



بررسی علل کاهش عمر رویه‌های آسفالتی روکش‌ها در مناطق گرمسیر

سید عباس طباطبایی^۱، مهدی خلیلی^۲، امیر صفی‌خانی^۳

۱- استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز. dr_tabatabaiee@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد عمران- راه و ترابری، دانشگاه شهید چمران اهواز. iilakh_idhem@yahoo.com

۳- کارشناس عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز. amir_ahwaz@yahoo.com

خلاصه

هر ساله رقم قابل توجهی از اعتبارات بخش راه و ترابری استان خوزستان صرف روکش راه‌هایی می‌شود که مدت زیادی از زمان احداث روکش قبلی آن نمی‌گذرد. مقاله حاضر شرح کار و نتایج یک پروژه تحقیقاتی است که در آن با بررسی روکش‌های آسفالتی در استان خوزستان، عوامل خرابی زودرس آنها ریشه‌یابی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد عوامل متعددی در کاهش عمر رویه‌های آسفالتی (روکش‌ها) در مناطق گرمسیر تأثیرگذارند. در این تحقیق پس از بررسی شبکه راه‌های استان تعداد ۱۰ محور به عنوان شبکه مورد مطالعه انتخاب شده است. معیارهای انتخاب به قدمت روکش اجراء شده، میزان تردد، آب و هوا و مصالح مصرفی متکی بوده است. ابتدا با برداشت خرابی‌های مورد مطالعه، PCI (نشانه وضعیت روسازی) هر محور تعیین شده و سپس با تحلیل آمار خرابی‌های موجود، خرابی غالب در هر قطعه تعیین شده است. در ادامه از محل خرابی‌های غالب با دستگاه مغزه‌گیری در هر محور نمونه برداری شده است و بر روی نمونه‌ها آزمایشات مختلف انجام شده است. براساس تحلیل نتایج آزمایشات و آمارگیری و مطالعات جنبی دیگر علل خرابی‌های غالب مشخص و به تناسب راهکارهای مناسب ارائه شده است. در انتها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل موثر در کاهش عمر روکش‌ها رتبه بندی شده‌اند.

کلید واژه: روکش آسفالتی، مناطق گرمسیر، روش PCI، خرابی غالب، روش AHP

مقدمه

هر ساله رقم قابل توجهی از اعتبارات بخش راه و ترابری استان خوزستان صرف روکش جاده‌های آسفالتی می‌شود. متأسفانه بدلیل گوناگون رویه‌های آسفالتی (روکش‌ها) پس از مدت زمان کوتاهی بگونه‌ای خراب می‌شوند که نیاز به روکش جدید پیدا می‌کنند. شناسایی و جلوگیری از بروز عوامل کاهش عمر روکش‌ها می‌تواند از هدر رفتن هزینه‌های بالای احداث روکش‌ها جلوگیری کند. عوامل متعددی بر عملکرد روکش‌های آسفالتی موثرند. این عوامل را می‌توان در رده‌های مختلف دسته بندی کرد. مشخصات مخلوط‌های آسفالتی شامل خصوصیات قیر و مصالح سنگی، طرح اختلاط و طرح ضخامت روکش‌های آسفالتی، عملکرد کارخانه‌های آسفالت در ذخیره و گرمایش قیر و مصالح سنگی و مخلوط کردن آنها و مسائل اجرایی در احداث روکش‌های آسفالتی، از جمله این عوامل هستند. در این مطالعه ابتدا ۱۰ محور از محورهای استان خوزستان که بین سالهای ۸۰ تا ۸۴ روکش شده اند، انتخاب شده و سپس برداشت خرابی این محورها بر طبق روش PCI انجام شده و نشانه وضعیت روسازی برای هر محور بدست آمده است. پس از مطالعه موارد خرابی و انجام محاسبات، خرابی غالب هر محور مشخص شده است. پس از این مرحله مطالعات تئوری و تحقیقات میدانی شامل مغزه گیری از محل خرابی غالب و انجام آزمایشات روی نمونه‌های گرفته شده، مطالعه بار ترافیکی، و بررسی کارخانه‌های آسفالت و عملیات اجرای روکش در استان خوزستان انجام گرفته است. با مطالعه تئوری و بررسی های میدانی در عوامل ذکر شده، علت و یا علل بروز هر خرابی غالب از میان عوامل بررسی شده مشخص شده است.

مروری بر مطالعات گذشته

روکش بتن آسفالتی یکی از معمول ترین فنون ترمیم روسازی است. خرابی سریع این نوع از ترمیم یکی از بزرگترین مشکلاتی است که مهندسين روسازی با آن مواجه هستند [۱]. عمر خدمت‌دهی واقعی اغلب روکش‌ها معمولاً به طور قابل ملاحظه‌ای از عمر طراحی مورد انتظار کمتر است. نتیجتاً، بودجه اضافی نیاز خواهد بود تا این راه‌ها به سطح خدمت‌دهی مورد انتظار برسند. از طرف دیگر یک درک خوب از عوامل تأثیرگذار در عملکرد بلند مدت روکش‌ها به مهندسين روسازی این امکان را می‌دهد تا روکش‌های با عمر خدمت طولانی‌تر، هر چند با هزینه بیشتر، طراحی و اجراء کنند تا هزینه کل ترمیم و نگهداری کاهش یابد.

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ کارشناس ارشد مرکز تحقیقات قیر و مخلوط‌های آسفالتی

^۳ کارشناس شرکت مشاور شارستان زاگرس



در سال ۱۹۸۷، هاجک و دیگران تعدادی از این عوامل را با تحلیل داده‌های جمع آوری شده از راه‌های ایالت اونتاریو کانادا، بررسی کردند تا مدلی تشکیل دهند که بتواند عمر طراحی روکش را پیش بینی کند [۱]. متغیرهایی که در این مدل بررسی شدند، ضخامت روکش، بار محور ساده هم ارز (ESAL)، لکه گیری در روسازی اصلی قبل از روکش و عمر خدمت روسازی اصلی بودند.

تابش نور خورشید، زاویه تابش، دمای هوا و رطوبت هوا عوامل بیرونی هستند که بر درجه حرارت سطحی و عمقی آسفالت تاثیر می‌گذارند [۲]. این عوامل در نواحی با آب و هوای بحرانی مانند مناطق گرمسیر تاثیر قابل ملاحظه‌ای در طراحی و عملکرد روسازی‌های آسفالتی دارد. در طرح اختلاط سوپرپیو (Superpave) تاریخچه دمایی محل احداث راه به دو صورت میانگین حداکثر دمای هفت روز محل و سردترین دما در انتخاب نوع قیر و مقدار تراکم نمونه‌های آزمایشگاهی برای طراحی مخلوط در نظر گرفته می‌شود [۳].

مطالعات رفتار رئولوژیک آسفالت در دمای محیط نشان می‌دهد که استفاده از قیر بیشتر در آسفالت انعطاف‌پذیری آنرا بالا می‌برد. اگر چه تغییر شکل الاستیک اولیه آن بیشتر است، لیکن در پایان عمر روسازی تغییر شکل کلی آسفالت کمتر از مخلوط‌های مشابهی است که با قیر کمتری تهیه شده‌اند. فیلر در بتن آسفالتی موجب افزایش عمر روسازی، ازدیاد مقاومت در برابر تاثیر آب و ضربه و افزایش مقاومت برشی می‌شود [۴].

حمل و نقل در استان خوزستان

استان خوزستان بدلیل مجاورت با خلیج فارس و وجود چهار بندر مهم از جمله بندر امام خمینی (ره)، حضور ۳۰٪ صنایع کشور و احداث پی در پی سدهای بزرگ بر رودخانه‌های کارون، دز و زهره، سالانه حجم عظیمی از کالاهای مختلف در قالب سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای را از خود عبور می‌دهد. بر طبق آمار موجود در سال ۱۳۸۴ میزان کالای حمل شده در استان ۲۳۹۹۷ هزارتن بوده است که سهم آن در کشور ۹/۵ درصد می‌باشد. طول راه‌های تحت پوشش ۱۳۲۸۱ کیلومتر است که ۴۲۷ کیلومتر آن چهار خطه، ۶۸۲ کیلومتر راه اصلی عریض و ۱۰۹۳ کیلومتر راه اصلی معمولی است. مجموع راه های فرعی آسفالتی ۲۶۴۳ کیلومتر است. هزینه تخصیص یافته جهت روکش راه های آسفالتی از ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱ - هزینه کل تخصیص یافته جهت روکش راه های آسفالتی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ [۶]

سال انعقاد قرارداد روکش	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴
طول کل روکش انجام شده (کیلومتر)	۲۵۱/۲۰۸	۱۶۷/۸۶۰	۲۲۴/۲۹۲	۱۱۹/۳۸۴	۸۹/۱۱۰
هزینه کل احداث روکش (میلیون ریال)	۵۷,۳۸۰	۵۳,۸۶۸	۵۵,۶۲۰	۷۲,۱۸۰	۲۰۹,۳۸۶

محورهای روکش شده و انتخاب شبکه

مجموع طول محورهایی که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ مورد عملیات روکش قرار گرفته اند، مطابق جدول ۲ است [۶].

جدول ۲ - مشخصات مجموع محورهای روکش شده از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ [۶]

سال	جاده اصلی		جاده فرعی	
	تعداد محورها	مجموع کیلومتر روکش شده	تعداد محورها	مجموع کیلومتر روکش شده
۱۳۸۰	۱۲	۱۲۰/۴۵	۱۲	۱۳۰/۷۵۸
۱۳۸۱	۹	۸۴/۰۷	۷	۸۳/۸
۱۳۸۲	۱۵	۱۵۸/۱۹	۸	۶۶/۱
۱۳۸۳	۱۱	۹۳/۲۳۴	۴	۲۶/۱۵
۱۳۸۴	۳	۳۲/۶۱۰	۹	۵۶/۵۱

جهت امکان بررسی و مطالعه از بین کلیه محورهای روکش شده و با توجه به سه عامل ۱- تردد ۲- شرایط آب و هوایی ۳- نوع مصالح مصرفی مطابق جدول ۳ محورهای زیر جهت مطالعه انتخاب شده اند.

جدول ۳ - محورهای انتخابی روکش شده بر حسب سال

ردیف	محور روکش شده	طول روکش (متر)	سال اجرای روکش
۱	اهواز - اندیمشک	۱۷۰۰۰	۱۳۸۱
۲	اهواز - ماهشهر	۶۳۰۰	۱۳۸۰
۳	اهواز - حمیدیه	۸۰۰۰	۱۳۷۹
۴	ایذه - سراک	۴۲۰۰	۱۳۸۱
۵	ماهشهر - امیدیه	۲۵۰۰	۱۳۸۱
۶	شوشتر - ندافیه	۵۲۰۰	۱۳۸۲
۷	ایذه - راسفند	۶۵۰۰	۱۳۸۱
۸	آبادان - اروندکنار	۱۴۵۰۰	۱۳۸۰
۹	هندیجان - سجافی	۱۴۸۷۰	۱۳۷۹
۱۰	چهار راه صفی آباد - رابندکارون	۱۵۵۰۰	۱۳۸۲

**شرح مختصری بر روش PCI**

اولین قدم در این روش تعریف شبکه است، که با توجه به کاربری، منابع مالی و حداقل استاندارد بهره‌برداری انجام می‌شود. شبکه راه‌های استان خوزستان به عنوان شبکه مورد بررسی در این مطالعه انتخاب شده است. سپس تعریف شاخه است که بخشی از یک شبکه روسازی است که به سادگی قابل شناسایی بوده و دارای عملکرد مشخصی باشد. محورهای روکش شده بین سالهای ۸۰ تا ۸۴ به عنوان شاخه انتخاب شده‌اند. از آنجاییکه یک شاخه نوعاً به یک واحد بزرگ در شبکه اطلاق می‌شود در سرتاسر طول یا سطح خود الزاماً دارای ویژگی‌های یکسانی نخواهد بود. به همین علت برای مقاصد مدیریتی، شاخه‌ها به اجزای کوچکتری تحت عنوان قطعه تقسیم می‌شوند. در این مطالعه هر قطعه، قسمت روکش شده یک محور می‌باشد. طبق تعریف یک واحد نمونه قطعه‌ای بین قطعات روسازی است که تنها برای بازرسی در نظر گرفته می‌شود و سطح آن 90 ± 230 متر مربع است. تعداد واحد نمونه مورد بازرسی بستگی به بررسی در سطح شبکه یا پروژه دارد که در این تحقیق هدف در سطح پروژه می‌باشد.

برای تعیین PCI یک قطعه روسازی ابتدا آن قطعه به واحدهای نمونه تقسیم و بین آنها، واحدهای نمونه مورد بازرسی انتخاب می‌شوند. PCI، یک نشانه عددی است که مقدار آن از صفر برای یک روسازی غیر قابل استفاده تا ۱۰۰ برای یک روسازی کاملاً بی عیب و نقص تغییر می‌کند. درجه اضمحلال روسازی تابعی از نوع، شدت و میزان تراکم خرابی است. به دلیل تعداد زیاد وضعیت‌های ممکن، بدست آوردن نشانه خرابی که هر ۳ عامل را بطور همزمان لحاظ نماید، بسیار مشکل خواهد بود. برای غلبه بر این مشکل «ضرایب کاهندگی» بعنوان نوعی ضریب وزنی که میزان تاثیر هر یک از ترکیبات، نوع و سطح شدت خرابی و تراکم آنها بر وضعیت روسازی راه نشان می‌دهند، پیشنهاد شده‌اند.

پس از انجام محاسبات و تعیین کیلومترهای شروع و پایان واحدهای نمونه‌ای که مورد بازرسی قرار می‌گیرند، عملیات برداشت خرابی به صورت چشمی و همراه با ثبت نوع، شدت و میزان خرابی انجام شده است. با استفاده از اطلاعات ثبت شده و منحنی‌های تعریف شده، ضرایب کاهندگی هر خرابی، هر واحد نمونه و در نهایت ضریب کاهندگی کل قطعه محاسبه می‌شود. تفاضل این مقدار از ۱۰۰ مقدار PCI هر قطعه را نتیجه می‌دهد. برای محورهای مورد مطالعه PCI محاسبه شده و خرابی‌های غالب در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴ - مقدار PCI و خرابی‌های غالب محورهای مورد مطالعه

ردیف	محور روکش شده	PCI	خراب غالب ۱	خراب غالب ۲	خراب غالب ۳
۱	اهواز - اندیمشک	۷۲,۲	قیرزدگی	پایین افتادگی شانه	موج زدگی
۲	اهواز - ماهشهر	۴۵,۲	وصله و کنده کاری	صیقلی شدن دانه ها	تورفتگی
۳	اهواز - حمیدیه	۴۸,۹۷	هواززدگی	پایین افتادگی شانه	ترک خوردگی طولی و عرضی
۴	ایذه - سزاک	۵۲,۵۴	پایین افتادگی شانه	شیار شدگی	قیرزدگی
۵	ماهشهر - امیدیه	۶۵,۸۹	قیرزدگی	تورفتگی	ترک موزاییکی
۶	شوشتر - ندافیه	۷۲,۸۶	قیرزدگی	تورفتگی	ترک موزاییکی
۷	ایذه - راسفند	۷۰,۱۴	پایین افتادگی شانه	قیرزدگی	دانه دانه شدن
۸	آبادان - اروندکنار	۸۰,۰۷	صیقلی شدن دانه ها	پایین افتادگی شانه	قیرزدگی
۹	هندیجان - سجافی	۴۷,۳۱	ترک خوردگی لبه	قیرزدگی	ترک موزاییکی
۱۰	چهار راه صفی آباد - رابندکارون	۸۰,۷۳	قیرزدگی	پایین افتادگی شانه	دانه دانه شدن

مقدار PCI بدست آمده نشان می‌دهد ۵ محور در وضعیت خیلی خوب، ۲ محور در وضعیت خوب و ۳ محور در وضعیت متوسط قرار دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود، قیرزدگی خرابی غالب اکثر محورهای مورد مطالعه است. پایین افتادگی شانه و ترک موزاییکی نیز در اکثر محورها مشاهده می‌شود.

مطالعات آزمایشگاهی**مغزه گیری از روبه آسفالتی**

از محل خرابی‌های غالب و همچنین از محل روبه آسفالتی سالم نزدیک محل خرابی در هر محور بوسیله دستگاه مغزه گیری، نمونه‌های آسفالتی به صورت مغزه جدا شده و به آزمایشگاه منتقل شده است. در آزمایشگاه، مغزه‌ها به اندازه نمونه مارشال بریده شده و آزمایش‌های تعیین وزن مخصوص حقیقی و وزن مخصوص ماکزیمم به همراه تعیین درصد فضای خالی و استقامت و روانی مارشال بر روی آنها انجام گرفته است. سپس با دستگاه تجزیه‌کننده مخلوط، قیر و مصالح سنگی از هم جدا شده و درصد قیر و دانه‌بندی مصالح سنگی آسفالت تعیین شده‌اند. از نتایج حاصل از آزمایشات انجام گرفته، درصد بالای قیر که از آزمایش تجزیه مخلوط بدست آمده است و درصد فضای خالی کم، عامل عمده قیر زدگی در روبه‌های آسفالتی است، مشاهده می‌شود.



فیلر

فیلر مورد استفاده برای مخلوط آسفالتی می‌بایست یا با گردگیری از مصالح سنگی در واحد غبارگیر و یا به صورت مجزا وارد کارخانه شده و در سیلوهای مناسب ذخیره شود. در هر دو مورد فیلر مصرفی می‌بایست خصوصیات مورد نظر قید شده در آیین نامه ۱۰۱ را تامین نماید [۷]. این خصوصیات شامل دانه‌بندی، جنس و حدود اتربرگ برای فیلر می‌باشد. فیلر مصرفی می‌بایست عاری از مواد آلی و رس (دانه‌های کوچکتر از 0.075 میلی‌متر) باشد. در جریان بازدید از کارخانه‌های آسفالت از واحد غبارگیر کارخانه که فیلر مصرفی را تامین می‌کند، نمونه فیلر گرفته شد و در آزمایشگاه آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری و حدود اتربرگ روی آنها انجام شد. نوع فیلرها در سیستم طبقه‌بندی آشتو و متحد تعیین گردید. تنها در یک مورد دانه‌بندی فیلر به طور کامل مطابق با دانه‌بندی آیین‌نامه است. در همه موارد وجود کانی‌های رسی در فیلر تایید شده است. مهمترین نقش فیلر در مخلوط آسفالتی افزایش عمر روسازی و ازدیاد مقاومت آن در برابر تاثیر آب است. در صورتی که فیلر مصرفی دارای مشخصات مورد نظر نباشند در رویه آسفالتی خرابی‌های مختلفی که شایع ترین آنها ترک خوردگی می‌باشد پدید می‌آید.

مطالعه بار ترافیکی

در طرح اختلاط و طرح ضخامت مخلوط‌های آسفالتی، مبنای بارگذاری محور $8/2$ تنی استاندارد می‌باشد. بارگذاری بیش از مقدار مذکور موجب ایجاد تغییر شکل و در نهایت خرابی رویه آسفالتی خواهد شد. تردد وسایل نقلیه‌ای که استانداردهای مجاز را رعایت نمی‌کنند، از جمله عوامل اصلی خرابی روسازی‌های آسفالتی راه‌ها خصوصاً خرابی‌های بنیادی آنها می‌باشند.

با توجه به وجود بنادر مهم در استان خوزستان حجم بالای جابجایی کالا در استان و نظارت پاسگاه‌ها، سهم استان خوزستان در شناسایی موارد تخلف اضافه بار بر طبق آمار سالهای ۸۱ تا ۸۴ بیشتر از سایر استان‌های کشور می‌باشد. با مقایسه آمار تعداد تخلفات بین سال‌های ۸۱ تا ۸۴ مشاهده می‌شود که از سال ۸۲ تا ۸۳ استان خوزستان با ۸۱ درصد افزایش تعداد تخلفات بیشترین افزایش را در بین استان‌های کشور دارد. افزایش ۱۴ درصدی در تعداد تخلفات بین سال‌های ۸۳ و ۸۴ نیز استان خوزستان را در ردیف استان‌های دارای بیشترین افزایش تعداد تخلفات بار غیر مجاز قرار می‌دهد. مقایسه همین آمار و ارقام افزایش ۴۸ و ۳۳ درصدی در مقدار اضافه بار بین سال‌های ۸۲ تا ۸۳ و ۸۳ تا ۸۴ را برای استان خوزستان نشان می‌دهد [۸].

به عقیده بسیاری از کارشناسان و دست‌اندرکاران پروژه‌های آسفالت بار غیر مجاز عمده ترین عامل خرابی زودرس رویه‌های آسفالتی در استان خوزستان می‌باشد. جالب اینکه مشاهده شده است در در همین کارخانه‌های آسفالت مورد بازدید، کامیون‌های حمل آسفالت اقدام به بارگیری بیش از حد مجاز در کامیون‌های حمل آسفالت می‌کردند.

بررسی کارخانه‌های آسفالت

در این قسمت از مطالعه، عمدتاً مسائل کیفی در تهیه آسفالت مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مجموعه تجهیزات کارخانه‌های آسفالت که در کیفیت آسفالت تولیدی دارای نقش می‌باشند، در چهار بخش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ۱- سیستم کنترل کارخانه‌های آسفالت ۲- سیستم توزین کارخانه‌های آسفالت ۳- سیستم گرمایش قیر در کارخانه‌های آسفالت ۴- نیروی انسانی فنی در سیستم تولید و کنترل تولید آسفالت، بخش‌هایی هستند که مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بدین منظور علاوه بر جمع‌آوری آمار و اطلاعات، از ۱۵ کارخانه آسفالت فعال در استان خوزستان بازدید به عمل آمد.

سیستم کنترل کارخانه‌های آسفالت

کارخانه‌های آسفالت عموماً با سیستم دستی و یا اتوماتیک کنترل می‌گردند که کارخانه‌های اتوماتیک به روش الکترومکانیک یا الکترونیک می‌باشند. در کارخانه با سیستم دستی، کلیه مراحل و عملیات توسط اپراتور تنظیم می‌گردد که به علت پر حجم بودن عملیات مربوط به تولید، اجرای دقیق اختلاط و تهیه آسفالت با کیفیت، دشوار و سخت خواهد بود و این موضوع با ضعف کنترل یا عدم کنترل تشدید خواهد شد. بر اساس اطلاعات ارائه شده در مشخصات کارخانه‌های آسفالت استان خوزستان $41/6\%$ از مجموع کارخانه‌های آسفالت به روش دستی کنترل می‌شود و بقیه که $58/4\%$ می‌باشد به روش اتوماتیک کنترل می‌گردند [۹]. اما با توجه به بازدیدها و بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد که این آمار صرفاً به لحاظ وجود سیستم اتوماتیک در کارخانه‌ها تهیه شده و بیانگر مشخصات اسمی کارخانه در روز نخست بهره‌برداری است؛ زیرا تجهیزات موجود در برخی موارد هیچگونه تطابقی با سیستم کنترل اتوماتیک ندارد و این موضوع عمدتاً به دو دلیل می‌باشد، یکی خرابی‌های مستمر و عدم نگهداری و سرویس دهی نامناسب سیستم‌های اتوماتیک و دیگری عدم کنترل تهیه آسفالت توسط کادرفنی و نظارتی کارفرما و عدم سخت‌گیری لازم که در این ارتباط، در بسیاری از موارد مشاهده شده است که تهیه آسفالت صرفاً با نظر اپراتور انجام می‌گردد.

سیستم توزین کارخانه‌های آسفالت

اختلاط مناسب مصالح سنگی، قیر و سایر مصالح یکی از موارد مهم در دستیابی به آسفالت مطابق با طرح اختلاط صورت گرفته می‌باشد و توزین مناسب و کنترل آن و انتخاب سیستم مناسب توزین، نگهداری و سرویس دهی منظم و کنترل فنی جهت استفاده مستمر و مناسب از این سیستم‌ها



سیستم گرمایش قیر در کارخانه‌های آسفالت

در مخلوط آسفالت گرم، قیر به عنوان تنها ماده چسباننده در محسوب می‌گردد و حفظ کیفیت آن در حین تهیه آسفالت لزوماً باید مورد توجه قرار گیرد. بر اساس آمار ارائه شده در مشخصات کارخانه‌های آسفالت خوزستان فقط ۳۳/۶٪ از کارخانه‌های آسفالت جهت گرمایش قیر از سیستم غیر مستقیم استفاده می‌نمایند و ۶۶/۴٪ بقیه از سیستم گرمایش مستقیم استفاده می‌نمایند [۹]، که از نظر ضوابط مطرح شده، با آئین نامه‌های فنی (همچون نشریه ۱۰۱) کاملاً مغایرت داشته و استفاده از آن مجاز نمی‌باشد. از میان ۱۵ کارخانه آسفالت بازدید شده، تنها در دو کارخانه سیستم گرمایش مخازن از نوع غیر مستقیم بود.

قیرهای موجود در مخازن ذخیره کارگاه و یا قیرهایی که به کارگاه جهت تخلیه در مخازن وارد می‌شود، هیچگاه نباید بیش از ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد گرم شود و یا در حین گرم کردن دود کند. در زمان بازدید از کارخانه‌های آسفالت دمای قیر، مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی با دماسنج دستی دیجیتال کنترل شد. در برخی موارد دمای بالای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد با دماسنج دیجیتالی ثبت شد.

نیروی انسانی فنی در سیستم تولید و کنترل تولید کارخانه آسفالت

به جرات می‌توان گفت پارامتر اساسی در رابطه با بحث قیر و آسفالت، نیروی انسانی است که متأسفانه در این زمینه از پائین ترین سطح نیروی انسانی مورد نیاز از قبیل تکنسین، اپراتور تا سطوح طراحی، مهندسین ناظر و... با کمبود نیروی ماهر مواجه می‌باشیم. در بازدیدها مشخص گردید، مجموعه نیروی انسانی شاغل در کارخانه‌های آسفالت جایگاه ثابتی ندارند و در هیچ مرجعی مورد آموزش و یا آزمایش و یا تعیین صلاحیت علمی قرار نمی‌گیرند و فقط بر اساس تجربه عمل می‌کنند. همچنین در برخی موارد حتی کارخانه نیروی کافی برای انجام فعالیت‌های مورد نیاز در کارخانه را ندارند.

چند نکته مهم دیگر که در جریان بازدیدها متأسفانه به تعداد زیاد مشاهده شد به شرح زیر است. رو باز بودن بخش عمده ای از مخازن قیر که سبب می‌شود این مخازن تحت تاثیر عوامل جوی از قبیل بارندگی، گرد و غبار و تشعشع مستقیم نور خورشید قرار گرفته که نهایتاً موجب افت کیفی قیر در موقع استفاده می‌گردد. کف و دیواره مخازن کامیون‌هایی که برای حمل آسفالت استفاده می‌شود به خوبی تمییز نمی‌شود و آسفالت باقی مانده و سرد شده در آنها وجود دارد. در صورت تمییزکاری، با گازوئیل انجام می‌گیرد که مجاز نیست. حتی در یک مورد هم کامیون مخصوص حمل آسفالت و یا استفاده از پارچه عایق برای پوشش آسفالت موجود در مخزن کامیون مشاهده نشد. انتخاب کارخانه آسفالت نزدیک به محل پروژه به منظور جلوگیری از سرد شدن بیش از حد قیر انجام نمی‌گیرد. در برخی موارد تا ۹۰ کیلومتر فاصله حمل، مشاهده شد.

مسائل اجرایی

به منظور بررسی کمی و کیفی اجراء، از ۱۰ عملیات اجرایی روکش‌های آسفالتی در استان خوزستان بازدید به عمل آمد و موارد عیب و نقص مشاهده شده، ثبت گردید. موارد قابل ذکر و مهم به صورت زیر خلاصه شده است.

آماده سازی سطح اولیه

اصلاح کلیه آسیب‌دیدگی‌ها، شامل مرمت ترک‌های طولی و عرضی، لکه‌گیری، تعمیر موضعی قشرهای زیرسازی و در صورت لزوم، تسطیح نشستها، اصلاح پروفیلها، پخش مصالح سنگی داغ روی سطوح قیر زده، تثبیت و یا مرمت آسفالت موجدار و فتیله شده، تعمیر و اصلاح پوشش بتنی و هر نوع کارهای تکمیلی دیگر باید قبل از اجرای قشرهای جدید آسفالتی انجام گیرد. همچنین قبل از اجرای لایه آسفالتی می‌بایست یک لایه قیر با حجم مشخص بر روی سطح آماده شده ریخته شود. این کار می‌بایست حداکثر یک روز قبل از پخش آسفالت و با ماشین‌های پخش قیر و یا قیر پاش دستی انجام گیرد. صحت عملکرد ماشین پخش قیر می‌بایست با آزمایش سینی کنترل شود.

در بازدیدها مشاهده شد که آماده سازی سطوح به درستی انجام نمی‌گیرد. دستگاه آسفالت تراش برای برداشتن قسمت خرابی رویه آسفالتی توسط پیمانکاران تهیه نشده است و در مواردی با وسایل دیگر از جمله کلنگ اقدام به برداشتن قسمت خرابی می‌کردند. در هنگام اجرای وصله مشاهده شد که قیر به صورت قیر صحیح پخش نمی‌شود. این مورد در نتایج حاصل از آزمایش بر روی مغزه های گرفته شده از محل وصله در محور اهواز- ماهشهر که درصد قیر بالایی دارد مشاهده می‌شود. متأسفانه در برخی موارد حتی خرابی‌هایی نظیر ترک موزاییکی با شدت زیاد که همراه با تورفتگی می باشد برداشته نشده و بر روی آن قیر پاشی شده و آسفالت اجرا شده است. ترک موزاییکی و تورفتگی زودرس در رویه جدید در این موارد قطعاً رخ خواهد داد.



به دلیل عدم هماهنگی‌های لازم فاصله زمانی بین اجرای اندود سطحی و لایه آسفالتی بسیار زیاد شده و در مواردی به چند روز می‌رسد. در این زمان در اثر عبور وسایل نقلیه و یا بارندگی قشر قیری از بین رفته و یا خاصیت چسبندگی خود را از دست داده است. به دلیل فرسوده بودن ماشین آلات، پخش قیر به درستی انجام نشده و خرابی‌هایی نظیر قیرزدگی در قسمت‌هایی که بیش از حد قیر پخش شده است و جمع‌شدگی در قسمت‌هایی که به اندازه کافی قیر پخش نشده است، پس از گذشت زمان چند ماه رخ خواهد داد، خصوصاً اگر اتمام عملیات روکش با شروع فصل گرما همراه باشد.

پخش آسفالت

بر طبق دستورالعمل آیین نامه روسازی، در روکش‌های آسفالتی و برای تصحیح ناهمواری سطوح آسفالتی موجود و قدیمی و همچنین در آزاد راه‌ها و راه‌های اصلی بایستی از فینیشر تمام اتوماتیک استفاده کرد. شرایط استاندارد فینیشر به عوامل مختلفی همچون سال ساخت، تعداد ساعت کارکرد، حداکثر و حداقل عرض ریخته شده توسط فینیشر، داشتن سنسور، میله‌های لرزاننده سالم و بدون فرسودگی جهت ویریه آسفالت، سالم بودن حلزونی (قسمت مخلوط کردن مجدد آسفالت) بستگی دارد.

در بازدیدهای انجام شده از پروژه‌های روکش حتی یک مورد فینیشر با عمر کمتر از ۵ سال مشاهده نشد و در برخی موارد عمر فینیشرها به ۲۰ سال می‌رسید. شرکت‌های پیمانکاری دارای فینیشرهای دست دوم و در بعضی اوقات دست چندم می‌باشند. بیشتر آنها سنسور نداشته و یا سنسور آنها خراب است. در هیچ کدام از فینیشرها دستگاه اتصال‌ساز مشاهده نشده تا بتوانند درز بین لایه سرد و گرم را بر طبق آیین نامه اجرا کنند. در بعضی از محورهای دستگاهها بسیار فرسوده بوده و قابلیت ایجاد و پخش آسفالت را به شکل مناسب را ندارند میله‌های لرزاننده دستگاه فرسوده بوده و آسفالت را خوبی ویریه نمی‌کنند. در کل استان خوزستان فینیشرهایی که عرض ۸ متر را اجرا کنند موجود نبوده و حداکثر عرض ریخته شده ۵/۵ متر می‌باشد.

تراکم در محل

عمل تراکم باید بلافاصله بعد از پخش مخلوط آسفالتی شروع شود ولی باید توجه داشت که در این مرحله، حرارت مخلوط آسفالتی به حدی باشد که به هنگام شروع کوبیدن تاب تحمل وزن غلتک و یا اثرات ارتعاشی آن را (در مورد غلتکهای لرزشی) داشته و زیر فشار چرخ فته و جابه‌جا نشده و در سطح آن، شیار و ترکهای طولی و عرضی ایجاد نگردد. کوبیدن مخلوط آسفالتی را با غلتک فولادی سه‌چرخ، ردیف دوچرخ و سه‌چرخ، لرزشی، لاستیکی و یا غلتک‌های مختلط که عملکرد چندگانه دارند باید انجام داد. غلتک‌ها باید قبل از شروع کار توسط دستگاه نظارت مورد بازرسی قرار گرفته تا انطباق مشخصات غلتک نظیر وزن و نیز شرایط مناسب مکانیکی آنها نظیر تناوب و میدان نوسان غلتکهای لرزشی برای کوبیدن مخلوط آسفالتی با مندرجات آیین نامه ۱۰۱ محرز گردد.

در هیچ از بازدیدها ناظر مقیم که موارد ذکر شده را کنترل کند مشاهده نشد و حتی رانندگان ماشین آلات نیز از وزن دقیق غلتک اطلاعی نداشتند. در صورت استفاده از غلتک‌هایی که به دلایلی از جمله فرسوده بودن یا تأمین نکردن مشخصات آیین نامه عمل تراکم را به نحو مطلوب انجام نمی‌دهند، فضای خالی مخلوط آسفالتی کمتر و بیشتر از حد مجاز خواهد شد که در حالت اول عدم دوام و در حالت دوم قیر زدگی رویه آسفالتی را به دنبال خواهد داشت. در اثر استفاده از روغن سوخته و یا گازوئیل برای تمیز کردن سطح غلتک، این مواد در هنگام غلتک زدن بر روی مخلوط آسفالتی اثر کرده و با قیر آسفالت مخلوط شده و قیر خاصیت خود را از دست می‌دهد.

دمای آسفالت در هنگام بارگیری و دمای پخش

درجه حرارت مخلوط‌های آسفالت با قیرهای خالص و دانه‌بندی پیوسته در هنگام بارگیری نباید خارج از محدوده (۱۶۳-۱۲۰) باشد. درجه حرارت مناسب پخش نیز بر حسب درجه حرارت سطح راه و ضخامت لایه آسفالتی مشخص می‌شود که برای ضخامت‌های متداول ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر بین ۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای آسفالت در هنگام بارگیری در کامیون در کارخانه‌های آسفالت با دماسنج لیزری ثبت شد. در بسیاری از محورهای دیده شده که آسفالت در دمایی بیش از دمای استاندارد (بالای ۱۶۳ درجه) بارگیری شده که می‌تواند عامل‌هایی چون بالا بودن دمای قیر یا دمای مصالح سنگی، در اثر نا آشنا بودن گرم کننده قیر و یا اپراتور به دمای استاندارد یا نبودن سنسور دما یا عملکرد نادرست آن، را داشته باشد. دمای پخش نیز در چندین مورد کمتر از مقدار مجاز ثبت شد که فاصله زیاد حمل و استفاده نکردن از پوشش پارچه می‌تواند دلایل آن باشد. نبودن مخلوط آسفالتی در دمای مناسب در زمان بارگیری و اجراء تراکم نا کافی و یا بیش از حد را در رویه اجرا شده به دنبال خواهد داشت. عدم تراکم کافی و در واقع مقدار بیش از حد فضای خالی دوام ناکافی رویه آسفالتی می‌باشد. تراکم بیش از حد، کم بودن فضای خالی مورد نیاز و قیرزدگی رویه آسفالتی را منجر خواهد شد.

مدیریت تعمیر و نگهداری

مدیریت از ارکان اساسی هر فعالیت اجرایی است. از آنجا که ساخت راه‌ها هزینه کلانی را به خود اختصاص می‌دهد، اجرای به هنگام گزینه‌های ترمیم و نگهداری باید سر لوحه برنامه‌های مدیران راهداری قرار گیرد. عملیات روکش یکی از متعارف‌ترین گزینه‌های بهسازی در سطح روسازی راه‌ها می‌باشد. که ارائه زمان‌بندی مناسب برای اجرای آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به اینکه در حال حاضر در کشور هیچ روش مدونی برای تهیه برنامه زمان‌بندی اجرای عملیات روکش راه‌ها چه در سطح شبکه و چه در سطح پروژه موجود نمی‌باشد، باید سعی بر آن باشد تا با ارائه الگویی قانونمند با تکیه بر مراحل گفته شده بتوان بهترین عملیات روکش را به عنوان زمان‌بندی بهینه معرفی نمود.



در سیستم کنونی روکش آسفالت در ایران تصمیم‌گیری‌ها بیش از آنکه تابع یک نظام تصمیم‌گیری هماهنگ باشد، تابع تصمیم‌گیری‌های فردی و با تکیه بر تجربیات مهندسين خبره و صرفاً آگاهی از شرایط کنونی روسازی می‌باشد و از این رو تصمیم‌گیری در چنین سیستمی نمی‌تواند بهینه باشد. هزینه‌هایی نظیر هزینه احداث روکش‌های جدید به علت کیفیت بسیار پایین رویه‌های آسفالتی، هزینه تاخیری که به استفاده کنندگان از راه در زمان اجرای روکش به علت محدود شدن عرض عبور تحمیل می‌شود، هزینه استهلاک زیاد خودروها، هزینه‌های کمی و کیفی تصادفات و .. هزینه‌های کلانی هستند که هر ساله در کشور به نوعی به هدر می‌روند. افزایش این هزینه‌ها ناشی از عدم ایجاد یک سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری هماهنگ و اصولی برای روسازی‌های آسفالتی است.

روش تحلیل سلسله مراتبی

همانطور که ملاحظه شد عوامل متعددی بر روی کاهش عمر روکش‌های آسفالتی در استان خوزستان تاثیرگذار هستند. رتبه‌بندی این عوامل از نظر اهمیت و نقش آن در کیفیت روسازی و همچنین عملی بودن اجرای ضوابط می‌تواند علاوه و سرعت بخشیدن به روند بهبود وضعیت راه‌های استان صرفه‌جویی اقتصادی در بودجه را به همراه داشته باشد. روند تحلیل سلسله مراتبی یک روش عددی برای رتبه بندی آلترناتیوهای مختلف تصمیم‌گیری و انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های مختلف با توجه به معیارهای موجود است. در این روش به هر آلترناتیو بر حسب اینکه چگونه معیارهای تصمیم‌گیرنده را ارضاء می‌کند یک امتیاز عددی تعلق می‌گیرد.

بر طبق این روش در یک معیار سنجش، بر حسب اینکه در مقایسه بین دو آلترناتیو میزان ارجحیت برابر، برابر تا متوسط، متوسط، متوسط تا قوی، قوی، قوی تا خیلی قوی، خیلی قوی، خیلی قوی تا بینهایت قوی و یا بینهایت قوی باشد، به ترتیب یکی از مقادیر عددی ۱ تا ۹ به رابطه بین آن دو داده می‌شود. سپس یک ماتریس مربعی تشکیل شده که مؤلفه‌های بالای قطر اصلی آنرا مقادیر عددی ذکر شده، زیر قطر اصلی را عکس مقادیر بالای قطر اصلی و مؤلفه‌های قطر اصلی را عدد یک تشکیل می‌دهد. برای هر معیار در نظر گرفته شده چنین ماتریسی تشکیل می‌شود. با اعمال محاسبات ریاضی به ماتریس‌های تشکیل شده در نهایت یک امتیاز برای هر آلترناتیو بدست می‌آید.

دو معیار تاثیر در کیفیت روسازی آسفالتی و عملی بودن اجرای ضوابط به عنوان معیارهای موجود در این روش انتخاب شده اند. عوامل موثر در کاهش عمر روکش‌های آسفالتی که به عنوان آلترناتیوهای رسیدگی به وضعیتشان انتخاب شده اند، در ابتدا به شش دسته کلی کارخانه آسفالت (۱)، مسایل اجرایی (۲)، نظارت بر اجراء (۳)، مسایل طراحی (۴)، بارگذاری ترافیکی (۵) و مدیریت تعمیر و نگهداری (۶) تقسیم شده اند. با اختصاص مقادیر عددی ارجحیت، ماتریس مربوط به معیارهای کیفیت روسازی آسفالتی و عملی بودن اجرای ضوابط به ترتیب در رابطه‌های ۱ و ۲ تشکیل می‌شود. این مقادیر عددی نتیجه بررسی‌های کمی و کیفی در جریان تحقیق صورت گرفته، مناظره با دست‌اندرکاران راهسازی و مدیران ادارات راه استان و یا قضاوت نویسندگان مقاله می‌باشد. برای مثال از ماترس (۱) مشخص می‌شود که در زمینه کیفیت رویه آسفالتی نقش مسایل اجرایی (۲) به میزان متوسط (۳) بر نقش کارخانه آسفالت (۱) ترجیح داده می‌شود.

	۱	۲	۳	۴	۵	۶		۱	۲	۳	۴	۵	۶	
۱	1	3	2	2	5	5	(۱)	۱	1	0/2	0/17	8	7	7
۲	0/3	1	6	5	3	6		۲	5	1	4	7	7	7
۳	0/5	0/17	1	5	3	6		۳	6	0/25	1	6	6	6
۴	0/5	0/2	0/2	1	4	4		۴	0/13	0/14	0/167	1	0/33	0/25
۵	0/2	0/33	0/33	0/25	1	3		۵	0/14	0/14	0/17	3	1	0/25
۶	0/2	0/17	0/17	0/25	0/33	1		۶	0/14	0/14	0/17	4	4	1

پس از انجام محاسبات امتیاز هر یک از عوامل (آلترناتیوها) به صورت جدول ۵ حاصل شد.

جدول ۵- امتیازهای عامل‌های اصلی کاهش عمر روکش‌های آسفالتی

عامل امتیاز	کارخانه آسفالت	مسایل اجرایی	نظارت بر اجراء	مسایل طراحی	بارگذاری ترافیکی	مدیریت تعمیر و نگهداری
	۰/۳۰۴۵	۰/۳۴۴۱	۰/۲۴۹۵	۰/۱۰۶۱	۰/۰۶۱۷	۰/۰۴۷۳

همانطور که ملاحظه می‌شود دو عامل مسایل اجرایی و کارخانه آسفالت بیشترین امتیازها را دارند که می‌بایست در اولویت رسیدگی قرار گیرند. هر یک از این دو عامل محدوده وسیعی از عوامل جزئی را تشکیل می‌دهند، لذا در مرحله بعدی اجزای هر یک به عنوان آلترناتیوها انتخاب شده و با اعمال روش تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شده‌اند. برای کارخانه‌های آسفالت آلترناتیوها شامل ذخیره و گرمایش قیر، حمل و نقل و بارگیری آسفالت، سیلوهای سرد خشک کن و سردنها، توزین مصالح و مخلوط‌کن، فیلتر، سنگ‌شکن، عمر کارخانه و پرسنل می‌باشند. برای مسایل اجرایی آلترناتیوها شامل می‌باشند. پس از اعمال روش تحلیل و انجام محاسبات امتیاز هر یک از اجزاء برای کارخانه آسفالت و مسایل اجرایی به صورت جدول ۶ بدست آمده است.



جدول ۶ - امتیازهای عامل های جزئی کارخانه آسفالت و اجراء در کاهش عمر روکش های آسفالتی

کارخانه آسفالت							
عامل	ذخیره و گرمایش قیر	حمل و نقل و بارگیری آسفالت	سیلوهای سرد خشک کن و سرندها	توزین مصالح و مخلوط کن	فیلر	سنگ شکن	عمر کارخانه
امتیاز	۰/۱۸۷۸	۰/۲۵۲۸	۰/۱۷۹۸	۰/۱۰۰۴	۰/۰۸۵۷	۰/۰۶۹۳	۰/۰۴۴۸
مسائل اجرایی							
عامل	آماده سازی سطح	پخش آسفالت	تراکم در محل	دمای پخش و تراکم	نظارت بر اجراء		
امتیاز	۰/۲۸۵۷	۰/۱۸۵۴	۰/۱۴۰۶	۰/۰۲۶۰	۰/۳۶۲۳		

نتیجه گیری

بر اساس برداشت‌های انجام شده و تعیین شاخص وضعیت روسازی (PCI) برای محورهای روکش شده، قیرزدگی، ترک موزاییکی و شیارشدگی با عمق کم شایع‌ترین خرابی‌های موجود در روسازی‌های آسفالتی در استان خوزستان است. این خرابی‌ها نقش قابل توجهی در شاخص خدمت‌دهی و ایمنی راه‌ها دارند.

مطالعات تئوری، آزمایشگاهی و میدانی نشان می‌دهد که عوامل زیادی در ایجاد این خرابی‌ها دخیل هستند. در بخش تولید آسفالت در کارخانه آسفالت، ذخیره و گرمایش نامناسب قیر، عدم توزین صحیح مصالح سنگی و قیر، کنترل نشدن مشخصات مصالح اولیه (خصوصاً فیلر) و مخلوط آسفالت در کارخانه و حمل و نقل ناصحیح آسفالت از کارخانه تا محل احداث روکش از عوامل مهم در بروز خرابی‌های زودرس هستند. در بخش اجراء، آماده نشدن سطح به طور مناسب برای اجرای روکش، وجود ماشین آلات فرسوده و غیر استاندارد در عملیات پخش و تراکم و عدم نظارت صحیح کارگاهی از مهمترین عوامل در ایجاد خرابی هستند. در بخش بار ترافیکی، تردد بارهای سنگین غیر مجاز وسایل نقلیه باری در محورهای استان خوزستان و در بخش طراحی، طرح نشدن ضخامت مناسب برای روکش‌های آسفالتی، از جمله عوامل کاهش عمر رویه های آسفالتی است.

عدم توجه به اولویت‌بندی پارامترهای مهم در تعمیر و نگهداری، عدم توجه به موقع به زمان تعمیر و نگهداری، عدم شناخت کافی نسبت به این موضوع که کدامیک از روش‌های تعمیر و نگهداری باید استفاده شود، در صورت داشتن دید درست نسبت به روش‌های تعمیر و نگهداری عدم اجرای درست روش‌های تعمیر و نگهداری، عدم استفاده از دستگاه‌های پیشرفته و مدرن ارزیابی روسازی نیز در بخش مدیریت، کاهش عمر روکش های آسفالتی را ناشی می‌شود.

با انجام تحلیل سلسله مراتبی، عوامل کلی و جزئی ایجاد خرابی رتبه بندی شدند. از میان عامل های اصلی، مسائل اجرایی و کارخانه آسفالت بالاتر از سایر عوامل قرار گرفتند. در میان اجزای عام در کارخانه آسفالت حمل‌ونقل و بارگیری و گرمایش قیر بالاترین رتبه و در میان اجزای عامل در مسائل اجرایی نظارت بر اجراء و آماده سازی سطح بالاترین رتبه را از نظر دخیل بودن در ایجاد خرابی روسازی دارند.

منابع و مراجع

[1] Hajek JJ, Phang WA, Prakash A. "Estimating the Life of Asphalt Overlays Using Long-Term Pavement Performance Data" *Transportation Research Record 1117*, TRB, National Research Council, Washington D.C., 143-151 (1987).

[2] C.Yavuztruk, K.Kasibati ; " Assessment of temperature fluctuations in asphalt pavement due to thermal environment conditions using a two-dimensional, transient finite-difference approach" *journal of material in civil engineering* Vol.17 ,No.4 Jul/Aug 2005, ASCE

[3] "Superpave implementation and needs assessment" report from the communication, training and outreach expert task group to the TRB superpave committee. 2000-2001 National Implementations

[4] Timothy R.Clyne, Xinjun Li, Mihai O.Marasteanu, Eugene L.Skok "Dynamic and Resilient Modulus of Mn/DOT Asphalt Mixtures" Department of Civil Engineering University of Minnesota, 2005

[۵] سرایی پور، محمد، آسفالت، انتشارات دهخدا، ۱۳۶۰

[۶] واحد کنترل پروژه، اداره کل راه و ترابری استان خوزستان، ۱۳۵۸

[۷] مشخصات فنی عمومی راه، سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۵

[۸] اضافه بار غیر مجاز در راه‌های کشور، سازمان حمل و نقل و پایانه های کشور، ۱۳۸۴

[۹] بررسی مسایل کمی و کیفی مصرف قیر در راه های کشور، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۳