

سنجش سرعتی مقاومت لغزشی پیوسته شبکه راه‌های آسفالتی و بتنی برای ایران

محمد رضا سلیمانی کرمانی*، استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: soleimani@bhrc.ac.ir

دریافت: ۹۶/۰۹/۰۸ - پذیرش: ۹۷/۰۳/۲۰

صفحه ۱۷۴-۱۶۱

چکیده

سطوح جاده‌ها همواره نیاز به درجه خاصی از مقاومت در برابر لغزش دارند تا رانندگان بتوانند عملیات ترمز و تغییر مسیر ناگهانی را به راحتی انجام دهد. اگر مقاومت لغزشی مورد نیاز موجود در وضعیت مناسب نباشد، در این صورت می‌تواند منجر به عدم تعادل خودرو گشته و سرانجام ناخوشایندی را رقم بزند. همانطور که مقاومت لغزشی یک سطح جاده کاهش می‌یابد، میزان تصادف افزایش می‌یابد. سطوح جاده‌ها باید همیشه مقاومت لغزشی را برای انواع وسایل نقلیه جهت انجام مانورهای مطمئن فراهم نمایند. بیش از یک سوم حوادث در سطوح مرطوب جاده‌ها در جهان رخ می‌دهد و باعث تلفات جانی و مالی بسیاری در سال به همراه دارد لذا، شناسایی سیاست‌های کارآمد و مقرون به صرفه برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی در ایران برای حصول اطمینان از مقدار مناسب در همه موقعیت‌ها بسیار حائز اهمیت است. در حال حاضر در کشور های مختلف، روش‌ها و دستگاه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی در شبکه‌های مختلف بزرگراهی مورد استفاده قرار گرفته است. اما با این حال هیچ روش اندازه‌گیری مقاومت لغزشی یکسانی در کشورهای جهان وجود ندارد. تا کنون، این موضوع در ایران مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله به منظور اندازه‌گیری مقاومت لغزشی پیوسته (میدانی) شبکه جاده‌های ایران به بررسی روشها و ابزارهای سنجش پرداخته شده و از نتیجه آن سیاستها و روش مناسب برای جاده‌های ایران پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه جاده، ابزار اندازه‌گیری مقاومت لغزشی، حوادث

۱- مقدمه

مقاومت در برابر لغزش، بافت درشت سطح جاده است و به همین علت است که سرعت رانندگی بالا می‌رود. رانندگی وسیله نقلیه در سطح جاده مرطوب، باعث ایجاد پاشش آب می‌شود، که منجر به آب پیمایی وسایل نقلیه می‌گردد. باید در نظر داشت که خطر بالقوه آب پیمایی در جاده‌ها زمانی که سطح جاده مرطوب است و سرعت رانندگی بالاتر از ۶۰ کیلومتر در ساعت است اتفاق می‌افتد (Al-Masaeid, H. R. 1997).

بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳، به طور متوسط ۴/۶ میلیون لغزش (انواع وسایل نقلیه) سالانه در بزرگراه‌های کشور در ایالات متحده آمریکا اتفاق افتاد، در نتیجه، ۳ میلیون زخمی، ۴۲۰۰۰ نفر تلفات جانی و تعداد بی‌شماری جراحی بجای گذارد. این میزان مرگ و میر به ۱۱۵ مورد مرگ و میر در هر روز و یا یک کشته در هر دقیقه می‌رسد (Noyce et al., 2005).

مقاومت در برابر لغزش در ایمنی جاده‌ها سهم به‌سزایی دارد، به ویژه هنگامی که سطح جاده مرطوب باشد. بیشترین خطر تصادفات زمانی است که سطح جاده خصوصاً در منحنی‌های افقی مرطوب بوده و ضریب مقاومت لغزشی (SN) ۰/۲۵ است. حوادث در سطح مرطوب بیشتر در شیب و یا صعود (که در آن شیب بالاتر از ۳ درصد است) رخ می‌دهد (Wang, C, Gothie, M. 1996). همچنین در شرایط رانندگی بالقوه خطرناک، باران‌های سنگین و هندسه جاده‌ای نامناسب، باعث کاهش مقاومت لغزشی می‌شود. ریسک حادثه ناشی از رانندگی در سطح جاده‌ها با ضریب مقاومت لغزشی پایین‌تر از ۰/۴۵، ۲۰ برابر بیشتر از سطوح جاده‌ای است که ضریب مقاومت لغزشی آن بالاتر از ۰/۶۰ است. اگر ضریب مقاومت لغزشی کمتر از ۰/۳۰ باشد، خطر تصادف ۳۰۰ برابر بیشتر است (Gothie, M. 1996). مهمترین عامل برای

جاده است که در شرایط آزمایشگاهی انجام می‌گردد و حاصل عملکرد سنگدانه از عمر سرویس دهی را در عرض مدت ۶ ساعت با استفاده از دستگاه شتاب صیقل و با اندازه گیری مقاومت لغزشی نمونه‌ها توسط آونگ انگلیسی (BPT) در اختیار کاربران می‌گذارد. این آزمایش از این جهت اهمیت دارد که بر اساس PSV بدست آمده کاربرد هر نوع سنگدانه را در موقعیتهای مختلف راه، آزادراه و بزرگراه مشخص می‌گردد. البته سنگدانه‌ها باید توسط آزمایشهای دیگری مانند آزمایش لوس آنجلس و AAV و... نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. ارزش صیقل پذیری (PSV) طبق آزمایش BSBS 812-114 انجام می‌گردد و بر اساس آن سنگدانه‌های مناسب جهت استفاده در موقعیتهای مختلف طبق جدول ۱ انتخاب می‌گردند. دستگاه آونگ انگلیسی (BPT) همچنین در ASTM E303 توضیح داده شده است. دستگاه آونگ انگلیسی یک ابزار ساده و ارزان است که در اندازه گیری ویژگی‌های لغزشی مقطعی سطوح جاده‌ها نیز استفاده می‌شود. این دستگاه می‌تواند برای اندازه گیری ویژگی‌های لغزشی در آزمایشگاه یا در جاده‌های با سرعت‌های کم استفاده شود. استفاده از BPT آسان است، اما نتیجه آن تنها اندازه‌گیری مقاومت لغزشی با سرعت کم است. مقاومت لغزشی (PN) و یا (SN)، با ارزش صیقل پذیری (PSV) متفاوت است و مقاومت لغزشی فقط به عدد آونگی در طول سرویس‌دهی روسازی اطلاق می‌گردد. محاسبه PSV طبق استاندارد BSBS 812-114 از معادله (۱) محاسبه می‌گردد:

$$PSV = S + X - C \quad (1)$$

جایی که S میانگین متوسط چهار نمونه آزمون شده سنگدانه مورد نظر است.

X میانگین مشخص شده معدن برای تعداد ۲ نمونه ساخته شده از سنگ کنترل و

C مقدار متوسط برای PSV چهار نمونه شاهد است.

جهت معرفی بهترین مصالح سنگی برای روسازی «هاوکس و هاسکینگ ۱۹۷۲» سنگدانه‌ها را به شش گروه تقسیم کرده‌اند که در جدول ۱ آورده شده‌اند و جدول ۲ حداقل ارزش صیقل پذیری (PSV) و ارزش سایشی (AAV) سنگدانه مورد استفاده در موقعیتهای مختلف تا سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (Wasilewska, M. a, 2016) را نشان می‌دهد.

به منظور بازگرداندن مقاومت لغزشی از دست رفته، رویه‌های آسفالتی و بتنی در مرحله اول نیاز به شناسایی ماشین آلات برای اندازه گیری پیوسته مقاومت لغزشی در شبکه راه است تا بتوان از این طریق عدم مقدار مقاومت لغزشی مناسب در قطعات راه را شناسایی کرده تا یک راه حل بازسازی مناسب مشخص گردد. به رغم پیشرفتهای قابل ملاحظه‌ای که در ۱۰ سال گذشته در صنعت ایمنی جاده‌ها و ایمنی جاده‌ها در ایران صورت گرفته و کاهش قابل توجه تعداد تلفات جاده‌ای حاصل شده است، اما متأسفانه ایران هنوز در میان ۱۰ کشور با تعداد زیاد حوادث ناشی از مرگ و میر در جاده‌ها در جهان قرار دارد. شور بختانه هیچ گونه آماری از تصادفات ناشی از کمبود مقاومت لغزشی در گزارشات جاده‌ای در ایران وجود ندارد و وقت آن است که ذینفعان متوجه اهمیت این موضوع گردند.

بسیاری از کشورهای عضو اتحادیه اروپا سیاست‌های ملی در مورد اندازه گیری مقاومت لغزشی را توسعه داده‌اند. بعضی از کشورها به طور دوره‌ای مقاومت لغزشی در طول بهره‌برداری از جاده‌ها را اندازه گیری می‌کنند و مقادیر بدست آمده را با مقادیر طراحی را مورد مقایسه قرار می‌دهند (Crisman, B, 2012).

برای اندازه‌گیری و کنترل مقاومت لغزشی در ایران هیچ دستورالعمل یا الزامی وجود ندارد شناسایی مؤثرترین و مقرون به صرفه‌ترین سیاست‌های اندازه گیری مقاومت لغزشی برای ایران بسیار حائز اهمیت است. روش‌ها و دستگاه‌های متعددی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی بافت سطح وجود دارد. هر یک از این روش‌ها دارای نقاط قوت و ضعف خود می‌باشند که آنها را محبوب یا جذاب تر می‌کند. یکی از این ضعف‌ها زمان بری برخی از آنها است. برخی از این دستگاه‌ها دارای محدودیت هستند چرا که قادر به اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف بافت آسفالت نیستند. این دستگاه‌ها نمی‌توانند برای ارزیابی مقاومت لغزشی شبکه استفاده شوند زیرا آنها فقط برای اندازه گیری نقاط مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲- ارزش صیقل پذیری سنگدانه (PSV)

ارزش صیقل پذیری سنگدانه (PSV)، از نتیجه یک آزمایش شبیه سازی از عملکرد سنگدانه از نظر مقاومت لغزشی بر روی سطح

جدول ۱. بهترین مصالح سنگی برای روسازی بر اساس نظریه «هاوکس وهاسکینگ ۱۹۷۲»

گروه	PSV	AAV	چگونگی
اول	۷۰ یا بیشتر	۱۰ و یا کمتر	بهترین سنگدانه
دوم	۶۵-۶۹	۱۰ و یا کمتر	سنگدانه با دوام و ارزش صیقل پذیری زیاد
سوم	۶۰-۶۴	۱۰ و یا کمتر	مصالح با دوام و ارزش صیقل پذیری زیاد
چهارم	۶۰ یا بیشتر	۱۱-۱۴	مصالح با دوام کمتر و ارزش صیقل پذیری زیاد
پنجم	۵۱-۵۹	۲-۸	مصالح با دوام زیاد ولی ارزش صیقل پذیری کم
ششم	۶۴-۸۳	۱۴ و بیشتر	مصالح غیر مناسب جهت روسازی

جدول ۲. حداقل ارزش صیقل پذیری (PSV) مورد نیاز سطح خیس سنگدانه در موقعیتهای مختلف

حداقل AAV مورد نیاز	حداقل مقاومت لغزشی (PSV) لازم در موقعیتهای مختلف بر اساس سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت*								حداقل ارزش صیقل پذیری (PSV) مورد نیاز سطح خیس سنگدانه	نقلیه/خطر/روز	توضیحات
	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰			
۱۶									<۲۵۰	نزدیک چراغ راهنما	
۱۶									۱۰۰۰-۲۵۰		
۱۴									۱۰۰۰-۱۷۵۰		
۱۴									>۱۷۵۰		
۱۴									<۱۷۵۰	نزدیک به تقاطعات اصلی، چراغ راهنما، میادین، عابر پیاده، پیچهای تند و شیبهای تند	
۱۴									۲۵۰۰-۱۷۵۰		
۱۲									۳۲۵۰-۲۵۰۰		
۱۲									>۳۲۵۰		
۱۶									<۱۷۵۰	جادههای بدون پیچ، قوس بزرگراهها، جادههای اصلی و جادههای با تردد زیاد ماشینهای سنگین	
									۴۰۰۰-۱۷۵۰		
									>۴۰۰۰		
۱۶									<۲۵۰	قسمتهای مستقیم از جاده کم ترافیک که لغزنده بودن در حالت خیس مشکل زا نیست.	

توصیه کرده است. زمانی بافت سنگدانه مطرح است که مقاومت در برابر انعطاف پذیری بافت مطرح می باشد. در این صورت هر قدر بافت سنگدانه صاف تر باشد این مقاومت کمتر می گردد.

مهم ترین تأثیر بافت سنگدانه، اثر آن بر کیفیت اتصال بین سنگدانه و مصالح قیری و یا سیمانی می باشد. استاندارد انگلستان (BS ۸۱۲) در این خصوص هیچگونه محدودیتی در استفاده مصالح قائل نگردیده، بلکه استفاده آنها را براساس مکان و موقعیت استفاده

به منظور بازگرداندن مقاومت در لغزشی سطوح آسفالت و بتن در مرحله اول نیاز به شناسایی ماشین آلات و مکانیسم برای اندازه گیری مقاومت لغزشی نیازمند است به طوری که یک راه حل مناسب ترمیمی برای کمبود مقاومت در برابر لغزشی می تواند فراهم شود. در این مقاله توجه صرفاً به اندازه گیری مقاومت لغزشی در شبکه های جاده ای به طور مداوم پرداخته می شود. در یک طبقه بندی کلی می توان اندازه گیری مقاومت لغزشی را به دو دسته تقسیم کرد:

- دستگاه های آزمایشگاهی قابل حمل؛

- دستگاه های اندازه گیری میدانی؛

روش های اندازه گیری نیز به دسته های دیگر تقسیم می شوند. اندازه گیری مقاومت لغزشی معمولاً به دسته های ثابت / قابل حمل و پویا / پیوسته طبقه بندی می شود که در شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه گیری توسط تجهیزات دینامیکی یا پویا - اندازه گیری مقاومت لغزشی توسط تجهیزات پویا می تواند به طور مداوم یا به صورت چرخه ای انجام شود (Douglas I, 2013)

تجربه نشان داده است که اگر چه آونگ انگلیسی تا حد زیادی از بافت ریز سطح آسفالت تأثیر می پذیرد، بافت درشت نیز می تواند بر روی اندازه گیری تأثیر داشته باشد. نتیجه اندازه گیری مقاومت لغزشی با *BPT* حاصل از سنگ های درشت دانه می تواند گمراه کننده باشد (Noyce et al., 2005). محققان دیگر نیز نشان دادند که آونگ انگلیسی رفتار غیر قابل اعتمادی را در اندازه گیری سطوح درشت دانه نشان داده است.

۳- روش های مختلف سنجش مقاومت لغزشی

روش های متعددی برای اندازه گیری مقاومت لغزشی بافت سطوح آسفالت و بتن وجود دارد، آزمایشات و دستگاه های مختلف هر کدام ویژگی های خاص خود را دارند که باعث محبوبیت و یا کاهش جذابیت آنها می شود و این دستگاه ها پارامترهای مختلف را اندازه گیری می کند (Haavasoja, T. 2010). یکی از این نقاط ضعف برخی از آنها زمان باری به کار گیری آنها است.



شکل ۱. طبقه بندی روش های اندازه گیری مقاومت لغزشی



شکل ۲. الف) دستگاه *DFT* در حال اندازه‌گیری؛ ب) مشاهده دیسک با لغزنده‌های لاستیکی (Wasilewska. M. a, 2016)

۴- دستگاه‌های قابل حمل و آزمایشگاهی با قابلیت ارزیابی مقاومت

لغزشی بر اساس *IFI* (شاخص لغزشی بین المللی)

علاوه بر آزمایشهای آونگ انگلیسی، لغزشی دینامیکی، آزمایش سر ریز، آزمایش پخش ماسه و بافت سنج دایره ای، آزمایشهای قابل حمل دیگری مانند آزمایش دینامیکی مقاومت لغزشی (*DFT*) و (*CTM*)... وجود دارند که کاربرد آنها توضیح داده می‌شود. آزمایش دینامیکی مقاومت لغزشی (*DFT*) یک دستگاه آزمایش کننده است که نیروی لغزشی بین سطح و سه کفشک لاستیکی متصل به دیسک چرخشی را اندازه‌گیری می‌کند. دیسک به حالت افقی و به صورت خطی چرخش می‌کند سرعت دیسک حدود ۲۰ تا ۸۰ کیلومتر در ساعت با بار ثابت است.

کفشک‌های لاستیکی می‌توانند با سطح مورد ارزیابی در سرعت‌های مختلف تماس حاصل کنند به طوری که *DFT* بتواند مقاومت لغزشی را در سرعت‌های مختلف اندازه‌گیری کند. در یک مطالعه (Wasilewska. M. a, 2016 Saito et al. 85) نشان داد که مقاومت لغزشی *DFT* و عدد آونگ انگلیسی (*BPN*) همبستگی بالا در هر نقطه برای هر سرعت اندازه‌گیری را دارد. هر دو روش آونگ انگلیسی و دستگاه *DFT* مبتنی بر تعیین میزان انرژی تلف شده جنبشی لغزش آونگ یا دیسک چرخشی است که در تماس با سطح روسازی قرار دارند. اندازه‌گیری لغزشی در سرعت‌های مختلف یک مزیت برای دستگاه *DFT* است زیرا قادر به اندازه‌گیری مقاومت لغزشی وابسته به سرعت را نشان می‌دهد.

با استفاده از دستگاه‌های قابل حمل مثل *CTM* و *DFT* (آزمایش دینامیکی لغزشی) امکان سنجش پیچیده مقاومت لغزشی وجود دارد. اندازه‌گیری‌های *CTM* می‌تواند بافت درشت با *MPD* (عمق پروفایل متوسط) را بدست آورد. همچنین بافت ریز را می‌توان با ضریب لغزشی *DFT20* با سرعت لغزش ۲۰ کیلومتر بر ساعت با استفاده از ابزار اندازه‌گیری لغزشی کم سرعت مانند *DFT* تخمین زد. مزیت مضاعف استفاده از این دستگاه‌ها امکان ارزیابی مقاومت لغزشی بر اساس *IFI* (شاخص لغزشی بین المللی) مطابق استاندارد است (*ASTM E1960-07, 2015*). که بر اساس *IFI* ضریب لغزشی (*FS*) را می‌توان در سرعت‌های مختلف لغزش محاسبه کرد. این امکان به ارزیابی و بهینه‌سازی اثرات ترکیبی بافت ریز و درشت در سطح مقاومت لغزشی می‌باشد (*Henry, J. J. 2000*). تنها ضعف *DFT* و *CTM* این واقعیت است که این روش‌ها کند هستند و نیاز به بستن خط دارد. در نتیجه، این امر می‌تواند باعث ایجاد مشکلات یا ایجاد خطرات احتمالی در مورد ایمنی شود. استفاده از برنامه مانتورینگ مقاومت لغزشی در شبکه جاده بسیار خطرناک است. بنابراین، این دستگاه‌ها بیشتر در آزمایشگاه‌ها یا کالیبراسیون دستگاه‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند که ضریب لغزشی را تحت ترافیک اندازه‌گیری می‌کنند (*Gardziejczyk, W. 2012*).



شکل ۳. (الف) دستگاه *CTM* در حال اندازه‌گیری؛ (ب) مشاهده سنسور لیزر (Henry, J J, 2000)

ابزار اندازه‌گیری لغزشی کم سرعت مانند *DFT* می‌توان با ضریب لغزشی *DFT20* با سرعت لغزش ۲۰ کیلومتر بر ساعت تخمین زدند. مقایسه اندازه‌گیری مقاومت (British Pendulum, ROAR DK, Grip Tester) لغزشی توسط دستگاه‌های مختلف (Baran, E., 2009).

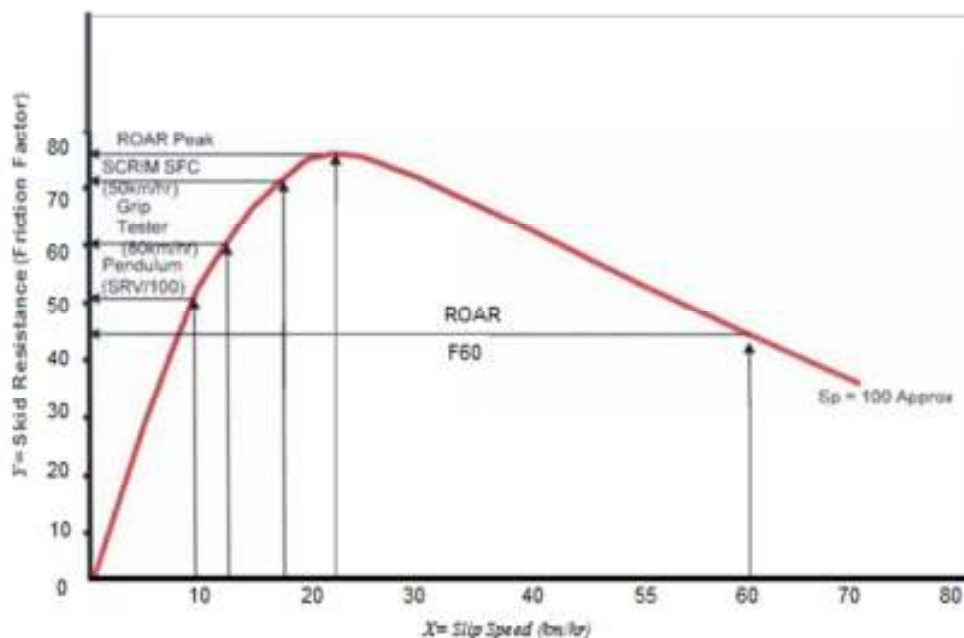
تجزیه و تحلیل روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که همه دستگاه‌ها به طور متفاوتی عمل می‌کنند، اما برخی از روش‌ها دارای مزایایی متفاوتی نسبت به هم هستند مثلاً (*Grip Tester, ROAR DK*). دستگاه‌های اندازه‌گیری با تجهیزات اندازه‌گیری بافت درشت سطح جاده اجازه می‌دهد که اندازه‌گیری عمق پروفایل (*MPD*) را برای مقایسه بیشتر و تجزیه و تحلیل وضعیت سطوح سطح جاده و رابطه بین مقاومت لغزشی و *MPD* را در اختیار کاربران می‌گذارد. دستگاه‌های متحرک و آهسته غیرمولد هستند زیرا اندازه‌گیری‌ها به صورت مکانیکی انجام می‌شود. با این حال این دستگاه‌ها هنگام اندازه‌گیری در مکان‌های خاص مفید هستند. دستگاه‌های ثابت و متحرک ارزان قیمت هستند، می‌توانند به راحتی حمل و نقل باشند (*Douglas I. 2013*). شکل ۴ مقادیر مقاومت لغزشی که از دستگاه‌های مختلف آزمون دریافت شده است را نشان می‌دهد.

بافت ریز و درشت تاثیر مهمی بر مقاومت لغزشی سطح جاده‌ها دارند. مقادیر اندازه‌گیری شده با دستگاه *DFT* و *CTM* برای محاسبه *IFI* مورد استفاده قرار می‌گیرد که این دو ویژگی سطح را مورد توجه قرار می‌دهد. در مقابل، دستگاه *SRT-3* به طور کامل اجازه نمی‌دهد مقاومت لغزشی را به طور کامل بررسی کند. به همین دلیل ارزیابی مقاومت لغزشی باید توسط دستگاه‌های با سرعت بالا در تمام انواع جاده‌ها صورت گیرد. از *CTM* و *DFT* می‌توان مقاومت لغزشی نقاط مانند اتصالات، نقاط مختلف یا مناطق کم سرعت استفاده کرد. آونگ انگلیسی، لغزشی دینامیکی، آزمایش سر ریز، آزمایش پخش ماسه و بافت سنج دایره‌ای، تست‌های کندی هستند که به دلیل سرعت کم اندازه‌گیری نیاز به بستن خط حرکت و کنترل ترافیک دارند. بعضی از این دستگاه‌ها دارای محدودیت هستند چرا که قادر به اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف بافت روسازی نیستند. این دستگاه‌ها نمی‌توانند برای ارزیابی شبکه راه مورد استفاده قرار گیرند. این دستگاه‌ها، فقط در مورد اندازه‌گیری نقاط مورد استفاده قرار می‌گیرند و قابلیت اندازه‌گیری مقاومت لغزشی شبکه راه را ندارند. جدول ۳ نقاط قوت و ضعف و همچنین استانداردهای مربوطه را توضیح می‌دهد (Henry, J J, 2000).

سنجش بوسیله *CTM* می‌تواند بافت درشت و با *MPD* (عمق پروفایل متوسط) را بدست آورد. همچنین بافت ریز را با استفاده از

جدول ۳. نقاط قوت و ضعف و همچنین استانداردهای مربوطه

استاندارد مربوطه	نقاط ضعف	نقاط قوت	شاخص اندازه‌گیری	روش آزمایش
(ASTM E303 – 93, 2018)	این وسیله تنها مشخصات اصطکاکی سطح در سرعت پایین را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج آزمایش بر روی سطوح با بافت درشت قابل اعتماد نمی‌باشد. عدد اونگی وابستگی زیادی به کابر و سرعت باد دارد. انجام آزمایش نیاز به کنترل ترافیک و مسدود کردن خط عبور می‌باشد. بدلیل اندازه‌گیری نقطه‌ای قابل استفاده برای ارزیابی در سطح شبکه نمی‌باشد.	رایج‌ترین دستگاه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی قابل استفاده برای ارزیابی‌های میدانی نقطه‌ای و آزمایشگاهی قابل حمل	دستگاه اونگ انگلیسی، عدد اونگی انگلیسی (BPN) را بر اساس ارتفاع برگشت پاندول بعد از تماس با سطح روسازی در سرعت پایین را فراهم می‌کند.	اونگ انگلیسی
(ASTM E1911-09, 2018)	انجام آزمایش نیاز به کنترل ترافیک و مسدود کردن خط عبور می‌باشد. همیشه مشخصات تایر- سطح روسازی را شبیه‌سازی نمی‌کند بدلیل اندازه‌گیری نقطه‌ای قابل استفاده برای ارزیابی در سطح شبکه نمی‌باشد.	با <i>DFT20</i> این روش می‌توان ضریب لغزشی را با سرعت لغزش ۲۰ کیلومتر بر ساعت تخمین زد. این روش تکرار پذیر است و تحت تاثیر اپراتور و یا باد قرار نمی‌گیرد. نتایج این روش ضرایب اصطکاکی در سرعت‌های بالا را گزارش می‌دهد. اعداد <i>IFI</i> همبستگی بالایی با عدد اونگی دارد.	این روش آزمایش شاخص‌هایی زیر را فراهم می‌نماید: اعداد <i>DFT</i> یا ضرایب اصطکاک اصطکاک حداکثر سرعت لغزشی حداکثر شاخص بین المللی اصطکاک (<i>IFI</i>) که از <i>F(60)</i> و <i>Sp</i> محاسبه می‌گردد. این روش نمودار ضرایب اصطکاک برای سرعت‌های چرخشی مختلف را نمایش می‌دهد	آزمایش لغزش سنج دینامیکی <i>DFT</i>
(ASTM E2157 – 15, 2015)	انجام آزمایش نیاز به کنترل ترافیک و مسدود کردن خط عبور می‌باشد. همیشه مشخصات تایر- سطح روسازی را شبیه‌سازی نمی‌کند بدلیل اندازه‌گیری نقطه‌ای قابل استفاده برای ارزیابی در سطح شبکه نمی‌باشد.	با این روش می‌توان بافت درشت با (عمق) پروفایل متوسط را بدست آورد. این روش تکرار پذیر است و تحت تاثیر اپراتور و یا باد قرار نمی‌گیرد. نتایج این روش ضرایب اصطکاکی در سرعت‌های بالا را گزارش می‌دهد. اعداد <i>IFI</i> همبستگی بالایی با روش درشت پخش ماسه اندازه‌گیری بافت دارد.	این روش آزمایش شاخص‌هایی زیر را فراهم می‌نماید: اعداد <i>CTM</i> یا ضرایب اصطکاک اصطکاک حداکثر سرعت لغزشی حداکثر شاخص بین المللی اصطکاک (<i>IFI</i>) که از <i>F(60)</i> و <i>Sp</i> محاسبه می‌گردد. این روش نمودار ضرایب اصطکاک برای سرعت‌های چرخشی مختلف را نمایش می‌دهد.	آزمایش لغزش سنج دایره‌ای <i>CTM</i>



شکل ۴. مقادیر مقاومت لغزشی که از دستگاه های مختلف آزمون دریافت شده است را نشان می دهد. (Baran, E., 2009)

۵- اندازه گیری میدانی شبکه راهها

های مستقیم، چهار روش اصلی اندازه گیری مقاومت لغزشی چرخ قفل شونده: در حالی که یک شرایط لغزش ۱۰۰ درصد تولید شده و مقاومت لغزشی اندازه گیری می شود. سرعت عملیاتی آزمایش مقاومت لغزشی با چرخ قفل معمولاً بین ۶۴ و ۹۶ کیلومتر در ساعت است. این آزمون را می توان با لاستیک صاف (*ASTM E 524*) یا لاستیک آج دار (*ASTM E 501*) انجام داد. تایر آج دار به ضخامت آب سطحی حساسیت دارد و به بافت درشت رویه حساسیت زیادی ندارد، اما لاستیک بدون آج و صاف به بافت درشت در سطح آسفالت حساس است. روش چرخ قفل شونده (*ASTM E 274*) را رایج ترین روش برای اندازه گیری لغزشی روسازی در ایالات متحده عنوان کرده است هنری (*Henry, J. J. 2000*). این روش با هدف اندازه گیری ویژگی های لغزشی سطح جاده تحت شرایط ترمز ناگهانی وسیله نقلیه بدون ترمز ضد قفل (*ABS*) می باشد. اگر چه کومیر و ولفگنگ نشان دادند که هزینه یک تریلر چرخ قفل شونده حدود ۹۰ درصد دیگر دستگاه های آزمایش میدانی است، اما هزینه های اولیه و عملیاتی تجهیزات آن نیز همچنان بالا است. (*Kummer, H. W. 1960*).

نیروی جانبی: اندازه گیری مقاومت لغزشی سطح جاده با استفاده

دستگاه های جدیدتر و خودکار از لاستیک هایی استفاده می کنند که با سرعت کمتر از لاستیک های وسیله نقلیه که به آن متصل شده اند، چرخش می کنند و منجر به عملکرد ترمز/ لغزشی می شود. نرخ ترمز ممکن است ثابت یا متغیر باشد و تایر ممکن است مستقیماً یا زاویه ای تنظیم شود. ضبط نتایج آزمایش ها در حال حاضر به صورت اتوماتیک انجام می شود که امکان جمع آوری داده های بیشتری را فراهم می کند و به راحتی تجزیه و تحلیل می شود. سنجش می تواند با استفاده از لاستیک های صاف یا آج دار انجام شود، اما برای نتایج بهتر و بیشتر سازگار، تایر صاف ترجیح داده می شود. اندازه گیری مقاومت لغزشی میدانی ناشی از نیروی تولید شده هنگامی که یک تایر قفل شده بر روی سطح یک جاده لغزش می کند اندازه گیری می شود. این روش اندازه گیری باید دقیق بوده و دارای تکرارپذیری بالا و قابلیت تکثیر باشد تا منعکس کننده شرایط واقعی میدانی را ایجاد نماید. آزمایش لغزشی شامل استفاده از یک تایر استاندارد آزمایشگاهی با یک لغزش کنترل شده چرخ (۰ تا ۱۰۰ درصد لغزش) به سطح جاده است که لغزشی بین چرخ آزمون و سطح آسفالت را اندازه گیری می کند (جامعه آمریکایی برای آزمایش و مواد) در خصوص اندازه گیری

اطلاعات را کاهش می دهد، اما خطر عدم شناسایی سایت‌هایی که مقاومت لغزشی آنها کمتر از حد آستانه است، افزایش می یابد (شکل ۴). آزمون ها و دستگاه موجود هر یک دارای ویژگی های خاصی خود می باشند و این دستگاهها پارامترهای مختلفی را اندازه گیری می کنند و بنابراین نتایج آنها را نمی توان مستقیما با یکدیگر مقایسه کرد.

اندازه گیری مقاومت لغزشی با سرعت بالا از یکی از این چهار حالت استفاده می کند: چرخ قفل شونده، نیروی جانبی، لغزش ثابت و یا لغزش متغیر. همانطور که توسط هنری (Henry, J., 2000) اشاره کرده است، شایعترین روش اصلاح مقاومت لغزشی روسازی در ایالات متحده، روش چرخ قفل شونده است (ASTM E303 - 93, 2018). این روش به منظور بررسی ویژگی های مقاومت لغزشی سطح تحت شرایط ترمز اضطراری برای وسیله نقلیه بدون ترمز ضد قفل است. بر خلاف روش های جانبی نیرو و لغزشی ثابت، رویکرد چرخ قفل شونده با سرعت خودرو اندازه گیری می کند، بدین معنا که چرخ قفل می شود و قادر به چرخش نیست (Henry, J. J., 2000). این دستگاهها معمولا در سرعت های بین ۴۰ تا ۶۰ مایل / ساعت (۶۴ و ۹۶ کیلومتر در ساعت) عمل می کنند. سنجش را می توان با استفاده از تایر صاف یا تایر آج دار انجام داد (-ASTM E1911, 2018, 09). تایر آج دار به ضخامت فیلم آب سطحی زیرزمینی حساس است. به این ترتیب به عمق بافت روسازی سطح جاده حساس است. از سوی دیگر، تایر صاف به بافت درشت حساس است. روش جانبی نیروی ASTM E 670 توانایی وسایل نقلیه را برای حفظ کنترل در منحنی اندازه گیری می کند و شامل حفظ زاویه ثابت، زاویه چرخش ثابت، بین تایر و جهت حرکت است. ضریب نیروی جانبی (SFC) به شرح زیر محاسبه می شود (Baran, E., 2009).

از آنجایی که زاویه چرخش معمولا کوچک است (بین ۷.۵ و ۲۰ درجه)، سرعت لغزش نیز بسیار کم است؛ به این معنی است که آزمون های نیروی جانبی به خصوص در بافت ریز حساس هستند، اما به طور کلی حساس به تغییرات در بافت درشت سطح جاده نیستند. دو نمونه از معمولترین وسایل اندازه گیری نیروی جانبی عبارتند از: Mu-Meter و (SCRIM). مزیت اصلی ارائه شده توسط دستگاه های اندازه گیری نیروی جانبی توانایی اندازه گیری مقاومت لغزشی مداوم در بخش های مختلف جاده را دارند (Henry, J. J., 2000). این وسیله تضمین می کند که

از یک چرخ دوار با زاویه ۲۰ درجه اندازه گیری می شود. روش نیروی جانبی (ASTM E670) توانایی وسایل نقلیه برای حفظ کنترل در قوس را مورد آزمایش قرار می دهد. در این آزمون، باید چرخ آزمون با یک زاویه ثابت به جهت حرکت نگه داشته شود. چرخ آزمون با استفاده از نیروی جانبی با زاویه ای نسبت به جهت حرکت وسیله نقلیه حرکت می کند؛ زیرا وضعیت بحرانی برای مقاومت لغزشی زمانی است که خودرو در حال گذر از یک پیچ است. تست های جانبی نیرو به تغییرات بافت ریز سطح حساس است، اما به طور کلی به آسفالت بافت درشت حساس نیست. دو دستگاه اندازه گیری نیروی جانبی که به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند، عبارتند از Mu-Meter و ماشین اندازه گیر ضریب مقاومت جانبی سطح راه (SCRIM) که توانایی اندازه گیری لغزشی مداوم در طول قطعه مورد آزمون را دارد، و آن مزیت اصلی دستگاه های اندازه گیری نیروی جانبی است، زیرا این توانایی تضمین می کند که رویه های با لغزشی کم، مورد ارزیابی قرار گیرند.

● **لغزش ثابت:** لغزشی برای چرخ هایی است که به طور مداوم لغزش را اندازه گیری می کنند. دستگاه های لغزشی ثابت با استفاده از وسایل نقلیه با سیستم ضد قفل ترمز برای اندازه گیری مقاومت لغزشی استفاده می شود. این دستگاه یک لغزش ثابت دارد، معمولا بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، که به عنوان یک بار عمودی به چرخ آزمون اعمال می شود. این دستگاهها به بافت ریز در سرعت لغزش بسیار حساس هستند.

لغزش متغیر: دستگاه های لغزش متغیر (ASTM E1859) از یک مجموعه از مقادیر پیش تعیین شده برای اندازه گیری نیروی لغزشی استفاده می کند. در تمامی روش های مربوط به چرخ قفل شونده و لغزش متغیر لاستیک، ضریب لغزشی بر روی سطوح مرطوب اندازه گیری می شود.

۶- اندازه گیری با سرعت مقاومت لغزشی شبکه راه

اندازه گیری با سرعت مقاومت لغزشی شبکه راه بسیار گران است و استراتژی تواتر اندازه گیری باید مطابق با هزینه های اندازه گیری و اهداف اندازه گیری انتخاب شود. سنجش مقاومت لغزشی کل شبکه سالانه گرانترین گزینه است، اما اجازه می دهد تا مقاومت لغزشی زمانی که در پایین ترین مقدار در طول سال است انجام و مقایسه داده ها بین سالهای دیگر انجام شود. اندازه گیری هایی که کمتر انجام می شود، هزینه های پردازش

عنوان یک بار عمودی برای تایر استفاده می‌شود (Henry, J. J., 2000). دستگاه‌های لغزش متغیر نیروی مقاومت لغزشی را اندازه گیری می‌کنند. شده نسبت‌های لغزشی استفاده می‌شود (Kummer. H. W. 1960).

مناطق با مقاومت لغزشی کم، در نظر گرفته می‌شود. دستگاه های سنجش ثابت مقاومت لغزشی تجربه شده توسط وسایل نقلیه دارای ترمز ضد قفل را اندازه می‌گیرند. دستگاه های لغزش ثابت، یک لغزشی ثابت را معمولا بین ۱۰ تا ۲۰ درصد ایجاد می‌کنند به

۷- ارزیابی روش‌ها و دستگاه‌ها

جدول ۴ به روشهای چهارگانه سنجش مقاومت لغزشی شبکه راه‌ها، استاندارد مربوطه، توضیحات در خصوص عملکرد هر روش و همچنین عکس و خصوصیات روشها جهت مقایسه ساده‌تر آنها پرداخته است.

جدول ۴. بررسی روشهای چهارگانه سنجش مقاومت لغزشی شبکه راه‌ها، استانداردها، عملکرد و خصوصیات روش‌ها

روش آزمایش	استاندارد مربوطه	توضیحات	دستگاه
چرخ قفل شونده	ASTM E 274	این دستگاه بر روی یک تریلر نصب شده است که از پشت به یک وسیله اندازه گیری کننده وصل است که با سرعت ۶۴ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کند. آب با ضخامت ۰/۵ میلی متر در جلو تایر ریخته می‌شود، چرخ آزمایش در صورت لزوم به اندازه مورد نیاز پایین آورده می‌شود، و سیستم ترمز چرخ آزمایش را قفل می‌کند. سپس نیروی کشش مقاومتی اندازه گیری می‌شود و برای ۱ تا ۳ ثانیه پس از چرخ قفل شده به طور میانگین محاسبه می‌شود. اندازه گیری‌ها می‌تواند بعد از اینکه چرخ به حالت چرخش آزاد در آید، تکرار شود.	 <p>آزمایش نیاز به یک وسیله نقلیه کشنده و تریلر لغزشی قفل شده و مجهز به یک لاستیک آج دار (ASTM E501) و یا لاستیک صاف (ASTM E 524) دارد. تایر صاف نسبت به بافت بافت درشت بیشتر حساس است و تایرهای آج‌دار حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات بافت ریز سطح دارند.</p>
نیروی جانبی	ASTM E 670	دستگاه‌های اندازه‌گیری لغزشی نیروی جانبی، اندازه گیری لغزشی جانبی یا نیروی محور چرخان عمود بر جهت حرکت را با یک یا دو لاستیک زاویه دار می‌سنجند. آب بر روی سطح جاده (۱.۲ لیتر در دقیقه) پاشیده می‌شود و یک یا دو چرخ چرخان آزاد شده بر روی سطح (معمولا با سرعت ساعت ۶۴ کیلومتر بر ساعت) کشیده می‌شود. نیروی جانبی، بار تایر، فاصله و سرعت خودرو ثبت می‌شوند. داده‌ها به طور معمول هر ۲۵ تا ۱۲۵ میلی متر و به طور متوسط هر ۱ متر فاصله میانگین گیری می‌گردند.	 <p>- میو متر بریتانیا، در سمت چپ نشان داده شده، نیروی جانبی را که توسط دو چرخ دیفرانسیل (۷/۵ درجه) ساخته شده است اندازه می‌گیرد. لاستیک‌ها می‌توانند صاف یا آج دار باشند. ماشین بررسی کننده ضریب نیروی جانبی (SCRIM)، نشان داده شده در سمت چپ، چرخ آزمون دارای یک زاویه چرخش ۲۰ درجه دارد.</p>

 <p>-دستگاه اندازه گیری سطح -جاده‌ها و یا فرودگاه‌ها (SFT)، در سمت چپ نشان داده شده است. -گریپ تستر انگلستان Griptester، در سمت چپ نشان داده شده است. -BV-11 - آنالیزکننده راه فنلاند و ضبط کننده (ROAR) -آزمون ASTM E 1551 در این آزمون لاستیک آزمایش مناسب برای استفاده در دستگاه‌های لغزش ثابت پیشنهاد می‌گردد.</p>	<p>دستگاه‌های لغزش ثابت بر روی یک تریلر یا وسیله نقلیه نصب شده است که مقاومت لغزشی چرخ آزمون با لاستیک صاف را با سرعت لغزش ثابت (۱۲ تا ۲۰ درصد) اندازه‌گیری می‌کنند. آب با ۰/۵ میلی متر ضخامت در مقابل چرخ آزمون وارد می‌شود و تریلر به طور معمول با سرعت ۶۴ کیلومتر/ساعت حرکت می‌کند. چرخش چرخ آزمون به یک درصد از سرعت خودرو با یک مکانیزم زنجره‌ای یا تسمه یا سیستم ترمز هیدرولیکی مهار می‌شود. بارهای چرخ و نیروهای لغزشی با استفاده از مبدل‌های نیرو یا دستگاه‌های اندازه گیری تنش و گشتاور اندازه گیری می‌شوند. داده‌ها به طور معمول هر ۱ متر در (۲۵ تا ۱۲۵ میلی متر) و به طور متوسط هر ۱ متر فاصله جمع آوری شده و میانگین گیری می‌شود.</p>	<p>گوناگون</p>	<p>لغزش ثابت</p>
 <p>IMAG فرانسوی Norsemeter نروژی RUNAR در سمت چپ نشان داده شده سیستم های ROAR و SALTAR-</p>	<p>دستگاه‌های لغزش متغیر لغزشی را به عنوان تابع لغزش (۰ تا ۱۰۰ درصد) بین چرخ و سطح بزرگراه اندازه می‌گیرند. آب با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر به سطح جاده اعمال می‌شود و چرخ آزمون با دوران آزاد حرکت می‌کند. به تدریج سرعت چرخ آزمون کاهش می‌یابد و سرعت خودرو، فاصله سفر، سرعت چرخش تایر، بار چرخ و نیروی لغزشی در فواصل ۰/۱ یا ۲/۵ میلیمتر یا کمتر جمع می‌شود. داده‌های خام برای غربالگری و گزارش گیری بعدی ثبت می‌شوند.</p>	<p>ASTME1859</p>	<p>لغزش متغیر</p>

در جدول ۵ مزایا و معایب روش های مختلف اندازه‌گیری دینامیکی مقاومت لغزشی بزرگراه‌های آسفالتی آورده شده است.

جدول ۵ مقایسه انواع روش‌های اندازه‌گیری مقاومت لغزشی

روش آزمایش	تماسی	غیر مخرب	نیازمند کنترل ترافیک	نیاز به نرم افزار	ارزیابی لغزشی روسازی در حالت خیس
چرخ قفل شده	√	√	-	-	√
نیروی جانبی	√	√	-	-	√
لغزش ثابت	√	√	-	-	√
لغزش متغیر	√	√	-	-	√
اندازه گیری فاصله‌ی توقف	√	√	√	-	√
آونگ انگلیسی	√	√	√	-	-
آزمایش لغزشی دینامیکی	√	√	√	-	-

جدول ۶. عملکرد، مزایا و معایب روش‌های مختلف اندازه‌گیری دینامیکی مقاومت لغزشی بزرگراه‌های آسفالتی

روش	شاخص اندازه‌گیری	عملکرد	مزایا	معایب	استاندارد مربوطه
چرخ قفل شونده	مقاومت نیروی کششی را اندازه‌گیری می‌کند و چرخ بارگذاری شده اعمال شده برای محاسبه ضریب اصطکاک μ سطوح استفاده می‌شود. مقاومت لغزشی به عنوان عدد آونگی (PN) یا عدد لغزشی (SN) گزارش می‌گردد.	قابلیت اندازه‌گیری مقاومت لغزشی قسمتهای مستقیم جاده ها را دارد. جهت نظارت بر مقاومت لغزشی در سطح شبکه بکار می‌رود.	به خوبی توسعه یافته و به طور گسترده‌ای در ایالات متحده آمریکا استفاده می‌شود. بیش از ۴۰ ایالت از چرخ قفل شده استفاده می‌کنند. استفاده از دستگاه‌های چرخ قفل شده کاربر پسند، نسبتا ساده، و وقت گیر نیستند.	فقط در بخش‌های راست و مستقیم بدون هیچ منحنی، سه را می، و یا تقاطع، استفاده می‌شود. قادر به اندازه‌گیری نقاط لغزنده نیست زیرا اندازه‌گیری‌ها متناوب هستند.	ASTM E274
نیروی جانبی	نیروی جانبی عمود بر سطح چرخش، برای محاسبه میانگین عدد میو، (MuN) یا برای محاسبه ضریب نیروی جانبی، SFC، محاسبه می‌شود.	آزمایش میدانی قطعه مستقیم، منحنی، شیب تند انجام می‌شود. داده‌ها در برنامه‌های مختلف باید جداگانه جمع‌آوری شوند.	اندازه‌گیری کنترل شده مقاومت لغزشی شبیه به نتایج دستگاه لغزش ثابت است. اندازه‌گیری‌ها در طول بخش‌های روسازی بصورت آزمون پیوسته است. این روش معمولا در اروپا استفاده می‌شود.	بسیار حساس به خرابی‌های جاده (چاله‌ها، ترک‌ها، و غیره) است که می‌تواند به سرعت از بین بردن لاستیک شود. میو متر عمدتاً برای فرودگاه‌های ایالات متحده استفاده می‌شود.	ASTM E670
لغزش ثابت	مقاومت نیروی کششی و بار چرخ اعمال شده روی سطح برای محاسبه ضریب اصطکاک μ استفاده می‌شود. مقاومت لغزشی به عنوان PN گزارش می‌گردد.	ارزیابی میدانی (بخش‌های مستقیم جاده). نظارت بر مقاومت لغزشی در سطح شبکه. نظارت بر مقاومت لغزشی در سطح پروژه	داده‌های ثابت مقاومت لغزشی با دقت بالا جمع‌آوری می‌گردد.	دستگاه‌های لغزش ثابت اندازه‌گیری را با سرعت لغزش مشخص انجام می‌دهد. سرعت لغزش آنها همواره با سرعت لغزش بحرانی، بویژه روی سطوح تحت پوشش یخ و برف، هماهنگ نیست. مقدار زیادی آب در حالت مداوم استفاده می‌شود. نیاز به نیروی کار ماهران دارد.	استانداردهای مختلف
لغزش متغیر	هنگامی که برای اندازه‌گیری‌های لغزش متغیر استفاده می‌شود، سیستم یک نمودار همبستگی بین اصطکاک لغزش و سرعت لغزش فراهم می‌کند. شاخص‌های حاصل عبارتند از: * عدد لغزشی طولی * عدد لغزشی ماکزیمم * نسبت لغزش بحرانی * نسبت لغزش * لغزش به عدد مقاومت لغزشی * برآورد تخمینی اعداد لغزشی * عامل	ارزیابی میدانی (بخش‌های راست یا منحنی) را اندازه‌گیری می‌کند. کنترل بر مقاومت لغزشی در سطح شبکه. کنترل بر مقاومت لغزشی در سطح پروژه	می‌تواند به طور مداوم هرگونه نتایج مقاومت لغزشی ثابت یا متغیر ارائه ارائه دهد. می‌تواند عامل شکلی را برای ارزیابی دقیق ارائه دهد.	تجهیزات بزرگ و پیچیده با هزینه‌های نگهداری بالا و نیازهای پردازش و تجزیه و تحلیل پیچیده اطلاعات می‌باشد. مقدار زیادی آب به حالت مداوم استفاده می‌شود.	ASTM E1859

۹-مراجع

- ASTM E524 – 08, (2015), “Standard Specification for Standard Smooth Tire for Pavement Skid-Resistance Tests.
- ASTM E670 – 09, (2015), “Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter.
- Baran, E., (2009), “Slide Presentation on Skid Resistance & Texture Data Collection and Assessment”, 6 February, Brisbane, Queensland Transport and Main Roads.
- Cafiso, S.; Taormina, S. (2007), “Texture analysis of aggregates for wearing courses in asphalt pavements”, International Journal of Pavement Engineering pp.45–54. <http://dx.doi.org/10.1080/10298430600898307>.
- Crisman, B.; Roberti, R. (2012), “Tire wet-pavement traction management for safer roads”, Social and Behavioral Sciences, Vol.53: pp.1055–1068. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.955>.
- Douglas I. Anderson, P.E. May (2013), “Skid Correction Program User’s Manual Prepared For: Utah Department of Transportation Research Division Submitted By: University of Utah Department of Civil & Environmental Engineering.
- Gardziejczyk, W., Wasilewska, M., (2012), “Assessment of skid resistance of asphalt mixtures in laboratory conditions”. Archive of civil engineering, Vol.58, (4), pp.521- 534.
- Al-Masaeid, H. R. (1997), “Impact of pavement condition on rural road accidents”. Canadian Journal of Civil Engineering 24(4): pp.523–531. <http://dx.doi.org/10.1139/I97-009>.
- Asi, I. M. (2005), “Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes, Building and Environment”, Vol. 42: pp.325–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.020>.
- ASTM E1859 / E1859M – 11 (2015), “Standard Test Method for Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique”.
- ASTM E1911-09ae1, (2015), “Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester.
- ASTM E1960-07(2015), “Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface”, standard by astm international2015.
- ASTM E2157 – 15, (2015), “Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter”.
- ASTM E274/E274M–11, (2011), “Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire”. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E303 - 93(2018), “Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester”.
- ASTM E501 – 08, (2015), “Standard Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests.

SIRWEC Conference, Quebec City, Canada.

- Henry, J J, ABE, H, Kameyama, S, Tamai, A, Kasahara, A, Saito, K. (2000) "Circular Texture Meter (CTM) and the Dynamic Friction Tester (DFT), 4th International Symposium on Pavement Surface Characteristics of Roads and Airfields), Nantes, France.

- Henry, J. J. (2000), "Evaluation of Pavement Friction Characteristics". NCHRP Synthesis of Highway Practic.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.02.012>.

-Wasilewska. M. a, Gardziejczyk W a, Gierasimiuk P., (2016), "a Evaluation of skid resistance using CTM, DFT and SRT-3 devices6th Transport Research Arena April 18-21, a Bialystok University of Technology", Wiejsca, Poland, 45A, pp.15-351.

-Wilson, D.J. and Dunn, R. (2005)," Analyzing Road Pavement Skid Resistance". ITE 2005 Annual Meeting and Exhibit Compendium of Technical Papers, Melbourne, pp.7-10.

-Gothie, M. (1996), "Relationship between Surface Characteristics and Accidents", in Proceedings of 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics, pp.271-281.

-Haavasoja, T.; Pilli-Sihvola, Y. (2010), "Friction as a measure of skidpery road surfaces", in Proceedings of the 15th SIRWEC Conference, Quebec City, Canada.

-Haavasoja, T.; Pilli-Sihvola, Y. (2010), "Friction as a measure of skidpery road surfaces", in Proceedings of the 15th

-Kane, M.; Scharnigg, K. (2009), "Report on different parameters influencing skid resistance, rolling resistance and noise emissions". TYROSAFE project deliverable D10, pp.95.

- Kokkalis, A.G. and Panagouli, O.K. (1998) Fractal Evaluation of Pavement Skid Resistance Variations. I: Surface Wetting. Chaos, Solitons & Fractals, 9, 1875-1890.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-0779\(97\)00138-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-0779(97)00138-0)

-Kummer. H. W. , Wolfgang E. Meyer, (1960), "Rubber and Tire Friction" Pennsylvania State University, College of Engineering andArchitecture, Automobiles – pp.96.

-Noyce et al., (2005), "National Highway Traffic Safety Administration" [NHTSA], Research Board, Washington D.C.

-Wang, C.; Quddus, M.; Ison, S. (2013), "The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction", Safety, Science, Vol. 57,pp.264-275.