علوم زیست محیطی و دانش جغرافیا

بررسی پارامترها و مدل‌های روسازی در تصادفات جاده‌ای

روح الله رخشا*،[1] علی آرام[2]

چکیده

رشد سریع فنّاوری ساخت وسیله نقلیه، باعث افزایش دائم سرعت و نیاز بیش‌ازپیش به ترمز و اصطکاک شده است. مطالعات بین‌المللی نشان داده‌اند که افزایش متوسط سرعت، باعث ایجاد خسارات بیشتر در تصادفات شده است. برای تعیین عملکرد راه می‌توان از پارامترهای مختلفی نظیر حجم، سرعت، ایمنی، وضعیت روسازی استفاده کرد. یکی از پارامترهای مرتبط با ایمنی تعداد تصادفات می‌باشد. تحقیقات بسیاری درباره بررسی روابط بین پارامترهای مختلف راه و تعداد تصادفات صورت گرفته است ولی درزمینه پارامترهای مختلف راه و تعداد تصادفات صورت گرفته است ولی درزمینه پارامترهای مختلف روسازی راه و بررسی آن بر سطح عملکردی آن (خصوصاً شاخص‌های گوناگون تصادفات) مطالعات جامع و کافی خصوصاً در ایران صورت نگرفته است در مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته است ارتباط نرخ تصادفات یا فراوانی تصادف در حیطه تعداد باندها، عرض باند، وجود خط میانه، نوع خط میانه، عرض شانه، چگالی دسترسی، تعداد تقاطع‌های مشاهده‌شده در هر بخش جاده، محدودیت سرعت، درجه قوس قائم، قوس افقی، طول قطعه‌راه، وضعیت آب‌وهوا، زمان هرروز هفته و سایر متغیرهای مؤثر پرداخته‌اند. در این مقاله سعی شده است که به مدل داخلی و خارجی در سه دسته مدل‌های تعداد، شدت و ریسک تصادفات(رگرسیون ، رگرسیون خطی، پواسون، رگرسیون لگاریتم طبیعی- شبکه عصبی، رگرسیون غیرخطی، دوجمله‌ای منفی ، دوجمله‌ای منفی، خطی عمومی، خطی عمومی، لاجیت و شبکه عصبی، پروبیت، لاجیت، لاجیت، پروبیت، شبکه عصبی، مختلط لاجیت، لاجیت چندجمله‌ای، پروبیت، فازی) بررسی شدند..

کلمات کلیدی: پارامترهای روسازی راه، تصادفات جاده‌ای، مدل‌های روسازی، نرخ تصادفات

۱- مقدمه

حمل‌ونقل حلقه اتصال صنایع مختلف کشور هست و همواره باید موردتوجه قرار گیرد. بدون تردید، شکل گرفتن سیستم شبکه راه‌های کافی و مدرن در یک کشور سطح زندگی عموم را بالا می‌برد و با آسان‌تر رساندن محصول به بازار و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل تولید افزایش می‌یابد؛ اما با افزایش تعداد وسایل نقلیه و با افزایش تحرک و جابه‌جایی بار و مسافر درروی کره زمین، خطر بالقوه تصادفات ترافیکی نیز افزایش می‌یابد. اولین تصادف ترافیکی در شهر لندن و در سال ۱۸۹۶ رخ داد و از آن زمان تاکنون تقریباً بیش از سه میلیون نفر در این حوادث جان خود را ازدست‌داده‌اند. تحقیقات در مورد تصادفات جاده‌ای از اواخر دهه ۱۹۸۰، تدریجاً چارچوبی نظری برای تحلیل تصادفات به خود گرفت. تصادفات به‌عنوان «پدیده‌های تصادفی با علل چندگانه» محسوب می‌شوند. این علل نتیجه بروز اختلال

[1] نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد، رشته مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ruhollahrakhsha@gmail.com
[2] گروه مهندسی عمران، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران، aliaram172@yahoo.com

در موازنه بین اجزای سیستم هم جبری (که ممکن است بر آن‌ها اعمال شود) و هم شانسی (و غیرقابل‌کنترل) است. تحقیقات اخیر بر ماهیت دینامیکی حمل‌ونقل و شرایط تصادف حکایت دارند. این شیوه به اصلاح رویکرد دینامیکی چند علت نامیده می‌شود. قربانی و همکاران (۱۳۸۵) تحلیل تصادفات توسط روش دینامیکی چند علت شامل مدل‌های تصادفات می‌شود. شناخت بهتر عوامل مربوط به تعداد و شدت و احتمال خطر تصادف و توسعه این‌گونه مدل‌ها برای بررسی تأثیر عوامل موردنظر به‌صورت کیفی و کمی بر روی تصادفات مهندسین را قادر می‌سازد تا اقدامات لازم جهت ارتقاء ایمنی راه‌ها و جلوگیری از وقوع تصادفات ترافیکی را گسترش دهند.

هزینه بسیار زیاد تصادف‌های ترافیکی، باعث شده که بهبود وضع ایمنی راه‌ها، به یکی از مهم‌ترین اهداف مهندسی حمل‌ونقل در اکثر کشورها تبدیل شود. تعداد تصادفات ترافیکی به‌طور چشم‌گیری در کشور رو به افزایش است که خسارات جانی و مالی ناشی از آن، هزینه سنگینی را به کشور وارد می‌کند(Kho.shbakht et al۲۰۱۱) طبق آمار سازمان پزشکی قانونی کشور درصد رشد مصدومین و متوفیان ناشی از تصادفات رانندگی بین سال‌های ۹۰ و ۹۱ برابر با ۶/۵ است {۰,LM۲۰۱۱} به‌طورکلی عوامل اصلی مؤثر بر تصادفات را می‌توان به چهار گروه شامل جاده (ویژگی هندسی راه، خصوصیات جریان ترافیک)، وسیله نقلیه (وضعیت فیزیکی و مکانیکی وسیله نقلیه، نقص فنی قطعات)، عوامل انسانی خصوصیات راننده، رفتار راننده و توانایی فیزیولوژیکی و روحی راننده و محیط (شرایط جوی) تقسیم‌بندی کرد که این عوامل به‌صورت زنجیره‌وار به یکدیگر متصل هستند[-Bagheri khalili and Sheykh al2011 eleslami,]

جابجایی‌هایی که در نواحی بزرگی از سطح روسازی به وقوع می‌پیوندد و باعث برآمدگی‌های بزرگ یا طویلی در روسازی می‌گردد، تورم نامیده می‌شود. تورم به تغییر شکل سطحی روسازی به سمت بالا اطلاق می‌شود که عبارت است از یک موج‌بلند تدریجی با بیش از ۳ متر طول و چاله‌ها عبارت‌اند از یک تورفتگی کاسه‌ای شکل و کوچک در سطح روسازی که قطر آن معمولاً کمتر از ۹/۰ متر است. فرورفتگی عبارت است از جابجایی کوچک و محدود روسازی به سمت پایین. چاله‌ها به‌طورکلی دارای لبه‌های تیز و دیواره‌های عمودی در قسمت بالای سوراخ هستند. روند رشد چاله در اثر جمع شدن آب تسریع می‌گردد. چاله‌ها زمانی به وجود می‌آیند که تکه‌های کوچکی از سطح روسازی به علت خرابی (به‌عنوان‌مثال ترک پوست سوسماری با شدت زیاد در اثر جریان ترافیک از آن جدا می‌شوند. چاله‌ها معمولاً در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار که رطوبت خاک بالا و مقاومت آن پایین است، به وجود می‌آیند(Shahin, ۲۰۰۲) روسازی‌های ساخته‌شده به دلایل مختلف تخریب و بازسازی می‌شوند، برای قرارداد دریچه‌های آدم‌رو بایستی روسازی تخریب و چون بازسازی آن با دقت انجام نمی‌گردد سطح روسازی دچار برآمدگی می‌گردد. چانگ در سال ۲۰۱۳ تأثیر تفاوت ارتفاع سطح دریچه‌های آدم‌رو با سطح روسازی بر حرکت موتورسیکلت‌سواران موردبررسی قرارداد و به این نتیجه دست‌یافت که شرایط روسازی روی دریچه آدم‌رو و اندازه دریچه بر حرکت موتورسیکلت‌سواران تأثیر دارد، همچنین فاکتورهای دیگر مانند شرایط ترافیکی، عرض خط و سرعت موتورسیکلت‌سوار بر حرکت آن مؤثر است. در این تحقیق بیان گردید درصورتی‌که تفاوت ارتفاع سطح دریچه و روسازی برابر یا کمتر از ۳۰/۰ سانتی‌متر باشد، تأثیری بر واکنش موتورسیکلت‌سواران ندارد درخت تصمیم یک روش تحلیل داده‌ای غیر پارامتری است که به‌طور گسترده درزمینه مختلف مانند پزشکی، مدیریت، صنعت و مهندسی استفاده می‌شود [Chang and Chien,۲۰۱۳]

در سال‌های اخیر تحقیقاتی برای بررسی رابطه بین شاخص تصادفات به‌عنوان معیار عملکرد راه و ویژگی‌های روسازی راه‌های مختلف اعم از روسازی آسفالتی و بتنی در جهان صورت گرفته است. بسیاری از مطالعات پیشین، ارتباط نرخ تصادفات یا فراوانی تصادف را در حیطه تعداد باندها، عرض باند، وجود خط میانه، نوع خط میانه، عرض شانه،AADT ، چگالی دسترسی، تعداد تقاطع‌های مشاهده‌شده در هر بخش جاده، محدودیت سرعت، درجه‌ی قوس قائم، قوس افقی، طول قطعه‌راه، وضعیت آب‌وهوا، زمان هر روز هفته و سایر متغیرهای مؤثر بررسی کرده‌اند.

۳- پیشینه تحقیق

علی مقدم کامرانی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی با عنوان « بررسی روابط بین وضعیت روسازی و عملکرد راه از لحاظ شاخص تصادفات» به این نتیجه رسیدند که کمی عرض جاده و عریض بودن شانه آسفالتی راه، از مهم‌ترین عوامل موثر در واقع تصادفات جاده‌ای در محور مشهد _ باغچه و باغچه تربت حیدریه تا سه‌راهی شادمهر می‌باشد و پس‌ازآن خرابی‌های سطح رویه راه (که با

شاخص PCI ارزیابی می‌شود) و ADT عامل‌های موثر بعدی در نرخ تصادفات هست. همچنین بیشترین عامل موثر در تعداد تصادفات در این محور، عرض شانه راه و سپس عرض روسازی و شاخصPCI در این محور می‌باشد.

محمدرضا احدی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی با عنوان « تاثیر بافت درشت روسازی در کنترل لغزندگی و کاهش تصادفات جاده‌ای» به این نتیجه رسیدند که اصطکاک و شرایط رویه روسازی از معمول‌ترین شاخص‌های مسائل ایمنی است، به نحوی که در صورت نداشتن ضریب اصطکاک کافی، بروز تصادفات ناشی از لغزندگی تقریبا اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. بافت رشت به عنوان بخشی از مجموعه روسازی به بهبود وضعیت اصطکاک سطح کمک میکند. در این تحقیق برای دستیابی به متوسط عمق بافت رشت روسازی جهت بالابردن سطح تماس الستیک با روسازی در شرایط مرطوب بودن جاده و همچنین زهکشی بهتر سطح روسازی جهت افزایش ایمنی راه های کشور، دانه‌بندی مناسبی از آیین‌نامه روسازی راه های ایران)دانهبندی پیوسته و باز(انتخاب شده است. با این دانهبندیها و ۶ نوع درصد مختلف قیر 70-60و مصالح آهکی کوهی شکسته، نمونه‌هایی با روش مارشال ساخته شد تا درصد قیر بهینه به دست آید .سپس با ۷ نوع درصدهای مختلف قیر، نمونه‌های ژیراتوری ساخته شد. در نهایت برروی کل این نمونهها، به روش پخش ماسه بر طبق استاندارد E965 ASTM ۹۶-، اثر بافت رشت را بین دانه‌بندی‌های مختلف بررسی و مناسب‌ترین دانه‌بندی از نظر مقاومت در برابر لغزندگی در افزایش ایمنی راه‌ها انتخاب‌شده است.

مهناز الهی زاده و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان « ارزیابی تاثیر خرابی روسازی بر احتمال وقوع تصادفات به روش درخت تصمیم، (مطالعه موردی: ناهمواری‌های روسازی) به این نتیجه رسیدند که تصادفات ترافیکی پیشامد نامطلوب و اجتناب‌ناپذیر جریان ترافیک هستند که سبب اتلاف سرمایه و در نهایت عمر انسان‌ها می‌شوند. تحقیقات نشان دادهاند بین شرایط روسازی و تصادفات رابطه وجود دارد. همچنین مشخصههای خرابی روسازی مانند عمق خرابی و مساحت آن‌یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر رفتار رانندگان است. در این مطالعه به بررسی تاثیر خرابی روسازی راه های درونشهری و شرایط ترافیکی موثر بر تصادفات پرداخته‌شده است. ازآنجایی‌که ناهمواری روسازی، تاثیر بسزایی بر تصادفات جاده‌ای داشته و الزام است در برنامه‌ریزی ایمنی جاده‌ها و بهبود وضعیت روسازی‌ها در نظر گرفته شود، به صورت موردی از بین خرابی‌های روسازی، فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌های سطح روسازی مورد مطالعه قرار گرفتند. مطالعات ۱۸ نقطه از روسازی دارای خرابی و برای هر نقطه واکنش و سرعت ۳۰ راننده در حین رویارویی با آن ثبت گردید. جهت تعیین عوامل موثر بر میزان انحراف رانندگان از روش درخت تصمیم استفاده‌شده است .درخت تصمیم به دلیل نمایش گرافیکی از نتایج، به‌سادگی قابل فهم و تفسیر است. درخت تصمیم داده‌ها در این تحقیق، بر اساس الگوریتم درخت دسته‌بندی و رگرسیون CRT((ساخته‌شده است. درخت حاصل نشان میدهد متغیرهای مساحت خرابی، طول و عرض آن در مقایسه با متغیرهای حجم ترافیک، سرعت وسیله نقلیه، فاصله مرکز خرابی تا گوشه سمت راست خط عبوری و نوع ناهمواری (فرورفتگی یا برآمدگی) تاثیر بیشتری بر انحراف رانندگان از مسیر را داشته‌اند.

٤- مبانی نظری و ادبیات تحقیق

به‌صورت کلی عوامل تصادفات به دودسته عوامل مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند که عوامل مستقیم در هر تصادفی وجود خواهد داشت. عوامل مستقیم از تعامل بین پارامترهای متعددی ازجمله متغیرهای هندسی، شامل تعداد خطوط، عرض خطوط، عرض میانه، عرض شانه، طول راه، تعداد تقاطعت، چگالی دسترسی راه و متغیرهای ترافیکی شامل میانگین ترافیک روزانه، سرعت و ... و بسیاری از عوامل دیگر که در چهار گروه، عوامل انسانی، محیطی، جاده‌ای و وسایل نقلیه می‌توان طبقه‌بندی نمود. پیچیدگی این حوادث چندعاملی نیاز به انجام تحلیل عمیقی دارد تا از برداشت‌های غلط بر پایه شواهد و عوامل ظاهری جلوگیری شود. بررسی و تعیین حدود سهم هر یک از این عوامل مؤثر بر تصادفات و مطالعات دقیق فنی و اقتصادی و تخصیص بهینه بودجه بر اساس سهم عوامل و ایجاد نگرش استفاده مناسب از روش‌های کارآمدتر گامی مؤثر در افزایش ایمنی راه‌ها و کاهش کشته‌ها و مجروحین سوانح جاده‌ای را در بر خواهد داشت. عوامل غیرمستقیم را می‌توان درروند آمار تصادفات مشاهده کرد. برای مثال، آمار تصادفات با افزایش تعداد خودروها افزایش خواهد یافت، همچنین تعداد افرادی که گواهینامه گرفته‌اند با روند افزایش تصادفات ارتباط غیرمستقیم دارد. قربانی و هکاران (۱۳۸۵).

۵- تفکیک مدل‌های تصادفات در سه دسته تعداد، شدت و احتمال خطر (ریسک)

مدل‌های پیش‌بینی تصادفات که با عنوان توابع عملکردی ایمنی نیز شناخته می‌شوند، رابطه ریاضی بین متغیرهای تأثیرگذار در تصادفات را به‌صورت نسبت دقیق بیان می‌کنند. درنتیجه در طول مراحل برنامه‌ریزی، طراحی، بازرسی بر روی کنترل ایمنی سطوح راه مؤثر خواهند بود. مدل‌های پیش‌بینی تصادفات ترافیکی، ابزار بسیار مفیدی جهت مدیریت ایمنی ترافیک می‌باشند و ضروری‌ترین هدف جهت گسترش این مدل‌ها تخمین واقع‌بینانه‌ای از تکرار تصادف در تحلیل بخش‌ها و نوع جاده است. این برآوردها به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی مدیریت ترافیک و طراحی در نظر گرفته می‌شوند و با شبیه‌سازی و نظارت حجم ترافیک و همچنین خصوصیات هندسی راه و ... به‌عنوان متغیرهای مدل‌ها، برخوردها و نقاط حادثه‌خیز نشان داده خواهند شد. در این تحقیق به بررسی پارامترهای مؤثر بر تصادفات در قالب مدل‌های آماری و فرا ابتکاری می‌پردازیم. درواقع مدل‌سازی آماری تصادفات عبارت است از برازش تابع ریاضی مناسب روی آمار و اطلاعات موجود در مورد تصادفات اتفاق افتاده درگذشته در قطعه‌ای از راه. نتیجه این کار، یک معادله است که عبارت سمت چپ آن بیانگر نرخ و یا شدت تصادفات و احتمال خطر (ریسک)، تابعی از متغیرهای بکار رفته در مدل‌ها در سمت راست می‌باشد؛ اما با توجه به محیطی که در آن‌یک انسان خبره تصمیماتش را می‌گیرد اغلب بسیار پیچیده است و این فرایند برای فرموله شدن به یک مدل ریاضی مناسب بسیار سخت است، از طرفی بسیاری از مسائل (ازجمله تصادفات) در مطالعات پیچیده ترافیک به‌شدت غیرخطی هستند و نمی‌توان آن‌ها را از روش‌های خطی مدل‌سازی نمود. به همین دلیل دستگاه‌های دیگری (روش‌های فرا ابتکاری مانند شبکه‌های عصبی، فازی، عصبی– فازی و ...) به وجود آمدند که الهام گرفته از طبیعت هستند.

٦- بررسی رابطه بین وضعیت روسازی و عملکرد راه از لحاظ تصادفات

حوزه مطالعاتی این تحقیق، بررسی عوامل مؤثر روسازی بر تصادفات (به‌عنوان عملکرد راه) است پس از انجام بررسی‌های لازم مشخص شد، به‌خصوص اینکه امکان دسترسی به ۱ سال اطلاعات قابل‌قبول وجود داشت، از سوی دیگر، با توجه به اینکه پارامترهای روسازی طرح و مشخصات حجم ترافیک در بانک اطلاعات تصادفات وجود ندارد، بنابراین دستیابی به مدل موردنظر، نیازمند افزودن چنین اطلاعاتی به بانک اطلاعات تحقیق بود.

۷- تعریف مقاومت لغزندگی، مفهوم و روابط اصطکاک

مقاومت لغزندگی طبق تعریف استاندارد ASTM E867 عبارت است از نیروی مقاوم یا نیروی اصطکاکی موجود بین لاستیک خودرو و سطح روسازی در هنگام ترمزگیری و قفل شدن لاستیک خودرو. مقدار آن از تقسیم نیروی عکس‌العمل عمل طولی بر نیروی قائم یا وزن روی چرخ به دست می‌آید که دراین‌ارتباط نمای شما تیکی از پارامترهای موجود در شکل ۲ آمده است [ASTM E867,2004]

ضریب اصطکاک با توجه به شکل برابر است با:

$$s = F_h / f_7 \quad (۱)$$

F_hنیروی افقی (نیروی اصطکاک) و f_7نیروی قائم است[www.stab. aviation.com,2011]

. عوامل مؤثر در مقاومت لغزندگی

به‌طورکلی این عوامل را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی کرد

الف – عوامل مربوط به روسازی

- بافت سطح روسازی
- گرادیان مقاومت در برابر لغزندگی
- مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی
- تجمع مواد آلاینده
- ب– شرایط آب‌وهوایی و نوسانات ترافیکی

- انباشتگی آب در سطح روسازی
- تغییرات فصلی
- درجه حرارت سطح روسازی
- شرایط ترافیکی
- ج- خصوصیات مربوط به وسایل نقلیه
- سرعت وسیله نقلیه
- فشار باد لاستیک
- آج لاستیک
- فرسایش تایرها
- جنس تایرها

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

بافت سطح روسازی

بافته‌ای در هجدهمین همایش مجمع جهانی راه (PIARC) سطح روسازی بر اساس فاصله برجستگی‌های سطح روسازی (زبری سطح) به ۴ گروه تقسیم‌بندی شده‌اند. شکل ۳ طبقه‌بندی بافت سطح روسازی را نشان می‌دهد.

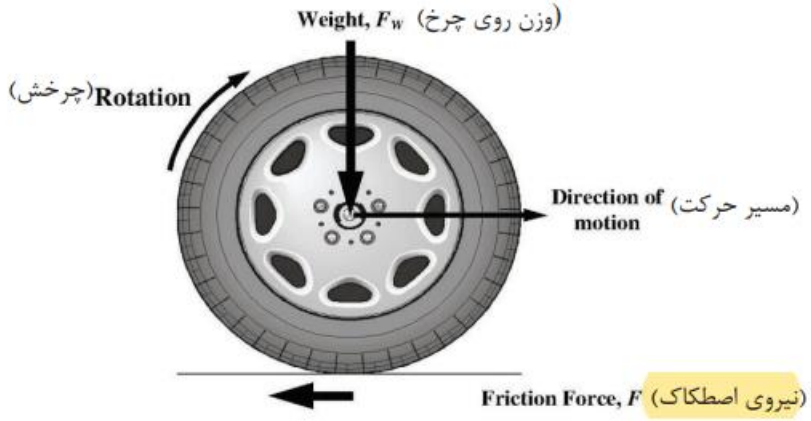
الف – بافت ریز

ب- بافت درشت

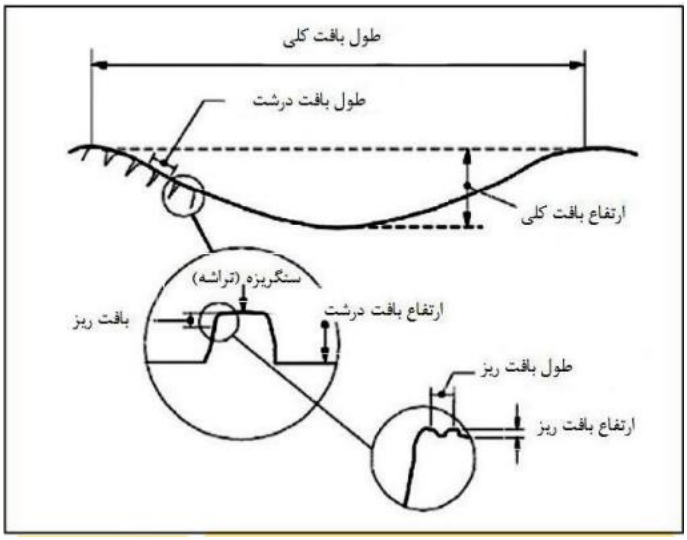
ج- بافت بزرگ (کلی)

د- ناهمواری

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



شکل ۲. نیروهای اصطکاکی در بین سطح تماس لاستیک و سطح رویه (www.stab. aviation…,2011)



شکل ۳. تصویر شما تیک طبقه‌بندی بافت سطح روسازی { kuttesch,2004 }

این دو پارامتر عبارت‌اند از: بافت ریز و بافت درشت. در نهایت برای تکمیل مبحث بافت سطح روسازی باید اظهار داشت که بافت کلی و ناهمواری تأثیر چندانی در مقاومت لغزندگی سطح روسازی نداشته و عامل ایجاد صدا در هنگام حرکت چرخ خودرو از روی سطح روسازی هستند. {fwa,2006}

۸- بافت ریز روسازی

بافت ریز روسازی بیانگر وضعیت ذرات تشکیل‌دهنده راه است ذرات رویه را نشان می‌دهد. بافت ریز و صیقل بودن و زبری روسازی عاملی برای چسبندگی سطح تایر به سنگ‌دانه است و بافت ریز عامل اصلی اصطکاک تایر در سرعت‌های پایین معمولاً با روسازی است. در زمینی که سطح روسازی با یک‌لایه خیلی نازک از آب پوشیده می‌شود چسبندگی بین سطح دانه‌ها با تایر به حداقل مقدار خود می‌رسد، بنابراین در چنین شرایطی وجود بافت ریز بسیار ضروری و با اهمیت است.

۹- بافت درشت روسازی

بافت درشت به‌عنوان بخشی از مجموعه روسازی کمک به بهبود وضعیت اصطکاک سطح می‌کند. بافت درشت با ایجاد کانال‌هایی باریک امکان زهکشی آب‌های سطحی را هنگام بارندگی فراهم می‌کند.

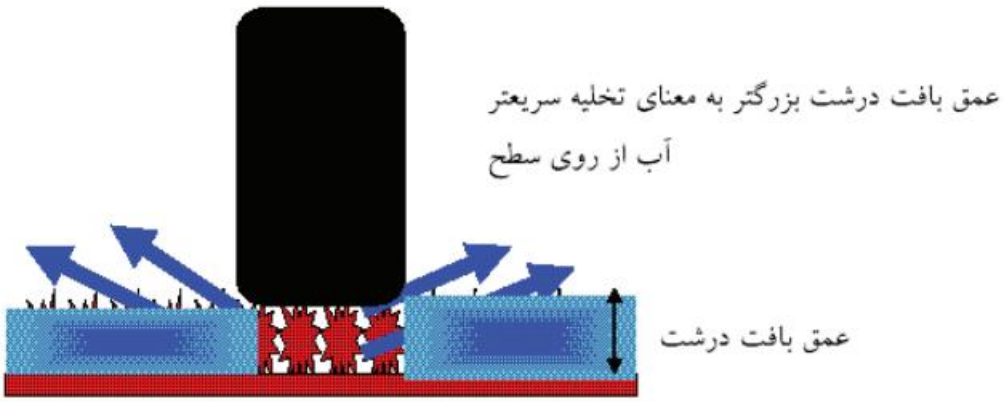
انتقال سریع آب‌های سطحی موجب جلوگیری از پدیده هیدروپالنینگ می‌شود و به این وسیله مقاومت در برابر لغزندگی را افزایش می‌دهد که در شکل ۴ نشان داده‌شده است. بافت درشت همچنین با ایجاد اثرات پسماندگی در تایر، انرژی جنبشی وسیله نقلیه را جذب کرده، درنتیجه موجب افزایش اصطکاک بین جاده و تایر می‌شود.

بافت درشت بستگی به ابعاد سنگ‌دانه‌ها و فاصله بین آن‌ها دارد .بدیهی است هرچه ابعاد سنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در مخلوط آسفالتی بزرگ‌تر و فواصل بین آن‌ها بیشتر باشد، بافت سطح روسازی نیز درشت‌تر خواهد بود. در حقیقت، بافت درشت، زهکشی مناسب و تخلیه سریع آب موجود بین لاستیک و سطح روسازی را به وجود می‌آورد .[fwa,2006]

در سرعت‌های بیشتر از ۵۰ کیلومتر بر ساعت و هنگام خیس بودن جاده، میزان تماس لاستیک خودرو با سطح روسازی کاهش پیدا کرده و بافت درشت اهمیت می‌یابد. {fwa,2006. And Asi,2007 }

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

۱۰- تأثیر بافت درشت روسازی در کنترل لغزندگی و کاهش تصادفات جاده‌ای



شکل ۴. چگونگی تخلیه آب رویه راه در هنگام تماس با لاستیک چرخ وسیله نقلیه (www.omnicret,2011)

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

۱۱- روش‌های اندازه‌گیری بافت درشت روسازی

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

الف – روش میانگین‌گیری (پخش ماسه – پخش گریس)

ب– پخش مایع

پ– روش استفاده از لیزر

ت– روش آنالیز پروفیل

ث– بافت سنج

ج– روش چاپ مشخصات سطح TRL

ح– روش فتوگرامتری

خ– روش برش روسازی

د– روش‌های قالب برداری سه‌بعدی از سطح روسازی

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

۱۲- روش پخش ماسه

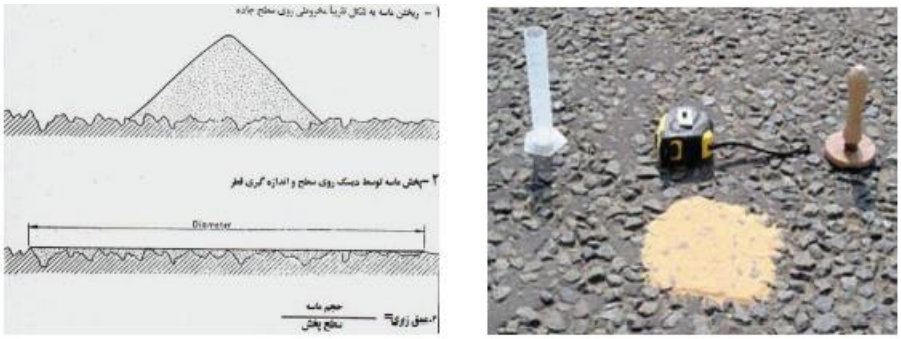
این آزمایش مطابق استاندارد[ASTM E965-96] به شرح زیر بر روی سایت‌های موردنظر انجام می‌گیرد [ASTM E965-96,2006]

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

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

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

د- با تعیین میانگین قطر اندازه گرفته‌شده، عمق متوسط بافت درشت با توجه به حجم ماسه به‌کاررفته، محاسبه می‌شود .اگر قطر دایره ایجادشده در اثر پخش این مواد کوچک باشد نشان می‌دهد که عمق بافت زیاد بوده و بالعکس قطر زیاد معرف عمق کم برای بافت سطح است. حجم ماسه (که مشخص است) تقسیم‌بر سطح پخش‌شده آن (که در محل قابل‌اندازه‌گیری است)، به‌عنوان عمق متوسط بافت در نظر گرفته می‌شود. شکل ۵ روش انجام این آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵ آزمایش پخش ماسه(fwa,2006)

در جدول (۱) مقادیر عمق متوسط بافت پیشنهادی توسط آزمایشگاه تحقیقاتی راه و حمل‌ونقل (TRL) برحسب درصد کاهش مقاومت لغزندگی سطوح آسفالتی و بتنی آورده شده است[Salt,۱۹۷۷]

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

فعالیت‌های آزمایشگاهی در این تحقیق ابتدا به آزمایش‌های مربوط به مصالح سنگی آهکی کوهی شکسته از معدن اسب چران شهرستان دماوند و قیر خالص ۶۰-۷۰ از پالایشگاه تهران (شرکت نفت پاسارگاد (پرداخته (جداول ۲ و ۳) و سپس نمونه‌های آسفالتی را

با توجه به نوع دانه‌بندی انتخاب‌شده در آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران[آیین‌نامه روسازی،۱۳۸۱] (دانه‌بندی پیوسته و باز) ساخته و اثر بافت درشت‌بین این دانه‌بندی‌ها را بررسی و مناسب‌ترین دانه‌بندی به لحاظ مقاومت در برابر لغزندگی انتخاب‌شده است.

۱۳- دانه‌بندی مخلوط‌های آسفالت گرم و بتن آسفالتی

با توجه به اینکه هدف این تحقیق بررسی دانه‌بندی و خصوصیات مصالح مصرفی در مقاومت لغزندگی آسفالت است، از دانه‌بندی پیوسته و باز شماره ۴ و ۵(هرکدام به‌طور جداگانه)، از آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران بر اساس حد متوسط دانه‌بندی انتخاب‌شده است.

جدول ۲. آزمایش‌های انجام‌شده بر روی مصالح سنگی

مصالح درشت‌دانه	مصالح آهکی کوهی شکسته	استاندارد مورداستفاده
سایش لوس‌آنجلس (درصد)	۲۲	ASTM C131
درصد شکستگی	به جبهه ۹۹–دو جبهه ۹۸	ASTM C5821
وزن مخصوص حقیقی (gr/cm)	۲/۶۹۹	ASTM C127
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm)	۲/۷۷۰	ASTM C127
درصد جذب آب	۱/۰	ASTM C127
مصالح ریزدانه	مصالح آهکی کوهی شکسته	استاندارد مورداستفاده
وزن مخصوص حقیقی (gr/cm)	۲/۶۶۵	ASTM C128
وزن مخصوص ظاهری (gr/cm)	۲/۷۷۵	ASTM C128
درصد جذب آب	۱/۲	ASTM C128

۱٤- مدل‌های احتمال خطر تصادف (ریسک)

برای بررسی عوامل مؤثر در احتمال بروز تصادفات ترافیکی می‌توان تک‌تک عوامل، رانندگان، خودرو، راه و محیط اطراف آن را موردتوجه قرارداد. هدف از این کار شناخت و پیش‌بینی رفتار کاربران راه است. اغلب مدل‌های احتمال خطر تصادف در زمینه ایمنی ترافیک، درواقع زیر مدل‌هایی هستند که به یک جنبه خاص از وضعیت ترافیک پرداخته‌اند. به‌عنوان‌مثال، هر یک از جنبه‌های روان‌شناختی، اجتماعی، مکانیکی و فیزیکی ترافیک در قالب یک مدل ریسک قابل ارزیابی است [۴] ارزیابی مقدار ریسک، رویکردی گسترده، اساسی و منطقی جهت شناسایی و درک احتمال خطر (ریسک) فعالیت‌های پرمخاطره در دستگاه‌های پیچیده است. اولین هدف این روش قابلیت اطمینان از کاهش احتمال حادثه و حفظ انسان‌ها و پیشگیری از خسارات اقتصادی و ضایعات محیطی است. ازجمله در شناسایی مناطقی که پتانسیل وقوع تصادف در آن تخمین زده می‌شود، این روش جهت ارتقاء ایمنی و عملکرد منطقه بکار می‌رود. فن‌های روش ارزیابی مقدار ریسک،[3] بر اساس روش‌های درخت بنیان هستند، مانند آنالیز درخت خطا[4]، آنالیز درخت حادثه[5]، آنالیز اثر علت و غفلت مدیریت درخت ریسک. روش آنالیز درخت خطا از مهم‌ترین شیوه‌های منطقی و وابسته به اشکال هندسی است که امکان تشکیل مدل‌های احتمال خطر تصادف (ریسک) و ارتباط بین عناصر و مؤلفه‌های یک تصادف را ایجاد می‌کند.

[3] Quantified Risk Assessment (QQA)
[4] Fault Tree Analysis (FTA)
[5] Incident Analysis (ITA)

۱۵- بررسی پیشینه و ادبیات گذشته مدل‌های شدت تصادفات

در این مدل‌ها با بررسی داده‌های مربوطه به تصادفات وقوع یافته و اطلاعات و شرایط مربوط به آن‌ها، رابطه‌ای بین عوامل مؤثر در بروز تصادف و میزان شدت تصادف (به‌عنوان‌مثال منجر به فوت، جرح یا خسارت مالی) ارائه می‌گردد. لذا از این طریق می‌توان به عوامل مهم در تشدید تصادفات پی برده، اقدامات لازم را انجام داد. اهمیت مدل‌های شدت در این است که عوامل مؤثر در تصادفات شدیدتر (منجر به خسارت جانی شناسایی‌شده، لذا اقدامات مؤثر جهت پیشگیری از تصادفات شدید در اولویت قرار می‌گیرد. داده‌های تصادفات مورداستفاده در این مدل‌ها عموماً از برگه‌های پرشده توسط پلیس که به‌صورت اطلاعات کیفی، رتبه‌ای، اسمی و گسسته می‌باشند، به دست می‌آید. متغیر وابسته در این مدل‌ها شدت تصادف است که به‌صورت غیر پیوسته نظیر تصادفات فوتی، جرحی و خسارتی تقسیم‌بندی شده است. برای چنین متغیرهایی که ترتیبی بوده و پیوسته نیستند، مدل‌هایی نظیر لاجیت، پرابیت، شبکه عصبی و نظیر آن‌ها بکار برده شده و مناسب می‌باشند. لی ' ومانرینگ با بکار بردن مدل لایت رابطه‌ای در مورد پیش‌بینی شدت تصادفات خروج از جاده، ارائه کرده و به بررسی عوامل مختلف مؤثر بر آن پرداختند(Takubono, ۱۹۹۹)

حسنا علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان « اولویت‌بندی پارامترهای موثر بر تصادفات بر اساس مدل های تعداد، شدت و ریسک تصادفات» به این نتیجه رسیدند که امروزه تصادفات رانندگی به یکی از معضلات مهم کشورهای در حال توسعه در بخش حمل‌ونقل و اقتصاد تبدیل‌شده است و از این‌رو در سالهای اخیر تحقیقات قابل توجهی در سراسر دنیا جهت پیش‌بینی تعداد ، شدت و اخیراً احتمال وقوع (ریسک) صادف انجام‌شده است.. روش های مدل‌سازی در قالب مدل های آماری و فراابتکاری تشریح شده و در نهایت ۲۰ مدل داخلی و خارجی بر اساس متغیرهای بکار رفته و متدولوژی مورد استفاده در سه دسته تعداد، شدت و احتمال خطرتصادف (ریسک) تفکیک‌شده است و بر همین اساس مؤثرترین متغیرهای مسبب تصادفات شناسایی‌شده تا بر اساس آن‌ها با توجه به بودجه‌های اندک ایمنی تخصیص داده‌شده نسبت به رفع مشکلات اولویت‌بندی صورت گیرد. نتایج به دست آمده از مدل های تصادفات برای طبقه‌بندی جاده‌ها بر مبنای ریسک تصادفات و نیز به منظور بهبود شاخص‌های ایمنی کاربرد دارد.

۱۶- بررسی پیشینه و ادبیات گذشته مدل‌سازی تعداد تصادفات

تحقیقات پیشین در مورد آنالیز تعداد تصادفات بیشتر بر پایه مدل‌های آماری مانند مدل‌های رگرسیون خطی، مدل رگرسیون پواسون و مدل‌های دوجمله‌ای منفی تکیه داشته‌اند و در این مدل‌ها روابط بین تصادفات و ترافیک عبوری، مشخصات هندسی و فاکتورهای محیطی بررسی‌شده است. در برخی از این تحقیقات از مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی در پیش‌بینی تعداد تصادفات استفاده‌شده و فرض شده است که تعداد تصادفات و یا نرخ تصادفات یک تابع خطی از خصوصیات مختلف محیطی ترافیک مثل جریان عبوری، آب‌وهوا، طرح هندسی، وضعیت رانندگی و ... می‌باشد. به‌عنوان اولین تحقیقات ازاین‌دست می‌توان به مطالعات لاندی در سال ۱۹۶۵ و ایوی " در سال ۱۹۸۱ اشاره کرد(Takubono, ۱۹۹۹)

در مطالعه‌ای دیگر جهت تحلیل عوامل مؤثر بر تصادفات با استفاده از روش CRT متغیرهایی که بیشتر در وقوع تصادفات مؤثر هستند از بین متغیرهای برداشت‌شده تعیین‌شده‌اند(Beshah et al ، Chung ۲۰۱۳) با توجه به آنچه ذکر گردید، تأثیر عمق ناهمواری‌ها توسط محققین موردمطالعه قرارگرفته است. در این مطالعه خرابی‌های با ارتفاع تقریباً ثابت ولی مساحت متغیر موردبررسی قرار گرفتند و همچنین به بررسی تأثیر برآمدگی و فرورفتگی سطح روسازی با ارتفاع در حدود

سانتی‌متر، بر واکنش و انحراف رانندگان از مسیر پرداخته‌شده است. نتایج این تحقیق اهمیت خرابی‌های روسازی را بیان می‌نماید و به مدیران برای تخصیص هدفمند بودجه به تعمیر و نگهداری روسازی‌ها کمک می‌نماید.

NOLANDو OH دریافتند که افزایش در عرض باند تأثیر برجسته شاخصی بر نرخ تصادف ندارد(Noland، 2004) ، اما ABDEL-ATYیافتند که عرض باریک باند، عرض شانه‌ای باریک و کاهش عرض متوسط، تأثیرات برجسته و مثبتی در نرخ تصادف داشته‌اند (Abdel-Aty, M. A., and Radwan 2004) از طرف دیگر هادی و همکاران دریافتند که افزایش عرض باند به ۱۳۱۲ فوت برحسب نوع بزرگراه، منجر به کاهش تصادف در آزادراه‌های حومه و بزرگراه‌های با میانه جدا نشده می‌شود(۱۹۶۸

Hass,R.,Hudson) در حالی خانم که kalaftis و همکاران دریافتند که عرض باند، وضعیت جاده، نوع جاده و اصطکاک، مهم‌ترین متغیرهایی هستند که بر نرخ تصادف در تسهیلات جاده‌ای ۲ بانده تأثیر می‌گذارند. (kalaftis,M.G.,and Golias،۲۰۰۲) NOLAND و OH در تحقیقاتشان یافتند که افزایش تعداد باندها در بالا بودن تصادفات ترافیک مشارکت دارند. (Noland،2004) ABDEL-ATY دریافتند که عرض باریک باند، عرض باریک شانه، و کاهش عرض میانی تأثیر برجسته‌ی مثبتی بر روی فراوانی تصادف داشته است (Abdel-Aty, M. A., and Radwan 2004) ایوان و همکاران دریافتند که ضریب مدل عرض شانه برای پیش‌بینی نرخ تصادفات فردی وسایل نقلیه منفی بود، اما برای پیش‌بینی تصادفات چندگانه مثبت بود (Hass,R.,Hudson۱۹۶۸)، تحقیقات Deo Chimbaنشان داد که ویژگی سطح آسفالته فاکتور توزیع مهم دیگری برای تصادف راه اصلی است، که به موقعیت آب‌وهوا ارتباط دارد. بزرگراه‌های بانده، در سطوح خشک، خیس و لغزنده میزان تلفات و صدمات بالایی داشتند، میزان تلفات بین این دو موقعیت خیلی متفاوت نبود اما میزان صدمات در بزرگراه‌های ۶ بانده در مقایسه با میزان صدمات در بزرگراه‌های ۴ بانده بسیار بیشتر و بالاتر بود. میزان صدمات در بزرگراه‌های ۶ بانده تقریباً دو برابر بیشتر از این میزان در بزرگراه‌های ۴ بانده بود(Chimba,Deo،۲۰۰۴).

شرایط روسازی یکی از فاکتورهای کلیدی تأثیرگذار بر کیفیت رانندگی است، ولی عوامل تأثیرگذار آن بر حوادث رانندگی به‌طور دقیق مشخص است، به‌طوری‌که در تحقیقی ازلی و همکارانش که به بررسی شرایط روسازی بر حوادث رانندگی پرداخته شد، روسازی با شرایط ضعیف را یکی از عوامل مؤثر بر حوادث رانندگی بافت ولی در طی این تحقیق به دست آمد، تحت شرایط روسازی بسیار ضعیف، شدت حوادث رانندگی کاهش می‌یابد و همچنین تحت شرایط بسیار خوب روسازی، شدت حوادث افزایش می‌یابد(Li et al. ۲۰۱۳) به دلیل گسترده بودن شرایط جاده‌ای و مطالعات کم در ارتباط با موضوع تأثیر شرایط روسازی بر وضعیت رانندگی وسایل نقلیه، نیاز به مطالعه بیشتر در این زمینه دیده‌شده است. در مطالعه‌ای تأثیر بافت درشت روسازی و تأثیر آن بر لغزندگی و تصادفات جاده‌ای موردبررسی قرار گرفت و دانه‌بندی مناسب برای شرایط مختلف ترافیکی و جوی پیشنهاد گردید.[Ahadi,.et al,2010]

در تحقیقی دیگر تأثیر عمق شیار شدگی (RD) بر ایمنی ترافیک موردمطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد صرفاً با افزایش عمق شیار شدگی، احتمال وقوع تصادفات افزایش نمی‌یابد، همچنین در یک سرعت ثابت و متوسط سالیانه حجم ترافیک روزانه (AADT) متفاوت، شیار شدگی تأثیر یکسانی بر احتمال تصادفات دارد. همچنین در این تحقیق شیارهای با عمق بیش از ۱۰ میلی‌متر بر واکنش رانندگان با سرعت‌بالا (۹۰–۱۱۰ km/hr) مؤثر شناخته شدند [His et al.,۲۰۱۱]. آقای جان و همکارانش نیز به بررسی تأثیر شرایط روسازی بر ایمنی ترافیک پرداخته‌اند، در این تحقیق تأثیر عمق شیار شدگی، شاخص ناهمواری بین‌المللی (IRI) و نشانه خدمت‌دهی روسازی (PSI) بر تعداد تصادفات موردمطالعه قرار گرفت، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد عمق شیار شدگی تنها در شب و در شرایط بارانی بر تعداد وقوع تصادفات مؤثر است [Chan et al.,۲۰۰۸] مطالعه‌ای توسط صفار زاده و زاهدی با موضوع تأثیر ناهمواری و روشنایی بر سرعت جریان آزاد در آزادراه‌های انجام‌شده است، این مطالعه نشان می‌دهد حساسیت سرعت جریان آزاد نسبت به تاریکی در ناهمواری‌های کوچک‌تر بیشتر است و همچنین حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در تاریکی شب کمتر از حساسیت سرعت جریان آزاد به ناهمواری در روشنایی روز است [Saffarzade and Zahedi,۲۰۱۰] با توجه به بررسی تحقیقات سایر محققین، یکی از مشخصه‌های روسازی که بر رفتار رانندگان تأثیر می‌گذارد، ناهمواری‌های روسازی است، برآمدگی و فرورفتگی‌های ناگهانی روسازی موجب واکنش‌های ناگهانی از طرف رانندگان می‌گردد و این امر عامل بسیاری از تصادفات است. ناهمواری‌های روسازی انواع متعددی دارند: برآمدگی و فرورفتگی، تورم، چاله، خرابی ناشی از کندن دوباره روسازی مانند تخریب روسازی برای فاضلاب و قرارداد دریچه‌های آدم‌رو در سطح روسازی. برآمدگی عبارت است از جابجایی کوچک و محدود سطح روسازی به سمت بالا که می‌تواند به دلیل تورم در اثر یخبندان و یا نفوذ و تجمع مواد در یک ترک همراه با بارگذاری ترافیکی باشد.

۱۷- بررسی و مقایسه مدل‌های تصادفات داخلی و خارجی

پیش‌بینی تصادفات ترافیکی به دلیل فراوانی و تداخل پیچیده پارامترهای مؤثر بر وقوع آن کار ساده‌ای نیست. به علت آنکه تأثیر برخی از این پارامترها بر یکدیگر کیفی و در طبیعت اتفاقی‌اند (نظیر رفتار رانندگان و شرایط آب‌وهوایی، درنتیجه رابطه واقعی بین تصادفات و

عوامل موردنظر تجربی و احتمالی است. هرچه طول دوره آماری در نظر گرفته‌شده جهت طراحی مدل، بزرگ‌تر باشد برازش داده‌ها نتایج معنادارتری را نشان خواهد داد. بهبهانی و همکاران(۱۳۸۴)

جدول۳. مشخصات مدل های تصادفات منتخب داخلی و خارجی

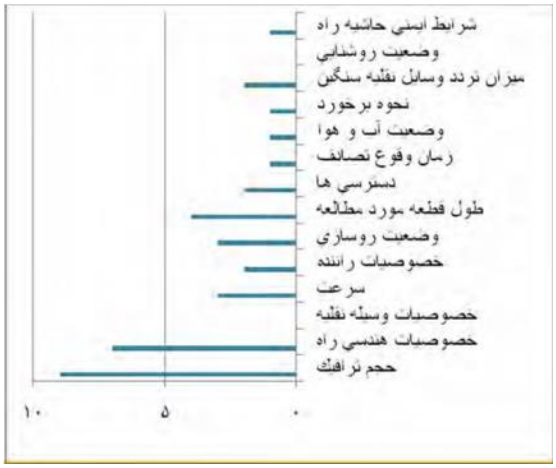
نوع مدل روش مدل‌سازی	پارامترهای مستقل منتخب	خلاصه یافته‌ها
	تراکم دسترسی (تعداد نقاط دسترسی، طول مقطع)، متوسط حجم تردد روزانه، سرعت	افزایش نرخ تصادف با افزایش تراکم دسترسی
رگرسیون [٦]	شاخص خرابی رویه، عدد مقاومت در برابر لغزندگی، عرض جاده (متر) میانگین ترافیک روزانه	کمی عرض جاده‌ها مهم‌ترین عامل در وقوع تصادفات جاده‌ای کاهش نرخ تصادفات با افزایش مقدارPCI ، RWوSN ، افزایش نرخ تصادفات با افزایش A
رگرسیون [۷	عرض مسیر، حجم تردد وسایل نقلیه، تعداد دسترسی‌ها به مسیر اصلی جمعیت شهر، طول مسیر، قدر مطلق شیب نسبی مسیر	نخستین مدل بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از حوادث رانندگی در مبادی ورودی شهرها
رگرسیون خطی [8]	متوسط تردد ساعتی، متوسط درصد وسایل نقلیه سنگین درهرساعت، متوسط سرعت ساعتی، روز تصادف، نوع راه، علت وقوع تصادف، سن راننده، وضعیت هوا، شانه راه، فاصله از پاسگاه، زمان وقوع تصادف	بیشترین تلفات تصادفات جاده‌ای ناشی از عدم رعایت سرعت مجاز و انحراف به چپ
پواسون [۹]	فصل وقوع تصادف، متوسط حجم ترافیک روزانه در ماه، درصد تردد وسایل نقلیه سنگین در ماه، سرعت متوسط در ماه، متوسط سن رانندگان مقصر درگیر در تصادف، وضعیت روسازی بر اساس شاخص PCI	افزایش تصادفات در آزادراه‌ها با افزایش میانگین حجم تردد روزانه، افزایش متوسط سرعت وسایل نقلیه
رگرسیون لگاریتم طبیعی -شبکه عصبی [۱۰]	حجم ترافیک روزانه در ماه، طول قطعه، عرض سواره‌رو، تراکم دسترسی، تعداد خطوط راه، جهت ترافیک، میانه و...	حجم ترافیک، قوی‌ترین متغیر مؤثر در افزایش یا کاهش میزان تصادفات شهری
رگرسیون غیرخطی [۱۱]	شرایط روسازی (وضعیت اصطکاک روسازی و...)، خصوصیات هندسی (طول بخش‌های جاده، نوع میانه و عرض آن، قوس‌های افقی و قائم و...)، ویژگی‌های ترافیکی)میانگین سالانه ترافیک روزانه و(...	شناسایی میانگین سالانه ترافیک روزانه و درصد وسایل نقلیه سنگین مؤثر در تکرار تصادفات
دوجمله‌ای منفی [۱۲]	طول قوس، میانگین ترافیک روزانه در سال، میزان انحناء قوس، حضور تقاطعت	لزوم توجه ویژه مهندسین طراح مسیر به وجود تقاطعت در مسیر و همچنین در نظر گرفتن طول کافی برای خطوط تندرو و کندرو
دوجمله‌ای منفی [۱۳]		

نوع مدل	روش مدل‌سازی	پارامترهای مستقل منتخب	خلاصه یافته‌ها
	خطی عمومی [14]	طول قطعه، میانگین سالیانه ترافیک روزانه	توسعه مدل بر مبنای طول قطعهAADT
	خطی عمومی [15]	میانگین ترافیک روزانه، عرض خط، عرض شانه روسازی شده، عرض شانه روسازی نشده، درجه خطر کنار جاده و...	درجه اهمیت اول ADT بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تعداد تصادفات
شدت	لاجیت و شبکه عصبی [۱۶]	شرایط راه، شرایط محیطی، وسیله نقلیه، راننده، نوع برخورد	متغیرهای خستگی راننده، تجاوز از سرعت مجاز، عدم کنترل وسیله نقلیه، عمل نکردن به قوانین مؤثرترین عوامل در شدت تصادفات
	پروبیت [۱۷]	عرض معبر، وسیله نقلیه مقصر، زمان تصادف، وضع هوا، تحصیلات راننده مقصر، موانع دید، وضعیت سطح راه	شدت بالاتر برای تصادفات جلوه جلوی با طرف درگیر کامیون یا کفی در تصادف .شدت کمتر برای تصادفات جلو به جلو در آب‌وهوای بارانی
	لاجیت [۹]	متوسط تردد ساعتی، متوسط درصد وسایل نقلیه سنگین درهرساعت، متوسط سرعت ساعتی، روز تصادف، نوع راه، علت وقوع تصادف، وضعیت هوا، شانه راه، نوع وسیله نقلیه مقصر، استفاده از کمربند، محل تصادف، نوع برخورد	بیشترین شدت، در تصادفات ناشی از خستگی و خواب‌آلودگی راننده و شیب و قوس تند
	لاجیت [۱۸]	حجم ترافیک، سرعت، عرض معبر، جنسیت راننده مقصر، سن راننده مقصر، نوع برخورد، نحوه برخورد، نوع وسیله نقلیه مقصر، روشنایی، علت تامه تصادف و متغیرهای مربوط به وضعیت معبر در محل تصادف	سن راننده زیر ۲۵, سال حرکت با دنده‌عقب، نقص فنی در وسیله نقلیه، تصادف وسیله نقلیه با موتورسیکلت و دوچرخه، پل، تصادف‌های جلوبه جلو، تصادف‌های جلو به پهلو و تصادف‌های چند وسیله، مؤثرترین پارامترها در افزایش شدت تصادفات بزرگراه‌های درون‌شهری
	پروبیت [۱۹]	جهت راه، روز تصادف، وضعیت سطح جاده، شرایط آب‌وهوا، تصادف، ساعت وضعیت روسازی، وضعیت کاربر راه (میزان تحصیلات، جنسیت، سن، مصرف الکل، تجربه رانندگی، هدف سفر)، وضعیت روشنایی، قوس‌های جاده، مشخصات وسیله نقلیه، وضعیت ترافیک)حجم، سرعت(	تغییر اثر متفاوت سرعت روی شدت تصادفات بسته به وضعیت جریان ترافیک
	شبکه عصبی [20]	فاکتورهای انسانی (سن، جنسیت راننده، مصرف الکل)، وسیله نقلیه (سن، ابعاد(، فاکتورهای محیطی (شرایط، روشنایی، روسازی، لغزندگی)، سایر عوامل (روزهای هفته،(...	پارامترهای مهم در خروجی یک تصادف بستن کمربند ایمنی، مصرف الکل و دارو، سن و جنسیت راننده و وسیله نقلیه .عدم تأثیر شرایط آب‌وهوا و زمان تصادف برشدت تصادف
	مختلط لاجیت [21]	طول قطعه، میانگین ترافیک روزانه، میانگین ریزش باران و برف سالیانه، تعداد تقاطعت غیر هم‌سطح، محدودیت سرعت، عدد اصطکاک سطح روسازی، تعداد قوس‌های افقی، تعداد شکست شیب‌ها، میانگین روزانه ترافیک وسایل نقلیه سنگین	انعطاف‌پذیری بیشتر مدل مختلط لاجیت از دیدگاه اقتصادی، جهت به‌حساب آوردن عوامل تصادفاتی چون شرایط هندسی، روسازی، ترافیک و فاکتورهای مرتبط با آب‌وهوا
	لاجیت چندجمله‌ای [۲۲]	سطح اول شامل المان‌های طراحی بزرگراه)عرض خط، شانه، فاصله توقف –دید در قوس‌های افقی و قائم و (...سطح دوم شامل المان‌های ایمنی (المان‌های کناره جاده‌ای، منطقه بدون مانع، کنترل دسترسی، (...سطح سوم (کلیه معیارهایی که در سطح 1 و ۲ در نظر گرفته نشده است(	نقش بالای سرعت در شدت تصادفات.
	پروبیت[۲۴	زمان تصادف، حرکت وسیله نقلیه، موقعیت وسیله نقلیه در جاده، نحوه برخورد، خسارت، سن راننده،	مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در شدت تصادفات مردن راننده جوان رانندگی در نور کم (تاریکی) در ساعات اولیه صبح و روزهای آخر

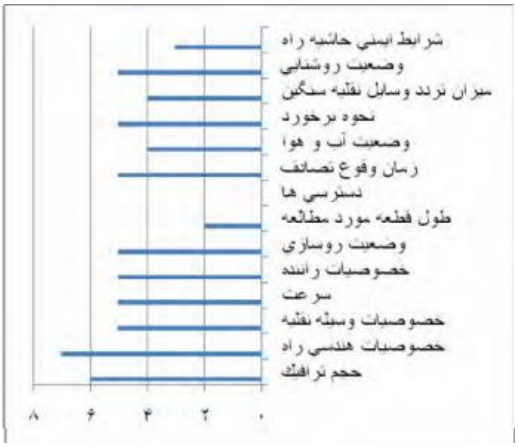
		تست تنفس، ناحیه، فصل و ماه تصادف، روز تصادف، نوع راه، محدودیت سرعت، ویژگی‌های تقاطع، وضعیت روشنایی، وضعیت هوا، وضعیت سطح جاده و...	هفته (جمعه و شنبه) و در جاده‌های اصلی و در هنگام مانور سبقت و در محدوده سرعت ۶۰ مایل بر ساعت
	فازی [۶]	عدم موفقیت در راندن وسیله نقلیه، شرایط نامناسب آب‌وهوا، درک اشتباه، عدم بازیابی درک اشتباه، تصمیم اشتباه و...	مؤثرترین عامل در وقوع این حادثه، پارامتر مربوط به عدم بازیابی درک اشتباه توسط راننده

۱۸- تحلیل و بررسی پارامترهای تصادفات در مدل‌های ۲۰ گانه تصادفات

با توجه به پارامترهای مدل‌های داخلی و خارجی بررسی‌شده ۱۴ پارامتر ()که بیشترین تکرار را در مدل‌های تعداد و شدت داشته‌اند تفکیک شد همان‌طور که در اشکال او ۲ نشان داده‌شده است پارامترهایی نظیر وضعیت روشنایی و خصوصیات وسیله نقلیه در مدل‌های تعداد و دسترسی‌ها در مدل‌های شدت جزء کم تکرارترین پارامترها بوده‌اند. متغیرهای حجم ترافیک و شرایط هندسی راه بیشترین تأثیر را در تعداد و شدت تصادفات دارند که نکته قابل‌توجه هم در این تحقیق همین است درواقع باوجود تفاوت میان برخی از فاکتورهای مؤثر در مدل‌های تعداد و شدت تصادفات در هر دو این مدل‌ها این دو عامل به‌صورت مشترک بالاترین میزان تکرار را داشته‌اند. پارامتر حجم ترافیک در مورد تعداد و شدت تصادفات تأثیرگذاری متفاوتی خواهد داشت، در حجم‌های بالا تعداد تصادفات بیشتر با شدت کمتر رخ می‌دهد در صورتیکه در حجم‌های پایین قضیه برعکس اتفاق می‌افتد، یعنی تصادفات کمتر با شدت بیشتر رخ می‌دهد. یکی دیگر از فاکتورهای مشترک در اکثریت مدل‌ها عامل شرایط هندسی و نقایص جاده است که شامل عرض جاده، فقدان شانه خاکی یا پارکینگ و شاخه‌های نامناسب، فقدان حفاظ‌های جانبی، سرعت طراحی، مسافت دید قابل‌رؤیت، قوس‌های قائم و افقی و انتقالی و آبگذر و ... فاکتورهایی هستند که مهندسین راه از میان چهار عامل انسان، جاده، محیط، وسیله نقلیه توانایی اعمال‌نظر و طراحی و اصلاح آن‌ها را دارند، می‌باشند. از مهم‌ترین خصوصیات هندسی بررسی‌شده عرض و طول مسیر موردمطالعه و وجود قوس‌هاست. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته ۵۰ تا ۶۰ درصد کل تصادفات شبکه راه‌ها درراه‌های دوخطی برون‌شهری در قوس‌ها رخ می‌دهد؛ اما برخی از پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی شدت در مدل‌سازی تعداد تصادفات ناچیز یا مقداری نزدیک به صفر دارد. در مدل ریسک بررسی‌شده به دلیل مبهم بودن پارامترهای انسانی مطرح‌شده، مدل‌سازی به‌صورت فازی بر اساس یک تصادف احتمالی خروج از جاده انجام‌گرفته است.



شکل:۱ میزان تکرار پارامترهای تصادفات در مدل‌های تعداد تصادفات داخلی و خارجی



شکل:۲ میزان تکرار پارامترهای تصادفات در مدل‌های شدت تصادفات داخلی و خارجی

۱۹- نتیجه‌گیری

تصادفات جاده‌ای از عوامل مهم مرگ‌ومیر در کشور بوده و صدمات شدید جانی و مالی و آثار سوء و سنگین اجتماعی و اقتصادی آن، جامعه ما و کل جوامع بشری را به‌شدت مورد تهدید قرار داده است. تصادفات جاده‌ای نسبت به تصادفات درون‌شهری از ضایعات سنگین‌تری برخوردار است و به علت سرعت‌بالای وسایل نقلیه، اغلب منجر به خسارات بسیار سنگین جانی و مالی می‌شود. همچنین تصادفات جاده‌ای مهم‌ترین عامل ایجاد مصدومیت در جهان بوده و یافته‌های سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که ۲۵ درصد تلفات ناشی از مصدومیت‌ها در سطح جهان، ناشی از مصدومیت‌های جاده‌ای است. هر تصادف یک اختلال در تعادل بین اجزای سیستم انسان، وسیله نقلیه، راه و محیط اطراف است. به‌منظور شناسایی یک سیستم ابتدا باید اجزای آن را شناخت که بر اساس نتایج مطالعات محققین مشاهده می‌شود. عوامل انسانی جاده، وسیله نقلیه و محیط به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع تصادفات دارند. با توجه به مدل‌های بررسی‌شده تمامی پارامترهای عامل تصادف در یک مدل دیده نمی‌شود. درواقع در نظر گرفتن تمامی متغیرها برای ساخت مدل‌ها بسیار مشکل بوده و با خطای زیادی همراه است. همچنین نمی‌توان همه نتایج یافته‌های کشورهای توسعه‌یافته را به دیگر کشورها ازجمله ایران تعمیم داد و به‌صورت مستقیم و بدون تغییر اجرا نمود، دلیل این امر تفاوت‌های فرهنگی، جغرافیایی، اقلیمی، محیطی، میزان توسعه‌یافتگی، میزان رشد و استفاده از حمل‌ونقل عمومی بالأخص حمل‌ونقل ریلی، میزان توسعه‌یافتگی شبکه ترابری ازجمله آزادراه‌ها، بزرگراه‌ها و... می‌باشد. بر همین اساس نتایج مدل‌ها را به دو صورت پارامترها و شیوه‌های مدل‌سازی طبقه‌بندی شدند. مدل داخلی و خارجی در سه دسته مدل‌های تعداد، شدت و ریسک تصادفات(رگرسیون ، رگرسیون خطی، پواسون، رگرسیون لگاریتم طبیعی– شبکه عصبی، رگرسیون غیرخطی، دوجمله‌ای منفی ، دوجمله‌ای منفی، خطی عمومی، خطی عمومی، لاجیت و شبکه عصبی، پروبیت، لاجیت، لاجیت، پروبیت، شبکه عصبی، مختلط لاجیت، لاجیت چندجمله‌ای، پروبیت، فازی) بررسی شدند. فرآیند مقایسه مدل‌های داخلی و خارجی نشان از گستردگی پارامترهای به‌کاررفته در مدل‌های خارجی را می‌دهد. دلیل این امر را می‌توان در پایگاه‌های جامع تصادفات در کشورهای توسعه‌یافته جستجو کرد. به دلیل کمبود و یا نقص اطلاعات خصوصاً اطلاعات انسانی که مهم‌ترین عامل بروز تصادفات است. این عامل در مدل‌های داخلی کمتر به‌عنوان‌مثال متغیر تأثیرگذار بکار رفته است. در وضع موجود ایمن‌سازی راه‌های کشور بعد از تحمیل هزینه‌های فراوان ناشی از تصادفات صورت می‌گیرد که به‌هیچ‌وجه جبران مافات نمی‌کند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دو پارامتر حجم ترافیک و خصوصیات هندسی راه بیشترین تکرار را در مدل‌های تصادفات بررسی‌شده داشته‌اند. در حالی که هدف مدل‌سازی تصادفات از در نظر گرفتن معیار و ارزیابی برای ساخت بزرگراه‌ها و تعمیر آن‌ها در دنیای امروز به

پشتیبانی از مدیریت پیشرفته ترافیک، مدیریت وقوع تصادف[۶] و شرایط بحرانی[۷] تغییریافته است. اخیراً نیز در دنیا دیگر به پدیده تصادفات به‌عنوان‌مثال عامل طبیعی نگریسته نمی‌شود تا این تصور به وجود آید که نمی‌توان برای بهبود ایمنی کاری انجام داد و به‌عبارت‌دیگر همواره باید این جمله که تصادفات قابل‌پیشگیری هستند مدنظر قرارگرفته و طرح‌ها و برنامه‌ها بر اساس آن پیاده شوند. از طرف دیگر تجربه کشورهای پیشرفته نشان در دنیا نشان داده است که می‌توان با برنامه‌ریزی دقیق و مستمر، تعداد، شدت و احتمال وقوع (ریسک) تصادف را به‌طور محسوسی کاهش داد.

۲۰- منابع

- قربانی,م . بمانا , ک . اردیبهشت (۱۳۸۵) بررسی فاکتورهای انسانی در مهندسی ایمنی جادهای", هفتمین کنگره مهندسی عمران, دانشگاه تربیت مدرس.
- علیزاده، حسنا، شفابخش، غلامعلی، (۱۳۹۰) اولویت بندی پارامترهای موثر بر تصادفات بر اساس مدل های تعداد،شدت وریسک تصادفات
- مقدم کامرانی، علی، افتخار زاده، سید فرهاد ، (۱۳۸۸) بررسی رابطه بین وضعیت روسازی و عملکرد راه از لحاظ شاخص تصادفات
- بهبهانی، حمید. احمدی نژاد، محمود، ابوطالبی اصفهانی، محسن. (مولفین). ۱۳۸۴. "مطالعات حمل و نقل"
- احدی، محمد رضا و منصوریان خاکی، علی، (۱۳۸۹) تاثیر بافت درشت روسازی در کنترل لغزندگی و کاهش تصادفات جاده ای
- الهی زاده، مهناز ، خبیری، محمد مهدی، (۱۳۹۴) ارزیابی تاثیر خرابی روسازی براحتمال وقوع تصادفات به روش درخت تصمیم، (مطالعه موردی: ناهمواریهای روسازی)
- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور. اداره کل ایمنی و ترافیک (۱۳۹۰) گزارش سالیانه پزشکی قانونی
- ازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۱) آئین نامه روسازی راههای ایران"، نشریه ۲۳۴، انتشارات سازمان مدیریت ریزی کشور.و برنامه

- Noland, R.B., and Oh. L." The Effect of Infrastructure and Demographic Change on Traffic- Related Fatalities and Crashes: A Case Study of Illinois County-Level Data". Accident Analysis and Prevention 36, 2004
- Gray, R. C., Qudduse, M. A., Evans ,A., 2008. "Injury severity analysis of accidents
- involving young male drivers in Great Britian", Journal of Safety Research, vol.39 .pp.483- 495
- www.omnicrete.com.au (Last Visited Sep. 2011)
- www.stab.aviation-civile.gov.fr (Last Visited Sep. 2011)
- Kuttesch, Jeffrey. S. (2004) "Quantifying the re- lationship between skid resistance and wet weather
- accidents for Virginia data", Master Degree of Sci- ence Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Fwa, T.F.(2006) "The handbook of highway engi- neering", London: Taylor & Francis Group
- Abdel-Aty, M. A., and Radwan, A. E." Modeling Traffic Accident Occurrence and Involvement".Accident Analysis and Prevention 34, 2000
- Desmond, F. Moore (1975)"The friction of pneu- matic tyres", Amsterdam: Elsevier Scientific Publish- ing Company
- Roe, P.G., Webster, D.C. and West, G. (1991) "The
- relation between the texture of roads and accidents", Research Report RR 296, Transport Research Labo- ratory, Crowthorne, England.
- Salt, G.F. (1977) "Research on skid resistance at the Transport and Road Research Laboratory, Transpor- tation Research Record.
- Hass,R.,Hudson,W.R."Pavement Management System",Mc Graw-Hill,1986
- kalaftis,M.G.,and Golias.I."Effect of RoadGeometry and Traffic Volume on Rural Roadway

[6] - Incident Management
[7]-Emergency Management

- rera, V., Gallegos, C., García-Morales, M., Partal, P. and Pérez-Lepe, A. (2010) "Effect of processing on the rheological properties of poly-urethane/ urea bituminous products", Fuel Processing Technology. No. 91, pp. 1139–1145.
- hiteoak, D. and Read, J. M. (2003) "The Shell bitumen handbook", London: Thomas Telford Services Ltd
- Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test), Annual Book of ASTM Standard. (1997) "American Society for Testing and Materials", D 2872.
- Standard test method for penetration of bituminous materials. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, D 5.
- Accident Rates". Accident Analysis and Prevention 34, 2002,pp.375-365
- Chimba,Deo,"Evaluation of geometric and traffic characteristic affecting the Safety of Six Line Divided roadway" , The Florida State University collage of engineering , 2004
- keyao Wen, 2009-10-22. "Traffic Accident Prediction Model Implementation In Traffic
- Safety Management", Department Of Science and Technology, Sweden, SE-60174.
- Takubono, 1999, "Analysis of relations between traffic accident areal factors", National
- Res. Inst. Police Science. Research of Traffic Safety and Regulation
-]Montella, N., 2005. Safety Review of Existing Roads:A Quantitative Safety Assessment
- Methodology",Transportation Research, No. 1922, pp.62-72
- Carrera, V., Gallegos, C., García-Morales, M., Par- tal, P. and Pérez-Lepe, A.)2010) "Effect of process- ing on the rheological properties of poly-urethane/ urea bituminous products", Fuel Processing Technol- ogy. No. 91, pp. 1139–1145
- Delen, D., Sharda, R., Bessonov, M., 2006. "Identifying signification predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks", Accident Analysis & Prevention, vol. 38, pp 434-444.

Investigation of pavement parameters and models in road accidents

The rapid growth of vehicle manufacturing technology has led to a steady increase in speed and an increasing need for brakes and friction. International studies have shown that increasing the average speed has caused more damage in accidents. Various parameters such as volume, speed, safety, pavement condition can be used to determine the performance of the road. One of the parameters related to safety is the number of accidents. There has been a lot of research on the relationship between different road parameters and the number of accidents, but in the field of different road parameters and the number of accidents, but in the field of various road pavement parameters and its performance level (especially various accident indicators) comprehensive and sufficient studies, especially Has not been done in Iran. In the studies that have been done so far, the relationship between accident rate or frequency of accidents in terms of number of lanes, lane width, presence of middle lane, type of lane, shoulder width, access density, number of intersections observed in each road section, speed limit The degree of vertical arc, horizontal arc, section length, weather condition, time of day of the week and other effective variables are discussed. In this article, we have tried to study the parameters and models of pavement in road accidents.

Keywords: Road pavement parameters, Road accidents, Pavement models, Accident rates