ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۳/۱ شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰

شناسایی روش های مؤثر برای کاهش خرابی رطوبتی روسازی های آسفالتی

مجتبی باقری موحد[۱]، جلال ایوبی نژاد[۲]،علی نصراله تبار آهنگر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری

۲- دکتری مهندسی عمران – راه و ترابری

۳- دکتری مهندسی عمران – راه و ترابری

چکیده

بسیاری از ادارات راه تلاش‌های گسترده‌ای را به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی انجام داده‌اند. یکی از خرابی‌هایی که باعث صرف هزینه‌های گزاف در روسازی‌های آسفالتی می‌شود، خرابی رطوبتی است .خرابی رطوبتی را از دست دادن خصوصیات مکانیکی مواد در نتیجه وجود آب در مخلوط‌های آسفالتی تعریف می‌کنند. این نوع خرابی علاوه بر آنکه خود یک خرابی مهم به حساب می‌آید، می‌تواند سبب رخداد یا تشدید سایر خرابی‌ها مانند ترک‌خوردگی خستگی، شیارشدگی، جداشدن قیر از سنگدانه و چاله در روسازی‌های آسفالتی شود. با توجه به مشکلات ناشی از خرابی رطوبتی پژوهش حاضر به دنبال شناسایی روش های مؤثر بر کاهش خرابی رطبتی می باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که عواملی که بر کیفیت و چگونگی چسبندگی قیر به سنگدانه و پیوستگی خود قیر و سنگدانه تأثیر می‌گذارند را می‌توان به ۵ گروه تقسیم نمود که عبارتند از تاثیر نوع سنگدانه ،نوع قیر ،طرح اختلاط و اجرا،شرایط محیطی و ترافیک.

کلمات کلیدی: خرابی رطوبتی،عریان شدگی،حساسیت رطوبتی،قیر،افزودنی

مقدمه

بسیاری از ادارات راه تلاش‌های گسترده‌ای را به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی انجام داده‌اند.یکی از خرابی‌هایی که باعث صرف هزینه‌های گزاف در روسازی‌های آسفالتی می‌شود،خرابی رطوبتی است . (Apeagyei et al,2014) خرابی رطوبتی را از دست دادن خصوصیات مکانیکی مواد در نتیجه وجود آب در مخلوط‌های آسفالتی تعریف می‌کنند. این نوع خرابی علاوه بر آنکه خود یک خرابی مهم به حساب می‌آید، می‌تواند سبب رخداد یا تشدید سایر خرابی‌ها مانند ترک‌خوردگی خستگی، شیارشدگی، جداشدن قیر از سنگدانه و چاله در روسازی‌های آسفالتی شود. شدت خرابی رطوبتی که عریان‌شدگی نیز نامیده می‌شود به فاکتورهای داخلی و خارجی ارتباط دارد. فاکتورهای داخلی به خصوصیات مواد مورد استفاده در مخلوط آسفالتی ارتباط دارند در حالیکه فاکتورهای خارجی شامل شرایط محیطی، روش‌های تولید و اجرا، طراحی روسازی و شدت

ترافیک می‌شود. اگرچه خرابی رطوبتی بیش از ۷۰ سال است که مورد توجه محققین قرار گرفته است اما جنبه‌های بسیاری از این نوع خرابی هنوز ناشناخته باقیمانده است (Yusoff et al,2014) امروزه، نیاز به استفاده از مواد جدید در ساختار مخلوط‌های آسفالتی برای کاهش خرابی رطوبتی به دلیل گسترش شبکه روسازی، افزایش شدت ترافیک، وجود کامیون‌های بزرگ و سنگین‌تر و در برخی نقاط شرایط محیطی خشن‌تر بیشتر احساس می‌شود (Tarefder and A.M. Zaman,2009). دو روش اصلی برای بهبود چسبندگی قیر-سنگدانه و به تبع آن کاهش خرابی رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی وجود دارد. روش اول استفاده از افزودنی‌های ضد عریان‌شدگی مایع اضافه شونده به قیر به منظور بهبود خصوصیات پیوستگی قیر و چسبندگی قیر-سنگدانه می‌باشد. مواد ضد عریان‌شدگی مایع درواقع فعال‌سازهای شیمیایی هستند که با تغییر در ساختار قیر باعث افزایش چسبندگی قیر-سنگدانه و پوشش‌پذیری بهتر قیر بر روی سطح سنگدانه می‌شوند. اکثر مواد ضدعریان‌شدگی مایع از خانواده آمین‌ها یا آمیدوآمین‌ها می‌باشند (Tarefder and A.M. Zaman,2009). روش دوم استفاده از پوشش سطح سنگدانه‌ها با استفاده از مواد مناسب می‌باشد که باعث تغییر در خصوصیات سطح سنگدانه‌ها بویژه سنگدانه‌های اسیدی می‌شود و سبب می‌شود تا میل آبدوستی این نوع از سنگدانه‌ها کاهش یابد تا در هنگام وارد شدن آب به سیستم قیر-سنگدانه شدت عریان‌شدگی کاهش یابد. از پرکاربردترین این مواد می‌توان به آهک هیدراته یا پلیمرها اشاره نمود (Arabani et al,2011 Nejad et al,2012, Hesami, et al,2013).

ادبیات نظری

مفهوم خرابی رطوبتی

حساسیت رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی که به طور عام‌تر از آن می‌توان تحت عنوان پتانسیل بروز عریان‌شدگی یاد کرد، یکی از خرابی‌های عمده‌ای است که در روسازی‌های بتن آسفالتی اتفاق می‌افتد. البته لازم به ذکر است که اثر حضور رطوبت در مخلوط‌های آسفالتی به عنوان اصلی‌ترین عامل تحریک روسازی مطرح نمی‌باشد چراکه دو علت اصلی تحریک و تخریب روسازی، اعمال بارهای ترافیکی و تغییرات دما است؛ اما راهیابی رطوبت به داخل مخلوط آسفالتی می‌تواند آسیب‌پذیری بتن آسفالتی را در مقابل هر یک از عوامل یاد شده به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد (You and Buttlar,2004). در متون گذشته به تعاریف گسترده‌ای از این مفهوم می‌توان برخورد نمود که عموماً در آنها، پدیدهٔ جدا شدن قیر از سنگدانه‌ها یا گسیختگی در بافت قیر در مخلوط آسفالتی متراکم شده، تحت بار تکرار شوندهٔ ترافیک و عمدتاً تحت عملکرد آب یا بخار آب، عریان‌شدگی نامگذاری شده است (Kandhal and Rickards,2001).

تئوری های مربوط به خرابی رطوبتی

در بررسی تحقیقات گذشته که عموماً در تشریح مسأله به بررسی مکانیسم‌های بروز عریان‌شدگی پرداخته‌اند می‌توان دو شاخهٔ عمده را رهگیری نمود. دو شاخهٔ مذکور بررسی میکرومکانیسم‌ها و ماکرومکانیسم‌های بروز پدیده خرابی رطوبتی می‌باشند. بدین منظور که برخی تئوری‌ها به بررسی چسبندگی و پیوستگی قیر و سنگدانه و نیز تخریب این پیوندها در مقیاس مولکولی پرداخته‌اند و برخی دیگر نیز وقوع گسیختگی چسبندگی و پیوستگی و به طور کلی خرابی رطوبتی را بر مبنای تئوری‌های مکانیکی توصیف نموده و آثار آن را در مقیاس ماکرو بررسی کرده‌اند؛ هرچند که در عموم تحقیقات معاصر هر دو دسته‌بندی را می‌توان مشاهده نمود.

مکانیسم‌های خرابی رطوبتی از دید چسبندگی

میکرومکانیسم‌های چسبندگی را که شاید در تحقیقات از آن‌ها تحت عنوان تئوری‌های چسبندگی یاد می‌شود از دیدگاه محققین مختلف می‌توان به پنج گروه کلی زیر تقسیم‌بندی نمود (Ishai and Craus,1977).

تئوری مکانیکی

قیر با نفوذ به منافذ و زوایای نامنظم سطح سنگدانه قفل و بست مکانیکی با آن ایجاد می‌کند.

تئوری عکس‌العمل شیمیایی

این تئوری، چسبندگی بین قیر و سنگدانه را به واکنش‌های شیمیایی بین قیر جذب شده به سطح سنگدانه و اجزاء سنگدانه

نسبت می‌دهد.

تئوری جهت‌گیری مولکولی

بر اساس این تئوری مولکول‌های قیر در مجاورت سنگدانه با توجه به میزان و ظرفیت قطبی بودن به سمت مولکول‌های سطح سنگدانه متمایل می‌شوند تا تقاضای انرژی موجود در سطح سنگدانه را جذب کنند.

تئوری انرژی بین سطحی

این تئوری بر مبنای اصول ترمودینامیک پایه‌ریزی شده و بیان می‌کند که چسبندگی یک پدیدهٔ ترمودینامیک بوده که به انرژی سطحی اجسام (سنگدانه، قیر، آب و ...) بستگی دارد.

تئوری لایه‌های مرزی ضعیف

شکست چسبندگی می‌تواند به صورت شکست پیوستگی در یک لایهٔ ضعیف از چسب (که همان قیر است) و یا جسم زیرین آن (همان سنگدانه) اتفاق بیفتد.

مکانیسم‌های خرابی رطوبتی از دید مکانیکی

در مقابل ۵ تئوری میکروسکوپیک چسبندگی، آثار میکروسکوپیک حضور و نفوذ رطوبت به داخل مخلوط آسفالتی نیز مطرح و تئوری‌هایی برای آنها پدید آمده‌اند. کارو و همکاران گردآوری جامعی با ارائه تعاریف واضحی از مکانیسم‌های عریان‌شدگی تحت عنوان ۶ پاسخ سیستم قیر-سنگدانه در برابر نفوذ آب ارائه نموده‌اند (Hicks and Aschenbrener,2003).

جداشدگی (Ditachment or Debonding)

به صورت جداشدگی قشر قیر از سطح سنگدانه بدون بروز گسیختگی و یا آسیب در قشر قیر بوده و طبیعت شیمیایی و ترمودینامیکی دارد.

جابجایی (Displacement)

از بین رفتن قیر سطح سنگدانه در اثر گسیختگی قشر قیر و یا جداشدگی احتمالی ماستیک از سنگدانه می‌باشد و طبیعت مکانیکی دارد.

پخش و افتراق ماستیک (Displacement)

نرم شدگی ماستیک در اثر انتشار طولانی مدت آب در آن و جداشدگی آن در اثر جریان هیدرولیکی که طبیعت شیمیایی و ترمودینامیکی دارد.

گسیختگی غشایی و ریزترک (Film rupture and Microcrack)

بروز ریزترک در ماستیک و یا سنگدانه‌ها که جزو عمومی سازه‌ای روسازی بوده و امکان نفوذ خرابی‌های بیشتر رطوبت را فراهم می‌آورد و طبیعت مکانیکی و ترمودینامیکی دارد.

واجذبی ماستیک (Desorption)

فرسایش لایه‌های بیرونی‌تر ماستیک در اثر حضور جریان هیدرولیکی است که پدیده‌ای مکانیکی در پی سایر پدیده‌های مؤثر می‌باشد.

امولسیون‌سازی خودبِخودی (Sponteneous Emulsification)

امولسیون شدن ناگهانی آب در داخل قیر که جنبهٔ شیمیایی دارد.فرم و لاتمن از اولین محققینی بودند که درخصوص آثار خرابی رطوبتی در مقیاس میکرو به تحقیق پرداختند. در تحقیقات فرم در سال ۱۹۷۴، به طور کلی دو مکانیسم برای خرابی رطوبتی در نظر گرفته شده بود که مکانیسم اول ایجاد حالت امولسیون آب در قیر و حرکت ذرات آب در داخل قشر قیر تا رسیدن به سطح سنگدانه و مکانیسم دوم به صورت شکست قشر قیری ناشی از تنش بین وجهی میان وجوه مشترک سه فاز هوا، قیر و آب بود (Fromm,1974). مکانیسم اول در واقع مبانی تئوریک پدیده‌ای است که بعدها تحت عنوان پدیده انتشار در تحقیقات مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مکانیسم دوم نیز عموماً در تحقیقات اخیر که بر روی بررسی رابطه متقابل خرابی رطوبتی و اعمال بارمکانیکی صورت پذیرفته مشاهده می‌گردد (Fromm,1974).

در مقابل میکرومکانیسم‌های دخیل در مبحث خرابی رطوبتی، مکانیسم‌های دیگری نیز در مقیاس ماکرو تعریف و توسعه داده شد که اگرچه در نهایت مختوم به وقوع پدیده‌های میکروسکوپیک فوق‌الاشاره می‌گردند، اما پرداختن به موضوع خرابی رطوبتی از این زاویه، منجر به توسعهٔ روش‌های آزمایشگاهی ملموس‌تر و نزدیکتر به واقعیت گردید. (Kringos.et al,2007).

عوامل موثر بر بروز عریان‌شدگی و خرابی رطوبتی

در بررسی متون منتشره، به صورت گذرا اشاراتی به عوامل مختلفی که می‌توانند بر بروزخرابی رطوبتی بتن آسفالتی تأثیرگذار باشند، شده است. به طور کلی عواملی که بر کیفیت و چگونگی چسبندگی قیر به سنگدانه و پیوستگی خود قیر و سنگدانه تأثیر می‌گذارند را می‌توان به ۵ گروه تقسیم نمود.

تاثیر نوع سنگدانه

بافت سطحی، تخلخل، نوع کانی، اندودهای سطحی، رطوبت سطحی، ساختار شیمیایی سطح و فیلرهای معدنی از ویژگی‌های مهم سنگدانه‌ها هستند که بر روی پتانسیل عریان‌شدگی تاثیر می گذارند. در جدول زیر عوامل تعیین کننده مربوط به سنگدانه و ویژگی‌های مطلوب هریک ذکر شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document(۱) ویژگی‌های سنگدانه

فاکتورهای تعیین کننده	ویژگی‌های مطلوب	تحقیقات منتج به این مسأله
بافت سطحی	زبر و خشن بودن	Hicks, Majidzadeh&Brovold به نقل از (Kim and Coree,2005),(Graf,1986)
تخلخل	وابسته به ابعاد منافذ	Hicks, Thelen به نقل از (Kim and Coree,2005)
نوع کانی	قلیایی بودن سنگدانه‌ها – عدم وجود کانی‌های رسی	Rice, Majidzadeh&Brovold به نقل از (Kim and Coree,2005),(Terrel et al)
اندودهای سطحی	عاری از اندود سطحی	Majidzadeh&Brovold,Tunnicliff&Root به نقل از (Kim and Coree,2005)
رطوبت سطحی	خشک بودن	Majidzadeh&Brovold, Kim et al. به نقل از (Kim and Coree,2005),(Kandhal,1992)
ساختار شیمیایی سطحی	توانایی برای به اشتراک گذاشتن الکترون یا تشکیل پیوند هیدروژنی	Hicks به نقل از (Kim and Coree,2005)
فیلرهای معدنی	افزایش ویسکوزیتهٔ قیر	Hicks به نقل از (Kim and Coree,2005)

نوع قیر

ویسکوزیته قیر گرم شده باید به‌اندازه ای باشد تا در حین اختلاط اجازه پوشش کامل و جذب را پیدا کند. علاوه بر آن مدت زمان اختلاط نیز مهم است. پس از پوشش دادن قیر توسط سنگدانه، سفتی قیر می‌تواند بر روی حساسیت رطوبتی تاثیر بگذارد. قیرهای سفت تر عموماً در برابر کنده شدن از سطح سنگدانه سخت‌تر هستند یا مدت زمان بیشتری طول می کشد تا کنده شوند و بنابراین مقاومت بیشتری در برابر خرابی رطوبتی دارند(Sprague,1946).

ترکیب شیمیایی قیر با تغییرات در درجه خرابی رطوبتی ارتباط دارد، اگرچه بیشتر مشکلات به نوع سنگدانه نسبت داده می‌شود. تحقیقاتی که به بررسی تاثیر ترکیب شیمیایی قیر بر روی خرابی رطوبتی پرداخته‌اند، محدودند (Skog and Zube,1963). در مطالعاتی که به بررسی نقش قیر پرداخته شده است، عموماً به بررسی خصوصیات رئولوژیکی آنها توجه شده است. در هر حال همه آن مطالعات روابط ما بین قیر-آب-سنگدانه را بررسی می‌کنند.

همچنین گفته می‌شود که مقاومت قیر به خرابی رطوبتی با کاهش در نسبت نیتروژن[1] به پارافین[1]، کاهش می‌یابد. همچنین با

[1] Nitrogen

افزایش در میزان آسفالتن نیز مقاومت در برابر خرابی رطوبتی کاهش می‌یابد.
سایر تحقیقات نشان داده‌اند که گروه‌های عملکردی شیمیایی قیر که به راحتی توسط آب جدا می‌شوند، شامل اسیدهای کربوکسیلیک، انی هیدرات می‌باشد. گروه‌های عملکردی شیمیایی قیر که به سختی توسط آب جا به جا می‌شوند، شامل کتون ها[2] و فنولیک[3] می‌باشند (Plancher et al,1977). نکته ویژه اینست که بسیاری ازگروه‌های عملکردی شیمیایی قیر که به راحتی توسط آب جدا می‌شوند، شامل اسیدهای کربوکسیلیک می‌باشند که این گروه از ترکیبات قیر همان گروه‌های عملکردی شیمیایی قیر هستند که در حین اختلاط به سرعت جذب سنگدانه‌ها می‌شوند.
منبع تهیه قیر و پروسه پالایش قیر فاکتور مهمی در ارزیابی خرابی رطوبتی است زیرا ترکیبات شیمیایی قیرها با درجه نفوذ یکسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. حتی قیرهای سرچشمه گرفته از یک منبع نیز ممکن است متفاوت باشند. فرآیندهای که برای تولید قیر استفاده می‌شود یا اصلاحاتی که بر روی قیر انجام می‌شود، ممکن است متفاوت باشند.
قطران نسبت به قیر در برابر خرابی رطوبتی مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. این ماده دارای درصد بالایی فنول می‌باشد. هنگامی که سنگدانه مورد نظر در برابر خرابی رطوبتی ضعیف باشد، تفاوت بین این دو نوع چسباننده مورد استفاده بیشتر می‌باشد (Douglas,1946).

طرح اختلاط و اجرا

مقدار حجم حفرات و نفوذ پذیری مخلوط، که تابعی از درجه تراکم، میزان قیر، نوع قیر و دانه‌بندی سنگدانه‌ها می‌باشد، بسیار مهم می‌باشند زیرا این فاکتورها میزان جذب آب و زهکشی را تعیین می‌کنند (Hicks et al,2003). درصد حفرات هوا که می‌توانند با آب پر شوند، با افزایش در میزان حفرات هوای قابل عبور افزایش می‌یابد. البته یک استثنا وجود دارد و آن در مورد مخلوط‌های با دانه‌بندی باز[4] می‌باشد. در هر صورت آب باید قادر باشد که به طور کامل از مخلوط خارج شود و نیز در زیر مخلوط ماندآب ایجاد نشود. بنابراین لایه‌های با دانه‌بندی باز نباید بر روی قسمت‌های مسطح قرار گیرند و نیز در مورد مخلوط‌های با دانه‌بندی متراکم[5] نیز سطح مخلوط باید اجازه حرکت سریع روانآب را فراهم کند. آب بندی کردن روسازی در این موارد می‌تواند مفید باشد زیرا از ورود آب جلوگیری می‌کند. در کنار آب بندی کردن هر تمهیدی که از جمع شدن و ماندگاری آب در داخل و یا زیر روسازی جلوگیری می‌کند، می‌تواند مفید باشد. خرابی رطوبتی اغلب در لایه‌های اساس و لایه‌های نفوذپذیر قرار گرفته بر روی یک لایه نفوذناپذیر تشدید می‌شود (Hicks et al,2003).
افزایش در مقدار قیر خرابی رطوبتی را کاهش می‌دهد، زیرا ضخامت قشر قیر بر روی سنگدانه را افزایش می‌دهد و این مطلب باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود که کاهش خرابی رطوبتی را در پی دارد. حتی اگر پوشش به نظر کامل بیاید، ممکن است دارای چاله‌ها یا ناپیوستگی‌هایی باشد که ممکن است با گذشت زمان بیشتر شود(Kumar and Goetz,1977). البته ممکن است که آب از یک لایه قیر بدون توجه به میزان قیر تراوش کند. در این موارد، آب ممکن است در قیر پراکنده شود که یک حالت امولسیون معکوس ایجاد می‌کند. پخش آب ممکن است ناشی از وجود امولسیون کننده ها[6] در قیر و یا وجود غبارها و نمک‌های قابل حل در سطح سنگدانه‌ها که آب را جذب می‌کنند، باشد. یک روش برای افزایش مقدار قیر یک مخلوط، یا مقدار پوشش بر روی سنگدانه‌ها اینست که دانه‌بندی مورد استفاده را باز در نظر گرفته تا حفرات موجود در بین سنگدانه‌ها افزایش یابد.

شرایط محیطی

چندین فاکتور محیطی جدا از بارندگی و میزان آب در روسازی وجود دارند که می‌توانند بر روی خرابی رطوبتی تاثیر بگذارند. گرما پس از آنکه باد و باران رخ بدهد، باعث ایجاد تاول در سنگدانه‌ها در سطح روسازی می‌شود که اگر این تاول‌ها شکسته

---
[1] Paraffin
[2] Ketones
[3] Phenolic
[4] Open graded
[5] Dense graded
[6] Emulsifiers

شوند، ممکن است باعث ایجاد حفره شود. بیشتر تاول‌ها در روسازی‌های آسفالتی به علت انبساط حرارتی آب محبوس شده شکل می‌گیرد. فشار و حرکت آب ناشی از سیکل‌های یخ-ذوب می‌تواند لایه قیر را گسیخته کند و بدینسان عریان‌شدگی را افزایش دهد. ترک‌های شکل گرفته بوسیله تنش‌های دمای پایین[1] یا خستگی[2] می‌تواند شدت عریان‌شدگی را افزایش دهد زیرا این ترک‌ها اجازه ورود آب را می‌دهند.

دما نیز می‌تواند بر روی خرابی رطوبتی تاثیرگذار باشد. تجربیات میدانی نشان می‌دهد که بارندگی در هوای سرد و بارش سریع می‌تواند برای روسازی در برابر خرابی رطوبتی مضر باشد. زیرا روسازی‌های قرار گرفته در آب و هوای سرد قابلیت تراکم پذیری کمتری دارند و میزان حفرات هوای بیشتری نسبت به روسازی‌های قرار گرفته در آب و هوای گرم دارند. این مطلب ممکن است حساسیت روسازی به خرابی رطوبتی را افزایش دهد (Chen et al,2004).

مشاهده شده است که درجه اسیدیته آب بر روی میزان خرابی رطوبتی تاثیر می‌گذارد. در برخی تحقیقات نشان داده شده است که درجه اسیدیته پایین به حفاظت قیرهای بازی بر روی سنگدانه‌های اسیدی و درجه اسیدیته بالا به حفاظت قیرهای اسیدی بر روی سنگدانه‌های بازی کمک می‌کند. تاثیر بعضی افزودنی‌های ضد عریان‌شدگی نیز با درجه اسیدیته آب در ارتباط است. در اکثر مطالعات این نتیجه گیری وجود دارد که با درجه اسیدیته پایین آب، تاثیر مواد افزودنی ضد عریان‌شدگی بر روی سنگدانه‌های اسیدی بیشتر آشکار می‌شود (Arabani et al,2011).

ترافیک

درصورتیکه روسازی خشک شود، قیری که از سطح سنگدانه‌ها جدا شده می‌تواند دوباره به سطح سنگدانه‌ها بچسبد. مگر در حالتی که جریان ترافیک قیر یا سنگدانه را جا به جا کند. تنش‌های ناشی از بار ترافیک و تاثیر آب با همکاری هم سبب خرابی در روسازی می‌شود. لبه‌های تیز سنگدانه‌ها نسبت به شکستن حساس است زیرا در این نقاط تمرکز تنش بوجود می آید، در حالیکه در این نقاط ضخامت لایه قیر کم است . لرزش‌های مکانیکی و فشارهای حفره ای می‌تواند آب را مجبور کند که در سطح تماس قیر-سنگدانه قرار گیرد. شدتی که این دو فاکتور بر روی خرابی رطوبتی دارد، مشخص نیست. معمولا فرض می‌شود که فشار حفره ای تاثیر عمده ای بر روی خرابی دارد. ترافیک همچنین سنگدانه‌ها را می‌ساید و پوشش قیر را از روی سطح سنگدانه‌ها جدا می‌کند و می‌تواند باعث ایجاد ترک شود. این نکته را نیز باید در نظر گرفت که عبور ترافیک می‌تواند حفرات هوا و نفوذپذیری را کاهش دهد که ممکن است در برخی موارد حساسیت رطوبتی را کاهش دهد (Arabani et al,2006).

نتیجه‌گیری

سیاری از ادارات راه تلاش‌های گسترده‌ای را به منظور کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی انجام داده‌اند.یکی از خرابی‌هایی که باعث صرف هزینه‌های گزاف در روسازی‌های آسفالتی می‌شود،خرابی رطوبتی است . دو روش اصلی برای بهبود چسبندگی قیر-سنگدانه و به تبع آن کاهش خرابی رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی وجود دارد. روش اول استفاده از افزودنی‌های ضد عریان‌شدگی مایع اضافه شونده به قیر به منظور بهبود خصوصیات پیوستگی قیر و چسبندگی قیر-سنگدانه می‌باشد. مواد ضد عریان‌شدگی مایع درواقع فعال‌سازهای شیمیایی هستند که با تغییر در ساختار قیر باعث افزایش چسبندگی قیر-سنگدانه و پوشش‌پذیری بهتر قیر بر روی سطح سنگدانه می‌شوند. اکثر مواد ضدعریان‌شدگی مایع از خانواده آمین‌ها یا آمیدوآمین‌ها می‌باشند (Tarefder and A.M. Zaman,2009).

روش دوم استفاده از پوشش سطح سنگدانه‌ها با استفاده از مواد مناسب می‌باشد که باعث تغییر در خصوصیات سطح سنگدانه‌ها بویژه سنگدانه‌های اسیدی می‌شود و سبب می‌شود تا میل آبدوستی این نوع از سنگدانه‌ها کاهش یابد تا در هنگام وارد شدن آب به سیستم قیر-سنگدانه شدت عریان‌شدگی کاهش یابد. از پرکاربردترین این مواد می‌توان به آهک

[1] Low temperature stress
[2] Fatigue stress

هیدراته یا پلیمرها اشاره نمود. (Arabani et al,2011) (Nejad et al,2012) (Hesami, et al,2013) . در بررسی تحقیقات گذشته که عموماً در تشریح مسأله به بررسی مکانیسم‌های بروز عریان‌شدگی پرداخته‌اند می‌توان دو شاخهٔ عمده را رهگیری نمود. دو شاخهٔ مذکور بررسی میکرومکانیسم‌ها و ماکرومکانیسم‌های بروز پدیده خرابی رطوبتی می‌باشند. بدین منظور که برخی تئوری‌ها به بررسی چسبندگی و پیوستگی قیر و سنگدانه و نیز تخریب این پیوندها در مقیاس مولکولی پرداخته‌اند که شامل تئوری مکانیکی ،تئوری عکس العمل شیمیایی،تئوری جهت گیری ملکولی ،تئوری انرژی بین سطحی و تئوری لای های مرزی ضعیف میباشد. برخی دیگر نیز وقوع گسیختگی چسبندگی و پیوستگی و به طور کلی خرابی رطوبتی را بر مبنای تئوری‌های مکانیکی توصیف نموده و آثار آن را در مقیاس ماکرو بررسی کرده‌اند؛ هرچند که در عموم تحقیقات معاصر هر دو دسته‌بندی را می‌توان مشاهده نمود. به طور کلی عواملی که بر کیفیت و چگونگی چسبندگی قیر به سنگدانه و پیوستگی خود قیر و سنگدانه تأثیر می‌گذارند را می‌توان به ۵ گروه تقسیم نمود:۱.تاثیر نوع سنگدانه: بافت سطحی، تخلخل، نوع کانی، اندودهای سطحی، رطوبت سطحی، ساختار شیمیایی سطح و فیلرهای معدنی از ویژگی‌های مهم سنگدانه‌ها هستند که بر روی پتانسیل عریان‌شدگی تاثیر می گذارند.۲.نوع قیر : ویسکوزیته قیر گرم شده باید به‌اندازه ای باشد تا در حین اختلاط اجازه پوشش کامل و جذب را پیدا کند. علاوه بر آن مدت زمان اختلاط نیز مهم است. پس از پوشش دادن قیر توسط سنگدانه، سفتی قیر می‌تواند بر روی حساسیت رطوبتی تاثیر بگذارد. قیرهای سفت تر عموماً در برابر کنده شدن از سطح سنگدانه سخت‌تر هستند یا مدت زمان بیشتری طول می کشد تا کنده شوند و بنابراین مقاومت بیشتری در برابر خرابی رطوبتی دارند(Sprague,1946). ۳.طرح اختلاط و اجرا : مقدار حجم حفرات و نفوذ پذیری مخلوط، که تابعی از درجه تراکم، میزان قیر، نوع قیر و دانه‌بندی سنگدانه‌ها می‌باشد، بسیار مهم می‌باشند زیرا این فاکتورها میزان جذب آب و زهکشی را تعیین می‌کنند (Hicks et al,2003).۴.شرایط محیطی: چندین فاکتور محیطی جدا از بارندگی و میزان آب در روسازی وجود دارند که می‌توانند بر روی خرابی رطوبتی تاثیر بگذارند. گرما پس از آنکه باد و باران رخ بدهد، باعث ایجاد تاول در سنگدانه‌ها در سطح روسازی می‌شود که اگر این تاول‌ها شکسته شوند، ممکن است باعث ایجاد حفره شود.ترکهای شکل گرفته بوسیله تنشهای دمای پایین یا خستگی می تواند شدت عریان شدگی را افزایش دهد زسرا این ترکها اجازه ورود آب را می دهند.۵.ترافیک: درصورتیکه روسازی خشک شود، قیری که از سطح سنگدانه‌ها جدا شده می‌تواند دوباره به سطح سنگدانه‌ها بچسبد. مگر در حالتی که جریان ترافیک قیر یا سنگدانه را جا به جا کند. تنش‌های ناشی از بار ترافیک و تاثیر آب با همکاری هم سبب خرابی در روسازی می‌شود.

مراجع

1. Apeagyei, A.K., J.R. Grenfell, and G.D. Airey, Observation of reversible moisture damage in asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 2014. 60: p. 73-80.
2. Yusoff, N.I.M., et al., The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer-modified asphalt mixtures. Construction and Building Materials, 2014. 72: p. 139-147.
3. Tarefder, R.A. and A.M. Zaman, Nanoscale evaluation of moisture damage in polymer modified asphalts. Journal of Materials in Civil Engineering, 2009. 22(7): p. 714-725.
4. Arabani, M., H. Roshani, and G.H. Hamedi, Estimating moisture sensitivity of warm mix asphalt modified with zycosoil as an antistrip agent using surface free energy method. Journal of Materials in Civil Engineering, 2011. 24(7): p. 889-897.
5. Hesami, S., et al., Evaluate the mechanism of the effect of hydrated lime on moisture damage of warm mix asphalt. Construction and Building Materials, 2013. 47: p. 935-941.
6. Nejad, F.M., G.H. Hamedi, and A. Azarhoosh, The Use of Surface Free Energy Method to Evaluate the Mechanism of the Effect of Hydrate Lime on Moisture Damage of Hot Mix Asphalt. Journal of Materials in Civil Engineering, 2012.
7. You, Z. and W. Buttlar, Discrete element modeling to predict the modulus of asphalt concrete mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004. 16(2): p. 140-146.
8. Kandhal, P. and I. Rickards, Premature failure of asphalt overlays from stripping: Case histories. Asphalt Paving Technology, 2001. 70: p. 301-351.

9. Ishai, I. and J. Craus. Effect of the filler on aggregate-bitumen adhesion properties in bituminous mixtures. in Association of Asphalt Paving Technologists Proc. 1977.
10. Hicks, R., L. Santucci, and T. Aschenbrener, Moisture sensitivity of asphalt pavements: a national seminar. San Diego. California, 2003: p. 2-21.
11. Fromm, H.J., The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces, in Association of Asphalt Paving Technologists. 1974. p. 191-223.
12. Kringos, N., A. Scarpas, and C. Kasbergen, Three Dimensional Elasto-Visco-Plastic Finite Element Model for Combined Physical-Mechanical Moisture Induced Damage in Asphaltic Mixes (With Discussion). Journal of the association of asphalt paving technologists, 2007. 76.
13. Kim, S. and B.J. Coree, Evaluation of hot mix asphalt moisture sensitivity using the Nottingham asphalt test equipment. 2005.
14. Graf, P.E., Factors affecting moisture susceptibility of asphalt concrete mixes. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1986. 55: p. 175-212.
15. Terrel, R.L., et al., VALIDATION OF BINDER PROPERTIES USED TO PREDICT WATER SENSITIVITY OF ASPHALT MIXTURES (WITH DISCUSSION). Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1993. 62.
16. Kandhal, P.S., Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of problem and recommended solutions. 1992, National Asphalt Pavement Association.
17. Sprague, J.C. LABORATORY INVESTIGATION OF ANTI-STRIPPING ADMIXTURES USED FOR PROMOTING WETTING POWER AND ADHESION BETWEEN BITUMENS AND AGGREGATES-DISCUSSION. in PROCEEDINGS-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1946. AMER SOC TESTING MATERIALS 100 BARR HARBOR DR, W CONSHOHOCKEN, PA 19428-2959.
18. Skog, J. and E. Zube, New Test Methods for Studying the Effect of Water Action on Bituminous Mixtures. 1963.
19. Plancher, H., S. Dorrence, and J. Petersen, Identification of chemical types in asphalts strongly adsorbed at the asphalt-aggregate interface and their relative displacement by water.[Moisture damage to roads]. 1977, Energy Research and Development Administration, Laramie, WY (USA). Laramie Energy Research Center.
20. Douglas, J.F., Adhesion between binders and individual rock- forming minerals. Journal of the Society of Chemical Industry, 1946. 65(12): p. 377-379.
21. Kumar, A. and W. Goetz. Asphalt hardening as affected by film thickness, voids and permeability in asphaltic mixtures. in Association of Asphalt Paving Technologists Proc. 1977.
22. Chen, J.-S., K.-Y. Lin, and S.-Y. Young, Effects of crack width and permeability on moisture-induced damage of pavements. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004. 16(3): p. 276-282.
23. Arabani, M., et al. Increment of stiffness modulus in asphaltic pavement by additional of waste tire thread mesh. in International seminar on asphalt pavement maintenance technologies, ISSA World Congress. Beijing, China. 2006.