تأثیر بافت‌درشت روسازی درکنترل لغزندگی و کاهش تصادفات جاده ای

محمدرضا احدی (نویسنده مسئول)، استادیار، پژوهشکده حمل‌ونقل، وزارت راه و ترابری، تهران، ایران
علی منصورخاکی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
کریم نصیراحمدی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران
Email: ahadi@rahiran.ir

چکیده

اصطکاک و شرایط رویه روسازی از معمول‌ترین شاخصهای مسائل ایمنی است، به نحوی که در صورت نداشتن ضریب اصطکاک کافی، بروز تصادفات ناشی از لغزندگی تقریبا اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. بافت‌درشت به عنوان بخشی از مجموعه روسازی به بهبود وضعیت اصطکاک سطح کمک می‌کند. در این تحقیق برای دستیابی به متوسط عمق بافت‌درشت روسازی جهت بالابردن سطح تماس لاستیک با روسازی در شرایط مرطوب‌بودن جاده و همچنین زهکشی بهتر سطح روسازی جهت افزایش ایمنی راههای کشور، دانه‌بندی مناسبی از آیین‌نامه روسازی راههای ایران (دانه‌بندی پیوسته و باز) انتخاب شده است. با این دانه‌بندیها و ۶ نوع درصد مختلف قیر ۶۰-۷۰ و مصالح آهکی کوهی شکسته، نمونه‌هایی با روش مارشال ساخته شد تا درصد قیر بهینه به‌دست آید. سپس با ۷ نوع درصدهای مختلف قیر، نمونه‌های ژیراتوری ساخته شد. در نهایت برروی کل این نمونه‌ها، به روش پخش ماسه بر طبق استاندارد ASTM E965-96، اثر بافت‌درشت را بین دانه‌بندیهای مختلف بررسی و مناسب‌ترین دانه‌بندی از نظر مقاومت در برابر لغزندگی در افزایش ایمنی راهها انتخاب شده است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، روسازی آسفالتی، مقاومت لغزندگی، بافت‌درشت، پخش ماسه

۱. مقدمه

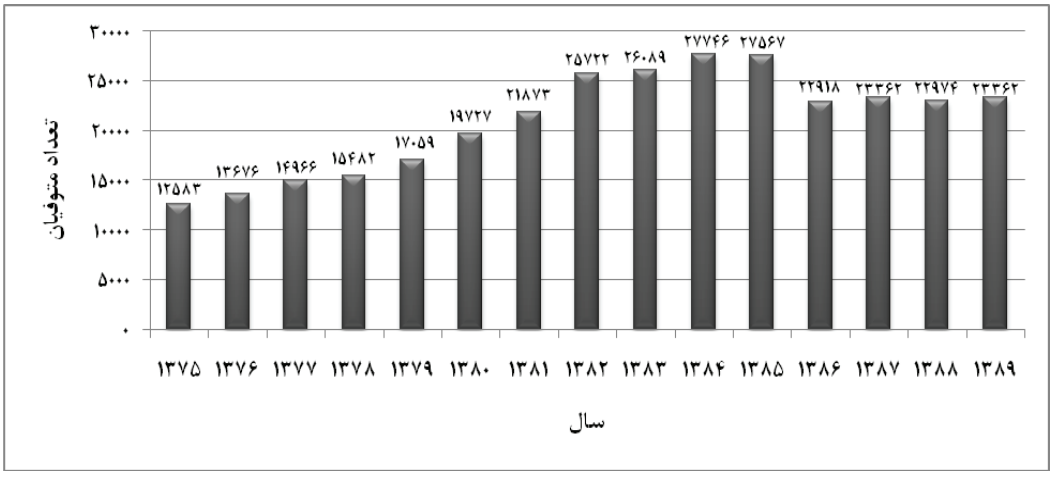
در کشورهای صنعتی به مسئله مقاومت در برابر لغزندگی اهمیت ویژه‌ای داده می‌شود و بودجه زیادی برای مهار لغزندگی در سطح روسازی درنظر گرفته می‌شود. این مطالعات کمک می‌کنند که در سه بخش طراحی، اجرا و نگهداری روسازی مسئله لغزندگی به نحوی مناسب مورد نظر قرار گیرند. در فاز طراحی می‌توان با طرح مخلوطهایی که دارای خصوصیات مناسب‌تری از نظر اصطکاک باشند به مقاومت روسازی در برابر لغزندگی کمک کرد. این کار با استفاده از سنگدانه‌های مقاوم در برابر سایش، خردشدگی، عوامل جوی، انتخاب دانه‌بندی مناسب و همچنین دارای سطح زبر و خشن می‌تواند انجام شود، به‌طوری‌که بافت‌درشت با ایجاد کانالهای باریکی امکان زهکشی آبهای سطحی را هنگام بارندگی فراهم می‌کند. به همین دلیل رعایت اصول ایمنی جاده‌ای به منظور ایجاد امنیت خاطر استفاده‌کنندگان از جاده‌ها، کاهش تصادفات و به دنبال آن کاهش مرگ و میر و جراحت افراد و همچنین کاهش خسارت مالی را به همراه خواهد داشت.

آمار سوانح رانندگی کشور نشان می‌دهد که تعداد تصادفات، تعداد مجروحان و متوفیات حوادث رانندگی هرساله روند رو به رشدی دارد و آشکار است با ادامه روند کنونی، در آینده ای نه چندان دور، شاهد یک فاجعه ملی خواهیم بود. شکل ۱ تعداد متوفیات سوانح رانندگی در خلال سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۹ در ۱۵ سال اخیر را نشان می‌دهد [گزارش سالیانه پزشکی قانونی، ۱۳۹۰].

با توجه به نمودار و آمار بیان‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که سطح ایمنی در ایران تا چه اندازه پایین است. بنابراین این امر ایجاب می‌نماید که درراستای افزایش ایمنی و کاهش تصادفات جاده‌ای اقدامات جدی صورت‌گیرد. یکی از این اقدامات بررسی مقاومت لغزندگی و بافت سطح روسازی است، بنابراین مقاومت لغزندگی با ایمنی راه ارتباط تنگاتنگی دارد.

۲. تعریف مسئله

اصطکاک و شرایط رویه روسازی از معمول‌ترین شاخصهای مسائل ایمنی است، به‌طوری‌که مقاومت لغزندگی سطح رویه یکی از مهم‌ترین خصوصیات مخلوط آسفالتی است که در ایمنی راه مؤثر است. همه‌روزه تعداد تلفات بسیاری بر اثر تصادفات در جاده‌ها گزارش می‌شود. درصد زیادی از این تصادفات بر اثر لغزندگی سطوح آسفالتی و توقف دیرهنگام خودروها در هنگام تصادف رخ می دهند. تعیین میزان اصطکاک سطح جاده‌ها به‌ویژه در نقاط حادثه‌خیز و شیبها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. مقاومت در برابر لغزندگی یکی از عوامل اولیه تعیین ایمنی روسازی بخصوص در تصادفات ناشی از سرخوردن بر روی سطح خیس است. بنابراین در این مقاله برروی پارامتر بافت درشت روسازی که یکی از عوامل مقاومت در برابر لغزندگی است پرداخته می شود.



شکل ۱. تعداد مرگ ومیر ناشی از تصادفات رانندگی درایران طی سالهای ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۹ [گزارش سالیانه پزشکی قانونی، ۱۳۹۰]

۳. تعریف مقاومت لغزندگی، مفهوم و روابط اصطکاک

مقاومت لغزندگی طبق تعریف استاندارد ASTM E867 عبارت است از نیروی مقاوم یا نیروی اصطکاکی موجود بین لاستیک خودرو و سطح روسازی در هنگام ترمزگیری و قفل‌شدن لاستیک خودرو. مقدار آن از تقسیم نیروی عکس‌العمل طولی بر نیروی قائم یا وزن روی چرخ به‌دست می‌آید که در این ارتباط نمای شماتیکی از پارامترهای موجود در شکل ۲ آمده است [ASTM E867, 2004].

ضریب اصطکاک با توجه به شکل برابر است با:

$$f_f = F_h / F_v \qquad (۱)$$

F_h، نیروی افقی (نیروی اصطکاک) و F_v نیروی قائم است [www.stab. aviation.., 2011]

٤. عوامل مؤثر در مقاومت لغزندگی

به‌طورکلی این عوامل را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی کرد.

الف- عوامل مربوط به روسازی

- بافت سطح روسازی
- گرادیان مقاومت در برابر لغزندگی
- مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی
- تجمع مواد آلاینده

ب- شرایط آب و هوایی و نوسانات ترافیکی

- انباشتگی آب در سطح روسازی
- تغییرات فصلی
- درجه حرارت سطح روسازی
- شرایط ترافیکی

ج- خصوصیات مربوط به وسائل نقلیه

- سرعت وسیله نقلیه
- فشار باد لاستیک
- آج لاستیک
- فرسایش تایرها
- جنس تایرها

در این مقاله به جهت اهمیت نقش روسازی در افزایش ایمنی راهها، بافت سطح روسازی مورد بحث قرار گرفته است.

۵. بافت سطح روسازی

در هجدهمین همایش مجمع جهانی راه (PIARC)[۱] بافتهای سطح روسازی بر اساس فاصله برجستگی‌های سطح روسازی (زبری سطح) به ٤ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند. شکل ۳ طبقه‌بندی بافت سطح روسازی را نشان می‌دهد.

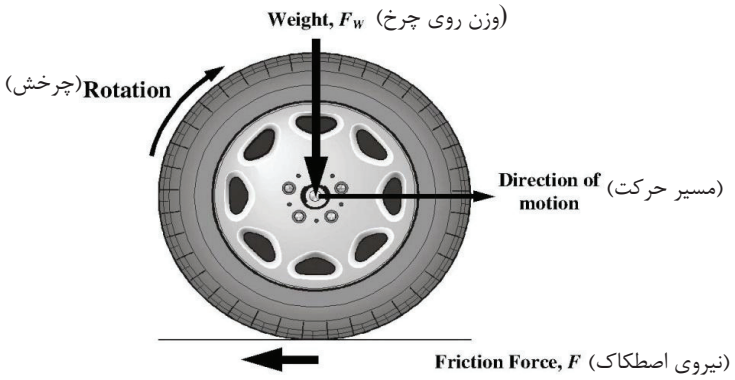
الف- بافت‌ریز[۲]

ب- بافت درشت[۳]

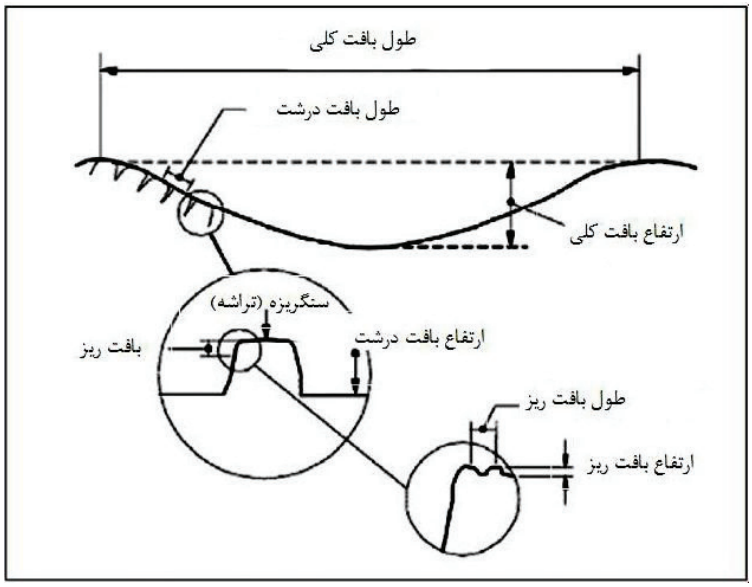
ج- بافت بزرگ (کلی)[٤]

د- ناهمواری[۵]

در ارتباط با مقاومت لغزندگی مناسب برای سطح رویه‌ها، لازم است که دو پارامتر اساسی و مهم اندازه‌گیری و مشخص شود.



شکل ۲. نیروهای اصطکاکی در بین سطح تماس لاستیک و سطح رویه [www.stab. aviation.., 2011]



شکل ۳. تصویر شماتیک طبقه‌بندی بافت سطح روسازی [Kuttesch, 2004]

این دو پارامتر عبارتند از: بافت‌ریز و بافت‌درشت. در نهایت 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. [Fwa, 2006]

.

۵-۱ بافت ریز روسازی

بافت‌ریز روسازی بیانگر وضعیت ذرات تشکیل‌دهنده راه است و زبری[۶] و صیقل‌بودن[۷] ذرات رویه را نشان می‌دهد. بافت‌ریز روسازی عاملی برای چسبندگی سطح تایر به سنگ‌دانه است و در سرعتهای پایین معمولاً بافت‌ریز عامل اصلی اصطکاک تایر با روسازی است. در زمینی که سطح روسازی با یک لایه خیلی نازک از آب پوشیده می‌شود چسبندگی بین سطح دانه‌ها با تایر به حداقل مقدار خود می‌رسد، بنابراین در چنین شرایطی وجود بافت‌ریز بسیار ضروری و با اهمیت است.

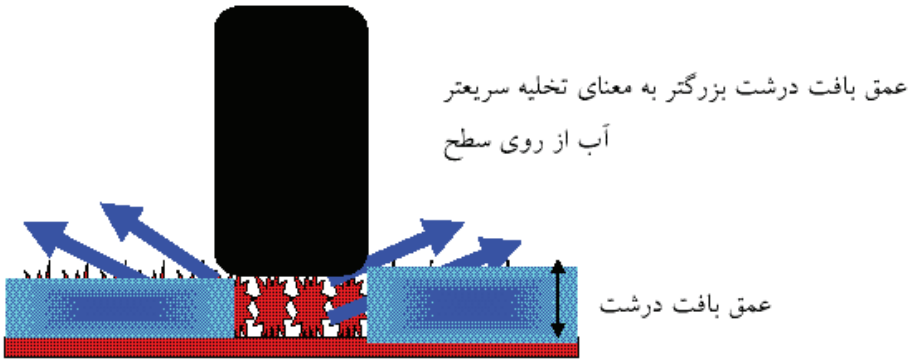
۵-۲ بافت‌درشت روسازی

بافت‌درشت به‌عنوان بخشی از مجموعه روسازی کمک به بهبود وضعیت اصطکاک سطح می‌کند. بافت‌درشت با ایجاد کانالهایی باریک امکان زهکشی آبهای سطحی را هنگام بارندگی فراهم می‌کند. انتقال سریع آبهای سطحی موجب جلوگیری از پدیده هیدروپلانینگ[۸] می‌شود و به این وسیله مقاومت در برابر لغزندگی را افزایش می‌دهد که در شکل ٤ نشان داده شده است. بافت‌درشت همچنین با ایجاد اثرات پسماندگی در تایر، انرژی جنبشی وسیله نقلیه را جذب کرده، درنتیجه موجب افزایش اصطکاک بین جاده و تایر می‌شود.

بافت‌درشت بستگی به ابعاد سنگدانه‌ها و فاصله بین آنها دارد. بدیهی است هرچه ابعاد سنگدانه‌های بکاررفته در مخلوط آسفالتی بزرگ‌تر و فواصل بین آنها بیشتر باشد، بافت سطح روسازی نیز درشت‌تر خواهدبود. درحقیقت، بافت‌درشت، زهکشی مناسب و تخلیه سریع آب موجود بین لاستیک و سطح روسازی را به‌وجود می‌آورد [Fwa, 2006].

در سرعتهای بیشتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت و هنگام خیس‌بودن جاده، میزان تماس لاستیک خودرو با سطح روسازی کاهش پیدا کرده و بافت‌درشت اهمیت می‌یابد [Fwa, 2006 and Asi, 2007].

بافت‌درشت برعکس بافت‌ریز روسازی درسرعتهای پایین (۵۰ کیلومتر بر ساعت) تأثیر چندانی بر روی اصطکاک سطح روسازی ندارد، ولی در سرعتهای متوسط و بالا و خصوصاً بر سطوح مرطوب، بافت‌درشت نقش مهم و تعیین‌کننده ای دارد. بافت‌درشت روسازی خود شامل چهار بخش است. این چهار بخش شامل اندازه، شکل، فاصله و توزیع برجستگی‌ها است [Desmond, 1975].



شکل ٤. چگونگی تخلیه آب رویه راه در هنگام تماس با لاستیک چرخ وسیله نقلیه [www.omnicret, ۲۰۱۱]

مطالعات Roe و دیگران نشان می‌دهد، اگر سطح روسازی دارای بافتی درشت باشد، تبدیل انرژی جنبشی لاستیک به انرژی گرمایی سریع‌تر صورت می‌گیرد و احتمال یا شدت وقوع تصادف را کاهش می‌دهد[Roe, et al, 1991]

٦. روشهای اندازه‌گیری بافت‌درشت روسازی

اندازه‌گیری غیرمستقیم اصطکاک شامل روشهای متعددی است که در ذیل به آنها پرداخته می شود، البته این روش‌ها عمق متوسط بافت (MTD)[۹] را اندازه‌گیری می‌کنند:

الف- روش میانگین‌گیری (- پخش ماسه - پخش گریس)

ب- پخش مایع

پ- روش استفاده از لیزر

ت- روش آنالیز پروفیل

ث- بافت سنج TRL

ج- روش چاپ مشخصات سطح

ح- روش فتوگرامتری

خ- روش برش روسازی

د- روشهای قالب‌برداری سه‌بعدی از سطح روسازی

در این تحقیق با توجه به اهمیت روش پخش ماسه[۱۰] (یا پخش حجمی) که یکی از آزمایشهای مرسوم اندازه‌گیری بافت‌درشت در سراسر دنیا بوده و در کشورهای زیادی به‌صورت استاندارد درآمده است و در آمریکا نیز مطابق با دستورالعمل ASTM E965-96 در فعالیتهای آزمایشگاهی از این روش استفاده شده است.

٦-١ روش پخش ماسه

این آزمایش مطابق استاندارد ASTM E965-96 به شرح زیر برروی سایتهای مورد نظر انجام می‌گیرد[ASTM E965-96, 2006].

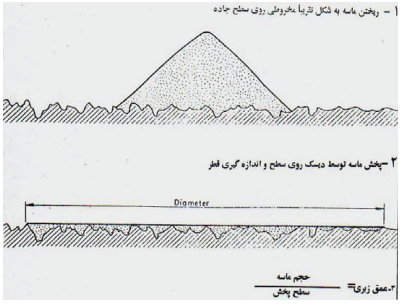
الف- سطح باید خشک، بدون ترک و یکنواخت باشد. سطح جاده با برس تمیز گردیده و حفاظ دور آن قرار می‌گیرد.

ب- استوانه فلزی تا حجم معینی از ماسه خشک پر شده و ته آن چندین مرتبه روی یک سطح صلب کوبیده شده تا ماسه کاملاً جابجا شود. آنگاه ماسه اضافه می شود تا کاملاً پر شود و سپس سر استوانه را با وسیله‌ای صاف می‌کنند.

ج- ماسه را بر روی سطح تمیز ریخته و بعد به طور تقریبی به شکل یک دایره آن را پخش می‌کنند. این عمل توسط یک دیسک مخصوص که دارای لاستیک است انجام می‌گیرد. عمل پخش تا جایی ادامه می‌یابد که حفره‌های سطح روسازی کاملاً تا بالای سنگدانه‌های روسازی پر شود، آنگاه قطر را در حداقل چهار جهت اندازه گرفته و یادداشت می‌کنند (شکل ۵).

د- با تعیین میانگین قطر اندازه گرفته شده، عمق متوسط بافت‌درشت با توجه به حجم ماسه بکاررفته، محاسبه می‌شود.

اگر قطر دایره ایجاد شده در اثر پخش این مواد کوچک باشد نشان می‌دهد که عمق بافت زیاد بوده و بالعکس قطر زیاد معرف عمق کم برای بافت سطح است. حجم ماسه (که مشخص است) تقسیم بر سطح پخش شده آن (که در محل قابل اندازه‌گیری است)، به‌عنوان عمق متوسط بافت در نظرگرفته می‌شود. شکل ۵ روش انجام این آزمایش را نشان می‌دهد



شکل ۵. آزمایش پخش ماسه [Fwa, 2006]

در جدول ۱ مقادیر عمق متوسط بافت پیشنهادی توسط آزمایشگاه تحقیقاتی راه و حمل‌ونقل (TRL) بر حسب درصد کاهش مقاومت لغزندگی سطوح آسفالتی و بتنی آورده شده است[Salt, 1977].

جدول ۱. پیشنهاد TRL برای عمق متوسط بافت سطح روسازی[Salt, 1977]

عمق متوسط بافت (mm)		درصد کاهش مقاومت لغزندگی (سرعت ۵۰ الی ۱۲۰ km /hr)
رویه آسفالتی	رویه بتنی	
۲	۰/۸	–
۱/۵	۰/۷	۱۰
۱	۰/۵	۲۰
۰/۵	۰/۴	۳۰

۷. فعالیتهای آزمایشگاهی

در این تحقیق ابتدا به آزمایشهای مربوط به مصالح سنگی آهکی کوهی شکسته از معدن اسب‌چران شهرستان دماوند و قیر خالص ۶۰–۷۰ از پالایشگاه تهران (شرکت نفت پاسارگاد) پرداخته (جداول ۲ و ۳) و سپس نمونه‌های آسفالتی را با توجه به نوع دانه‌بندی انتخاب‌شده در آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران [آیین نامه روسازی، ۱۳۸۱]، (دانه‌بندی پیوسته و باز) ساخته و اثر بافت‌درشت بین این دانه‌بندی‌ها را بررسی و مناسب‌ترین دانه‌بندی به لحاظ مقاومت در برابر لغزندگی انتخاب شده است.

۸. دانه‌بندی مخلوطهای آسفالت گرم و بتن آسفالتی

با توجه به اینکه هدف این تحقیق بررسی دانه‌بندی و خصوصیات مصالح مصرفی در مقاومت لغزندگی آسفالت است، از دانه‌بندی پیوسته و باز شماره ٤ و ٥ (هرکدام به‌طور جداگانه)، از آیین‌نامه روسازی راههای ایران بر اساس حد متوسط دانه‌بندی انتخاب شده است.

جدول ۲. آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح سنگی

مصالح درشت‌دانه	مصالح آهکی کوهی شکسته	استاندارد مورد استفاده
سایش لوس‌آنجلس (درصد)	۲۲	ASTM C131
درصد شکستگی	یک جبهه ۹۹- دو جبهه ۹۸	ASTM D5821
وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	۲/۶۹۹	ASTM C127
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۷۷۰	ASTM C127
درصد جذب آب	۱/۰	ASTM C127
مصالح ریزدانه	**مصالح آهکی کوهی شکسته**	**استاندارد مورد استفاده**
وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	۲/۶۶۵	ASTM C128
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۷۷۵	ASTM C128
درصد جذب آب	۱/۲	ASTM C128

جدول ۳. نتایج آزمایش‌های بر روی قیر مصرفی و کاربرد آن

مشخصات قیر	مقدار	کاربرد	استاندارد مورد استفاده
وزن مخصوص در $25^{o}C$	۱/۰۱	در طرح مخلوط آسفالتی	ASTM-D70
درجه نفوذ (دهم میلیمتر)	۶۶	این آزمایش در دمای ۲۵ درجه انجام می‌شود و برای تعیین سختی نسبی و ارتباط مناسبی با مقاومت در برابر خستگی دارد	ASTM-D5
نقطه نرمی به روش ساچمه و حلقه (درجه سیلیسیوس)	۵۰	این آزمایش معیاری برای ویژگی‌های قیر در دمای بالای قیر است	ASTM-D36
خاصیت انگمی (کشش) در $25^{o}C$ (سانتیمتر)	۱۰۲	معیاری برای پوشش سنگدانه‌ها توسط قیر	ASTM-D113

۹. تعیین درصد قیر بهینه

پس از ساخت نمونه‌های مارشال مطابق استاندارد ASTM D1559 [ASTM, 4.03, 2008] با تراکم ۷۵ ضربه چکش مارشال به هرطرف نمونه با درصدهای قیر ٤، ٤/٥، ٥، ٥/٥، ٦ و ٦/٥، و انجام آزمایشهای استحکام مارشال، وزن مخصوص، درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی، روانی و درصد فضای خالی مصالح سنگی و سپس با رسم نمودارها و کنترل موارد فوق با آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران، درصد قیر بهینه، برای هر نوع دانه‌بندی پیوسته و باز به‌دست آمد (جدول ٤).

جدول ٤. نتایج درصد قیر بهینه

نوع دانه‌بندی	شماره دانه‌بندی	درصد قیر بهینه
پیوسته	۴	۵/۰۴۲
	۵	۵/۳۹
باز	۴	۴/۳
	۵	۴/۶۲۵

سپس با این درصد قیر بهینه و درصدهای دیگر ذکرشده (در مجموع با ۷ نوع درصدهای مختلف قیر)، با قطر ۱۵ سانتیمتر طبق دستورالعمل طرح اختلاط روسازی برتر[11] ساخته شده‌است. از مهم‌ترین دلایل ساخت نمونه‌های ژیراتوری، مشابهت ساخت این نمونه‌ها با عملکرد غلتکها در شرایط واقعی است.

۱۰. بررسی نتایج آزمایشگاهی

پس از تهیه نمونه‌ها طبق روش استاندارد ASTM E965-96 ماسه را روی سطح نمونه‌ها پخش کرده (شکل ٦) و سپس نتایج حاصله به‌صورت نمودار برای درصدهای مختلف قیر و قیر بهینه ترسیم شد.

۱۰-۱ دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ و ٥

نتایج این دانه‌بندی در اشکال ۷ و ۸ آورده شده است.

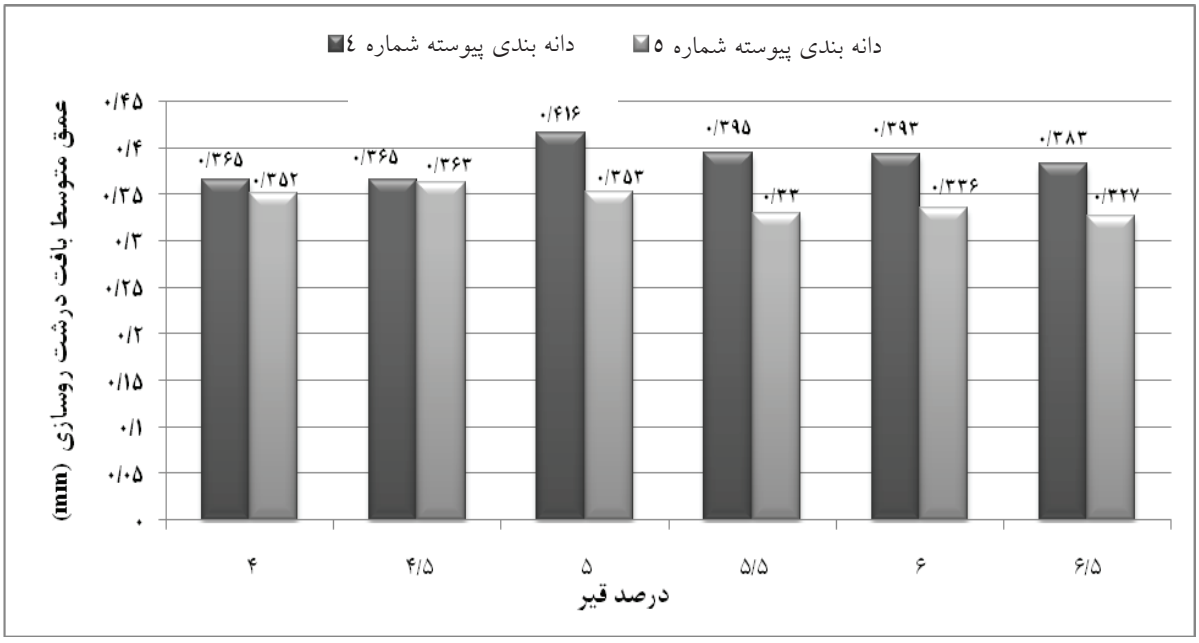
۱۰-۲ دانه‌بندی باز شماره ٤ و ٥

نتایج این دانه‌بندی در اشکال ۹ و ۱۰ آورده شده است.

۱۱. بحث

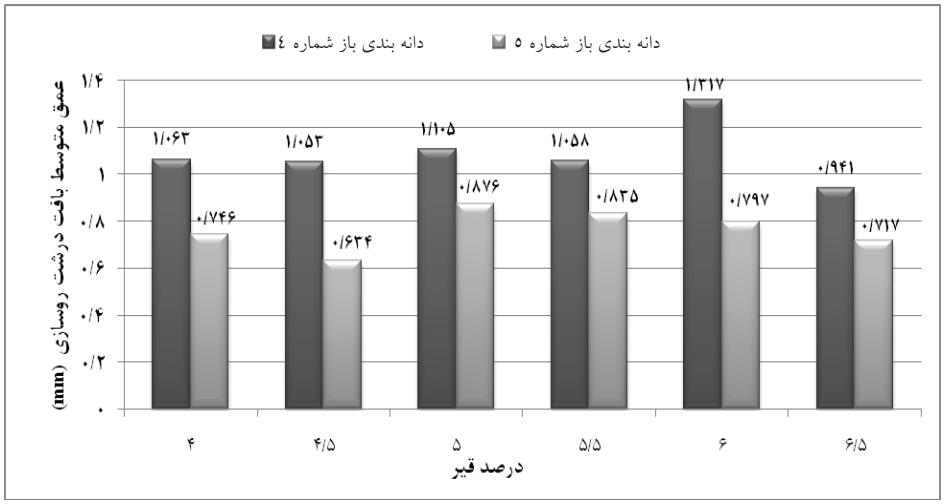
مقاومت لغزندگی یکی از پارامترهای مهم در کاهش تصادفات جاده‌ای است. بهترین روش برای مقابله با خطر لغزندگی، پیشگیری است، یعنی در حین ساخت، با رعایت نکات اصولی باید مقاومت لغزندگی مناسب و پایدار ایجاد کرد. مسئله بررسی و تحقیق بر روی اندرکنش متقابل تایر و روسازی، ارتباط مستقیمی با بافت سطح روسازی دارد. بافت روسازی عموماً در برآوردن دو نیاز مهم نقش دارد که شامل عملکرد وسیله نقلیه و ایمنی حرکت است. کوشش برای یافتن تأثیر دقیق بافت روسازی در اندرکنش تایر روسازی، به این دلیل که تعیین نواحی برخورد مجزا و فشارهای ایجادشده به‌وسیله برجستگیهای نامنظم آج به روشهای تئوری و عملی مشکل است، با محدودیتهایی روبرو شده است.

شکل ٦. تهیه ماسه رودخانه‌ای گردگوشه ردشده از الک شماره ٦٠ و مانده روی الک شماره ٨٠ و پخش کردن حجم معینی از ماسه بر روی سطح نمونه با دانه‌بندی پیوسته و باز

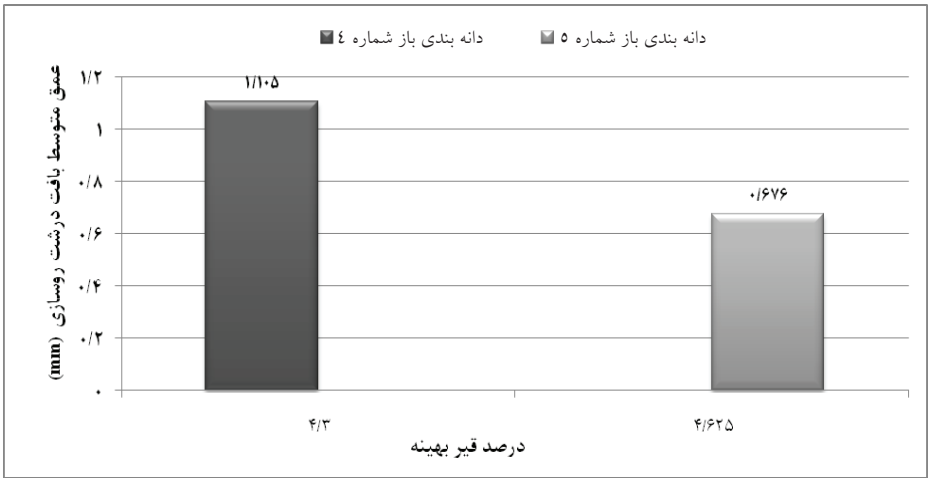


شکل ٧. عمق متوسط بافت‌درشت روسازی با توجه به درصد قیرهای مختلف برای دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ و ٥

شکل ۸. عمق متوسط بافت‌درشت روسازی با توجه به درصد قیر بهینه برای دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ و ٥



شکل ۹. عمق متوسط بافت‌درشت روسازی با توجه به درصد قیرهای مختلف برای دانه‌بندی باز شماره ٤ و ٥



شکل ۱۰. عمق متوسط بافت‌درشت روسازی با توجه به درصد قیر بهینه برای دانه‌بندی باز شماره ٤ و ٥

۱۲. نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشهای انجام‌شده درخصوص تأثیر بافت‌درشت بر مقاومت لغزندگی رویه آسفالتی جهت تأمین ایمنی روسازی نتایج ذیل به‌دست آمده است:

الف- عمق متوسط بافت‌درشت برای دانه‌بندی پیوسته شماره ۵ نسبت به دانه‌بندی شماره ٤، کمتر است که به دلیل وجود مقدار ریزدانه بیشتر و مقدار درشت دانه کمتر از دانه‌بندی شماره ٤ است. بنابراین برای خروج آب سطحی (زهکشی) برای دانه‌بندی شماره ٤، بهتر است که تماس لاستیک با آب سطح جاده کمتر باشد به این ترتیب نیروی اصطکاک به‌وجود آمده در اثر ترمز وسیله نقلیه روی سطح جاده، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد و در نهایت ایمنی و افزایش کنترل در تصادفات جاده‌ای فراهم می شود.

ب- برای درصد قیر بهینه برای دانه‌بندی پیوسته شماره٤ و ۵، برای دانه‌بندی پیوسته شماره ۵ به اندازه ۱۰ درصد بیشتر از دانه‌بندی پیوسته شماره ٤ است که برخلاف درصد مختلف قیر حاصل از نتایج شماره ۱ است. بنابراین زبری درشت برای درصد قیر بهینه شماره ۵ مناسب‌تر است.

ج- زبری درشت رویه آسفالتی برای دانه‌بندی‌های باز عملاً بیشتر از دانه‌بندی پیوسته است که به دلیل وجود فضای خالی بیشتر نسبت به سطح نمونه‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته هستند. برآمدگی زائده‌های به وجود آمده بر روی رویه، به دلیل وجود درشت دانه در مخلوط است.

د- برای دانه‌بندی‌های باز، دانه‌بندی باز شماره ۵ دارای زبری درشت تقریباً نزدیک به ۸/۰ میلی‌متر است که این عدد برای رویه آسفالتی بسیار مناسب است، و از طرفی استقامت مارشال آن نزدیک به آیین‌نامه روسازی راههای ایران است. (برخلاف دانه‌بندی شماره ٤ که دارای استقامت مارشال بسیار پایین هرچند زبری درشت بالاتری نسبت به دانه‌بندی باز شماره ۵ دارند).

ه- پس در مناطقی که از نظر مقاومت لغزندگی مهم هستند، مانند میدانها و تقاطعات، استفاده از مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی باز (بخصوص دانه‌بندی شماره ۵) مناسب است که باعث افزایش ایمنی و کنترل وسیله نقلیه در شرایط خیس جاده در مواقع اضطراری و پرازدحام می شود.

۱۳. پانویس‌ها

1- Permanent International Association of Road Congresses
2- Microtexture
3- Macrotexture
4- Megatexture
5- Roughness
6- Harshness
7- Polishing
8- Hydroplaning
9- Mean Texture Depth
10- Sand Patch Method
11- Superpave

١٤. منابع

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۱) "آئین‌نامه روسازی راههای ایران"، نشریه ۲۳٤، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور. اداره کل ایمنی و ترافیک (۱۳۹۰) "گزارش سالیانه پزشکی قانونی".

- Asi, Ibrahim. M. (2007)"Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mix", Building and Environment, 42, pp 325-329.

- American Society for Testing and Materials (2008) "Road and paving materials, pavement management technologies, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.03.", USA: ASTM.

- American Society for Testing and Materials (2006) "ASTM E965-96, Test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique, USA: ASTM.

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

- Desmond, F. Moore (1975)"The friction of pneumatic tyres", Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.

- Fwa, T.F.(2006) “The handbook of highway engineering”, London: Taylor & Francis Group.

- Kuttesch, Jeffrey. S. (2004) “Quantifying the relationship between skid resistance and wet weather accidents for Virginia data”, Master Degree of Science Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Roe, P.G., Webster, D.C. and West, G. (1991) “The relation between the texture of roads and accidents”, Research Report RR 296, Transport Research Laboratory, Crowthorne, England.

- Salt, G.F. (1977) “Research on skid resistance at the Transport and Road Research Laboratory, Transportation Research Record.

- www.omnicrete.com.au (Last Visited Sep. 2011)

- www.stab.aviation-civile.gov.fr (Last Visited Sep. 2011)