۸۷/۱/۱۰۶۳۲۸
۸۷/۱۲/٤

به ناتم یگانه‌ی هستی

۱۰۸۹۱۱

۸۷/۱/۱۰ ۹۳۲۸
۸۷/۱۲/۴

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی عمران- گروه راه و ترابری

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با موضوع :

تعیین مدلی برای بررسی تأثیر تراکم در عملکرد روسازی راهها در مناطق گرمسیر

ارائه دهنده : عماد سهرابی

استاد راهنما : دکتر امیر کاوسی

اطلاعات مدارک معلولیت
تحت مدارک
۱۳۸۷ /۱۱/ ۱۰

تیرماه ۱۳۸۷

۱۰۸۹۱۱

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **عماد سهرابی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان تهیه مدلی برای بررسی تاثیر تراکم آسفالت در عملکرد روسازی راهها در مناطق گرمسیر** در تاریخ ۱۳۸۷/٤/۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر امیر کاووسی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمود صفارزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر ابوالفضل حسنی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احمد منصوریان	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمود صفارزاده	دانشیار	

این نسخه با متن [illegible] پایان‌نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

۸۷/۷/۲۹

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی عمران- راه و ترابری است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر امیر کاوسی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳ ، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب عماد سهرابی دانشجوی رشته مهندسی عمران گرایش راه و ترابری مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: عماد سهرابی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۴/۵

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

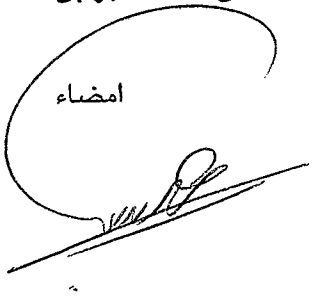
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی: **عماد سهرابی**

امضاء



به نام و یاد یگانه‌ی هستی بخش

سپاسگزاری

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر امیر کاوسی که در به انجام رساندن این رساله، بزرگوارانه و بی‌دریغ؛ در رفع کاستی‌ها و نادانسته‌ها، راه نمای من بوده‌اند، کمال تشکر خود را ابراز می‌دارم. همچنین از تلاش پیگیر و دلسوزانه دیگر اساتید محترم گروه، جناب آقای دکتر ابوالفضل حسنی و جناب آقای دکتر محمود صفارزاده، برای آنچه از دانش، تجربه و اخلاق حرفه از ایشان آموخته‌ام، سپاسگزارم.

بی گمان، دقت نظر و راهنمایی‌های فراوان جناب آقای دکتر احمد منصوریان، در تصحیح قالب و محتوای این اثر سهم بسزایی داشته است. بدینوسیله از جد و جهد ایشان و دیگر اساتید ناظر قدردانی می‌نمایم.

در خاتمه؛ جای دارد از لطف و همراهی دیگر دوستان و عزیزانی که به هر شکل در به انجام رسیدن این پژوهش یاری ام نمودند، به‌ویژه آقایان مهندس غفاری و مهندس پورتقی، مدیران محترم «شرکت توسعه ساختمان و راه» و «مهندسین مشاور فرادید» برای مساعدت در بخش تهیه نتایج و مشاهدات آزمایشگاهی و میدانی، و آقای علی صادقی، رییس محترم اداره آمار «سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران» برای راهنمایی‌های ارزنده ایشان در بخش تحلیل آماری نتایج، سپاسگزاری نمایم.

عماد سهرابی

تیرماه ۱۳۸۷

چکیده

مشخصه‌های تعیین کننده عملکرد روسازی در برابر بارهای سنگین مکرّر وارد شونده (بار چرخ وسایل نقلیه سنگین)، بویژه در شرایط آب و هوای گرم؛ به شدت تحت تأثیر پارامترهایی است که مخلوط آسفالتی از فرآیند تراکم کسب می‌کند. مخلوط آسفالتی اجراشده در مناطق گرمسیر، استعداد قابل توجهی برای خرابیهای عملکردی مانند تغییرشکلهای دایمی شیارافتادگی مسیر چرخ و موجی شدن و نیز دیگر خرابیهای رایج همچون ترکهای ناشی از خستگی، قیرزدگی، ترکهای حین اجرا، ترکهای طولی و عرضی، و... دارد. می‌توان رفتار مخلوطهای آسفالتی و ارتباط عملکردشان با متغیرهایی که از تراکم آسفالت نشأت می‌گیرند را در قالب مدلهای عملکردی برای این مناطق پیش‌بینی نمود.

مدلهای عملکردی پیشنهادی در گذشته برای پیش‌بینی نرخ تغییرشکلهای شیاری آسفالت؛ بر اساس عواملی همچون درصد فضای خالی مصالح سنگی، مقاومت ویژه، سطح مخصوص سنگدانه، رده‌ی دمایی قیر و دانسیته نسبی در محل؛ توسعه یافته‌اند. همچنین روابطی برای پیش‌بینی تراکم با توجه به مشخصات مخلوط مطرح شده است.

در این تحقیق، برای پیش‌بینی نرخ شیارافتادگی آسفالت، مدلی نیمه‌تجربی و مبتنی بر برخی فرضیات و یافته‌های مورد مطالعه در ادبیات پژوهش، توسعه یافته است. بدین منظور، ترکیب مشاهدات محلی تغییرشکلهای دایمی و قیرزدگی، در یک محور بزرگراهی ساخته شده در پهنه‌ی گرم و خشک کشور، در کنار داده‌های آزمایشگاهی مربوط به همان نقاط از مسیر؛ شامل نتایج آزمایشهای قیر و آسفالت، نتایج تراکم؛ دانه بندی مخلوط آسفالتی و شرایط محیطی مورد بررسی قرار گرفته است.

در مدل تهیه شده برای تراکم مخلوط آسفالتی؛ گذشته از پارامتر دانسیته آسفالت جاده که رابطه طبیعی و بسیار قوی با درصد تراکم آسفالت برقرار می‌کند؛ متغیرهای درصد فضای خالی مصالح سنگی، درصد فضای خالی پرشده با قیر و درصد عبوری از الک شماره دویست، تعیین‌کننده‌تر می‌باشند. مدل مذکور در مجموع با ضریب تعیین خوبی قابل ارزیابی است. همبستگی جزئی میان درصد قیر با درصد فضای خالی پرشده با قیر، تأثیر این عامل را نیز نشان می‌دهد. با این وجود، مدل به عامل درصد فضای خالی مصالح سنگی حساس‌تر می‌باشد. همچنین مشخص گردید دو عامل دانسیته در محل و ضخامت لایه آسفالتی با اطمینان بیش از ۹۵٪ در مدل عمق شیارافتادگی مؤثر می‌باشند. افزایش دانسیته مخلوط شدیداً عمق شیارافتادگی را کاهش می‌دهد و مجموع کرنش تجمع‌یافته به ازای ضخامت بیشتر لایه‌های آسفالتی افزایش خواهد یافت. درصد فضای خالی مصالح سنگی نیز گرچه تا حدودی با شیارافتادگی همبستگی نشان می‌دهد؛ اما ضریب به دست آمده از نظر کیفیت روند تغییرات این عامل، پیش‌بینی کننده تغییرشکل دایمی لایه آسفالتی نمی‌باشد. درصد فیلر بیشتر نیز در افزایش عمق شیارافتادگی مؤثر به نظر می‌رسد.

کلیدواژگان: تراکم آسفالت، مدل عملکرد، آب و هوای گرمسیری، شیارافتادگی جای چرخ، درصدفضای خالی مصالح سنگی (VMA)، ریزدانگی

فهرست مطالب

فصل اول ۱

معرفی و رویکرد پژوهش ۱
۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ مروری بر مطالعات پیشین ۲
۱-۳ تعریف مسأله ۲
۱-٤ ضرورت انجام تحقیق ۳
۱-٥ اهداف و کاربردهای تحقیق ۳
۱-٦ جنبه نوآوری تحقیق ٤
۱-۷ فرضیه های تحقیق ٤
۱-۸ روش انجام تحقیق ٥
۱-۹ شرح مراحل تحقیق ٥

فصل دوم ۷

تراکم و عملکرد مخلوطهای آسفالتی ۷
۲-۱ مقدمه ۷
۲-۲ مبانی تراکم و ضرورت آن ۷
۲-۳ عملکرد روسازی در مناطق گرمسیر ۱۰
۲-۳-۱ شیارافتادگی ۱۲
۲-۳-۱-۱ انواع شیارافتادگی ۱۲
۲-۳-۱-۲ علل و مکانیسم وقوع شیارافتادگی ۱٤
۲-۳-۱-۳ عوامل مؤثر در کاهش تغییرشکلهای دایمی روسازی ۱٤
۲-۳-۱-٤ رابطه شیارافتادگی و تراکم ۱٥
۲-۳-۲ تغییرشکلهای برشی (موجی شدن، ترکهای لغزشی و هلالی شکل) ۱٦
۲-۳-۲-۱ علل و مکانیسم وقوع تغییرشکلهای برشی ۱۷
۲-۳-۲-۲ راهکارهای کنترل تنشهای مؤثر در خرابیهای برشی ۱۷
۲-۳-۳ نفوذپذیری و خرابیهای ناشی از رطوبت در روسازیهای آسفالتی (عریان شدگی) ۱۹
۲-۳-٤ انواع ترک خوردگی ۲۰
۲-٤ عوامل موثر در عملکرد مخلوط آسفالتی ۲۱
۲-٤-۱ فضای خالی مصالح سنگی (VMA) ۲۲
۲-٤-۲ قیر ۲٦
۲-٤-۲-۱ انرژی فعال سازی روانی ۲٦
۲-٤-۲-۲ عوامل تأثیرگذار بر انرژی فعالسازی روانی ۲۷
۲-٤-۲-۳ تراکم و انرژی فعالسازی روانی ۲۸
۲-٤-۳ مشخصات سنگدانه ها، فیلر و دانه بندی مخلوط ۲۹

۲-۵ مدل شیارافتادگی جای چرخ در مخلوط آسفالتی ۳۰
۲-۵-۱ مدل توسعه یافته برای شیارافتادگی بر اساس VMA ۳۰
۲-۵-۱-۱ مدل شیارافتادگی – مقاومت ویژه ۳۲
۲-۵-۱-۲ مدل شیارافتادگی – ضخامت غشاء ۳۵
۲-۵-۲ رابطه سخت شدگی ناشی از فرسودگی و تراکم ۳۶
۲-۵-۳ رابطه نفوذ ناپذیری آسفالت و تراکم ۳۶
۲-۵-٤ رابطه مقاومت در برابرخستگی و تراکم ۳۷
۲-۵-۵ رابطه مقدار و نوع قیر و ریزدانگی سنگدانه ها با VMA ۳۸

فصل سوم ٤۱

مطالعات آزمایشگاهی – میدانی ٤۱
۳-۱ مقدمه ٤۱
۳-۲ معرفی و مشخصات فنی محور مورد مطالعه ٤۱
۳-۲-۱ موقعیت پروژه ٤۱
۳-۲-۲ مشخصات فنی و اجرایی ٤۳
۳-۲-۲-۱ مصالح مصرفی ٤۵
۳-۲-۲-۲ دانه بندی ٤۵
۳-۲-۳ ترافیک طرح ٤٦
۳-۲-٤ مدل تراکم مخلوط آسفالتی ٤۸
۳-۲-۵ مدل عملکرد مخلوط آسفالتی (شیارافتادگی) ٤۹
۳-۲-۵-۱ روش اندازه گیری شیارافتادگی ۵۰
۳-۲-۵-۲ روش محاسبه مقاومت ویژه ۵۱
۳-۲-۵-۳ روش محاسبه سطح مخصوص سنگدانه ها ۵۱
۳-۲-۵-٤ مدل مورد بررسی برای پیش بینی نرخ شیارافتادگی ۵۲
۳-۲-۵-۵ پارامترهای مربوط به قیر و ویسکوزیته آن ۵۲
۳-۲-۵-٦ پارامترهای مربوط به ریزدانگی مخلوط آسفالتی ۵٤
۳-۲-۵-۷ روش طرح ۵۵

فصل چهارم ۵۷

تحلیل آماری مدلها و ارائه نتایج ۵۷
٤-۱ مبانی داده پردازی ۵۷
٤-۲ بررسی اولیه داده ها ۵۹
٤-۳ تحلیل و بررسی مدلهای موجود برای تراکم مخلوط آسفالتی ٦۳
٤-۳-۱ بررسی توان پیش بینی کنندگی ٦۳
٤-۳-۲ بررسی تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده ٦۳
٤-۳-۳ تحلیل آماری نتایج ٦٤

٤-٣-٤ جمع بندی تأثیر متغیرهای بررسی شده ٦٦
٤-٤ بررسی پارامترهای دیگر و اصلاح مدل ٦٨
٤-٤-١ تحلیل مدل نهایی ٧١
٤-٥ تحلیل و بررسی مدل عملکرد مخلوط آسفالتی ٧٣
٤-٥-١ رویکرد اول، با تأکید بر مفهوم مقاومت ویژه به عنوان یک پارامتر مستقل ٧٣
٤-٥-٢ رویکرد دوم، با تأکید مستقیم بر عوامل مؤثر در مقاومت ویژه ٧٣
٤-٥-٣ ارائه و تحلیل نتایج ٧٣
٤-٥-٣-١ حالت اول ٧٣
٤-٥-٣-٢ حالت دوم ٧٤
٤-٥-٤ نتیجه گیری درباره مدل قابل ارائه ٧٥
٤-٦ ارزیابی قیرزدگی مخلوط آسفالتی ٧٥
٤-٧ جمع بندی ٧٦
٤-٨ منابع تولید خطا ٧٧

نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد ٨٠
٥-١ خلاصه روش پژوهش ٨٠
٥-٢ نتیجه گیری ٨٤
٥-٣ پیشنهادهای ادامه تحقیق ٨٥

فهرست مراجع ٨٨

پیوست ١ .....
تحلیل آماری داده ها .....

پیوست ٢ .....
مخلوطهای آسفالتی مناسب مناطق گرمسیر پ٢-١
پ٢-١ مقدمه پ٢-١
پ٢-٢ روش طرح اختلاط آسفالت در مناطق گرمسیر ایران پ٢-٢
پ٢-٣ دستورالعمل مؤسسه تحقیقات راه TRL پ٢-٣
پ٢-٤ طرح مخلوطهای SMA برای مناطق گرمسیر پ٢-٨
پ٢-٤-١مشخصات مخلوط SMA پ٢-٨
پ٢-٤-٢مقایسه SMA و مخلوط آسفالتی گرم با دانه بندی توپر پ٢-١٢
پ٢-٥ روش اصلاح شده مارشال برای مخلوطهای با سنگدانه درشت پ٢-١٤
پ٢-٦ افزودنیهای مناسب برای عملکرد آسفالت پ٢-١٥
پ٢-٦-١پلیمرها پ٢-١٥
پ٢-٦-٢آهک، یک اصلاح کننده چند منظوره آسفالت پ٢-١٩
پ٢-٦-٣تأثیر مسلح سازی با ژئوسینتتیکها بر مشخصات بتن آسفالتی پ٢-١٩
پ٢-٦-٤استفاده از الیاف پلی پروپیلن در ترکیب مخلوط آسفالتی پ٢-٢٠
پ٢-٦-٥استفاده از افزودنی های خرده لاستیکی (CRM) پ٢-٢٢

پ۲-٦-٦استفاده از سرباره های فولادی به عنوان سنگدانه پ۲-۲٤
پ۲-٦-۷استفاده از مصالح ساختمانی بازیافتی پ۲-۲۵
پ۲-٦-۸استفاده از الیاف بازیافتی در مخلوط SMA پ۲-۲٦
پ۲-۷ مسایل مرتبط با عملیات اجرایی تراکم در مناطق گرمسیر پ۲-۲۷
پ۲-۷-۱کنترل VMA در طول ساخت در کارگاه پ۲-۲۸
پ۲-۷-۲روشهای نوین تراکم پ۲-۲۹

پیوست سوم .....

مدلسازی عوامل مرتبط با روسازی و عملکرد آن پ۳-۱
پ۳-۱ مقدمه پ۳-۱
پ۳-۲ مدل حساسیت مخلوطهای آسفالتی در برابر شیارافتادگی پ۳-۱
پ۳-۲-۱شاخص مقاومت در برابر شیارافتادگی (RI) پ۳-۲
پ۳-۲-۲فرمول بندی ساده شده برای شاخص RI پ۳-٤
پ۳-۲-۳تعبیر و مفهوم شاخص مقاومت در برابر شیارافتادگی پ۳-۵
پ۳-۲-٤کاربرد شاخص مقاومت در برابر شیارافتادگی پ۳-٦
پ۳-۳ مدل سازی روسازی پ۳-۷
پ۳-۳-۱رفتار ویسکوالاستیک مخلوطهای آسفالتی (مدل برگر) پ۳-۸
پ۳-۳-۲مدلسازی رفتار مخلوطهای آسفالتی به روشهای تحلیلی پ۳-۸
پ۳-۳-۳مدلسازی رفتار مخلوطهای آسفالتی به روشهای عددی پ۳-۹
پ۳-۳-٤مدلسازی رفتار مخلوطهای آسفالتی به روش اجزاء محدود پ۳-۹
پ۳-٤ مدلهای توسعه یافته برای تنشها پ۳-۱۰
پ۳-٤-۱اثر توأم عوامل مختلف بارگذاری بر باربری رویه آسفالتی پ۳-۱۰
پ۳-٤-۲تنشهای برشی در مخلوط آسفالتی پ۳-۱۱
پ۳-۵ عوامل محیطی؛ دما پ۳-۱۲
پ۳-٦ مدل وسیله نقلیه پ۳-۱٤
پ۳-٦-۱تأثیر مانور وسایل نقلیه بر عملکرد روسازی پ۳-۱٤
پ۳-٦-۲تأثیر ویژگیهای وسیله نقلیه بر عملکرد روسازی پ۳-۱۵
پ۳-۷ تأثیر ضخامت رویه آسفالتی پ۳-۱۷
پ۳-۸ مدلسازی رایانه ای فواصل بین ذره ای پ۳-۱۸
پ۳-۹ مدلسازی آزمایشگاهی عملکرد مخلوطهای آسفالتی پ۳-۲۱
پ۳-۱۰ اندازه گیری شیارافتادگی پ۳-۲٤
پ۳-۱۰-۱مبانی محاسبه و اندازه گیری پ۳-۲٤
پ۳-۱۰-۲تجهیزات پیمایش شیارافتادگی / عملکرد مخلوطهای آسفالتی پ۳-۲٦
پ۳-۱۱اندازه گیری تراکم آسفالت پ۳-۲۹
پ۳-۱۱-۱ دستگاه های هسته ای اندازه گیری چگالی پ۳-۳۰
پ۳-۱۱-۲گیجهای الکترومغناطیسی اندازه گیری دانسیته پ۳-۳۱

فهرست شکلها

شکل (۲-۱) پایداری ذرات با توجه به تراکم آنها [ENSCHEDE, 2004] ۸

شکل (۲-۲) عوامل مؤثر بر تراکم مخلوطهای آسفالتی[مقدس نژاد و همکاران،۱۳۸٦] ۹

شکل (۲-۳) انواع شیارافتادگی، تحکیمی، ناپایداری، ساختاری [CANADA INFRAGUIDE, 2003] ۱۳

شکل (۲-٤) ترک خوردگی لغزشی (موجی شدن) [NORUSIS, 2004] ۱۸

شکل (۲-٥) شرایط سطح تماس غلتک و روسازی [CANADA INFRAGUIDE, 2003] ۲۱

شکل (۲-٦) رابطه VMA و حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها[COREE, 2000] ۲۳

شکل (۲-۷) مفهوم معیارهای ارائه شده برای VMA توسط MCLEOD [COREE, 2000] ۲۳

شکل (۲-۸) انرژی فعالسازی روانی(E_f) برای انواع قیر[SALOMON;ZHAI, 2006] ۲۷

شکل (۲-۹) منحنیهای تراکم برای قیرهای مختلف[SALOMON;ZHAI, 2006] ۲۸

شکل (۲-۱۰) سیستم پیش بینی عملکرد سوپرپیو [فخری و همکاران،۱۳۸٦] ۳۱

شکل (۲-۱۱) عملکرد نسبی مخلوطهای آسفالتی گرم گوناگون [CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2006] ۳۲

شکل (۲-۱۲) رابطه FM_{300} و سطح مخصوص سنگدانه ها[CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2006] ۳۳

شکل (۲-۱۳) درصد ریزتر از ۷۵ میکرومتر و سطح مخصوص سنگدانه ها [CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2006] ۳۳

شکل (۲-۱٤) نتایج پیش بینی شیارافتادگی در پروژه های میدانی موردنظر از رابطه (۲-٤) [CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2006] ۳٤

شکل (۲-۱٥) رابطه شیارافتادگی مشاهده شده و پیش بینی شده از رابطه (۲-٤) [CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2005] ۳٥

شکل (۲-۱٦) نتایج پیش بینی مقاومت در برابر شیارافتادگی بر اساس مفهوم ضخامت غشاء ظاهری[CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2006] ۳٦

شکل (۲-۱۷) مقدار VMA ، قیر مؤثر و فضای خالی برای انواع مخلوطها [CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2005] ۳۸

شکل (۳-۱) پهنه بندی کشور از نظر آب و هوا [کاوسی و همکاران،۱۳۷۳] ٤۲

شکل (۳-۲) موقعیت مسیر محور مورد مطالعه ٤۳

شکل (۳-۳) نمونه برگه نتایج آزمایشگاهی و مشخصات فنی اعلام شده توسط کارخانه تولیدکننده قیراستفاده شده در پروژه ٤٤

شکل (۳-٤) تیپ مقطع عرضی مسیرمصالح مصرفی ٤٤

شکل (۳-٥) محدوده مجاز دانه بندی مصالح سنگی قشر رویه ی آسفالتی در پروژه جم-بندرطاهری بر اساس فرمول کارگاهی ٤٦

شکل (۳-٦) نمودار پراکندگی نمونه ها از لحاظ درصدفضای خالی و تراکم [مقدس نژاد و همکاران،۱۳۸٦] ٤۹

شکل (۳-۷) اندازه گیری شیارافتادگی مخلوط آسفالتی در محل پروژه و در نقاط دارای مشخصات کنترلی آسفالت و تراکم ٥۰

شکل (۳-۸) اندازه گیری عمق شیارافتادگی در سطح روسازی با استفاده از شمشه ی مستقیم (ASTM-E1703) ٥۱

شکل (٤-۱) پارامترهای مورد مطالعه در پژوهش ٥۷

شکل (٤-۲) جدول و گراف نشاندهنده شرایط نمونه ها از نظر درصدقیر ٦۰

شکل (٤-۳) نمودار پراکندگی نمونه ها از لحاظ درصدفضای خالی و تراکم ٦۱

شکل (٤-٤) نمودار پراکندگی نمونه ها از لحاظ درصدقیر و فضای خالی مصالح سنگی ٦۱

شکل (٤-٥) پراکندگی توزیع داده های پیش بینی شده توسط رابطه ی (۳-۱) و مقادیر مشاهده شده درصد تراکم ٦۳

شکل (٤-٦) رگرسیون جزئی متغیرهای مورداستفاده در ارتباط با متغیر وابسته «تراکم» ۷۲

شکل (٤-۷) قیرزدگی موضعی و عمده در سطح آسفالت محور مورد مطالعه ۷٤

شکل (٤-۸) فراوانی مشاهده سطوح مختلف قیرزدگی در سطح محور ۷٦

شکل (٥-۱) خلاصه فرایند عملیات انجام شده در تحقیق ۸۱

شکل (پ۱-۱) نمودار پراکنشی نتایج تراکم مشاهده شده در مقابل مقادیرپیش بینی شده پ۱-۳۱
شکل (پ۱-۲) نمودار هیستوگرام خطاها.....پ۱-۳٤
شکل (پ۱-۳) نمودار خط نرمال خطاها (نمودارP-P).....پ۱-۳٤
شکل (پ۱-٤) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «دانسیته در محل» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-۳۵
شکل (پ۱-۵) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «درصد قیر» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-۳۵
شکل (پ۱-٦) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «فضای خالی» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-۳۵
شکل (پ۱-۷) نمودار هیستوگرام خطاها.....پ۱-٤۲
شکل (پ۱-۸) نمودار خط نرمال خطاها (نمودارP-P).....پ۱-٤۲
شکل (پ۱-۹) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «دانسیته در محل» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-٤۲
شکل (پ۱-۱۰) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «درصد فضای خالی مصالح سنگی» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-٤۳
شکل (پ۱-۱۱) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «درصد فضای خالی پرشده با قیر» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-٤۳
شکل (پ۱-۱۲) نمودار پراکنش رگرسیون جزئی متغیر «درصد عبوری از الک ۷۵ میکرن» در برابر متغیر وابسته «تراکم».....پ۱-٤۳
شکل (پ۲-۱) روش طرح اختلاط برای مناطق گرمسیر و با آمد و شد سنگین کشور [فخری و همکاران،۱۳۸٤].....پ۲-٤
شکل (پ۲-۲) وقوع تغییر شکل پلاستیک در قشر رویه آسفالتی مناطق گرمسیر[ORN-19, 2002].....پ۲-٦
شکل (پ۲-۳) دانه بندی مخلوط SMA و آسفالتی گرم مورد مطالعه [ASI, 2005].....پ۲-۱۲
شکل (پ۲-٤) منحنی های خستگی برای مخلوطهای SMA و آسفالتی گرم در دماهای مختلف [ASI, 2005].....پ۲-۱۳
شکل (پ۲-۵) منحنی های شیارافتادگی جای چرخ برای مخلوطهای SMA و آسفالتی گرم [ASI, 2005].....پ۲-۱٤
شکل (پ۲-٦) تأثیر نوع پلیمرهای مورد استفاده، بر انرژی فعالسازی روانی قیر (E_F) [SALOMON;ZHAI, 2006].....پ۲-۱۸
شکل (پ۲-۷) تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر مقدار فضای خالی، استحکام، روانی و وزن مخصوص [TAPKIN, 2007].....پ۲-۲۱
شکل (پ۲-۸) تأثیر ترکیب خرده لاستیکی (CRM) بر$G^*/SIN\delta$ به عنوان شاخصی از حساسیت حرارتی [LEE;AKISETTY, 2007].....پ۲-۲٤
شکل (پ۲-۹) تغییرشکل های تجمعی تحت ۲۵۲۰ بارعبور چرخ در دمای ۲۵ و ٦۰ درجه سانتیگراد [SHEN, 2004].....پ۲-۲٦
شکل (پ۲-۱۰) نمای شماتیک مقایسه غلتکهای AMIR و غلتکهای فولادی معمول[ABD EL HALIM, 2006].....پ۲-۲۹
شکل (پ۲-۱۱) یک نمونه غلتک چندمرحله ای HIPAC [ENSCHEDE, 2004].....پ۲-۳۰
شکل (پ۲-۱۲) مکانیزم مولدهای حرکت در غلتکها: دورانی، خطی، لرزشی، دورانی-لرزشی[SOUTHWELL, 2007].....پ۲-۳۱
شکل (پ۳-۱) کرنش کلی در یک چرخه ی متداول خزش و بازگشت[GARBA;HORVLI, 2006].....پ۳-۲
شکل (پ۳-۲) رابطه کرنشهای برشی و حجمی با سطوح گسیختگی در فضای P-Q [GARBA;HORVLI, 2006].....پ۳-۵
شکل (پ۳-۳) مفهوم شاخص مقاومت در برابر شیارافتادگی[GARBA;HORVLI, 2006].....پ۳-٦
شکل (پ۳-٤) رابطه شاخص مقاومت در برابر شیارافتادگی و دما (راست: دمای ۲۵ و چپ ^{o}C ۵۰)[GARBA;HORVLI, 2006].....پ۳-٦
شکل (پ۳-۵) دستگاه اصلاح شده NAT برای ارزیابی مقاومت در برابر شیارافتادگی آسفالت[GARBA;HORVLI, 2006].....پ۳-۷
شکل (پ۳-٦) نمونه مدل اجزاء محدود برای آزمایشهای سه محوری، مارشال و کشش غیرمستقیم [FWA,1995 ; ASTM STP 1265].....پ۳-۱۰
شکل (پ۳-۷) توزیع تنشها در سطح (z/a=1)، برای یک فضای نیمه بی نهایت [TAYEBALI, 2004].....پ۳-۱۱
شکل (پ۳-۸) نمایش سه بعدی برایند تنشهای برشی در سطح تماس [TAYEBALI, 2004].....پ۳-۱۲
شکل (پ۳-۹) تاثیر دما بر تراکم پذیری [مقدس نژاد و همکاران،۱۳۸٦].....پ۳-۱۳
شکل (پ۳-۱۰) تأثیر دمای سطحی بر شیارافتادگی و خستگی [GILLESPIE , NCHRP REP-353].....پ۳-۱۳
شکل (پ۳-۱۱) رویکرد تحلیلی ارزیابی خرابی روسازیها [GILLESPIE , NCHRP REP-353, 1993].....پ۳-۱٤
شکل (پ۳-۱۲) خستگی و شیارافتادگی نسبی روسازی برای محدوده ای از انواع کامیون [GILLESPIE , 1993].....پ۳-۱٦
شکل (پ۳-۱۳) عمق شیارافتادگی و خستگی وارده به روسازیها با ضخامتهای مختلف قشر رویه [NCHRP REP-353, 1993].....پ۳-۱۸

شکل (پ۳-۱٤) پارامترهای ابعادی در مدل شبیه سازی فواصل بین ذره ای [GOPALAKRISHNAN;SHASHIDHAR, 2006].....پ۳-۲۰
شکل (پ۳-۱۵) همبستگی نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی شده مخلوط تراکم یافته[GOPALAKRISHNAN;SHASHIDHAR, 2006] پ۳-۲۰
شکل (پ۳-۱٦) دستگاه APAدر حال انجام آزمایش شیارافتادگی روی نمونه ها [MAUPIN;MOKAREM, 2007] پ۳-۲۳
شکل (پ۳-۱۷) طرزکار دستگاه تحلیلگر روسازی آسفالتی APA [PATINO, 2005].....پ۳-۲۳
شکل (پ۳-۱۸) نمایش ترکیب میله اندازه گیری شیارافتادگی در روشهای سه و پنج نقطه ای[FHWA-RD-01-027, 2001].....پ۳-۲٤
شکل (پ۳-۱۹) عمق شیارافتادگی اندازه گیری شده به روش خط فرضی[FHWA-RD-01-027, 2001] پ۳-۲۵
شکل (پ۳-۲۰) سناریوهای محاسبه عمق شیارافتادگی در بهترین و بدترین حالت اندازه گیری[FHWA-RD-01-027, 2001].....پ۳-۲۵
شکل (پ۳-۲۱) مقایسه نتایج روشهای اندازه گیری عمق میانگین شیارافتادگی شده [FHWA-RD-01-027, 2001] پ۳-۲۵
شکل (پ۳-۲۲) نمایی از ماشین تحلیلگر خودکار راه (ARAN) [PATINO, 2005] پ۳-۲٦
شکل (پ۳-۲۳) تجهیزات دوربین پویشگر خطی مسیر [WANG, 2007].....پ۳-۲۷
شکل (پ۳-۲٤) نمای خارجی از ماشین جمع آوری داده های دیجیتالی از راه (DHDV) [WANG, 2007].....پ۳-۲۷
شکل (پ۳-۲۵) ترکیب قرارگیری و طرز کارحسگرهای لیزری [WANG, 2007].....پ۳-۲۸
شکل (پ۳-۲٦) نمایی از تیر سنجشگر نیمرخ عرضی TPB و چرخ اندازه گیری آن[BENNETT, 2002] پ۳-۲۸
شکل (پ۳-۲۷) دستگاه های هسته ای مخصوص اندازه گیری چگالی روسازی[PADLO, 2005].....پ۳-۳۰

فهرست جداول

جدول (۲-۱) بررسی میدانی شیارافتادگی در روسازی واقع در یک منطقه پرتنش [KANDHAL ET AL, 1998] ۲۵

جدول (۲-۲) رابطه بین E_r و طبقه بندی از نظر روانی و تراکم مورد نیاز [SALOMON;ZHAI, 2006] ۲۸

جدول (۲-۳) مشخصات سنگدانه ها در یک پروژه بررسی تغییر شکلهای دایمی [KANDHAL ET AL, 1998] ۳۰

جدول (۲-٤) حداقل الزامات ریزی سنگدانه ها برای مقاومت در برابر شیار افتادگی و ...[CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2005] ۳۷

جدول (۲-۵) مقادیر حداقل VMA و VBE پیشنهاد شده برای آسفالت با دانه بندی توپر[CHRISTENSEN;BONAQUIST, 2005] ۳۹

جدول (۳-۱) تفکیک شهرهای کشور در نواحی نه گانه ی آب و هوایی [کاوسی و همکاران،۱۳۷۳] ٤۲

جدول (۳-۲) ضوابط مجاز مشخصات سنگدانه‌های بتن آسفالتی در پروژه مورد بررسی [مطابق نشریات ۱۰۱ و۲۳٤] ٤۵

جدول (۳-۳) محدوده مجاز دانه بندی قشر رویه آسفالتی در پروژه مورد بررسی [مطابق نشریات ۱۰۱ و۲۳٤] ٤۵

جدول (۳-٤) میزان کل ترافیک برآورد شده محور جم – بندر طاهری ٤٦

جدول (۳-۵) درصد رشد ترافیک برای هر دسته از وسایل نقلیه ٤۷

جدول (۳-٦) محاسبه تعداد کل هم‌ارز محور ساده ۸/۲ تنی هر دو سمت مسیر جم – بندر طاهری در طول عمر طرح ٤۷

جدول (۳-۷) ضرایب ثابت رگرسیون غیرخطی بدست آمده برای مناطق مختلف آب و هوایی کشور[مقدس نژاد و همکاران،۱۳۸٦] ٤۸

جدول (۳-۸) حداقل و حداکثر درجه حرارت و شرایط رطوبت پروژه[کاوسی و همکاران،۱۳۷۳] ٤۹

جدول (۳-۹) مشخصات قیر مورد استفاده در پروژه و مقایسه با مشخصات اسمی اعلام شده کارخانه [پالایشگاه شیراز] ۵۲

جدول (۳-۱۰) راهنمای انتخاب قیرهای خالص [مشخصات فنی عمومی راه، نشریه ۱۰۱] ۵۳

جدول (۳-۱۱) متغیرهای پیشنهادی برای بررسی تأثیر ریزدانه در مخلوط ۵۵

جدول (۳-۱۲) ضوابط مربوط به مشخصات فیزیکی و مقاومتی [مشخصات فنی عمومی راه، نشریه ۱۰۱] ۵٦

جدول (٤-۱) شرایط دمای هوا در هنگام تهیه نمونه های آزمایشگاهی ٦۲

جدول (٤-۲) مقایسه نتایج ضرایب رگرسیون پروژه جم-طاهری و فرودگاه عسلویه با استفاده از رابطه (۳-۱) ٦٤

جدول (٤-۳) ضرایب همبستگی ارائه شده در مدل حاصل از نتایج داده های محور فرودگاه [مقدس نژاد وهمکاران،۱۳۸٦] ٦۵

جدول (٤-٤) ضرایب همبستگی در مدل حاصل از نتایج داده های پروژه جم-بندرطاهری ٦٦

جدول (٤-۵) بررسی همبستگی جزئی متغیرهای درصد فضای خالی پرشده با قیر و تراکم با فرض درصد قیر به عنوان متغیر کنترل ٦۷

جدول (٤-٦) بررسی همبستگی میان پارامترهای مرتبط با دانه بندی و تراکم ٦۹

جدول (٤-۷) شرایط همبستگی متغیرها در صورت صرفنظر از متغیر «دانسیته در محل» ۷۰

جدول (٤-۸) ضرایب همبستگی جزئی دو و سه متغیره بین پارامترها ۷۱

جدول (٤-۹) نتایج رگرسیون معادله اصلاح شده برای مدل تراکم مخلوط آسفالتی ۷۱

جدول (پ۱-۱) نتایج آزمایشگاه قیر و آسفالت نمونه ها پ۱-۲

جدول (پ۱-۲) نتایج پارامترهای مربوط به دانه بندی پ۱-۵

جدول (پ۱-۳) نتایج تراکم نمونه های آسفالتی پ۱-۸

جدول (پ۱-٤) نتایج اندازه گیری و مشاهدات محلی پ۱-۱۱

جدول (پ۱-۵) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد قیر پ۱-۱٤

جدول (پ۱-٦) مشخصات آماری داده های مربوط به ضخامت رویه آسفالتی (cm) پ۱-۱۵

جدول (پ۱-۷) مشخصات آماری داده های مربوط به دانسیته آسفالت (g/cm^3) پ۱-۱۶
جدول (پ۱-۸) مشخصات آماری داده های مربوط به دانسیته نمونه مارشال (g/cm^3) پ۱-۱۷
جدول (پ۱-۹) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد تراکم پ۱-۱۸
جدول (پ۱-۱۰) مشخصات آماری داده های مربوط به استحکام (Kg) پ۱-۱۹
جدول (پ۱-۱۱) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد فضای خالی پ۱-۲۰
جدول (پ۱-۱۲) مشخصات آماری داده های مربوط به نرمی (mm) پ۱-۲۱
جدول (پ۱-۱۳) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد فضای خالی مصالح سنگی (VMA) پ۱-۲۲
جدول (پ۱-۱٤) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد شکستگی سنگدانه ها پ۱-۲۳
جدول (پ۱-۱۵) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد فضای خالی پرشده با قیر (VFB) پ۱-۲٤
جدول (پ۱-۱٦) مشخصات آماری داده های مربوط به وزن مخصوص سنگدانه ها پ۱-۲۵
جدول (پ۱-۱۷) مشخصات آماری داده های مربوط به شیارافتادگی اندازه گیری شده در محل (mm) پ۱-۲٦
جدول (پ۱-۱۸) مشخصات آماری داده های مربوط به درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ (P75) پ۱-۲۷
جدول (پ۱-۱۹) مشخصات آماری داده های مربوط به پارامتر FM_{300} پ۱-۲۸
جدول (پ۱-۲۰) مشخصات آماری داده های مربوط به دمای سطح جاده (درجه سانتیگراد) پ۱-۲۹
جدول (پ۱-۲۱) مشخصات آماری داده های مربوط به دمای هوا (درجه سانتیگراد) پ۱-۳۰
جدول (پ۱-۲۲) همبستگی نتایج تراکم مشاهده و پیش بینی شده پ۱-۳۱
جدول (پ۱-۲۳) آماره های توصیفی متغیر «تراکم مخلوط آسفالتی» پ۱-۳۲
جدول (پ۱-۲٤) نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای متغیر «تراکم مخلوط آسفالتی» پ۱-۳۲
جدول (پ۱-۲۵) وضعیت کلی مدل پ۱-۳۳
جدول (پ۱-۲٦) نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) پ۱-۳۳
جدول (پ۱-۲۷) ضرایب مدل پ۱-۳۳
جدول (پ۱-۲۸) آماره های مربوط به مانده ها پ۱-۳۳
جدول (پ۱-۲۹) بررسی همبستگی جزئی متغیرهای درصد فضای خالی پرشده با قیر و تراکم با فرض درصد قیر به عنوان متغیر کنترل پ۱-۳٦
جدول (پ۱-۳۰) بررسی همبستگی میان پارامترهای مرتبط با دانه بندی و تراکم پ۱-۳٦
جدول (پ۱-۳۱) بررسی همبستگی متغیرهای مدل تراکم (به جز متغیر دانسیته آسفالت جاده) پ۱-۳۷
جدول (پ۱-۳۲) بررسی همبستگی جزئی میان متغیرها و تراکم (با یک متغیر کنترل) پ۱-۳۸
جدول (پ۱-۳۳) بررسی همبستگی جزئی میان متغیرها و تراکم (با دو متغیر کنترل) پ۱-٤۰
جدول (پ۱-۳٤) وضعیت کلی مدل پ۱-٤۱
جدول (پ۱-۳۵) نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) پ۱-٤۱
جدول (پ۱-۳٦) ضرایب مدل پ۱-٤۱
جدول (پ۱-۳۷) آماره های توصیفی متغیر « شیارافتادگی جای چرخ » پ۱-٤٤
جدول (پ۱-۳۸) نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای متغیر « شیارافتادگی جای چرخ » پ۱-٤٤
جدول (پ۱-۳۹) وضعیت کلی مدل پ۱-٤۵
جدول (پ۱-٤۰) نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) پ۱-٤۵
جدول (پ۱-٤۱) ضرایب مدل پ۱-٤۵
جدول (پ۱-٤۲) همبستگی ها پ۱-٤۵
جدول (پ۱-٤۳) وضعیت کلی مدل پ۱-٤٦

جدول (پ۱-٤٤) نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) پ۱-٤٦
جدول (پ۱-٤٥) ضرایب مدل پ۱-٤٦
جدول (پ۱-٤٦) متغیرهای کنارگذاشته شده پ۱-٤٦
جدول (پ۱-٤٧) همبستگی ها پ۱-٤٧
جدول (پ۲-۱) مقایسه مشخصات فنی قیرهای خالص طبق نشریه ۱۰۱ ایران و روش مؤسسه تحقیقات راه (ORN19) پ۲-۷
جدول (پ۲-۲) مشخصات توصیه شده برای مخلوطهای SMA توسط TWG [ASI, 2005] پ۲-۱۱
جدول (پ۲-۳) خلاصه نتایج طرح به روش مارشال برای مخلوط SMA دارای افزودنی های پلیمری مختلف [TAYFUR, 2005] پ۲-۱٦
جدول (پ۲-٤) مشخصات فیزیکی استاندارد برای الیاف پلی پروپیلن برای آسفالت با عملکرد بالا [TAPKIN, 2007] پ۲-۲۲
جدول (پ۲-٥) مشخصات مخلوطها در مقدار قیر بهینه شان [SHEN, 2004] پ۲-۲٥
جدول (پ۳-۱) نوع و هدف آزمایشهای قیر بر اساس توصیه SHRP [فخری و همکاران، ۱۳۸٤] پ۳-۲۱

فصل اول

معرفی و رویکرد پژوهش

۱-۱. مقدمه

صنعت آسفالت امروزه به تجارتی بزرگ و چندین میلیارد دلاری در سطح دنیا تبدیل شده، به پیشرفتهای فنی عمده‌ای دست یافته است. با وجود پیشرفتهای قابل‌ملاحظه‌ای که در تکنولوژی آسفالت به‌دست آمده است، در طرح و ساخت روسازیهای آسفالتی که به اندازه کافی بادوام و از نظر هزینه به صرفه باشند، هنوز مشکلاتی جدی وجود دارد. این موضوع با توجه به نیاز روزافزون به ترمیم خرابی‌های روسازی‌های موجود و ساخت راههای جدید اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

صنعت روسازی در جستجوی راه حلی مؤثر برای رفع عیوب روسازی، هزینه و زمان قابل توجهی را صرف تحقیقات بر روی بهبود مخلوطهای فعلی، تولید و توسعه قیرها و مصالح جدید وکاربردهای نوین آنها نموده است. درحالی که بیشتر این راه حلها درصدد بهبود مشخصات مصالح آسفالتی بر اساس رفتار آزمایشگاهی آنها هستند، عملکرد واقعی بسیاری از آنها پایین‌تر از حد انتظار بود[Abd El Halim, 2006].

در کشور ایران حمل و نقل زمینی مسؤولیت جابجایی حجم قابل توجهی از کالا و مسافر را به عهده دارد. با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران، بخش قابل توجهی از راههای کشور، در نواحی گرمسیر اجرا می‌شوند. در این مناطق، ضروری است با توجه به تأثیر شرایط خاص آب و هوایی بر روی عملکرد روسازی، توجه ویژه‌ای به شرایط طراحی و اجرایی مبذول گردد [عامری و همکاران، ۱۳۸۵].

از اوایل دهه ۳۰ میلادی تعدادی از خرابیهای اشاره شده، مورد توجه قرار گرفت و طی مطالعات میدانی، تلاشهایی برای ارائه راه‌حلهایی برای رفع آنها صورت گرفت. توجه به این مشکلات و توسعه‌ی راه حلهای بهتر، منجر به ابتکارات مهمی که صنعت آسفالت امروز را شکل داده اند، شده است. با وجود تلاشهای گسترده صورت گرفته، هنوز راه‌حلهای فنی و اقتصادی بهتری قابل دستیابی است [Abd El Halim, 2006]. با توجه به این‌که بسیاری خرابیهای به وقوع پیوسته در روسازیهای آسفالتی، ناشی از درک نادرست یا مشکلات اجرایی مرتبط با تراکم و پارامترهای مرتبط با آن می‌باشد، تلاش بر این است که تأثیرات متقابل تراکم و عملکرد روسازی به‌ویژه در مناطق گرمسیر، مورد بحث قرار گیرد.

۱-۲. مروری بر مطالعات پیشین

همانطور که در فصل دوم شرح داده خواهد شد، طراحی و ارزیابی مخلوطهای بتن آسفالتی بر اساس مؤلفه‌های مرتبط با تراکم آسفالتی از حدود پنجاه سال پیش مورد توجه قرار گرفته و پیشرفتهای قابل توجهی داشته است. برنامه تحقیقاتی راهبردی راهها (شارپ[1]) یکی از پیشرفتهای کلیدی در این زمینه محسوب می‌شود. در این تحقیقات، مشخصات مصالح آسفالتی و عملکرد آنها تحت محدوده‌ی گسترده‌ای از شرایط در حال بهره برداری در نظر گرفته شده، از تراکم چرخشی[2] به عنوان ابزار اصلی آزمایشگاهی برای طرح مخلوطهای آسفالتی استفاده می‌شود. برخی دستاوردهای قابل توجه دیگر در این زمینه عبارتند از استفاده از مصالح پیشرفته نظیر شبکه‌های پلیمری غیرفلزی، قیرهای اصلاح شده پلیمری برای مسلح کردن لایه‌های آسفالتی و یا بهبود مقاومت کششی و برشی آنها، حرکت به سوی ضوابط مبتنی بر نتیجه نهائی و بر اساس عملکرد درازمدت و استفاده خلاقانه از مصالح جدید و... . در این راستا، راه‌حلهایی نظیر برنامه روسازی ممتاز (سوپرپیو[3])، علاوه بر بهبود عملکرد آسفالت، تاثیر آشکاری بر عملکرد کوتاه مدت و دراز مدت آن داشته است [Abd El Halim, 2006].

گرچه بیشتر این راه حلها، پتانسیل فنی و اقتصادی قابل ملاحظه‌ای داشته اند؛ با این حال در صورت عدم توجه به علل اولیه زوال روسازیهای آسفالتی، چندان دور از انتظار نیست که تأثیر این ابتکار عمل و پیشرفتهای فنی، بطور قابل توجهی کاهش یابد. به همین دلیل ضوابط خاصی برای روسازی در مناطق دارای شرایط پرتنش و خاص نظیر مناطق گرمسیر طرح شده اند. همچنین، اخیراً تلاشهای وسیعی در قالب پروژه‌های آزمایشگاهی- میدانی برای درک واقعی‌تر رفتار بتن آسفالتی و بویژه مشخصه‌های حجمی ناشی از تراکم آسفالت صورت گرفته است که در فصل سوم به آنها پرداخته شده است [Christensen;Bonaquist, 2006],[Enschede, 2004].

۱-۳. تعریف مسأله

روسازیهای آسفالتی، گذشته از مواردی که از ضعف در طراحی و اجرا سرچشمه می‌گیرند، مشکلاتی نظیر تغییرشکلهای دایمی آسفالت شامل ناهمواری سطح روسازی، تغییرشکلهای دایمی شیارافتادگی مسیر چرخ، موجی شدن و دیگر خرابیهای رایج نظیر انواع ترکهای ناشی از خستگی، قیرزدگی، ترکهای حین اجرا، عرضی، طولی و... را تجربه می‌کنند. رفع این مشکلات، بویژه در روسازی‌های آسفالتی اجرا شده در مناطق گرمسیر، مستلزم توجه به شرایط خاص طراحی، توجه به مشخصه‌های حجمی مخلوط آسفالتی؛ که بخش عمده‌ای از آنها با عملیات تراکم شکل می‌گیرند، و نیز شرایط آب و هوایی که روسازی در طول عمر خود تجربه می‌کند، می‌باشد. از این رو، در این پژوهش سعی بر آن است تا ضمن بررسی خرابی‌های محتمل و رفتار مخلوطهای آسفالتی در این مناطق، تأثیر پارامترهای مختلف تأثیرگذار در تراکم مخلوط آسفالتی به‌ویژه در ارتباط با عملکرد روسازی آسفالتی پیش‌بینی شود.

[1] Strategic Highway Research Program (SHRP)
[2] Gyratory Compaction
[3] Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement)

۱-٤. ضرورت انجام تحقیق

رویکردهای نوین طرح، کنترل و اجرای روسازیهای آسفالتی، اخیراً در سراسر دنیا، «عملکرد» آسفالت در شرایط خاص آب و هوایی و ترافیکی حین بهره برداری را مورد توجه قرار داده‌اند. عدم توجه به این عوامل و اصرار بر روشهایی که در طول سالهای متمادی با بروز انواع خرابی (مانند تغییرشکل‌های دایمی، ترکهای خستگی و ترک خوردگی در شرایط آب و هوایی خاص)، باعث بروز مشکلاتی در دوام و عملکرد مخلوطهای آسفالتی شده اند، خطایی است که علاوه بر هزینه‌های آشکار مرمت و بازسازی، تهدیدی پنهان برای ایمنی و راحتی کاربران راهها نیز محسوب می‌شود. به همین خاطر، کارشناسان و مسؤولین راهبری صنعت حمل و نقل کشور نیز لزوم توجه هرچه جدی و عمیق‌تر به این موضوع را مدنظر قرار داده اند و امروزه طرحهای پژوهشی متعدد با موضوعهای مرتبط با بهینه سازی روشهای فعلی طراحی، کنترل و اجرای روسازی؛ با تکیه بر «ویژگیهای عملکردی مخلوطهای آسفالتی» اجرا شده یا می‌شوند.

به تعبیر اساتید فن روسازی در سراسر دنیا، از مقوله «تراکمِ» مخلوط آسفالتی بارها به عنوان «تعیین کننده ترین مرحله ساخت روسازی» و «عامل بسیار مؤثر بر عملکرد ساختار روسازی» یاد شده است. چرا که اندرکنش ساختاری سه جزء اصلی مخلوط آسفالتی یعنی قیر، مصالح‌سنگی و فیلر؛ طی فرآیند «تراکم» انسجام می‌یابد و روسازی عملاً شکل می-گیرد[Enschede, 2004].

از طرفی، از مدتها پیش تأثیر پارامترهای حجمی و سایر عوامل مرتبط با تراکم، در مسایل عملکردی روسازی مورد توجه قرار گرفته است. مشخصه‌های تعیین کننده عملکرد روسازی در برابر بارهای مکرّر وارد شونده چرخهای وسایل نقلیه سنگین، بویژه در شرایط آب و هوای گرم، به شدت تحت تأثیر پارامترهایی است که مخلوط آسفالتی از فرآیند تراکم کسب می‌کند. در نتیجه ضرورت دارد «تراکم»، به عنوان عاملی کلیدی در حصول دوام و مقاومت مخلوطهای آسفالتی در شرایط آب و هوای گرمسیری، مورد بررسی قرارگردد. این موضوع، به ویژه برای کشوری که بخش قابل توجهی از راههای آن در مناطق گرمسیر قرار دارد، اهمیت بیشتری دارد.

۱-۵. اهداف و کاربردهای تحقیق

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آن دسته از پارامترهایی که مستقیماً با تراکم مخلوط آسفالتی شکل می‌گیرند؛ نظیر فضای خالی مخلوط آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی، درصد فضای خالی پرشده با قیر و دانسیته، بر عملکرد آسفالت؛ و نیز تأثیرپذیری تراکم از مشخصات، دانه بندی و ریزدانگی سنگدانه ها، نوع و مقدار قیر و... انجام شده است. به عبارتی تأثیر تراکم بر ویژگیهای عملکردی آسفالت، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی و توسعه پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه‌ی تحلیل عملکرد مخلوطهای آسفالتی و مدلهای طراحی شده بدین منظور در سطح دنیا، می‌تواند برای شرایط خاص آب و هوایی و مصالح قیری و سنگدانه‌ای به کار رفته در کشور مورد توجه قرار گیرد. به علاوه؛ شناخت حاصل از عوامل تأثیرگذار و مبانی بنیادی «تراکم» که عاملی کلیدی در عملکرد آسفالت، محسوب می‌شود، می‌تواند راهگشای دست