

تحلیل و بررسی خرابی‌های روسازی آسفالتی راه‌ها و معابر شهری و لزوم به کارگیری فرآیند تعمیر و نگهداری مداوم آن‌ها

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

کد مقاله: ۹۱۱۷۸۳

امین رضائی^{*}

چکیده

کاهش دوره عمر آسفالت به منزله از بین رفتن بخشی از سرمایه های شهرها و نیز هدر رفت منابع عمومی تلقی می شود. از سویی به دلیل عدم پاسخگویی ضوابط و استانداردها به نیازهای شهرداری ها، کیفیت اجرا و دوره عمر روسازی های آسفالتی در شهرها مطلوب نمی باشد. روش تحقیق از نوع مطالعات میدانی و به صورت گردآوری اطلاعات کتابخانه ای و تحلیلی - توصیفی می باشد و درصدد توسعه دانش طراحی و برنامه ریزی، و پیشگیری، ترمیم و نگهداری به موقع از خرابی های موجود در روسازی آسفالت معابر شهری بوده است. در تحقیق حاضر براساس برداشت های انجام شده از مشاهدات عینی، عکس برداری، و تحلیل آنها با در نظر گرفتن متخصصان مربوط در این زمینه، سعی در توسعه و گسترش روسازی های با کیفیت به همراه تعمیر و نگهداری صحیح روسازی می باشد. حفاری های انجام شده باعث پائین آمدن کیفیت معابر و کندی تردد می شود و اصلاح و تعمیر آن نیز زمان بر بوده و نیازمند لکه گیری در محل های مربوطه می باشد که همه اینها در نتیجه زیر سازی نامناسب در اجرا و فقدان مدیریت در موقع اجرای طرح های آسفالتی می باشد که در حال حاضر با در دست داشتن امکانات نوین در صنعت راه سازی و ماشین آلات متنوع اجرای راه و آسفالت باید روز به روز شاهد روش های اجرایی نوین و با کیفیت بوده و روی کنترل اجرا و کیفیت پافشاری کرد.

واژگان کلیدی: واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی، واژه کلیدی،

۱- کارشناسی ارشد عمران- راه و ترابری، کارشناس عمران(کنترل پروژه) شهرداری، خوی، ایران.

(aminrezaei.64m@gmail.com)

۱- مقدمه

در دهه های اخیر، تمرکز مهندسان راه به تدریج به حفظ سازه های راه موجود به جای ساخت سازه های جدید معطوف شده است (Plati, Loizos & Gkyrtis, 2020, p.395). مورد دوم به کامل بودن شبکه راه های اصلی در سراسر جهان مربوط می شود، در حالی که اولی به دلیل محدودیت منابع مالی در سطح ملی و بین المللی رخ می دهد. در این زمینه، سیاست های موثر نگهداری روسازی را می توان به همان اندازه مهم در نظر گرفت که شیوه های ساخت و ساز خوب (Zhao, Al-Qadi & Wang, 2018. Pp.20-30; Marecoset al., 2017). بنابراین، ارزیابی وضعیت روسازی (PCA) به یک نیاز ضروری برای هر سیستم نظارت و مدیریت روسازی تبدیل شده است. پایش روسازی معمولاً بر ارزیابی عملکرد سطح تمرکز می کند زیرا علت اصلی تعمیر و نگهداری خرابی قابلیت سرویس روسازی است (Gkyrtis, Loizos & Plati, 2021). "پوشش" روکش کردن یک لایه آسفالت بر روی آسفالت یا روسازی بتنی موجود است که عمدتاً برای اهداف بازسازی استفاده می شود. روکش ها را می توان روی روسازی های صلب قرار داد، در روکش ها روی روسازی های آسفالتی ترک خورده، و حتی در لایه های آسفالتی با روسازی های پایه با سیمان، بسته به درجه ترک خوردگی، فروریختگی یا فرورفتگی، آن مناطق را می توان برش داد، وصله کرد و سپس لایه جدید را می توان هموار کرد. با این حال، با گذشت زمان ترک خوردگی بازتابی (که یکی از مشکلات اصلی در روکش های آسفالت است) می تواند در این روکش ها رخ دهد (هو و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۴). روسازی راه ها همواره در معرض انواع تنش های ناشی از عواملی همچون بار ترافیکی، تغییر شکل لایه های اساس، زیرساز و بستر، میزان رطوبت و تغییر دما قرار دارند که این تنش ها نیز موجب خرابی هایی در روسازی راه ها می شوند. خرابی های رایج در آسفالت جاده ها و راه های ارتباطی معمولاً ناشی از انواع ترک ها و چاله ها و تغییر شکل لایه های آسفالتی می باشد که به مرور زمان نیازمند تعمیر و نگهداری بهینه می باشد و با دستورات و الزامات فنی و ارزیابی دقیق بخصوص در بزرگراه های شهری ترمیم و اصلاح شود. خاصیت اتصال بین لایه ای یک موضوع کلیدی است که بر عمر مفید روسازی های آسفالتی تأثیر می گذارد. خرابی های معمولی ناشی از خاصیت اتصال ضعیف عبارتند از ترک خوردگی لغزشی، چسبندگی زدایی و تغییر شکل روسازی. ترک خوردگی لغزش بین لایه ها یک آسیب رایج به دلیل اتصال ضعیف رابط بین روکش آسفالت و لایه زیرین است که عموماً در اثر چرخش و ترمز خودرو ایجاد می شود (Kumar & Saride, 2018a). روسازی هایی با اتصال بین لایه ای بهتر می توانند بار ترافیکی را تحمل کنند و بار را از بالا به پایین پراکنده کنند، در حالی که شرایط اتصال ضعیف می تواند منجر به آسیب زودرس تحت بارهای بیش از حد خودرو یا رطوبت شود (Romanoschi and Metcalf, 2001; Wang et al., 2017a; سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶).

۲- روش تحقیق

روش تحقیق از نوع مطالعات میدانی و به صورت گردآوری اطلاعات کتابخانه ای و تحلیلی- توصیفی می باشد و درصدد توسعه دانش بیشتر در زمینه طراحی و برنامه ریزی، و پیشگیری، ترمیم و نگهداری به موقع از خرابی های موجود در روسازی آسفالت معابر شهری و غیر شهری بوده است. در تحقیق حاضر براساس برداشت های انجام گرفته از مشاهدات عینی، عکس برداری، و تحلیل آنها با در نظر گرفتن نظرات متخصصان مربوط در این زمینه، سعی در توسعه و گسترش اجرای روسازی های با کیفیت بوده تا کمترین تعمیرات را داشته و نیازی به نگهداری و روسازی خرابی ها نباشد.

۳- پیشینه پژوهش

در خصوص پیشینه پژوهش و کتاب های به چاپ رسیده در زمینه باید به مطالعات آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران منتشر شده در سال ۱۳۹۰ و مخلوط های آسفالتی با مقاومت بالا از کیوان بمانا و دبیرخانه مجمع جهانی تدوین و نگاشته شده است، نام برد که در برگیرنده ضوابط و معیارهای طراحی و اجرای روسازی جاده ها و معابر شهری هستند و باید در اجرای آنها کلیه ملاحظات طراحی و زیرسازی و تحلیل های مکانیکی و ترافیکی و ایستایی و کاربرد مصالح در نظر گرفته شده و به خوبی مدیریت شده و برنامه ریزی شود. در مقاله نیازی و نیشابوری نیز در سال ۱۳۸۲ به تحریر در آمده است به خواص مکانیکی و دام بتن های آسفالتی اشاره داشته و نقش فیلر را در اجرای روسازی های آسفالتی مهم قلمداد کرده اند که نتایج نشان دهنده سفت شدگی آسفالت های روسازی در مخلوط های فیلر و قیر حکایت داشته و بسته به نوع و کیفیت قیر مصرفی می تواند متغیر باشد و همچنین بسته به نوع و اندازه دانه بندی مصالح و ریزدانه بودن فیلر استفاده شده می تواند کارایی بهتری داشته و بر خواص و دوام بتن های آسفالتی استفاده شده تأثیرگذار باشد.

وانگ و زانگ (۲۰۲۱)، به تغییر شکل مخلوط های آسفالتی سرباره فولادی در دمای معمولی غوطه وری در آب اشاره می کنند. نتایج تجربی نشان داد که چسبندگی سرباره فولاد پس از غوطه وری به دلیل چسبندگی عالی بین سرباره فولاد و آسفالت کاهش معنی داری نداشت. افزایش زاویه اصطکاک داخلی ناشی از هیدروکسید کلسیم و سایر کریستال های تشکیل شده روی سطح مخلوط سرباره فولادی پس از غوطه وری است که زبری سطح سنگدانه های سرباره فولادی و زاویه اصطکاک داخلی

SSAM را افزایش می دهد. خواص مکانیکی روسازی آسفالت نیمه صلب توسط ANSYS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشخص شد که تنش برشی این نوع روسازی زیاد بوده و به راحتی می تواند تغییر شکل های دائمی ایجاد کند. تحت تأثیر رطوبت، توانایی ضد تغییر شکل SSAM ها می تواند رشد کند، که مقاومت در برابر تغییر شکل در دمای بالا روسازی آسفالت را ارتقا می دهد. بر اساس یک جاده آزمایشی که به مدت ۲ سال مورد استفاده قرار گرفت، روسازی SSAM هیچ مشکلی در روسازی، مانند ترک خوردگی، شل شدن، یا شیار شدن نشان نداد، که نشان دهنده عملکرد عملی خوب جاده است. در مطالعات انجام یافته توسط هاشمی پور و عادل در سال ۱۳۹۶ بر روی ارزیابی علت کاهش یافتن عمر لایه های آسفالتی معابر و راه های شهری در شهرستان لالی تاکید داشته اند که می توان اجرای با کیفیت را در این شهرستان، صحت و کیفیت تولید نام برد که در رستای اجرای آن با برنامه ریزی دقیق و اجرای دستورالعمل ها و کنترل حین اجرا و بعد آن از عوامل موفقیت و اجرای با کیفیت بوده است. در پژوهش انجام شده در سال ۱۳۹۶ توسط خرمی و صفا نیز تاکید بر به کارگیری هر چه دقیق تر مصالح به کار رفته داشته اند که این خود در افزایش عمر خستگی روسازی آسفالت های انجام یافته مهم و ضروری به نظر می رسد.

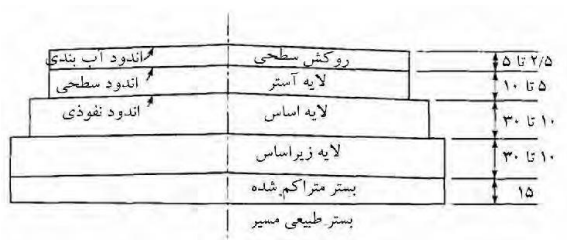
ریچارد و همکاران (۲۰۲۰)، به توصیف آزمایشگاهی ترک های بازتابی ناشی از دما پرداخته اند. روکش آسفالت با مخلوط گرم (HMA) یکی از استراتژی های اولیه برای بازسازی روسازی های HMA موجود و روسازی های بتن سیمان پرتلند (PCC) است. خمش، برش و حرارت سه عامل مهم برای مدل سازی موفقیت آمیز ترک انعکاسی هستند. برای اجرای این حالت خرابی در روش طراحی انعطاف پذیر روی صلب، مجموعه ای از روسازی های آزمایشی در مقیاس کامل ساخته شدند. داده های به دست آمده از این تلاش تحقیقاتی برای توسعه یک روش آزمایش منطقی برای شبیه سازی چرخه های خنک کننده شدید از طریق آزمایش در مقیاس کامل استفاده خواهد شد. یانگ و لی (۲۰۲۱)، در پژوهشی به بررسی خصوصیات باندینگ در لایه میانی روسازی آسفالت پرداخته اند. با افزایش بار ترافیکی، از جمله ظرفیت باربری و دوام، الزامات بالاتری برای خاصیت پیوند بین لایه ای مطرح می شود. بیماری های معمولی ناشی از چسبندگی ناکافی بین لایه ها عبارتند از: ترک خوردگی لغزشی، چسبندگی زدایی و تغییر شکل روسازی. توصیف صحیح ویژگی اتصال با نگرانی های در حال تکامل شکست بین لایه ها و نوآوری های مواد ضروری می شود. عوامل تأثیرگذاری مختلف از جمله ویژگی پوشش چسبنده، دما، پیری آسفالت و وضعیت سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. توصیه می شود میزان چسبندگی مناسب را انتخاب شده و پوشش چسب در شرایط تمیز، خشک، بافت سطح بالا و تراکم خوب اعمال شود. گیرتیس، پلاتی و لوتیزوس (۲۰۲۲)، به تحلیل مکانیکی روسازی های آسفالتی در حمایت از تصمیم گیری حفظ روسازی پرداخته اند. مدل های مکانیکی مناسب که ماهیت مصالح بتن آسفالتی (AC) را در نظر می گیرند برای آنالیز استفاده می شوند تا دقت نتایج را در هنگام حفاظت و افزایش عمر روسازی افزایش دهند. نتایج نشان داد که بررسی رفتار ویسکوالاستیک برای AC در مقایسه با معمول ترین فرضیات برای مواد الاستیک خطی، رویکرد محافظه کارانه تری برای تحلیل پاسخ و همچنین تحلیل عملکرد خستگی است. علی اکبری بیدختی (۱۳۹۲)، در مقاله ای به استفاده از مصالح بازیافتی آسفالت rap در لایه اساس روسازی پرداخته، که امروزه در عصر تکنولوژی باتوجه به کمبود منابع انرژی نقش اقتصادی و زیست محیطی استفاده مجدد مصالح بازیافتی آسفالتی برکسی پوشیده نیست، یکی از لایه های روسازی که می توان در آن مصالح بازیافتی آسفالتی را استفاده کرد لایه اساس می باشد. مزایای اصلی استفاده مجدد از این مصالح در لایه اساس این است که علاوه بر حفظ منابع طبیعی باعث افزایش توان باربری روسازی می شود. در نتیجه می توان ضخامت لایه های روسازی را کاهش داد. این مزایا در کنار هزینه ساخت پایین این روش جهت احداث راه ها در مقایسه با مصالح جدید زمینه تحقیق و بررسی بیشتر روی این نوع روسازی ها را فراهم می کند. بالیار سینگ (۲۰۲۰)، در پژوهشی تحت عنوان آسفالت مخلوط داغ پراکنده از خرده لاستیک ساندویچ شده با گرافن، نتایج نشان می دهد که خرده لاستیک و اکسید گرافن کاملاً با قیر سازگار هستند. ۹۸٪ محتوای خرده لاستیک در آسفالت مخلوط داغ قیر اصلاح شده با لاستیک خرده نان نتیجه بهینه را نشان می دهد. عملکرد آسفالت مخلوط گرم قیر اصلاح شده با اکسید گرافن در مقایسه با نمونه های آسفالت مخلوط داغ قیر اصلاح شده با مخلوط کنترل و خرده لاستیک اصلاح شده، عملکرد برتری را نشان می دهد. خواص افزایش یافته آسفالت مخلوط گرم قیر اصلاح شده با اثر ترکیبی اکسید گرافن و خرده لاستیک، برای ساخت و ساز جاده مناسب است (Baliyar Singh et al., 2020, p.652). رحمان، مهاجرانی و جوستوزی (۲۰۲۰)، به صورت موردی به مطالعه بازیافت مواد زائد برای آسفالت بتن و قیر، پرداخته اند. صنعت روسازی یکی از بخش های امیدوارکننده است، زیرا انواع مختلفی از زباله ها در بتن آسفالت و قیر بازیافت می شوند و جزء روش های نوین برای روسازی و استفاده در جاده ها و معابر شهری به حساب می آیند. برخی از ضایعات امیدوارکننده مانند پلی اتیلن با چگالی بالا، ضایعات معدن سنگ مرمر، ضایعات تخریب ساختمان، لاستیک تایر زمینی، روغن پخت و پز، خاکستر سوخت روغن نخل، نارگیل، سیزال، سلولز و الیاف پلی استر، نشاسته، بطری های پلاستیکی، ضایعات شیشه، آجرهای باطله، ضایعات سرامیک، خاکستر بادی زباله و ته سیگار و استفاده از آنها در بتن آسفالت و قیر هستند (Rahman, Mohajerani & Giustozzi, 2020, p.2).

۴- بحث و یافته های پژوهش

۴-۱- انواع روسازی های آسفالتی

۴-۱-۱- روسازی انعطاف پذیر معمولی^۱

در بحث انواع روسازی های آسفالتی و روسازی انعطاف پذیر معمولی باید به یک سیستم چند لایه ای اشاره نمود که تحت تأثیر و فشار و تنش لایه های فوقانی قرار گرفته اند که متحمل بار بیشتر می باشند که در اجرا می توان از مصالح با کیفیت تر در لایه های فوقانی و در لایه های پائین تر از مصالح با کیفیت پائین تر استفاده نمود که در مقطع عرضی ترسیم شده و با قابلیت اجرایی به ترتیب از بالا به پائین نشان داده شده است که شامل: اندود آب بندی^۲، توپکا^۳، اندود سطحی^۴، لایه آستر^۵، اندود نفوذی^۶، لایه اساس^۷، لایه زیراساس^۸، بستر متراکم شده^۹ و نهایتاً بستر طبیعی^{۱۰} مسیر تشکیل شده است.



تصویر ۱: مقطع عرضی یک روسازی انعطاف پذیر معمولی (ابعاد به سانتی متر است، مأخذ: Huang, 200)

۴-۱-۲- روسازی آسفالتی تمام عمق

از قرارگیری چند لایه آسفالت گرم بر روی یک بستر زیر سازی شده یا تقویت شده روسازی آسفالتی تمام عمق به دست می آید که بر ای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی در انستیتو آسفالت با به کارگیری روش قابل اتکاء و با قابلیت بارگذاری بسیار سنگین بر آسفالت های اجرا شده و با توجه به مقرون به صرفه بودن مطرح شد تا قابلیت اجرایی داشته باشد و در نهایت در محل هایی که برای اجرای روسازی انعطاف پذیر معمولی مصالح کافی در دسترس نبود، قابلیت اجرایی بیشتری به خود گرفت. در این روش با توجه به حمل و اجرا و خرید مصالح از چند منبع متفاوت و در دسترس و تنها با استفاده از مخلوط آسفالتی داغ از محبوبیت بیشتری در بین استفاده کنندگان برخوردار شد. مراتب اجرای آن و تشکیل لایه بندی های انجام گرفته همانند روسازی های انعطاف پذیر معمولی است که در لایه آستر از آسفالت تمام عمق استفاده می شود و اساس آسفالتی با یک لایه آسفالت سطحی اجرا می گردد (سید محمودی، شهری، ۱۳۹۶؛ Huang, 2003).



تصویر ۲: مقطع عرضی روسازی آسفالتی تمام عمق (ابعاد به سانتی متر است، مأخذ: Huang, 2003)

۴-۲- انواع خرابی های روسازی آسفالتی

تمامی خرابی های روسازی آسفالتی در نتیجه عدم اجرای با کیفیت و گذشت زمان به وجود می آیند که در صورت اجرای صحیح و طراحی مناسب و در نظر گرفتن کیفیت دیگر نیاز آنچنانی به نگهداری و یا تعمیر نخواهیم داشت. که در بسیاری از موارد عواملی همچون قرار گرفتن در بار ترافیکی سنگین و تحمل فشار بیش از حد، اقلیم و شرایط طبیعی حاکم بر منطقه و نوسان

- 1 . Conventional Flexible Pavements
- 2 . seal coat
- 3 . surface course
- 4 . tack coat
- 5 . binder course
- 6 . prime coat
- 7 . base course
- 8 . subbase course
- 9 . compacted subgrade
- 10 . natural subgrade

دمایی و تغییرات انجام یافته در بستر بر اساس عدم اجرای صحیح و رطوبت موجود در منطقه مورد اجرا، باعث از بین رفتن روسازی جاده ها و معابر شهری می شود و خرابی های آسفالتی را به همراه دارد. خرابی های کوچک تر بعدها می توانند باعث ایجاد خرابی های بزرگتر و چاله و ترک خوردگی و ناهمواری ها و ... باعث شوند که شناسایی و ارزیابی مهندسی و متخصصان در این حوزه می تواند در بهبود و اجرای با کیفیت خرابی ها موثر واقع شود (Lavin, 2003). در جدول زیر به عیوب مهم روسازی آسفالتی اشاره شده در روند تحقیقات بیشتر راجع به آن می پردازیم.

جدول ۱: عیوب مهم روسازی آسفالتی، مأخذ: نظام فنی و اجرایی شهرداری های کشور، ۱۳۹۴

نمایه	عنوان عیوب مهم روسازی آسفالتی	واحد اندازه گیری	شرح
I	ترک های طولی	متر	ترک هایی که به صورت خطی و به موازات محور مرکزی معبر، در سطح آسفالت سواره رو به وجود می آیند و عمدتاً ناشی از ساخت و ساز بد و بارگذاری می باشند.
W	ترک های عرضی	متر	ترک هایی که به صورت خطی و عمود بر محور معبر در سطح آسفالت سواره رو به وجود می آیند و عمدتاً ناشی از ترافیک و سیکل های حرارتی می باشند.
E	ترک های انعکاسی	متر	در روسازی هایی که بر روی دال بتنی قرار دارند و در اثر جابجایی ناشی از تغییر دما یا رطوبت دال این ترک ها به وجود می آیند، ناشی از بارگذاری نبوده و از عمق به سطح روسازی عرض ترک کاهش می یابد. علاوه بر موارد فوق در سطوح آسفالتی که بر روی روسازی های آسفالتی قدیمی با ترک های مرمت نشده ساخته می شوند نیز ایجاد می شوند.
B	ترک بلوکی	متر مربع	ترک های به هم مرتبطی هستند که سطح روسازی را به قطعات مستطیل شکل تقسیم می کنند. این عیب، حاصل ترافیک خودروها نیست، بلکه ناشی از انقباض و انبساط آسفالت سواره رو بر اثر تغییرات دمای هوا در طی شبانه روز است.
X	ترک پوست سوسماری	متر مربع	ترک های طرح دار به هم پیوسته ای به شکل تکه های چندضلعی با گوشه های تیز به ابعاد حداکثر ۶۱ سانتیمتر هستند که بر روی آسفالت به وجود می آیند. این عیب عمدتاً در مسیر چرخ خودروها به وجود می آید.
T	قیرزدگی	متر مربع	این عیب بر اثر حرکت قیر به طرف سطح معبر و تشکیل یک لایه قیری در سطح آسفالت به وجود می آید. مهمترین علت قیرزدگی، وجود قیر بیش از حد در آسفالت و گرمای هوا است.
C	موج و چین خوردگی	متر مربع	این عیب از تغییر شکل پلاستیک طولی یا عرضی آسفالت، در اثر اعمال بار مکانیکی وارد شده از طرف لاستیک خودروها به سطح معبر، به ویژه در سربیش های تند، تقاطع ها و نقاط شیبدار ناشی می شود.
G	شن زدگی	متر مربع	این عیب به دلیل هوازگی، از دست رفتن قیر و کاهش چسبندگی آسفالت به وجود می آید و موجب جدا شدن دانه های شن و ماسه سطح روسازی آسفالت، از آن می شود.
O	چاله	عدد	چاله ها، عیوب پیاله ای شکل کوچکی در سطح روسازی هستند که شدت شان با جذب رطوبت و باقی ماندن آب در آنها افزایش پیدا می کند.
V	نشست و تورم	متر مربع	این عیب حاصل بار ترافیکی و حرکت چرخ خودروها بر روی روسازی آسفالت است و با فرورفتن سطح آسفالت، یا بالا آمدن آن مشخص می شود؛ و شدت آن برحسب متوسط عمق گود افتادگی یا برآمدگی است.
U	نوار حفاری	متر مربع	این عیب بر اثر جایگزینی آسفالت سطح معبر با مواد تازه به وجود می آید.
H	دریچه غیر هم سطح	عدد	وجود هرگونه مشکل، در شکل، نصب و نحوه قرارگیری دریچه که برای عابران خطرآفرین باشد.
P	صیقلی شدن	متر مربع	این عیب بر اثر تردد زیاد خودروها و سایش آسفالت به مرور زمان به وجود می آید.
R	شیارشده گی	متر مربع	این عیب حاصل بار ترافیکی و حرکت چرخ خودروها بر روی روسازی آسفالت است و با فرورفتن سطح آسفالت در محل عبور چرخ خودروها به وجود می آید.

۴-۳- ترک خوردگی

۴-۳-۱- ترک خستگی (پوست سوسماری)

ترک خوردگی پوست سوسماری از رایج ترین ترک خوردگی ها می باشد که از به هم رسیدن ترک های کوچک بین قطعات ۲۵ تا ۵۰ میلی متری ایجاد می شود و در شرایطی به وجود می آیند که تحت تأثیر بار بیشتر چرخ های ماشین ها قرار گرفته باشند و ترک های آنها از زیر و از بستر شروع می شود و با تکرار بار گذاری ها به سطح بالاتر می رسد (سید محمودی و شهری، ۱۳۹۶).

(Lavin, 2003). در این زمینه انستیتوی آسفالت بارگذاری بیش از حد و اندازه و تحمل آن توسط اساس و خاک بستر و ضعیف بودن لایه های اجرایی زیرین و نازک بودن آنها و زهکشی نامناسب می داند که باید تدابیری خاص برای آنها اندیشیده شود (Asphalt Institute. 2014).



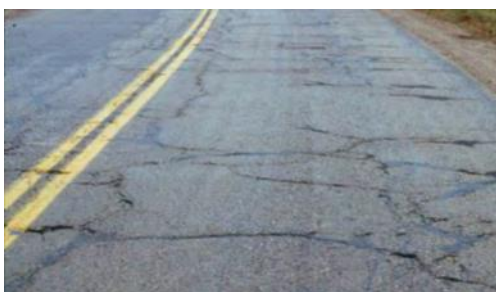
تصویر ۴: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک پوست سوسماری، عرضی، مأخذ: Coastal road repair pavement repair company. 2014 Roadscience. 2014



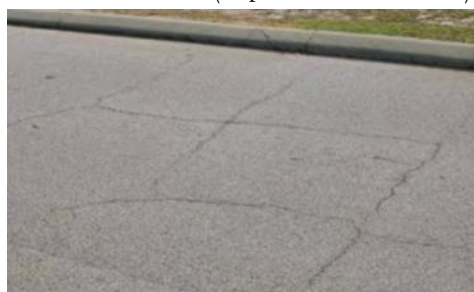
تصویر ۳: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک پوست سوسماری، طولی، مأخذ: Coastal road repair pavement repair company. 2014 Roadscience. 2014

۴-۳-۲- ترک بلوکی

ترک خوردگی بلوکی برخلاف ترک های سوسماری به وجود آمده ارتباطی با بارگذاری و تنش و فشار بیش از حد ماشین الات عبوری ندارد و با هم رسیدن ترک های طولی و عرضی هم راستا به وجود می آیند و شکل بلوک یا مستطیل به ابعاد ۰.۵ تا ۳ متر را شامل می شوند که با متراکم نمودن آسفالت پخش شده در حین اجرای روسازی آسفالت جاده و معابر شهری می توان تا حدودی از بروز این نوع ترک خوردگی ها جلوگیری نمود (Lavin, 2003). در این زمینه انستیتوی آسفالت به کارگیری قیر نامرغوب در اجرای روسازی آسفالتی و اجرای نامناسب و عدم اجرای صحیح زیرسازی آسفالتی و بستر خاک و چسبندگی کم بین سنگدانه ها و قیر در راستای اجرای ناصحیح آن و حجم ترافیکی کم از روی روسازی ها را عامل ایجاد ترک خوردگی های بلوکی می داند (Asphalt Institute. 2014).



تصویر ۶: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک بلوکی، طولی، مأخذ: The Local Government and Municipal Knowledge Base (LGAM), 2014



تصویر ۵: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک بلوکی، عرضی، مأخذ: The Local Government and Municipal Knowledge Base (LGAM), 2014

۴-۳-۳- ترک های طولی و عرضی

ترک خوردگی های طولی در راستای تقریبی محور طولی و بر اثر قرار گرفتن در مسیر چرخ ها و در برخی موارد در خارج از مسیر چرخ ها به دو دسته تقسیم می شوند که در این میان ترک های عرضی نیز در جهت عمود بر آن شکل می گیرد و از عوامل بروز ترک خوردگی ها می توان به درزهای روسازی و جمع شدگی و انقباض لایه آسفالتی و سیکل دمایی روزانه و نیز انعکاس رویه بالایی آن نسبت به لایه زیرین روسازی و در نتیجه عملکرد فنیش در پخش نامناسب و جداشدگی سنگ دانه ها در هنگام پخش دانست (James & Scherocman, 2007; Asphalt Institute. 2014). در این میان ترک های عرضی نیز بر اساس میزان آب بندی شدن آنها با عرض کمتر از ۶ میلی متر و بر اساس LTPP تقسیم بندی می شوند که محدوده باز و شدت ترک خوردگی با شدت کم بین ۶ تا ۱۰ میلی متر در نظر گرفته می شود (FHWA. 2003; Metropolitan Transportation Commission (MTC). 1986). این نوع از ترک ها عمدتاً به دلیل تغییرات حرارتی روسازی رخ می دهند و بنابراین به آنها ترک های حرارتی نیز گفته می شود. این ترک ها عمدتاً در عرض روسازی اتفاق می افتند و بر محور اصلی راه عمود هستند. یکی از مهمترین خصوصیات این نوع از ترک ها فواصل منظم رخداد آن است (Mallick & El-Korchi, 2013).



تصویر ۸: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک های عرضی، مأخذ: Office of Materials and Road Research. 2011



تصویر ۷: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در ترک های طولی، مأخذ: James & Scherocman, 2007

۴-۳-۴- ترک خوردگی لبه

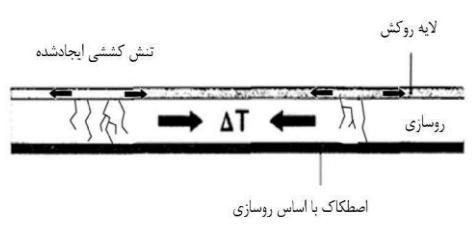
در روسازی های آسفالتی تنها در مواجهه با شانه های خاکی ترک خوردگی های لبه را می بینیم که در کناره های جاده و معابر شهری و راه های فرعی نیز به وجود می آیند و شکلی شبیه هلال ماه دارند و به صورت پیوسته امتداد پیدا می کنند و طبق استاندارد FHWA معمولاً به صورت ترک های طولی در مسیر چرخ ها و خارج از مسیر و در فاصله تقریبی ۰.۶ متر از لبه های آن نمایان می شود (سید محمودی و شهری، ۱۳۹۶: ۱۱۲).



تصویر ۹: ترک خوردگی لبه با شدت زیاد، مأخذ: ASTM D6433. 2007

۴-۳-۵- ترک خوردگی انعکاسی

ترک خوردگی های انعکاسی همانند به وجود آمدن ترک های طولی و عرضی است و با تغییرات به وجود آمده در بستر زیرین و جابه جایی افقی یا عمودی و قرار گیری در اثر بارگذاری بیش از حد از لایه های زیرین شروع شده و به لایه بالایی می رسد و باعث خرابی و ایجاد ترک های انعکاسی می شود و در برخی موارد نیز در اثر تغییرات درجه حرارت نیز شاهد به وقوع پیوستن چنین خرابی هایی در روسازی جاده ها و معابر شهری هستیم (U.S. Department of the army and the air force, 1995).



تصویر ۱۰: به وجود آمدن تنش و شکل گیری ترک انعکاسی در روکش تحت اثر تغییرات حرارتی، مأخذ: De Bondt, 1999

۴-۳-۶- چاله

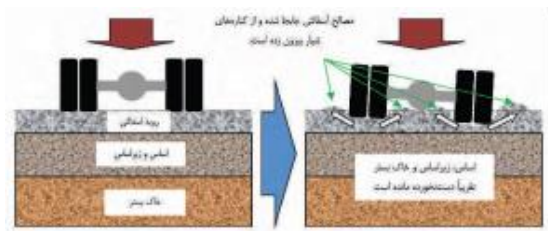
در مواردی که بار ترافیکی بیش از حد باشد و لایه زیرین زیر سازی دچار فشار بیش از حد باشند و گسیختگی در لایه های زیرین و قطعات کوچک تاب تحمل نیاورده و به مرور زمان بزرگتر می شوند و خیلی مواقع موقعی که توان باربری نیز نداشته باشند همان ترک های پوست سوسماری هم بزرگ می شوند و بعدها منجر به ایجاد چاله ها می شوند که بنا بر نوع و شرایط به وجود آمده از شدت کم تا شدت بالا تقسیم بندی می شوند و خرابی های مهم قلمداد می شوند که باید هر چه سریعتر ترمیم و نگهداری از آنها صورت بگیرد (Lavin, 2003).



تصویر ۱۱: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در چاله، مأخذ: سید محمودی و شهری، ۱۳۹۶: ۱۱۲

۴-۴- تغییر پروفیل سطحی

در تغییرات پروفیل سطحی وقتی که روسازی جاده ها و معابر شهری در حد نو و به صورت مسطح باشد می توان شاهد شاخص پی سی آر در حدود ۴ تا ۵ را مشاهده نمود، ولی در صورتی که خرابی ها خیلی بیشتر از حد معمول و بیان شده خراب بوده و شدت آن نیز به مراتب بین شاخصی در حدود ۰ تا ۱ را به خود خواهد گرفت که در این موارد با کم کردن سرعت می توان به رانندگی در جاده ها و معابر شهری ادامه داد و چاله های تشکیل شده و ترک های ایجاد شده کم کم با تغییرات پروفیل سطحی بزرگ تر شده و بیش از ۷۵ درصد خرابی روسازی ها را به همراه خواهند داشت (کریمیان، ۱۳۹۳).



تصویر ۱۲: بروز خرابی شیار افتادگی در نتیجه جابجایی آسفالت موجب (در کناره های محل عبور چرخ بالا زدگی مصالح مشاهده می شود- خط چین محل اولیه سطح روسازی را نشان می دهد)، مأخذ: سید محمودی و شهری، ۱۳۹۶: ۱۱۴



تصویر ۱۳: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری در موج و چین زدگی، مأخذ: ASTM D6433. 2007



تصویر ۱۴: خرابی های روسازی آسفالت معابر شهری لکه گیری و ترمیم نوار حفاری (وصله)، مأخذ: ASTM D6433. 2007

۴-۴-۱- شیار افتادگی (شیار شدگی)

شیار افتادگی یا همان شیار شدگی در نتیجه عبور چرخ خودروها از مسیر های تردد و جاده ها در اثر تغییر فرم طولی در روسازی ها می باشد که بر اثر تردد بیش از حد خودروها و وارد آمدن بار ترافیکی در مسیر چرخ ها کانال هایی ایجاد می شود و مصالح زیرین جابه جا شده و شیار افتادگی رخ می دهد که در برخی موارد اغلب از آن علاوه بر Rutting از اصطلاح Grooving و یا Channeling نیز استفاده می گردد (سیدمحمودی و شهری، ۱۳۹۶).

۴-۴-۲- تورم و نشست

در روسازی جاده ها و معابر شهری تورم با طول موجل نسبتاً زیاد و برآمدگی های بزرگ جلب توجه می کند و طول موجی برابر یا بیشتر از ۳ متر را در بر می گیرد که در بسیاری موارد با ترک خوردگی های سطحی نیز همراه است. تورم و نشست در نتیجه تورم عدم اجرای صحیح زیر سازی ها و تورم ناشی از یخبندان بسته به شرایط اقلیمی و دمایی به وجود می آید (ASTM D6433. 2007). در نقطه مقابل تورم روسازی، نشست های روسازی قرار دارند که شامل محل های نسبتاً بزرگی هستند که در آن ها تراز سطح روسازی پایین تر از محدوده اطراف است. در مناطقی که نشست وجود دارد آب جمع می شود و موجب به وجود آمدن محدوده ای می شود که به حمام پرندگان^۱ معروف است.

۴-۴-۳- موج و چین زدگی

موج و چین زدگی از انواع خرابی های رایج در روسازی و خرابی های آسفالتی است که با نام مستعار Washboarding نیز شناخته می شود و شیارهای آن در فواصل طولی و عرضی بسیار منظم و چسبیده به هم در حدود کمتر از ۳ متر بر روی روسازی جاده ها و معابر شهری پدید می آیند که از عوامل ایجاد و بروز چنین خرابی هایی می توان به بار ترافیکی، عدم اجرای صحیح روسازی و زیر اساس و اساس ناپایدار باشد. (تصویر ۱۳)

۴-۴-۴- لکه گیری و ترمیم نوار حفاری (وصله)

در لکه گیری و ترمیم نوار حفاری و وصله های به وجود آمده در روسازی جاده ها و معابر شهری در اثر برداشت سطح روسازی در برخی موارد بر اثر مسیرهای لوله گذاری شده و تأسیسات شهری عبور شده و موارد دیگر مجبور به برداشتن سطح روسازی می شوند که بعداً با اجرای روسازی آسفالتی مجدد ترمیم می شوند که از نظر استاندارد FHWA هم در حدود ۰,۱ متر مربع سطح وصله ها بزرگتر می باشد (FHWA, 2003). (تصویر ۱۴)

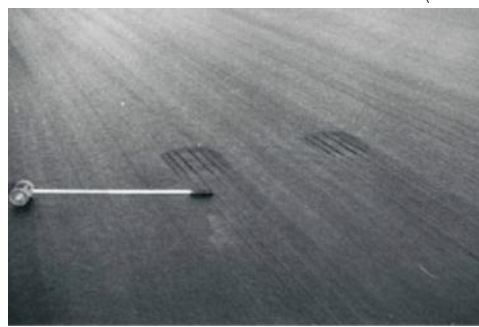
۴-۵- عیوب سطحی

۴-۵-۱- قیر زدگی

در راستای عیوب سطحی و قیر زدگی به وجود آمده می توان چنین بیان نمود که قیر زدگی بر اثر تشکیل یک لایه نازک از مصالح قیری در سطح روسازی تشکیل می شود و با تابش مستقیم آفتاب و انعکاس نور به صورت براق بوده و حالت چسبندگی به خود می گیرد و به دلیل وجود قیر بیش از حد در آن ناحیه و فشار بیش از حد بار ترافیکی و مخلوط کردن بیشتر آب بندهای قیری و کم در نظر گرفتن مخلوط ها در اجرا و هوای گرمی که در تابستان بخصوص بر روی آن می تابد باعث بروز خرابی هایی از این قبیل می شود. بر اثر گرم شدن و تغییر شکل ناگهانی قیر و خالی شدن فضاهای مخلوط آسفالتی در روسازی و سرد شدن بعد از آن و عدم بازگشت به حالت اولیه و فرآیند جابه جایی و حرکتی که صورت گرفته است را در پی خواهد داشت و بعد از سرد شدن قیر و مخلوط آسفالتی بالا آمده امکان بازگشت به حالت قبلی وجود ندارد و سرد شده قیر زدگی را به وجود می آورد (ASTM D6433, 2007).



تصویر ۱۶: عیوب سطحی روسازی آسفالت معابر شهری (قیر زدگی)، بزرگنمایی با نمایش سکه، مأخذ: FHWA, 2003



تصویر ۱۵: عیوب سطحی روسازی آسفالت معابر شهری (قیر زدگی)، مأخذ: FHWA, 2003

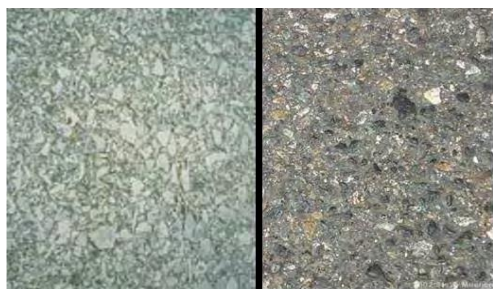
۴-۵-۲- شن زدگی و هوا زدگی^۱

شن زدگی و هوا زدگی در اثر از بین رفتن پوشش سطح روسازی به وجود می آید و از عوامل خرابی های به وجود آمده در این زمینه می توان به اثر حذف قیر استفاده شده و نمایان شدن سنگدانه های مصرفی اشاره نمود. چنین خرابی هایی در اثر عدم اختلاط نامناسب و عدم وجود کیفیت مناسب و غیر قابل قبول و استفاده از قیر سخت شده در مخلوط های آسفالتی به وجود می آید و در حالتی که آسفالت بیش از حد نرم و گرم است با ریختن روغن بر روی آن باعث به وجود آمدن شن زدگی بر روی رویه آسفالتی شد که به مرور زمان خرابی به وجود آمده باعث جدا شدن سنگدانه ها از محل خود می شود و شن زدگی و هوا زدگی را تومآن به وجود بیاورد (ASTM D6433, 2007). (تصویر ۱۷)

۴-۵-۳- صیقلی شدن سطح^۲

صیقلی شدن سطح جاده ها و معابر شهری در اثر قرار گرفتن بار ترافیکی سنگین و سائیدگی سطح روسازی و تحت تأثیر قرار گرفتن بار بیش از حد و تکراری است. در برخی موارد تردد افراد پیاده و عابرین نیز در پیاده روها و پارکینگ ها هم بخصوص در مکان های عمومی و پر تردد نیز باعث به وجود آمدن این نوع از خرابی ها می شود که بر اثر برخورد ماشین های عبوری و افراد به صورت پیاده لبه های تیز سنگ های نمایان شده به مرور زمان سائیده شده و از بین می رود و سطح تا حدودی صیقلی و لغزنده می شود و برای یافتن علت و کنترل آن و اقدامات بعدی برای اصلاح و ترمیم و در صورت لزوم نگهداری آن نیازمند استفاده از بازرسین متخصص در این حوزه می باشد (Lavin, 2003; ASTM D6433, 2007). (تصویر ۱۸)

1 . Weathering and raveling
2 . Polished aggregate or Polishing



تصویر ۱۸: صیقلی شدن سطح راه و معابر شهری، مأخذ: FHWA, 2003

تصویر ۱۷: عيوب سطحی روسازی آسفالت معابر شهری (شن زدگی و هوازدگی)، مأخذ: سید محمودی و شهری، ۱۳۹۶: ۱۱۲

۵- نتیجه‌گیری

روسازی های آسفالتی احداث شده بعد مدت مدیدی و گذشت زمان به دلایل مختلفی از قبیل بروز حوادث منجمله قرار گرفتن در بار ترافیکی سنگین، شرایط جوی و دما و رطوبت محیط، جابه جایی بستر زیرین و عدم اجرای صحیح زیر سازی ها و روسازی ها و اختلاط نامناسب در بحث قیر و مخلوط های قیری و ... از بین می رود و نیازمند اصلاح و ترمیم و نگهداری بعد اجرای آن می باشد که با اجرای صحیح و مدیریت به موقع می توان سال های زیادی بدون وجود خرابی از آن بهره برداری نمود و بر خرابی های به وجود آمده از ترک های به وجود آمده و عيوب سطحی بیان شده و سایر خرابی ها شناخت کافی پیدا کرده و کاهش مقدار آن را در اجرای طرح های روسازی آسفالتی داشته باشیم. در نتیجه می توان چنین برداشت نمود که به عنوان راهکار کوتاه مدت که ترک ها و خرابی های به وجود آمده کوچک در صورت عدم اجرای صحیح به چاله ها و ترک خوردگی های بزرگتر در روسازی منجر شده اند با صرف هزینه اندک و اجرای صحیح نکات اجرایی می توان از کندن معابر و جاده های شهری صرف نظر کرد و به حداقل رسانید و دیگر نیازی به ترمیم و لکه و گیری نباشد و به عنوان راهکاری بلند مدت نیز در سطح جاده ها و معابر شهری می توان از تونل های مشترک تأسیساتی استفاده نمود که بی خود و بی جهت در برخی موارد مورد تخریب را شاهد نبوده و نیازی به ترمیم و نگهداری بعد اجرا را نداشته باشیم که در ادامه علل به وجود آمدن خرابی ها و حفاری ها و روسازی های آسفالتی آورده شده است که روش های پیشگیری و ترمیم نیز لحاظ شده است که ماحصل نتایج و یافته های پژوهش می باشد.

جدول ۲: تعمیر و نگهداری خرابی ها، حفاری ها و روسازی آسفالتی معابر شهری، نگارنده، ۱۴۰۱

طبقه بندی خرابی ها	نوع خرابی	علت ایجاد	روش پیشگیری و ترمیم
ترک خوردگی ها	ترک پوست سوسماری	- بارگذاری بیش از اندازه - خاک بستر، اساس و یا رویه ضعیف - خاک بستر یا رویه ضعیف - زهکشی ناکافی - ترکیبی از عوامل فوق	- بهبود وضعیت باربری خاک بستر، اساس و یا رویه - اجرای سیل کت - اجرای لکه گیری
	ترک بلوکی	- به کارگیری قیر نامرغوب در ساخت روسازی - اجرای نامناسب روسازی - عدم جذب قیر کافی در سنگ دانه ها - عبور بار ترافیکی با حجم کم	- پر کردن ترک - آب بندی ترک - اجرای سیل کت - اجرای روکش نازک آسفالت گرم
	ترک های طولی	- رخداد این ترک در درزهای ساخت روسازی - جمع شدگی و انقباض لایه آسفالتی - سیکل دمایی روزانه - انعکاس ترک موجود در لایه زیرین روسازی - جداشدگی سنگ دانه به دلیل عملکرد نامناسب دستگاه فینیشر	- تعمیر موضعی ترک - پر کردن ترک - آب بندی ترک - لکه گیری - اجرای سیل کت
	ترک های عرضی	- کاهش شدید دمای روسازی و شکست روسازی - خستگی مصالح به دلیل وقوع سیکل های حرارتی	- تعمیر موضعی ترک - پر کردن ترک - آب بندی ترک - لکه گیری - اجرای سیل کت

طبقه بندی خرابی‌ها	نوع خرابی	علت ایجاد	روش پیشگیری و ترمیم
	ترک خوردگی لبه	- ضعف اساس یا خاک بستر روسازی - افزایش شدت با بارگذاری ترافیکی - افزایش شدت با ضعیف شدن اساس یا خاک بستر تحت سیکل های ذوب و یخبندان	- تقویت اساس و خاک بستر روسازی - بهبود زهکشی روسازی
	ترک های انعکاسی	- وجود ترک یا درز در لایه زیرین - بارگذاری حرارتی - بارگذاری ترافیکی - جابجایی نامتقارن طرفین ترک قدیمی	- اجرای ژئوسنتتیکها، لایه جاذب تنش - یا مقاوم سازی لایه روکش - پر کردن ترک - آب بندی ترک - لکه گیری - اجرای روکش نازک آسفالت گرم
	ترک های لغزشی	- عدم اتصال مناسب میان روکش روسازی و معابر لایه ها - اعمال بارگذاری برشی بر روی روکش	- به کارگیری مقدار تک کت مناسب - به کارگیری نوع تک کت مناسب - تراش روکش و اجرای روکش مجدد در محل های دچار مشکل
وصله و چاله	خرابی وصله	- عدم تراکم مناسب وصله - عدم اجرای تک کت به نحو مناسب - زیر سازی نامناسب	- اجرای وصله بر اساس جزئیات - اجرایی صحیح - اجرای صحیح تک کت - لکه گیری
	چاله	- بروز ترک و خرابی در سطح روسازی - بیرون آمدن بخش های ترک خورده از محل خود در هنگام تردد ترافیک - پدیدگی لبه در برخی از انواع ترک ها	- ترمیم به موقع ترک ها - اجرای وصله و لکه گیری - اجرای روکش
	شیار افتادگی	- رخداد شیار به دلیل جابجایی آسفالت در زیر چرخ خودروها - متراکم شدن مصالح در اثر بار چرخ خودروها - شیارافتادگی در اثر جابجایی یا تراکم در اساس و خاک بستر - ساییدگی و کنده شدن بخش مشخصی از روسازی که عموماً در اثر زنجیر چرخ خودروها رخ می دهد	- لکه گیری - اجرای اسلاری سیل - اجرای میکرو سرفیسینگ - اجرای روکش نازک آسفالت گرم
تغییر در پروفیل سطحی	پس زدگی رویه	- اعمال نیروی چرخ به روسازی به میزانی بیش از حد تحمل روسازی - ناپایداری آسفالت و وجود خواص مایع گون در آسفالت	- استفاده از آسفالت با خواص مایع گون کمتر - اجرای لکه گیری
	برآمدگی و فرورفتگی	- بالا زدگی دال های بتنی زیرین در هنگامی که رویه آسفالتی بر روی لایه بتنی اجرا شده باشد - سیکل ذوب و یخ که موجب به وجود آمدن لنزهای یخ در لایه های زیرین می شود - تراوش و بالازدگی مصالح از بین ترک‌ها به دلیل تردد	- بهبود زهکشی مسیر - اجرای لکه گیری
	تورم	- تورم خاک زیرین - تشکیل لنزهای یخی	- بهبود خواص خاک بستر - بهبود وضعیت زهکشی - اجرای لکه گیری
	موج زدگی	- اساس ناپایدار	- بهبود کیفیت لایه اساس - اجرای لکه گیری
عیوب سطحی	قیر زدگی	- وجود قیر بیش از اندازه در مخلوط - استفاده از آب بندهای قیری - درصد فضای خالی کم در مخلوط - ترکیبی از عوامل فوق	- اجرای سیل کت - اجرای اسلاری سیل - اجرای میکرو سرفیسینگ - اجرای روکش نازک آسفالت گرم
	شن زدگی و هوازدگی	- سخت شدن قیر به کار رفته در آسفالت - تهیه مخلوط با کیفیت غیر قابل قبول - نرم شدن بیش از حد آسفالت در اثر ریختن روغن	- اجرای سیل کت - اجرای اسلاری سیل - اجرای میکرو سرفیسینگ - اجرای روکش نازک آسفالت گرم - اجرای فاگ سیل - اجرای لکه گیری

طبقه بندی خرابی‌ها	نوع خرابی	علت ایجاد	روش پیشگیری و ترمیم
	صیقلی شدن سطح	- به کارگیری سنگ های با میزان سایش بالا	- اجرای سیل کت - اجرای اسلاری سیل - اجرای میکرو سرفیسینگ - اجرای روکش نازک آسفالت گرم

منابع

۱. خرمی، میلاد؛ صفا، ابراهیم؛ (۱۳۹۶)، توجیه فنی بکارگیری نقش مشخصات بار و مصالح در افزایش عمر خستگی روسازی آسفالتی، چهارمین کنفرانس ملی دستاوردهای اخیر در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، تهران.
۲. دبیر خانه مجمع جهانی راه؛ (۱۳۸۵)، مخلوط های آسفالتی با مقاومت بالا در برابر شیارشدگی، ترجمه: کیون بمانا، تهران: نشر وزارت راه و ترابری، معاونت آموزش تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل .
۳. رضایی، ف؛ نصر آزادانی، م؛ (۱۳۸۸)، سیستم های نوین درز انبساط پل ها، تهران: انتشارات سازمان مهندسی و عمران شهر تهران.
۴. سید محمودی؛ سیدرضا؛ شهری، رضا؛ (۱۳۹۶)، ارزیابی و بررسی خرابی ها در روسازی آسفالتی راه ها و معابر شهری و مراحل اجرای فرایند تعمیر و نگهداری از آن ها، مجله نخبگان علوم مهندسی، جلد دوم، شماره نهم.
۵. سید محمودی؛ سیدرضا؛ شهری، رضا؛ (۱۳۹۶)، بررسی و مقایسه روش های نوین روسازی معابر شهری با آسفالت از جنبه شرایط به کارگیری، اجرا و نگهداری از آن، مجله نخبگان علوم مهندسی، جلد دوم، شماره نهم.
۶. کریمیان، م. ح؛ (۱۳۹۳)، طرح و به کار گیری سیستم مدیریت روسازی در بستر فازی، پایانامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: گل رو، الف؛ مقدس نژاد، ف، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
۷. معاونت نظام راهبردی وزارت راه و شهر سازی؛ (۱۳۹۰)، آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، دفتر نظام فنی، موسسه قیر و آسفالت ایران، پژوهشکده حمل و نقل، نشریه شماره ۲۳۴، تهران.
۸. نیازی، یونس؛ عباسی نیشابوری، رامین؛ (۱۳۸۲)، تأثیر نوع فیلر بر خواص مکانیکی و دوام بتن آسفالتی روسازی ها، نشریه دانشکده مهندسی، سال پانزدهم، شماره دوم.
۹. نظام فنی و اجرایی شهرداری های کشور؛ (۱۳۹۴)، دستورالعمل تعمیر و نگهداری روسازی آسفالتی راه ها و بزرگراه های شهری، تهیه کننده: مهندسین مشاور دانش پژوهان هنگام، تهران: نشر سازمان شهرداری ها و دهیاری های کشور.
۱۰. هاشمی پور، جهانبخش؛ مهدوی عادل، مهدی؛ (۱۳۹۶)، ارزیابی علل کاهش عمر لایه های آسفالتی سطوح معابر شهری و ارایه راه حل ها و پیشنهادات (مطالعه موردی شهرستان لالی)، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد.
11. Asphalt Institute. 2014 Asphalt Pavement Distress Summary. ASphalt Institute Official Websit., Access date: 15 September 2014 http://www.asphaltinstitute.org/public/engineering/maintenance_rehab/asphalt_pavement-distress-summary.dot.
12. ASTM D6433. 2007. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. American Society for Testing and Materials, ASTM D6433.
13. Coastal road repair pavement repair company. 2014. Alligator (Fatigue) Cracking. coastalroadrepaircompany official website. coastalroadrepair company, Access date: 16 September 2014.
14. Chao, Wang, Caili, Zhang. 2021, Deformation of Steel Slag Asphalt Mixtures Under Normal Temperature Water Immersion, Environmental Degradation of Materials, a section of the journal Frontiers in Materials, 8:718516.
15. De Bondt, A.H. 1999. Anti reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. Netherlands Ponsen & Looijen.,
16. FHWA. 2003. Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition). Office of Research, Development, and Technology, Office of Infrastructure, RDT : Federal Highway Administration, FHWA-RD-03-031.
17. Gkyrtis, K.; Loizos, A.; 2021, Plati, C. Integrating pavement sensing data for pavement condition evaluation. Sensors, 21, 3104.
18. Huang, Y., H.,. 2003. Pavement Analysis And Design. ISBN: 0131424734.
19. Hu, S., Zhou, F., Scullion, T., 2010. Reflection cracking-based asphalt overlay thickness design and analysis tool. Transportation Research Record 2155, 12e23.
20. James, A., Scherocman, P.E, 2007. Construction of durable longitudinal joints. Lexington: Themagazine of asphalt institute

- <http://www.asphaltmagazine.com/news/detail.dot?id=518ffdd2-f194-471a-9b86-24d93d146a42>.
21. Kai Yang, Rui Li, 2021, Characterization of bonding property in asphalt pavement interlayer: A review, *J. Traffic Transp. Eng. (Engl. Ed.)* 8 (3): 374e387
22. Kumar, V.V., Saride, S., 2018a. Evaluation of cracking resistance potential of geosynthetic reinforced asphalt overlays using direct tensile strength test. *Construction and Building Materials* 162, 37e47.
23. Konstantinos, Gkyrtis. Christina, Plati. Andreas, Loizos. 2022, Mechanistic Analysis of Asphalt Pavements in Support of Pavement Preservation Decision-Making, *Infrastructures*. 7, 61. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7050061>
24. Lavin, P. G. 2003. Asphalt pavement- A practical guide to design, Production, and mainenancefor engineers and architects. London : Spon Press- Taylor and Francis, ISBN(Adobe eReader): 0-203-76153-7.
25. Mallick, R.,B., El-Korchi,T. 2013. Pavement engineering- Principles and practice. United statesof america : Taylor and Francis,. ISBN: 978-1-4398-7035-8.
26. Metropolitan Transportation Commission (MTC). 1986. Pavement Condition Index DistressIdentification Manual for Asphalt and Surface Treatment Pavements. Oakland, CA : MetropolitanTransportation Commission,2nd Edition.
27. Office of Materials and Road Research. 2011. Mn DOT Pavement Distress Identification Manual. Minnesota : Pavement Management Unit,Office of Materials and Road Research
28. Marecos, V.; Fontul, S.; Antunes, M.L.; Solla, M. Evaluation of a highway pavement using non-destructive tests: Falling Weight Deflectometer and Ground Penetrating Radar. *Constr. Build. Mater.* 2017, 154, 1164–1172.
29. Pavement Interactive. 2009. Pavement Management page. Pavement Interactive official website. <http://www.pavementinteractive.org/article/block-cracking>
30. Plati, C.; Loizos, A.; 2020, Gkyrtis, K. Assessment of modern roadways using non-destructive geophysical surveying techniques. *Surv. Geophys.* 41, 395–430.
31. Roadscience. 2014. Distress Guide. roadscience official website. Access date: Roadscience, 16September 2014. <http://www.roadscience.net/services/distress-guide>.
32. Richard Y. Ji,Tirupan Mandal, Hao Yin, 2020, Laboratory characterization of temperature induced reflection cracks, *J. Traffic Transp. Eng. (Engl. Ed.)* 7 (5): 668e677
33. Romanoschi, S.A., Metcalf, J.B., 2001. Characterization of asphalt concrete layer interfaces. *Transportation Research Record* 1778, 132e139.
34. The Local Government and Municipal Knowledge Base (LGAM) 2014. Block Cracking. TheLGAM official Website. Access date: 15 September 2014. <http://www.lgam.info/block-cracking>.
35. U.S. Department of the army and the air force. 1995. Technical manual engireeng use of geotextiles. U.S. Departments of army and the air force ‘TM 5-818-8 / AFJMAN 32-030.
36. Wolf paving website. 2012. POTHOLE REPAIR WITH ASPHALT PAVEMENT. Wolf pavingofficial website. <http://www.wolfpaving.com/blog/bid/80059/Pothole-Repair-with-Asphalt-Pavement>.
37. Wang, J., Xiao, F., Chen, Z., et al., 2017a. Application of tack coat in pavement engineering. *Construction and Building Materials* 152, 856e871.
38. Zhou, F., Chen, D., Scullion, T., et al., 2004. Overlay tester: a simple test to evaluate the reflective crackign resistance of asphalt mixtures. In: 5th RILEM International Conference on Reflective Cracking in Pavements. Limoges, 2004.
39. Zhao, S.; Al-Qadi, I.L.; 2018, Wang, S. Prediction of thin asphalt concrete overlay thickness and density using nonlinear optimization of GPR data. *NDT E Int.* 100, 20–30.

