

تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی روسازی راه‌های ایران

مقاله پژوهشی

محمدرضا سلیمانی کرمانی^{*}، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

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

دریافت: ۹۸/۰۳/۰۸ - پذیرش: ۹۸/۰۸/۰۵

صفحه ۶۷-۴۹

چکیده

سطح آستانه مقاومت لغزشی، 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 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. تصادفات جاده‌ای در آب و هوای مرطوب و بارانی یک نگرانی عمده برای مهندسان راه است. مطالعات ایمنی جاده‌ها نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد از تمام تصادفات هنگام بارندگی و رویه‌های مرطوب رخ می‌دهد. آب و هوای مرطوب تأثیر عمده‌ای در مقاومت لغزشی جاده‌های مرطوب بر تصادف دارد. با توجه به عدم قابلیت توانایی در پیش بینی مقاومت لغزشی در الگوهای متفاوت بارندگی، باید حداقل آستانه مقاومت لغزشی برای رانندگی ایمن در رویه‌های مرطوب مورد توجه قرار گیرد. در کشور ما این آستانه‌ها و روش‌های مدیریت هنوز مشخص نشده است. این مقاله نشان می‌دهد که چگونه با استفاده از رویکرد علمی، حداقل آستانه مقاومت لغزشی در نقاط مختلف یک شبکه جاده‌ای با استفاده از روش‌های موجود در دنیا که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند الگوهای متفاوت آستانه تعیین می‌گردد. شایان ذکر است که روش‌های پیشرفته دیگری نیز در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این مقاله به آنها پرداخته نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مقاومت لغزشی، مصالح روسازی، جریان ترافیک و اثرات آب و هوا

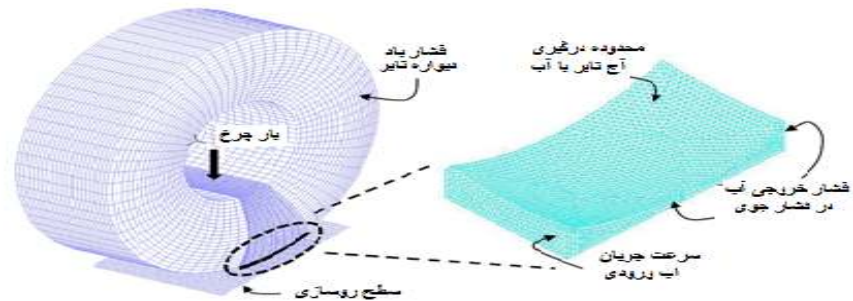
۱- مقدمه

یک سطح دارای سواری ایمن، کارآمد، راحت و بادوام برای وسایل نقلیه در تمام شرایط آب و هوایی فراهم می‌آورد. نگهداری روسازی راه‌ها برای دستیابی به سطح بالایی از ایمنی جاده، بخشی جدایی ناپذیر از سیستم مدیریت روسازی است. در عمل، این امر با حفظ روسازی، مقاومت لغزشی آن را در سطح بالایی قرار می‌دهد تا خطر لغزش خودرو و آب پیمایی را کاهش دهد. توانایی سنجش ریسک در رانندگی یک نیاز مهمی در مدیریت ایمنی جاده است. علاوه بر این، دانستن عوامل موثر بر تنظیم مقدار آستانه و مدیریت ریسک رانندگی در آب و هوای مرطوب، مهندسان روسازی را قادر می‌سازد تا برنامه‌های مناسب‌تر پیشگیرانه و اصلاحی تعمیر و نگهداری اقدامات مناسبتری را انجام دهند

هدف از تعیین آستانه مقاومت لغزشی روسازی به حداقل رساندن تصادفات وسایل نقلیه مرتبط با لغزش و اطمینان از ایجاد، ساخت و نگهداری سطوح آسفالتی جهت ارائه مقاومت لغزشی کافی و بادوام و همچنین شناسایی و اصلاح بخش‌هایی از جاده‌هایی که دارای مقاومت لغزشی پایین داشته و نرخ تصادفات آنها بالا است می‌باشد. اولویت‌بندی استفاده از منابع برای کاهش تصادف وسایل نقلیه مربوط به اصطکاک از دیگر اهداف تعیین آستانه مقاومت لغزشی است تا هزینه‌های تعمیر و نگهداری بصورت بهینه انجام پذیرد. تعیین آستانه مقاومت لغزشی به عنوان بخشی از سیستم مدیریت روسازی است که یک عملکرد کلیدی کنترلی، نظارت بر وضعیت روسازی و انجام تعمیرات لازم برای ارائه

برای اندازه‌گیری و گزارش مقاومت لغزشی سطح جاده در شرایط مرطوب به یک برنامه منسجم مدیریت مقاومت لغزشی روسازی نیازمند است. مقاومت لغزشی با ضخامت فیلم آب بر روی سطح روسازی بستگی دارد. از آنجاییکه، سرعت بالای خودرو و لایه ضخیم آب، مقاومت لغزشی پایین‌تری را نشان می‌دهد، 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 می‌شود. در این آزمون حداقل مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده به طور استاندارد به عنوان آستانه مقاومت لغزشی برای فعال‌سازی تعمیر و نگهداری برای دست اندرکاران بزرگراهی مشخص می‌گردد (هیات تحقیقاتی بزرگراه، ۱۹۷۲؛ هال و همکاران، ۲۰۰۹). هر قسمت از روسازی که دارای مقاومت لغزشی برابر و یا کمتر از آستانه داشته باشد، برای رانندگی در هوای مرطوب خطرناک محسوب می‌شود. شکل ۱ شماتیکی از عوامل درگیر در فرایند لغزش و آب پیمایی خودرو را نشان می‌دهد.

و مسائل مربوط به ایمنی راه را به طور موثرتر مورد توجه قرار دهند. مفهوم حداقل آستانه مقاومت لغزشی در مدیریت روسازی، در ابتدا کنترل تک نقطه ای مقاومت لغزشی برای حفظ مقدار مناسب مقاومت لغزشی در راستای حفاظت کاربران در برابر تصادفات جاده‌ای در سطوح مرطوب بوده است. مقاومت لغزشی توسط یک روش استاندارد با یک سرعت مشخص و یک ضخامت فیلم آب ثابت شناخته شده معمولاً توسط دستگاه آزمون مشخص (Grip Tester) و یا (SCRIM) انجام می‌شود. آستانه مقاومت لغزشی حداقل نیرویی است که تأثیر خودرو را از لغزش‌های دوار بر روی سطح خیس جاده مصون می‌دارد (انجمن تحقیقات بزرگراه، ۱۹۷۲). 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 لغزشی دارد. عمده نگرانی در مورد کاهش قابل ملاحظه‌ای 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). از این رو،



شکل ۱. شماتیکی از عوامل موثر در فرایند لغزش و آب پیمایی را نشان می‌دهد (Fwa. T.F, 2017)

مقاومت لغزشی بر اساس عوامل زیر بررسی می‌شود:

- سرعت
- شدت ترافیک
- سطح مقاومت لغزشی
- منحنی‌ها (ترازهای عمودی و افقی)
- تقاطع‌ها
- وسایل نقلیه/لاستیک

شایان ذکر است که در ایالات متحده آمریکا در ۱۰ سال گذشته، در آب و هوای مرطوب تعداد ۹۵۹۷۶۰ کل تصادفات بوده که به طور متوسط تعداد ۴۷۸۹ تصادفات فوتی و تعداد ۳۸۴۰۰۰ از تصادفات جرحی و بوده است. ۱۷٪ از کل تصادفات در آب و هوای مرطوب رخ داده است. تلفات تصادفات در آب و هوای مرطوب ۱۳٪ از کل تلفات گزارش شده است.

نقلیه به طور مستقیم توسط عدد لغزشی سطح جاده تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اعداد پایین لغزشی می‌تواند باعث افزایش بیش از حد فاصله توقف شوند و در نتیجه موجب افزایش احتمال تصادفات گردند. این مشکل در شرایطی که سطح جاده مرطوب است شدت می‌گیرد. مفهوم برنامه اصلاح مقاومت لغزشی این است که شناسایی و کاهش اثرات منفی ایمنی مرتبط با سطوح مقاومت لغزشی غیر قابل قبول روسازی است. یک برنامه موثر باید محدوده مشکل را تعیین کند، اولویت را برای اصلاح تعیین کند، و در آخر اقدامات مناسب را توصیه نماید. این وظایف باید براساس اعداد لغزشی در دسترس، ویژگی‌های ترافیکی و شرایط کلی جاده باشد.

۲-۱- روش‌های چهارگانه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی

میدانی

چرخ قفل‌شونده: درحالی که یک شرایط لغزش ۱۰۰ درصد تولیدشده و مقاومت لغزشی اندازه‌گیری می‌شود. این آزمون را می‌توان با لاستیک صاف (ASTM E 524) یا لاستیک آج‌دار (ASTM E 501) انجام داد. نیروی جانبی: اندازه‌گیری مقاومت لغزشی سطح جاده با استفاده از یک چرخ دوار با زاویه ۲۰ درجه اندازه‌گیری می‌شود.

لغزش ثابت: اصطکاک برای چرخ‌هایی است که به طور مداوم لغزش را اندازه‌گیری می‌کنند (ASTM E670).

لغزش متغیر: اصطکاک در هر لغزش مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کند (ASTM E1859). در تمامی روش‌های مربوط به چرخ قفل شده و لغزش متغیر لاستیک، ضریب اصطکاک بر روی سطوح مرطوب اندازه‌گیری می‌شود. جدول ۱ روش‌های متداول اندازه‌گیری مقاومت لغزشی آزمایشگاهی و میدانی را نشان می‌دهد.

مهندسان می‌توانند با توجه به موارد زیر به طراحی‌های مختلف برای بهبود مقاومت لغزشی اهتمام ورزند:

طراحی مناسب از جمله ترازهای افقی و عمودی و درجه بلندی قوس

زه کشی مناسب

استفاده از مصالح مرغوب دارای مقاومت مناسب در مقابل "صیقل پذیری"

برنامه‌ریزی نظارت دائمی بر شرایط روسازی

نظارت دائمی بر الگوی تصادفات

۲- عوامل جاده‌ای تاثیرگذار بر مقاومت لغزشی

در حالی که مشخص شده است که متغیرهای زیادی در حوادث رانندگی دخیل می‌باشند، اما تنها عوامل جاده‌ای در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. عوامل مرتبط بر روی مقاومت لغزشی روسازی جاده‌ها عبارتند از:

- بافت ریز و بافت درشت
- ضخامت فیلم آب
- تغییرات فصلی
- خواص مصالح سنگی
- سرعت خودرو
- سن روسازی
- شدت ترافیکی

۳- هدف و دامنه

هدف این کمک به شهرداریها و راهداری در بخش‌های بزرگراهی با سطوح دارای مقاومت لغزشی غیر قابل قبول با رویکرد رسمی و هماهنگ شده است. تلاش‌های سازمان یافته بین بخش آمار برنامه‌ریزی، دفاتر منطقه‌ای، تعمیر و نگهداری مرکزی و بخش ترافیک و ایمنی برای تطبیق عملکرد برنامه‌ها مورد نیاز است. فاصله توقف ایمن وسایل

جدول ۱. روش‌های متداول اندازه‌گیری مقاومت لغزشی آزمایشگاهی و میدانی

آزمایش	استاندارد	محاسبه
آونگ انگلیسی	ASTM E 303	SRV, BPN
ضریب نیروی جانبی دستگاه اندازه‌گیر مداوم مقاومت لغزشی (SCRIM)	In accordance with TRL Report 176: Appendix E and Road Research Laboratory Road Note 27	SFC
گریپ تستر	ASTM E 1844 (test tire specification)	GripNumber
تریلر چرخ قفل شده	ASTM E 274	SN/FN
آزمایشگر مقاومت لغزشی پویا	ASTM E 1911	Dynamic COF

۴- گریپ تستر

۴-۱- دستگاه اندازه‌گیری نیروی جانبی (SCRIM)
اندازه‌گیری برای کنترل مقاومت لغزشی در شبکه راه‌ها، باید با دستگاه ارزیابی معمول اندازه‌گیری شده و ضریب نیروی جانبی مطابق با استاندارد بریتانیا (BS7941-1) انجام شود. یا اینکه فقط دستگاه‌هایی که توسط دستگاه نظارتی برای استفاده در شبکه مورد تایید قرار گرفته‌اند و با قابلیت اندازه‌گیری دینامیکی عمودی دارند مورد استفاده قرار گیرند. الزامات برای دستیابی و اعتباربخشی توسط دستگاه نظارتی تعیین می‌گردد. دستگاه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی SCRIM نیز به دلیل مزایای این دستگاه برای اندازه‌گیری مقاومت لغزشی در طول جاده‌ها به طور مداوم استفاده می‌شود و بسیاری از کشورهای دنیا از آن استفاده می‌کنند و برای جاده‌های ایران نیز مناسب است و همچنین این دستگاه بافت بزرگ شبکه سطح جاده را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (British Standard BS 7941-1:2006). سنجش جانبی نیرو به تغییرات بافت‌ریز سطح حساس است، اما به طور کلی به آسفالت بافت درشت حساس نیست. دو دستگاه اندازه‌گیری نیروی جانبی که به طور گسترده‌گی مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از: Mu-Meter و ماشین اندازه‌گیر ضریب مقاومت جانبی سطح راه (SCRIM) که توانایی اندازه‌گیری مقاومت لغزشی مداوم در طول منطقه آزمون را دارد، و آن مزیت اصلی دستگاه‌های اندازه‌گیری نیروی جانبی است، زیرا این توانایی تضمین می‌کند که رویه‌های با اصطکاک کم، مورد ارزیابی قرار گیرند و نادیده گرفته نشوند (Henry, J. J. 2000) (شکل ۳).

گریپ تستر وسیله‌ای است که به‌طور مداوم و به صورت پویا ضریب مقاومت لغزشی روسازی را به‌صورت عدد گریپ (GN) بیان می‌نماید. مقدار مقاومت لغزشی از نیروی اصطکاک مشاهده شده بین یک چرخ نیمه قفل شده و روسازی مرطوب حاصل می‌شود. مقاومت لغزشی ممکن است با درجه حرارت، تغییرات فصلی آب و هوایی، شرایط سطوح روسازی و بهره‌برداری از تجهیزات متفاوت باشد. گریپ تستر یک تریلر سه چرخ با وزن ۸۵ کیلوگرم است که دو عدد از سه چرخ برای حرکت و ثابت در حالی که به چرخ سوم ۱۵٪ نیروی ترمز در هر دور اعمال می‌شود. ضریب مقاومت لغزشی و بارگذاری به طور مداوم با درجه حرارت، فاصله سفر و سرعت اندازه‌گیری می‌شود. ضریب اصطکاک (محاسبه شده به عنوان بار/کشش) به عنوان عدد گریپ معروف است که مجموعه داده‌ها بصورت خودکار در یک لپ تاپ ذخیره می‌شود. این دستگاه تست نیاز به یک سیستم خیس کننده سطح ۵۰۰ لیتری دارد که در وسیله نقلیه داخل وسیله نقلیه کشنده قرار دارد. همانند بیشتر تست‌های اصطکاک دستگاه، تست با ضخامت ۱ میلی‌متر ضخامت فیلم آب که بلافاصله در جلو تایر سوم ریخته می‌شود انجام می‌شود (شکل ۲).

ضریب بدست آمده از این دستگاه (GN) قابل تبدیل به ضریب نیروی جانبی SCRIM (SFC) می‌باشد. از آنجایی که دستگاه‌های مختلف مقاومت لغزشی را براساس دستورالعمل‌های گوناگون اندازه‌گیری می‌کنند. در این خصوص به دستگاه اسکریم (SCRIM) نیاز است. اسکریم مقاومت لغزشی (SFC) را با چرخ با زاویه ۲۰ درجه در جهت حرکت اندازه‌گیری می‌نماید.



شکل ۲. گریپ تستر (Findlay Irvine)



شکل ۳. دستگاه (SCRIM) قادر به اندازه‌گیری مداوم مقاومت لغزشی روسازی را نشان می‌دهد.

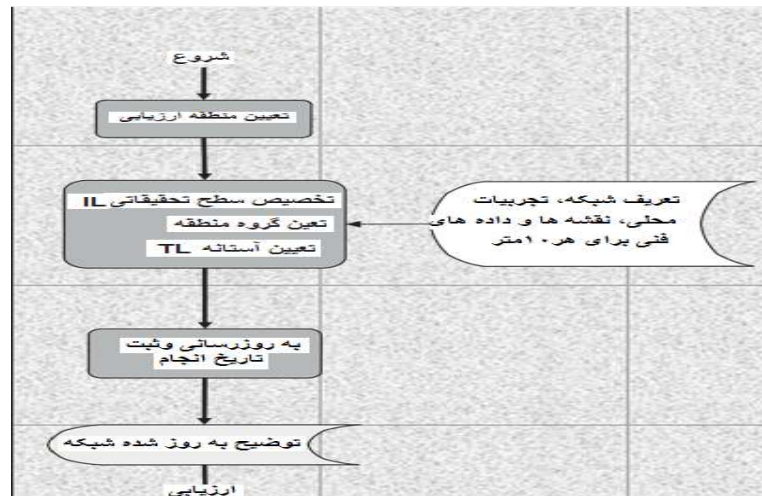
۴-۲- فرایند مدیریتی مقاومت لغزشی

لغزشی از طریق سطح تحقیق و سطح آستانه (IL و TL) مناسب برای گروه منطقه‌ای (SC) 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 (شکل ۴).

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

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 مشخصات فصلی تصحیح شده و نرمالیزه می‌گردد و برای تغییرات هر سال و همچنین تغییرات بین سالی برای به دست آوردن ضریب تعادل اسکریم (ESC) استفاده می‌شود. ضریب تعادل اسکریم به عنوان یک عامل برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری پوشش‌های سطحی برای اصلاح مقاومت

شکل ۴. فرایند مدیریتی مقاومت لغزشی



گزارش ویژه تفکیک بخش‌های شبکه را با کمترین ضریب SCRIM یا بافت درشت را گزارش می‌دهد. ارزیابی شبکه کامل برای تعمیرهای بیشتر و پوشش‌های سطحی و عملکرد کل هنگامی انجام می‌شود که پایگاه داده با جمعیت داده‌های فصلی اصلاح شده بانک اطلاعاتی RAMM در اختیار باشد.

ارزیابی اولیه و برنامه‌ریزی برای تعمیرات در مرحله "گزارش ویژه" که در ادامه توضیحات آن آورده شده است لحاظ می‌شود. همانطور که تصحیح تغییرات فصلی نمی‌تواند تا پایان تابستان تکمیل شود، گزارش ویژه پس از بررسی به منظور برنامه‌ریزی سریع برای تعمیر به منظور مقابله با مهم‌ترین مسائل مربوط به مقاومت لغزشی تولید می‌شود.

۵- تقسیم شبکه

شبکه راه به قطعات طول ۱۰ متر برای هر خط تقسیم می‌شود، با شروع و پایان هر طول دقیق توسط مختصات GPS تعریف شده و با یک برچسب خطی مشخص می‌شود. پیمانکار با توجه به مجموعه داده‌های با سرعت بالا سطح تحقیق را از توضیحات سایت و IL به طور پیش فرض و (ILM) برای هر قطعه ۱۰ متر خط مورد بررسی، مشخص می‌کند. گروه‌بندی مناطق از ترکیبی از داده‌های دستی وارد شده و سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده در طی بررسی محاسبه می‌شود. در ارزیابی‌های آینده، گزارش‌ها بر اساس داده‌های ثابت RAMM در اختیار پیمانکار تنظیم می‌شود. دقت گزارش‌ها با مسئولیت دست اندرکاران منطقه است. برای کمک به شناسایی ویژگی‌های جدید، اطلاعات با داده‌های ثابت RAMM و داده‌های وارد شده توسط پیمانکار بررسی و مقایسه می‌شود. یک طول پیوسته با توضیح مشخصات یک سایت به عنوان یک منطقه لغزنده شناخته می‌شود. این سایت‌ها معمولاً بیشتر از ۵۰ متر طول دارد، اما می‌توانند چندین کیلومتر یا بیشتر نیز باشند.

۵-۱- 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 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 را تعیین نماید (هیات تحقیقاتی بزرگراه، ۱۹۷۲؛ 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 که در ادامه این مقاله به برخی از مهمترین آنها پرداخته می‌شود.

۵-۲- سطح تحقیقاتی (IL)

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 صرفه‌جویی در هزینه تصادفات
در جدول ۲ در زیر هر مکان لغزشی که دارای یک گروه منطقه (SC) مرتبط است و محدوده‌ای از IL برای فرصت دادن در موارد مختلف ریسک خطر در نظر گرفته شده است:
سطح با سایه سیاه مشخص شده در جدول ۲ جزئیات سطوح تحقیقاتی (IL، واحد ESC) را برای گروه منطقه مشخص می‌کند.

جایی که خطر تصادف پایین است، صرفه‌جویی در تعمیر و نگهداری ممکن است با انتخاب IL پایین‌تر انجام شود. در جایی که خطر تصادف بالاتر از میانگین ملی باشد، IL باید بالاتر انتخاب شود یا سایر اقدامات ایمنی برای کاهش احتمال تصادف جاده‌ی مرطوب به میانگین ملی برای گروه منطقه اجرا شود.

فقط یک گروه منطقه را می‌توان به هر بخش از یک خط در شبکه اختصاص داد. اگر بیش از یک گروه منطقه مناسب باشد، گروه منطقه با IL پیش فرض بالاتر انتخاب می‌شود. در جایی که دو حادثه اتفاق می‌افتد، توجه به استفاده حتی از یک IL بیشتر برای نشان‌دادن ریسک ترکیبی داده می‌شود. توصیف منطقه با IL مرتبط در جدول ۲ آمده است.

تبصره ۱

- واحدهای IL در جدول ۲ ESC هستند. در جاییکه داده‌های تصحیح شده فصلی موجود نیست. ضریب SCRIM (SC) ممکن است یک تقریب بجای ESC با بررسی‌های بیشتری انجام شود و قتیکه که اصلاحات فصلی در دسترس باشد.
- بدون حادثه: جایی که هیچ محدودیت هندسی دیگر یا شرایطی که ممکن است وسیله نقلیه به طور ناگهانی ترمز نماید و الزامات مقاومت لغزشی را افزایش دهد وجود ندارد.
- گروه منطقه در بعضی از تحقیقات بجای حروف از اعداد استفاده می‌شود.

جدول ۲. سطوح تحقیقات مقاومت لغزشی

سطح تحقیق (IL) در سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت							موقعیت		گروه
۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۰	ESC	منطقه (SC)	
۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۳۵	Grip Number		
							بزرگراه دو خطه بدون رویداد*	B	
							بزرگراه یک خطه بدون رویداد	C	
							بزرگراه یک خطه بدون رویداد دارای محدوده سرعت $50 \geq$ کیلومتر در ساعت	D	
							نزدیک به تقاطع اصلی و فرعی و میدین و در طول آنها و نزدیک به میدین	Q	
							نزدیک به خطوط عبور عابر پیاده و سایر نقاط با ریسک خطر بالا	K	
							میدین	R	
							شیب $\leq 10\%$ و دارای طول بیش از ۵۰ متر	G1	
							شیب $5-10\%$ و دارای طول بیش از ۵۰ متر	G2	
							پیچ دارای شعاع ≥ 500 متر در بزرگراه های دوخطه	S1	
							پیچ دارای شعاع ۲۵۰ الی ۵۰۰ متر در بزرگراه های یک خطه	S2	
							پیچ دارای شعاع ≥ 250 متر در بزرگراه های یک خطه	S3	

۳-۵- گزارش ویژه

مقابله با مهم ترین مسائل مربوط به مقاومت لغزشی تدوین می شود. گزارش ویژه تفکیک بخش های شبکه را با کمترین ضریب SCRIM یا بافت درشت را گزارش می دهد.

فرآیند گزارش ویژه خروج از این موارد است:

الف- پس از بررسی هر شبکه داده ها بررسی می شوند و یک گزارش ویژه توسط مسئولین مربوطه از طریق قراردادی با مشاور به منطقه مربوطه ارسال می شود.

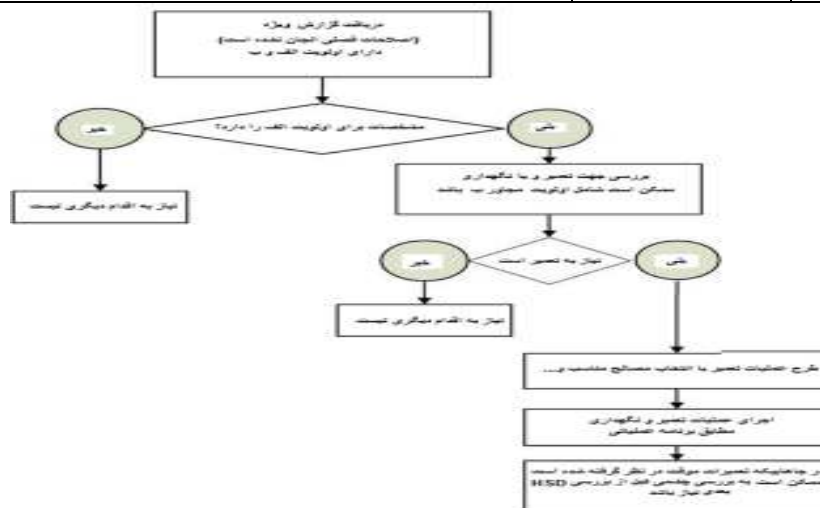
برای فعال کردن بررسی فوری مقاطع با مقاومت لغزشی کمتر گزارش ویژه باید تهیه گردد. این قسمت جزئیات که در آن ضریب SCRIM (SC) و/ یا بافت درشت کمتر از سطح آستانه (TL یا TLM) هستند و بنابراین اولویت بالا برای تعمیرات در نظر گرفته می شود. (جدول ۲). ارزیابی اولیه و برنامه ریزی برای تعمیرات در مرحله "گزارش ویژه" جدول ۲ لحاظ می شود. همانطور که تصحیح تغییرات فصلی نمی تواند تا پایان تابستان تکمیل شود، گزارش ویژه پس از بررسی به منظور برنامه ریزی سریع برای تعمیر به منظور

ماهانه با برنامه تعمیرات مقایسه شود.
 ذ- به طور کلی تعمیرات در برنامه نگهداری سالانه انجام می‌شود و انتظار نمی‌رود تا تابستان آینده باشد. با این حال، روکش کردن و یا احیاء کردن مقاومت لغزشی از دست رفته، اقتصادی‌ترین نوع تعمیر است، محدودیت‌های آب و هوای فصلی ممکن است نیاز به ترمیم موقت (مثلاً سند بلاستینگ/جت فشار آب) داشته باشد و بعد از آن تعمیرات کلی در فصل تابستان بعد باشد.

ب- گزارش ویژه شامل گزارشات SC و بافت درشت برای هر ۱۰ متر که در آن SC و/یا بافت درشت زیر سطح آستانه مقاومت لغزشی همراه با محل و زمان بررسی است.
 ج- در دریافت گزارش ویژه، مناطق باید بدون نیاز به بررسی و برنامه‌ریزی بخش‌هایی که مطابق با این مشخصات مشخص شده‌اند، براساس این فرض که SC همان ESC است در مدت زمان مناسب مورد ترمیم قرار گیرند (جدول ۳).
 د- تمام بازرسی‌ها و برنامه‌های برنامه‌ریزی شده بایستی ثبت شود. پیشرفت برای هر دو بازرسی و تعمیر باید به صورت

جدول ۳. اولویت تعمیر برای سطوح موجود

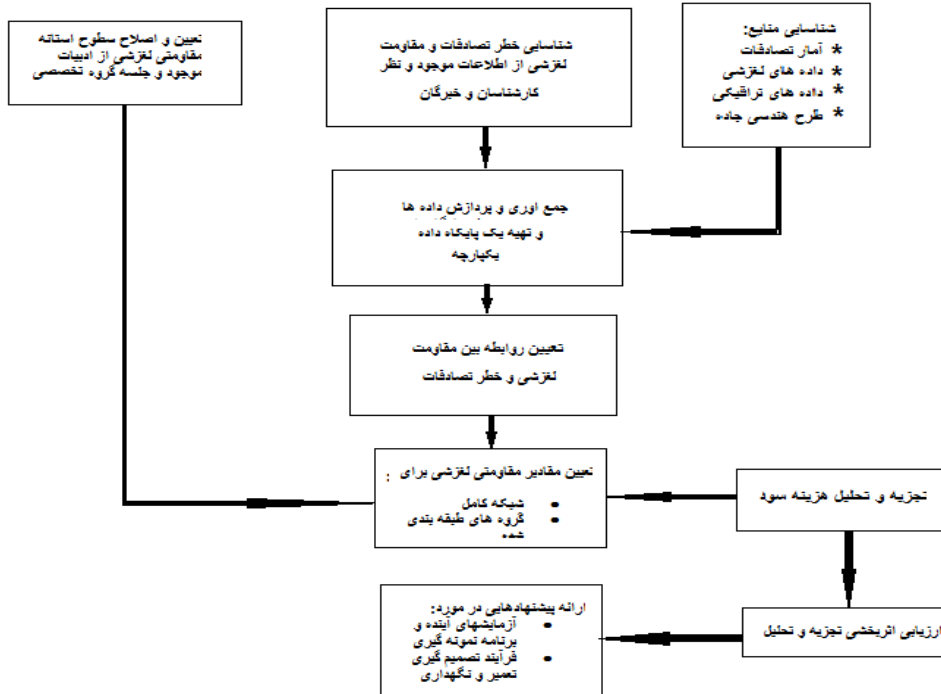
اولویت تعمیر	تعریف	عملیات
زیاد	مقادیر ESC در حدود و یا در زیر TL	در صورت دریافت گزارش کمبود مقاومت لغزشی، این مناطق باید فوراً مورد بررسی قرار گیرند. بازرسی در محل انجام شده، علت کمبود مقاومت لغزشی و تعمیر مناسب طراحی شده و برنامه ریزی گردد و در اسرع وقت به عنوان بخشی از تعمیر و نگهداری بزرگراه در دستور کار قرار گیرد. هر گونه تعمیر و نگهداری باید حداقل به افزایش مقاومت لغزشی به سطح بالاتر از TL در مدت حداقل به مدت ۱۲ تضمین گردد. ۶ ماه پس از تعمیر یا نگهداری، بازرسی به شرح زیر باید انجام شود: • ESC سطح تعمیر شده بالاتر از سطح آستانه TL برای مدت ۱۲ ماه یا کمتر حفظ شود. • تعمیراتی اعمال می‌شود که مقاومت لغزشی را افزایش نمی‌دهند.
متوسط	مقادیر ESC بین IL و TL	بازرسی و برنامه‌ریزی برای تعمیرات در آینده و بازرسی‌های بعدی بررسی گردد. تعمیر و نگهداری باید با هدف به حداقل رساندن خطر مقاومت لغزشی زیر TL برنامه‌ریزی گردد. در جایی که مقاومت لغزشی ممکن است تا قبل از اتمام دوره تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده و یا آزمون با سرعت بالا کمتر از TL باشد،
کم	نظارت بر عملکرد روسازی برای کمک به برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری در آینده	نظارت بر عملکرد روسازی‌ها برای کمک به برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری در آینده



شکل ۵. فرایند اجرایی کردن گزارش ویژه (Waka Kotahi. 2010)

۶- چارچوب مفهومی و فرایند تعیین سطح آستانه

در این بخش، یک چارچوب مفهومی برای نشان دادن اجزای مختلف کل فرآیند اندازه‌گیری رابطه بین ایمنی و شرایط روسازی جاده و تعیین سطوح آستانه بحرانی به لحاظ مقاومت لغزشی ارائه می‌شود. شکل ۶ چارچوب مفهومی برای این پژوهش را نشان می‌دهد. در چارچوب مفهومی برای دستیابی به اهداف پژوهشی چهار مرحله برنامه‌ریزی می‌شود:



شکل ۶. چارچوب مفهومی تحقیق

۷- مراحل برنامه‌ریزی و انجام ارزیابی‌های مقاومت لغزشی و پردازش اطلاعات

۷-۱- منابع و پردازش داده‌ها

این بخش در مورد فرایند چهار مرحله‌ای توسعه یک پایگاه جامع در پشتیبانی از این مطالعه می‌پردازد:

- (۱) تحقیق در مورد منابع داده موجود، که حاوی اطلاعات برای کمک به تجزیه و تحلیل است؛
- (۲) شناسایی متغیرهایی که می‌توانند به طور بالقوه به تجزیه و تحلیل ایمنی از منابع داده موجود کمک کنند؛
- (۳) بررسی کامل بودن داده‌ها، دقت و صحت آنها و...
- (۴) ایجاد ارتباط برای ادغام پایگاه‌های چندگانه با استفاده از روش ارجاع خطی.

پایگاه داده‌ها

تصادفات ترافیکی حوادث پیچیده‌ای هستند که به وسیله ترکیبی از عوامل مرتبط با راننده، وسایل نقلیه و بزرگراه‌ها بوجود می‌آیند. به منظور انجام یک مطالعه ایمنی، معمولاً داده‌های مختلفی مانند داده‌های (که شامل راننده، وسیله نقلیه، آب و هوا و سایر اطلاعات مربوط به تصادف)، داده‌های وضعیت روسازی، داده‌های موجود در جاده‌ها و داده‌های ترافیک است. نرم‌افزارهای مختلفی جهت جمع‌آوری اطلاعات موجود می‌باشد که یکی از این نرم افزارها

ایمنی مهم هستند: اطلاعات طراحی جاده، پارامترهای هندسی و شرایط آسفالت. چنین اطلاعاتی در پایگاه داده PMIS قرار می‌گیرد. نوع بزرگراه، نوع سطح روسازی، تعیین نوع روستایی/ شهری و محدودیت سرعت (حداکثر/ - حداقل) محدود نمی‌شود. به عنوان مثال، نوع بزرگراه شامل بزرگراه‌های بین شهری، شماره بزرگراه، بزرگراه‌های دولتی و جاده‌های روستایی است؛ انواع مختلف بزرگراه اغلب منجر به استفاده از معیارهای طراحی متفاوت می‌شود. معیارهای طراحی، که معمولاً توسط آشتو و TxDOT منتشر شده، راهنمایی برای طراحی عناصر طراحی جاده‌ای مانند درجه قوص و طول منحنی برای منحنی‌های افقی ارائه می‌دهند. پارامترهای هندسی شامل خط عرض، تعداد خطوط، عرض شانه (در داخل/ خارج) و عرض میانی است. به خصوص برای بخش‌های منحنی جاده، طول و درجه منحنی افقی از اهمیت برخوردار است. برای نشان دادن تأثیرات پارامترهای هندسی بر رفتار رانندگی، عرض شانه و تعداد خطوط به عنوان نمونه ارائه شده است. شانه‌های روکش شده حمایت‌های جانبی را برای خطوط جاده فراهم می‌کند؛ شانه‌های باریک ممکن است باعث تصادف باشد. شرایط روسازی مناسب شامل شرایط نگهداری برای بخش‌های جاده فعلی است. به عنوان مثال، شرایط عمومی روانکاری با استفاده از نمره خرابی، نمره وضعیت، نمره مقاومت لغزشی و انواع نارسایی‌های خاص و محدودیت برای بتن آسفالتی و سطوح بتنی و بتونه سیمان است.

۷-۱-۱- اطلاعات ترافیکی

اطلاعات ترافیکی شامل درصد AADT و کامیون AADT می‌تواند برای محاسبه تعداد کامیون‌ها استفاده شود، که در پایگاه‌های PMIS، RHiNo و Geo-HINI قرار می‌گیرد. کامیون‌ها می‌توانند در هنگام انجام فعالیت‌های خود چرخش یا ترمز، از جمله تغییر خط، عبور وسایل نقلیه دیگر و ورود یا خروج از بزرگراه، در زمینه دید دیگر راننده تأثیرات بصری داشته باشند. وسایل نقلیه سنگین نیز در هنگام شتاب گرفتن یا ترمز کردن و سبقت و یا ورود و خروج از بزرگراه عملیاتی متفاوت برخوردار هستند. حضور کامیون‌های سنگین می‌تواند رفتارهای رانندگی خودروهای سبک وزن را با توجه به سرعت عمل و رفتارهای دیگر تحت تأثیر قرار دهد. متغیرهای دیگر همچنین تأثیر قابل توجهی بر ایمنی

TxDOT است که بیشترین این اطلاعات را در چندین بانک اطلاعاتی جمع‌آوری و نگهداری می‌کند، از جمله سیستم اطلاعات آمار تصادفات (CRIS)، سیستم اطلاعات مدیریت روسازی (PMIS)، شبکه موجودی جاده‌ها (RHiNo) و Network Inventory Geometric- و Highway Geo-HINI را می‌توان مورد استفاده قرار داد.

اطلاعات رفتار راننده

متغیرهای مرتبط با رفتار راننده، از جمله سن راننده، جنسیت، شدت آسیب، و نتایج آزمایش الکل و مواد مخدر، در پایگاه داده CRIS ذخیره می‌شود. به طور خاص، برای دوچرخه سواری و تصادف مرتبط با موتور سیکلت، سوالاتی مانند: آیا پوشیدن کلاه ایمنی رانندگان ثبت شده است و یا نه نیز دیده می‌شود. اطلاعات راننده برای تجزیه و تحلیل عوامل مرتبط با تصادف و ایجاد آمار جمعیتی رانندگان در تصادف بحرانی از این جمله است.

اطلاعات خودرو

اطلاعات خودرو شامل سال خودرو، نوع (به عنوان مثال، ماشین، SUV، کامیون، نقص و شدت آسیب به خودرو محدود می‌شود. وضعیت خودرو بر ایمنی رانندگان تأثیر می‌گذارد. وسایل نقلیه دارای نگهداری ضعیف می‌تواند به تصادف کمک کند. پایگاه داده CRIS منبع اصلی این اطلاعات است.

اطلاعات تصادفات

پایگاه داده CRIS شامل اطلاعات تصادفات است که عمدتاً از گزارش‌های پلیس استخراج شده است، از جمله داده‌ها زمان، مکان، شدت، نوع، عوامل کمک کننده به تصادف، رویداد مضر، تعداد افراد درگیر در تصادف، آیا شمارش مرگ و میر تصادف مربوط به یک منطقه است، آیا خودروی تجاری درگیر است و آیا اتوبوس مدرسه درگیر است یا خیر. چنین اطلاعاتی نه تنها پس زمینه عوامل اصلی مربوط به تصادف مشخص شده توسط پلیس راهنمایی را فراهم می‌کند، بلکه می‌تواند برای تحلیل تصادفات با موقعیت، نوع و شدت آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

اطلاعات جاده

سه گروه اطلاعات اطلاعات جاده برای تجزیه و تحلیل

دارند، از قبیل عوامل آب و هوایی، نوع زمین و پل‌ها. بیشتر این اطلاعات در پایگاه داده CRIS قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، تغییر درجه و تراز عمودی ممکن است بر سرعت رانندگی تاثیر می‌گذارد و مشکل نگه داشتن سرعت ثابت را افزایش می‌دهد.

بررسی داده‌ها

قبل از ادغام داده‌ها از منابع مختلف، از جمله PMIS، CRIS، RHiNo و GeoHINI مجموعه داده‌ها، قابلیت اطمینان، کامل بودن و هماهنگی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی اطمینان، داده‌ها برای اطمینان از اینکه مقادیر داده در یک محدوده معقول بررسی شده‌اند مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، امتیاز وضعیت روسازی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ است. هر مقداری که در این محدوده قرار نگیرد، به عنوان اطلاعاتی از دست رفته طبقه‌بندی می‌شود. برای بررسی کامل بودن داده‌ها، درصد از دست رفته داده‌ها و اطلاعات برای هر مورد مورد نیاز در هر فایل داده مورد بررسی قرار می‌گیرد. درصد داده‌های موجود نیز ثبت می‌شود. به عنوان مثال، آزمون مقاومت لغزشی در سطح شبکه بر اساس سالانه انجام می‌شود. بین ماه‌ها، و آگوست هر سال، آزمون‌های مقاومت لغزشی در طول مسیرهای پیش تعیین شده در هر بخش PMIS، ۰/۵ مایل با یک تست مقاومت لغزشی در هر بخش انجام می‌شود.

۷-۱-۲- ادغام پایگاه داده

چهار پایگاه داده، یعنی PMIS، Geo-HINI، RHiNo و CRIS، در اصل برای طراحی اهداف مختلف مدیریت

برای TxDOT طراحی و توسعه داده شدند؛ بنابراین، هر پایگاه داده با استانداردهای خاص خود و گاهی منحصر به فرد توسعه داده شده است. به منظور ایجاد یک پایگاه داده یک پارچه، چهار منبع داده باید بر اساس یک سیستم جامع شامل آمار تصادفات، اطلاعات مقاومت لغزشی و ویژگی‌های هندسی و ترافیک، وارد شود. ادغام داده‌ها تنها در صورتی امکان پذیر است که این منابع داده‌ها دارای یک سیستم مشابه باشند تا اطلاعات از منابع مختلف به درستی با هم مرتبط شوند. درک تعاریف هر سیستم ارجاع و نحوه استفاده از آنها برای هر منبع داده برای شناسایی رویکرد یکپارچه سازی داده‌ها بسیار مهم است.

روش‌های مختلف تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی (TL) در کشورهای مختلف دنیا روش‌های متعددی جهت تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی بکار گرفته می‌شود که در ادامه به متداول‌ترین آنها پرداخته می‌شود.

۷-۱-۳- روش نسبت نرخ تصادفات CRR

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

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

CRR = نسبت نرخ تصادفات

$P_{\frac{SN}{CR}}$ = درصد تجمیعی از کل تصادفات کمتر از یک SN خاص

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

ندارد، در نتیجه درصد مشخصی از تصادف باید مربوط به یک درصد مشابه از شبکه در خط کیلومتر باشد. به عنوان

فرمول CRR مبتنی بر مفهوم نسبت است؛ به طور خاص، اگر فرض شود که مقاومت لغزشی در نقاط ترافیکی نقشی

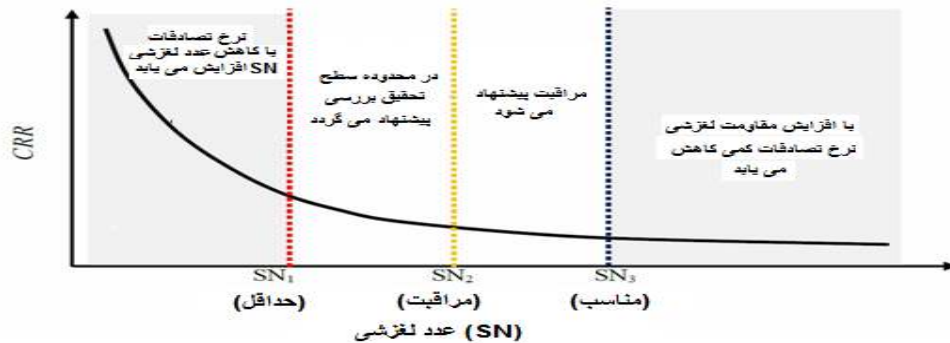
می‌کند. مزیت این روش این است که سطح ایمنی به عنوان معیار تعیین‌کننده در انتخاب عدد لغزشی و آستانه‌های متعدد برای هر منحنی توسعه یافته شناسایی می‌شود. از سه نقطه شکست که منحنی را به چهار منطقه تقسیم کردند استفاده می‌شود. سه نقطه جهت تصمیم‌گیری پیشنهادی: الف- هیچ اقدام لازم نیست. ب- احتیاط لازم است و ج- آزمایش دقیق در سطح پروژه باید برای تعیین اینکه آیا تعمیر مورد نیاز است انجام شود. شکل ۷ 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 روسازی‌ها در هر گروه محدود شده توسط این سه نقطه توصیه می‌شود که در جدول ۴ نشان داده شده است.

مثال، فرض کنید ۳۰ درصد از کل طول راه در یک شبکه دارای SN کمتر از ۳۵ باشد مقدار $CRR = 2$ محاسبه می‌شود (با توجه به سوابق تصادفات و داده‌های موجود و با در نظر گرفتن SN۳۵). مقدار $CRR = 2$ نشان می‌دهد که ۶۰ درصد (درصد $60 = 30 \times 2$) از کل تصادفات در ۳۰ درصد از طول کیلومتر بزرگتر اتفاق می‌افتد.

تعیین میزان آستانه عدد لغزشی از روش سه نقطه منحنی
در تعیین میزان آستانه عدد لغزشی روشهای متعددی وجود دارد که یکی از این روشها روش سه نقطه منحنی می باشد. با توجه به رابطه تئوریک ریسک تصادف و مقاومت لغزشی، آستانه‌های SN خطرناک را می‌توان با بررسی ویژگی‌های منحنی شکل ۷ شناسایی کرد. CRR روش معمولی برای تعیین مقادیر آستانه خطر با شناسایی CRRهای معمولی انتخاب شده و سپس اعداد لغزشی مربوط آنها را تعیین

جدول ۴. اقدامات پیشنهادی برای هر گروه رویه انجام می‌شود.

دامنه SN	عملیات پیشنهادی
$SN < SN_1$	پروژه بالقوه برای اقدامات تعمیرات کوتاه مدت
$SN_1 < SN \leq SN_2$	آزمایش دقیق در سطح پروژه توصیه می‌شود.
$SN_2 < SN \leq SN_3$	نظارت توصیه می‌شود.
$SN > SN_3$	افزایش SN ممکن است اثر کمی در کاهش نرخ تصادف داشته باشد



شکل ۷. تصویر مفهومی سطح معمول مقاومت لغزشی را نشان می‌دهد.

SN1: سطح حداقل مقاومت لغزشی

نگهداری روسازی برای حل مشکل انجام شود و نیز توصیه شود آیا باید اقدامات کوتاه مدت برای بهبود شرایط روسازی در شرایط موجود مقاومت لغزشی انجام شود یا خیر.

اگر SN پایین تر از سطح آستانه حداکثر قابل قبول (SN1) باشد، خطر تصادفات به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد به این دلیل که SN کاهش می‌یابد و بنابراین باید تعمیر و

SN2: سطح مراقبت از مقاومت لغزشی

شود که آیا تعمیر مورد نیاز است یا خیر وقتی که SN برابر یا کمتر از SN2 است، و ب) در صورتی که SN بیشتر از SN1، و کمتر از SN2 باشد احتیاط لازم است.

بخش‌های بزرگراه با SN بین حداقل آستانه قابل قبول و سطوح مطلوب مقاومت لغزشی به عنوان بخش‌های عمل بالقوه پیشنهاد می‌شود. SN2 به دو دسته تقسیم می‌شود: الف) باید آزمون دقیق در سطح پروژه انجام شود تا تعیین

SN3: سطح مطلوب مقاومت لغزشی

یک بخش جاده‌ای مساوی یا بالاتر از سطح مطلوب باشد، نشان می‌دهد که این بخش از نظر اصطکاک روسازی به خوبی حفظ شده است و برای بهبود مقاومت در برابر لغزش از منظر ایمنی نیازی به اقدامات بعدی نیست.

سطح مطلوب مقاومت در برابر لغزش (SN3) به عنوان مقداری تعریف شده است که در آن افزایش بیشتر مقاومت لغزشی اثر کمتری در کاهش خطر تصادف خواهد داشت. به عبارت دیگر، می‌توان آن را نقطه بازگشت دانست. اگر SN

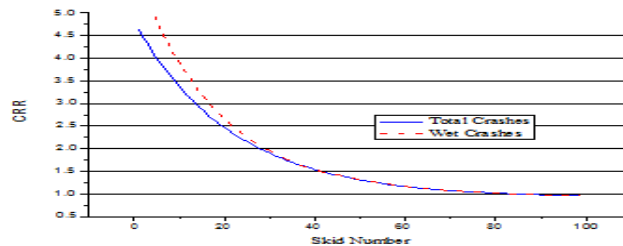
جدول ۵. آستانه‌های توصیه شده از این روش برای گروه‌های طبقه‌بندی شده

		کل تصادفات			تصادفات در رویه های خیس		
		SN1	SN2	SN3	SN1	SN2	SN3
کل کشوری		۱۸	۲۴	۷۴	۱۷	۲۹	۷۴
گروه بزرگراه ID	۱	-	۳۱	۶۱	۲۰	۳۴	۶۴
	۲	-	-	۵۷	-	-	۶۱
	۳	-	-	۵۴	-	۱۰	۵۴
	۴	۱۱	۲۶	۶۳	۱۸	۳۱	۶۴
	۵	-	-	۵۶	-	-	۵۸
	۶	-	-	۵۴	-	-	۵۶
	۷	۱۴	۲۶	۵۰	۲۳	۳۵	۵۷
	۸	-	۱۰	۴۳	۱۴	۲۰	۴۸
	۹	-	-	۵۰	۲۳	۳۴	۵۲
	۱۰	-	۱۶	۴۱	-	۳۰	۵۱
	۱۱	-	-	۳۹	-	۱۴	۴۹
	۱۲	-	-	۵۰	-	۱۰	۵۱

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

SN برای تمام تصادفات (شهر تگزاس 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 نمایشی بیان می‌شود. علاوه بر این، همچنین تاثیر نظری مقاومت لغزشی در CRR می‌تواند به صورت مفهومی با یک منحنی CRR-SN بیان شود. در شکل ۸، منحنی CRR-



شکل ۸. CRR-SN منحنی تصادفات برای سراسر کشور

CRR-SN برای کلیه تصادفات:

$$CRR=3.894 \times e^{-0.04605 \times SN50S} + 0.9205$$

CRR-SN for wet crashes:

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

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

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

جدول ۶. پیشنهاد سطح تحقیق (IL) در سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت برای جاده‌های ایران

۸- روش گروه‌بندی نمودار درختی و سلسله مراتبی

می‌شود. تجزیه و تحلیل رگرسیون اولیه داده‌ها برای تعیین متغیرها یا ویژگی‌هایی که تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر نرخ تصادفات دارند انجام شد (Long Kan. Et.al 2013). 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 گروه بندی 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 دسته‌بندی 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. 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 آیا بخش در یک منحنی قرار دارد یا نه، به دو گروه تقسیم شده است. بخش‌هایی با منحنی ۷/۸ درصد کل

به جای استفاده از روش کل کشور بین مقاومت لغزشی و تصادفات به هر بخش جاده، روش خوشه‌بندی شبکه به گروه‌های همگن استفاده می‌شود. بخش‌های بزرگراه در یک گروه که دارای مشخصات متغیرهای مشابهی در نظر گرفته می‌شوند 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 می‌شود K: به معنی خوشه‌بندی و یا گروه بندی سلسله مراتبی است. تفسیر میانگین برای هر گروه برای روش گروه‌بندی K پیچیده بوده، و اجرای نتایج دشوار است. در مقابل، نمودار درختی سلسله مراتبی ساده تر و برای اجرای در عمل اسان تر است. برای تعیین معیارهای گروه‌بندی، تجزیه و تحلیل رگرسیون اولیه داده‌ها برای شناسایی متغیرها یا ویژگی‌هایی که تأثیر قابل توجهی بر نرخ تصادفات دارند انجام می‌شود. سپس، آستانه برای هر عامل سازگاری انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفته تا اطمینان حاصل شود که داده‌های کافی برای تجزیه و تحلیل درون هر گروه در دسترس هستند. روش طبقه‌بندی درختی سلسله مراتبی 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 بندی‌های مختلف داده‌ها بر اساس منطقه، کلاس کاربردی جاده، میانگین ترافیک روزانه (AADT)، نوع منحنی، حد مجاز سرعت، منطقه روستایی یا شهری و زیرگروه برخی از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. به طور خلاصه، چارچوب روش شناسی برای حمایت از این تجزیه و تحلیل ایجاد می‌گردد. روش CRR به عنوان یک رویکرد جدید به طور مستقیم برای تعیین رابطه بین خطر تصادفات و سطح مقاومت لغزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این، روش گروه بندی درختی سلسله مراتبی به منظور حمایت از ارزیابی نتایج نمایه و کاربردی به بخش‌های جاده‌ای با ویژگی‌های مختلف انتخاب

تحلیل قرار گرفته است. رویکرد AADT در هر خط آستانه در نهایت در ۲۵۰۰ و ۴۵۰۰ تنظیم می‌گردد، و سپس به سه زیر گروه تقسیم می‌شود. جدول ۷ 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. جدول ۷ خلاصه آستانه‌های توصیه شده مقاومت لغزشی برای هر گروه. با توجه به محدودیت‌های داده‌ها، همه گروه‌ها برای ارزیابی رگرسیون معنی‌داری 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).

بخش‌ها را تشکیل می‌دهند، در حالی که ۹۲٫۲ 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، روگذرها یا سایر منحنی جاده‌ها که جاده‌های اصلی نیستند نمی‌باشد. پس از گروه بندی بر اساس سرعت و منحنی، بخش بزرگراه‌ها در هر گروه بر طبق AADT در هر خط به سه گروه تقسیم می‌شوند. از آنجایی 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 ۷٫۸ درصد از شبکه شامل بخش‌های منحنی و ۱۱ درصد از تصادفات مربوط به آب و هوای مرطوب برای داده‌ها مورد تجزیه و



جدول ۷. نمودار سلسله مراتبی درختی برای گروه‌های طبقه‌بندی شده (Texas Department of Transportation 2013)

لغزشی به عنوان سود و هزینه به ترتیب آمده است. درصاف جویی در هزینه‌های تصادف با کاهش انتظار می‌رود تعداد تصادفات و میانگین هزینه در هر تصادف؛ بر اساس مقادیر ثابت برای هر سطح دارای آسیب توصیه شده است (Long Kan. Et.al 2013). هزینه واحد برای نگهداری پیشگیرانه روسازی به عنوان هزینه متوسط برای بهبود مقاومت لغزشی سطح جاده در هر خط-کیلومتر برآورد شده است. به طور خاص، مقادیر مبتنی بر میزان آسیب برای هر تصادف توصیه شده توسط NSC در جدول ۸ نشان داده شده است.

در این مرحله، نتایج تجزیه و تحلیل عددی با مقادیر آستانه توصیه شده برای مقاومت لغزشی روسازی ارایه شده است. برای ارزیابی و اصلاح انتخاب این آستانه‌ها، تجزیه و تحلیل سود / هزینه انجام می‌شود.

تحلیل سود و هزینه

در این مرحله، تجزیه و تحلیل سود/ هزینه به منظور ارزیابی و اصلاح مقادیر آستانه SN تعیین شده در مرحله قبل انجام می‌شود. برای انجام تجزیه و تحلیل، صرفه جویی در هزینه‌های تصادفات و هزینه‌های مربوط به بهبود مقاومت

جدول ۸. برآورد جامع هزینه تصادفات خودرو (Long Kan. Et.al 2013)

شدت تصادفات	تعداد افراد	کل هزینه تصادف برای هر نفر به دلار
فوتی	۷۰۸٫۸	۴٫۴۵۹٫۰۰۰
نقص عضو	۸۶۳٫۳۰	۲۲۵٫۱۰۰
آسیب	۵۶۰٫۱۲۵	۵۷٫۴۰۰
آسیب احتمالی	۲۱۱٫۲۵۳	۲۷٫۲۰۰
فقط خسارت مالی	*۰٫۲۳۳٫۲۰۸	۲٫۴۰۰

* خسارت مالی فقط برای تعداد تصادفات محاسبه می‌شود.

از آنجا که پیش‌بینی کاهش تصادفات در هر یک از سطوح شدت تصادفات با استفاده از مدل CRR غیرممکن است، بنابراین، میانگین هزینه در هر تصادف به عنوان مبنایی برای محاسبه صرفه‌جویی در هزینه از کاهش تصادفات استفاده می‌شود. با استفاده از آمار داده‌های خرابی، میانگین هزینه هر تصادف محاسبه شده است.

$$Average\ Cost = \frac{\sum Injury\ class\ unit\ cost * count\ of\ person}{Number\ of\ Crashes} \quad (1)$$

با تعداد کل ۹۱۴،۳۲۲ تصادفات، میانگین هزینه خرابی تعیین شده بود ۱۹۰،۰۰۰ دلار.

$$Cost = \frac{29000(\frac{\$}{miles}) \times lanemiles(miles)}{Service\ Life\ (year)} \quad (2)$$

برای برآورد کاهش تعداد تصادفات، CRRها مربوط به SN هدف و تعداد کل تصادفات کل کشوری مورد استفاده قرار گرفت. فرض بر این بود که بهبود مقاومت لغزشی، پس از تعمیرات، SN

$$Benefit = \frac{CRR\ targeted \frac{-1}{SN} \times Average\ Crash\ Rate\ (\frac{crashes}{lanemile}) \times lanemiles(miles) \times Average\ Crash\ Cost\ (\frac{\$}{crash})}{4\ years} \quad (3)$$

در معادله ۱۰، متوسط تعداد کل تصادفات در سطح کل کشور با تقسیم تعداد کل تصادفات در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ به ۴ مورد محاسبه شد. مقدار Lane-miles اندازه شبکه است (درمایل) با SN کمتر از SN هدف. نرخ تصادف متوسط ۱،۲۳۲ تصادفات در هر خط است.

جدول ۹. تعمیرات جهت بهبود مقاومت لغزشی

نوع تعمیر	تخمین هزینه (\$/ft ²)	تخمین عمر مفید (سال)	ارتقاء مقاومت لغزشی SN
روکش نازک	۰/۴۵	۹	بلی
روکش	۰/۴۵-۰/۲۰	۷-۴	بلی
چیپ سیل	۰/۲	۸-۳	بلی
استریپ سیل	۰/۱۱-۰/۲	۳<	بلی (موقت)

عمر تعمیرات ۱۰ سال تخمین زده می‌شود با فرض این که SN در طول عمر مفید به طور قابل توجهی کاهش نمی‌یابد. هزینه کل در سال از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

(۴)

$$\frac{B}{C} = \frac{10\ years \times Average\ Crash\ Rate\ (\frac{crashes}{lanemile}) \times 19000(\frac{\$}{crash}) \times CRR\ targeted\ \frac{-1}{SN}}{4\ years \times 29000(\frac{\$}{mile})}$$

تخمین زده شده برای بسیج، کنترل ترافیک، مواد، نیروی کار و موارد اضافی مورد نیاز برای تکمیل پروژه روسازی (۳۳) به کار رفته است. از آنجایی که اکثر جاده‌ها جاده‌های انعطاف پذیر هستند، هزینه نگهداری پیشگیرانه برای جاده‌های انعطاف پذیر (۲۹۰۰۰ دلار در هر خط در هر مایل) به عنوان هزینه واحد برآورد شده است.

در معادله ۱۰، متوسط تعداد کل تصادفات در سطح کل کشور با تقسیم تعداد کل تصادفات در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۱ به ۴ مورد محاسبه شد. مقدار Lane-miles اندازه شبکه است (در مایل) با SN کمتر از SN هدف، نرخ تصادف متوسط ۱،۲۳۲ تصادفات در هر خط است. جدول ۹ لیست دامنه هزینه و طول عمر را برای تعمیرهای مختلف روسازی (۳۰، ۳۱، ۳۲). به‌جای استفاده از محدوده هزینه در این جدول، هزینه واحد نگهداری پیشگیرانه از برنامه مدیریت TxDOT 4 شامل هزینه‌های

۹- نتیجه گیری

این روش‌ها مشخصات حداقل آستانه مقاومت لغزشی مناسب را برای مدیریت مقاومت لغزشی روسازی را فراهم می‌کند، قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر نیست و اطلاعات دقیق در ارتباط با آمار تصادفات جاده‌ها و ... ارتباط دارد. حداقل آستانه مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده در سرعت ثابت، ضخامت فیلم آب ثابت، داده‌های تصادفات و شرایط واقعی ترافیک در طول یک دوره آب و هوای مرطوب مقدار ریسک رانندگی را نمی‌توان تعیین کرد. 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. این مقاله جهت آشنایی مهندسان، دانشجویان و دست اندر کاران ایمنی جاده‌ها فقط به روش‌های قدیمی پرداخته است و پیشنهاد می‌گردد جهت شروع این امر می‌توان از جدول ۲ که در برگزیده هر دو دستگاه اندازه‌گیری مقاومت لغزشی (SCRIM-CSC و Grip Tester) است مورد استفاده قرار داد.

تعیین سطح آستانه مقاومت لغزشی 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 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 را تعیین نماید. ابزارهای مورد نیاز جهت پایش و مدیریت مقاومت لغزشی سطوح روسازی در مرحله نخست شناسایی دستگاه‌هایی است که با بکارگیری آنها بتوان بانک اطلاعاتی جامعی از تغییرات مقاومت لغزشی رویه‌ها در طول عمر سرویس‌دهی خود تهیه و در اختیار بگذارد. در این رابطه دستگاه‌های SCRIM (SFC) و Grip جهت برداشت جاده‌های ایران پیشنهاد گردید. در این مقاله سطح آستانه مقاومت لغزشی برای تعدادی از روش‌های سنتی معمول در دنیا تعریف و مقادیر مقاومت لغزشی هر روش در موقعیت‌های مختلف مشخص گردید. از آنجایی که استفاده از

۱۰- مراجع

-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, 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. 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.

-PeiChoua Cheng -Chia et. all -ChunLeeaAi-ChinChenbCherng-YannWu, (2017), "Using a constructive pavement texture index for

-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 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”.

- Mitchll, James, (2016), "How to allow for ceasnal effect when using skid resistance data. WDM limited, UK.
- NZ Transport Agency, (2010), "Specification for State Highway Skid Resistance Management", T10.
- 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.
- Wouter van Bijsterveld & Miguel A. del Val., "Towards quantification of seasonal variations in skid resistance measurements", pp. 477-486.
- Waka Kotahi, (2010), "Specification for state highway skid resistance management" NZTA, NZ Transport Agency, T10 Specification.
- 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.
- Wambold, J.C., Antle, C.E., Henry,J.J., Rado, Z., (1995), "International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements".
- 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.
- Pinkus, O., Sterlicht, B., (1961), "Theory of Hydrodynamic Lubrication". McGraw-Hill, New York.
- Report AIPCR-575 01.04.T, "The World Road Association-PIARC", La Defense Cedex, France.
- skid resistance screening", International Journal of Pavement Research and Technology Volume 10, Issue 4, pp. 360368.
- Fwa T.F., (2017), "Skid resistance determination for pavement management and wet-weather road safety", International Journal of Transportation Science and Technology, pp.217-227.
- 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.
- Haavasoja, T. Pilli-Sihvola, Y., (2010), "Friction as a measure of skidpery road surfaces", in Proceedings of the 15th 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.
- 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.
- 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, pp.1875-1890.

-Speir, R., Barcena, T., Desaraju, P.R. (2009), "Development of Friction Improvement Policies and Guidelines for the Maryland State Highway Administration".

-Rogers, M.P., Gargett, T., (1991), "A skidding resistance standard for the national network, Highways Transport". 38 (4), pp.10-16.

-Report MD-07-SP708B4F, Maryland State Highway Administration, Baltimore, MD.