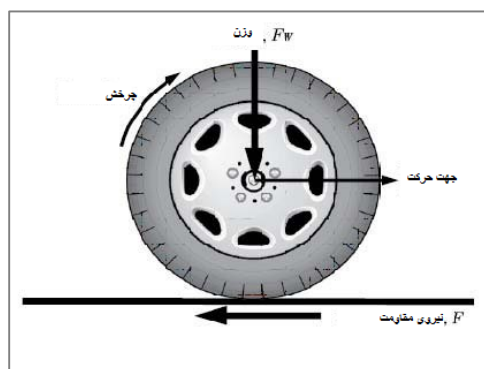


بررسی عوامل مؤثر بر اصطکاک سطحی رویه راه و الزامات ارائه شده در دستورالعمل‌های مقاومت لغزندگی کشورهای مختلف

محمد جعفری، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

از مهم‌ترین موارد مرتبط با ایمنی راه‌ها، رویه روسازی با مقاومت لغزندگی مناسب است. از مواردی که در سرعت‌های مختلف وسیله نقلیه بر مقاومت لغزندگی تأثیر می‌گذارد بافت ریز و بافت درشت روسازی است. با توجه به نقش چشمگیر مقاومت لغزندگی در تامین ایمنی تردد، در طول ۵۰ سال اخیر تدوین آیین‌نامه‌هایی به منظور اندازه‌گیری و ارائه مشخصات اصطکاکی رویه‌های آسفالتی در بسیاری از کشورها یکی از اولویت‌ها بوده است. در این مقاله ضمن بررسی عوامل مؤثر بر اصطکاک سطحی رویه روسازی و روش‌های مختلف اندازه‌گیری مشخصات اصطکاکی، به الزامات و حدود ارائه شده در دستورالعمل‌های مقاومت لغزندگی تعدادی از کشورها از جمله انگلیس، فرانسه، آمریکا و استرالیا پرداخته می‌شود. در انتها مطالعه موردی اندازه‌گیری اصطکاک در کشور ارائه می‌شود.



شکل ۱- نحوه اعمال نیروها بر چرخ در حال حرکت

اصطکاک روسازی امکان مانور و کنترل وسیله نقلیه را برای راننده وسیله نقلیه در دو جهت طولی و جانبی به طریقی ایمن فراهم می‌نماید. این پارامتر مهم در طرح هندسی راه به منظور تعیین حداقل فاصله‌ی توقف مناسب، حداقل شعاع قوس‌های افقی، حداقل شعاع قوس‌های قائم مقعر و حداکثر بریلندی در قوس‌های افقی کاربرد گسترده‌ای دارد.

۱- کلیات

اصطکاک روسازی نیرویی است که با حرکت نسبی چرخ وسیله نقلیه روی سطح روسازی مقابله می‌کند. این نیروی مقابله کننده که در شکل (۱) نشان داده شده است، از غلتش و یا لغزش تایلر بر روی سطح روسازی به وجود می‌آید. همانطور که در رابطه (۱) نشان داده شده است، ضریب نیروی اصطکاک (μ) پارامتر بدون بعدی است که از نسبت نیروی مقاوم در راستای افقی (F) به نیروی عمودی ناشی از وزن وسیله نقلیه (F_w) محاسبه می‌گردد:

$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (1)$$

۲- انواع اصطکاک

می‌کند. رابطه (۲) نحوه محاسبه نسبت لغزش را نشان می‌دهد:

$$SR = \frac{V - V_p}{V} \times 100 = \frac{S}{V} \times 100 \quad (2)$$

جنبه دیگر اصطکاک مربوط به اصطکاک نیروی جانبی است و زمانی رخ می‌دهد که راستای حرکت وسیله نقلیه تغییر یابد. ضریب اصطکاک جانبی یک شاخص اصطکاک است که در جهت عمود بر جهت حرکت وسایل نقلیه اثر می‌کند. ضریب اصطکاک جانبی امکان تغییر جهت وسایل نقلیه در مسیر حرکت خود را فراهم می‌سازد. بر اساس مقادیر سرعت، شعاع قوس و برابندی، حداقل ضریب اصطکاک جانبی مورد نیاز برای عبور ایمن از یک قوس قابل محاسبه است. مقادیر ضریب اصطکاک طولی و جانبی عموماً با هم مرتبط هستند، مگر آن‌که شرایط محلی خاصی (نظیر شیب طولی زیاد) باعث تغییر در شرایط روسازی راه در یک جهت گردد.

۳- عوامل موثر بر اصطکاک

به طور کلی عوامل موثر بر مقاومت لغزندگی به پنج گروه تقسیم می‌شود که در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- عوامل موثر بر مقاومت لغزندگی

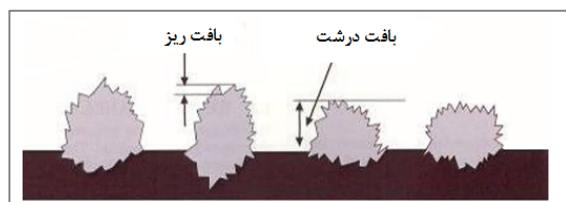
شرایط آب و هوایی	شرایط عبور و مرور	مشخصات لاستیک	مشخصات وسیله نقلیه	مشخصات بافت سطح جاده و مصالح بکار رفته
- سن روسازی - وجود آب و ضخامت آن روی سطح - برف، یخ و مواد آلوده کننده - تغییرات فصلی و جوی - اثر درجه حرارت	- ترافیک و طرح هندسی - قفل شدن چرخ در حین حرکت - باد لاستیک و بار روی آن - سرعت وسیله نقلیه	- نوع لاستیک (ضربداری یا رادیال) - ترکیبات آج - عمق و عرض آج	- راندمان ترمز - نوع ترمز (عادی یا ضد قفل)	- بافت درشت ۱ - بافت ریز ۲ - ارزش صیقل پذیری ۳ - ارزش سایش سنگ ۴ - پارامترهای حجمی مخلوط آسفالتی

- 1- Macro texture
- 2- Micro texture
- 3- Polished Stone Value (PSV)
- 4- Aggregate Abrasion Value (AAV)

جدول ۲- طبقه بندی انواع بافت در روسازی بر اساس PIARC

طول موج	طبقه بندی بافت
$< 0.5 \text{ mm}$	بافت ریز (Microtexture)
$0.5 \text{ to } 50 \text{ mm}$	بافت درشت (Macrotexture)
$50 \text{ to } 500 \text{ mm}$	بافت بزرگ (Megatexture)
$500 \text{ to } 50000 \text{ mm}$	ناهمواری (Roughness/ Unevenness)

با باز شدن ترافیک بر روی جاده جدید الاحداث و عبور و مرور وسایل نقلیه به تدریج سنگدانه‌های سطح روسازی نمایان شده و در تماس مستقیم با لاستیک وسایل نقلیه قرار خواهند گرفت. بافت ریز و درشت سنگدانه‌های سطح روسازی تامین کننده مقاومت لغزندگی می‌باشد. بافت ریز سنگدانه‌ها به خاصیت و جنس خود سنگ باز می‌گردد که این امر تابع پتروگرافی و کانی‌شناسی سنگدانه‌ها می‌باشد. بافت درشت روسازی همان ارتفاع بیرون زده سنگدانه‌ها از سطح رویه راه می‌باشد که در شکل (۴) نشان داده شده است. بافت ریز عمدتاً در سرعت‌های پایین تامین کننده اصطکاک بین لاستیک و جاده است. بافت درشت در سرعت‌های بالا بسیار ضروری می‌باشد تا هنگام ترمز وسیله نقلیه، توقف در اسرع وقت انجام شود. همچنین در هنگام بارندگی در صورتیکه جاده فاقد بافت درشت باشد، آب باران به صورت فیلم نازکی از آب روی سطح جاده جریان پیدا می‌کند. فیلم آب، حائلی بین لاستیک و جاده ایجاد می‌کند و موجب تقلیل شدید اصطکاک و سر خوردن وسیله نقلیه هنگام ترمز می‌شود. اما در صورت وجود بافت درشت، آب از بین سنگدانه‌ها عبور کرده و لاستیک مستقیماً با سنگدانه‌ها تماس پیدا می‌کند. با ترمز وسیله نقلیه، لاستیک تغییر شکل موضعی داده و اصطکاک آن با سنگدانه‌ها حاصل می‌شود.

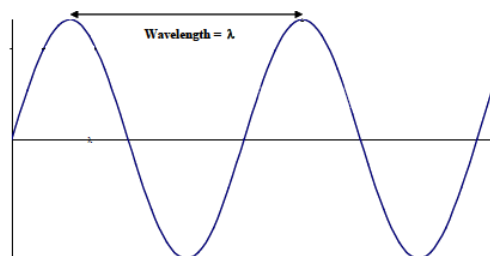


شکل ۴- بافت ریز و درشت رویه راه

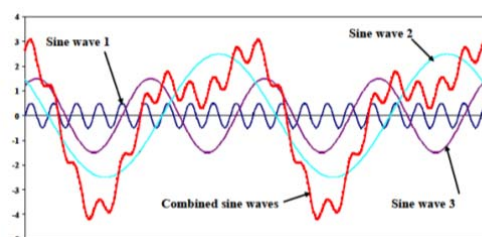
برخی از عوامل فوق در ادامه شرح داده می‌شود.

۳-۱- بافت ریز و بافت درشت در روسازی

پروفیل بافت سطح روسازی می‌تواند با ترکیب موج‌های سینوسی متمایز که هر یک دارای طول موج (λ) مشخص می‌باشد و در شکل (۲) تعریف شده است، شبیه سازی شود. شکل (۳) نمونه یک موج سینوسی ترکیبی که از ترکیب سه موج سینوسی متمایز ایجاد شده است را نشان می‌دهد. در آنالیز بافت سطح روسازی، این پروسه به صورت معکوس انجام می‌گیرد، به طوریکه با استفاده از تبدیل فوریه^۱ پروفیل بافت اندازه‌گیری شده سطح روسازی به موج‌های سینوسی متمایز جداسازی می‌شود. انجمن بین‌المللی دائمی کنگره‌های راه (PIARC^۲) بافت سطح روسازی که بدین طریق جداسازی شده است را مطابق با جدول (۲) طبقه‌بندی کرده است.



شکل ۲- تعریف طول موج (λ) در موج سینوسی



شکل (۳): موج سینوسی ترکیبی حاصل از ترکیب سه موج

سینوسی متمایز با طول موج‌های مشخص

1- Fourier transform

2- Permanent International Association of Road Congresses

۲-۲- پارامترهای حجمی مخلوط آسفالتی

تحقیقات زیادی در مورد تاثیر پارامترهای حجمی مخلوط آسفالتی بر روی مقاومت لغزندگی صورت گرفته است. به طور مثال، درصد قیر و درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی در میزان مقاومت لغزندگی سطح روسازی موثر است. اگر مقدار قیر در مخلوط آسفالتی بیش از حد مجاز باشد، قیرزدگی در سطح روسازی اتفاق می افتد. قیرزدگی سبب می شود که تماس سنگدانه ها با لاستیک خودرو ناقص و احتمال سر خوردن بیشتر شود. از طرفی درصد فضای خالی زیاد مخلوط آسفالتی به علت زهکشی بیشتر و تخلیه سریعتر آب سطحی موجب افزایش مقاومت لغزندگی می شود.

۳-۳- سن روسازی، تجمع مواد آلاینده و انباشتی آب در سطح روسازی

سن روسازی نیز می تواند عامل مهمی در مقاومت لغزندگی سطح روسازی باشد. با افزایش دوره بهره برداری روسازی به دلیل ساییدگی بیشتر مصالح بر اثر عبور ترافیک، مقاومت لغزندگی کاهش می یابد. تجمع مواد آلاینده در سطح روسازی نظیر خرده لاستیک، لکه های روغنی و نفتی و مواد آلی، با کم کردن سطح تماس لاستیک و سطح روسازی موجب کاهش مقاومت لغزندگی می شوند. همچنین وجود آب موجب کاهش سطح تماس بین لاستیک وسایل نقلیه و سطح جاده می شود. هر قدر ضخامت آب روی سطح روسازی بیشتر باشد، سبب کاهش بیشتر مقاومت لغزندگی می شود. در این صورت احتمال وقوع پدیده آب پیمایی^۱ وجود دارد که طی آن راننده به طور کامل کنترل وسیله نقلیه را از دست می دهد. مطالعات انجام شده در آمریکا نشان می دهد در مواردیکه مشخصات بافت روسازی مناسب نباشد، ضخامت ۰/۰۲۵ میلیمتر آب

1- Hydroplaning

روی سطح جاده می تواند به کاهش ۷۵٪ اصطکاک منجر گردد.

۴-۳- تغییرات فصلی، دمایی و ترافیکی

مقاومت لغزندگی روسازی در فصل زمستان بیش از فصل تابستان است، چراکه به دلیل کاهش سفتی قیر ناشی از افزایش دما در تابستان، مقاومت لغزندگی کاهش می یابد. همچنین تغییر در شرایط عبور و مرور وسایل نقلیه موجب تغییر مقاومت لغزندگی سطح روسازی می شود. به این معنی که ضریب اصطکاک دو قطعه روسازی که در یک زمان ساخته شده اند، تحت شرایط ترافیکی متفاوت، یکسان نیست. هنگامی که روسازی در معرض ترافیک زیاد قرار می گیرد، بافت ریز سطح سنگدانه های آهکی صیقلی می شود و حتی ممکن است سنگدانه ها در جهت حرکت وسایل نقلیه تغییر مکان بدهند. این امر سبب کاهش مقاومت لغزشی سطح راه می شود.

۵-۳- سرعت وسیله نقلیه

ضریب اصطکاک با افزایش سرعت کاهش می یابد. البته تغییرات ضریب اصطکاک روسازی با عمق بافت مناسب و با سطح خشک به میزان کمی به سرعت بستگی دارد، لیکن برای رویه های قیرزده و یا رویه هایی که آب روی آن جریان داشته باشد، وابستگی ضریب اصطکاک به سرعت تشدید می شود. همچنین کاهش عمق بافت سطح روسازی نیز سبب کاهش بیشتر ضریب اصطکاک در اثر افزایش سرعت می شود.

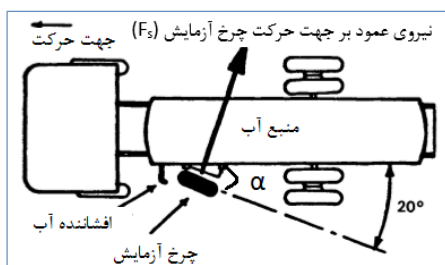
۶-۳- فشار باد لاستیک

تحت بار معین چرخ، کاهش فشار باد لاستیک سبب افزایش ضریب اصطکاک می شود. این امر ممکن است به دلیل افزایش سطح تماس لاستیک و سطح روسازی باشد. بنابراین گرمایی که در اثر لغزش لاستیک و یا کاهش شتاب وسایل نقلیه به وجود می آید در سطح بزرگتری

۴-۱- استاندارد انگلستان (BS)

۴-۱-۱- دستگاه SCRIM

در دستورالعمل مقاومت لغزندگی کشور انگلستان، ضریب اصطکاک جانبی به منظور بررسی قابلیت وسیله نقلیه در حفظ کنترل حین گردش در قوس‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری این ضریب توسط دستگاه SCRIM و مطابق با استاندارد BS 7941 (ASTM E670) انجام می‌شود. شکل (۵) شمای کلی این دستگاه را نشان می‌دهد. در این دستگاه یک محور آزمایش قابل چرخش به صورت آزادانه با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جهت حرکت وسایل نقلیه تعبیه گردیده است. آب با دبی حدود ۱/۲ لیتر بر دقیقه بر روی سطح پخش می‌شود. چرخ آزمایش دارای نیروی محوری ثابت و معینی است که به طور عمودی بر آن وارد می‌شود. نیروی جانبی که در مسیر دوران به چرخ وارد می‌شود به کمک بارسنج الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. نسبت نیروی جانبی به نیروی قائم را ضریب اصطکاک جانبی سطح راه (SFC^۱) می‌نامند. از آنجا که زاویه انحراف تقریباً کوچک (۲۰ درجه) می‌باشد، سرعت چرخ آزمایش کم است. این بدان معناست که دستگاه SCRIM به بافت ریز حساس می‌باشد و می‌توان اظهار نمود که حساسیتی به تغییرات بافت درشت روسازی ندارد. مزیت عمده تجهیزات اندازه‌گیری نیروی جانبی، اندازه‌گیری پیوسته مقاومت لغزندگی در سرتاسر یک قطعه می‌باشد.



شکل ۵- شمای کلی از دستگاه SCRIM

پخش شده و این امر موجب خنک شدن لاستیک و بالا رفتن ضریب اصطکاک می‌شود. از طرف دیگر فشار زیاد باد لاستیک در شکل هندسی لاستیک در حال حرکت نیز اثر دارد. اگر فشار باد زیاد باشد، قسمت وسط تیر بیشتر در تماس با جاده است و زودتر از قسمت‌های دیگر ساییده می‌شود. این امر سبب کاهش عمر مفید لاستیک و سر خوردن آن در شرایط مرطوب می‌شود.

۳-۷- آج لاستیک و انتخاب نوع آن

طرح آج لاستیک اثر قابل ملاحظه‌ای بر میزان افزایش ضریب اصطکاک دارد. شیارهای سطح لاستیک مجراهایی هستند که از طریق آن‌ها آب جمع شده در فضای مشترک لاستیک و سطح روسازی تخلیه می‌شود و احتمال سر خوردن وسیله نقلیه کاهش می‌یابد. طراحی آج لاستیک می‌تواند سبب کاهش پدیده آب پیمایی شود. این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که خودرو از یک توده آب ساکن عبور کند. در صورتیکه آب نتواند با سرعت کافی از زیر لاستیک خارج شود، لاستیک با سطح روسازی تماس نداشته و روی لایه‌ای از آب قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در این حالت لاستیک هیچ چسبندگی ندارد، خودرو به سادگی از کنترل خارج می‌شود. در صورتیکه لاستیک دارای شیارهای عمیق هم جهت با جهت حرکت خودرو باشد، شرایط لازم برای تخلیه فوری آب از زیر لاستیک فراهم می‌آید.

۴- بررسی استانداردهای مقاومت لغزندگی

در این بخش استانداردهای مقاومت لغزندگی کشورهای انگلستان، فرانسه، آمریکا و استرالیا مورد بررسی قرار می‌گیرند.

آمده از دستگاه‌های SCRIM که هم‌اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نظر گرفته شود.

ب: اصلاح سرعت اندازه‌گیری:

سرعت اندازه‌گیری ضریب اصطکاک، ۵۰ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است، اما امکان اندازه‌گیری ضریب اصطکاک در سرعت‌های ۲۵ الی ۸۵ کیلومتر در ساعت نیز میسر است. این اندازه‌گیری‌ها می‌بایست با استفاده از رابطه (۳) به مقادیر معادل سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت تبدیل شوند:

$$SC(50) = SR(s) + s \times 2.18 \times 10^{-3} - 0.109 \quad (3)$$

که در آن s سرعت اندازه‌گیری SR بر حسب کیلومتر در ساعت است.

ج: اصلاح تغییرات فصلی:

همانطور که پیشتر ذکر شد در دستورالعمل کشور انگلستان، زمان انجام اندازه‌گیری‌های SFC بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور تعیین شده است. با توجه به اثر ناچیز دما بر اصطکاک چرخ وسیله نقلیه و رویه راه در شرایط عادی آب و هوایی، نیازی به تصحیح دما در اندازه‌گیری‌ها نمی‌باشد. البته اندازه‌گیری‌ها نباید در دمای کمتر از ۵ درجه سانتیگراد و بارندگی سنگین و یا هنگامی که ضخامت قشر آب روی سطح جاده زیاد است، انجام گیرد.

جدول (۳) مقاومت لغزندگی لازم روسازی راه برای بخش‌های مختلف از شبکه راه‌های کشور انگلستان را نشان می‌دهد.

با توجه به تغییرات SFC در ماه‌های مختلف سال، به منظور تامین ضریب اطمینان لازم، از میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در ماه‌های فصل تابستان (حداقل ۳ ماه از اردیبهشت تا شهریور) که مقدار ضریب اصطکاک به دلیل صیقلی شدن سنگدانه‌ها در اثر عبور ترافیک کاهش می‌یابد، استفاده می‌شود. ضریب اصطکاک می‌بایست در خط کندرو که ترافیک سنگین از آن عبور می‌کند و مقاومت لغزندگی کمتر است، اندازه‌گیری شود.

در دستگاه SCRIM نیروهای افقی و قائم به صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شوند. نسبت نیروی جانبی به نیروی قائم، ضریب SFC است. خروجی دستگاه در هر قطعه قابل گزارش است و SR^1 نامیده می‌شود. معمولاً در جاده‌های روستایی قطعات ۱۰ متری و در جاده‌های شهری قطعات ۵ متری استفاده می‌شوند. SR میانگین SFC های بدست آمده در هر قطعه، ضرب در عدد ۱۰۰ است و به صورت عددی صحیح گزارش می‌شود. SR می‌بایست بر اساس سرعت، تغییرات فصلی و نوع تجهیزات به کار رفته برای اندازه‌گیری مقاومت لغزندگی اصلاح شوند. به SR اصلاح شده، ضریب SCRIM (SC^2) گفته می‌شود و به صورت عددی با دو رقم اعشار نمایش داده می‌شود. در ادامه اصلاحات مذکور شرح داده می‌شود:

الف: اصلاح نوع تجهیزات استفاده شده:

پارامترهای SFC یا SR که به مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دستگاه SCRIM نسبت داده می‌شوند مربوط به دستگاهی است که توسط موسسه TRL در سال‌های ۱۹۶۳ تا ۱۹۷۲ به منظور تهیه دستورالعمل مقاومت لغزندگی مورد استفاده قرار می‌گرفت. با توجه به تغییرات ایجاد شده در تجهیزات دستگاه SCRIM و همچنین تغییرات روش‌های بررسی، می‌بایست ضریب تعدیل ۰/۷۸ برای SR بدست

1- SCIRM Reading
2- SCIRM Coefficient

جدول ۳- مقاومت لغزندگی لازم روسازی راه برای بخش‌های مختلف شبکه راه‌های کشور انگلستان

متوسط ضریب اصطکاک جانبی در تابستان در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (SC)								نوع گذرگاه	
۰/۶۵	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۰		
								A	آزادراه
								B	راه اصلی جدا شده با مانع بدون مواجهه با تقاطعات
								C	راه اصلی بدون مواجهه با تقاطعات
								Q	ورودی تقاطع‌های اصلی و فرعی، ورودی میدان
								K	گذرگاه عابر پیاده و دیگر موقعیت‌های پرخطر
								R	میدان
								G1	قطعات با شیب طولی ۵ تا ۱۰ درصد و به طول بیش از ۵۰ متر
								G2	قطعات با شیب طولی بیش از ۱۰ درصد و به طول بیش از ۵۰ متر
								S1	قوس با شعاع کمتر از ۵۰۰ متر در راه اصلی جدا شده با مانع
								S2	قوس با شعاع کمتر از ۵۰۰ متر در راه اصلی

۵- طول‌های باقیمانده از یک گذرگاه که کمتر از ۵۰٪ از یک قطعه میانگین کامل هستند را می‌توان به قطعه قبلی اضافه نمود و تشکیل یک قطعه مشابه را داد.

۶- در هر قطعه اندازه‌گیری، مقادیری که تفاوت زیادی با مقدار میانگین دارند، می‌بایست مجدداً بررسی و اعدادی که از مقدار میانگین کمتر می‌باشند، مورد توجه قرار گیرند.

۴-۱-۲- دستگاه Grip tester

یکی دیگر از دستگاه‌های مورد استفاده در انگلستان، دستگاه Grip tester است که در شکل (۶) نشان داده شده است. این دستگاه از وسایل لغزش ثابت است. عملکرد این وسیله در استاندارد BS 7941-12 شرح داده شده است. این دستگاه مقاومت لغزندگی تایلر صاف را در نسبت لغزش بین ۱۲ تا ۲۰ درصد اندازه‌گیری می‌کند. آب با ضخامت حدود ۰/۵ میلی‌متر بر روی سطح راه پخش می‌شود و چرخ با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. نسبت لغزش به کمک یک زنجیر یا تسمه مکانیکی یا یک سیستم ترمز هیدرولیک ثابت نگه داشته می‌شود. بار چرخ و نیروی اصطکاک به کمک یک مبدل نیرو اندازه‌گیری

بر اساس جدول فوق موارد زیر قابل توجه است:

۱- خانه‌های با سایه پررنگ نشان دهنده بازه معمولی برای مقاومت لغزندگی و خانه‌های با سایه کم‌رنگ نشان‌دهنده مقاومت لغزندگی کمتر که مربوط به وضعیت‌های با خطر پایین نظیر حجم کم ترافیک یا مناطقی که تعداد تصادفات کمی رخ می‌دهد، می‌باشد.

۲- در گذرگاه‌های A، B و C مقاومت لغزندگی بر اساس متوسط اندازه‌گیری در طول یک قطعه ۱۰۰ متری است.

۳- در گذرگاه‌های Q، K، G و S مقاومت لغزندگی بر اساس متوسط اندازه‌گیری در طول یک قطعه ۵۰ متری نزدیک به موقعیت است که این طول به منظور هماهنگی با شرایط محلی گذرگاه مورد نظر افزایش خواهد یافت.

۴- برای گذرگاه رده R مقاومت لغزندگی بر اساس متوسط اندازه‌گیری در طول یک قطعه ۱۰ متری است.

انگلیسی (شکل ۸)) قرار می‌گیرند. عدد پاندول انگلیسی (BPN^۳) برای نمونه‌ها ثبت می‌گردد و میانگین ۴ نمونه به عنوان PSV مصالح سنگی شناخته می‌شود. لازم به ذکر است که دستگاه‌های مذکور در شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک فعال هستند.

بین ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی (PSV^۴) رویه راه و SC با دقت مناسب می‌توان رابطه‌ای برقرار نمود. این رابطه برای ترافیک‌های با حجم تا ۷۵۰ خودروی تجاری در یک خط در یک روز (CV/Lane/day^۵) به صورت زیر است:

$$\frac{PSV}{100} = SC \quad (۴)$$

در اثر افزایش ترافیک از ۷۵۰ CV/Lane/day، به دلیل کاهش بیشتر اصطکاک راه، به مصالح سنگی با مقدار PSV بالاتری برای دستیابی به SC یکسان (با راهی دارای ترافیک ۷۵۰ CV/Lane/day) نیاز است. در جدول (۴) مقدار ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی برای تامین مقاومت لغزندگی مورد نیاز رویه‌های آسفالتی تحت شرایط ترافیکی مختلف ارائه شده است.

می‌شوند. ضریب اصطکاک بدست آمده با این دستگاه Grip Number (GN) نامیده می‌شود. با توجه به همبستگی مناسب بین نتایج دستگاه SCRIM و Grip tester، با تقسیم GN بر ۰/۸۵، می‌توان به SC دست یافت.



شکل ۶- دستگاه Grip tester

۴-۱-۳- آزمایش PSV

بر اثر عبور ترافیک از سطح جاده، به مرور زمان سنگدانه‌های سطح نمایان می‌شوند و در معرض مستقیم ترافیک و چرخ و سایل نقلیه قرار می‌گیرند. براساس تماس لاستیک با سطح سنگدانه‌ها، سنگدانه‌ها مقداری از بافت ریز خود را از دست می‌دهند تا به یک حد مشخص برسند و پس از آن میزان بافت ریز در آن‌ها ثابت می‌ماند و با عبور ترافیک بیشتر، دستخوش تغییر نمی‌گردد. بافت ریز ثابت مانده در اثر ترافیک معیاری از مقاومت لغزندگی سنگدانه‌ها در دراز مدت می‌باشد و با ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی (PSV^۱) شناخته می‌شود.

آزمایش PSV مطابق با استاندارد EN 1097-8 انجام می‌شود. در ابتدا سنگدانه‌ها توسط رزین بر روی قالب مخصوص قرار می‌گیرند. پس از آن تعداد ۱۴ نمونه از این قالب‌ها به مدت ۶ ساعت در دستگاه صیقلی کننده سنگ (شکل ۷)) قرار می‌گیرند. این دستگاه اثر ترافیک بر ساییدگی^۲ مصالح سنگی را شبیه سازی می‌نماید. پس از آن قالب‌ها از دستگاه خارج شده و زیر دستگاه پاندول

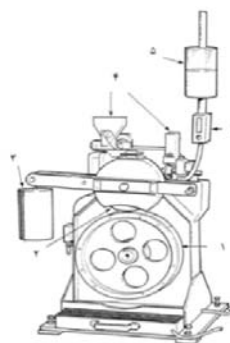
3- British Pendulum Number

4- Polished Stone Value

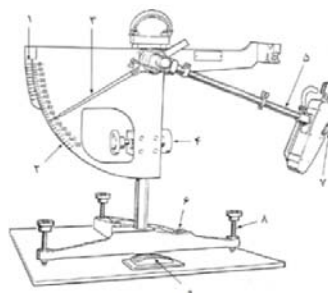
5- Commercial vehicles per lane per day

1- Polished Stone Value

2- Wearing



شکل ۷- دستگاه صیقلی کننده سنگ فعال در شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک



شکل ۸- دستگاه پاندول انگلیسی فعال در شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

جدول ۴- حداقل ضریب صیقل پذیری مصالح سنگی مورد نیاز برای تامین مقاومت لغزندگی مورد نیاز تحت شرایط ترافیکی مختلف

ضریب صیقل پذیری (PSV) مورد نیاز سنگدانه‌ها						متوسط ضریب اصطکاک جانبی در تابستان در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (SC)
ترافیک (CV/Lane/day)						
۴۰۰۰	۳۲۵۰	۲۵۰۰	۱۷۵۰	۱۰۰۰	۷۵۰ یا کمتر	
۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۰/۳۰
۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۰/۳۵
۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۰/۴۰
۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۰/۴۵
۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۰/۵۰
	۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۰/۵۵
		۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۰/۶۰
			۷۵	۷۰	۶۵	۰/۶۵
				۷۵	۷۰	۰/۷۰
					۷۵	۰/۷۵

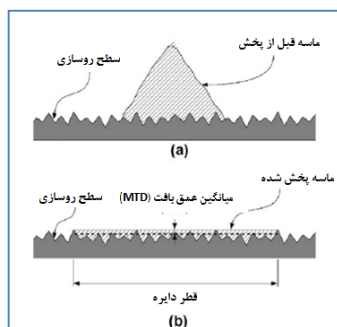
۴-۲- استاندارد کشور فرانسه

در این کشور دستورالعمل‌های مربوط به مقاومت لغزندگی به صورت غیر مستقیم می‌باشند. این دستورالعمل‌ها شامل خصوصیات مصالح سنگی و روش‌های ساخت است. بر اساس یافته‌های حاصل از این

دستورالعمل‌ها پارامترهای مقاومت لغزندگی، خصوصیات مصالح و شرایط ساخت غیر قابل تفکیک هستند و استانداردهایی که مقاومت لغزندگی را به صورت مستقیم مورد بررسی قرار می‌دهند دقیق نمی‌باشند. ضمناً تغییرات ذاتی اندازه‌گیری‌های مقاومت لغزندگی که ناشی از خطای آزمایشگاهی، اثرات محیطی و تغییرات شرایط خود جاده

توجه ویژه‌ای شده و ضوابطی در خصوص عمق بافت رویه برای گذرگاه‌های مختلف شهری و برون شهری توصیه شده است.

در این دستورالعمل از پارامتر عمق میانگین بافت (MTD^2) برای اندازه‌گیری بافت درشت روسازی استفاده شده است. برای بدست آوردن پارامتر فوق از روش پخش ماسه مطابق با استاندارد BSEN 13031 استفاده می‌شود. این روش بر اساس مقدار مشخص از ماسه که روی سطح راه ریخته می‌شود، انجام می‌شود. همانطور که در شکل (۹) نشان داده شده است، این ماسه در شکل دایره‌ای نقاط خالی روسازی تا بالاترین ارتفاع ممکن را پر می‌کند. سطح دایروی پخش شده با ماسه با اندازه‌گیری متوسط قطر آن (معمولاً ۹۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر) و عمق میانگین بافت به کمک تقسیم حجم مشخص ماسه بر سطح اندازه‌گیری می‌شود. در یک قطعه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از یک گذرگاه خاص مقدار حداقل عمق میانگین بافت با شاخص MTD_{min} و مقدار متوسط آن با شاخص MTD_{spe} بیان می‌شود. در دستورالعمل کشور فرانسه در خصوص ضوابط مربوط به عمق بافت رویه راه، دو جدول مجزا برای راه‌های درون شهری (جدول (۵)) و برون شهری (جدول (۶)) ارائه شده اند.



شکل ۹- محاسبه شاخص MTD با استفاده از روش پخش ماسه

می‌باشد، مشکلاتی را برای تفسیر نتایج این نوع استانداردها به وجود می‌آورد. بر اساس تجارب بدست آمده از اندازه‌گیری‌های ضریب اصطکاک سطح جاده با دستگاه چرخ قفل شده برای سرعت‌های تا ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت، در این کشور ضوابطی برای تامین مقاومت لغزندگی مورد نیاز بر اساس ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی و همچنین عمق بافت رویه تنظیم و به اجرا گذارده شده است.

الف: ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی

در این کشور برای ضریب صیقل‌پذیری مصالح سنگی پارامتر APC^1 (مشابه پارامتر PSV که در انگلستان به کار می‌رود) معرفی شده است و ضوابط زیر برای آن توصیه شده است:

- سنگدانه‌های با APC کمتر از ۳۵ نباید در رویه راه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.
- سنگدانه‌های با APC بین ۳۵ تا ۴۵ برای بدنه اصلی راه‌ها (بخشی از راه که شامل قوس‌ها و تقاطعات نمی‌شود) و تحت شرایط ترافیک معمولی مناسب است.
- سنگدانه‌های با مقادیر APC بین ۴۵ تا ۵۵ به عنوان مصالح خوب و سنگدانه‌های با APC بیشتر از ۵۵ به عنوان مصالح خیلی خوب شناخته می‌شوند و برای قوس‌ها، تقاطعات و راه‌های با سرعت بالا و ترافیک سنگین توصیه می‌شوند.

ب: عمق بافت رویه

همانطور که قبلاً شرح داده شد، مقاومت لغزندگی در سطح تماس چرخ و روسازی به دو عامل بافت ریز و درشت روسازی وابسته است. در دستورالعمل کشور فرانسه علاوه بر توجه به بافت ریز که در پارامتر ضریب صیقل‌پذیری نمایان می‌شود، به پارامتر بافت درشت هم

جدول ۵- ضوابط عمق بافت رویه برای راه‌های درون شهری و حومه شهری

سرعت (km/hr)	مقطع عرضی	مشخصات گذرگاه	MTDs _{pe} (mm)	MTD _{min} (mm)
V<50	دوطرفه	راه شریانی شهری	$\geq 0.40^1$	0.30
50<V<90			≥ 0.60	0.40
V>90	دو خط در هر طرف	آزادراه شهری با شیب طولی کمتر از ۵٪	≥ 0.60	0.40
	حداقل سه خط در هر طرف		≥ 0.70	0.50

¹ برای AADT (ترافیک روزانه متوسط سالیانه) بزرگتر از ۱۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز

جدول ۶- ضوابط عمق بافت رویه برای راه‌های خارج شهری

سرعت (km/hr)	مقطع عرضی	مشخصات قوس افقی	وضعیت شیب طولی راه	MTDspe (mm)	MTDmin (mm)
V=90	دوطرفه	همه موارد	P≤5%	≥0.60	0.40
			P>5%	≥0.80	0.40
V=110	دو خط در هر طرف		P≤5%	≥0.60	0.40
			P>5%	≥0.80	0.60
V=130	دو خط در هر طرف	R≥1000 m ¹	P≤5%	≥0.60	0.40
	حداقل سه خط در هر طرف	یا R≥600 m ²		≥0.70	0.50

¹ حالت R<1000 m برای قوس‌های بدون بریلندی به کار می‌رود.

² حالت R<600 m برای قوس‌های دارای بریلندی به کار می‌رود.

دستگاه اسکنر قابلیت‌های زیادی همچون تعیین نوع، شدت و میزات خرابی‌های سطح روسازی، تعیین بافت درشت روسازی، تعیین نوع و عمق شیار افتادگی و را دارد. اما مهمترین پارامتری که دستگاه قادر به ثبت آن است، اندازه گیری بافت درشت روسازی بصورت پیوسته می‌باشد. با اندازه‌گیری‌های متوالی که به منظور کاهش اثر جهشی تریلر و ناهمواری سطح جاده صورت می‌گیرد، عمق پروفیل میانگین (MPD¹) به روش آماری و با محاسبه انحراف استاندارد، تعیین می‌گردد. شکل (۱۱) نحوه محاسبه این شاخص را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی ایمن و کارآمد اهداف استاندارد سازی بین المللی، نیاز به توسعه وسیله‌ای سیار برای اندازه‌گیری عمق بافت درشت روسازی به جای روش‌های پخش حجمی احساس می‌شد. رایج‌ترین روش، استفاده از دستگاه اسکنر سطح جاده می‌باشد. این دستگاه با تاباندن اشعه لیزر بر روی سطح روسازی و ثبت همزمان تصویر مربوط به تغییرات ارتفاعی (ارتفاع هر پیکسل) و شدت (شدت نور لیزر منعکس شده برای هر پیکسل)، می‌تواند تصویری سه بعدی از سطح روسازی تولید کند. این دستگاه قادر است طول کامل مسیر را در عرض ۳/۷ متر با حداکثر سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت بدون ایجاد اختلال در ترافیک برداشت کند. حجم این تصاویر توسط الگوریتم‌های فشرده‌ساز تا یک چهلیم اندازه حجم تصاویر خام، کاهش می‌یابد. شکل (۱۰) دستگاه اسکنر موجود در شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک را نشان می‌دهد.

1- Mean Profile Depth

انگلستان است. برای اندازه‌گیری اصطکاک طولی معمولاً از دستگاه چرخ قفل شونده^۱ استفاده می‌شود. این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM E274 صورت می‌گیرد. چرخ قفل شونده بر روی یک تریلر متصل به یک یدک‌کش نصب می‌شود. سرعت حرکت یدک‌کش بین ۶۴ تا ۹۶ کیلومتر بر ساعت (۴۰ تا ۶۰ مایل بر ساعت) است. آب با ضخامت حدود ۰/۵ میلیمتر در جلو تایر آزمایش پخش می‌شود. همزمان تایر آزمایش پایین آورده شده و چرخ به کمک سیستم ترمز قفل و نیروی کششی مقاوم اندازه‌گیری می‌شود. در حدود ۱ تا ۳ ثانیه بعد از قفل شدن کامل چرخ آزمایش این نیرو اندازه‌گیری می‌گردد. اندازه‌گیری نیروی کششی می‌تواند بعد از آزاد شدن چرخ دوباره تکرار شود.

این آزمایش می‌تواند با استفاده از تایر صاف (ASTM E524) و یا با استفاده از تایر آجدار (ASTM E501) انجام شود. تایر آجدار نسبت به ضخامت فیلم آب موجود در سطح راه حساس نمی‌باشد، از اینرو نسبت به بافت درشت سطح غیر حساس است. از طرفی دیگر تایر صاف نسبت به بافت درشت سطح رویه راه حساس می‌باشد. شاخص عدد اصطکاک (FN^2 یا SN^3) از این آزمایش بدست می‌آید. بنا به تعریف استاندارد ASTM E274، عدد اصطکاک از ۱۰۰ برابر کردن نیروی مورد نیاز برای سر خوردن لاستیک قفل شده در هنگام ترمزگیری، تقسیم بر بار موثر چرخ بدست می‌آید:

$$FN(V) = 100 \mu = 100 \times \frac{F}{W} \quad (\Delta)$$

که در آن:

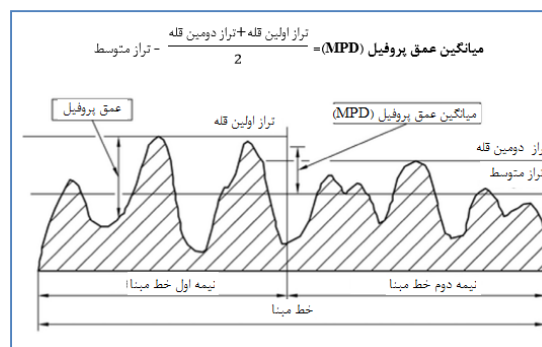
V : سرعت چرخ آزمایش بر حسب کیلومتر بر ساعت

μ : ضریب اصطکاک

- 1- Locked-Wheel
- 2- Friction Number
- 3- Skid Number



شکل ۱۰- دستگاه اسکنر سطح جاده فعال در شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک



شکل ۱۱- نحوه محاسبه شاخص MPD

در جدول (۷) مقادیر استاندارد MPD مطابق نرم‌افزار HDM-4 ارائه شده است.

جدول ۷- حدود MPD مطابق نرم‌افزار HDM-4

وضعیت سطح روسازی	MPD (μm)
خوب	۷۰۰-۱۵۰۰
متوسط	۳۰۰-۷۰۰
بد	کمتر از ۳۰۰

۳-۴- استاندارد کشور آمریکا

در کشور آمریکا بر خلاف کشور انگلستان اصطکاک طولی مد نظر قرار می‌گیرد. البته در برخی ایالت‌ها ضریب اصطکاک جانبی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری این ضریب معمولاً توسط دستگاه Mu-Meter انجام می‌شود که مشابه دستگاه SCRIM مورد استفاده در کشور

F : نیروی افقی کشنده وارد بر تایر بر حسب نیوتن

W : نیروی قائم وارد بر تایر بر حسب نیوتن

میزان عددی که برای این شاخص گزارش می‌شود در محدوده‌ی صفر تا صد تغییر می‌کند که عدد صفر بیانگر فقدان مقاومت لغزشی و عدد ۱۰۰ بیانگر مقاومت لغزشی حداکثر می‌باشد. همچنین شاخص عدد اصطکاک (FN) یا (SN) به گونه‌ای بیان می‌شود که سرعت انجام آزمایش و نوع تایر مورد استفاده را شرح دهد. به عنوان مثال $FN40R=36$ به معنای عدد اصطکاک ۳۶، سرعت انجام آزمایش ۴۰ مایل بر ساعت (۶۴ کیلومتر بر ساعت) و انجام آزمایش با تایر آجدار می‌باشد. به طور مشابه $FN50S=29$ به معنای عدد اصطکاک ۲۹، سرعت انجام آزمایش ۵۰ مایل بر ساعت (۸۱ کیلومتر بر ساعت) و انجام آزمایش با تایر صاف می‌باشد.

در گزارش 1-43 NCHRP^۱ شرایط آزمایش‌های مقاومت لغزشی (شامل آزمایش چرخ قفل شده و آزمایش‌های دیگر) بیان شده است که در ادامه ذکر می‌گردد:

الف: فصل انجام آزمایش

از آنجا که مقادیر حاصله از اندازه‌گیری‌ها در فصول مختلف می‌تواند متفاوت باشد، انجام آزمایش می‌بایست در فصول خاصی از سال انجام گیرد. برای مواقعی که نمی‌توان آزمایش را در فصل خاصی انجام داد، رعایت موارد زیر می‌تواند به کاهش تغییرات نتایج کمک کند:

- استفاده از ضرایب اصلاح مقادیر که عدد اصطکاک در فصول مختلف را به مقادیر اندازه‌گیری شده در فصل خاصی تبدیل می‌کند.

- برای قطعه خاصی از راه، آزمایش‌های اولیه و سال‌های آتی، باید در یک فصل مشخص انجام گیرد.

ب: سرعت انجام آزمایش

همطور که قبلاً شرح داده شد، عدد اصطکاک در آزمایش چرخ قفل شده به سرعت لغزش (سرعت ترمزگیری وسیله نقلیه) وابسته می‌باشد و با افزایش سرعت، مقاومت لغزشی کاهش می‌یابد. طبق پیشنهاد استاندارد ASTM E274 عدد اصطکاک در سرعت ۶۴ کیلومتر بر ساعت (۴۰ مایل بر ساعت) اندازه‌گیری می‌شود (شکل (۱۲)). البته اندازه‌گیری عدد اصطکاک در گذرگاه‌های مختلف با این سرعت، کار دشواری است. لذا می‌توان اندازه‌گیری‌ها را با سرعت جریان ترافیک انجام داد و آن را با استفاده از رابطه (۶) به سرعت پایه ۴۰ مایل بر ساعت تبدیل نمود:

$$FN(64) = FN(S) \times e^{\frac{V-64}{S_p}} \quad (6)$$

که در آن:

$FN(64)$ مقدار اصلاح شده عدد اصطکاک در سرعت

لغزش ۶۴ کیلومتر بر ساعت

$FN(S)$ عدد اصطکاک در سرعت لغزش انتخابی

S سرعت لغزش انتخابی بر حسب کیلومتر بر ساعت

S_p : عدد سرعت^۲

عدد سرعت مطابق با استاندارد ASTM E1960، از

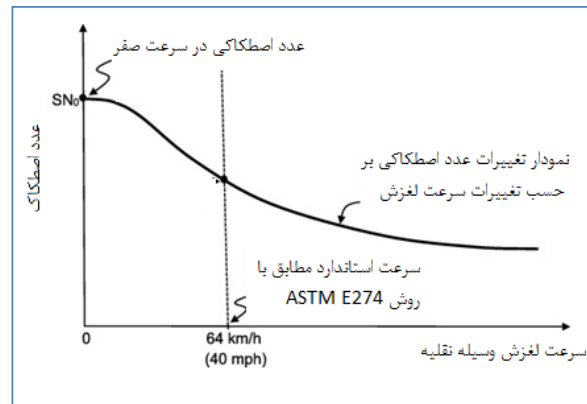
رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$S_p = a + b \times TX \quad (7)$$

که در آن:

a, b : ضرایب کالیبراسیون که وابسته به روش اندازه‌گیری بافت درشت روسازی می‌باشند

TX: بافت درشت روسازی (به طور مثال شاخص MTD یا MPD) بر حسب میلیمتر



شکل ۱۲- رابطه بین عدد اصطکاک و سرعت لغزش وسیله نقلیه

ج: خط آزمایش

اندازه‌گیری‌های اصطکاک می‌بایست در خطی انجام گیرد که دارای بیشترین مقدار ترافیک می‌باشد. این خط معمولاً کمترین میزان مقاومت لغزندگی را نتیجه می‌دهد. لازم به ذکر است که آزمایش می‌بایست در مسیر چرخ‌ها (جایی که مقاومت لغزندگی کمترین میزان خود را دارد) انجام شود. نکته حائز اهمیت آن است که می‌بایست آزمایش‌های سال آتی در همان مسیر چرخ‌ها انجام گیرد که در سال‌های قبل انجام شده است.

د: شرایط محیطی

از آنجا که شرایط محیطی بر اصطکاک سطح روسازی تاثیر می‌گذارد، آزمایش می‌بایست در شرایط محیطی استاندارد انجام گیرد. موارد زیر باید رعایت شوند:

- از انجام آزمایش در روزهایی که باد شدید می‌وزد پرهیز شود، زیرا باد آب ریخته شده در

زیر چرخ آزمایش را پراکنده کرده و از مسیر اصلی (زیر چرخ) منحرف می‌کند.

- از انجام آزمایش در هنگام بارندگی شدید و یا وجود آب ساکن بر روی سطح روسازی پرهیز شود، چراکه آب موجود بر روی سطح روسازی می‌تواند بر نیروی اصطکاک بین لاستیک دستگاه آزمایش و رویه روسازی تاثیر بگذارد.
- نباید آزمایش در درجه حرارت کمتر از ۵ درجه سانتیگراد انجام گیرد.

و: آلودگی سطح رویه

از انجام آزمایش در حالتی که رویه روسازی با گل و لای، روغن، نفت، بنزین و یا هر نوع آلودگی آغشته است، پرهیز شود.

در فصل چهارم گزارش NCHRP 1-43 روش طرح مخلوط آسفالتی برای تامین مقاومت لغزندگی مورد نیاز به طور کامل تشریح شده است. با توجه به اینکه در ایالت‌های مختلف آمریکا حدود متفاوتی برای مقاومت لغزندگی ارائه شده است، در گزارش NCHRP، به حدود خاصی برای مقاومت لغزندگی اشاره نشده است. با استفاده از گزارش فوق و با در دست داشتن مقاومت لغزندگی مورد نیاز، می‌توان طرح مخلوط آسفالتی قابل قبول را تهیه نمود. در جدول (۸) مقادیر حداقل اصطکاک مورد نیاز در برخی از ایالت‌های آمریکا ارائه شده است.

جدول ۸- مقادیر حداقل عدد اصطکاک مورد نیاز برای برخی از ایالت‌های آمریکا

ایالت	دستگاه اندازه‌گیری	پارامتر اندازه‌گیری	راه‌های بین ایالتی/آزادراه‌ها	راه‌های اصلی	راه‌های فرعی	راه‌های محلی
آریزونا	Mu-Meter	مقادیر Mu-Number	۳۴	۳۴	۳۴	
آیداهو	چرخ قفل شونده	FN40S	>۳۰	>۳۰	>۳۰	
ایلینویز		FN40R	>۳۰	>۳۰	>۳۰	
کنتاکی			>۲۸	>۲۸	>۲۸	
نیویورک			>۳۲	>۳۲	>۳۲	
کارولینای جنوبی			>۴۱	>۳۷	>۳۷	
تگزاس			>۳۰	>۲۶	>۲۲	
یوتا			>۳۰-۳۵	>۳۵	>۳۵	
واشنگتن			>۳۰	>۳۰	>۳۰	

۴-۴- استاندارد کشور استرالیا

با توجه به گستردگی کشور استرالیا، موسسات مختلف دستورالعمل‌های متفاوتی در خصوص مقاومت لغزندگی ارائه داده‌اند. در این کشور از سه دستگاه SCRIM، Grip tester و ROAR استفاده می‌شود. دستگاه ROAR که در شکل (۱۳) نشان داده شده است، مقاومت لغزندگی راه‌ها را به دو روش لغزش ثابت و متغیر^۱ اندازه‌گیری می‌نماید. در حالت لغزش متغیر، این وسیله مقاومت لغزشی طولی تایر را به عنوان تابعی از نسبت لغزش بین ۰ تا ۱۰۰ درصد اندازه‌گیری می‌کند. آب با ضخامت حدود ۰/۵ میلی‌متر بر روی سطح راه پخش می‌شود. در ابتدا چرخ آزمایش بدون مانع می‌چرخد و به تدریج سرعت چرخ کاهش می‌یابد. در نهایت سرعت وسیله نقلیه، سرعت چرخش تایر، بار چرخ و نیروی اصطکاک اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه مقاومت لغزندگی را در سرعت ۳۵ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت اندازه‌گیری می‌کند. جداول (۹) الی (۱۱) حداقل مقادیر لازم مقاومت لغزندگی را بر اساس پارامترهای دستگاه‌های مورد اشاره بیان می‌کند.



شکل ۱۳- دستگاه ROAR

جدول ۹- حداقل مقادیر لازم مقاومت لغزندگی سطح روسازی راه بر اساس پارامتر دستگاه SCRIM در ایالت ویکتوریای استرالیا

رده‌بندی راه	مشخصات قطعه راه	مقدار حداقل SC50	
		راه‌های اصلی با ترافیک روزانه کمتر از ۲۵۰۰ وسیله نقلیه در هر خط عبور در هر روز	راه‌های اصلی با ترافیک روزانه بیشتر از ۲۵۰۰ وسیله نقلیه در هر خط عبور در هر روز
۱	تقاطعات چراغدار محل عبور عابر پیاده و دانش آموز تقاطع مسیر با راه آهن	۰/۵۵	۰/۵۰
۲	قوس‌های با شعاع کمتر از ۲۵۰ متر مسیرهای با شیب طولی بیشتر از ۵ درصد و طول بیشتر از ۵۰ متر	۰/۵۰	۰/۴۵
۳	تقاطعات هم سطح	۰/۴۵	۰/۴۰
۴	بدنه اصلی ۱ در راه‌های جدا نشده	۰/۴۰	۰/۳۵
۵	بدنه اصلی در راه‌های جدا شده	۰/۳۵	۰/۳۰
مقدار حداقل SC50			
۶	قوس‌ها با شعاع کمتر از ۱۰۰ متر	۰/۶۰	۰/۵۵
۷	میدان‌ها	۰/۵۵	۰/۵۰

^۱ بخشی از راه که شامل قوس‌ها و تقاطعات نمی‌شود.

جدول ۱۰- حداقل مقادیر لازم مقاومت لغزندگی سطح روسازی راه بر اساس پارامتر دستگاه Grip tester و مطالعات موسسه حمل و نقل

جنوب استرالیا^۱

موقعیت راه	مقادیر حداقل Grip Number	حداکثر سرعت وسیله نقلیه (km/hr)
گذرگاه‌های سخت نظیر تقاطعات چراغدار، پیچ‌های تند و میادین	۰/۵۰-۰/۵۵	۶۰-۸۰
راه‌های شریانی شهری	۰/۴۵	۶۰
راه‌های شریانی روستایی	۰/۴۵	۱۱۰
راه‌های شهری با ترافیک کم	۰/۴۰	۶۰

جدول ۱۱- حداقل مقادیر لازم مقاومت لغزندگی سطح روسازی راه بر اساس پارامتر دستگاه ROAR در ایالت کوئینزلند استرالیا

رده‌بندی مقاومت لغزندگی	مشخصات مقطع راه	مقدار حداقل F60
زیاد (High)	قوس‌ها با شعاع کمتر از ۱۰۰ متر تقاطعات چراغدار میادین و نزدیک آن‌ها تقاطع مسیر با محل عبور عابر پیاده و دانش آموز	۰/۳۵
متوسط (Intermediate)	قوس‌های با شعاع کمتر از ۲۵۰ متر مسیرهای با شیب طولی بیشتر از ۵ درصد و طول بیشتر از ۵۰ متر رمپ‌های ورودی و خروجی آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها	۰/۳۰
معمولی (Normal)	بدنه اصلی در راه‌های جدا نشده بدنه اصلی در راه‌های جدا شده	۰/۲۵

۵- مطالعه موردی اندازه گیری اصطکاک

در این بخش اندازه گیری اصطکاک سطح روسازی موجود در بخشی از یکی از آزادراه‌های پرتراфик کشور به عنوان مطالعه موردی ارائه شده است. این مطالعه بنا به درخواست کارفرمای پروژه، توسط شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک در سال ۱۳۹۶ انجام گردید. محور مذکور به طول تقریبی ۹ کیلومتر و در دو باند شمالی و جنوبی بوده است. اندازه‌گیری اصطکاک بصورت نقطه‌ای و با دستگاه پاندول انگلیسی انجام گرفت. همچنین به منظور بررسی بیشتر بافت درشت این قطعه از آزاد راه، داده‌های برداشت شده توسط دستگاه اسکتر مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. در ادامه نتایج بدست آمده ارائه می‌شود.

با توجه به جداول (۱۲) و (۱۳) می‌توان به پایین بودن مقاومت لغزندگی در هر دو باند شمالی و جنوبی بر اساس نتایج حاصل از آزمایش پاندول انگلیسی پی برد. همچنین در بازدید میدانی به عمل آمده، سطح سنگدانه‌های روسازی همسطح قیر بوده و بافت درشت روسازی در بسیاری از نقاط از بین رفته که نشان‌دهنده صیقلی شدن سطح راه و عدم مقاومت لغزندگی آن می‌باشد. با توجه به شرایط محور و نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و اسکتر سطح جاده، محور باند شمالی به طول حدود ۴/۵۰۰ کیلومتر و باند جنوبی به طول حدود ۳/۱۰۰ کیلومتر (مجموعاً ۷/۶۰۰ کیلومتر) از حداقل شرایط لازم برای تأمین اصطکاک برخوردار نبوده و نیاز به اصلاح دارد.

الف- قطعه شمالی

جدول ۱۲- نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و شاخص MPD در مقطع باند شمالی

کیلومتر	خط انجام آزمایش	نتایج آزمایش پاندول انگلیسی					میانگین نتایج آزمایش پاندول انگلیسی	وضعیت مقاومت لغزندگی بر اساس نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و جداول (۳) و (۴)	میانگین شاخص MPD (mm)	وضعیت بافت درشت بر اساس شاخص MPD و جدول (۷)
		تست شماره								
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم				
۰+۰۰۰	تندرو	۴۳	۴۳	۴۲	۴۲	۴۳	۴۲/۶	نامناسب	۰/۵۶	متوسط ۱
۱+۰۰۰	وسط	۴۳	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲	۴۲/۲	نامناسب	۰/۵۸	متوسط
۲+۰۰۰	کندرو	۴۳	۴۴	۴۴	۴۳	۴۴	۴۳/۶	نامناسب	۰/۵۵	متوسط
۲+۰۰۰	وسط	۴۲	۴۲	۴۰	۴۲	۴۲	۴۱/۶	نامناسب	۰/۵۵	متوسط
۳+۰۶۰	کندرو	۳۸	۳۸	۳۹	۳۸	۳۹	۳۸/۴	نامناسب	۰/۵۶	متوسط
۴+۵۴۰	کندرو	۴۲	۴۲	۴۲	۴۱	۴۰	۴۱/۴	نامناسب	۰/۵۹	متوسط

جدول ۱۳- نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و شاخص MPD در مقطع باند جنوبی

کیلومتر	خط انجام آزمایش	نتایج آزمایش پاندول انگلیسی					میانگین نتایج آزمایش پاندول انگلیسی	وضعیت مقاومت لغزدگی بر اساس نتایج آزمایش پاندول انگلیسی و جداول (۳) و (۴)	میانگین شاخص MPD (mm)	وضعیت بافت درشت بر اساس شاخص MPD و جدول (۷)
		تست شماره								
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم				
۰+۰۰۰	کندرو	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	نامناسب	۰/۷۴	متوسط
۰+۹۶۶	کندرو	۳۶	۳۵	۳۷	۳۷	۳۵	۳۶	نامناسب	۰/۵۸	متوسط
۲+۰۰۰	کندرو	۳۳	۳۲	۳۳	۳۲	۳۳	۳۲/۶	نامناسب	۰/۵۷	متوسط
۳+۱۰۰	کندرو	۳۴	۳۵	۳۷	۳۵	۳۵	۳۵/۲	نامناسب	۰/۵۶	متوسط
		میانگین					۳۷/۲	نامناسب	۰/۶۱۲	متوسط

۶- مراجع

- [1] Austroads. (2005). Guidelines for the Management of Road Surface Skid Resistance (Report No. AP-G83/05). Sidney, Australia.
- [2] Babbie, J. (2004). Report on correlation of SCRIM with mark 2 griptester trial at TRL. Glasgow.
- [3] Hall, J. W., Smith, K. L., & Littleton, P. C. (2008). Texturing of concrete pavements (Project No. 10-67). National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- [4] Hall, J. W., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J., & Rado, Z. (2009). Guide for pavement friction (Project No. 01-43). National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- [5] World Road Association. (2003). Road safety manual. Piarc technical committee on road safety.
- [6] Zuniga-Garcia, N., & Prozzi, J. A. (2016). Contribution of Micro-and Macro-Texture for Predicting Friction on Pavement Surfaces (CHPP Report No. UTA# 3-2016). U.S. Department of Transportation's University Transportation Centers Program for Center for Highway Pavement Preservation (CHPP).
- [۷] احدی محمد رضا و شفیع پور ابوذر. (۱۳۹۰). روش‌های اقتصادی اندازه‌گیری مقاومت لغزندگی و بافت روسازی در افزایش ایمنی راه. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، ایران.
- [۸] سوداگری جواد، کاووسی امیر و فرخی مهدی. (۱۳۹۰). بررسی تعدادی از استانداردهای مرتبط با مقاومت لغزندگی. چهارمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، ایران.
- [۹] کوهی محمد. (۱۳۹۵). بررسی عوامل موثر در مقاومت لغزشی روسازی‌های آسفالتی. شانزدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.