

بررسی تاثیر نوع سنگدانه بر خصوصیات اصطکاکی و نفوذپذیری اندودهای سنگدانه‌ای*

منصور فخری، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
ارشاد عموسلطانی، کارشناس ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
E-mail: fakhri@kntu.ac.ir

چکیده

نگهداری و مدیریت راهها و جاده ها یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین اصول زیربنایی کشور هاست. نوع و کاربرد انواع اقدامات پیشگیرانه برای نگهداری روسازی‌های آسفالتی و بتنی طی سالهای متمادی تحت بررسی و تحقیق قرار گرفته است. کاهش هزینه ها و اقدامات کاهش دهنده زمان ترمیم راهها از جمله نکاتی است که با استفاده از اندودهای سنگدانه‌ای تحقق می یابد. تحقیقات نشان داده‌اند که صرف کردن نسبت ناچیزی از کل هزینه ها به اقدامات نگهداری باعث کاهش بسیار زیادی در هزینه‌های تعمیرات و ترمیم روسازی‌ها خواهد شد. یکی از اقدامات پیشگیرانه برای نگهداری روسازی های آسفالتی، استفاده از اندودهای سنگدانه ای است که در این تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد. در این مقاله ضمن معرفی و شناسایی اندودهای سنگدانه ای، نحوه طراحی، ساخت و اجرای انواع اندودهای سنگدانه ای ارایه می شود. هدف از این تحقیق معرفی انواع مختلف اندودهای سنگدانه ای و ارزیابی عملکرد آزمایشگاهی اندودهای مختلف است. در ساخت این نوع آسفالت سعی شده تا از امکانات موجود در کشور استفاده گردیده و تا حد امکان شرایط موجود در کشور شبیه سازی شود. در این تحقیق خصوصیات اصطکاکی و نفوذپذیری و همچنین میزان اندود کنندگی اندودهای سنگدانه‌ای و مقایسه انواع اندودهای سنگدانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: آسفالت‌های حفاظتی، اندودهای سنگدانه ای، مقاومت لغزشی، اندود سطحی، طرح اختلاط

۱. مقدمه

از جمله آنها می‌توان به هزینه اندک ساخت، عمر طولانی، دوام و مقاومت لغزشی زیاد و... اشاره کرد. این نوع آسفالتها به چهار دسته کلی اندودهای آب‌بندی (بدون سنگدانه)، دوغاب آب‌بندی، آسفالت نازک سطحی و اندودهای سنگدانه‌ای تقسیم شوند.

انتخاب نوع آسفالت حفاظتی جهت اقدامات نگهداری به عوامل مختلفی بستگی داشته و دارای فرآیند پیچیده‌ای است. از جمله این عوامل می‌توان به شرایط آب و هوایی، مقدار ترافیک متوسط

امروزه در اکثر نقاط دنیا سیستم‌های نگهداری و بویژه سیستم نگهداری پیشگیرانه از مهم‌ترین اقدامات برای حفظ روسازی‌های بتن آسفالتی به شمار می‌روند. عملیات نگهداری، به ویژه اقداماتی که باعث افزایش ایمنی جاده ها و راحتی رانندگی شوند، از اهمیت بیشتری برخوردارند.

از مهم‌ترین اقدامات پیشگیرانه برای نگهداری روسازی های بتن آسفالتی می‌توان به انواع آسفالت‌های حفاظتی اشاره کرد. این نوع آسفالتها که هم اکنون در اکثر کشورهای دنیا به گونه‌ای گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، مزایای فراوانی دربردارند که

روزانه، میزان شاخص وضعیت روسازی، نوع روسازی، طرح هندسی راه و نوع اقدامات نگهداری و... اشاره کرد.

در این تحقیق از میان انواع مختلف آسفالت‌های حفاظتی، آندودهای سنگدانه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ساخت نمونه‌ها از قیر امولسیون CSS ساخت داخل استفاده شده است.

از بارزترین ویژگی‌های آندودهای سنگدانه‌ای می‌توان به مقاومت لغزشی زیاد این نوع آسفالت‌ها اشاره کرد و بنابراین شده است در ساخت این نوع آسفالت‌ها از سنگدانه‌های با مقاومت سایشی زیاد استفاده شود. به این منظور از دو نوع سنگدانه گرانیتی و یک نوع سنگدانه آهکی در ساخت نمونه‌ها استفاده شد. آزمایش‌های مربوط به سنگدانه‌ها و قیر امولسیونی، قبل از ساخت نمونه‌ها بر روی سنگدانه‌ها و قیر انجام شدند. پس از تایید آزمایش‌ها و شناسایی مصالح و با توجه به آن که شرایط ساخت با توجه به مصالح موجود در کشور می‌بایست تعیین شود، سعی شد تا با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده، در برخی موارد اصلاحاتی صورت گیرد.

در ساخت نمونه‌ها از آئین نامه‌های معتبر ساخت و اجرای آندودهای سنگدانه‌ای کشورهای انگلستان و استرالیا استفاده شده است. البته این آئین نامه‌ها با توجه به شرایط موجود در ایران نیاز به اصلاحاتی دارند که تعیین میزان این اصلاحات در محدوده این مطالعه نیست.

پس از تراکم نمونه‌های بتن آسفالتی توسط دستگاه متراکم کننده غلتکی و عمل‌آوری نمونه‌ها، اجرای نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای بر روی نمونه‌ها آغاز شد. پس از اجرای آندود سنگدانه‌ای بر روی نمونه‌های بتن آسفالتی، نمونه‌ها توسط همان متراکم کننده غلطکی تحت تراکم قرار گرفتند.

در این تحقیق ابتدا انواع مختلف نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای در آزمایشگاه ساخته شدند و بر روی آنها آزمایش‌های مقاومت لغزشی و پخش ماسه صورت گرفتند. نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای بر روی نمونه‌های توپکا و مخلوط سنگدانه‌ای درشت دانه به کار گرفته شدند. برای تراکم نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای از دستگاه متراکم کننده ویل تراک استفاده شد.

در ابتدا سعی شد تا از بار مشابهی برای تراکم نمونه‌ها استفاده شود، ولی از آنجا که آندود سنگدانه‌ای بایستی به وسیله غلتک‌های چرخ لاستیکی متراکم شود، سنگدانه‌ها کمی خرد شدند. شکل ۱ اثر میزان بار اضافی تراکم را که باعث خرد شدن سنگدانه‌ها شده است نشان می‌دهد.

در این تحقیق ابتدا انواع مختلف نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای در آزمایشگاه ساخته شدند و بر روی آنها آزمایش‌های مقاومت لغزشی و پخش ماسه صورت گرفتند. نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای بر روی نمونه‌های توپکا و مخلوط سنگدانه‌ای درشت دانه به کار گرفته شدند. برای تراکم نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای از دستگاه متراکم کننده ویل تراک استفاده شد.

۲. نحوه تراکم نمونه‌ها

در ساخت سایر نمونه‌ها سعی شد تا از میزان بار کاسته شده و تعداد دور رفت و برگشت دستگاه افزایش یابد. این حالت باعث شد که اثر تراکم در محل تا حدودی شبیه سازی شود. از آنجا که در محل نمونه‌ها توسط غلتک‌های چرخ لاستیکی متراکم شده و پس از یک روز تحت ترافیک سبک قرار می‌گیرند، بنابراین سنگدانه‌ها فرصت می‌یابند تا تحت بهترین و پایدارترین حالت

انتخاب طرح اختلاط مناسب و ساخت و عمل‌آوری نمونه‌های آندود سنگدانه‌ای، با استفاده از آئین نامه انگلستان انجام شد به منظور ساخت نمونه‌ها به بستر متناسب با محل اجرا نیاز بود. بنابراین از دستگاه متراکم کننده غلطکی ویل تراک برای متراکم نمودن نمونه‌ها استفاده شد. دو نوع مخلوط آسفالتی گرم برای ساخت بستر جهت نمونه‌ها در نظر گرفته شدند. به منظور ارزیابی عملکرد آندود سنگدانه‌ای بر روی آسفالت‌های گرم، از توپکا با دانه‌بندی شماره ۴ نشریه ۱۰۱ (سازمان برنامه و بودجه) و مخلوط

این سنگدانه‌ها از سنگدانه آهکی بیشتر است، ولی به دلیل مهم بودن خصوصیات مربوط به سنگدانه‌های گرانیتی با وجود زیاد بودن این ضرایب از آنها در ساخت نمونه‌ها استفاده شد. مهم‌ترین اثری که ضریب تورق زیاد در مخلوط‌های اندود سنگدانه‌ای می‌گذارد امکان قیر زدگی سطح اندود است. بنابراین برای این دو نوع سنگدانه از مقدار قیر کمتری در ساخت استفاده شد.

قرار گیرند. برای مدل سازی چنین حالتی سعی شد تا تعداد دور رفت و برگشت دستگاه بیش از مقدار لازم باشد.



شکل ۱. اثر بار اضافی و خردشدگی سنگدانه‌ها،

همچنین اثر میزان سنگدانه اضافی

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی سنگدانه‌ها

| نام آزمایش | سنگدانه | | آهکی |
|-----------------------|-----------|-----------|------|
| | گرانیتی A | گرانیتی B | |
| سولفات سدیم (درصد) | ۰/۹۷ | ۱/۴۳ | ۰/۳۱ |
| | ۲/۶ | - | ۰/۶۱ |
| سایش لوس آنجلس (درصد) | ۲۶ | ۳۰ | ۱۸ |
| ضریب تطویل | ۲۳/۴ | ۴۲/۵ | ۱۲/۵ |
| ضریب تورق | ۱۸/۹ | ۲۴ | ۱۹/۲ |
| شکستگی (درصد) | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

عامل مهم دیگری که در تعیین میزان قیر موثر است میزان جذب قیر سنگدانه‌هاست. برای انجام این آزمایش دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد نیاز است. از آنجا که این دستگاه در دسترس نبود برای در نظر گرفتن اثر جذب قیر سنگدانه‌ها و همچنین ایجاد چسبندگی بیشتر بین قیر و سنگدانه از روش پیش اندودی سنگدانه‌ها استفاده شد. پیش اندودی سنگدانه‌ها می‌تواند به وسیله افزودن مقداری آب یا گازوئیل، نفت سفید یا امولسیون قیری انجام شود.

با توجه به این که بکارگیری قیر امولسیون به عنوان ماده پیش اندودکننده آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر از سایر مواد است. بنابراین با توجه به مطالعات انجام شده مقدار ۱/۵٪ قیر امولسیونی به سنگدانه‌ها افزوده شد و اثر پیش‌اندودی سنگدانه‌ها نیز بر خواص اندودهای سنگدانه بررسی شد. شکل ۱ اثر پیش‌اندودی سنگدانه‌ها را بر میزان چسبندگی و بافت سطحی اندودها نشان می‌دهد. مطابق این شکل سنگدانه‌های پیش‌اندود نسبت به سنگدانه‌های ساده از بافت فشرده‌تری برخوردارند. برای تعیین اندازه سنگدانه‌ها با توجه به استاندارد انگلستان اندازه ۱۰ میلی‌متر برای سنگدانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. این اندازه با فرض داشتن سطحی با سختی نرمال و وسایل نقلیه تجاری ۲۰۰-۱۰۰ وسیله در هر خط در روز به دست آمد. سنگدانه‌هایی که برای ساخت لایه دوم بکار برده شدند دارای ابعاد ۶ میلی‌متر بودند.

۳. ساخت نمونه های اندود سنگدانه‌ای

برای ساخت نمونه های اندود سنگدانه ای از آئین نامه انگلستان استفاده شد. از آنجا که تعیین درصد قیر امولسیون کاربردی به عوامل مختلفی از جمله خصوصیات سطح روسازی، شکل و ابعاد سنگدانه ها، خصوصیات سنگدانه‌ها، میزان ترافیک و شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد، بنابراین سعی شد تا حد امکان شرایط مشابه و ایده آل برای ساخت نمونه‌ها ایجاد شود.

پاشیدن قیر توسط استوانه ای مدرج با سوراخهایی در بالای آن صورت گرفت. به این ترتیب سعی شد تا به این وسیله پاشیدن قیر بر روی سطح روسازی توسط قیر پاش شبیه سازی شود. سرعت پخش قیر با توجه به مشخص بودن حجم قیر امولسیونی پاشیده شده بر روی سطح مشخص می‌شود.

برای شبیه‌سازی عمل ریزش سنگدانه‌ها بر روی سطح و به دلیل امکان کنترل کامل سرعت ریزش در آزمایشگاه، سعی شد تا سنگدانه‌ها به طور دستی و غیرتصادفی در سطح جاسازی شوند. سنگدانه‌ها قبل از ریختن، وزن شده و پس از تعیین وزن مورد نیاز سنگدانه‌ها، عمل ریزش انجام می‌شود.

در ساخت نمونه ها از سه نوع سنگدانه، گرانیتی نوع A، گرانیتی نوع B و آهکی استفاده شد. دو نوع سنگ گرانیتی مستقیماً از معدن برداشت شده و توسط سنگ شکن و در آزمایشگاه شکسته شدند. میزان تطویل و تورق این سنگدانه ها در مقایسه با سنگدانه آهکی در جدول ۱ آورده شده است. میزان ضریب تطویل و تورق

سنگدانه‌ها بستگی دارد. سرعت پخش قیر از رابطه زیر به دست می‌آید: [۱]

$$R = 0.625 + (F \times 0.023) + [0.0375 + (F \times 0.0011)] \times ALD \quad (2)$$

که در آن:

F = فاکتور اصلاح وزنی،

ALD = میانگین حداقل ضخامت (mm) و

R = سرعت پخش قیر kg/m^2 است.

با در نظر گرفتن شرایط ترافیکی متوسط تا سنگین (۱۵۰۰-۵۰۰) وسیله در باند در روز) و سطح روسازی بسیار کم قیر و شرایط آب و هوایی متعادل و سنگدانه‌های پیش‌اندود یا متورق^۲، عامل اصلاح وزنی براساس استاندارد انگلستان برابر ۲ خواهد شد. [۱] برای به دست آوردن سرعت پخش صحیح قیر برای قیرهای امولسیون، میزان R به دست آمده در ضریب اصلاح زیر ضرب می‌شود.

$$CF = (90 / \text{قیر امولسیونی}) \quad (3)$$

جدول ۲. تعیین سرعت پخش قیر و سنگدانه با توجه به میزان ALD

| نوع سنگدانه | مقدار F_1^2 | قطر متوسط (mm) | مقدار ALD (mm) | میزان قیر (l/m^2) | سرعت پخش سنگدانه (kg/m^2) |
|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|
| آهکی | ۱۹/۲ | ۶ | ۴/۳۵ | ۱/۴۶ | ۵/۹۳ |
| | | ۱۰ | ۷/۴ | ۱/۶۷ | ۱۰/۰۹ |
| گرانیتی نوع A | ۱۸/۹ | ۶ | ۴/۴ | ۱/۴۶ | ۶ |
| | | ۱۰ | ۷/۴۵ | ۱/۶۷ | ۱۰/۱۶ |
| گرانیتی نوع B | ۲۴ | ۶ | ۴/۱ | ۱/۴۴ | ۵/۵۹ |
| | | ۱۰ | ۷/۱ | ۱/۶۵ | ۹/۶۸ |

۵. آزمایش‌های انجام شده

۵-۱-۵ آزمایش‌های مارشال جهت تعیین قیر بهینه لایه زیرین

برای مخلوط سنگدانه ای درشت دانه و توپکا

تعیین درصد قیر بهینه برای نمونه های مخلوط سنگدانه ای درشت دانه توسط آزمایش مارشال با نمونه های ۶ اینچی انجام شد. پس از ساخت و تراکم نمونه‌ها و به دست آوردن مقاومت مارشال نمونه‌ها حجم و وزن مخصوص حقیقی و ظاهری نمونه‌ها به دست آمدند و سپس روابط حجمی مقادیر مارشال برای نمونه‌ها

عامل دیگری که در طراحی‌ها دارای اهمیت است میزان ALD^1 (میانگین حداقل ضخامت) مصالح است. نحوه به دست آوردن این پارامتر در مرجع ۱ آورده شده است.

۴. طراحی مخلوط اندود سنگدانه‌ای

هدف از طرح اندود سنگدانه‌ای، تعیین مقادیر دقیق قیر و سنگدانه‌هاست که برای اجرای کار محاسبه می‌شود. این روش بر اساس فرضیات زیر استوار است و برای تمام انواع سنگدانه‌های باز و با یک اندازه نیز صادق است.

الف: مقدار فضای خالی سنگدانه‌ها که توسط دستگاه مکانیکی پخش کننده مصالح روی قیر پخش می‌شود، قبل از غلتک‌زنی و با توجه به آرایش نامتعادل و نا پیوسته سنگدانه‌ها، تقریباً ۵۰ درصد حجم کل آن است.

ب: مقدار این فضای خالی بعد از غلطک‌زنی و جابه‌جا شدن سنگدانه‌ها به ۳۰٪ کاهش می‌یابد.

ج: پس از قرار گیری رویه اندود سنگدانه ای تحت ترافیک، سنگدانه‌ها بر روی سطح ترین وجه خود قرار می‌گیرند. در چنین شرایطی مقدار فضای خالی به حدود ۲۰٪ می‌رسد و ضخامت نهایی رویه آسفالتی بامیانگین کوچک‌ترین بعد سنگدانه‌ها برابر می‌شود.

د: برای آنکه رویه آسفالتی عملکرد مناسبی داشته باشد ۶۰ تا ۸۰ درصد از فضای خالی باقی مانده (که ۲۰٪ فرض شده) بایستی با قیر پر شود. محاسبه این درصد، با توجه به حجم ترافیک عبوری از رویه آسفالتی تغییر می‌یابد.

۴-۱-۴ تعیین سرعت پخش سنگدانه‌ها

سرعت پخش سنگدانه‌ها بر اساس رابطه ۱ به دست می‌آید: [۱]

$$(kg/m^2) = 1.364 \times ALD (mm) \quad (1)$$

سرعت پخش سنگدانه‌ها را بایستی در محل تعیین کرد. سرعت پخش سنگدانه‌های ۶ و ۱۰ میلیمتری با توجه به میزان ALD آنها در جدول ۲ آورده شده است. این نمونه‌ها بر روی سطحی معادل ۰/۱ میلیمتر مربع پخش شدند.

۴-۲ تعیین سرعت پخش قیر

سرعت پخش قیر به عواملی از جمله حجم ترافیک عبوری از راه، وضعیت روسازی لایه رویه، شرایط آب و هوایی منطقه و نوع

۳-۵ اندازه‌گیری مقاومت لغزشی نمونه‌های اندود

سنگدانه‌ای

شناخت ضریب اصطکاک درمعادلات طرح هندسی راهها از اهمیت خاصی برخوردار است. تعیین شعاع پیچها به شیب های طولی و عرضی جاده با احتساب سرعت طراحی مناسب به آن بستگی دارد. اصطکاک سطحی عامل اصلی پیشگیری و تقلیل تصادفات ناشی از لغزندگی است. ضریب اصطکاک بین لاستیک و سطح جاده به عوامل زیر بستگی دارد [۴].

۱- مشخصات بافت سطح جاده و مصالح به کار رفته شامل بافت ریز، بافت درشت، بافت صیقلی (PSV)، سایش سنگ (AAV) و دانه‌بندی

۲- مشخصات لاستیک

۳- مشخصات وسیله نقلیه

۴- شرایط استفاده و عبور و مرور

۵- شرایط آب و هوایی



شکل ۲. میزان نفوذ سنگدانه‌های گرانیتی B



شکل ۳. مقطع اندود دولایه با محل شیار

افتادگی گرانیت A

انجام شد. نتایج برای نمونه‌های مارشال ۶ اینچی، مخلوط سنگدانه‌ای درشت دانه و مارشال ۴ اینچی برای توپکا به شرح زیر است [۲]:

درصد قیر بهینه برای نمونه توپکا، ۵/۲ درصد و برای نمونه مخلوط سنگدانه‌ای، ۴/۱ درصد.

۲-۵ ساخت نمونه‌های اندود سنگدانه‌ای

نمونه‌ها در سه طرح تک لایه، دولایه و ساندویچی ساخته شدند. مقدار قیر لازم برای هرلایه در جدول (۲) قابل مشاهده است. سنگدانه‌ها به دو صورت ساده و پیش اندود برای ساخت به‌کار گرفته شدند. برای مقایسه حالت ساده نسبت به پیش اندود نیمی از سطح بتن آسفالتی با استفاده از سنگدانه‌های ساده و نیم دیگر با استفاده از سنگدانه‌های پیش اندود ساخته شدند.

برای متراکم نمودن نمونه‌ها، از متراکم کننده غلتکی با قابلیت تنظیم بار تراکم استفاده شد. این بار به صورت رفت و برگشتی به نمونه وارد می‌شود. در ابتدا مقدار بار ۷۰۰ کیلوگرم در تعداد دور ۸۰ بار مورد استفاده قرار گرفت، ولی مشاهده شد که سنگدانه‌ها در اثر اعمال فشار خرد شدند. لذا در ساخت نمونه‌های بعدی سعی شد تا از میزان بار ۵۰۰ کیلوگرم در تعداد دور ۱۰۰ استفاده شود.

عمل تراکم بایستی به گونه‌ای باشد تا سنگدانه‌ها تحت فشار اعمال شده خرد نشوند و به حد کافی در سطح نفوذ کرده و در حدامکان بتوانند در پایدارترین وضعیت خود قرار گیرند. این فرآیند باعث می‌شود تا پس از باز گشایی ترافیک بر روی مسیر، سنگدانه‌ها در مناسب‌ترین حالت قرار گرفته و درصد فضای خالی به حداقل برسد [۳]. به منظور شبیه‌سازی اثر ترافیک سعی شد تا بر میزان دورهای رفت و برگشت غلتک افزوده شود. با توجه به اشکال ۲ تا ۵، میزان نفوذ سنگدانه‌ها در سطوح زیرین مناسب و قرار گیری آنها نیز در حد مطلوب و رضایت بخش بود.

پس از اتمام غلتک‌زنی نمونه‌ها و عمل آوری آنها، دانه‌های اضافی و خرد شده از سطح نمونه‌ها جمع‌آوری شده و سطح برای انجام آزمایش‌های عملکردی آماده شد. با توجه به بافت سطحی نمونه‌ها مشاهده شد که سنگدانه‌های پیش اندود دارای بافت بهتر و میزان چسبندگی بیشتری نسبت به سنگدانه‌های ساده هستند. همان گونه که در اشکال مشاهده می‌شود بافت ظاهری نمونه‌های با سنگدانه‌های گرانیتی بهتر از سنگدانه‌های آهکی است.

۵-۳-۲ اندازه گیری ضریب اصطکاک

دو روش برای مطالعه و اندازه گیری اصطکاک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف: روش مطالعه و تحقیق دربارهٔ بافت درشت

ب: روش اندازه گیری ضریب اصطکاک

در روش اول، تاثیر بافت درشت روسازی در رابطه بین سرعت و اصطکاک مورد مطالعه قرار گرفته و اندازه‌گیری اصطکاک به صورت غیر مستقیم و معمولاً با اندازه‌گیری عمق زبری^۵ رویه راه انجام می‌شود.

در روش دوم، اصطکاک سطح جاده مستقیماً به صورت اندازه گیری میزان اصطکاک بر اثر سایش لاستیک بر روی رویه راه تعیین می‌شود.

در این تحقیق عمق زبری اندودها توسط آزمایش پخش ماسه، و اصطکاک سطح اندود به وسیلهٔ دستگاه آونگ انگلیسی اندازه‌گیری شده است.

۵-۳-۳ روش آونگ انگلیسی

در هنگام آزمایش، بازوی آونگ از یک ارتفاع استاندارد H تحت تاثیر وزن خود W رها شده و در تماس با سطح جاده قرار می‌گیرد. در این تماس بر حسب آن که سطح جاده چقدر زبر بوده و اصطکاک ایجاد کند، بازوی آونگ به مقداری بالا رفته و در طرف دیگر عقربه روی مقیاس مدرج، درجه ای را نشان می‌دهد که به BPN معروف است و بیان کننده میزان مقاومت لغزشی سطح جاده یا ضریب اصطکاک است [۶].

اصلاح مربوط به اثر درجه حرارت سطح جاده توسط رابطه ۴ صورت می‌گیرد.

$$BPN_{20} = \frac{BPN}{1 - [0.00525(t - 25)]} \quad (۴)$$

که در آن:

BPN = مقدار متوسط عدد اصطکاک در دمای t، و

BPN₂₀ = عدد اصطکاک در دمای ۲۰ درجه است.

به منظور کم کردن خطای آزمایش، این آزمایش برای هر نمونه ۵ بار تکرار و عدد متوسط به عنوان BPN سطح یادداشت شد. نتایج مربوط به نمونه های مختلف و مقایسه آن با رویه های مختلف در جدول ۳ و شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۴. بافت اندود سنگدانه‌ای گرانیت A



شکل ۵. بافت و مقطع اندود سنگدانه‌ای آهکی

۵-۳-۱ مشخصات بافت سطح جاده

سه مشخصه مهم از سطح جاده که در اصطکاک بین لاستیک و رویه راه، در حالت مرطوب تاثیر دارند عبارتند از [۵]:

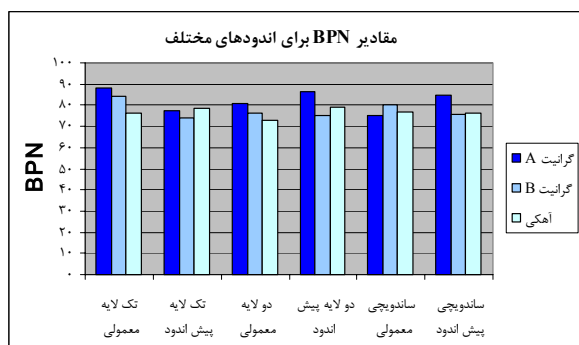
- بافت ریز مناسب در سطح جاده

- قابلیت زهکشی کافی جهت خارج کردن آب از سطح جاده

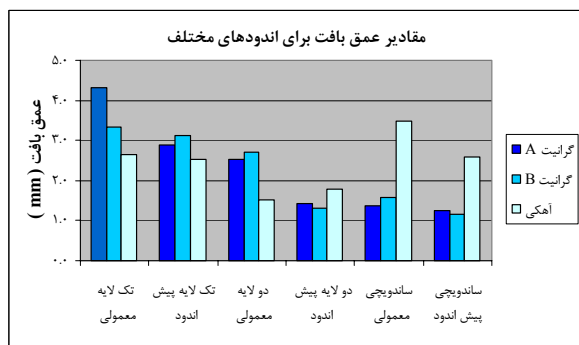
- بافت درشت و مناسب

بافت ریز روسازی نشان دهنده وضعیت سنگدانه‌های رویه راه و بیانگر زبری^۳ و صیقلی بودن^۴ ذرات سطح راه است. این بافت در شرایط بارندگی و مرطوب، لایه نازک آب سطح جاده را جذب کرده و درگیری و تماس بین لاستیک و سطح جاده را افزایش داده و در نتیجه ضریب اصطکاک آنها را زیاد می‌کند. بافت درشت به میزان بیرون زدگی سنگدانه ها از رویه راه اطلاق می‌شود و با ایجاد کانال‌های باریک جریان، باعث می‌شود تا آب سطحی در هنگام بارندگی به سرعت از سطح جاده انتقال یابد که این عمل باعث جلوگیری از پدیده Hydroplaning و در نتیجه افزایش اصطکاک روسازی می‌شود.

نتیجه زهکشی سطحی مناسب‌تر، میزان اصطکاک بیشتری نشان دادند.



شکل ۶. مقایسه مقادیر BPN برای اندودهای مختلف



شکل ۷. مقایسه مقادیر عمق بافت برای اندودهای مختلف

۴-۵ نفوذپذیری

نفوذپذیری مخلوط‌های بتن آسفالتی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین معیارهای پذیرش انواع مخلوط‌های بتن آسفالتی است. اصولاً میزان نفوذپذیری یک مخلوط اثر مستقیمی بر دوام و عملکرد انواع مخلوط‌های بتن آسفالتی دارد. نفوذ آب به داخل بتن آسفالتی را می‌توان عامل اصلی خرابیها در روسازیهای آسفالتی عنوان کرد. از جمله این خرابیها می‌توان به قیرزدگی و انواع ترک خوردگی‌های سطح روسازی نظیر ترکهای پوست سوسماری اشاره کرد [۸].

پارامترهای زیادی بر میزان نفوذپذیری مخلوطها تاثیر گذارند. از جمله این پارامترها می‌توان به درصد فضای خالی موجود در مخلوط بتن آسفالتی اشاره کرد. درصد فضای خالی موجود و میزان پیوستگی این حفره‌ها با یکدیگر اثر بسزایی در نفوذ رطوبت به مخلوط بتن آسفالتی دارد. بر اساس تحقیقات انجام شده،

جدول ۳. مقادیر BPN به دست آمده از نمونه های اندودهای

سنگدانه ای در مقایسه با سایر رویه ها

| اصلاح شده BPN | دما (°C) | BPN | نوع رویه |
|---------------|----------|------|----------------------------------|
| ۵۵ | ۲۶ | ۵۳ | سطح توپکا معمولی |
| ۴۴ | ۲۹ | ۴۲ | سطح توپکا قیرزده |
| ۶۲ | ۱۴ | ۶۴ | آسفالت متخلخل |
| ۸۲ | ۲۵ | ۸۰ | اندود سنگدانه ای با گرانیت A |
| ۷۸ | ۲۵ | ۷۵/۵ | اندود سنگدانه ای با گرانیت B |
| ۷۷ | ۲۵ | ۷۴/۵ | اندود سنگدانه ای با سنگدانه آهکی |

۴-۳-۵ روش پخش ماسه

در این روش حجم معینی از ماسه با خصوصیات و دانه بندی خاص بر روی سطح جاده و به صورت دایره‌ای پخش می‌شود. این کار توسط صفحه فلزی و مدوری که به ارتفاع ۰/۲۵ اینچ از سطح رویه قرار می‌گیرد، انجام می‌شود. نسبت حجم ماسه اولیه به سطح پوشش شده با ماسه، عمق زبری رویه راه را به دست می‌دهد [۴].

۴-۳-۵-۱ روش انجام آزمایش پخش ماسه

استوانه فلزی به ابعاد ۲۰ میلیمتر (قطر دایره) و ارتفاع ۸۰ میلیمتر که حداقل حجم فضای خالی آن ۲۵۰۰۰ میلیمتر مکعب باشد را از ماسه‌ای که حداقل ۹۰ درصد وزنی آن از الک نمره ۶۰ عبور کرده و روی الک نمره ۸۰ باقی بماند پر می‌کنیم. قبل از ریختن ماسه بر روی سطح نمونه، این سطح با یک برس نرم تمیز می‌شود. آنگاه ماسه با حجم معین را بر روی سطح نمونه می‌ریزیم و توسط یک دیسک محکم و تخت به قطر تقریبی ۶۰ تا ۷۵ میلیمتر بر روی سطح پخش می‌کنیم. روی این دیسک باید با یک لاستیک سخت پوشانده شود. باید دقت شود که سطح ماسه پخش شده به صورت مدور درآید. پس از اتمام کار قطر دایره را در ۴ جهت خوانده و میانگین آن را ثبت می‌کنیم.

از تقسیم حجم ماسه به سطح پوشیده شده از ماسه، عمق بافت به دست می‌آید. میزان عمق بافت ۰/۸ برای یک رویه آسفالتی بسیار مناسب است. نتایج مربوط به عمق بافت برای نمونه های مختلف در شکل ۷ آورده شده است.

اشکال ۶ و ۷ نشان می‌دهند که نمونه‌های پیش‌اندود به علت وجود قیر در سطح سنگدانه‌ها، از مقاومت اصطکاکی کمتری برخوردارند. همچنین نمونه‌های تک لایه به علت داشتن عمق بافت بیشتر و در

جدول ۴. ضرائب نفوذپذیری اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها

| شماره نمونه | شکل مقطع | سطح موثر cm^2 | مشخصات سطح موجود | فشار (بار) | زمان آزمایش (دقیقه) | ضریب نفوذپذیری (cm/s) |
|-------------|----------|-----------------|--------------------|------------|---------------------|-------------------------|
| ۱ | چند ضلعی | ۱۶۸/۹۷ | اندود سنگدانه‌ای | ۹ | ۱۲۰ | 7.47×10^{-8} |
| ۲ | دایره‌ای | ۱۷۶/۶ | اساس خاکی | ۲ | ۴۵ | 2.97×10^{-6} |
| ۳ | چند ضلعی | ۱۹۲/۶۶ | توپکا (ترکی خورده) | ۱ | ۳ | 3.8×10^{-4} |
| ۴ | دایره‌ای | ۱۷۶/۶ | آسفالت درشت دانه | ۱۷ | ۱۴۴۰۰ | ۰ |

۶. نتیجه‌گیری

از مطالعات و تحقیق آزمایشگاهی انجام گرفته بر روی نمونه‌های مختلف نتایج زیر حاصل شدند:

- سنگدانه‌های گرانیتهی گیرش بیشتری نسبت به قیر امولسیونی CSS داشته و پوشش قیری مناسب‌تری ایجاد می‌کنند.
- سنگدانه‌های گرانیتهی به علت داشتن چسبندگی بهتر (با این نوع قیر) و ضریب تورق بیشتر، عمق بافت کمتر و ظاهر یکنواخت‌تری نسبت به سنگدانه‌های آهکی ایجاد می‌کنند.
- اندودهای سنگدانه‌ای در مقایسه با سایر پوششهای آسفالت گرم از مقاومت لغزشی بیشتری برخوردارند.
- اندودسنگدانه‌ای به خوبی می‌تواند درزها و ترکهای موجود در سطح راه را آب‌بندی کند.
- در صورت اجرای مناسب انواع اندودهای سنگدانه‌ای، می‌توان از آنها به طور کوتاه مدت بر روی اساس خاکی راه‌های جدید استفاده کرد.
- نمونه چهارم از آزمایش نفوذپذیری، در مقایسه با نمونه شیارافتاده نشان داد که در صورتی که رویه‌های آسفالتی به درستی ساخته، اجرا و متراکم شوند، به خوبی می‌توانند از لایه‌های زیرین محافظت نمایند، ولی پس از گذشت مدتی از بهره‌برداری رویه‌ها، این رویه‌ها را می‌توان به وسیله اندودهای سنگدانه‌ای آب‌بندی کرد.
- ساخت اندودهای سنگدانه‌ای با شرایط مطرح شده در بالا برای کاربرد در ایران مناسب بوده و می‌توان از آنها برای روکش راه‌ها استفاده کرد.

افزایش درصد فضای خالی مخلوط‌های بتن آسفالتی باعث افزایش میزان نفوذپذیری مخلوط می‌شود [۹].

در این تحقیق از روش بار هیدروستاتیکی ثابت برای اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری مخلوط استفاده شد. مقدار بار اعمال شده بر سطح مخلوط با استناد بر منابع و تحقیقات انجام شده انتخاب شد. در پاره‌ای از موارد به دلیل مشاهده نکردن میزان نفوذپذیری لازم در زمان مورد نظر، سعی شد تا میزان بار افزایش یابد و در صورت مشاهده نکردن نتیجه لازم با افزوده شدن بار، آزمایش متوقف شده و نمونه به عنوان نمونه نفوذ ناپذیر معرفی شد.

برای بررسی تاثیر اندودهای سنگدانه‌ای بر مقدار نفوذپذیری سطوح آسفالتی زیرین چهار نمونه ساخته شد.

در نمونه اول اندود سنگدانه‌ای دو لایه بر روی آسفالت درشت دانه اجرا شده و میزان نفوذپذیری آن مورد بررسی قرار گرفت. در نمونه دوم اندود سنگدانه‌ای مستقیماً بر روی اساس خاکی اجرا شد. نمونه سوم سطح توپکای معمولی پس از انجام آزمایش شیارافتادگی بود و نمونه چهارم مخلوط آسفالتی درشت دانه بود که به عنوان نمونه کنترل مورد بررسی قرار گرفت. نمونه سوم تحت اثر دستگاه ویل تراک قرار گرفت تا بتواند شرایط موجود در محل پس از چند سال را شبیه سازی نماید.

میزان نفوذپذیری نمونه‌ها بر اساس قانون داریسی محاسبه می‌گردد [۱۰]. رابطه ۵ این قانون را بیان می‌کند:

$$k = \frac{V \times L}{A \times H \times t} \quad (5)$$

که در آن:

k = ضریب نفوذپذیری نمونه (cm/sec)

L = ضخامت نمونه (cm)

A = سطح مقطع نمونه (cm^2)

V = حجم آب عبوری از نمونه (cm^3)

H = هد ثابت آب (cm)

t = زمان انجام آزمایش (Sec)

نتایج به دست آمده از نمونه‌های آزمایش شده به شرح جدول ۴ است.

۷. مراجع

- measuring surface frictional properties using the British pendulum tester" Annual book of ASTM standards, vol.4.03. Philadelphia.
1. Transport Research Laboratory (1992) "Design guide for road surface dressings", Road Note 39, 3rd edition. (TRL Limited, Crowthorne)
 ۲. "آیین نامه روسازی راههای ایران"، نشریه شماره ۲۳۴، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۱.
 3. Douglas M. Colwill(1995) "U.K. design procedure for surface dressing", Transportation Research Record, V.1507, pp.13-22.
 4. TRRL (1969)"Instructions for using the portable skid resistance tester "Road Note 27, Transport and Road Research Laboratory HMSO.
 5. Cenek P.D., Jamieson N.J. and Towler J.I. (1997) "The influence of texture depth on skidding resistance", Transit New Zealand-t/10.
 6. American Society for Testing and Materials. (1996) E303, "Standard test method for
 7. Pavement and structures "Pavement Skid Resistance: British Pendulum Method ", Main Roads, Western Australia T\WA310.1, Issue 101/1996.
 8. Towler, J.I. and Ball, G.F.A. (1999)" Permeabilities of chip seals in New Zealand ", Tran Fund Research Report No.165.
 9. Todd, A. Lynn, Ray Brown,E.and Allen Cooley,L. Jr. (1999) "Evaluation of aggregate size characteristics in stone matrix asphalt and super pave Mixtures", Transportation Research Record, V.1681, pp.19-27.
 10. American Society for Testing and Materials (1996). D3637, "Standard test method for permeability of bituminous mixtures " Annual book of ASTM standards, vol.4.03. Philadelphia.

پانویس ها:

- 1-Average Least Dimension
- 2-Flakiness Index
- 3-Hardness
- 4-Polishing
- 5-Texture Depth