

## بررسی تاثیر استفاده از نانو کربنات کلسیم بر حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی داغ

احسان گرایبی<sup>۱</sup>، فریدون مقدس نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

### چکیده

خرابی رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی گرم از دست دادن مقاومت و دوام ناشی از تاثیر رطوبت تعریف می‌شود. متداولترین مکانیزم‌های خرابی رطوبتی از دست دادن پیوستگی در غشای قیر و از دست دادن چسبندگی قیر-سنگدانه در سطح تماس آنهاست که هر دوی این دو مکانیزم در نتیجه نفوذ رطوبت می‌باشد. برای کاهش این نوع خرابی روش‌های متداولی در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد که از متداول‌ترین آنها می‌توان به استفاده از مواد ضد عریان شدگی بعنوان اصلاح‌کننده قیر اشاره کرد. بر این اساس در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از نانوذرات به عنوان ماده افزودنی ضدعریان شدگی در مخلوط آسفالت گرم پرداخته می‌شود. نانوذرات مورد استفاده کربنات کلسیم نام دارد که دلیل اصلی استفاده از این ماده این است که این ماده پایه سنگ آهک دارد که این ماده خاصیت آبگریزی دارد و عملکرد مناسبی در برابر خرابی رطوبتی از خود نشان می‌دهد. به منظور بررسی تاثیر استفاده از نانو کربنات کلسیم از روش AASHTO T283 در ۱، ۳ و ۵ سیکل یخ-ذوب برای تعیین حساسیت رطوبتی نمونه‌های مخلوط آسفالت داغ استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از افزودنی نانو ذره باعث کاهش پتانسیل خرابی رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی در برابر رطوبت شده است.

**کلمات کلیدی:** مخلوط آسفالت داغ، خرابی رطوبتی، اصلاح‌کننده قیر، نانو کربنات کلسیم.

## ۱- مقدمه

حساسیت رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی که به طور عام‌تر از آن می‌توان تحت عنوان پتانسیل بروز عریان شدگی 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 (کیم<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹) در متون گذشته به تعاریف گسترده‌ای از این مفهوم می‌توان برخورد نمود که عموماً در آن‌ها، پدیده جدا شدن قیر از سنگدانه‌ها یا گسیختگی در بافت قیر در مخلوط آسفالتی متراکم شده، تحت بار تکرار شونده ترافیک و عمدتاً تحت عملکرد آب یا بخار آب، عریان شدگی نامگذاری شده است (کاندال و ریچاردز<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰).

با توجه به اینکه در کشور مناطق وسیعی وجود دارد که میانگین بارش بالایی دارند و نیز در بعضی مناطق دسترسی به مصالح سنگی مقاوم در برابر رطوبت کمتر یافت می‌شود، بر این اساس این مطالعه به منظور تهیه مخلوط آسفالت داغ مقاوم در برابر خرابی رطوبتی جهت کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر مفید سازه روسازی انجام شده است. بدین منظور از نانو کربنات کلسیم بعنوان اصلاح‌کننده قیر در این پژوهش استفاده شده است. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر نتایج و تاثیر استفاده از این مواد ۱، ۳ و ۵ سیکل یخ - ذوب در آزمایش استاندارد AASHTO T283 به کار گرفته شد.

استفاده از آهک هیدراته و مواد ضد عریان شدگی مایع متداول‌ترین روش برای بهبود حساسیت رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی می‌باشد. آهک از چسبندگی بین قیر و سنگدانه محافظت می‌کند و مقاومت قیر را در برابر رطوبت بهبود می‌بخشد. پژوهشگران نشان داده‌اند که مقدار آهک هیدراته مورد نیاز جهت بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالت گرم ۲-۱٪ وزن سنگدانه‌های مصرفی می‌باشد (لیتل و جونز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ جونز<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹). مشکلات استفاده اجرایی از آهک هیدراته در پروژه‌ها و نیز تاثیر منفی استفاده از افزودنی‌های ضد عریان شدگی مایع روی خصوصیات مکانیکی مخلوط آسفالتی باعث شده است تا استفاده از مواد ضد عریان شدگی جدید مانند نانومواد مد نظر پژوهشگران قرار گیرد.

در پژوهشی که در سال ۲۰۱۲ توسط مقدس‌نژاد<sup>۵</sup> و همکاران انجام شد از نانوماده‌ای به نام تجاری زایکوسویل جهت ارزیابی خرابی رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی استفاده شد. جهت ارزیابی تاثیر زایکوسویل بر خرابی رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی نمونه‌های کنترل (بدون زایکوسویل) و حاوی زایکوسویل در شرایط خشک و مرطوب تحت آزمایش مقاوت کششی غیرمستقیم قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهند که افزودن زایکوسویل به نمونه‌های ساخته شده با سنگ آهک و گرانیات سبب افزایش قابل توجه در شاخص نسبت مقاومت کششی این نمونه‌ها شده است که نشان‌دهنده افزایش مقاومت این نمونه‌ها در برابر رطوبت می‌باشد. در پژوهشی دیگر از کامپوزیت لاستیک استایرن بوتادین- نانورس استفاده شده تا آثار کمی و کیفی آن در بهبود حساسیت رطوبتی ارزیابی شود. نتایج بیانگر این می‌باشند که با اضافه کردن نانوکامپوزیت به مخلوط، مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک و تر افزایش می‌یابد. همچنین با اضافه شدن درصد ماده افزودنی، روند افزایش مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک و تر صعودی است. به گونه‌ای که بیشترین افزایش، مربوط به اضافه کردن ۶ درصد نانوکامپوزیت به قیر می‌باشد (راجاسکار<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

<sup>1</sup> Kim

<sup>2</sup> Kandhal & Rickards

<sup>3</sup> Little & Jones

<sup>4</sup> Jones

<sup>5</sup> MoghadasNejad

<sup>6</sup> Rajasekar

## ۲- روش تحقیق

در این بخش به منظور آشنایی با فعالیت‌های انجام شده در تحقیق، ابتدا به معرفی مصالح مصرفی پرداخته می‌شود. در ادامه، طرح اختلاط و آزمایشات انجام شده بر روی نمونه‌های آسفالتی توضیح داده خواهد شد.

## ۲-۱- مصالح مصرفی

دو نوع سنگدانه با خصوصیات متفاوت در برابر خرابی رطوبتی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته اند: سنگ آهک که به عنوان یک سنگدانه مقاوم در برابر خرابی رطوبتی شناخته می‌شود و گرانیته که به عنوان یک سنگدانه آبدوست و حساس در برابر خرابی رطوبتی شناخته می‌شود. دلیل این انتخاب این بوده است تا سنگدانه‌های با عملکرد متفاوت مورد بررسی قرار گیرند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگدانه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است. در پژوهش حاضر از دانه بندی پیوسته ۴ (آستر و روبه) آیین نامه روسازی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴) مورد استفاده قرار گرفت. حدود این دانه‌بندی و دانه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

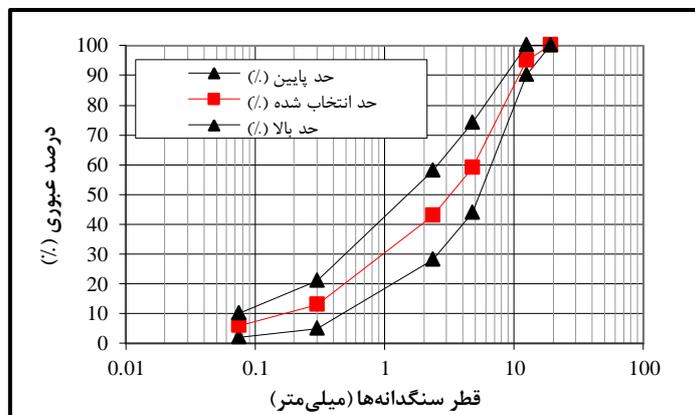
جدول ۱- مشخصات کانی‌های سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش.

سنگدانه	Silicon dioxide, SiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Aluminium oxide, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferric oxide, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Magnesium oxide, MgO	Calcium oxide, CaO
سنگ آهک	۳/۸	۱۸	۱	۰/۴	۱/۲	۵۱/۳
گرانیته	۶۸/۱	۱۶/۲	۱۴/۸	۱/۴	۰/۸	۲/۴

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش.

آزمایش	استاندارد	گرانیته	سنگ آهک	حدود مجاز
وزن مخصوص (درشت دانه)	ASTM C 127			
Bulk		۲/۶۵۴	۲/۶۱۲	-----
SSD		۲/۶۶۷	۲/۶۴۳	-----
Apparent		۲/۶۹۲	۲/۶۹۲	-----
وزن مخصوص (ریز دانه)	ASTM C 128			
Bulk		۲/۶۵۹	۲/۶۱۸	-----
SSD		۲/۶۶۱	۲/۶۳۳	-----
Apparent		۲/۶۸۸	۲/۶۸۸	-----
وزن مخصوص (فیلر)	ASTM D854	۲/۶۵۶		-----
مقدار مجاز سایش	ASTM C131	۱۹	۲۵/۶	حداکثر ۴۵
درصد شکستگی در دو وجه	ASTM D5821	۹۴/۵	۹۷	حداقل ۹۰

ذرات طویل و پهن (%)	ASTM D 1701	۶/۵	حداکثر ۱۰
گوشه داری ذرات ریزدانه	ASTM C 1252	۵۶/۳	حداقل ۴۰



شکل ۱- دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش

قییر به علت داشتن دو خاصیت مهم یعنی غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبنده بودن، یکی از مصالح ساختمانی پرکاربرد است. در این پژوهش قییر مصرفی از نوع قییر خالص با درجه نفوذ ۶۰/۷۰ می‌باشد که از پالایشگاه اصفهان تهیه شد. مشخصات قییر مصرفی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مشخصات قییر به کار رفته در ساخت نمونه‌ها

چگالی در ۲۵°C	درجه نفوذ mm/۱۰	نقطه نرمی °C	شکل پذیری cm	درجه اشتعال °C	افت وزنی %	درجه خلوص %
۱/۰۲	۶۶	۵۱	۱۱۲	۲۶۲	۰/۷۵	۹۹

نانو کربنات کلسیم دارای کاربرد گسترده در صنایع مختلف مانند رنگ، مرکب، ساختمان، کاغذ و دارو می‌باشد. در این پژوهش از نانوذرات کربنات کلسیم رسوبی و عملیات سطحی شده با اسید استئاریک با ابعاد ۶۰ نانومتر با نام تجاری NM-1060 تهیه شده از شرکت نانوسانی مشهد استفاده شده است. این ماده در دو درصد وزنی ۲ و ۴ درصد وزن قییر مورد استفاده قرار گرفته است. ماده نانو کربنات کلسیم مورد استفاده بر طبق کاتالوگ شرکت فروشنده دارای ساختار کریستالی کلسیت با شکل ذرات مکبی می‌باشد که جرم مخصوص آن ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و درجه اسیدیته آن بین ۸ تا ۱۰ تعیین شده است و درصد جذب آن کمتر از ۰/۵ درصد می‌باشد و فرمول شیمیایی آن  $\text{CaCO}_3$  است.

برای اضافه کردن این ماده به قییر ابتدا قییر مورد نظر را تا دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم کرده تا ویسکوزیته آن کاهش یابد و قابلیت اختلاط با نانو کربنات کلسیم در همزن فراهم شود. اختلاط قییر و نانو کربنات کلسیم در همزن با سرعت چرخش ۱۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه ادامه پیدا کرده است. سرعت و مدت زمان گردش پس از سعی و خطا براساس مطالعات پیشین اصلاح قییر با مواد نانو تا رسیدن به یک قییر همگن انتخاب شده است.

## ۲-۲- طرح اختلاط

طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی مورد استفاده در این پژوهش به وسیله روش طرح اختلاط مارشال انجام شد. نمونه‌های مارشال بوسیله روش طرح اختلاط ASTM D1559 طراحی و مورد استفاده قرار گرفتند. در روش مارشال مصالح سنگی دانه‌بندی شده به نسبت درصد‌های هر دانه‌بندی با هم مخلوط شده تا ۱۲۰۰ گرم از مصالح سنگی بدست آید. این نمونه‌های ۱۲۰۰ گرمی، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۶۰-۱۷۰ درجه قرار می‌گیرند تا آب موجود در میان دانه‌های سنگی تبخیر شود. سپس قیر که تا دمای ۱۳۵ درجه حرارت داده شده است با پنج درصد مختلف، به نسبت وزن مخلوط آسفالتی، با مصالح مخلوط شده و در قالب‌های مارشال که دارای قطر ۱۰۱ و ارتفاع ۶۲/۵ میلی‌متر هستند، ریخته می‌شود. نکته قابل توجه این است که درصد قیر مصرفی می‌بایست به گونه‌ای انتخاب شوند که مقدار قیر بهینه در محدوده میانی درصد‌ها قرار گیرد. در نهایت، عمل تراکم بوسیله ۷۵ ضربه (به علت ترافیک سنگین) چکش مارشال که ۴/۵ کیلوگرم وزن دارد و از ارتفاع ۴۵ سانتی متری سقوط می‌کند، انجام می‌گیرد (کاندال<sup>۷</sup>، ۱۹۹۰).

مقدار قیر بهینه برای نمونه‌های کنترل ساخته شده با سنگدانه‌های سنگ آهک و گرانیت به دست آمد و این مقدار قیر بهینه برای نمونه‌های حاوی ماده افزودنی نیز به کار رفت. مقدار قیر بهینه برای نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه‌های سنگ آهک و گرانیت به ترتیب ۵/۵ و ۵ درصد به دست آمد. در این پژوهش نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده‌اند: ۱- نمونه‌های کنترل (با سنگدانه‌ها و قیرخالص) ۲- نمونه‌های اصلاح شده که در آنها از ۲ و ۴ درصد ماده افزودنی استفاده شده است.

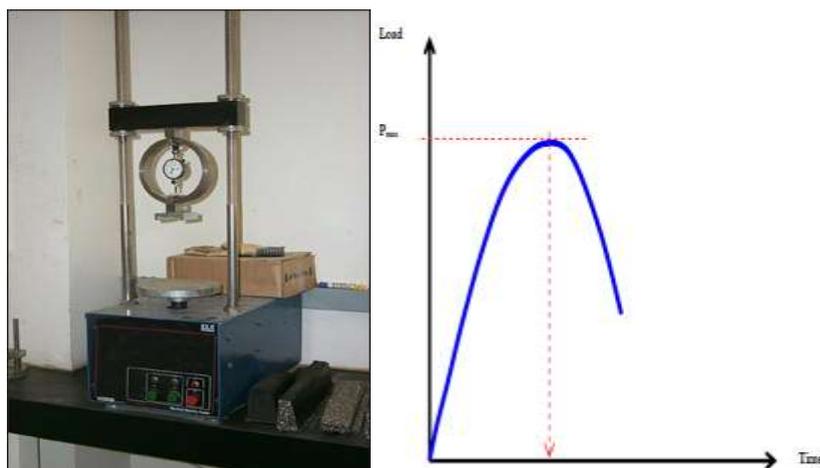
## ۲-۳- آزمایش حساسیت در برابر خرابی رطوبتی براساس استاندارد AASHTO T283

استاندارد AASHTO T283 متداولترین روشی است که برای بررسی مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر خرابی رطوبتی و نیز برای بررسی تاثیر مواد ضد عریان شدگی به کار رود. مواد کافی برای تولید حداقل ۶ نمونه مخلوط آسفالت گرم در درصد قیر بهینه مشخص شده در قسمت قبل با هم مخلوط می‌شوند. تعداد نمونه‌های بیشتر هنگامی نیاز است که یکی از نمونه‌ها دچار مشکل شود یا اینکه مقدار ماکزیمم وزن مخصوص نمونه‌ها مشخص نباشد. قبل از انجام آزمایش اصلی تعدادی آزمایش برای پیدا کردن تعداد ضربه‌های لازم برای تراکم نمونه‌های اصلی برای رسیدن به درصد حفرات هوای  $7 \pm 1$  مورد نیاز است. درصد حفرات هوا مطابق با استاندارد AASHTO T269 مشخص می‌شود. هنگامی که تعداد ضربات مشخص شده و نمونه متراکم شدند، نمونه‌ها به دو گروه نمونه‌های خشک و نمونه‌های تحت شرایط مرطوب قرار گرفته تقسیم می‌شوند. سپس نمونه‌هایی که تعیین شده‌اند تا تحت شرایط قرار گیرند را تحت شرایط خلاء قرار داده تا به میزان درجه اشباع ۸۰-۵۵٪ برسند. نمونه‌های اشباع شده به مدت ۱۶ ساعت در فریزر با دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد و در ادامه به مدت ۲۴ ساعت در حمام آب با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شوند. بقیه نمونه‌ها در شرایط خشک نگهداری می‌شوند (اپپس<sup>۸</sup>، ۲۰۰۰).

همه نمونه‌ها به دمای یکسان آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) آورده شده و آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. روش انجام آزمایش و نحوه بارگذاری در شکل ۲ نشان داده شده است. نرخ بارگذاری در این آزمایش ۲ اینچ در دقیقه (در حدود ۵۰/۸ میلی‌متر بر دقیقه) می‌باشد.

<sup>7</sup> Kandhal

<sup>8</sup> Epps



شکل ۲- طریقه انجام آزمایش و نحوه بارگذاری در آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم.

مقدار کشش غیر مستقیم از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$S = \frac{2P}{\pi D t} \quad (1)$$

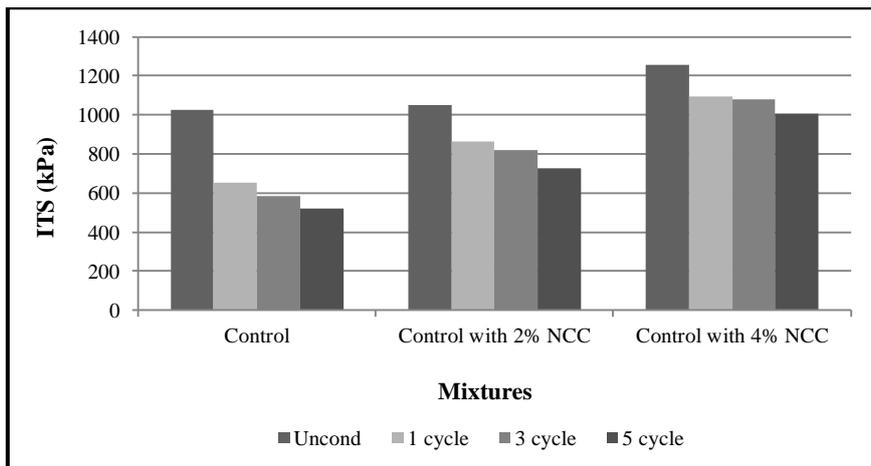
که در آن:  $P$  = حداکثر مقدار بار عمودی وارده (نیوتن)،  $D$  = قطر نمونه (میلی متر) و  $t$  = ضخامت نمونه (میلی متر) می‌باشد. نسبت مقاومت کششی (TSR) با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$TSR = 100 \left( \frac{S_{cond}}{S_{uncond}} \right) \quad (2)$$

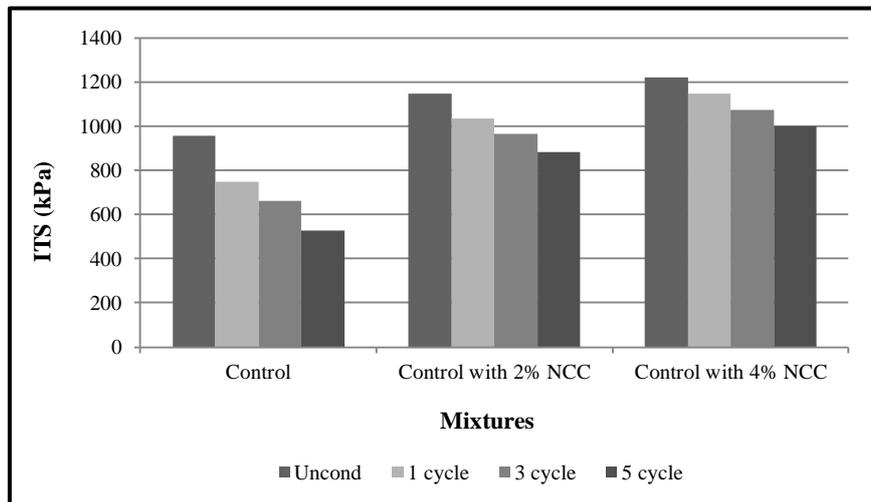
که در آن:  $S_{cond}$  = میانگین مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های تحت شرایط مرطوب قرار گرفته و  $S_{uncond}$  = میانگین مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های خشک می‌باشد. در این پژوهش برای بررسی تاثیر بهتر ماده نانو کربنات کلسیم شرایط مرطوب نمونه‌ها با ۱، ۳ و ۵ سیکل یخ-ذوب شبیه‌سازی شده است.

### ۳- نتایج و بحث

در این قسمت نتایج مربوط به آزمایش حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی به روش لاتمن اصلاح شده یا AASHTO T283 آورده شده است. به منظور بررسی دقیق‌تر مواد افزودنی نانو، این آزمایش در ۱، ۳ و ۵ سیکل یخ-ذوب انجام شده است. نتایج مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها در سیکل‌های مختلف یخ-ذوب در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار کشش غیرمستقیم نمونه‌های ساخته شده با افزایش تعداد سیکل‌های یخ-ذوب کاهش می‌یابد. کاهش در مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها با افزایش تعداد سیکل‌های یخ-ذوب را می‌توان به از دست دادن چسبندگی مخلوط یا پیوستگی قیر ناشی از حضور بیشتر نمونه‌ها در معرض رطوبت نسبت داد. می‌توان از داده این دو شکل نتیجه‌گیری کرد که اضافه کردن مواد نانو به عنوان ماده ضد عریان شدگی چسبندگی و پیوستگی را در مخلوط افزایش داده و اجازه جابه‌جایی سریع قیر را از روی سطوح سنگدانه‌ها نمی‌دهد و سبب می‌شود که مخلوط پس از سیکل‌های یخ-ذوب مقاومت بالاتری در برابر رطوبت نسبت به نمونه‌های بدون مواد افزودنی نانو داشته باشد.



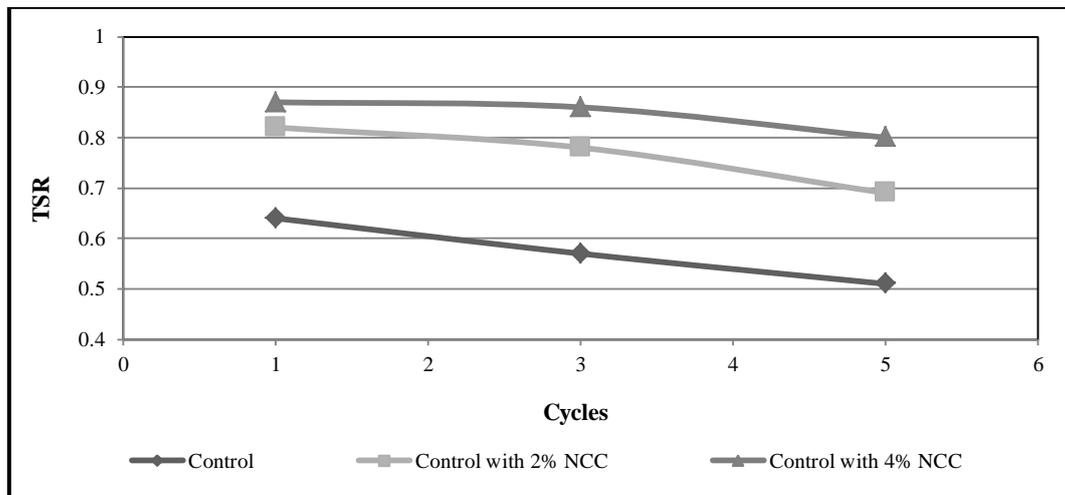
شکل ۳- رابطه بین ITS با درصد مواد افزودنی نانوکربنات کلسیم (NCC) در سیکل‌های مختلف یخ-ذوب در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه گرانیته.



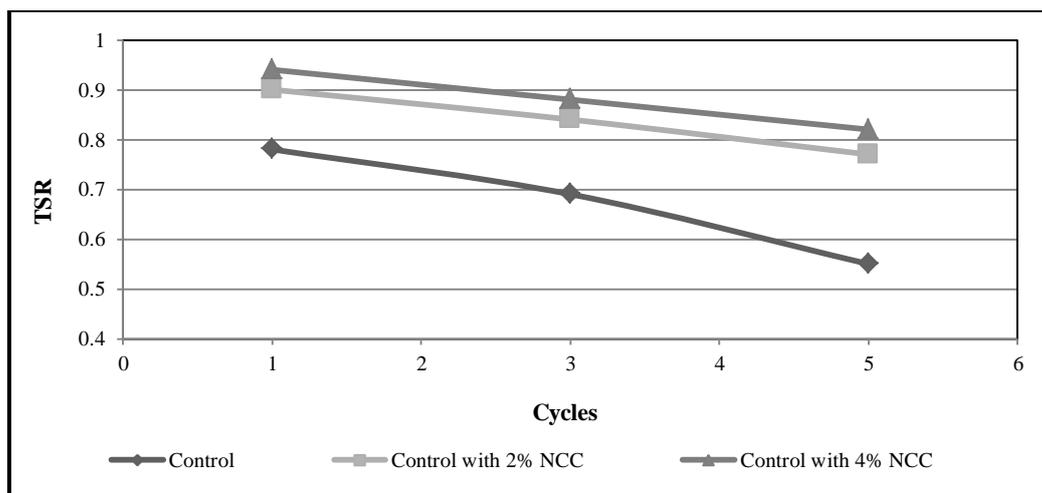
شکل ۴- رابطه بین ITS با درصد مواد افزودنی نانوکربنات کلسیم (NCC) در سیکل‌های مختلف یخ-ذوب در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه سنگ آهک.

شکل‌های ۵ و ۶ نشان‌دهنده مقادیر TSR برای ترکیبات ساخته شده با نانو کربنات کلسیم در این پژوهش می‌باشد. مشخص است که با افزایش در تعداد سیکل‌های یخ-ذوب میزان TSR کاهش می‌یابد. نمونه‌های ساخته شده با سنگ آهک و ۴ درصد نانوماده دارای بالاترین مقدار TSR (۹۴٪) در سیکل اول می‌باشد که این مقدار در پایان سیکل پنجم به ۸۲٪ می‌رسد. خصوصیات شیمیایی سطوح سنگدانه‌ها بر روی درجه حساسیت رطوبتی در مخلوط‌های آسفالتی تاثیر می‌گذارد. ترکیبات شیمیایی هر ۲ نوع سنگدانه به کار رفته در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که سنگ آهک عمدتاً از CaO تشکیل شده است در حالیکه سنگدانه‌های گرانیته عمدتاً از  $\text{SiO}_2$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  تشکیل شده است. دسته‌بندی سنگدانه‌ها بدین صورت است که سنگدانه‌های سنگ آهک را آبریز و سنگدانه‌های گرانیته را آبدوست در نظر می‌گیرند. با استفاده از شکل‌های ۵ و ۶ نیز می‌توان تشخیص داد که سنگ آهک در مقایسه با سنگدانه گرانیته مخلوط‌های مقاوم‌تری را در برابر رطوبت فراهم می‌کنند.

همانطور که از شکل‌های ۵ و ۶ مشخص است مقاومت کششی از نمونه‌های خشک به نمونه‌های تحت شرایط به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که این رخداد نشانه خرابی رطوبتی در اثر رطوبت است. این کاهش در نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه‌های کنترل بیشتر نمایان است. مواد افزودنی متفاوت تاثیر متفاوتی بر عملکرد مخلوط‌های آسفالتی دارند. نتایج اضافه کردن نانوکربنات کلسیم نشان می‌دهد که افزودن این مواد در همه درصدهای مورد استفاده در این پژوهش تاثیر مثبت در مقدار TSR دارد. اضافه کردن ۲ درصد از این مواد باعث افزایش قابل توجه در مقدار TSR شده است. این در حالی است که این افزایش در ۴ درصد افزودنی در مقایسه با ۲ درصد افزودنی چشمگیر نیست. این بدین معنی است که افزایش بیش از ۲ درصد از این ماده منطقی نیست زیرا هم هزینه اجرای مخلوط را بالا می‌برد و هم اینکه تاثیر مثبتی در افزایش مقاومت در برابر خرابی رطوبتی نسبت به نمونه‌های ساخته شده با ۲ مشاهده نمی‌شود.



شکل ۵- رابطه بین TSR با درصد مواد افزودنی نانوکربنات کلسیم (NCC) در سیکل‌های مختلف یخ-ذوب در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه گرانیت.



شکل ۶- رابطه بین TSR با درصد مواد افزودنی نانوکربنات کلسیم (NCC) در سیکل‌های مختلف یخ-ذوب در نمونه‌های ساخته شده با سنگدانه گرانیت.

به منظور بررسی دقیق تر تاثیر افزودنی نانوماده مورد استفاده در این پژوهش بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی ۱، ۳ و ۵ سیکل یخ-ذوب طبق استاندارد AASHTO T283 به نمونه‌ها اعمال شد. مشاهده می‌شود که کاهش مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط‌های اصلاح شده با افزودنی نانو کربنات کلسیم به اندازه مخلوط‌های کنترل در سیکل‌های مختلف نبوده است. کاهش در مقادیر TSR در تمامی مخلوط‌ها در سیکل‌های ۱ تا ۳ کمتر از کاهش در مقادیر TSR در سیکل‌های ۳ تا ۵ بود. دلیل این امر این است که با افزایش سیکل‌های یخ-ذوب عریان شدگی قیر از روی سطح سنگدانه کاهش می‌یابد و باعث می‌شود سنگدانه‌های عریان شده دیگر در باربری شرکت نکنند. نمونه‌های ساخته شده با سنگ آهک کمترین تغییرات در مقدار TSR در سیکل‌های ۱ تا ۵ را نشان دادند. می‌توان از داده‌های شکل‌های ۵ و ۶ نتیجه‌گیری کرد که اضافه کردن مواد ضد عریان شدگی چسبندگی و پیوستگی را در مخلوط افزایش داده و اجازه جابه‌جایی سریع قیر را از روی سطوح سنگدانه‌ها نمی‌دهد و سبب می‌شود که مخلوط پس از سیکل‌های یخ-ذوب مقاومت بالاتری در برابر رطوبت نسبت به نمونه‌های بدون مواد افزودنی داشته باشد.

#### ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مشکلات اجرایی استفاده از آهک هیدراته در پروژه‌ها مانند مشکلات اختلاط با سنگدانه و نیز تاثیر منفی استفاده از افزودنی‌های ضد عریان شدگی مایع بر روی سایر خصوصیات مخلوط‌های آسفالتی مانند افزایش پتانسیل شیارشدگی باعث شده است تا در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از نانو کربنات کلسیم به عنوان ماده افزودنی ضد عریان شدگی اضافه شونده به قیر در مخلوط آسفالت داغ پرداخته شود. مهم‌ترین نتایج به دست آمده در این پژوهش عبارتند از:

- اضافه کردن ماده نانو کربنات کلسیم چسبندگی و پیوستگی را در مخلوط افزایش داده و اجازه جابه‌جایی سریع قیر را از روی سطوح سنگدانه‌ها نمی‌دهد و سبب می‌شود که مخلوط پس از سیکل‌های یخ-ذوب مقاومت بالاتری در برابر رطوبت نسبت به نمونه‌های بدون مواد افزودنی داشته باشد.
- بهترین درصد مواد افزودنی ضد عریان شدگی با توجه به نوع سنگدانه و قیر متفاوت است و آزمایش‌هایی که برای تعیین حساسیت رطوبتی استفاده می‌شود، می‌تواند برای تعیین درصد بهینه استفاده از این مواد به کار رود. درصد بهینه از افزودنی سبب ایجاد یک لایه بر روی مولکول‌های قیر می‌شود که باعث بهبود چسبندگی می‌شود اما افزایش در مقدار مواد افزودنی ضد عریان شدگی سبب ایجاد لایه دومی می‌شود که تاثیر لایه اول را نیز کم می‌کند.
- مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های اصلاح شده با نانو کربنات کلسیم چه در شرایط مرطوب و چه در شرایط خشک، افزایش یافته است.
- افزودن نانو کربنات کلسیم به مقدار قابل توجهی سبب افزایش مقاومت در برابر خرابی رطوبتی و افزایش مقدار TSR در نمونه‌های اصلاح شده با این ماده نسبت به نمونه‌های با سنگدانه‌های کنترل می‌باشد.
- عملکرد سنگ آهک در برابر رطوبت به طور نسبی بهتر است زیرا چسبندگی آن با قیر در حضور آب در مقایسه با گرانیات بیشتر است. استفاده از نانو کربنات کلسیم سبب شده است که انرژی آزاد چسبندگی قیر-سنگدانه در حضور آب افزایش یابد که این امر به این معنی است که چسبندگی بین قیر و سنگدانه در حضور آب بیشتر شده و احتمال خرابی رطوبتی کاهش می‌یابد. این افزایش در مقاومت در برابر خرابی رطوبتی در نمونه‌های ساخته شده با گرانیات بیشتر نمایان است.

#### مراجع

1. Epps JA. (2000). Compatibility of a test for moisture-induced damage with superpave volumetric mix design: Transportation Research Board

2. Jones G. (1997). The effect of hydrated lime on asphalt in bituminous pavements. NLA Meeting, Utah DOT.
3. Kandhal P, Rickards I. (2010). Premature failure of asphalt overlays from stripping: Case histories. *Asphalt Paving Technology*. 51-70:301.
4. Kandhal PS. (1990). Large stone asphalt mixes: design and construction. National Center for Asphalt Technology.
5. Kim YR. (2009) Modeling of asphalt concrete: ASCE Press United State of America.
6. Little DN, Jones I. (2003). Chemical and mechanical processes of moisture damage in hot-mix asphalt pavements. Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements-A National Seminar California Department of Transportation; Federal Highway Administration ; National Asphalt Pavement Association; California Asphalt Pavement Alliance; and Transportation Research Board.
7. MoghadasNejad F, Azarhoosh A, Hamedi GH, Azarhoosh M. (2012). Influence of using nonmaterial to reduce the moisture susceptibility of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*;31:384-8.
8. Rajasekar R, Heinrich G, Das A, Das CK. (2009). Development of SBR-nanoclay composites with epoxidized natural rubber as compatibilizer. *Journal of Nanotechnology*.

## Investigating the effect of using calcium nano carbonate on the moisture sensitivity of hot asphalt mixture

Ehsan Gheraee<sup>1</sup>, Fereydoun Moghaddasnezhad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MA Student, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Associate Professor, Amir Kabir University, Tehran, Iran

---

### Abstract

Humidity-related failure in hot mix asphalts is defined as losing resistance and durability caused by humidity. The most common humidity failure-related mechanisms is losing coherence in bitumen membrane and losing bitumen-aggregate adhesion between their contact surfaces that both of mechanisms are resulted buy humidity penetration. Some common methods are used in world to reduce such failure that one of them is using anti-stripping materials as bitumen modifiers. Accordingly, this study was conducted to examine effect of using nanoparticles as an additive anti-stripping material in hot mix asphalt. The nanoparticle is called calcium carbonate that is the main reason for using this material that is the base of limestone with hydrophobicity specification and proper performance against humidity failure. To examine effect of Calcium Nano-carbonate, AASHTO T283 method was used in 1, 3 and 5 ice-melting cycle in order to determine humidity sensitive of hot mix asphalt samples. Results of this study show that nanoparticle additive led to reduction in humidity failure potential of asphalt mixtures against humidity.

**Keywords:** Hot Mix Asphalt, Humidity Failure, Bitumen Modifier, Calcium Nano-carbonate

---