6th.National Congress on Civil Engineering , Architecture and Urban Development / 10-12 December 2019,Tehran , Iran
In cooperation with Shiraz University, maraghe University And University of Science and Technology of Iran

کد مجوز ISC وزارت علوم ۹۷۱۸۱ - ۲۱۰۰۸

بررسی و ارزیابی عملکرد پارامترهای اصطکاکی در سطوح با پوشش آسفالت بازیافتی

افشین عندلیبی ۱*

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، ایران
(afshinandalibi@gmail.com)

چکیده

فناوری بازیافت در علوم مختلف ازجمله راه‌سازی استفاده می‌گردد. فواید روسازی‌ها موجود در دو وجه هست. اولاً ازلحاظ اقتصادی استفاده از مصالح موجود قابل‌توجه است، ثانیاً بنا به دلایل زیست‌محیطی استفاده گسترده از مصالح روسازی بازیابی شده موردنیاز است. در کشور ما سالیانه میلیون‌ها تن بتن آسفالتی، مصالح اساس و زیراساس مورداستفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که منابع طبیعی محدود هستند، لازم است تا حد امکان با کاهش تولید و ضایعات و همچنین تشویق به بازیافت و استفاده مجدد از مواد، در مصرف مصالح سنگی صرفه‌جویی شود. یکی از مهم‌ترین عواملی که در مقاومت لغزندگی روسازی راه‌ها مؤثر می‌باشد بافت سطحی روسازی است که در دو بخش اصلی بافت ریز و بافت درشت تشکیل‌شده است. نتایج حاصل از پژوهش انجام گرفته نشان دهنده آن است که استفاده از آسفالت بازیافت هم در بافت درشت و هم در بافت ریز مقاومت لغزندگی را افزایش داده و مقاومت لغزندگی در بافت درشت بیشتر از بافت ریز است و ترکیب نمونه با ۴۰٪ آسفالت تازه +۶۰٪ آسفالت بازیافتی بیشترین مقاومت لغزندگی را نسبت به سایر رده‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: تفاله‌های آسفالتی بازیافت شده، مخلوط آسفالت گرم، رویه آسفالتی بازیافت شده،مقاومت لغزندگی.

۱- مقدمه

در اواسط دهه‌ی هفتاد میلادی که هزینه‌ی ساخت‌وساز با دوره‌ی بحران نفت در دنیا، روند رو به رشدی داشت (به‌خصوص قیمت قیر)، بازیافت آسفالت یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها در امر تعمیر و نگهداری و ساخت جاده‌ها به شمار می‌رفت .بر این اساس در ابتدا مصالح بازیافت شده‌ی آسفالت در جاده‌هایی با ترافیک سبک (آمدوشد کم (استفاده می‌شدند. پس از سال‌های متمادی تجربه‌های قابل‌توجهی کسب شد و امروزه روش‌های بازیافت آسفالت برای جاده‌هایی با ترافیک سنگین (رفت و آمد زیاد)نیز پیشنهاد می‌شود و میزان بازیافت آسفالت می‌تواند نزدیک به صد درصد باشد. استفاده دوباره از آسفالت به این معناست که پیچیدگی عملیات نگهداری افزایش‌یافته و تمیز دادن مواد بازیافت شده از تازه بسیار مشکل می‌شود. در طول دوره سرویس عامل چسبنده قدیمی کهنه‌شده و سنگ‌دانه‌ها از هم جدا می‌شوند. علاوه بر این، عملیات احیا می‌تواند منجر به غیریکنواخت شدن مصالح روسازی بازیافت شده شود و سرانجام مسئله سلامت کارگران ازلحاظ بخار قیر در آسفالت بازیافت شده نیز باید مدنظر قرار گیرد. درنتیجه بازیافت آسفالت در مقایسه با تولید آسفالت تازه، کاری با شرایط خاص، بسیار مشکل و نیازمند آگاهی و تجربه زیادی است.

امروزه طراحی و ساخت راه‌ها با مخلوط آسفالتی با قابلیت اطمینان بالا، از اهمیت زیادی برخوردار است به‌طوریکه آزمایش‌های انجام شده توسط محققین نشان داده ترکیب سنگدانه‌های بازیافتی و مصالح جدید عملکرد قابل قبولی را به عنوان مصالح لایه رویه و حتی لایه‌های اساس و زیراساس دارد (امیدوار، ۱۳۹۰).

۲- مبانی نظری

طبق آمار سوانح رانندگی در کشور مشاهده می‌شود که تعداد تصادفات، تعداد مجروحان و متوفیان حوادث رانندگی سالانه روند رو به رشدی داشته و بدیهی است با ادامه این روند، درآیندِ ای نه‌چندان دور، ناظر یک فاجعه ملی باشیم. این امر ایجاب می‌کند که در راستای افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای اقدامات جدی صورت گیرد. یکی از این اقدامات بررسی مقاومت لغزندگی سطح روسازی جاده‌ها است، بنابراین مقاومت لغزندگی با ایمنی راه ارتباط تنگاتنگی دارد.

به‌طورمعمول اصطکاک و شرایط رویه روسازی از عوامل اساسی ایمنی است، به‌نحوی‌که مقاومت لغزندگی سطح رویه روسازی از مهم‌ترین شاخص‌های خصوصیت مخلوط آسفالتی بوده که در ایمنی راه تأثیرگذار خواهد بود. همه‌روزه تعداد تلفات بسیاری براثر تصادفات در جاده‌ها گزارش می‌شود. درصد زیادی از این تصادفات براثر لغزندگی سطوح آسفالتی و توقف دیرهنگام خودروها در هنگام تصادف رخ می‌دهند. مقاومت در برابر لغزندگی یکی از عوامل اولیه تعیین ایمنی روسازی بخصوص در تصادفات ناشی از سُرخوردن بر روی سطح خیس است. تعیین میزان اصطکاک سطح جاده‌ها به‌ویژه در نقاط حادثه‌خیز و شیبه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تحقیقات مختلفی این نتیجه را ارائه نموده‌اند که با کاهش هرچه بیشتر اصطکاک، تصادفات فزونی می‌یابد.

در زیر به برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود:

- مک کلوخ و هانکینز[1] ۱ در سال۱۹۶۶ طی مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین اصطکاک و تصادفات در ۵۷۱ محل در شهر تگزاس پرداختند. ارزیابی نشان داد که نسبت بزرگی از تصادفات در راه‌های با اصطکاک کمتر اتفاق افتاده است (مک کلوخ و هانکینز،۱۹۶۶).
- شولزه و همکاران[2] در سال ۱۹۷۶ طی تحقیقی به این نتیجه رسیدند که کاهش اصطکاک راه باعث افزایش تصادفات می‌گردد (اصطکاک در سرعت ۵۰ مایل بر ساعت اندازه‌گیری شده است). (شولزه و همکاران، ۱۹۷۶).

[1] McCullough, B.V. and K.V. Hankins. 1966.
[2] Schulze, K.H., A.Gerbaldi, and J. Chavet. 1976

- هنری[3] در سال ۱۹۸۳طی مطالعه‌ای که تحت نظارت سازمان فدرال بزرگراه آمریکا بود به این نتیجه رسیدکه وجود ۰,۰۰۰۲ اینچ آب بر روی سطح جاده می‌تواند اصطکاک را نسبت به شرایط خشک ۲۰٪ تا ۳۰٪ کاهش دهد (هنری، ۱۹۸۳).
- والمن و آستروم[4] در سال ۲۰۰۱ طی تحقیقی جامع و کامل که از اصطکاک و نرخ تصادفات انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که افزایش اصطکاک راه مطابق جدول ۱ نرخ تصادفات را به شدت کاهش می‌دهد (والمن و آستروم، ۲۰۰۱).

جدول ۱: رابطه نرخ تصادفات با ضریب اصطکاک راه (والمن و آستروم، ۲۰۰۱)

نرخ تصادفات	ضریب اصطکاک
۰,۸	<۰.۱۵
۰,۵۵	۰,۱۵-۰,۲۴
۰,۲۵	۰,۲۵-۰,۳۴
۰,۲۰	۰,۳۵-۰,۴۴

- کمال و گارتشو[5] در سال ۱۹۸۲ طی مطالعه‌ای که در نقاط خطرناک (قسمت‌هایی که دارای اصطکاک کم بودند بر اساس تجربه و نرخ تصادفات انتخاب شدند (اتوبان آنتریو کانادا) انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که نقاط خطرناک باید جهت افزایش اصطکاک تجدید رویه شوند. با این کار تصادفات ۲۹٪ کاهش یافت (کمال و گارتشو، ۱۹۸۲).

بنابراین در این تحقیق مقاومت لغزندگی با درصدهای مختلف آسفالت بازیافتی هم در بافت ریز و هم در بافت درشت بررسی می‌شود. فرضیات در نظر گرفته‌شده در این مقاله، کاهش لغزندگی رویه راه در استفاده از آسفالت بازیافتی هم در بافت ریز و هم در بافت درشت است.

۲-۱ مقاومت لغزندگی، مفهوم و روابط اصطکاک

همان‌طور که بیان شد مقاومت در برابر لغزندگی از شاخصه‌ای مهم رویه روسازی راه هست، که در ارتباط با تأمین ایمنی و پیشگیری از تصادفاً ناشی از لغزندگی دارای نقش بالقوه‌ای هست. این خصوصیت به‌صورت نیرویی که به هنگام ترمز گیری، در برابر سرخوردن لاستیک‌های وسیله نقلیه بر روی سطح خیس روسازی عمل می‌کند، تعریف‌شده و با پارامتری موسوم به ضریب اصطکاک بیان می‌گردد (عامری، ۱۳۷۸).

مفهوم مقاومت لغزندگی طبق تعریف سازمان ملی استاندارد آمریکا، نیروی مقاوم یا نیروی اصطکاک موجود بین لاستیک خودرو و سطح روسازی در هنگام ترمز گیری و قفل شدن لاستیک خودرو است و مقدار آن از تقسیم نیروی عکس‌العمل طولی بر نیروی قائم یا وزن روی چرخ به دست می‌آید.

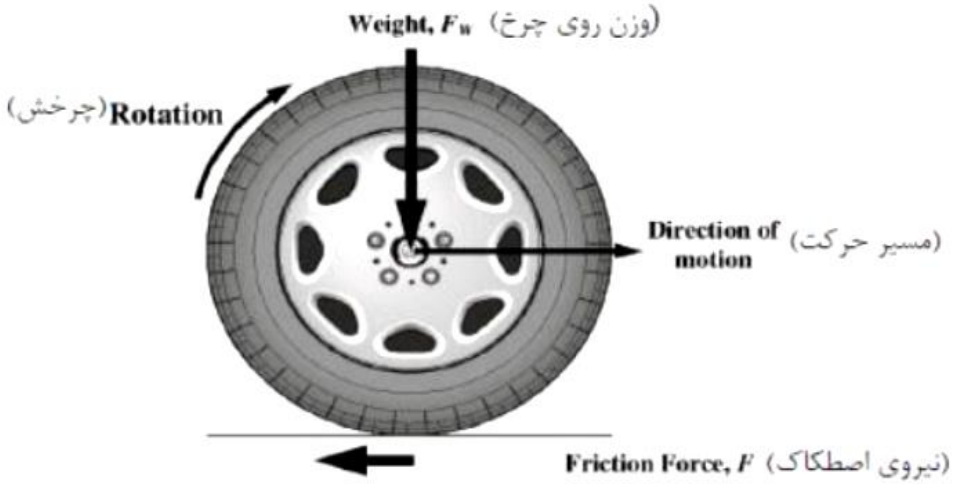
با توجه به شکل ۱ و رابطه۱ نیروی اصطکاک برابر است با:

رابطه ۱: ضریب اصطکاک

$$F_{f=}F/F_W$$

که در آن F نیروی افقی (نیروی اصطکاک (وFw نیروی قائم (وزن)هست.

[3] Henry, J.J. 1983.
[4] Wallman, C.G. and H. Astrom. 2001.
[5] Kamel, N. and T. Gartshore.1982.



شکل ۱: نیروهای اصطکاکی در بین سطح تماس لاستیک و سطح رویه (احدی، ۱۳۸۹)

جدول ۲ نام دستگاه و سرعت‌های اندازه‌گیری لغزندگی در کشورهای گوناگون را نشان می‌دهد.

جدول ۲: دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت لغزندگی در کشورهای گوناگون (شاهین، ۱۳۸۴)

نام دستگاه	سرعت اندازه‌گیری	کشور
Diagonal BrakedVehicle(DBV)	۶۰	آمریکا
Japanese Skid Tester	۳۰-۹۰	ژاپن
LCPC Adhera	۴۰-۹۰	فرانسه
Stuttgrater Reibungamesser(SRM)	۳۰-۹۰	آلمان

۲-۲ عوامل مؤثر در مقاومت لغزندگی

به‌طورکلی عوامل مؤثر در مقاومت لغزندگی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد(احمدی، ۱۳۸۹):

الف -عوامل مربوط به روسازی

ب -خصوصیات مربوط به وسایل نقلیه

ج -شرایط آب و هوایی و نوسانات ترافیکی

الف -عوامل مربوط به روسازی:

بافت‌های سطح روسازی: در هجدهمین همایش مجمع جهانی راه، PIARC بافت‌های سطح روسازی بر اساس زبری سطح روسازی به ۴ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند.

الف -بافت ریز[۶]

[6] Microtexture

ب –بافت درشت[7]

ج –بافت بزرگ[8]

د –ناهمواری

یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی که در مقاومت لغزندگی روسازی راه‌ها تأثیرگذار است بافت سطحی روسازی است که می‌توان در دو بخش اصلی بافت ریز و بافت درشت تقسیم‌بندی نمود. که در ارتباط با مقاومت لغزندگی مناسب برای سطح رویه‌ها، لازم است همین دو پارامتر مهم و اساسی، مشخص شود. درنهایت برای تکمیل مبحث بافت سطح روسازی باید اظهار داشت که بافت کلی و ناهمواری تأثیر چندانی در مقاومت لغزندگی سطح روسازی نداشته و عامل ایجاد صدا در هنگام حرکت چرخ خودرو از روی سطح روسازی هستند(احدی، ۱۳۸۹).

بافت ریز روسازی نمایانگر وضعیت ذرات تشکیل‌دهنده راه است و زبری۵ و صیقل بودن ۶ ذرات رویه را نشان می‌دهد. بافت ریز روسازی عاملی مهم در ایجاد چسبندگی سطح تایر به سنگ‌دانه است و در سرعت‌های پایین معمولاً بافت ریز عامل اصلی اصطکاک تایر با روسازی است. در زمینی که سطح روسازی با یک‌لایه خیلی نازک از آب پوشیده می‌شود چسبندگی بین سطح دانه‌ها با تایر به حداقل مقدار خود می‌رسد، بنابراین در چنین شرایطی وجود بافت ریز بسیار ضروری و بااهمیت است (شاهین، ۱۳۸۴).

بافت درشت به‌عنوان بخشی از مجموعه روسازی کمک به بهبود وضعیت اصطکاک سطح می‌کند. بافت درشت با ایجاد کانال‌هایی باریک امکان زهکشی آب‌های سطحی را هنگام بارندگی فراهم می‌کند. انتقال سریع آب‌های سطحی موجب جلوگیری از پدیده هیدروپلانینگ جمع شدگی آب روی سطح رویه)می‌شود و به این وسیله مقاومت در برابر لغزندگی را افزایش می‌دهد.

در حالت کلی بافت درشت با ایجاد اثرات پسماندگی در تایر، با جذب انرژی جنبشی وسیله به خود، موجب افزایش اصطکاک بین جاده و تایر می‌شود .بافت درشت بستگی به ابعاد سنگ‌دانه‌ها و فاصله بین آن‌ها دارد. بدیهی است هرچه ابعاد سنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در مخلوط آسفالتی بزرگ‌تر و فواصل بین آن‌ها بیشتر باشد، بافت سطح روسازی نیز درشت‌تر خواهد بود. در حقیقت، بافت درشت، زهکشی مناسب و تخلیه سریع آب موجود بین لاستیک و سطح روسازی را به وجود می‌آورد.

۲-۳ آسفالت بازیافتی

به‌طورکلی آسفالت بازیافتی ۱ به مصالح به‌دست‌آمده از آسفالت موجود که دربرگیرنده قیر و مصالح سنگی هست که با روش‌های گوناگون، با و یا بدون حرارت دادن سطح روسازی، برداشت می‌شود، اطلاق می‌گردد (نشریه ۳۴۱، ۱۳۸۵).

به‌طورکلی بازیافت روسازی‌های آسفالتی با استفاده از روش‌های مختلف، ازجمله روش بازیافت گرم کارخانه‌ای یا درجا، یکی از گزینه‌هایی است که معمولاً برای ترمیم، بهسازی و یا بازسازی به کار می‌رود.

این گزینه‌ها عبارت‌اند از:

- بازیافت گرم؛
- بازیافت سرد؛
- بازیافت سطحی؛
- بازسازی با مصالح کاملاً جدید سنگی و مواد قیری؛
- مرمت و اجرای روکش‌های تقویتی باضخامت کم؛
- مرمت و اجرای روکش‌های تقویتی ضخیم؛
- مرمت باروکش آسفالت سطحی؛

[7] Macrotexture
[8] Megatexture

- مرمت بدون روکش و یا روکش باضخامت حداکثر ۲۵ میلی‌متر؛
- مرمت معمولی به‌عنوان نگهداری دوره‌ای؛
- سایر روش‌ها

آشکار است که قبل از انتخاب روش بازیافت گرم باهدف بهسازی برای هرگونه پروژه‌ای، کلیه گزینه‌های، فوق باید ازنظر ملاحظات فنی و اقتصادی راه مورد ارزیابی قرارداد (نشریه ۳۴۱، ۱۳۸۵).

۳- پیشینه تحقیق

با بررسی تحقیقات انجام گرفته در حوزه استفاده از مواد بازیافتی در آسفالت آن را به دو دسته داخلی و خارجی تقسیم نموده و در هر بخش خلاصه نتایج به شرح زیر ارائه گردیده است.

جدول ۳: مرور تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته در حوزه استفاده از مواد بازیافتی در آسفالت

پیشینه تحقیق	عنوان	سال ارائه	ارائه‌دهندگان	خلاصه نتایج
مطالعات خارج از کشور	بررسی استفاده از مواد جامد زائد بازیافتی در رویه راه.	۲۰۰۷	هوانگ و همکاران	استفاده ثانویه از مواد بازیافتی، فشار وارده بر زمین را کاهش داده و دارای عملکرد مناسبی برای آسفالت پیاده‌رو است.
	بررسی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در بافت درشت مخلوط‌های بتنی.	۲۰۱۲	تاکور و همکاران	استفاده از خرده آسفالت، تغییر شکل و فشار عمودی وارد بر سطح جاده را کاهش می‌دهد.
	بررسی دوام مخلوط آسفالت متخلخل بازیافتی.	۲۰۱۳	فریجیو و همکاران	استفاده از خرده آسفالت در آسفالت متخلخل، دوام و مقاومت در برابر رطوبت را افزایش می‌دهد.
	بررسی استفاده از مواد بازیافتی در مخلوط آسفالت سرد.	۲۰۱۵	گومز و همکاران	آسفالت سرد ۱۲۲ درصد بازیافتی نسبت به آسفالت سرد بدون بازیافتی دوام و سختی بالاتری دارد.
	بررسی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی به‌عنوان جایگزین سنگ‌دانه در مخلوط بتن غلتکی.	۱۳۹۰	کریمی و گوغری همکاران	استفاده از خرده آسفالت، مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد.

مطالعات داخل کشور	بررسی تأثیر بافت درشت بر مقاومت لغزندگی روسازی‌های بتنی راه.	۱۳۹۲	فخری و طاری	ایجاد بافت درشت در روسازی‌های بتنی راه مقاومت لغزندگی را افزایش می‌دهد.
	بررسی استفاده از خرده آسفالت بازیافتی در لایه اساس روسازی.	۱۳۹۲	بیدختی و همکاران	استفاده از خرده آسفالت در لایه اساس، مقاومت فشاری و کششی را افزایش می‌دهد.
	بررسی آزمایشگاهی شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح خرده آسفالتی.	۱۳۹۴	زیاری و همکاران	استفاده از خرده آسفالت، مقاومت شیار شدگی را افزایش می‌دهد.

۴- روش تحقیق

به‌طورکلی روش‌های تحقیق از سه دیدگاه هدف، میزان کمتر متغیرها و روش گردآوری داده‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. می‌توان گفت از دیدگاه هدف، این پژوهش از نوع کاربردی هست و نتایج به‌دست‌آمده از آن مستقیماً قابل استفاده در رویه‌های آسفالتی خواهد بود.

ازنظر میزان کمتر متغیرها می‌توان گفت که در این پژوهش متغیرها همان‌گونه که هستند بدون هیچ دخالت و دست‌کاری در آن‌ها موردسنجش قرار می‌گیرند بنابراین این پژوهش از نوع توصیفی است. ازلحاظ گردآوری اطلاعات ، این پژوهش از نوع کتابخانه‌ای است.

در این پژوهش سعی شده است به تأثیر استفاده از درصدهای آسفالت بازیافتی در مخلوط جهت کاهش لغزندگی روسازی راه‌ها پرداخته شود. اهداف مدنظر تغییرات لغزندگی در بافت ریزدانه و درشت‌دانه در شرایط آب‌وهوای بارانی و عادی هست. فرضیات در نظر گرفته‌شده کاهش لغزندگی هم در بافت ریز و هم درشت روسازی هست.

برای اندازه‌گیری لغزندگی، روش آونگ انگلیسی بکار گرفته می‌شود. این دستگاه دارای پاندولی است که از موقعیت افقی به‌وسیله یک دکمه رها می‌شود و بانیروی یکنواخت مستقل از زمان در هر آزمایش به سمت پایین نوسان می‌کند. تنظیم دستگاه شامل سه بخش است:

۱-تنظیم سطح تراز دستگاه به‌منظور تأمین یک سطح افقی برای انجام آزمایش

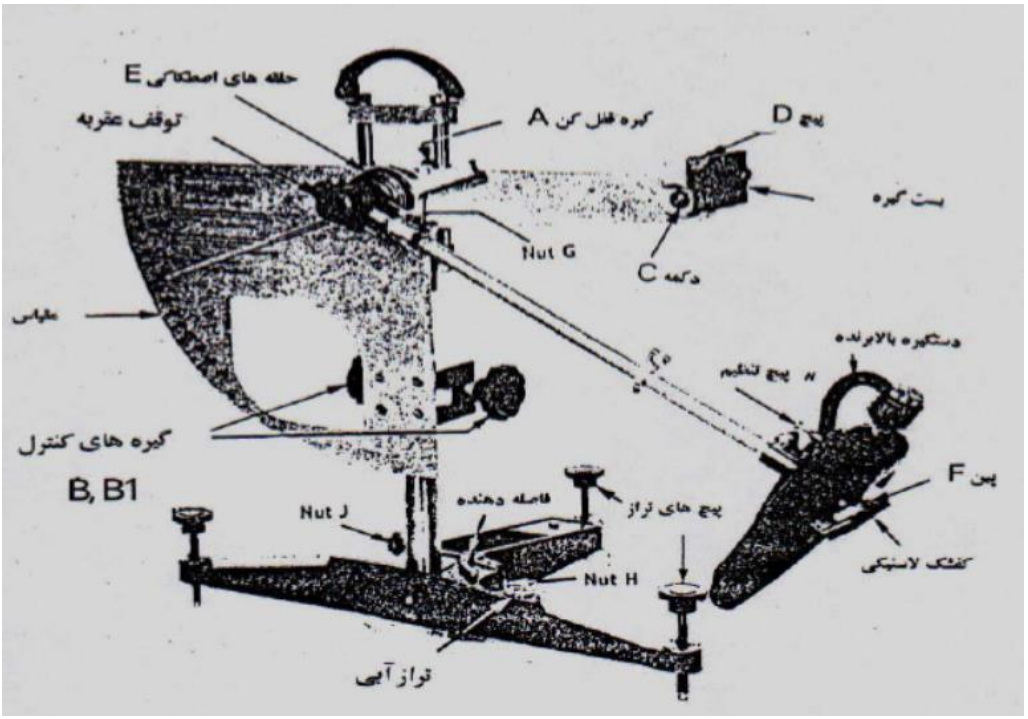
۲-تنظیم صفر دستگاه

۳-تنظیم طول لغزش

در آخر، برای تعیین ارزش مقاومت لغزندگی، بعد از رها شدن پاندو و تماس کامل کفشک‌های تعبیه‌شده در زیر آن با نمونه، نمونه موردنظر ساییده شده و پاندو پس از تماس متوقف می‌شود.

عقربه دستگاه، مقاومت لغزندگی(لغزشی)را به صور عدد لغزندگی نشان می‌دهد.

این آزمایش که توسط مؤسسه تحقیقات راه انگلستان ارائه داده‌شده است، برای اندازه‌گیری میزان سرش و اصطکاک آسفالت، سنگ و غیره بکار می‌رود و ازآنجاکه وسیله اندازه‌گیری آن قابل‌حمل هست، می‌تواند هم در سطح جاده و هم درآزمایشگاه مورد استفاده قرار گیرد. دستگاه اندازهگیری در این روش بسیار ساده بوده و از اجزاء مختلفی مطابق شکل ۲ تشکیل شده است.



شکل ۲: جزئیات دستگاه آونگ انگلیسی(شاهین، ۱۳۸۴).

در کشور ما برای طراحی راه و روسازی، آیین‌نامه‌های مختلفی برای هر مبحث ارائه گردیده است. در نشریه (۲۳۴آیین‌نامه روسازی آسفالتی آیین‌نامه‌های ایران) به معرفی بخش‌های مختلف یک جاده از منظر لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن و ضوابط هر بخش پرداخته‌شده است. در فصل هفتم این نشریه آسفالت‌های محافظتی معرفی گردیده است. آسفالت‌های حفاظتی برای غیرقابل نفوذ کردن بستر راه، افزایش مقاومت سایشی و لغزشی آن و نیز بهسازی اوقات رویه‌های موجود آسفالتی و بتنی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

روی ۳۰ نمونه آسفالت که ۱۵ تا بافت درشت و ۱۵ تا بافت ریز است تست لغزندگی انجام گرفت. اعداد به‌دست‌آمده به صور زیر است:

جدول۴: عدد لغزندگی

انواع بافت	انواع آسفالت	عدد لغزندگی		
بافت درشت	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۹	۷۰	۷۰
	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۴	۷۴	۷۴
	۴۰٪ آسفالت تازه +۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۸۰	۸۳	۸۳
	۲۰٪ آسفالت تازه +۸۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۹	۸۱	۸۲
	۰٪ آسفالت تازه +۱۰۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۳	۷۳	۷۵
بافت ریز	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۰	۵۱	۵۳
	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۶	۵۶	۵۸
	۴۰٪ آسفالت تازه + ۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۱	۶۳	۶۳
	۲۰٪ آسفالت تازه +۸۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۲	۶۲	۶۴
	۰٪ آسفالت تازه + ۱۰۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۴	۵۵	۵۸

۵- تحلیل آماری

باتوجه به مقادیر عدد لغزندگی بدست آمده برای دو نوع آسفالت بافت ریز و بافت درشت مطابق با جدول۳، مقایسه مقاومت لغزندگی بین دو نوع آسفالت مذکور انجام می شود تا پی برده شود که کدام نوع آسفالت دارای مقاومت لغزندگی بیشتری است.

جدول۵: نتایج عدد لغزندگی تمام رده های آسفالت

انواع بافت	انواع آسفالت	عدد لغزندگی			میانگین
بافت درشت	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۹	۷۰	۷۰	۶۹,۶۷
	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۲	۷۴	۷۴	۷۳,۳۳
	۴۰٪ آسفالت تازه +۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۸۰	۸۳	۸۳	۸۲
	۲۰٪ آسفالت تازه +۸۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۹	۸۱	۸۲	۸۰,۶۷
	۰٪ آسفالت تازه +۱۰۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۳	۷۳	۷۵	۷۳,۶۷
بافت ریز	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۰	۵۱	۵۳	۵۱,۳۳۳۳
	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۶	۵۶	۵۸	۵۶,۶۶۶۷
	۴۰٪ آسفالت تازه + ۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۱	۶۳	۶۳	۶۲,۳۳۳۳
	۲۰٪ آسفالت تازه +۸۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۲	۶۲	۶۴	۶۲,۶۶۶۷
	۰٪ آسفالت تازه + ۰۱۰۰٪ آسفالت بازیافتی	۵۴	۵۵	۵۸	۵۵,۶۶۶۷

برای بدست آوردن میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد به ترتیب از روابط ۳،۲و۴ استفاده می‌شود:

رابطه ۲: فرمول میانگین:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma y_i}{n}$$

رابطه۳: فرمول انحراف معیار:

$$s = \frac{\sqrt{\Sigma (y_i - \bar{y})^2}}{n}$$

رابطه۴: خطای استاندارد:

$$SE_{\bar{y}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

با توجه به جدول۳ ملاحظه کی شود که لغزندگی تمام رده های آسفالت بافت درشت، از تمام رده‌های آسفالت بافت ریز بیشتر است.

پس مقاومت لغزندگی آسفالت بافت درشت بهتر از آسفالت بافت ریز است(کیهان‌فر، ۱۳۹۵).

جدول۶: نتایج بافت درشت

خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین مقادیر عددی مقاومت لغزندگی	تعداد	نوع آسفالت مورد بررسی	نوع آسفالت مورد بررسی
۰,۳۳۳۳	۰,۵۵۷۳۵	۶۹,۶۷	۳	Mac:HMA100+RAP0	آسفالت بافت درشت ۱۰۰٪ +۰٪ بازیافتی
۰,۶۶۶۶	۱,۱۵۴۷۰	۷۳,۳۳	۳	Mac:HMA60+RAP40	آسفالت بافت درشت ۶۰٪ +۴۰٪ بازیافتی
۱	۱,۷۳۲۰۵	۸۲	۳	Mac:HMA40+RAP60	آسفالت بافت درشت ۴۰٪ +۶۰٪ بازیافتی
۰,۸۸۱۹۲	۱,۵۲۷۵۳	۸۰,۶۷	۳	Mac:HMA20+RAP80	آسفالت بافت درشت ۲۰٪ +۸۰٪ بازیافتی
۰,۶۶۶۶۷	۱,۱۵۴۷۰	۷۳,۶۷	۳	Mac:HMA0+RAP100	آسفالت بافت درشت ۰٪ +۱۰۰٪ بازیافتی

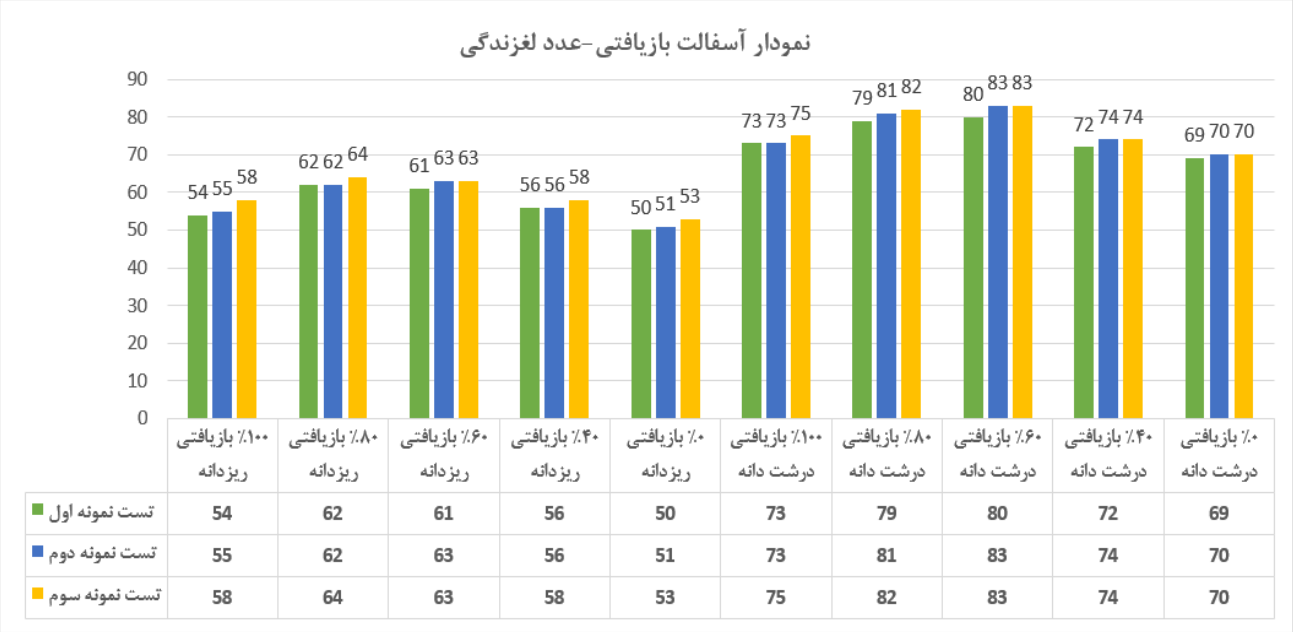
جدول۷: نتایج بافت ریز

خطای استاندارد میانگین	انحراف معیار	میانگین مقادیر عددی مقاومت لغزندگی	تعداد	نوع آسفالت مورد بررسی	نوع آسفالت مورد بررسی
۰,۸۸۱۹۲	۱,۵۲۷۵۳	۵۱,۳۳۳۳	۳	Mac:HMA100+RAP0	آسفالت بافت درشت ۱۰۰٪ +۰٪ بازیافتی
۰,۶۶۶۷	۱,۱۵۴۷۰	۵۶,۶۶۶۷	۳	Mac:HMA60+RAP40	آسفالت بافت درشت ۶۰٪ +۴۰٪ بازیافتی
۰,۶۶۶۷	۱,۵۴۷۰	۶۲,۳۳۳۳	۳	Mac:HMA40+RAP60	آسفالت بافت درشت ۴۰٪ +۶۰٪ بازیافتی
۰,۶۶۶۷	۱,۱۵۴۷۰	۶۲,۶۶۶۷	۳	Mac:HMA20+RAP80	آسفالت بافت درشت ۲۰٪ +۸۰٪ بازیافتی
۱,۲۰۱۸۵	۲,۰۸۱۶۷	۵۵,۶۶۶۷	۳	Mac:HMA0+RAP100	آسفالت بافت درشت ۰٪ +۱۰۰٪ بازیافتی

با توجه به جداول شماره ۶و۷ در بررسی مقادیر به دست آمده برای میانگین‌ها ملاحظه می‌شودکه دو نوع آسفالت بافت درشت ۴۰٪تازه+۶۰٪ بازیافتی و ۲۰٪ تازه +۸۰٪ بازیافتی به طور قابل ملاحظه ای دارای مقاومت لغزندگی بیشتری نسبت به انواع دیگر هستند.

۶- بحث و نتیجه گیری

استفاده از آسفالت بازیافت هم در بافت درشت و هم در بافت ریز مقاومت لغزندگی را افزایش داده و مقاومت لغزندگی در بافت درشت بیشتر از بافت ریز است وترکیب نمونه با٪۴۰آسفالت تازه+۶۰٪ آسفالت بازیافتی بیشترین مقاومت لغزندگی را نسبت به سایر رده‌ها دارد.



	٪۱۰۰ بازیافتی ریزدانه	٪۸۰ بازیافتی ریزدانه	٪۶۰ بازیافتی ریزدانه	٪۴۰ بازیافتی ریزدانه	٪۰ بازیافتی ریزدانه	٪۱۰۰ بازیافتی درشت دانه	٪۸۰ بازیافتی درشت دانه	٪۶۰ بازیافتی درشت دانه	٪۴۰ بازیافتی درشت دانه	٪۰ بازیافتی درشت دانه
تست نمونه اول	54	62	61	56	50	73	79	80	72	69
تست نمونه دوم	55	62	63	56	51	73	81	83	74	70
تست نمونه سوم	58	64	63	58	53	75	82	83	74	70

شکل۳. نتایج عدد لغزندگی رده‌های آسفالت

افزایش هزینه‌های ساخت و نگه‌داری راه، مشکلات تهیه مواد اولیه مرغوب، کمبود منابع مالی و نیاز برای ترمیم و نگه‌داری راه‌ها باعث شده است که بازیافت آسفالت به‌طورجدی در دستور کار سازمان‌های ذیربط قرار گیرد.

برای یک پروژه عملی پیشنهاد می‌شود که از آسفالت بافت درشت ۴۰٪تازه +۶۰٪بازیافتی به‌عنوان رویه استفاده شود و آزمایش پخش ماسه روی آن انجام شود.

مراجع

۱. احدی، محمدرضا .منصورخاکی، علی .نصیراحمدی، کریم ".تأثیر بافت درشت روسازی درکنترل لغزندگی و کاهش تصادفا جاده ای ."مهندسی حملونقل، سا او ، شماره چهارم، تابستان۱۳۸۲.

۲. اکبری، علی .بیدختی، محمدرضا ۱۳۲۲ .، "استفاده از مصالح بازیافتی آسفالت در لایه اساس روسازی"، اولین کنفرانس ملی زیر ساخت های حملونقل، تهران، پشوهشکده حملونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۳. امیدوار، پیمان و محسن علا، ۱۳۲۲ ، بررسی عملکرد سنگدانه های بازیافتی ترکیب شده با مخلوط های آسفالتی، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، رشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لشت نشا.

۴. آئین نامه روسازی راههای ایران؛ ۱۳۲۲ ؛ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور وزار راه و ترابری

.،معاونت امور فنی معاونت آموزش، تحقیقا و فناوری دفتر امور فنی ، نشریه۲۳۴ ترجمه مهندس حمید آلادپوش،"دانش مدیریت

۵. بهنود، علی ". ۱۳۲۲ .بررسی تاثیرا زیست محیطی آسفالت های بازیافتی"،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت.

۶. پرهیزگار، محمد مهدی؛ آقاجانی افروزی، علی اکبر؛" .) ۱۳۲۲ (روش شناسی تحقیق پیشرفته در مدیریت با رویکردی کاربردی ." تهران :نشر پیام نور.

۷. حافظ نیا ، محمد رضا؛" .) ۱۳۸۳ (مقدمه ای بر روش تحقیق در علوم انسانی . "تهران :انتشارا سمت، چاپ دهم.

۸. خاکی، غلامرضا؛" .) ۱۳۲۲ (روش تحقیق در مدیریت ."تهران :مرکز انتشارا علمی دانشگاه آزاد اسلامی.

۹. زیاری ،حسن؛ رضوان باباگلی؛ آرمان قاسمی کلیجی و محمد کاشانی نوین، ۱۳۲۴ ، بررسی آزمایشگاهی شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی لاستیکی حاوی مصالح خرده آسفالتی، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران

10. American Society for Testing and Materials. (2004). ASTM E867, Terminology relating to vehicle pavement system. USA: ASTM.

11. B. Gomez-Meijide, I. Perez, A.R. Pasandín. “Recycled construction and demolition waste in Cold Asphalt Mixtures: evolutionary properties”. Journal of Cleaner Productionxxx (2015) 1e11

12. Bray, J. 2002. “The Role of Crash Surveillance and Program Evaluation: NYSDOT’s Skid Accident Reduction Program (SKARP),” Presented at 28th International Forum onTraffic Records and Highway information Systems, Orlando, Florida.

13. F. Frigio, E. Pasquini, G. Ferrotti, F. Canestrari. “Improved durability of recycledporous asphalt”. Construction and Building Materials 48 (2013) 755–763

14. Wallman, C.G. and H. Astrom. 2001. “Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction and Traffic Safety,” Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI Meddelande 911A, Linkoping, Sweden.

15. Xiao, J., B.T. Kulakowski, and M. El-Gindy. 2000. “Prediction of Risk of Wet-Pavement Accidents: Fuzzy Logic Model,” *Transportation Research Record 1717*, Transportation .

١٦. Yue Huang, Roger N. Bird, Oliver Heidrich. “A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements”. Conservation and Recycling 52 (2007) 58–73.

17. Thakur, J. K., Han, J., Pokharel, S. K., & Parsons, R. L. (2012). Performance of geocellreinforced recycled asphalt pavement (RAP) bases over weak subgrade under cyclic plate loading. Geotextiles and Geomembranes, 35, 14-24.Echauz, J , Litt , B , “prediction of epileptic seizures”. The LANCET Neuroligy journal , 2002, pp 22-30

18. Rizenbergs, R.L., J.L. Burchett, and C.T. Napier. 1972. “Skid Resistance of Pavements,” Report No. KYHPR-64-24, Part II, Kentucky Department of Highways, Lexington,Kentucky.