صنعتی، کشاورزی و پزشکی و ...، امکان انباشت این ماده به علت سمی بودن، احتمال احتراق و مشکلات زیست محیطی، تنها در شرایط خاصی امکان پذیر است که حتی در صورت مساعد بودن شرایط برای نگهداری، نمی‌توان مقادیر زیادی از آن را در یک محل انباشت کرد. لذا تمامی کارخانجات و شرکت ها درصدد یافتن راه حلی برای این مشکل هستند. از بهترین این راه حل‌ها، استفاده از آن در مصارف راهسازی و تولید آسفالت جهت پوشش معابر می‌باشد. در کشورهای مختلف امکان استفاده از این ماده در راهسازی بررسی شده است اما با وجود اصلاح خواص قیر و مخلوط آسفالتی، کاربرد آن در این مورد محدود شده است. برای رفع این مشکل محققان دانشگاه صنعتی اصفهان روی به اصلاح گوگرد آوردند. این فرآیند ولکانیزاسیون نامیده می‌شود که در طی آن با ایجاد یک لایه بسیار نازک روی ذرات گوگرد و طی یک پروسه شیمیایی که بصورت انحصاری می‌باشد، بوی گوگرد تا حد بالایی از بین می‌رود و همین امر باعث سهولت در کار با این ماده می‌شود. البته باید به این نکته توجه داشت که در اثر افزایش دما احتمال شکستن این لایه بالاتر می‌رود و به نظر می‌رسد که استفاده از گوگرد اصلاح شده بصورت پودر جامد جهت اصلاح قیر، از نظر زیست محیطی و راحتی کار، مناسب‌تر می‌باشد.

فرآیند اصلاح گوگرد، با هر نوع گوگردی قابل انجام است و به همین خاطر و در صورت حصول نتایج مناسب آزمایشگاهی، می تواند کاربرد بالایی در راهسازی داشته باشد. از طرفی قیمت حال حاضر گوگرد کمتر از نصف قیمت قیر است و طبق نظر تولید کننده گوگرد اصلاح شده، فرآیند اصلاح گوگرد، قیمت آن را تقریبا ۲۰ درصد بالا می‌برد، لذا قیمت مخلوط حاصل ۷۰ درصد مخلوط بتن آسفالتی معمولی است و در نتیجه باز هم از نظر اقتصادی به شدت به صرفه خواهد بود؛ ضمن اینکه مشکل انباشت گوگرد را در مناطق مختلف کشور تا حد زیادی مرتفع خواهد کرد. از دیگر محاسن استفاده از گوگرد و بخصوص گوگرد اصلاح شده در مصارف راهسازی، عدم نیاز به تجهیزات خاص جهت اجرای روسازی مورد نظر در محل می‌باشد.

اما به علت ترد شدن نسبی مخلوط‌های آسفالتی که با استفاده از این ماده اصلاح شده ساخته می‌شوند، کاربرد ماده‌ای دیگر که شکست نرم‌تری را برای بتن آسفالتی ایجاب نماید، اجتناب ناپذیر است. به این منظور، در مطالعه‌ای که پیش رو دارید، الیاف پلی‌پروپیلن انتخاب و نقش آنها در تسلیح بتن آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. علت انتخاب این

محصول، اولا تولید زیاد آن در گریدها و طول‌های مختلف در داخل کشور و در نتیجه قیمت مناسب‌تر نسبت به برخی از الیاف دیگر و نگاه بیشتر به اقتصاد داخلی و ثانیا عملکرد بهتر آن در قیاس با سایر الیاف با مطالعه منابع مختلف بوده است. این موارد، تحقیق حاضر را به یک تحقیق تقاضا محور تبدیل کرده است که با حصول نتایج مناسب و توجه مسئولان ذی‌ربط و پیمانکاران، در رشد اقتصاد ملی، نقشی هر چند کوچک خواهد داشت.