

بررسی روش‌های جدید تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی و مقایسه

با روش‌های تک نقطه‌ای و مدل NUS

مقاله پژوهشی

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

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

دریافت: ۹۸/۰۴/۰۸ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۵

صفحه ۴۰-۱۷

چکیده

سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL) فرایندی است که به طور گسترده در مدیریت روسازی بکار می‌رود تا حداقل مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده را به طور استاندارد به عنوان آستانه برای فعال سازی تعمیر و نگهداری هر بخش از روسازی که دارای مقاومت لغزشی کمتری نسبت به این آستانه باشد، جهت ایمنی رانندگی در سطح مرطوب و خطرناک را تعیین نماید. روش‌های مختلفی جهت تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی در کشورهای مختلف (بسته به شرایط اقلیمی آنها) به کار گرفته می‌شود. تعیین دقیق آستانه مقاومت لغزشی دارای اهمیت فراوان است و همچنین اجرای به موقع آن باعث جلوگیری بسیاری از تصادفات می‌گردد. تاکنون روش‌های تک نقطه‌ای مختلفی جهت تعیین آستانه مقاومت لغزشی در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است از جمله: روش سه نقطه روی منحنی، روش کل کشوری، گروه‌بندی نمودار درختی و سلسله مراتبی و... از آنجایی که اندازه‌گیری تک نقطه‌ای مقاومت لغزشی برای نشان دادن عملکرد مقاومت لغزشی در یک سطح روسازی دقیق نیست. لذا، این محدودیت عمده مدل‌های تک نقطه‌ای را می‌توان با استفاده از مدل‌های مقاومت لغزشی دو پارامتری یعنی مدل مقاومت لغزشی Penn State و مدل شاخص اصطکاک بین المللی PIARC (IFI) مدل کل کشوری CRR-SN برطرف کرد. مدل NUS یکی از آخرین مدل‌هایی است که بطور دقیق تر جهت تعیین آستانه استفاده شده و به کارگیری هر یک از آنها در این مقاله مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: سطح آستانه، آستانه مقاومت لغزشی، تصادفات، شاخص اصطکاک بین المللی

۱-مقدمه

لغزشی دارد. عمده نگرانی در مورد کاهش قابل ملاحظه مقاومت لغزشی در شرایط آب و هوایی مرطوب است، زمانی که یک لایه از فیلم آب روی سطح جاده وجود دارد (Hall et al., 2009). آستانه مقاومت لغزشی فرایندی است که به طور گسترده در مدیریت روسازی بکار می‌رود تا حداقل مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده را به طور استاندارد برای فعال سازی تعمیر و نگهداری برای رانندگی در

آستانه مقاومت لغزشی حداقل نیرویی است که تایر خودرو را از لغزش‌های دوار بر روی سطح خیس جاده مصون می‌دارد Highway Research Board, 1972). مقاومت لغزشی یک پارامتر ارزیابی ایمنی بسیار مهم است زیرا مقاومت لغزشی ضعیف می‌تواند منجر به حوادث رانندگی در هنگام ترمز اضطراری شود. به طور کلی، مقاومت لغزشی آسفالت‌های خشک بسیار بالا است و به ندرت خطر

مقاومت لغزشی در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد به طور مثال: روش سه نقطه روی منحنی، روش کل کشوری، گروه‌بندی نمودار درختی و سلسله مراتبی و ... در روش‌های تک نقطه ای به منظور انجام یک مطالعه ایمنی، معمولاً داده‌های مختلفی مانند داده‌های (راننده، وسیله نقلیه، آب و هوا و سایر اطلاعات مربوط به تصادف)، داده‌های وضعیت روسازی، داده‌های موجود در جاده‌ها و داده‌های ترافیک در نظر گرفته می‌شود و همچنین نرم افزارهای مختلفی جهت جمع آوری اطلاعات آنها موجود می‌باشد که یکی از این نرم افزارها TxDOT است که بیشترین این اطلاعات را در چندین بانک اطلاعاتی جمع آوری و نگهداری می‌کند، از جمله سیستم اطلاعات آمار تصادفات (CRIS)، سیستم اطلاعات مدیریت روسازی (PMIS)، شبکه موجودی جاده‌ها (RHINO) و Network Inventory Geometric-Highway Geo-HINI را می‌توان مورد استفاده قرار داد. جدول ۱ انواع موارد در ارتباط با مقاومت لغزشی در سطوح همراه با نرم افزارهای سیستم بانک اطلاعات مرتبط که در تعیین سطح آستانه آورده شده است. متغیرهای دیگر همچنین تاثیر قابل توجهی بر ایمنی دارند، از قبیل عوامل آب و هوایی، نوع زمین و پل‌ها. بیشتر این اطلاعات در پایگاه داده CRIS قرار می‌گیرد. ادغام داده‌ها از منابع مختلف، از جمله PMIS، CRIS، RHINO و GeoHINI مجموعه داده‌ها، بعد از قابلیت اطمینان، کامل بودن و هماهنگی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای اطمینان از اینکه مقادیر داده‌های در یک محدوده به دقت بررسی شده‌اند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ادغام داده‌ها تنها در صورتی امکان‌پذیر است که این منابع داده‌ها دارای یک سیستم مشابه باشند تا اطلاعات از منابع مختلف به درستی با هم مرتبط شوند. تعاریف هر سیستم ارجاع و نحوه استفاده از آنها برای هر منبع داده برای شناسایی رویکرد یکپارچه‌سازی داده‌ها بسیار مهم است.

سطح مرطوب و خطرناک هر بخش از روسازی که دارای مقاومت لغزشی کمتری نسبت به این آستانه باشد، را تعیین نماید (Hall et al., 2009). روش‌های مختلفی جهت تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL) در کشورهای مختلف (بسته به شرایط اقلیمی آنها) به کار گرفته می‌شود. اهمیت تعیین دقیق آستانه مقاومت لغزشی جهت اجرای سیاست مدیریت و کنترل مقاومت لغزشی در طول راه‌های ایران در مرحله نخست به روش‌ها و ماشین آلات مورد نیاز دارد که در اکثر کشورها بصورت موفقیت آمیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌توان از تجربیات آنها در طول سالیان در برداشت اطلاعات و ایجاد بانک اطلاعاتی مناسب برای جاده‌های کشور مورد استفاده قرار داد. دستگاه‌های متعددی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی بافت سطحی در دنیا وجود دارد. ماشینهایی که بتوانند در ایران این اندازه‌گیری‌ها را انجام دهند عبارتند از گریپ تستر و ماشین اسکریپ (م.ر. سلیمانی ۱۳۹۷).

بر اساس اندازه‌گیری این دستگاه‌ها و طی فرایندی (سطح آستانه) هر قسمت از روسازی که دارای مقاومت لغزشی برابر و یا کمتر از آستانه داشته باشد، برای رانندگی در هوای مرطوب خطرناک محسوب می‌شود و باید طبق استاندارد ارتقا یابد. مقاومت لغزشی با ضخامت فیلم آب بر روی سطح روسازی بستگی دارد. در یک آزمون، سرعت بالای خودرو و لایه ضخیم آب، مقاومت لغزشی پایین تری را نشان می‌دهد. تاکنون، جهت بررسی موارد اثربخشی مقاومت لغزشی به یک روش آزمایش استاندارد سنجش مقاومت لغزشی بر اساس تجهیزات آزمون مشخص، سرعت آزمایش و ضخامت فیلم آب ثابت انجام می‌شد. در این آزمون‌ها حداقل مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده به طور استاندارد به عنوان آستانه مقاومت لغزشی برای فعال سازی تعمیر و نگهداری برای دست اندرکاران بزرگراهی مشخص می‌شود (Hall et al. 2009). تصادفات ترافیکی حوادث پیچیده‌ای هستند که به وسیله ترکیبی از عوامل مرتبط با راننده، وسایل نقلیه و بزرگراه‌ها به وجود می‌آیند. روشهای تک نقطه ای متعددی جهت تعیین آستانه

۲- مدیریت مقاومت لغزشی

و نگهداری پوشش‌های سطحی برای اصلاح مقاومت لغزشی از طریق سطح تحقیق و سطح آستانه (IL و TL) مناسب برای گروه منطقه‌ای با خطر تصادف رانندگی برای منطقه دارای ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه مقاومت لغزشی را می‌توان با توجه به این سه مورد مهم مدیریت نمود.

- سطح تحقیق (IL)
- گروه منطقه‌ای (SC)
- سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL)

اندازه‌گیری مقاومت لغزشی سالانه در اکثر خطوط راه توسط ضریب SCRIM در هر دو مسیر چرخ (رفت و برگشت) و بافت درشت اندازه‌گیری می‌شود. همانطور که مقاومت لغزشی در طول زمان متغیر است، داده‌ها با تغییرات فصلی تصحیح شده و نرمالیزه می‌گردد که برای بدست آوردن ضریب تعادل اسکریم (ESC) و برای تغییرات هر سال و همچنین تغییرات بین سالی استفاده می‌شود. ضریب تعادل اسکریم به عنوان یک عامل برای اولویت‌بندی تعمیر

جدول ۱. نرم‌افزارها و سیستم بانک اطلاعات مرتبط در تعیین سطح آستانه

ردیف	نوع اطلاعات	سیستم بانک اطلاعات
۱	رفتار راننده	CRIS
۲	اطلاعات تصادفات	CRIS
۳	اطلاعات خودرو	CRIS
۴	اطلاعات جاده	PMIS
۵	اطلاعات ترافیکی	PMIS .RHiNo & Geo-HINI
۶	سایر اطلاعات	CRIS

۲-۱- سطح تحقیق (IL)

در جدول ۲ نشان دهنده یک حد بالا از مقاومت لغزشی سطح است که در آن مقاومت لغزشی به عنوان حد رضایت در نظر گرفته می‌شود اما مقادیر حداقل و یا کمتر از آن نیازمند به ارزیابی دارد. سطوح تحقیق بر اساس سطح ریسک گروه‌بندی مناطق تعیین می‌شوند. ارزیابی سطح منطقه بر اساس یک برنامه دوره‌ای ارزیابی می‌شود تا اطمینان حاصل شود که تغییرات در شبکه شناسایی شده است، تجربه خبرگان محلی اعمال گشته و سازگاری یکپارچه حاصل شده است.

سطح تحقیق (IL) یک سطح اولویت نگهداری است که با دو هدف تعیین شده است:

- الف- برای مقایسه ریسک رانندگی در یک جاده مرطوب منجر به تصادف در شبکه بزرگراهی.
- ب- تعادل اقتصادی بین هزینه دستیابی به مقاومت لغزشی مناسب و صرفه جویی در هزینه تصادفات.

۲-۲- گروه منطقه‌ای (SC)

گروه منطقه (SC) براساس ویژگی‌های گسترده‌ای از نوع جاده و هندسه راه به علاوه ویژگی‌های خاص دیگر تعیین می‌شود.

۲-۳- سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL)

فرایندی است که به‌طور گسترده در مدیریت روسازی بکار می‌رود تا حداقل مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده را به طور استاندارد به عنوان آستانه برای فعال‌سازی تعمیر و نگهداری هر بخش از روسازی که دارای مقاومت لغزشی کمتری نسبت به این آستانه باشد، برای رانندگی در سطح مرطوب و خطرناک تعیین نماید (Highway Research Board 1972؛ Hall et al., 2009).

جدول ۲. سطوح تحقیق مقاومت لغزشی

گروه	موقعیت		سطح تحقیق IL (در سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت)						
			۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۰
منطقه (SC)	ESC		۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۰
	Grip Number		۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۳۵
B	بزرگراه دو خطه بدون رویداد*								
C	بزرگراه یک خطه بدون رویداد								
D	بزرگراه یک خطه بدون رویداد دارای محدوده سرعت $50 \geq$ کیلومتر در ساعت								
Q	نزدیک به تقاطع اصلی و فرعی و میادین و در طول آنها و نزدیک به میادین								
K	نزدیک به خطوط عبور عابر پیاده و سایر نقاط با ریسک خطر بالا								
R	میادین								
G1	شیب $\leq 10\%$ و دارای طول بیش از ۵۰ متر								
G2	شیب ۵-۱۰٪ و دارای طول بیش از ۵۰ متر								
S1	پیچ دارای شعاع ≥ 500 متر در بزرگراه های دوخطه								
S2	پیچ دارای شعاع ۲۵۰ الی ۵۰۰ متر در بزرگراه های یک خطه								
S3	پیچ دارای شعاع ≥ 250 متر در بزرگراه های یک خطه								

۳- روش‌های معمول تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL)

در کشورهای مختلف دنیا روش‌های متعددی جهت تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی بکار گرفته می‌شود که در زیر به متداول‌ترین آنها به طور مختصر پرداخته می‌شود.

۳-۱- روش نسبت نرخ تصادفات CRR

به طور معمول تجزیه و تحلیل تصادفات برای ایجاد یک رابطه کلی بین تصادف و عوامل موثر (۱)

فرض شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون آماری استفاده می‌گردد. آستانه مقاومت لغزشی که توسط ASTM-SN انجام شد نشان داده است که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر هر دو فرکانس تصادف و سرعت تصادف دارد. درهم آمیختن مقاومت لغزشی و دیگر عوامل مرتبط با تصادف باعث شده است که تعیین آستانه مقاومت لغزشی در عملیات دشوار باشد. از نتیجه این تحقیقات، یک رویکرد جدید برای اندازه‌گیری رابطه بین تصادفات و مقاومت لغزشی حاصل گردید.

$$CRR = \frac{P_{CR}^{SN}}{P_{LM}^{SN}}$$

CRR = نسبت نرخ تصادفات

P_{CR}^{SN} = درصد تجمیعی از کل تصادفات کمتر از یک SN خاص

P_{LM}^{SN} = درصد تجمیعی از کل خط کیلومتر راه برابر و یا کمتر از یک SN خاص

۳-۲- تعیین میزان آستانه عدد لغزشی از روش سه نقطه روی منحنی

مزیت این روش این است که سطح ایمنی به عنوان معیار تعیین کننده در انتخاب عدد لغزشی و آستانه‌های متعدد برای هر منحنی توسعه یافته شناسایی می‌شود. از سه نقطه شکست که منحنی را به چهار منطقه تقسیم کردند استفاده می‌شود. سه نقطه جهت تصمیم‌گیری پیشنهادی:

الف- هیچ اقدام لازم نیست

ب- احتیاط لازم است و

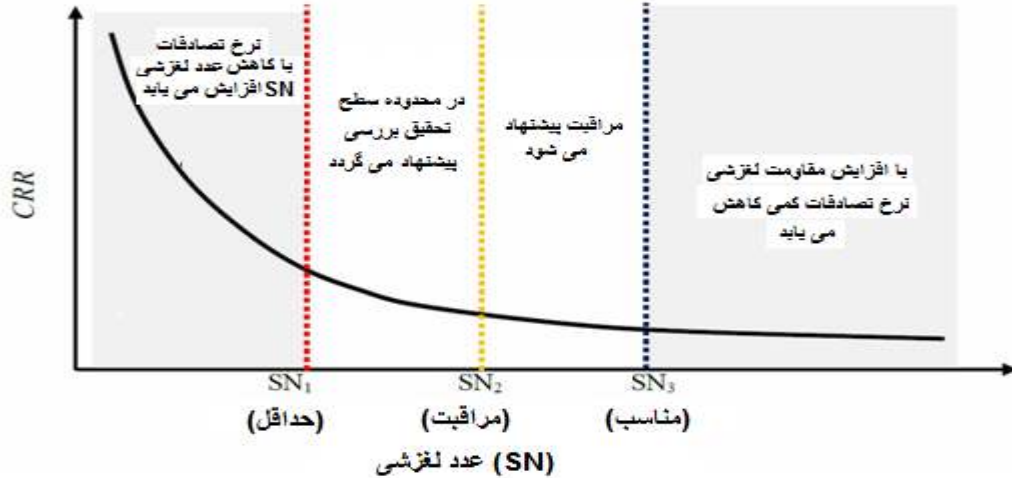
ج- آزمایش دقیق در سطح پروژه باید برای تعیین اینکه آیا تعمیر مورد نیاز است انجام شود.

در تعیین میزان آستانه عدد لغزشی روشهای متعددی وجود دارد که یکی از این روشها روش سه نقطه روی منحنی می‌باشد. با توجه به رابطه تئوریک ریسک تصادف و مقاومت لغزشی، آستانه‌های SN خطرناک را می‌توان با بررسی ویژگی‌های منحنی شکل ۱ شناسایی کرد.

CRR روش معمولی است که برای تعیین مقادیر آستانه خطر با شناسایی CRR های معمولی انتخاب شده و سپس اعداد لغزشی مربوطه آنها را تعیین می‌کند.

روسازی‌ها در هر گروه محدود شده توسط این سه نقطه توصیه می‌شود که در جدول ۳ نشان داده شده است.

شکل ۱ نشان دهنده سه نقطه شکست و اقداماتی است که باید برای هر یک از چهار ناحیه تعیین شده توسط سه نقطه شکست انجام شود. با این آستانه‌های شناسایی شده، اقدامات برای تعمیر

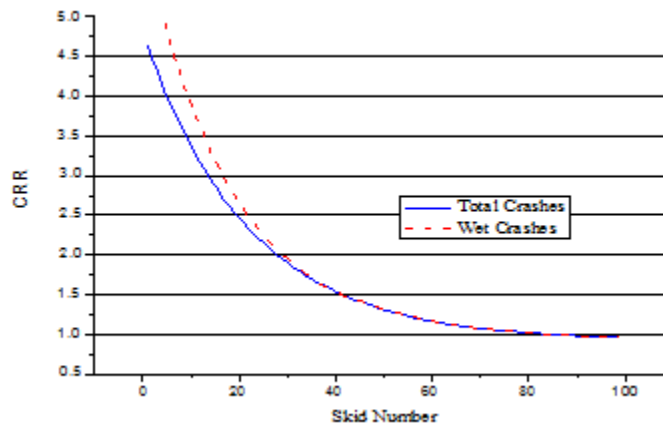


شکل ۱. تصویر مفهومی سطح معمول مقاومت لغزشی را نشان می‌دهد.

۳-۳- تعیین منحنی آستانه مقاومت لغزشی به روش کل کشوری CRR-SN

(شهر نگراس دپارتمان حمل و نقل DOT نگهداری بزرگراه‌ها)، خط آبی نشان‌دهنده تمام تصادفات و خط تیره قرمز فقط برای تصادفات در سطوح مرطوب می‌باشد.

روابط آماری بین CRR و SN می‌تواند به صورت یک منحنی نمایی بیان شود. علاوه بر این، همچنین تاثیر نظری مقاومت لغزشی در CRR می‌تواند به صورت مفهومی با یک منحنی CRR-SN بیان کرد. در شکل ۲، منحنی CRR-SN برای تمام تصادفات



شکل ۲. CRR-SN منحنی تصادفات برای سراسر کشور

CRR-SN برای کلیه تصادفات:

$$CRR = 3.894 \times e^{-0.04605 \times SN50S} + 0.9205 \quad (2)$$

CRR-SN for wet crashes:

$$CRR = 5.023 \times e^{-0.05292 \times SN50S} + 0.9264 \text{ When } SN50S < 39 \quad (3)$$

$$CRR = 3.894 \times e^{-0.04605 \times SN50S} + 0.9205 \text{ When } SN50S \geq 39 \quad (4)$$

حفظ سطح CRR برای تصادف در آب و هوای مرطوب، اعداد لغزشی بالاتر باید به عنوان آستانه انتخاب شوند.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای تعداد مشابه تصادف، CRR برای کلیه شرایط آب و هوایی به طور کلی تا رسیدن به مقدار نسبتاً بالای عدد لغزشی پایین تر است. به عبارت دیگر، برای

جدول ۳. مقادیر توصیه شده آستانه مقاومت لغزشی با روش ۳ نقطه روی منحنی

مقادیر توصیه شده آستانه مقاومت لغزشی		سطح مقاومت لغزشی
برای شرایط مرطوب	برای کلیه آب و هوا	
۱۷	۱۴	SN1
۲۹	۲۸	SN2
۷۴	۷۴	SN3

۳-۴- روش گروه بندی نمودار درختی و سلسله مراتبی

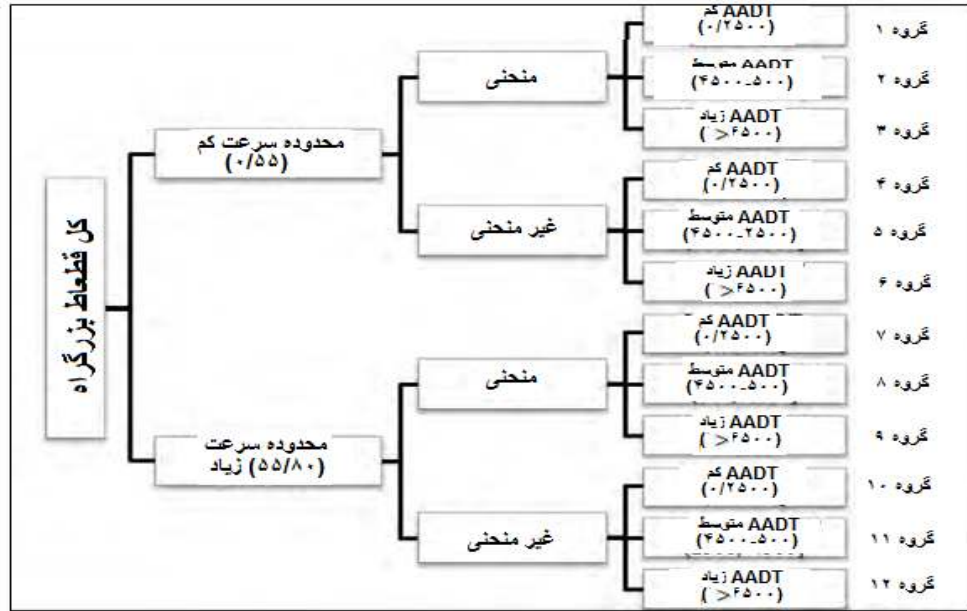
گروه بندی K-means پیچیده بوده، و اجرای نتایج دشوار است. در مقابل، نمودار درختی سلسله مراتبی ساده تر و برای اجرای در عمل آسان تر است. روش طبقه بندی سلسله مراتبی درختی مورد استفاده در این مطالعه یک روش اکتشافی است که نیاز به سعی و خطا دارد تا معیارهای گروه بندی را نهایی کند. برای انجام این روش، طبقه بندی های مختلف داده ها بر اساس منطقه، کلاس کاربردی جاده، میانگین ترافیک روزانه (AADT)، نوع منحنی، حد مجاز سرعت، منطقه روستایی یا شهری و زیرگروه برخی از آنها

به جای استفاده از روش کل کشور بین مقاومت لغزشی و تصادفات به هر بخش جاده، روش خوشه بندی شبکه به گروه های همگن استفاده می شود. بخش های بزرگراه در یک گروه که دارای مشخصات متغیرهای مشابهی در نظر گرفته می شوند مانند طرح هندسی، ترافیک و سرعت - به طوری که نتایج بیشتر نمایان و قابل اعمال به هر گروه را دارند. دو روش گروه بندی در نظر گرفته شد.

- خوشه بندی K-means و
- نمودار درختی سلسله مراتبی

آیا بخش در یک منحنی قرار دارد یا نه، به دو گروه تقسیم شده است. بخش‌هایی با منحنی $7/8$ درصد کل بخش‌ها را تشکیل می‌دهند، در حالی که $92/2$ درصد باقیمانده بخش‌های غیر منحنی را نشان می‌دهند. همان طور که قبلاً گفته شد، آزمایش سطح مقاومت لغزشی در سطح شبکه عمدتاً در خطوط اصلی بزرگراه انجام می‌شود و بنابراین شامل رمپ‌ها، رو گذرها یا سایر منحنی جاده‌ها که جاده‌های اصلی نیستند نمی‌باشد. پس از گروه‌بندی بر اساس سرعت و منحنی، بخش بزرگراه‌ها در هر گروه بر طبق AADT در هر خط به سه گروه تقسیم می‌شوند. از آنجائی که CRR براساس تصادفات و طول کیلومتر خط محاسبه شده است، هر گروه باید دارای تعداد کافی از تصادفات و مقدار طول-کیلومتر برای تجزیه و تحلیل باشد. تنها $7/8$ درصد از شبکه شامل بخش‌های منحنی و 11 درصد از تصادفات مربوط به آب و هوای مرطوب برای داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. رویکرد AADT در هر خط آستانه در نهایت در 2500 و 4500 تنظیم می‌گردد، و سپس به سه زیر گروه تقسیم می‌شود. جدول ۴ نمودار درخت سلسله مراتبی را برای گروه‌بندی با عوامل مشخص شده و آستانه آنها را نشان می‌دهد. منحنی‌های CRR-SN برای هر گروه با آستانه SN پیشنهاد شده است. شکل ۳ خلاصه آستانه‌های توصیه شده مقاومت لغزشی برای هر گروه، با توجه به محدودیت‌های داده‌ها، همه گروه‌ها برای ارزیابی رگرسیون معنی داری از داده‌های کافی برخوردار نیستند. بنابراین، برخی از آستانه‌های توصیه شده در دسترس نیستند. برای این آستانه‌های از دست رفته، استفاده از مقادیر آستانه مربوط به سطح کشور توصیه می‌شود (Long Kan. Et.al 2013).

مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد ۲۴ ویژگی برای تجزیه و تحلیل رگرسیون، شامل: (اطلاعات ترافیکی AADT، محدودیت سرعت، درصد کامیون و غیره)، خصوصیات طرح هندسی (عرض شانه، عرض خط، تعداد خطوط، و غیره) و وضعیت آسفالت (امتیاز کیفیت سواری دهی، امتیاز خرابی، و غیره). متغیرهای زیر با توجه به کاهش درجه اهمیت ذخیره شدند: AAD، حداکثر حد سرعت مجاز مصوب شده، عرض وسط، نوع عرض وسط، عرض شانه، تعداد خطوط، مکان شهری و غیر شهری و درجه منحنی افقی. بر اساس تجزیه و تحلیل رگرسیون و معیارهای گروه‌بندی در جلسه تخصصی، تیم تحقیقاتی انواع مختلفی از داده‌ها را مورد بحث قرار داده و بر اساس آب و هوای منطقه، کلاس عملکردی جاده، AADT، نوع منحنی، محدودیت سرعت، منطقه روستایی یا شهری و زیرگروه‌های برخی از این متغیرها دسته بندی می‌کنند. پس از چندین آزمایش، ساختار سلسله مراتبی درختی تمام بخش‌های بزرگراه به ۱۲ گروه همگن تقسیم شد. معیارهای مورد استفاده، محدودیت سرعت، با و یا بدون منحنی و AADT در هر خط خواهد بود (Texas Department of Transportation 2013). دو گروه ("کم" و "زیاد") برای محدودیت سرعت با خط مجزا برای ۶۰ کیلومتر در ساعت تشکیل می‌گردد. گروه محدود کم سرعت شامل جاده‌هایی با حد مجاز حداکثر سرعت کمتر یا برابر ۶۰ کیلومتر در ساعت است و گروه محدودیت سرعت بالا شامل سرعت‌های بین ۶۰ تا ۱۲۰ کیلومتر در ساعت است. نسبت "کم" و "زیاد" به ترتیب ۴۳ درصد و ۵۷ درصد از بخش‌های جاده‌ای است. در هر گروه محدودیت سرعت، بخش بزرگراه‌ها بر اساس اینکه



شکل ۳. نمودار سلسله مراتبی درختی برای گروه‌های طبقه بندی شده

(Texas Department of Transportation 2013)

۴- محدودیت‌ها و تنگناهای روش‌های ذکر

شده جهت تعیین میزان آستانه عدد لغزشی

از آنجایی که روش‌های سنتی مشخصات حداقل آستانه مقاومت لغزشی مناسب را برای مدیریت مقاومت لغزشی روسازی را فراهم می‌کند ولی، قادر به ارائه اطلاعات دقیق تر نیستند و اطلاعات دقیق در ارتباط با آمار تصادفات جاده‌ها ارتباط دارد. با توجه به محدودیت‌هایی که در زیر آورده شده است حداقل آستانه مقاومت لغزشی تک نقطه تنظیم می‌شود:

- حداقل آستانه مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در سرعت ثابت، تعیین کننده مقاومت واقعی لغزشی در دسترس برای وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعتی متفاوت از سرعت آزمون استاندارد که آستانه حداقل تعیین می‌شود، نمی‌باشد.
- حداقل آستانه مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در ضخامت فیلم آب ثابت تعیین کننده مقاومت واقعی

لغزشی در دسترس برای خودرو در حرکت در شرایط آب و هوای مرطوب که دارای ضخامت فیلم آب متفاوت از آزمون استاندارد که آستانه حداقل تعیین می‌شود، نمی‌باشد.

به دلیل محدودیت‌های ذکر شده در دو موارد فوق، تحت شرایط واقعی ترافیک در طول یک دوره آب و هوای مرطوب مقدار ریسک رانندگی را نمی‌توان تعیین کرد.

از آنجا که حداقل آستانه براساس تجزیه و تحلیل آماری سوابق تاریخی مقاومت لغزشی و داده‌های تصادفات ایجاد شد، اطلاعات لازم از این طریق برای شناسایی عوامل یا عللی که پیامدهای مهم در تنظیم مقدار آستانه و مدیریت رانندگی خطرناک در سطح خیس را در بر نمی‌گیرد - (Pei Choua Cheng Chia et. al 2017). با توجه به موارد ذکر شده فوق جهت برطرف کردن محدودیت‌های روش‌های

(E303-93,2013). برآورد شده و ضریب ثابت b با استفاده از منحنی با ورودی‌های اندازه‌گیری شده مقاومت لغزشی در سه سرعت مختلف یا بیشتر، به طور معمول در سرعت‌های ۴۸، ۶۴ و ۸۰ کیلومتر در ساعت ایجاد شده است.

لیو و هنری پیشنهاد کردند که اصطلاح SN_0 می‌تواند به عنوان اندازه‌گیری بافت ریز سطح روسازی مورد آزمایش قرار گیرد و نشان می‌دهد که اصطلاح ضریب ثابت b با اندازه بافت درشت سطح ارتباط بالایی دارد (Leu and Henry, 1983).

به منظور شناسایی حداقل آستانه مقاومت لغزشی یک رویه آسفالتی، مدل اصطکاک Penn State بهبود قابل توجهی نسبت به آستانه مقاومت تک نقطه‌ای است. یک مشخصه تک نقطه‌ای از آستانه مقاومت لغزشی در یک سرعت مشخص شده، اطلاعاتی در مورد مقاومت لغزشی موجود در سرعت‌های دیگر را ارائه نمی‌کند. این محدودیت عمده با استفاده از مدل Penn State حذف می‌شود که به آن امکان می‌دهد که یک منحنی مناسب آستانه مقاومت لغزشی را تعریف کند که مقدار آستانه مقاومت لغزشی را در هر سرعت وسیله نقلیه بر روی سطح آسفالت مورد نظر برای یک شرایط آب و هوایی مرطوب فراهم می‌کند.

۵-۲- شاخص مقاومت لغزشی بین‌المللی

PIARC (IFI)

مفهوم مدل اصطکاک Penn State توسط انجمن بین‌المللی کنگره دائمی جاده (PIARC) در ایجاد مدل شاخص اصطکاک بین‌المللی (IFI) Wambold et al, 1995). به منظور هماهنگ کردن اندازه‌گیری‌های مقاومت لغزشی دستگاه‌های اندازه‌گیری مقاومت لغزشی مختلف انجام شد. هدف این است که بتوان مقایسه مقادیر

ذکر شده، امروزه روش‌های دیگری توسعه داده شده که جوابگوی نقصان روشهای قدیمی دیگر را جبران می‌نماید که به برخی از آنها، در ادامه پرداخته می‌شود.

۵-مدل‌های مقاومت لغزشی دو پارامتری

یکی از ویژگی‌های مهم مقاومت لغزشی بر روی سطوح مرطوب این است که مقدار مقاومت لغزشی کاهش می‌یابد و سرعت لغزش تأیر افزایش می‌یابد. این مشخصه سرعت وابسته به مقاومت لغزشی، در اوایل دهه ۱۹۳۰ مشاهده و مقاله‌ای ارائه شد (Henry. et al 2000 و Moyer و همکاران، ۱۹۳۴). به این دلیل که اندازه‌گیری تک نقطه‌ای مقاومت لغزشی برای نشان دادن عملکرد مقاومت لغزشی در یک سطح روسازی ناکافی است. این محدودیت عمده مدل‌های تک نقطه‌ای را می‌توان با استفاده از یک مدل مقاومت لغزشی دو پارامتری برطرف کرد. مدل دو پارامتری، یعنی مدل مقاومت لغزشی Penn State و مدل شاخص اصطکاک بین‌المللی (IFI) PIARC، می‌باشند.

۵-۱-مدل مقاومت لغزشی Penn State

مدل آماری مقاومت لغزشی Penn State نشان دهنده یک رابطه‌ی عملکرد سرعت مقاومت در برابر لغزش با استفاده از دو پارامتر است: تلاقی مقاومت لغزشی در سرعت صفر خودرو، SN_0 و شیب مقاومت لغزشی منحنی است که از معادله ۵ به دست می‌آید (Leu and Henry 1983):

(۵)

$$SN_V = \frac{1}{4} SN_0 e^{-bV}$$

که در آن SN_V ، مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در سرعت آزمون V بر اساس استاندارد ASTM (ASTM E274 / E274M-11, 2011).
 SN_0 توسط تست آونگ انگلیسی (ASTM

(۶) $S_p \frac{1}{4} a \ b \ TX$

در جایی که a و b ضرایب ثابت برای دستگاه اندازه‌گیری خاص بافت درشت هستند، و TX میانگین عمق بافت درشت توسط دستگاه پخش ماسه اندازه‌گیری شده است. TX می‌تواند عمق بافت اندازه‌گیری شده توسط روش پخش ماسه (ASTM E965-15, 2009). و یا عمق پروفایل توسط دستگاه لیزر باشد (Hall et al., 2015). به عنوان مثال، رابطه زیر با (ASTM E1960, 2015) برای تعیین S_p می‌باشد:

(۷) $S_p \frac{1}{4} 14:2 \ b \ 89:7 \ MPD$

جایی که MPD میانگین عمق پروفایل در میلی متر است. عدد لغزشی $F60$ برای یک دستگاه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی بر اساس معادله رگرسیون زیر تعیین می‌شود:

(۸) $F60 \ \frac{1}{4} \ A \ b \ B \ FRSe^{0.60} - S_b = S_p$

جایی که A و B ضرایب ثابت رگرسیون برای دستگاه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی هستند، FRS مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در سرعت لغزش S است. بر اساس مفهوم $PIARC$ IFI ، مقاومت لغزشی FS در هر سرعت لغزش S می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

(۹) $FS \ \frac{1}{4} \ F60e^{0.60} - S_b = S_p$

بنابراین، مدل $PIARC$ IFI دارای توانایی مشابهی با مدل $Penn State$ برای پیش بینی مقاومت لغزشی در هر سرعت لغزش مشخص با توانایی مضاعف برای تبدیل اندازه‌گیری مقاومت لغزشی دستگاه‌های مختلف به مقیاس استاندارد IFI است.

مقاومت لغزشی ایجاد شده با دستگاه‌های مختلف آزمون و روش‌های استاندارد موجود را انجام داد. دستگاه‌های مختلف آزمون و روش‌های متفاوت آزمون ممکن است در یک یا چند مورد از شرایط آزمایشی زیر متفاوت عمل کنند.

مانند: سرعت آزمون، ضخامت فیلم آب، اندازه تایر، فشار تایر، زاویه لغزش، نسبت لغزش و غیره (Andriejauskasa et al., 2014). هدف اصلی این است که با تبدیل مقادیر مقاومت لغزشی توسط دستگاه‌های مختلف به یک مقیاس یکسان دست یافت. در سال ۱۹۹۲، $PIARC$ یک آزمایش میدانی را با شرکت کنندگان از ۱۶ کشور مختلف انجام داد. آزمایش انجام شده در ۵۴ سایت، شامل ۴۷ ابزار اندازه‌گیری مقاومت لغزشی (شامل سیستم لغزنده ثابت، سیستم نیروی جانبی اسکریم و سیستم چرخ قفل شونده) انجام شد (Wambold et al, 1995). سطوح مختلف روسازی مورد آزمایش قرار گرفتند و مقاومت لغزشی با دستگاه‌های مختلف در سرعت‌های آزمون استاندارد آن اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری بافت درشت هر سطح آزمون با استفاده از تجهیزات ثابت و قابل حمل بود. در این مطالعه، شاخص مقاومت لغزشی بین المللی (IFI) برای توصیف عملکرد مقاومت لغزشی روسازی با استفاده از دو پارامتر: یک عدد مقاومت لغزشی $F60$ و یک عدد سرعت S_p پیشنهاد شده است. مقدار IFI محاسبه شده به عنوان (S_p ، $IFI F60$) گزارش شده است. $F60$ مقاومت لغزشی سطح مرطوب کالیبره شده در ۶۰ کیلومتر / ساعت است و S_p ضریب ثابت مقاومت لغزشی سطح مرطوب است. عدد سرعت S_p از عمق بافت درشت سطح روسازی با استفاده از یک رگرسیون آماری خطی محاسبه می‌شود که به شرح رابطه (۶) است.

۶- نقاط قوت و ضعف مدل‌های مقاومت

لغزشی دو پارامتری

به منظور شناسایی حداقل آستانه مقاومت لغزشی از یک روسازی، مدل مقاومت لغزشی Penn State و مدل PIARC IFI بهبود قابل توجهی را در مقایسه با آستانه مقاومت لغزشی تک نقطه‌ای ارائه می‌کنند. در حالی که مشخصه تک نقطه آستانه مقاومت لغزشی در یک سرعت ثابت داده شده اطلاعاتی در مورد مقاومت لغزشی مربوطه را در سرعت‌های دیگر ارائه نمی‌کند. مدل‌های دو پارامتری این محدودیت را از بین می‌برند و اجازه می‌دهند که از یک مشخصه منحنی آستانه مقاومت لغزشی مقدار آستانه مقاومت لغزشی در هر سرعت وسیله نقلیه بر روی سطح جاده مورد نظر برای یک شرایط آب و هوایی مرطوب فراهم شود. مدل PIARC IFI دارای مزیت دیگری است و آن توانایی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی توسط دستگاه‌های مختلف در یک مقیاس یکسان را فراهم می‌کند. با این وجود، مدل‌های دو پارامتری، قادر به ارائه طیف گسترده‌ای از اطلاعات مقاومت لغزشی هستند که برای مدیریت ایمنی جاده‌ای در آب و هوای مرطوب در سیستم مدیریت سطح شبکه مورد نیاز است. هر دو حالت Penn State و PIARC فقط نسبت سرعت لغزش مقاومت لغزشی را برای یک ضخامت خاصی از فیلم آب مرتبط با روش آزمون استاندارد یک وسیله اندازه‌گیری مقاومت لغزشی خاص ارائه می‌دهند. مطالعات گذشته تحقیقاتی و مشاهدات میدانی نشان داده است که مقاومت لغزشی در سرعت لغزش متفاوت با تغییرات در ضخامت فیلم آب متفاوت است، (Horne and Dreher:1986)، (Henry:1963) و کندی و همکاران، (۱۹۹۰). دو مدل دو پارامتر مذکور قادر به ارائه پیش‌بینی‌های

مقاومت لغزشی در ضخامت فیلم‌های آب متفاوت از شرایط آزمون دستگاه مورد نظر نیستند. به عبارت دیگر، در حالی که مدل‌های دو پارامتری قادر به بیان آستانه مقاومت حداکثر لغزشی به عنوان عملکرد سرعت لغزش هستند، پیش‌بینی آنها از مقاومت لغزشی فقط برای یک ضخامت فیلم خاص آب است که این ضخامت فیلم آب در آزمون مقاومت لغزشی استاندارد دستگاه مورد استفاده قرار گرفته است. محدودیت فوق‌الذکر مدل‌های دو پارامتر مقاومت لغزشی به شدت آنها را در مطالعات ایمنی رانندگی در آب و هوای مرطوب ضعیف می‌کند. به این دلیل که ارزیابی ریسک رانندگی در سطح مرطوب شامل تجزیه مقاومت لغزشی در ضخامت فیلم‌های مختلف آب همراه با شرایط آب و هوایی مختلف می‌باشد. به همین ترتیب، از این مدل‌ها نمی‌توان برای ارزیابی جامع ریسک‌های رانندگی که در شرایط عملیاتی واقعی ترافیکی که وجود دارند و شامل شرایط مختلف آب و هوایی مرطوب است استفاده شود.

۷- تعیین نظری مقاومت لغزشی سطح جاده

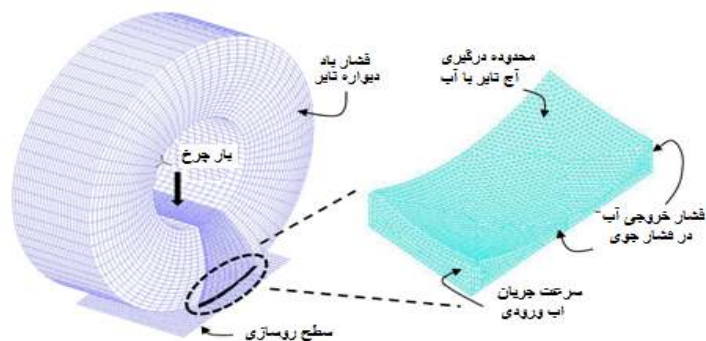
به منظور حفاظت از ایمنی رانندگی در سطح مرطوب در شرایط آب و هوایی مختلف، لازم است ابزار تحلیلی برای پیش‌بینی حداقل آستانه مقاومت لغزشی در ضخامت فیلم‌های مختلف آب و بررسی ریسک رانندگی بر اساس آن باشد. برای برآورده ساختن این نیاز، یک مدل مقاومت لغزشی باید توانایی پیش‌بینی مقاومت لغزشی در همه سرعت‌های لغزش و ضخامت فیلم آب را داشته باشد. بدین معنی است که باید به منظور دستیابی به ضخامت فیلم آب بر روی مقاومت لغزشی، مزیت‌هایی نسبت به دو مدل مقاومت مقاومت لغزشی انجام داشته باشد. این امر با استفاده از رویکرد نظری

(2008. ، Fwa , Ong)؛(2007 ،Ong , Fwa)، (ADINAR & D Inc2005). رفتار مایع آب توسط معادلات Navier-Stokes کامل و استاندارد مدل k-e (Pinkus, 1961)، برای مدل‌سازی جریان آشفته در اطراف تاپر استفاده شده است. مفهوم اصطکاک کولوم (Bathe ،1996) برای شبیه‌سازی اصطکاک روکش تاپر استفاده شده است. اعتبار سنجی مدل شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های اصطکاک اندازه‌گیری شده برای مقاومت‌های مختلف لغزشی و مشکلات آب پیمایی توسط Ong, 2007 و (Fwa و همکاران) انجام شده است (Ong 2009) و (Fwa. 2010). شکل ۴ نمایش المان محدودی از مشکل را نشان می‌دهد و به صورت طرح شماتیک از تاپر، مایع و سطح رویه ارائه شده است.

است که با استفاده از مکانیک جامد و نظریه‌های هیدرودینامیک ثابت می‌شود مقاومت لغزشی روبشی گفته می‌شود. این مطالعه مدل نظری توسط تیم تحقیقاتی مهندسی روسازی در دانشگاه ملی سین گوره (NUS) انجام گرفته است.

۸- مدل NUS برای پیش‌بینی مقاومت لغزشی

مدل مقاومت لغزشی NUS با استفاده از شبیه سازی المان محدود به حل مسائل المان محدود مربوط به رابطه بین تاپر - مایع - روسازی می‌پردازد تا بتواند مقاومت لغزشی یک تاپر را بر روی یک سطح جاده تحت پوشش شناخته شده‌ای از ضخامت فیلم آب شبیه سازی المان محدود با استفاده از نرم افزار رایانه‌ای انجام گیرد.



شکل ۴. طرح شماتیک از تاپر، مایع و سطح رویه

پارامترهای ورودی به مدل شبیه‌سازی عبارتند از:

- ابعاد تاپر - شعاع و عرض تاپر
- فشار تورم تاپر
- خواص الاستیک تاپر- مدول الاستیسیته و نسبت بواسون به هر یک از سه جزء زیر: لبه‌تاپر، دیواره تاپر، و نخ‌های تاپر
- بار چرخ - مقدار بار اعمال شده
- خواص فیزیکی آب - درجه حرارت، چگالی، ویسکوزیته دینامیکی و ویسکوزیته سینماتیکی
- ضخامت فیلم آب در سطح روسازی
- سرعت لغزش چرخ قفل شده
- گرادیان گرانشی
- مقادیر مقاومت لغزشی در دو سرعت لغزش اندازه‌گیری شده.

افزایش می‌یابد تا تعیین کننده نیروی تماس، افزایش نیرو و نیروی کششی در هر سرعت افزایش یابد. سرعت افزایش می‌یابد تا زمانی که آب پیمایی رخ دهد (به عنوان مثال وقتی که نیروی بالا برنده سیال برابر با بار چرخ است). در سرعت آبپیمایی، چرخ از سطح روسازی برداشته می‌شود و از طریق یک فیلم نازک از آب از سطح رویه جدا می‌شود. مقاومت لغزشی که توسط تایلر به دست می‌آید، با استفاده از مفهوم اصطکاک کولونب محاسبه می‌شود و با توجه به مقادیر اعداد لغزشی SN_v چرخ لغزشی قفل شده با سرعت چرخش V کیلومتر / ساعت:

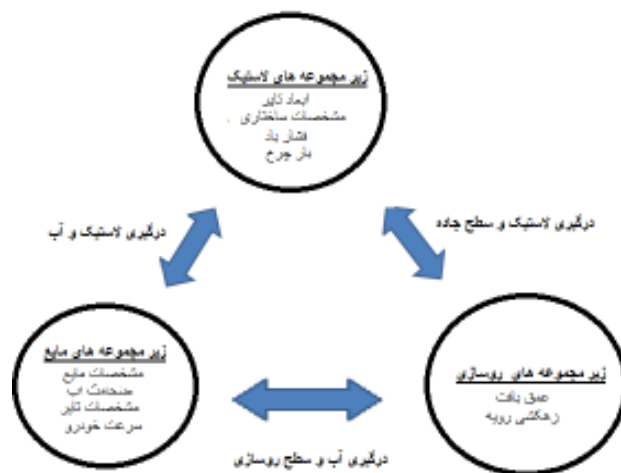
$$SN_v = \frac{F_x}{F_z} \cdot \frac{1}{4}$$

F_z یک پارامتر ورودی است و در طول شبیه سازی ثابت است. این نیز برابر با تفاوت نیروی تماس عادی تایلر با سطح و نیروی بالا برنده سیال عمودی است. شکل ۵ نمایش مدل سازی شبیه سازی مقاومت لغزشی تایلر - جاده در مدل NUS است.

در تجزیه و تحلیل شبیه سازی، زیر مدل موتور سیالات تنش های سیال را بر روی دیوار تایلر محاسبه می کند و این تنش ها به زیر مدل تایلر برای محاسبه تغییرات تایلر اعمال می شود. تغییر شکلهای تایلر به صورت مجاور به زیر مدل سیال وارد می شود تا دوباره جریان سیال و استرس را محاسبه کند. این روند محاسباتی تکرار شده تا زمانی که همگرایی به دست می آید. برای تعیین مقاومت لغزشی در یک سرعت داده شده، تحلیل شبیه سازی با یک چرخ ثابت انجام می شود که به محاسبه رد پای اولیه می انجامد. در مرحله بعد سرعت به طور قابل توجهی

(۱۰)

جایی که F_x نیروی مقاومت افقی بر روی تایلر و F_z بار عمودی اعمال شده است. نیروی مقاومت افقی F_x برابر با مجموع نیروی کششی است که در تماس با جاده و تایلر و نیروی کشش سیال به علت تعامل مایع تایلر به وجود آمده است. بار کاربردی تایلر



شکل ۵. مدل سازی مقاومت لغزشی تایلر - جاده در مدل NUS

۸-۱- مزایای استفاده از مدل مقاومتی NUS

توانایی مدل مقاومت لغزشی NUS برای پیش‌بینی مقاومت لغزشی در ضخامت‌های مختلف فیلم آب، بهبود قابل ملاحظه‌ای را در برابر بازده سنتی و مدل‌های مقاومتی لغزشی دو پارامتر Penn State و PIARC فاصله می‌دهد. مزایای زیر از مدل مقاومت لغزشی NUS در مدل‌های مقاومت تک نقطه‌ای و دو پارامتر مقاومت لغزشی وجود دارد:

۱- ارایه حداقل آستانه مقاومت لغزشی برای طیف وسیعی از شرایط آب و هوای مرطوب - در حالی که مدل‌های دو پارامتر Penn State و PIARCIFI قادر به گسترش آستانه مقاومت لغزشی حداقل شامل ابعاد مختلف سرعت نمی‌باشند، استفاده از مدل مقاومت لغزشی NUS اجازه می‌دهد تا یکی دیگر از عوامل مهم در تعیین حداقل آستانه مقاومت لغزشی یعنی ضخامت فیلم آب نیز لحاظ گردد. بدین ترتیب، مدل مقاومت لغزشی NUS با توجه به دامنه عملیاتی کامل سرعت خودرو و شرایط آب و هوا و شرایط آب و هوایی که ضخامت فیلم آب را نشان می‌دهد، می‌تواند مسئله ریسک تصادفات رانندگی در سطح مرطوب را در یک طیف کامل تر در برگیرد. تجزیه و تحلیل ریسک رانندگی از انواع خودروهای مختلف. ۲- مدل برآورد مقاومت لغزشی NUS تنها مدلی است که می‌تواند برای پیش‌بینی مقاومت لغزشی در آب و هوای مختلف و انواع وسایل نقلیه با وارد کردن مشخصات تایلر و بار چرخ برای هر نوع خودرو مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد. این قابلیت اجازه می‌دهد تا برای ارزیابی ریسک رانندگی در سطح مرطوب از انواع وسایل نقلیه در سرعت‌های مختلف مربوطه خود برای ضخامت فیلم‌های مختلف آب را برآورد نماید.

پیش‌بینی سرعت هیدرولیک - مدل NUS می‌تواند سرعت آب پیمایی یک وسیله نقلیه را برای یک وضعیت آب و هوای مرطوب نشان داده شده توسط ضخامت فیلم آب در سطح روسازی پیش‌بینی

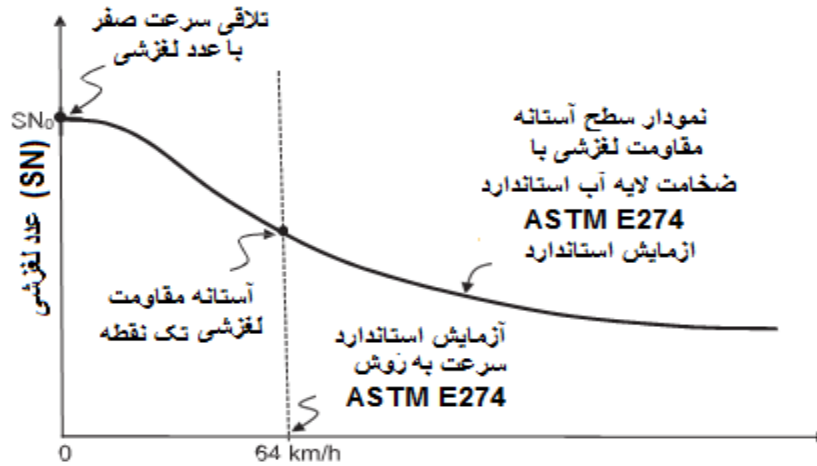
کند. هیچکدام از اندازه‌گیری‌های مقاومت لغزشی تک نقطه و مدل‌های مقاومتی دو پارامتری قادر به انجام آن نمی‌باشند.

۸-۲- برنامه کاربردی مدیریت روسازی مدل NUS و ایمنی جاده در آب و هوای مرطوب

بررسی و نظارت بر مقاومت لغزشی بخش استاندارد از بررسی دوره‌ای روسازی‌ها در یک سیستم مدیریت روسازی بزرگراهی است. دست اندرکاران بخش بزرگراه برای شناسایی حداقل آستانه مقاومت لغزشی برای فعال کردن فرایند تعمیر و نگهداری یا تعمیر برای بهبود مقاومت لغزشی راه‌ها به منظور حفاظت از ایمنی رانندگی در سطح مرطوب مبادرت می‌نمایند. حداقل آستانه مقاومت لغزشی دسته‌بندی شده، مقدار مقاومت تک نقطه‌ای است که در حقیقت نمی‌تواند برای ارزیابی مستقیم خطرات رانندگی مرطوب در شرایط آب و هوایی مختلف با ضخامت فیلم‌های مختلف آب استفاده شود. ارزیابی خطر رانندگی در سطح مرطوب در یک نوع وسیله نقلیه که با سرعت شناخته شده در بخش لغزشی مشخص شده در طی آب و هوای مرطوب با تایلر با مقایسه ضخامت فیلم آب مرتبط می‌شود، می‌تواند مقاومت لغزشی سطحی تایلر با حداقل آستانه مقاومت لغزشی شود. باز هم، با استفاده از روش استاندارد ASTM E274 (ASTM E274/E274M-11, 2011) با تایلر صاف به عنوان روش اندازه‌گیری مقاومت لغزشی، ارزیابی خطر رانندگی مرطوب هوا در نوع A می‌تواند با استفاده از مراحل زیر انجام شود: مرحله ۱ - با ورود تعداد دو اندازه‌گیری از مقاومت لغزشی از یک قطعه روسازی راه با دو سرعت متفاوت توسط یک خودرو نوع A، مقاومت لغزشی در سرعت‌های مختلف لغزش و ضخامت‌های مختلف فیلم آب مورد انتظار در طول سرویس دهی راه می‌تواند با استفاده از مدل مقاومت لغزشی از

A خودرو در آب و هوای مرطوب موجود (نشان دهنده ضخامت فیلم آب) به عنوان عملکرد سرعت لغزش خودرو و ضخامت فیلم آب است.

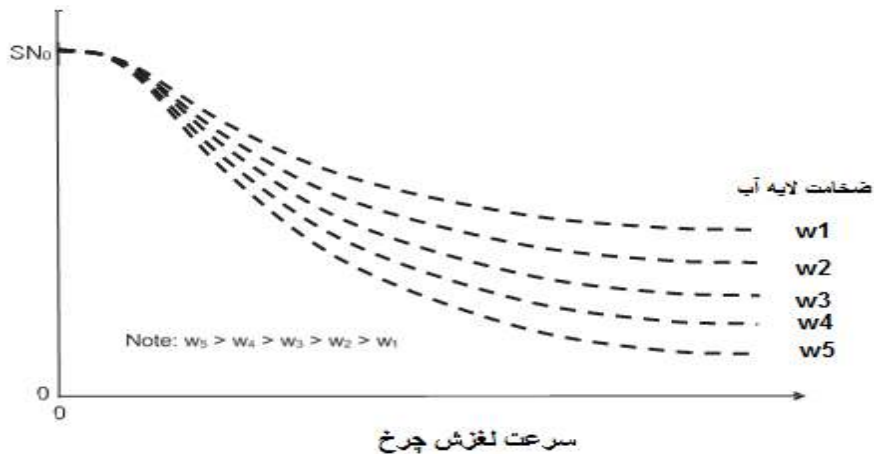
روش NUS محاسبه گردد. نتیجه این مرحله می‌تواند به عنوان یک مجموعه از منحنی‌های مقاومت لغزشی که در شکل ۶ نشان داده شده است. این مجموعه از منحنی‌های مقاومت لغزشی، را که در نوع



سرعت لغزش چرخ

یافته برای استاندارد ASTM E274 با جایگزین کردن مختصات هندسی و ساختاری تایر با نوع وسیله نقلیه A با مدل مقاومت لغزشی NUS که برای خودرو نوع A کالیبره شده است می‌توان منحنی آستانه مقاومت کمینه برای نوع A خودرو را به دست آورد.

مرحله ۲ - حداقل منحنی آستانه مقاومت لغزشی را برای نوع A خودرو بر اساس ASTM E274 استاندارد تایر منحنی آستانه مقاومت لغزشی حداقل آستانه مقاومت لغزشی اخذ شده از منحنی ایمنی جاده در آب و هوای مرطوب است. این را می‌توان با استفاده از مدل مقاومت لغزشی NUS توسعه

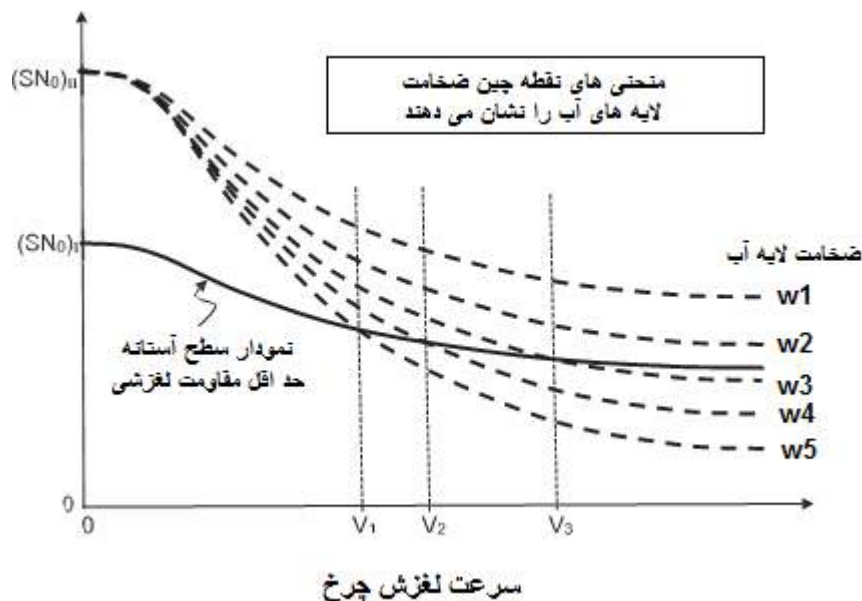


شکل ۶. مقاومت لغزشی به عنوان تابع سرعت لغزش و ضخامت فیلم آب

سرعت نشان داده شده توسط حداقل آستانه مقاومت لغزشی حرکت کند، در این صورت سطح خطر ایمنی قابل قبول نخواهد داشت. از این رو، با توجه به ریسک رانندگی، با توجه به شکل ۷ می‌توان از حداکثر سرعت ایمنی نوع A خودرو می‌توان با داشتن ضخامت فیلم آب به دست آمده، حداکثر سرعت ایمنی شناسایی شود. به عنوان مثال، همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، در ضخامت $w3$ فیلم آب، حداکثر سرعت ایمنی برای وسیله نقلیه برابر با $V3$ است. با افزایش ضخامت فیلم آب به $w4$ ، حداکثر سرعت ایمنی به $V2$ کاهش می‌یابد. هنگامی که ضخامت فیلم آب به $w5$ افزایش می‌یابد، حداکثر سرعت ایمنی $V1$ می‌شود.

مرحله ۳- منحنی آستانه منحنی مقاومت لغزشی را برای خودرو نوع A (مرحله ۲) را بر روی منحنی صفحه ی مجموعه منحنی‌های مقاومت لغزشی شکل ۵ قرار داده و شکل ۶ به وجود می‌آید.

مرحله ۴- با مقایسه مقاومت لغزشی در دسترس با حداقل آستانه مقاومت لغزشی، ریسک رانندگی در سطح مرطوب با خودرو نوع A را برای سرعت‌های مختلف عملیاتی در ضخامت فیلم‌های مختلف آب را می‌توان مقایسه کرد. همانطور که قبلاً در این مقاله توضیح داده شد، سرعت خودرو باید هماهنگ با حداقل آستانه مقاومت لغزشی باشد تا وسیله نقلیه بتواند با سرعت مناسب در سطح قابل قبول بصورت ایمنی حرکت کند. اگر رانندگی با سرعت بالاتر از



شکل ۷. مقایسه مقاومت لغزشی موجود و حداقل آستانه مقاومت لغزشی

با سرعت V را می‌توان با استفاده از V با حداکثر سرعت امن شناسایی شده است بررسی نمود. سرعت V نزدیک‌تر است به حداکثر سرعت امن، بالاتر ریسک رانندگی در آب و هوای مرطوب است.

با در نظر گرفتن حداکثر سرعت ایمنی که یک وسیله نقلیه می‌تواند در یک وضعیت آب و هوایی مناسب (با ضخامت فیلم آب نشان داده شود)، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده، خطر رانندگی وسیله نقلیه

مقاومت واقعی لغزشی در دسترس برای وسیله نقلیه در حال حرکت با سرعتی متفاوت از سرعت آزمون استاندارد که آستانه حداقل تعیین می‌شود نمی‌باشد. حداقل آستانه مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در ضخامت فیلم آب ثابت تعیین کننده مقاومت واقعی لغزشی در دسترس برای خودرو در حرکت در شرایط آب و هوای مرطوب که دارای ضخامت فیلم آب متفاوت از آزمون استاندارد که آستانه حداقل تعیین می‌شود نمی‌باشد. به دلیل محدودیت‌های ذکر شده در دو موارد فوق، تحت شرایط واقعی ترافیک در طول یک دوره آب و هوای مرطوب مقدار ریسک رانندگی را نمی‌توان تعیین کرد. از آنجا که حداقل آستانه براساس تجزیه و تحلیل آماری سوابق تاریخی مقاومت لغزشی و داده‌های تصادفات ایجاد شد، اطلاعات لازم از این طریق برای شناسایی عوامل یا عللی که پیامدهای مهم در تنظیم مقدار آستانه و مدیریت رانندگی خطرناک در سطح خیس را در بر نمی‌گیرد. با توجه به موارد ذکر شده فوق جهت برطرف کردن محدودیت‌های روش‌های ذکر شده، امروزه روش‌های دیگری توسعه داده شده که جوابگوی نقصان روشهای قدیمی دیگر را جبران می‌نماید. مدل‌های دو پارامتری این محدودیت را از بین می‌برند و اجازه می‌دهند که از یک مشخصه منحنی آستانه مقاومت لغزشی مقدار آستانه مقاومت لغزشی در هر سرعت وسیله نقلیه بر روی سطح جاده مورد نظر برای یک شرایط آب و هوایی مرطوب فراهم شود. مدل PIARC IFI دارای مزیت دیگری است و آن توانایی برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی توسط دستگاه‌های مختلف در یک مقیاس یکسان را فراهم می‌کند. مدل‌های دو پارامتری، قادر به ارایه طیف گسترده‌ای از اطلاعات مقاومت لغزشی هستند که برای مدیریت ایمنی جاده‌ای در آب و

هنگامی که سرعت V بیش از حداکثر سرعت امن باشد، خطر در نظر گرفته غیر قابل قبول است. تجزیه و تحلیل ریسک ایمنی رانندگی در شدت باران بالا می‌تواند برای انواع مختلف خودرو در جریان ترافیک تکرار شود و یک ارزیابی کامل ایمنی رانندگی برای انواع وسایل نقلیه در ترافیک ارائه دهد. اشاره شده است که از آنجایی که اضمحلال مقاومت لغزشی در طول زمان تحت عمل ترافیک بدتر می‌شود، خطرات رانندگی در آب و هوای مرطوب بر سطح جاده در شبکه نیز با گذشت زمان افزایش می‌یابد. لازم است که نظارت دوره‌ای بر روی مقاومت لغزشی جاده‌ها در شبکه جاده‌ای انجام شود و خطرات رانندگی در سطح مرطوب به طور مرتب برای ارزیابی ایمنی رانندگی در آب و هوای مرطوب بر روی شبکه جاده‌ای انجام گیرد و مقاومت لغزشی بالاتر از حداقل لازم تامین گردد.

۹- نتیجه‌گیری

اگر چه تعداد ۲۴ ویژگی شامل: (اطلاعات ترافیکی AADT، محدودیت سرعت، درصد کامیون و غیره)، خصوصیات طرح هندسی (عرض شانه، عرض خط، تعداد خطوط، و غیره) و وضعیت آسفالت (امتیاز کیفیت سواری دهی، امتیاز خرابی، و غیره)، حداکثر حد سرعت مجاز مصوب شده، عرض وسط، نوع عرض وسط، عرض شانه، تعداد خطوط، مکان شهری و غیر شهری و درجه منحنی افقی، در اکثر روش‌های سنتی جهت تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما، با توجه به حجم زیاد اطلاعات مورد استفاده هنوز این روش‌ها با توجه به موارد زیر نمی‌توانند به طور دقیق آستانه‌ها را مشخص کنند. حداقل آستانه مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در سرعت ثابت، تعیین کننده

مهم در تعیین حداقل آستانه مقاومت لغزشی یعنی ضخامت فیلم آب نیز لحاظ گردد. بدین ترتیب، مدل تعیین آستانه مقاومت لغزشی NUS با توجه به دامنه عملیاتی کامل سرعت خودرو و شرایط آب و هوا و شرایط آب و هوایی که ضخامت فیلم آب را نشان می‌دهد، می‌تواند مسئله ریسک تصادفات رانندگی در سطح مرطوب را در یک طیف کامل‌تر در برگیرد. این مدل می‌تواند برای پیش بینی مقاومت لغزشی در آب و هوای مختلف و انواع وسایل نقلیه با وارد کردن مشخصات تایر و بار چرخ برای هر نوع خودرو مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد. این قابلیت اجازه می‌دهد تا برای ارزیابی ریسک رانندگی در سطح مرطوب از انواع وسایل نقلیه در سرعت‌های مختلف مربوطه خود برای ضخامت فیلم‌های مختلف آب را برآورد نماید مدل NUS می‌تواند سرعت آب پیمایی یک وسیله نقلیه را برای یک وضعیت آب و هوای مرطوب نشان داده شده توسط ضخامت فیلم آب در سطح روسازی پیش بینی کند.

هیچکدام اندازه‌گیری‌های مقاومت لغزشی تک نقطه و مدل‌های مقاومتی دو پارامتری قادر به انجام آن نمی‌باشند. با استفاده از این، داده‌های مقاومت لغزشی می‌توانند به صورت سیستماتیک تجزیه و تحلیل شوند و به صورت مقیاسی با مقادیر آستانه که از نظر اندازه‌گیری (SFC) SCRIM تعریف می‌شوند، و یا از لحاظ اقدامات دیگر مقایسه شود. مقادیر مقاومت لغزشی توسط اندازه‌گیری سرعت نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند. اندازه‌گیری مقاومت لغزشی تحت شرایط ترافیکی ناهمگن انجام شده قابل توجه است. اندازه‌گیری مقاومت لغزشی معمولاً دارای تغییرات زیاد است. بنابراین، یک گام ضروری نهایی در روش پیشنهادی، تحلیل آماری داده‌ها است. این در مقایسه با داده‌های مقاومت لغزشی به مقادیر آستانه بسیار

هوای مرطوب در سیستم مدیریت سطح شبکه مورد نیاز است. هر دو حالت Penn State و PIARC فقط نسبت سرعت لغزش مقاومت لغزشی را برای یک ضخامت خاصی از فیلم آب مرتبط با روش آزمون استاندارد یک وسیله اندازه‌گیری مقاومت لغزشی خاص ارائه می‌دهند. دو مدل دو پارامتر مذکور قادر به ارائه پیش بینی‌های مقاومت لغزشی در ضخامت فیلم‌های آب متفاوت از شرایط آزمایش دستگاه مورد نظر نیستند. محدودیت فوق‌الذکر مدل‌های دو پارامتر مقاومت لغزشی به شدت آنها را در مطالعات ایمنی رانندگی در آب و هوای مرطوب ضعیف می‌کند. به این دلیل که ارزیابی ریسک رانندگی در سطح مرطوب شامل تجزیه مقاومت لغزشی در ضخامت فیلم‌های مختلف آب همراه با شرایط آب و هوایی مختلف می‌باشد. به همین ترتیب، از این مدل‌ها نمی‌توان برای ارزیابی جامع ریسک‌های رانندگی که در شرایط عملیاتی واقعی ترافیکی که وجود دارند و شامل شرایط مختلف آب و هوایی مرطوب است استفاده شود. توانایی مدل مقاومت لغزشی NUS برای پیش بینی مقاومت لغزشی در ضخامت‌های مختلف فیلم آب، بهبود قابل ملاحظه‌ای را در برابر بازده سنتی و مدل‌های مقاومتی لغزشی دو پارامتر Penn State و PIARC ارائه می‌دهد. مزایای زیر از مدل مقاومت لغزشی NUS در مدل‌های مقاومت تک نقطه‌ای و دو پارامتر مقاومت لغزشی وجود دارد: ارائه حداقل آستانه مقاومت لغزشی برای طیف وسیعی از شرایط آب و هوای مرطوب - در حالی که مدل‌های دو پارامتر Penn State و PIARC IFI قادر به گسترش آستانه مقاومت لغزشی حداقل شامل ابعاد مختلف سرعت نمی‌باشند. استفاده از مدل مقاومت لغزشی NUS اجازه می‌دهد تا یکی دیگر از عوامل

Macrotecture 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.

-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.

-British Standard BS 7941-1 (2006), “Methods for Measuring the Skid Resistance of Pavement Surfaces”. Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine. British Standards Institution, Bristol, UK.

-Douglas I. Anderson, P.E., (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, Experiment Station, Ames.

مهم است. روش تجزیه و تحلیل ارائه شده در این تحقیق، شناسایی داده‌های خروجی، تغییرات ساختاری در اندازه‌گیری مقاومت لغزشی و یک روند تقسیم‌بندی سازگار است.

۱۰-مراجع

- سلیمانی کرمانی، م.ر.، (۱۳۹۷)، “سنجش سرعتی مقاومت لغزشی پیوسته شبکه راه‌های آسفالتی و بتنی برای ایران”، مجله جاده، شماره ۹۵، ص. ۱۶۱-۱۷۴.

- سلیمانی کرمانی، م.ر.، (۱۳۹۸)، “تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی روسازی راه‌ها”، مجله جاده، شماره ۱۰۰، ص. ۱۳۸-۱۱۹.

-ADINA R&D Inc., (2005), “ADINA Theory and Modeling Guide Volume I: ADINA Solids and Structures, ADINA R&D Inc., Watertown, Massachusetts”. Andriejauskasa.

-Administration. U.S. Department of Transportation, Washington DC, USA.

-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 international.

-ASTM E2157-15, (2015), “Standard Test Method for Measuring Pavement

- Haavasoja, T.; Pilli-Sihvola, Y. (2010), "Friction as a measure of skidpery road surfaces", in Proceedings of the 15th SIRWEC Conference, Quebec City, Canada.
- Hall, J.W., Smith, K.L., Titus-Glover, L., Wambold, J.C., Yager, T.J., Rado, Z., (2009), "Guide for Pavement Friction. National Cooperative Highway Research Program, Washington, DC".
- Henry J.J., (1986), "Tire Wet-Pavement Traction Measurement: A State-of-the-Art Review. ASTM Special Publication STP 929, The Tire Pavement Interface".
- Henry, J. J. (1986), "Tire Wet-Pavement Traction Measurement: A State-of-the-Art Review". The Tire Pavement Interface, ASTM STP 929. In: Pottinger, M.G., Yager, T.J. (eds.), American Society of Testing and Materials, Philadelphia, pp. 47–60.
- Highway Research Board, (1972), "Skid Resistance. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 14". Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.
- Highways England, (2006), "UK Design Manual for Roads & Bridges (DMRB)" Highways England, Guildford, UK.
- Horne, W.B., Dreher, R.C., (1963), "Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning, NASA TN D-2056. National Aeronautics and Space Administration", Washington, DC.
- Ivan, J.N., Ravishanker, N., Jackson, E., Aronov, B., Guo, S., (2012), "A
- 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.
- FHWA/OH-2008/11, Ohio Department of Transportation, Columbus, OH.
- Fwa T.F., "Skid resistance determination for pavement management and wet-weather road safety", International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 6, Issue 3, September 2017, pp.217-227.
- Fwa T.F., (2017), "International journal of Transportation Science and Technology", pp.217-227.
- G. Pottinger and T. J. Yager, Ed., (2017), "American Society for Testing and Materials", pp. 3–25.
- 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.
- 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.

- Ong, G.P., Fwa, T.F., (2007), "Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: modeling.]. Transport. Eng. 133 (10), pp.590-598.
- Ong, G.P., Fwa, T.F., (2010), "Modeling commercial truck skid resistance on highways. J. Transport", Eng. 136 (6), pp.510-517.
- Ong, G.P., Fwa, T.F., (2007), "Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: modeling", Transport. Eng. 133 (10), 590-598. Ong, G.P., Fwa, T.F., 2010. Modeling commercial truck skid resistance on highways. J. Transport. Eng. 136 (6), 510-517.
- PeiChoua Cheng -Chia, ChunLeeaAi ChinChenbCherng-YannWu, (2017), "Using a constructive pavement texture index for skid resistance screening", International Journal of Pavement Research and Technology, Volume 10, Issue 4, July, pp. 360-368.
- Pinkus, O. Sterlicht, B., (1961), "Theory of Hydrodynamic Lubrication", McGraw-Hill, New York.
- Rogers, M.P., Gargett, T., (1991), "A skidding resistance standard for the national network", Highways Transport. 38 (4), pp.10-16.
- Speir, R., Barcena, T., Desaraju, P.R. (2009), "Development of Friction Improvement Policies and Guidelines for the Maryland State Highway Administration".
- "Symposium on Surface Characteristic of Roadway. ASTM", (2017), Philadelphia, pp. 87-101.
- Vorobjovasa, T. Mielonasb, V., (2014), "Evaluation of skid resistance statistical analysis of the effect of wet-pavement friction on highway traffic safety".
- Kennedy, C.K., Young, A.E., Butler, I.C., (1990), "Measurements of Skidding Resistance and Surface Texture and the Use of Results in the United Kingdom".
- Larson, R.N., Smith, K. D., (2008), "Relationship between Skid Resistance Numbers Measured with Ribbed and Smooth Tire and Wet-Accident Locations".
- Leu, M.C., Henry, J.J., (1983), "Prediction of Skid Resistance as a Function of Speed from Pavement Texture. Transportation Research Record, No. 946", Transportation Research Board, Washington, DC.
- Leu, M., J. Henry, (1978), "Prediction of skid resistance as a function of speed from pavement texture measurements", Transport. Res. Record (666), Management", T10: 2010.
- McGovern, C., Rusch, P., Noyce, D.A., (2011), "State Practices to Reduce Wet Weather Skidding Crashes, Publication FHWA-SA-11-21", Federal Highway.
- Moyer, R.A. (1934), "Skidding Characteristics of Automobile Tires on Roadway Surfaces and Their Relation to Highway Safety. Bulletin 120, Iowa Engineering.
- NZ Transport Agency, "Specification for State Highway Skid Resistance.
- NZ Transport Agency, (2010), "Specification for State Highway Skid Resistance Management, T10", Wellington, New Zealand.

-Wasilewska. M. a, Gardziejczyk W a, Gierasimiuk P., (2016), "a Evaluation of Evaluation of skid resistance of exposed aggregate concrete pavement in the initial exploitation period.

-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.

-Wouter van Bijsterveld & Miguel A. del Val, (2015), "Towards quantification of seasonal variations in skid resistance measurements", pp. 477-486.

characteristics and measurement method", In: Proc. 9th International Conference on Environmental Engineering, pp.22-23.

-Transport. Safe. Secur. 4 (2), pp.116-136.

-Waka Kotahi. (2010), "Specification for state highway skid resistance management" NZTA, NZ Transport Agency, T10 Specification.

-Wambold, J.C., Antle, C.E., Henry,J.J., Rado, Z., (1995), "International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements".

Assessment of New Methods for Determining the Threshold Level of Skid Resistance and Comparison with Single Point Methods and the NUS Model

M. R. Soleymani Kermani, Assistant Professor, Road, Housing & Urban Development, Tehran, Iran.

E-mail: soleimani@bhrc.ac.ir

Received: September 2019-Accepted: February 2020

ABSTRACT

Skid resistance threshold (TL) is a method that is widely used in road pavement management as a minimum standard for activating the maintenance of each section of the pavement with less resistance to skidding than this threshold. Different methods are used to determine the threshold level of skid resistance in different countries (depending on their climatic conditions). Determining the precision of the skid resistance threshold is important, and its timely implementation will prevent many accidents. So far, various methods have been used to determine the threshold of skid resistance in different countries of the world, including: the three-point curve method, the statewide method and hierarchical tree grouping, etc. A single-point measure of skid resistance is not accurate to show the skid resistance performance on a surface of the pavements. Therefore, this major limitation of single-point models can be remedied using the two-parameter slip resistance models, the Peen State slip resistance model, the PIARC International Friction Index (IFI) model and the CRR-SN nationwide model. The NUS model is one of the latest models to be used more precisely for threshold determination. The application of each of these is analyzed in this paper.

Keywords: Threshold Level, Slip Resistance Threshold, Accidents, International Friction Index