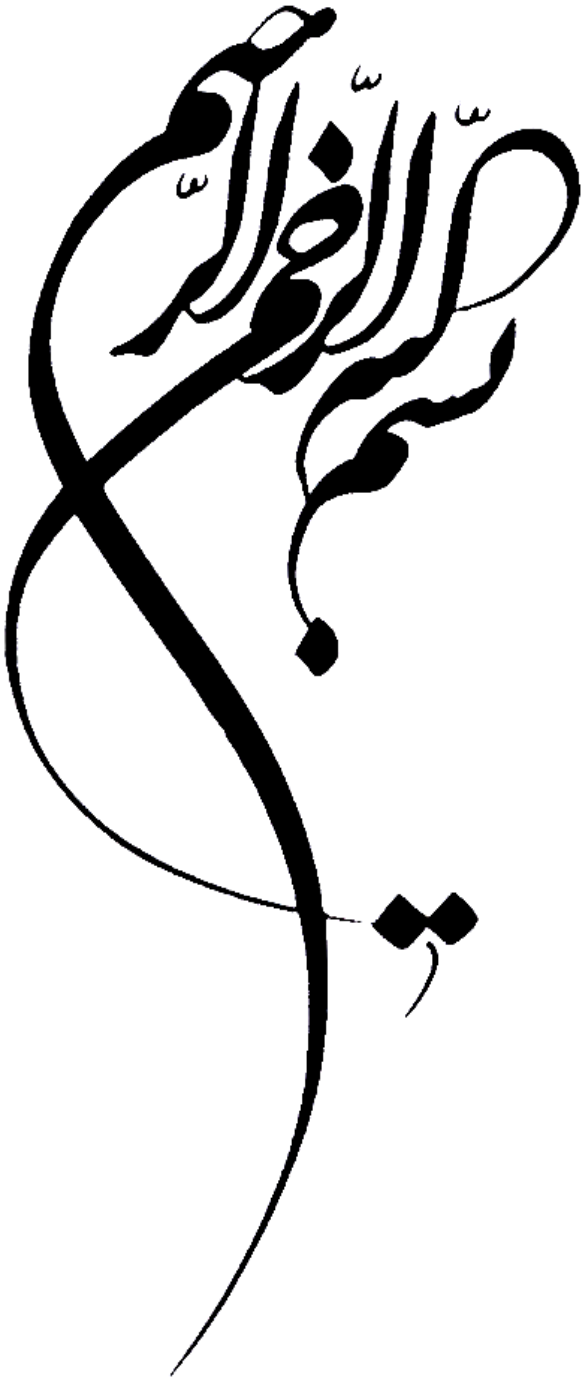

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران(M.Sc)

گرایش : راه و ترابری

عنوان :

مقایسه عملکرد آسفالت تازه و آسفالت فرسوده

استاد راهنما :

دکتر حسین قاسم زاده طهرانی

استاد مشاور :

دکتر جواد سوداگری

نگارش :

سید شهاب الدین حسینی

بهار ۱۳۹۳

معاونت پژوهش وفن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان واعتقاد به این که عالم محضرخداست وهمواره ناظر براعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه دراعتلای فرهنگ وتمدن بشری ، مادانشجویان واعضاء هیأت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را درانجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرارداده وازآن تخطی نکنیم :

۱- **اصل حقیقت جویی : تلاش درراستای پی جویی حقیقت و و فاداری به آن ودوری ازهرگونه پنهان سازی حقیقت.**

۲- **اصل رعایت حقوق : التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان ، حیوان ونبات) وسایرصاحبان حق .**

۳- **اصل مالکیت مادی ومعنوی : تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.**

۴- **اصل منافع ملی : تعهد به رعایت مصالح ملی و درنظر داشتن پیشبرد وتوسعه کشور درکلیه مراحل پژوهش.**

۵- **اصل رعایت انصاف وامانت : تعهد به اجتناب ازهرگونه جانبداری غیرعلمی وحفاظت ازاموال ، تجهیزات ومنابع دراختیار.**

۶- **اصل راز داری : تعهد به صیانت ازاسرار واطلاعات محرمانه افراد ، سازمان ها وکشوروکلیه افراد ونهادهای مرتبط با تحقیق .**

۷- **اصل احترام : تعهد به رعایت حریم ها وحرمت ها درانجام تحقیقات ورعایت جانب نقد وخودداری ازهرگونه حرمت شکنی .**

۸- **اصل ترویج : تعهد به رواج دانش واشاعه نتایج تحقیقات وانتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر ازمواردی که منع قانونی دارد .**

۹- **اصل برائت : التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای واعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم وپژوهش ر ابه شائبه های غیرعلمی می آلایند .**

تقدیم به

پدر
مادر
و همسر عزیزم

که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل همواره همراه و مشوق من بوده‌اند.

سپاسگزاری

با عنایت خداوند بزرگ، پس از زحمات یک ساله، این پایان نامه با تجربیات فراوان برای اینجانب، گردآوری شد. به طور یقین زحمات، دلسوزی‌ها، شکیبایی و راهنمایی‌های استاد گرامی جناب آقای دکتر قاسم زاده طهرانی در به ثمر رسیدن این پایان نامه نقش بسیار موثر داشته و لازم می‌دانم مراتب قدردانی و تشکر از ایشان را اعلام نمایم. جناب دکتر قاسم زاده، از این که در این مسیر، قدم به قدم و با صبوری خاصی بنده را همراهی نمودید و اطلاعات و تجربیات چندین ساله خود را در اختیار بنده قرار دادید، که اکنون در مراحل پایانی مقطع کارشناسی ارشد در قالب این پروژه، سطح علمی بالایی را کسب نمایم، از شما بسیار سپاسگزارم.

همچنین از زحمات و راهنمایی‌های استاد محترم جناب آقای دکتر جواد سوداگری کمال تشکر را دارم.

همکاری و همراهی دوستان عزیز، مهندس احسان صالحی مقدم، مهندس حامد ذوالفقاری، مهندس مسعود خدابخشی و آقای حسن محمدی نیز از پشتوانه‌های بزرگ و قابل قدردانی بوده است.

همچنین از برادر عزیزم جناب مهندس سید فرزاد حسینی تشکر ویژه‌ای دارم، که تجهیزات کارگاهی خود را جهت پیشرفت فعالیت میدانی این پروژه، در اختیار اینجانب قرار دادند.

و تشکر ویژه از مهندس اشراقی(معاون راهداری اداره راه شهرستان شاهرود) و مهندس کاظمی(ریاست محترم اداره راه میامی) که با وجود مشغله کاری فراوان، با صبر و حوصله تمام در جهت پیشرفت بیشتر این تحقیق، همکاری بسیاری نمودند و اطلاعات ارزشمند خود را در اختیار بنده قرار دادند.

بی شک بدون راهنمایی‌ها و همکاری عزیزان یاد شده، این پایان نامه مسیر سخت و ناهمواری را می-پیمود.

دانشگاه آزاد اسلامی
پردیس تحصیلات تکمیلی علوم و تحقیقات شاهرود

تعهد نامه اصالت پایان‌نامه

اینجانب سید شهاب الدین حسینی دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته عمران- راه که در تاریخ ۱۳۹۳/٤/٥ از پایان نامه خود تحت عنوان مقایسه عملکرد آسفالت تازه و آسفالت فرسوده با کسب نمره ۱۷.۳۳ و درجه خوب دفاع نموده ام بدینوسیله متعهد می‌شوم :

۱) **این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ....) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آنرا در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده‌ام.**

۲) **این پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.**

۳) **چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد، مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.**

٤) **چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می‌پذیرم و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.**

نام و نام خانوادگی:
سید شهاب الدین حسینی
تاریخ و امضاء:

چکیده:
اجزا قیر در اثر گذشت زمان، اکسیداسیون، حرارت و اشعه ماورا بنفش خورشید به زنجیره‌های مولکولی بزرگتر تبدیل می‌شوند(پلیمریزاسیون) و لذا نسبت آسفالتین در قیر بیشتر می‌شود، که به این فرآیند پیرشدگی یا فرسودگی قیر(Asphalt Aging) می‌گویند. با توجه به این‌که عمر بهره‌برداری آسفالت، تحت اثر توام عوامل جوی و بارگذاری ترافیکی می‌باشد، بنابراین باید خواص مکانیکی آسفالت با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد، تا بتوان به کمک نتایج حاصله برای هر حجم ترافیک و در هر شرایط جوی، آسفالتی با مشخصات دلخواه و مناسب شرایط منطقه با عمر بهره‌برداری بالا وجود داشته باشد.در این تحقیق، ابتدا با شناخت پدیده فرسودگی، عواملی که در سرعت و شدت این فرآیند موثر هستند معرفی شده و سپس تحلیل دقیقی از اثر فرسودگی بر رفتار و عملکرد قیر ارائه شده است. در انتها نیز اثر فرسودگی بر عملکرد آسفالت در بلند مدت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا بتوان با تهیه اطلاعات دقیق‌تر از خواص قیر و آسفالت و عوامل تاثیرگذار بر آن‌ها، راهکارهای اساسی و عملی در جهت بهبود کیفیت آسفالت در سطح روسازی‌های کشور پیشنهاد داد. در این خصوص سعی بر این است تفاوت عملکرد و رفتار روسازی در سطح رویه و در قسمت‌های زیرین لایه آسفالت را با متغیرهای مختلف، از جمله مقاومت خمشی، انرژی شکست، تنش کششی و ... مورد مقایسه و آنالیز قرار گیرد. در نهایت آزمون مناسبی برای صفحات نازک آسفالتی، با ارائه مدلی معتبر از نتایج آن، معرفی می‌گردد. در این خصوص با بررسی امکانات آزمایشگاهی موجود، آزمایش بارگذاری خمشی روی نمونه مکعبی(یک سانتیمتری) آسفالت ۱۰ساله، از محورهای اطراف شهرستان شاهرود، پایه اصلی این تحقیق قرار گرفت. با تحقیقات قبلی، این موضوع نتیجه شده است که آسفالتی با عمر حدود ۱۰ سال، آسفالتی است که دچار پیرشدگی دراز مدت شده و کاملا فرسوده می‌باشد. با توجه به آنالیز و مقایسه نتایج آزمون بارگذاری خمشی و اثبات تفاوت پارامترهایی مانند انرژی شکست، مقاومت خمشی و تنش کششی در لایه رویه و زیرین آسفالت، در نهایت تفاوت عملکرد لایه سطحی و انتهایی آسفالت در برابر پدیده فرسودگی دراز مدت اثبات شده است. همچنین مقایسه نتایج نشان می‌دهد که رفتار لایه زیرین آسفالت دهساله، تقریبا مشابه رفتار آسفالت تازه‌ای می‌باشد که دچار فرسودگی کوتاه مدت بوده است. که این مهم، اثر کمتر فرسودگی در عمق لایه آسفالتی را اثبات می‌نماید. در پایان، سه مدل معتبر برای نتایج آزمون بارگذاری خمشی بر صفحات نازک آسفالتی ارائه گردید، که توسط آن‌ها می‌توان مشخصاتی مانند انرژی شکست، مقاومت خمشی و تنش کششی آسفالت تازه را پس از فرسودگی دراز مدت (ده سال) تخمین زد. همچنین آزمون بارگذاری خمشی، آزمونی مناسب با نتایج منطقی برای تخمین رفتار صفحات نازک آسفالتی در برابر پدیده فرسودگی دراز مدت معرفی می‌گردد.
کلمات کلیدی:قیر- فرسودگی- عملکرد آسفالت- اکسیداسیون- بارگذاری خمشی- انرژی شکست

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول (کلیات تحقیق)

۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- انواع خرابی‌های راه‌ها و نقش آن‌ها در عملکرد راه ۴
۱-۲-۱- ترک خوردگی طولی و عرضی ۴
۱-۲-۲- ترک خوردگی بلوکی ۶
۱-۲-۳- ترک خوردگی انعکاسی درز ۶
۱-۲-۴- ترک خوردگی لغزشی ۷
۱-۲-۵- صیقلی شدن دانه‌ها ۷
۱-۳- خرابی‌های ناشی از فرسودگی، ارزیابی و تعمیرات آن‌ها ۷
۱-۳-۱- هوازدگی و دانه‌دانه شدن ۷
۱-۳-۲- ترک خوردگی پوست سوسماری ۸
۱-۴- روش‌های ترمیم و نگهداری ۹
۱-۴-۱- ترمیم و نگهداری پیشگیرانه ۹
۱-۴-۲- ترمیم و نگهداری فراگیر ۱۰
۱-۵- معرفی تحقیق (بیان مسئله، اهمیت و ضرورت تحقیق، اهداف و فرضیه‌ها) ۱۱

فصل دوم (مروری بر ادبیات تحقیق و پیشینه تحقیق)

۲-۱- مروری بر ادبیات تحقیق و پیشینه تحقیق ۱۴
۲-۱-۱- مطالعات مربوط به فرسودگی قیر ۱۴
۲-۱-۲- مطالعات مربوط به فرسودگی آسفالت ۱۵
۲-۲- تئوری تحقیق ۲۱
۲-۲-۱- قیر ۲۱
۲-۲-۲- انواع قیر و مواد چسبنده ۲۱
۲-۲-۳- ساختمان (اجزا) شیمیایی قیر ۲۴
۲-۲-۴- خواص مکانیکی و فیزیکی قیر ۲۴
۲-۲-۵- تعریف فرسودگی (پیرشدگی) قیر ۲۴
۲-۲-۵-۱- فرسودگی کوتاه مدت قیر ۲۵
۲-۲-۵-۲- فرسودگی دراز مدت قیر (پیری اکسیداتیو) ۲۷
۲-۲-۶- مراحل فرسودگی (پیرشدگی) قیر ۲۹
۲-۲-۷- عوامل موثر بر فرسودگی (پیرشدگی) قیر ۳۰
۲-۲-۸- راه‌کارهای کنترل و به تاخیر انداختن پدیده فرسودگی ۳۲
۲-۲-۹- روش های ارزیابی فرسودگی (پیرشدگی) قیر ۳۳
۲-۲-۹-۱- روش ACI ۳۳

۲-۲-۹-۲- آزمایش لعاب نازک دوار قیر (RTFOT) ۳۴
۲-۲-۹-۳- آزمایش محفظه تسریع پیری (PAV) ۳۶
۲-۲-۱۰- اثر فرسودگی بر خصوصیات قیر..... ۳۹
۲-۲-۱۰-۱- اثر فرسودگی بر خصوصیات شیمیایی قیر..... ۳۹
۲-۲-۱۰-۲- اثر فرسودگی بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی قیر..... ۴۱
۲-۲-۱۰-۲-۱- بررسی اثر فرسودگی بر ویسکوزیته قیر..... ۴۲
۲-۲-۱۰-۲-۲- بررسی اثر فرسودگی بر درجه نفوذ قیر..... ۴۹
۲-۲-۱۰-۲-۳- بررسی اثر فرسودگی بر نقطه نرمی قیر..... ۵۲
فصل سوم (روش اجرای تحقیق)
۳-۱- مقدمه..... ۵۸
۳-۲- نمونه برداری..... ۵۸
۳-۳- روش انجام آزمایش..... ۶۵
۳-۴- داده‌های خام آزمایش..... ۶۸
فصل چهارم (تجزیه و تحلیل داده‌ها)
۴-۱- مقدمه..... ۷۵
۴-۲- آنالیز آماری داده‌ها..... ۷۸
۴-۲-۱- کنترل نرمال بودن داده‌ها..... ۷۸
۴-۲-۲- آزمون برابری میانگین دو گروه مستقل (آزمون t)..... ۸۰
۴-۲-۳- آزمون همبستگی..... ۸۵
۴-۳- ارائه مدل..... ۸۷
۴-۴- استنتاج..... ۹۲
فصل پنجم (جمع‌بندی و نتیجه‌گیری)
۵-۱- نتایج حاصل از انجام تحقیق..... ۹۵
۵-۲- پیشنهاد ادامه تحقیق..... ۹۷
منابع و مراجع..... ۹۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- ارزیابی و گزینه‌های تعمیر هوازدگی و دانه‌دانه شدن..... ۸
جدول ۱-۲- ارزیابی و گزینه‌های تعمیر ترک پوست سوسماری..... ۹
جدول ۲-۱- نتایج آزمون فنیکس در فاز اول تجربی..... ۱۹
جدول ۲-۲- مشخصات قیرهای خالص..... ۲۲
جدول ۲-۳- ساختار شیمیایی انواع مختلف نفت خام..... ۲۴
جدول ۲-۴- مقایسه خواص آسفالت تازه و آسفالت فرسوده با استفاده از روشهای مختلف..... ۲۶
جدول ۲-۵- اجزای شیمیایی آسفالت قبل و بعد از پیرشدگی..... ۲۹
جدول ۲-۶- کد سخت شدگی مدل اختلاط/پخش..... ۴۵
جدول ۳-۱- بیشینه نیروی نمونه‌های SوB..... ۷۳
جدول ۳-۲- بیشینه نیروی نمونهBB1..... ۷۳
جدول ۴-۱- پارامترهای نمونه‌های فوقانی (S)..... ۷۶
جدول ۴-۲- پارامترهای نمونه‌های تحتانی (B)..... ۷۷
جدول ۴-۳- پارامترهای نمونه یک ساله (BB1)..... ۷۸
جدول ۴-۴- خروجی آزمون K.S..... ۷۹
جدول ۴-۵- خروجی آنالیز واریانس‌ها (آزمون لون) برای تمامی پارامترها..... ۸۰
جدول ۴-۶- خروجی آزمون تی مستقل برای پارامتر انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو..... ۸۱
جدول ۴-۷- خروجی آزمون تی مستقل برای پارامتر بیشینه نیرو..... ۸۲
جدول ۴-۸- خروجی آزمون تی مستقل برای پارامتر جابجایی در لحظه شکست..... ۸۳
جدول ۴-۹- خروجی آزمون تی مستقل برای پارامتر مقاومت خمشی..... ۸۴
جدول ۴-۱۰- خروجی آزمون تی مستقل برای پارامتر تنش کششی..... ۸۵
جدول ۴-۱۱- خروجی آزمون همبستگی برای پارامتر انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو..... ۸۶
جدول ۴-۱۲- خروجی آزمون همبستگی برای پارامتر تنش کششی..... ۸۶
جدول ۴-۱۳- خروجی آزمون همبستگی برای پارامتر مقاومت خمشی..... ۸۷
جدول ۴-۱۴- رگرسیون خطی مقاومت خمشی..... ۸۸
جدول ۴-۱۵- رگرسیون نمایی مقاومت خمشی..... ۸۸
جدول ۴-۱۶- رگرسیون‌های خطی و غیرخطی برای پارامتر مقاومت خمشی..... ۹۰
جدول ۴-۱۷- رگرسیون‌های خطی و غیرخطی برای پارامتر تنش کششی..... ۹۱
جدول ۴-۱۸- رگرسیون‌های خطی و غیرخطی برای پارامتر انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو..... ۹۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱- ترک طولی ۵
شکل ۱-۲- ترک عرضی ۵
شکل ۱-۳- ترک بلوکی ۶
شکل ۱-۴- ترک انعکاسی درز ۶
شکل ۱-۵- ترک لغزشی ۷
شکل ۱-۶- صیقلی شدن دانه‌ها ۷
شکل ۱-۷- هوازدگی و دانه‌دانه شدن ۸
شکل ۱-۸- ترک پوست سوسماری ۹
شکل ۱-۹- نمودار چرخه شاخص کیفی روسازی در طول عمر بهره‌برداری..... ۱۰
شکل ۱-۱۰- نحوه برش مغزه‌ها ۱۲
شکل ۲-۱- برش نمونه مورد بررسی در بحث اثر اکسیداسیون در لایه‌های مختلف آسفالت..... ۱۷
شکل ۲-۲- رابطه بین وسیکوزیته RTFOT/PAV و ویسکوزیته ۱۳ میلیمتر انتهایی..... ۱۷
شکل ۲-۳- بارگذاری خمشی سه نقطه‌ای..... ۱۸
شکل ۲-۴- جزئیات آزمون کشش فنیکس..... ۱۹
شکل ۲-۵- جزئیات آزمون کشش فنیکس..... ۲۰
شکل ۲-۶- طیف IR در فرآیند پیرشدگی و بدون پیرشدگی ۲۵
شکل ۲-۷- دستگاه SAFT ۲۷
شکل ۲-۸- همبستگی خطی بین مقدار اکسیژن و محتوی کربونیل..... ۲۸
شکل ۲-۹- تغییرات سختی قیر با زمان..... ۲۹
شکل ۲-۱۰- تغییرات اجزا قیر با گذشت زمان..... ۳۱
شکل ۲-۱۱- نمودار تغییرات ACI هر آسفالت با جذب اکسیژن در زمان پیرشدگی ۳۴
شکل ۲-۱۲- جزئیات آزمایش RTFOT..... ۳۵
شکل ۲-۱۳- اثر دمای آزمون RTFOT بر درجه نفوذ و نقطه نرمی..... ۳۵
شکل ۲-۱۴- اثر دمای آزمون RTFOT بر مدول مرکب برشی و زاویه فازی..... ۳۶
شکل ۲-۱۵- جزئیات آزمایش PAV..... ۳۷
شکل ۲-۱۶- اثر دمای آزمون PAV بر ویسکوزیته قیر ۶۰ درجه..... ۳۸
شکل ۲-۱۷- اثر دمای آزمون PAV بر مدول مرکب برشی و زاویه فازی..... ۳۸
شکل ۲-۱۸- تغییرات شاخص پیرشدگی قیر بعد از اختلاط و تراکم..... ۴۰
شکل ۲-۱۹- رشد کربونیل..... ۴۱
شکل ۲-۲۰- وابستگی ویسکوزیته به دما برای دو نمونه قیر..... ۴۲
شکل ۲-۲۱- وابستگی ویسکوزیته به زمان پیرشدگی برای دو نمونه قیر..... ۴۴
شکل ۲-۲۲- تغییرات ویسکوزیته با دما (مدل اختلاط/پخش) ۴۶
شکل ۲-۲۳- تغییرات ویسکوزیته با زمان (مدل سطحی) ۴۷

شکل ۲-۲۴- تغییرات ویسکوزیته در اعماق مختلف (مدل ویسکوزیته-عمق) ۴۸
شکل ۲-۲۵- تغییرات ویسکوزیته انواع قیرها با زمان نسبت به درصد فضای خالی..... ۴۹
شکل ۲-۲۶- جزئیات آزمایش درجه نفوذ ۵۰
شکل ۲-۲۷- نمایی از دستگاه آزمایش نقطه نرمی ۵۴
شکل ۲-۲۸- اثر دمای آزمون RTFOT بر درجه نفوذ و نقطه نرمی..... ۵۵
شکل ۲-۲۹- رابطه بین زمان پیرشدگی و نقطه نرمی قیر ۵۶
شکل ۲-۳۰- رابطه بین زمان پیرشدگی ودرجه نفوذ قیر ۵۶
شکل ۳-۱- محل نمونه برداری (کیلومتر ۲۲ محور شاهرود- میامی) ۵۹
شکل ۳-۲- مشخص نمودن محل دقیق برش نمونه‌ها ۵۹
شکل ۳-۳- نمای برش در راستای طول جاده ۶۰
شکل ۳-۴- نمای برش در راستای عرض جاده ۶۰
شکل ۳-۵- برش محل‌های مشخص شده، با دستگاه کاتر ۶۱
شکل ۳-۶- جداسازی و درآوردن نمونه‌ها از سطح روسازی ۶۲
شکل ۳-۷- ضخامت نمونه آسفالتی..... ۶۲
شکل ۳-۸- پرکردن محل نمونه‌ها با بتن ساخته شده در محل..... ۶۳
شکل ۳-۹- نمایی از مراحل نمونه‌برداری آسفالت..... ۶۴
شکل ۳-۱۰- نمونه‌های یک سانتیمتری آسفالت..... ۶۵
شکل ۳-۱۱- دستگاه بارگذاری یونیورسال و جزئیات آزمون..... ۶۶
شکل ۳-۱۲- لحظه شکست نمونه آسفالتی در آزمون بارگذاری خمشی..... ۶۷
شکل ۳-۱۳- نمونه‌های یک سانتیمتری شکسته شده در آزمون بارگذاری خمشی..... ۶۷
شکل ۳-۱۴- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S1 و B1..... ۶۸
شکل ۳-۱۵- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S2 و B2..... ۶۹
شکل ۳-۱۶- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S3 و B3..... ۶۹
شکل ۳-۱۷- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S4و B4..... ۷۰
شکل ۳-۱۸- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S5و B5..... ۷۰
شکل ۳-۱۹- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S6و B6..... ۷۱
شکل ۳-۲۰- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S7و B7..... ۷۱
شکل ۳-۲۱- نمودار بار- تغییرمکان نمونه‌های S8و B8..... ۷۲
شکل ۳-۲۲- نمودار بار- تغییرمکان نمونهBB1..... ۷۲
شکل ۴-۱- نمودار جعبه‌ای (مقایسه کیفی پارامترهای انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو)..... ۸۱
شکل ۴-۲- نمودار جعبه‌ای (مقایسه کیفی پارامترهای بیشینه نیرو)..... ۸۲
شکل ۴-۳- نمودار جعبه‌ای (مقایسه کیفی پارامترهای جابجایی در لحظه شکست)..... ۸۳
شکل ۴-۴- نمودار جعبه‌ای (مقایسه کیفی پارامترهای مقاومت خمشی)..... ۸۴
شکل ۴-۵- نمودار جعبه‌ای (مقایسه کیفی پارامترهای تنش کششی)..... ۸۵
شکل ٤-٦- پراکنش پارامتر مقاومت خمشی..... ۹۰
شکل ۴-۷- پراکنش پارامتر تنش کششی..... ۹۱
شکل ۴-۸- پراکنش پارامتر انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو..... ۹۲

فهرست روابط

رابطه ۲-۱- مقدار انرژی تلف شده در طول آزمون فنیکس..... ۲۰
رابطه ۲-۲- مقدار کار تلف شده در طول آزمون فنیکس..... ۲۰
رابطه ۲-۳- شاخص سفتی کششی..... ۲۰
رابطه ۲-۴- ACI..... ۳۳
رابطه ۲-۵- درصد افت وزنی در آزمون RTFOT..... ۳۴
رابطه ۲-۶- شاخص پیرشدگی..... ۴۰
رابطه ۲-۷- ویسکوزیته- دما ۴۲
رابطه ۲-۸- ویسکوزیته- دما ۴۳
رابطه ۲-۹- ویسکوزیته- زمان پیرشدگی آسفالت..... ۴۳
رابطه ۲-۱۰- رابطه بین دمای پیرشدگی و ویسکوزیته (مدل PAV) ۴۵
رابطه ۲-۱۱- مدل اختلاط/پخش (مدل پیرشدگی کوتاه مدت) ۴۵
رابطه ۲-۱۲- مدل پیرشدگی سطحی (مدل پیرشدگی دراز مدت) ۴۶
رابطه ۲-۱۳- تعیین ضریب رگرسیون ۴۷
رابطه ۲-۱۴- مدل ویسکوزیته- عمق ۴۷
رابطه ۲-۱۵- مدل تنظیم و تصحیح هوا (فضای خالی) ۴۸
رابطه ۲-۱۶- رابطه تجربی بین ویسکوزیته و درجه نفوذ..... ۵۱
رابطه ۲-۱۷- رابطه بین ویسکوزیته و درجه نفوذ از نقطه نظر تئوری..... ۵۱
رابطه ۴-۱- مقاومت خمشی..... ۷۵
رابطه ۴-۲- تنش کششی..... ۷۵
رابطه ۴-۳- رگرسیون خطی مقاومت خمشی..... ۸۸
رابطه ۴-۴- رگرسیون نمایی مقاومت خمشی..... ۸۹
رابطه ۴-۵- رگرسیون درجه ۳ مقاومت خمشی..... ۹۰
رابطه ۴-۶- رگرسیون خطی تنش کششی..... ۹۱
رابطه ۴-۷- رگرسیون نمایی تنش کششی..... ۹۱
رابطه ۴-۸- رگرسیون درجه ۳ تنش کششی..... ۹۱
رابطه ۴-۹- رگرسیون خطی انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو ۹۲
رابطه ۴-۱۰- رگرسیون نمایی انرژی شکست در لحظه بیشینه نیرو ۹۲

فصل اول
کلیات تحقیق

۱ـ۱ـ مقدمه:

قیر ماده‌ایست ویسکوالاستیک، یعنی در دماهای پایین و بارگذاری سریع، ارتجاعی و در دماهای بالا و بارگذاری کند، ویسکوز است. این ویژگی باعث ایجاد نیاز به بهبود عملکرد قیر برای به حداقل رساندن ترک‌خوردگی برودتی در دماهای پایین و تغییرشکل‌های پلاستیک در دماهای بالا، در شرایط مختلف بارگذاری است. خواص قیر در طی زمان و در طول عمل اختلاط، حمل، پخش و بهره‌برداری در حال تغییر است و با افزایش زمان، قیر سفت‌تر و شکننده‌تر می‌شود. همچنین حساسیت به درجه حرارت بالا، گرایش بیشتر به اکسیداسیون و در نهایت ایجاد خرابی‌ها در روسازی آسفالتی را منجر می‌شود. در طول فرآیند اکسیداسیون تحت حرارت مستمر، میزان آسفالتین‌ها در قیر افزایش یافته و رزین‌ها نیز در ابتدا افزایش و سپس ثابت می‌شوند و آروماتیک‌ها کاهش می‌یابند، که این فرآیند، منجر به کاهش ظرفیت حلالیت آن‌ها می‌شود. پیرشدگی بطورکلی ناشی از اکسید شدن ترکیبات قیر بوده و با تشکیل گروهی از ترکیبات قطبی و افزایش آسفالتین‌ها، در نهایت به سخت‌شدن آسفالت می‌انجامد.

پیرشدگی آسفالت در دو مرحله‌ی کوتاه مدت و دراز مدت اتفاق می‌افتد. پیرشدگی کوتاه مدت فرآیندی است که با سرعت و شدت زیاد در فاصله کوتاهی بین گرم کردن قیر و اختلاط آن با مصالح سنگی در کارخانه اتفاق می‌افتد، که علت اصلی آن، تبخیر روغن‌های سبک از قیر می‌باشد. پیرشدگی دراز مدت فرآیندی است که با سرعت نسبتا کمتر، در طول زمان بهره‌برداری روسازی آسفالتی صورت می‌گیرد و از علل اصلی آن، اکسیداسیون و نور خورشید می‌باشد.

پیرشدگی دراز مدت یکی از عوامل اصلی زوال روسازی آسفالتی بوده و آن را دچار سفت شدن و شکنندگی خواهد نمود. مکانسیم اصلی پیرشدگی، یک فرآیند غیر قابل برگشت است که ناشی از اکسیداسیون و از دست دادن روغن‌ها و مواد فرار از قیر می‌باشد. در فرآیندپیرشدگی آسفالت، تغییرات عمده‌ای در اجزای شیمیایی و رفتار فیزیکی قیر رخ خواهد داد. با افزایش سن آسفالت در طی مراحل مختلف فرسودگی، کاهش انعطاف‌پذیری(سخت شدگی) و در نهایت انتشار ترک‌هایی مانند ترک موزاییکی و دانه‌دانه شدن آسفالت و شکست آن را منجر خواهد شد. سخت‌شدگی در قسمت سطح روسازی، نقش عمده‌ای را در ایجاد ترک‌ها و خرابی‌های بالا به پایین در روسازی آسفالتی دارد، که در نتیجه موجب کاهش مقاومت روسازی می‌گردد.

به طورکلی تحت اثر پیرشدگی، ویسکوزیته قیر افزایش خواهد یافت. ویسکوزیته دینامیک به عنوان یک پارامتر اساسی رئولوژیکی می‌باشد، که اغلب تغییر شکل‌های دائمی قیر را موجب می‌شود، که این تغییر شکل‌ها بستگی به درجه حرارت مخلوط آسفالتی دارد و با افزایش آن ویسکوزیته افزایش می‌یابد (کارایی بالاتر می‌رود). در یک نتیجه کلی می‌توان گفت، کاهش ویسکوزیته با افزایش عمق، می‌تواند تاثیر کمتر فرسودگی در عمق آسفالت را اثبات نماید.کنترل و کاهش خرابی‌هایی که نتیجه فرسودگی روسازی آسفالتی می‌باشند، می‌تواند به ارتقا کیفیت روسازی و افزایش ایمنی جاده‌های کشور بیانجامدو در پی آن کاهش هزینه‌هایی مانند تعمیر و نگهداری روسازی را به دنبال خواهد داشت، که تمامی موارد ذکر شده می‌توانند از دلایل اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق بیان شوند.

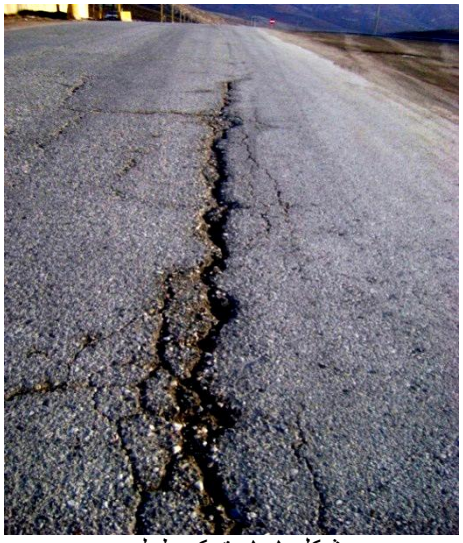
با توجه به مطالب ارائه شده، شناخت پدیده فرسودگی و عواملی که بر سرعت و شدت آن تاثیر دارند(مانند اکسیژن،اشعه ماورا بنفش خورشید، گرما)، همچنین بررسی اثراتی که فرسودگی بر اجزا شیمیایی و رفتار فیزیکی قیر و در نهایت بر عملکرد و رفتار روسازی آسفالتی خواهد داشت، بسیار مهم جلوه می‌نماید. همچنین بررسی و شناخت انواع خرابی‌های ناشی از فرسودگی و نقش آن‌ها در عملکرد راه و ارتباط این خرابی‌ها با هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیرات و شناخت انواع تعمیرات(پیشگیرانه و فراگیر) و ارزیابی اهمیت آن‌ها در کاهش هزینه‌های نگهداری، از موارد مهمی می‌باشند که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۲- انواع خرابی‌های راه‌ها و نقش آن‌ها در عملکرد راه:
به منظور دستیابی به روسازی با بالاترین کیفیت ممکن در طول عمر بهره‌برداری و همچنین برنامه‌ریزی و اجرای به موقع ترمیم و نگهداری راه‌ها، نیاز به شناختی دقیق و جامع از انواع خرابی‌هایی که عملکرد مطلوب روسازی را دچار مشکل می‌نمایند، خواهد بود.
این خرابی‌ها شامل انواع ترک‌ها، چاله‌ها و تغییر شکل‌های مختلف می‌باشند، که در ادامه مهم‌ترین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. بطورکلی خرابی‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی، شامل خرابی-های سازه‌ای و خرابی‌های عملکردی(سطحی) تقسیم‌بندی نمود. خرابی سازه‌ای هنگامی اتفاق می‌افتد که سیستم روسازی قدرت باربری خود را بر اثر بارهای ترافیکی وارده از دست داده باشد و دیگر نتواند بار بیشتری را تحمل نماید. که در نهایت منجر به ادامه انتشار خرابی‌ها در روسازی می‌گردد.
قدرت عملکردی روسازی به عواملی همچون جنس مصالح بکار رفته در روسازی، جنس خاک بستر، ضخامت لایه‌های روسازی و تراکم مناسب آن بستگی دارد.
در خرابی‌های سطحی، سیستم روسازی قدرت باربری خود را حفظ نموده ولی به علت وسعت خرابی‌ها در سطح روسازی، بهره‌برداری از آن با کاهش ایمنی و افزایش هزینه‌ها همراه خواهد بود.[نواب،۱۳۸۹]

مکانیسم پیدایش ترک‌ها در روسازی‌های آسفالتی شامل سه حالت خواهد بود:
- حالت اول: در این حالت، ترك‌ها در اثر تغییرات درجه حرارت، انبساط و انقباض مصالح، ایجاد شده،سپس در اثر تنش خمشي ناشي از بارگذاري و عبور ترافيك،درلايه آسفالت گسترش مي‌يابد.
- حالت دوم: در این حالت ترك در اثر تنش‌هاي برشي حاصل از بارگذاري و عبور ترافيك ايجاد و سپس در لايه آسفالت گسترش مي‌يابد.
- حالت سوم: در این حالت ترك در اثر تنش‌هاي سطحي افقي بين چرخ و سطح روسازي حاصل از بارگذاري و عبور ترافيك ايجاد و سپس در لايه آسفالت گسترش مي‌يابد. [نواب،۱۳۸۹]

بر اساس شکل ظاهری و علل پیدایش نیز می‌توان ترک‌ها را به صورت زیر تقسیم بندی نمود:
۱) ترک‌های ناشی از خستگی
۲) ترک‌های ناشی از انقباض
۳) ترک‌های ناشی از نشست و ضعف بستر روسازی.[نواب،۱۳۸۹]

۱-۲-۱- ترک‌خوردگی طولی و عرضی:
نيروي برشي افقي كه زير چرخ وسايل نقليه بر روي سطح روسازي اعمال مي‌شود، باعث ايجاد تنش و كرنش كششي در جهت عمود بر حركت وسايل نقليه در روسازي خواهد شد. بروز ترك‌هاي طولي، ناشي از همين تنش‌ها و كرنش‌هاي كششي مي‌باشد. همچنین ترک‌های طولی معمولا در بین دو لاین آسفالت، به علت اجرای هر لاین در زمانی مختلف، بوجود می‌آید. فاصله زمانی که بین اجرای آسفالت لاین‌های مختلف روسازی ایجاد می‌گردد، موجب می‌شود که آسفالت لاین اول سرد شده و پیوستگی کاملی با آسفالت داغی که جدید اجرا شده، ایجاد ننماید و این امر موجب ایجاد ترکی در طول مسیر جاده خواهد شد. بدین ترتیب همیشه این نوع ترک در روسازی مشاهده خواهد شد. راه‌کاری برای کاهش شدت آن، شیب‌دار نمودن لبه‌ی آسفالت لاین اول می‌باشد.



شکل ۱-۱- ترک طولی

ترک عرضی به دلیل انقباض آسفالت و اغلب در فواصل منظم ایجاد می‌شود. علت اصلی ایجاد آن سفت شدن قیر بر اثر سرمای شدید می‌باشد.وقوع این خرابي عمدتاً به دلیل افت درجه حرارت است، بدین صورت که با کاهش دما، تنش کششي در مصالح روسازي ایجاد شده و افزایش این تنش، شکست روسازي را در پي خواهد داشت. هرچه شدت سرما بیشتر باشد، ترک‌ها بهم نزدیک‌تر خواهند بود.

این ترک‌ها را بر حسب متر اندازه‌گیری نموده و در سطوح شدت خرابی متوسط و شدید، با پرکردن ترکها و گاهی وصله پاره عمقی، آن‌ها را تعمیر می‌نمایند.

در این نوع ترک، شکست اولیه لایه فوقاني اساس تثبیت شده، از نوع خمشی مي‌باشد، که در اثر این تنش خمشي ناشي از بارگذاري، ترک عرضی در لایه‌های روسازی گسترش مي‌یابد.

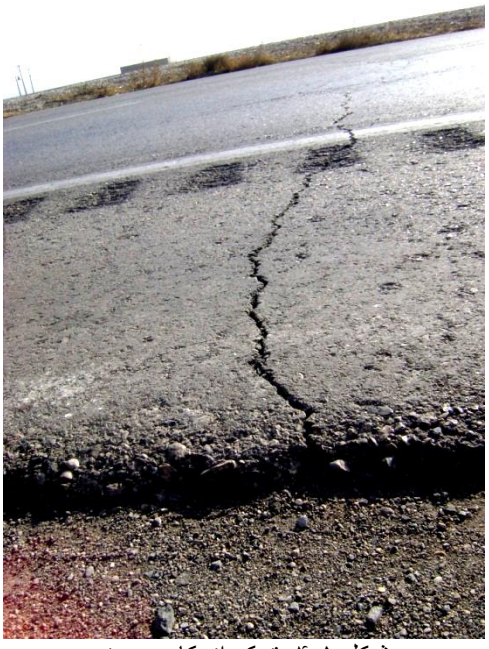
شکل ۱-۲- ترک عرضی

تاثیر این نوع ترک‌ها در عملکرد راه: کاهش کیفیت سواری و نیز مکانی برای نفوذ هوا و آب‌های سطحی به درون لایه‌های روسازی می‌باشد.همچنین یخ زدن این آب‌ها در نهایت منجر به تورم و از هم گسیختگی آسفالت می‌شود.لبه‌های این ترک‌ها نیز در اثر تردد ترافیک، به مرور کنده شده و موجب افزایش شدت خرابی خواهد شد.(افزایش دهانه‌ی ترک)

۱-۲-۲- ترک خوردگی بلوکی:
در اثر سرمای شدید و سفت شدن تدریجی قیر، این ترک‌ها به صورت مستطیل‌هایی بهم پیوسته در ابعاد مختلف در سطح روسازی بوجود می‌آیند. این ترک‌ها ناشی از بار نبوده و گاهی در نواحی بدون ترافیک نیز رویت می‌شوند. ترك‌هاي بلوكي بيانگر اين واقعيت هستند كه قير مصرفي در آسفالت، به ميزان قابل ملاحظه‌اي سفت شده است. نحوه اندازه‌گیری آن‌ها بر حسب مترمربع بوده و در سطوح مختلف شدت خرابی، با پر کردن ترک یا بازیافت لایه رویه، این نوع ترک خوردگی را تعمیر می‌نمایند. این ترک‌ها در سطح روسازی آسفالتی موجب کاهش کیفیت سواری می‌شوند.

شکل ۱-۳- ترک بلوکی

۱-۲-۳- ترک خوردگی انعکاسی درز:
این ترک‌ها عمدتا ناشی از بار نمی‌باشند و علت اصلی آن‌ها این است که وقتی سطح روسازی بدون ترمیم ترک‌ها و خرابی‌های موجود، مجددا روکش می‌شود، ترک‌های قدیمی از لایه زیر، به بالا منعکس خواهند شد. در اثر بارگذاری ترافیکی نیز لبه‌های این ترک دچار گسیختگی می‌شوند و شدت این خرابی را با افزایش فاصله لبه‌های ترک، افزایش می‌دهند. نحوه اندازه‌گیری این ترک بر حسب متر بوده و موارد تعمیر آن شامل پر کردن ترک و وصله پاره عمقی می‌باشد.


شکل ۱-۴- ترک انعکاسی درز

۱-۲-۴- ترک خوردگی لغزشی:
این ترک‌ها هلالی شکل بوده و معمولا در محل‌های ترمزگیری یا دورزدن وسایل نقلیه اتفاق می‌افتند. علت اصلی آن‌ها، پیوستگی ضعیف قیر و دانه‌ها و همچنین دانه‌بندی نامناسب مخلوط آسفالتی می‌باشد، که در نتیجه سطح آسفالت مقاومت کمی در برابر این‌گونه تنش‌های لغزشی از خود نشان می‌دهد. این نوع ترک برحسب مترمربع اندازه‌گیری شده و در سطوح خرابی متوسط و زیاد با وصله تعمیر می‌شود.

شکل ۱-۵- ترک لغزشی

۱-۲-۵- صیقلی شدن دانه‌ها:
وقتی بر سطح رویه آسفالت دست کشیده شود و سطحی صاف و عاری از بیرون‌زدگی دانه‌ها احساس شود، می‌توان آن‌را صیقلی شدن دانه‌ها عنوان نمود. این خرابی که در اثر تردد ترافیک در مرور زمان اتفاق می‌افتد، موجب کاهش چسبندگی بین لاستیک وسایل نقلیه و سطح روسازی می‌شود، که عملکرد مناسب و ایمن روسازی آسفالتی را مخصوصا در شرایط هوای بارانی، به‌شدت کاهش خواهد داد.
این خرابی بر حسب مترمربع اندازه‌گیری شده و برای تعمیر آن از روکاری، روکش و یا آسیاب و روکش استفاده می‌شود.

شکل ۱-۶- صیقلی شدن دانه‌ها

۱-۳- خرابی‌های ناشی از فرسودگی، ارزیابی و تعمیرات آن‌ها:
۱-۳-۱- هوازدگی و دانه‌دانه شدن:
سفت‌شدن و از بین رفتن قیر در اثر هوازدگی و پدیده فرسودگی، در نهایت موجب سائیده شدن سطح آسفالت و در پی آن، ازجا درآمدن دانه‌ها را از سطح روسازی به دنبال خواهد داشت.

شکل ۱-۷- هوازدگی و دانه‌دانه شدن

در جدول ۱-۱- نحوه ارزیابی و گزینه‌های تعمیر این خرابی مشاهده می‌شود.

جدول ۱-۱- ارزیابی و گزینه‌های تعمیر هوازدگی و دانه‌دانه شدن[عامری و افتخارزاده،۱۳۹۰]

هوازدگی و دانه‌دانه شدن نحوه اندازه‌گیری : بر حسب مترمربع سطح رویه	
سطوح شدت	گزینه‌های تعمیر
L : شروع سائیده شدن مصالح سنگی و چسبنده قیری و در برخی نواحی روسازی، حفره‌هایی درحال تشکیل می‌باشد	اندود آب‌بندی سطحی و یا روکاری
M : سائیده شدن کلی مصالح سنگی و چسبنده قیری، بافت سطح روسازی نسبتا ناهموار و حفره‌دار	اندود آب‌بندی سطحی، روکاری و یا روکش
H : سائیده شدن قابل ملاحظه مصالح سنگی و چسبنده قیری، بافت سطحی بسیار ناهموار و حفره‌دار، چسبنده قیری خاصیت چسبندگی خود را از دست داده و در نهایت به سست شدن دانه‌ها می‌انجامد	روکاری، روکش، بازیافت و یا بازسازی

۱-۳-۲- ترک خوردگی پوست سوسماری:

ترک خوردگی پوست سوسماری که علت اصلی آن خستگی در اثر تکرار بارگذاری ترافیکی و همچنین جابجایی در لایه‌های زیرین روسازی می‌باشد، عبارتست از، یک سری ترک‌های بهم پیوسته که از سطح رویه آسفالتی آغاز شده(زیر مسیر حرکت چرخ‌ها) و در نهایت به علت افزایش تنش کششی و تغییر شکل‌های نسبی تحت بارگذاری ترافیکی، در سطح روسازی منتشر می‌شوند(گسترش می‌یابند). پدیده فرسودگی نیز منجر به سفت‌شدن قیر و در نهایت کاهش مقاومت روسازی در برابر خستگی خواهد شد، سخت‌شدگی قیر که تابعی از جنس قیر، حساسیت حرارتی و مدت زمان بارگذاری می‌باشد، موجب سخت شدن آسفالت خواهد شد، که نتیجه آن کاهش انعطاف پذیری مخلوط آسفالتی و نیز کاهش مقاومت خمشی و افزایش انرژی شکست می‌باشد. در نهایت در اثر تکرار بارگذاری و خستگی، مخلوط آسفالتی به سرعت دچار ترک خوردگی و شکست خواهد شد.همچنین احداث روسازی بر روی بستر ضعیف با مقاومت کم و شکل پذیری زیاد و لایه‌های اساس و زیر اساس با تراکم کم ، می‌تواند از عوامل پیدایش ترک پوست سوسماری باشند. ترك‌هاي پوست