

ارزیابی تاثیر با هم ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی آسفالتی در تصادف‌های آزادراهی *

«یادداشت پژوهشی»

بهنام امینی^(۱) حمیدرضا صالحپور^(۲)

چکیده مطالعات بسیاری در زمینه اثر جدا از هم ضریب اصطکاک یا عمق بافت بر روی تصادف‌ها در راه انجام شد، ولی تاکنون پژوهشگران اثرهای این دو متغیر را با هم نسنجیده‌اند. در این پژوهش اندرکنش اصطکاک و عمق بافت رویه آسفالتی و نرخ تصادف‌های، در سی مقطع آزادراهی بررسی شده است. در این راستا آمار و داده‌ها تصادف‌ها جمع آوری و برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دستگاهی طراحی و ساخته شد. با تحلیل رگرسیون غیر خطی روی آمار و داده‌ها یک الگوی نمایی ترکیبی به دست داده اند. نتیجه‌های الگوسازی نشان می‌دهد که برخلاف رابطه موجود میان ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی، هر یک از آن‌ها اثرهای مستقلی دارند که می‌تواند کاهش چشمگیری در نرخ تصادف‌های آزادراهی ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی مقاومت لغزشی روسازی، ضریب اصطکاک روسازی، عمق بافت، تصادف‌های آزاد راهی، نرخ تصادف.

Evaluating the Combined Effects of Friction Coefficient and Texture Depth of Asphalt Concrete Pavement on Freeway Accidents

B. Amini

H.R. Salehpour

Abstract Many studies have been conducted focusing on the effects of friction coefficient or texture depth on the highway accident risk. However, combined effects of these parameters have not been still addressed. In this research the interaction between friction coefficient, texture depth and accident rate in 30 freeway sections were examined. The accident data were gathered and an apparatus was designed to measure friction coefficient. A nonlinear regression analysis was performed and a combined exponential model was obtained. The results indicated that despite cross correlation between friction coefficient and texture depth, these parameters have some independent effects on accident rates which can be used to decrease freeway accidents significantly.

Key Words Pavement Skid Resistance, Pavement Friction Coefficient, Texture Depth, Freeway Accidents, Accident Rate.

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۷/۹/۱۶ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۶ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسئول، عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی

(۲) کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی

مقدمه

ایمنی یکی از ملاحظه‌های اساسی در برنامه‌ریزی و طراحی و مدیریت راه‌هاست و افزون بر اثرهای اقتصادی، عوارض اجتماعی و روانی گسترده‌ای در جوامع امروزی دارد. با توجه به این که حمل و نقل جاده‌ای بیشترین سهم در جابجایی افراد را دارد، ایمنی در جاده‌ها موجب کاهش آمار مرگ و میر و جراحت افراد و نیز کاهش خسارت‌های مالی وارده می‌شود. با افزایش حجم رفت و آمد و سرعت وسایل نقلیه در جاده‌ها، همه ساله بر شمار کشته شدگان و مجروحان در کشور افزوده می‌شود. آمار حادثه‌های رانندگی کشور در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که روزانه بیش از ۶۲ نفر در اثر تصادف‌های جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند [۱].

تصادف‌ها پیشامدهای پیچیده‌ای هستند که از اندرکنش چهار عامل انسان، راه، وسیله نقلیه و شرایط محیط روی می‌دهند. یکی از عوامل مؤثر در ایمنی و کاهش روی دادن تصادف‌ها، مقاومت روسازی در برابر لغزش است. هر چه سطح رویه جاده با سطح لاستیک وسیله نقلیه، اصطکاک بیشتری داشته باشد به هدایت وسیله نقلیه و ایست به هنگام آن، کمک کرده و از روی دادن تصادف ناشی از لغزش پیشگیری می‌شود. در سامانه آزادراهی به دلیل سرعت زیاد، هدایت خودروها دشوارتر و نقش مقاومت لغزشی روسازی در ایمنی بسیار چشمگیرتر است.

بنا به تعریف استاندارد ASTM مقاومت لغزشی (Skid Number) عبارت از نیروی مقاوم پدید آمده بین لاستیک و سطح روسازی در هنگام ترمزگیری و حالت قفل شدن چرخ خودرو می‌باشد، که از سرخوردن لاستیک پیشگیری می‌کند. همچنین ضریبی با عنوان عدد لغزندگی (SN) معرفی شده که برابر است با [۲]:

$$SN = 100\mu = 100(F/N) \quad (1)$$

که در آن:

μ = ضریب اصطکاک،

F = نیروی اصطکاک (نیروی افقی وارد به چرخ در محل تماس تایر و روسازی) و

N = نیروی عمودی وارد بر سطح می‌باشد.

ضریب اصطکاک μ از نسبت دو نیرو، یکی نیروی موازی با سطح تماس دو سطح و مخالف با جهت حرکت آن‌ها (نیروی اصطکاک)، و دیگری نیروی عمود بر این سطح (نیروی قائم)، به دست می‌آید.

مقاومت لغزشی سطح جاده به عامل‌هایی مانند جنس سنگدانه، بافت (Texture) ریز و درشت، رطوبت و ... بستگی دارد که هرگاه این عامل‌ها به همراه عامل‌های وابسته به خودرو همانند ترمز و لاستیک در شرایط مناسبی قرار داشته باشند، مقاومت لغزشی یا اصطکاک حاصل بیشترین مقدار خواهد بود. در شرایط خشک، مقاومت لغزشی تقریبی همه سطح‌ها از مقدار قابل قبولی بر خوردار است، ولی در شرایط مرطوب این گونه نیست. به همین دلیل، نیاز به اقدام‌هایی برای افزایش مقاومت لغزشی وجود دارد که نتیجه آن ایمنی در هنگام ترمز گرفتن و تغییر جهت است.

بافت سطحی روسازی تابعی از نوع و منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌های به کار رفته در مخلوط روسازی است. سنگدانه‌های درشت با دانه‌بندی باز باعث ایجاد مقاومت لغزشی مناسب در سرعت‌های بالا می‌شود [۳].

زبری ریز روسازی باعث ایجاد اصطکاک در سرعت‌های پایین می‌شود. بافت ریز شامل ناهمواری‌های سطحی ریز دانه‌های سنگی می‌شود که در چسبندگی لاستیک و رویه اثرگذار است. مقدار بافت ریز بستگی به زبری اولیه سطح رویه و توانایی دانه‌ها در حفظ این زبری در فرایند صیقلی‌سازی رفت و آمد دارد. بافت درشت شامل ناهمواری‌های بزرگ‌تر سطح روسازی می‌شود که در تغییر شکل لاستیک و جذب انرژی آن مؤثر است. مقدار بافت درشت بستگی به اندازه و شکل دانه‌های درشت و نیز بستگی به روش‌های اجرایی آسفالت رویه دارد. بافت درشت یک عامل مؤثر در فراهم

کاهش نرخ تصادف همراه است. وی برای توصیف این رابطه از رگرسیون خطی میان این دو عامل بهره گرفت.

المنصور [11] به رابطه میان مقاومت لغزشی روسازی با شمار تصادفها، چگالی تصادفها و اهمیت تصادفها پرداخته است. در این پژوهش برای تعیین مقدار مقاومت لغزشی روسازی از دستگاه مو-متر (μ -meter) استفاده شده است. نتیجه‌های کار او نشان می‌دهد که یک رابطه غیر خطی با شکل توانی میان مقاومت لغزشی روسازی و نرخ تصادفها برقرار می‌باشد.

در یک کار پژوهشی TRB در چارچوب برنامه ملی پژوهش‌های راه امریکا (NCHRP) که در دانشگاه تکزاس به انجام رسیده، رابطه بافت دانه‌های روسازی آسفالتی با مقاومت لغزشی به کمک تحلیل تصویری دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است [12].

فخری [۱۳] در یک مطالعه اثر نوع سنگدانه بر ویژگی‌های اصطکاکی و نفوذپذیری اندوذهای سنگدانه‌ای را مورد بررسی قرار داده است.

هدفها و روش پژوهش

یکی از عوامل مهم در فراهم ساختن ایمنی حرکت خودرو، میزان مقاومت لغزشی روسازی است. از این رو، پژوهش ارتباط کمی و کیفی ضریب اصطکاک و عمق بافت و تصادفها در مقاطع آزادراهی با تاکید بر اثرهای با هم آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتیجه‌های این پژوهش می‌تواند برای دستیابی به راهکارهای ایمن‌سازی راه‌ها و اولویت‌بندی آنها و نیز اجرای اقدام‌های پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد. از دیگر نتیجه‌های این پژوهش می‌توان در شناسایی بخش‌هایی از روسازی با میزان مقاومت لغزشی پایین و شمار تصادف‌های بالا بهره گرفت.

در این پژوهش چند محور آزادراهی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از جمع‌آوری آمار و داده‌های

ساختن امکان خروج آب در هنگام تماس رویه با لاستیک چرخ وسایل نقلیه است [4].

مرور سابقه‌های پژوهشی

اهمیت اثرگذار مقاومت لغزشی روسازی بر ایمنی راه، منجر به پژوهش‌های بسیاری در سراسر جهان و از جمله در موسسات پژوهشی مانند (TRL Transportation Research Laboratory) و (TRB Transportation Research Board) شده و چندین الگو برای نشان دادن میزان این تاثیر ارائه شده است [5,6,7].

سالت [8] در یک کار پژوهشی وابسته به TRL به بررسی مقاومت لغزشی روسازی و میزان اثرگذاری آن بر روی دادن تصادفها پرداخت. نتیجه‌های کار وی نشان داد که ضریب اصطکاک روسازی و تصادفها رابطه مستقیم داشته و خطر تصادفها با کاهش ضریب اصطکاک روسازی سیر صعودی دارد. همچنین در روسازی‌های با ضریب اصطکاک ۰/۶ و بالاتر، تصادف در اثر سر خوردن خودرو و خطر تصادف مجدد در اثر لغزش به شدت کم می‌باشد.

والمن و آستروم [9] بر روی رابطه بین مقاومت لغزشی اندازه‌گیری شده به وسیله اسکریم (SCRIM) و تصادفها مطالعاتی انجام دادند. نتیجه‌های این مطالعات نشان داد که یک رابطه غیرخطی میان تصادفها و ضریب اصطکاک سطح روسازی برقرار می‌باشد و کاهش در ضریب اصطکاک روسازی باعث افزایش در روی دادن تصادفها می‌شود. شدت این افزایش به گونه‌ای است که برای مقادیر ضریب اصطکاک پایین‌تر از ۰/۴ با شیب بیشتری ادامه می‌یابد.

کاتش [10] در یک کار پژوهشی بر روی رابطه مقاومت لغزشی و نرخ تصادفها در ایالت ویرجینیا نشان داد که، نرخ تصادفها با مقاومت لغزشی روسازی رابطه مستقیم دارد و افزایش در ضریب اصطکاک روسازی با

که در آن:

$Ar_j =$ نرخ تصادف قطعه j (تصادف بر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر)،

$F_j =$ فراوانی تصادف‌های قطعه j ،

$P =$ دوره زمان تحلیل (بر حسب سال)،

$L_j =$ طول قطعه j (بر حسب کیلومتر)، و

$ADT_j =$ میانگین رفت و آمد روزانه در مکان j می‌باشد.

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، تصادف‌های ناشی از عامل‌های مختلفی از جمله انسان، راه، وسیله نقلیه و شرایط محیطی راه می‌باشد. در این پژوهش، تنها رابطه میان تصادف‌ها و مقاومت لغزشی و عمق بافت روسازی مورد بررسی قرار می‌گیرد و اثر دیگر عامل‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود.

جمع‌آوری آمار و داده‌های تصادف‌ها و حجم رفت و آمد

برای جمع‌آوری آمار و داده‌های تصادف‌ها و حجم رفت و آمد، از پایگاه داده‌های سازمان حمل و نقل و پایانه‌ها استفاده شده است که براساس گزارش‌های تصادف پلیس می‌باشد. آمار تصادف‌های مربوط به هر دو شرایط خشک و مرطوب سطح راه و انواع تصادف‌ها (فوتی، جرحی و خسارتی) است. همچنین آمار و داده‌های آخرین بهسازی و تغییرات روسازی محورهای انتخابی در طول سال‌های گذشته گردآوری شد. با توجه به موقعیت وقوع تصادف‌های سی قطعه ۵ کیلومتری در فاصله ۵۰ کیلومتری آزادراه‌های انتخابی مشخص شد.

پس از جمع‌آوری آمار و داده‌ها تصادف‌ها و رفت و آمد محورها، با توجه به رابطه (۲) نرخ تصادف قطعه‌های جدا از هم محاسبه شد. توزیع فراوانی نرخ تصادف‌های محاسبه شده در قطعات مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

تصادف‌های آزادراه‌ها و اندازه‌گیری ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی به برقراری رابطه میان ضریب اصطکاک روسازی، عمق بافت روسازی و نرخ تصادف‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه با کمک روش‌های آماری چگونگی این رابطه و اثر عامل‌های ضریب اصطکاک و عمق بافت بر نرخ تصادف‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای بررسی میزان تأثیر مقاومت لغزشی روسازی بر نرخ تصادف‌ها، آزادراه‌های قزوین- کرج، قزوین- زنجان، قم- تهران و قم- کاشان واقع در استان‌های قزوین، تهران و قم، با سه نوع شرایط آب‌وهوایی متفاوت به شرح زیر انتخاب و مورد مطالعه قرار می‌گیرد:

- آزادراه قزوین- کرج و قزوین- زنجان: کوهپایه‌ای و به نسبت سردسیر

- آزادراه قم- تهران: به نسبت معتدل

- آزادراه قم- کاشان: گرم و خشک

این محورها افزون بر تفاوت چشمگیر در شرایط آب‌وهوایی، تفاوت‌هایی از نظر حجم رفت و آمد عبوری و همچنین کیفیت و زمان اجرای آسفالت روسازی دارند. در این پژوهش برای الگوسازی تصادف‌های آزادراهی از متغیرهای ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی و از متغیر نرخ تصادف برای ارزیابی تصادف‌های رخ داده در آزادراه استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری متغیرهای ضریب اصطکاک و عمق بافت در بخش‌های بعدی ارائه خواهد شد.

از آنجا که آمار روی دادن تصادف‌ها به تنهایی نمی‌تواند بیانگر رابطه صحیح و قابل استناد در ارزیابی مقاومت لغزشی روسازی و ایمنی باشد، از شاخص نرخ تصادف (Accident Rate) قطعه به کار می‌رود. نرخ تصادف بنا به تعریف، عبارت است از شمار تصادف‌ها به ازای یک میلیون وسیله نقلیه - کیلومتر پیموده شده در قطعه که با رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴]:

$$Ar_j = \frac{F_j \times 10^6}{365 \times P \times L_j \times ADT_j} \quad (2)$$

تایر قرار گرفته، متشکل شده است. وزن کل دستگاه درست ۱۱ کیلوگرم می‌باشد و از یک کابل فولادی ۲ متری برای کشیدن آن روی روسازی استفاده می‌شود که یک نیروسنج دیجیتالی با دقت ۲۰ گرم نیرو برای ثبت نیروی کشش به آن متصل است.

این دستگاه بر روی سطح جاده قرار داده شده و در جهت طولی با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه کشیده می‌شود. در هنگام کشش عدد نمایش داده شده بر روی نیروسنج ثبت می‌شود. مقدار ضریب اصطکاک از تقسیم نیروی ثبت شده با نیروسنج بر نیروی قائم وارده بر دستگاه محاسبه می‌شود.

نکته‌هایی که بایستی در هنگام انجام آزمایش در نظر داشت:

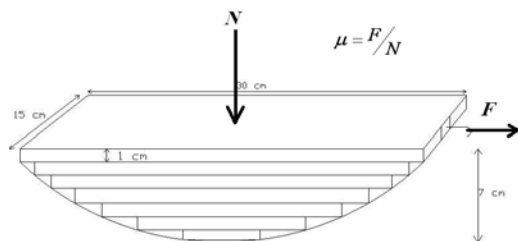
۱- محل انجام آزمایش بدون سنگدانه‌های شل، کنده شده و گل و لای باشد.

۲- دستگاه با سرعت یکنواخت در سطح جاده کشیده شود.

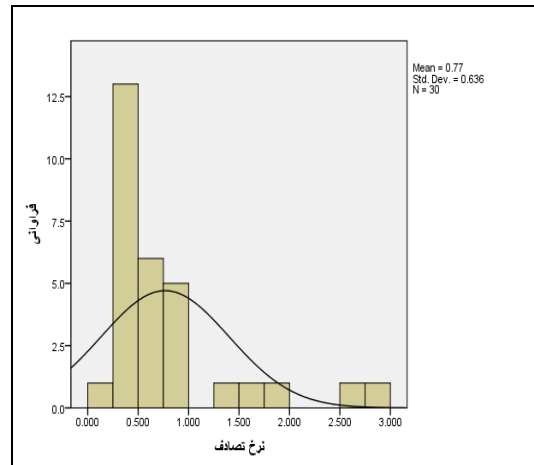
۳- کشش بایستی به صورت افقی کامل باشد تا مولفه قائم نیروی وزن حذف شود.

۴- برای کم کردن خطای آزمایش، این آزمایش برای هر بخش ۵ بار تکرار می‌شود.

برای توانایی هماهنگی کاربرد دستگاه سنجش ضریب اصطکاک نوآوری شده، ضروری است که نتیجه‌های آن با دستگاه‌های دیگر مقایسه شود. در این مطالعه آونگ انگلیسی برای واسنجی دستگاه استفاده شده است.



شکل ۲ تصویر شماتیکی دستگاه تعیین ضریب اصطکاک



شکل ۱ توزیع فراوانی نرخ تصادف آزادراهی در مقاطع ۵ کیلومتری

طراحی، ساخت و پرداخت دستگاه اندازه گیری ضریب اصطکاک روسازی

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک روسازی چندین دستگاه مانند اسکریم (SCRIM)، تریلر با چرخ قفل شده (Locked Wheel Trailer)، گیرش سنج (Grip Tester)، دستگاه آونگ انگلیسی (Pendulum Test) و غیره ساخته شده است و هر یک دارای ویژگی‌های عملکردی خاصی است. در این پژوهش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستا مورد نظر بود ولی استفاده از دستگاه آونگ انگلیسی در محورهای آزادراهی به دلیل زمان‌بر بودن انجام آزمایش و خطرهای ناشی از رفت و آمد خودرو نیز امکان‌پذیر نبود. بنابراین، اقدام به طراحی و ساخت یک ابزار سنجش ضریب اصطکاک شد، به گونه‌ای که توانایی اندازه‌گیری ضریب اصطکاک را با سرعت و ایمنی بیشتری نسبت به آونگ انگلیسی داشته باشد.

جزئیات دستگاه طراحی شده برای سنجش ضریب اصطکاک، در شکل (۲) آمده است. این وسیله از یک قطعه تایر خودروی سبک با آج‌های به نسبت نو به ابعاد $30 \times 15 \times 7$ سانتی‌متر و هفت صفحه فولادی به ابعاد 5×5 تا 15×30 به ضخامت ۱ سانتی‌متر که در داخل قطعه

جدول ۱ نتایج رگرسیون خطی عدد آونگ انگلیسی و ضریب اصطکاک دستگاه

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975 ^a	.950	.945	.58069

a. Predictors: (Constant), f_wet

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-23.709	6.843		-3.465	.006
	f_wet	197.036	14.233	.975	13.844	.000

a. Dependent Variable: BPN

در مرجع [15] رابطه‌ای میان BPN و عدد لغزندگی بنا به معادله (۴) برقرار شده که از آن می‌توان برای محاسبه عدد لغزندگی براساس ضریب اصطکاک کششی و عمق بافت روسازی بهره گرفت.

$$SN = (1.32(BPN) - 34.9) \times e^{\frac{-(0.157(MTD)^{0.47})}{100} \times V} \quad (4)$$

که در آن :

SN = عدد لغزندگی،

MTD = عمق بافت روسازی (اینچ)، و

V = سرعت استاندارد (۴۰ مایل بر ساعت) می‌باشد.

با توجه به مقدارهای SN، می‌توان ضریب اصطکاک استاندارد در سرعت ۴۰ مایل بر ساعت از رابطه زیر به دست آورد:

$$\mu = SN / 100 \quad (5)$$

که در آن :

μ = ضریب اصطکاک استاندارد می‌باشد.

نتیجه‌های اندازه‌گیری ضریب اصطکاک در شکل (۴) نشان داده شده است.

برای تعیین رابطه ضریب اصطکاک دستگاه کششی با عدد آونگ انگلیسی (BPN) این آزمایش‌ها به صورت همزمان بر روی راه‌های با ۴ بافت روسازی متفاوت انجام شد و نتیجه‌ها ثبت شد. سپس تحلیل رگرسیون خطی میان نتیجه‌ها صورت گرفت. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، یک رابطه خطی میان نتیجه‌های این دو آزمایش به شرح زیر برقرار است.

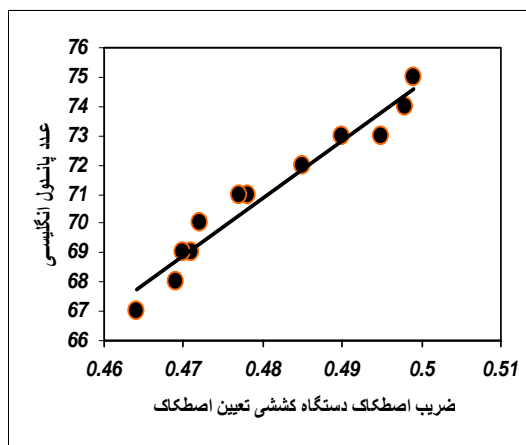
$$BPN = 197.04 \times f_{wet} - 23.709 \quad (3)$$

که در آن :

BPN = عدد آونگ انگلیسی، و

f_{wet} = ضریب اصطکاک دستگاه سنجش ضریب اصطکاک می‌باشد.

شاخص خوبی برازش رگرسیون خطی (R^2) برای این رابطه ۰/۹۵ است.



شکل ۳ رگرسیون خطی میان عدد آونگ انگلیسی و ضریب اصطکاک دستگاه کششی

در جدول (۱) نتیجه‌های تحلیل رگرسیون ضریب اصطکاک دستگاه کششی با عدد آونگ انگلیسی ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل آمار و داده‌ها

به منظور سنجش کیفیت آمار و داده‌های جمع آوری شده نخست راستی آزمایی آن‌ها با کمک آزمون بدون عامل کلموگروف-اسمیرنوف (KS) برای سنجش نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. در جدول (۲) نتیجه‌های این آزمون ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همه متغیرها با اطمینان بالای ۹۵٪ نرمال هستند.

جدول ۲ نتیجه‌های آزمون تک نمونه‌ای کلموگروف اسمیرنوف آمار و داده‌ها

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test				
		accrate	mtd	sn
N		30	30	30
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.76680	.4393	.5040
	Std. Deviation	.635644	.04734	.02920
Most Extreme Differences	Absolute	.273	.097	.108
	Positive	.273	.097	.075
	Negative	-.186	-.067	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z		1.495	.531	.592
Asymp. Sig. (2-tailed)		.023	.940	.874

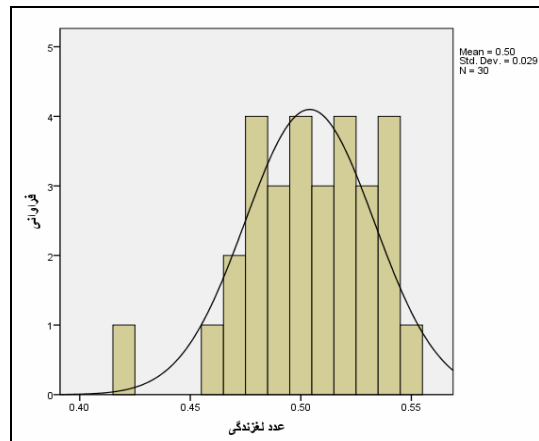
a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

در مرحله بعد تلاش شد رابطه میان متغیرها بر اساس تحلیل همبستگی به دست آید. نتیجه‌های تحلیل همبستگی در جدول (۳) ارائه شده و نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری بین نرخ تصادف‌های (Ar)، عمق بافت روسازی (MTD) و ضریب اصطکاک روسازی (m) برقرار می‌باشد.

جدول ۳ جدول همبستگی نرخ تصادف آزادراه‌ها و ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی

Correlations				
		m	MTD	Ar
m	Pearson Correlation	1	.626**	-.698**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	30	30	30
MTD	Pearson Correlation	.626**	1	-.632**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	30	30	30
Ar	Pearson Correlation	-.698**	-.632**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	30	30	30

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

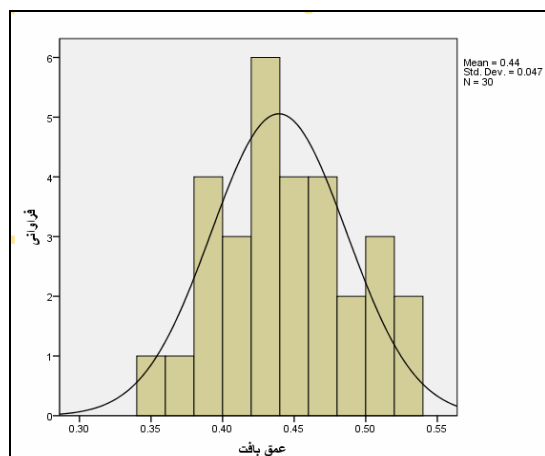


شکل ۴ فراوانی ضریب اصطکاک در قطعه‌های ۵ کیلومتری محورهای مطالعاتی

اندازه‌گیری عمق بافت روسازی

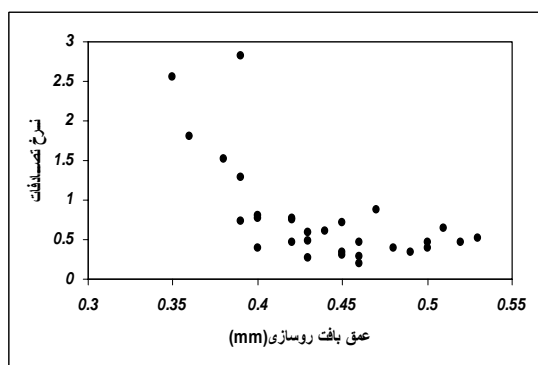
در این مطالعه برای اندازه‌گیری عمق بافت از روش پخش ماسه بنا به استاندارد ASTM E965 استفاده شده است. در این روش حجم معینی از ماسه با ویژگی‌ها و دانه‌بندی خاص بر روی سطح جاده و به صورت دایره‌ای پخش می‌شود. این کار با صفحه فلزی و گردی که به ارتفاع ۲۵/۰ اینچ از سطح رویه قرار می‌گیرد، انجام می‌شود. نسبت حجم ماسه اولیه به سطح پوشش شده با ماسه، عمق بافت رویه راه را به دست می‌دهد.

فراوانی مقدارهای عمق بافت روسازی به دست آمده از قطعه‌های ۵ کیلومتری آزادراه‌های مطالعاتی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ فراوانی عمق بافت روسازی در قطعه‌های ۵ کیلومتری محورهای مطالعاتی

در شکل (۶) نمودار پراکنش داده‌ها ضریب اصطکاک و عمق بافت در همه قطعه‌های مطالعاتی ارائه شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش عمق بافت ضریب اصطکاک نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی خطی بین این دو متغیر ۰,۶۲۶ است.



شکل ۸ نمودار پراکنش نرخ تصادف‌های و عمق بافت تمامی قطعه‌های مطالعاتی

عمق بافت و ضریب اصطکاک همبستگی نسبی دارند و دارای اثرهای مستقلی نیز در تصادف‌ها می‌باشند، از این رو، اقدام به ارائه الگویی برای بررسی تأثیر با هم این دو متغیر بر نرخ تصادف‌های آزادراه‌ها شد. در این راستا، الگوهای مختلفی از جمله خطی، توانی، نمایی و ترکیبی مورد بررسی و برآزش قرار گرفت و در پایان، بهترین نتیجه از رابطه (۶) حاصل شد. رابطه ترکیبی نمایی-خطی میان نرخ تصادف‌های آزادراهی با ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت، مطابق رابطه (۶) می‌باشد.

$$Ar = A \times e^{(B \times \mu + C \times MTD)} \quad (6)$$

که در آن :

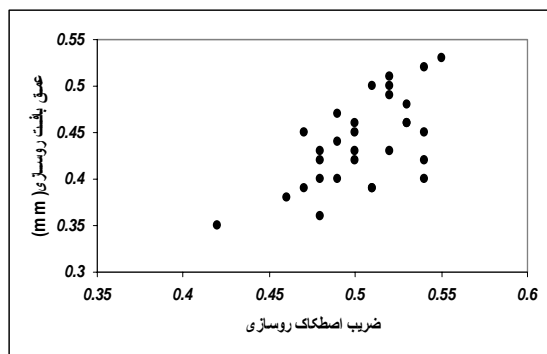
Ar = نرخ تصادف،

μ = ضریب اصطکاک روسازی،

MTD = عمق بافت روسازی، و

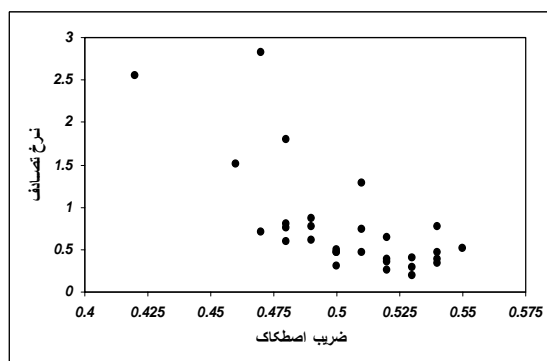
A ، B و C عامل‌های رگرسیون است.

شکل ۶ نمودار پراکنش ضریب اصطکاک و عمق بافت در همه قطعه‌های مطالعاتی ارائه شده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش عمق بافت ضریب اصطکاک نیز افزایش می‌یابد. ضریب همبستگی خطی بین این دو متغیر ۰,۶۲۶ است.



شکل ۶ نمودار پراکنش ضریب اصطکاک و عمق بافت قطعه‌های مطالعاتی

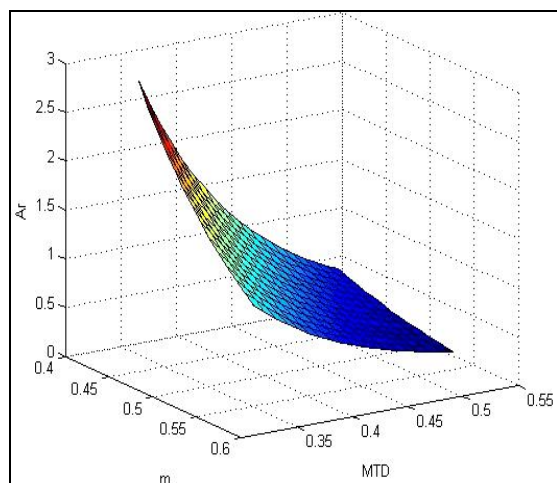
شکل‌های (۷) و (۸) نمودار پراکنش نرخ تصادف‌ها را برحسب ضریب اصطکاک و عمق بافت برای همه قطعه‌های آزادراهی مطالعاتی نشان می‌دهند. همان گونه که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، رابطه ضریب اصطکاک و نرخ تصادف نزولی است، به طوری که برای مقادیرهای ضریب اصطکاک کمتر از ۰,۴۸، روند کاهشی نرخ تصادف با شدت بیشتری همراه است.



شکل ۷ نمودار پراکنش نرخ تصادف‌های و ضریب اصطکاک قطعه‌های مطالعاتی

دارند. یک کاهش یک درصدی در ضریب اصطکاک باعث کاهش ۷/۵۴ درصدی در میزان نرخ تصادف می‌شود. همچنین یک درصد تغییر در میزان عمق بافت روسازی باعث کاهش ۹/۴۵ درصدی در میزان نرخ تصادف می‌شود. در صورتی که بازه تغییرات ضریب اصطکاک یک راه از ۰,۴ به ۰,۵ و بازه تغییرات عمق بافت روسازی از ۴ به ۵ میلی متر در نظر گرفته شود، می‌توان انتظار کاهش نرخ تصادف‌ها از ۲ به ۰,۴ در هر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر را داشت.

در شکل‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) اثر ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت بر میزان نرخ تصادف با توجه به رابطه (۷) مشاهده می‌شود.



شکل ۹ نمودار سه بعدی تغییرات نرخ تصادف با افزایش ضریب- اصطکاک و عمق بافت

با توجه به نمودار سه بعدی نشان داده شده در شکل (۹) مشخص می‌شود که بالاترین نرخ تصادف مربوط به بخش‌هایی از روسازی است که دارای کمترین مقدار ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی هستند.

نتیجه‌های حاصل از الگوسازی این تصادف‌ها با ترکیب اثر ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه نتیجه‌های رگرسیون غیرخطی رابطه (۷) به دست آمده است:

$$Ar = 1870.96e^{(-7.545 \times \mu + (-9.54) \times MTD)} \quad (7)$$

ضریب خوبی برازش رگرسیون (R) برای این رابطه مقدار ۰/۸۲ است.

مقایسه مقدار شاخص R در رگرسیون رابطه (۷) با مقدارهای ضریب‌های همبستگی درج شده در جدول (۳)، بیان‌گر تشدید اثرهای ترکیبی نسبت به اثرهای منفرد متغیرهاست. بنابر این در صورتی که هر دو عامل در یک راه مورد اصلاح قرار گیرند، می‌توان انتظار بهبود بیشتری در ایمنی داشت.

جدول ۴ نتیجه‌های الگو رگرسیون ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت در مقابل نرخ تصادف

Parameter Estimates				
Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
A	1870.964	1783.360	-1788.189	5530.116
B	-7.545	3.081	-13.866	-1.224
C	-9.541	2.980	-15.656	-3.426

ANOVA ^a			
Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	25.543	3	8.514
Residual	3.814	27	.141
Uncorrected Total	29.357	30	
Corrected Total	11.717	29	

Dependent variable: Ar
 a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .674.

همان‌گونه که در رابطه (۷) مشاهده می‌شود، علامت ضریب‌های متغیرهای اصطکاک و عمق بافت روسازی هر دو منفی است و اثر نزولی بر نرخ تصادف

نتیجه گیری

در این مقاله اثر با هم ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی بر میزان تصادف‌های آزادراهی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور چهار محور آزادراهی در سه ناحیه آب‌وهوایی متفاوت بررسی شد. برای ارزیابی تصادف‌ها از متغیر نرخ تصادف‌ها و از دو متغیر ضریب-اصطکاک روسازی و عمق بافت برای ارزیابی مقاومت لغزشی روسازی استفاده شد.

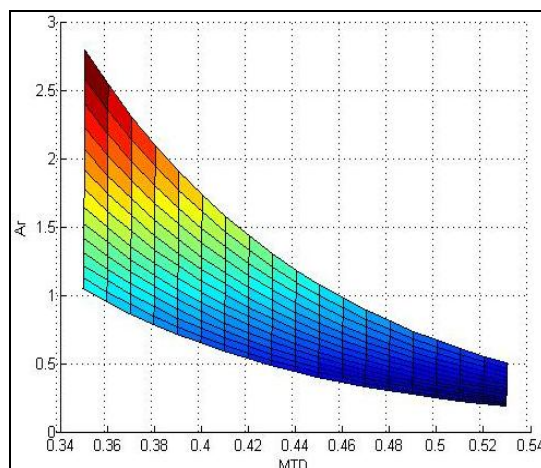
نتیجه‌ها نشان داد که ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت عامل‌های تأثیر گذار در میزان تغییرها در نرخ تصادف‌های آزادراهی است و افزایش ضریب اصطکاک روسازی و عمق بافت روسازی باعث کاهش میزان نرخ تصادف‌ها می‌شود. میزان اثرگذاری هر کدام از این متغیرها نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که اثر عمق بافت روسازی بر نرخ تصادف نسبت به ضریب اصطکاک روسازی بیشتر است.

براساس نتیجه‌های حاصل از تحلیل اثر مشترک ضریب اصطکاک و عمق بافت بر نرخ تصادف در آزادراه‌ها، بالاترین نرخ تصادف‌ها مربوط به قطعه‌های آزادراهی با ترکیب پایین‌ترین ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی، می‌باشد.

میزان کاهش نرخ تصادف در اثر افزایش یک درصدی عمق بافت روسازی کاهش ۹/۵۴ واحدی در میزان نرخ تصادف مشاهده می‌شود.

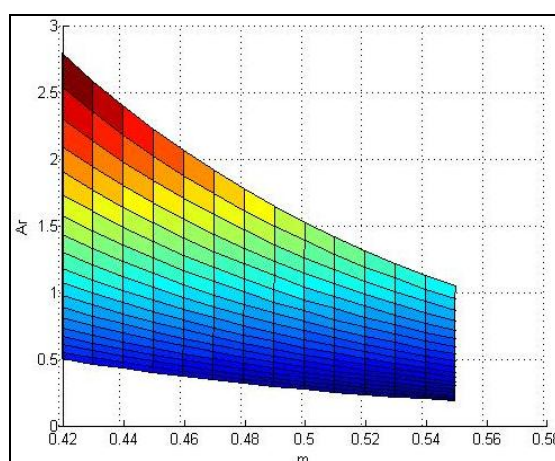
همچنین در اثر افزایش یک درصدی در ضریب اصطکاک، نرخ تصادف به میزان ۷/۵۴۵ واحد، کاهش می‌یابد.

در صورتی که بازه تغییرات ضریب اصطکاک یک راه از ۰٫۴ به ۰٫۵ و بازه تغییرات عمق بافت روسازی از ۴ به ۵ میلی متر در نظر گرفته شود، می‌توان انتظار کاهش نرخ تصادف‌های از ۲ به ۰٫۴ در هر میلیون وسیله نقلیه-کیلومتر را داشت.



شکل ۱۰ نمودار تغییرات نرخ تصادف با افزایش عمق بافت روسازی

همان گونه که در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی نرخ تصادف به صورت نمایی کاهش می‌یابد. همان‌طور که از ضریب‌های به دست آمده برای متغیرهای ضریب اصطکاک و عمق بافت روسازی در معادله (۷) انتظار می‌رود، کاهش نرخ تصادف در اثر افزایش عمق بافت روسازی نسبت به افزایش اصطکاک روسازی با شیب بیشتری همراه است.



شکل ۱۱ نمودار تغییرات نرخ تصادف با افزایش ضریب اصطکاک روسازی

تشکر و قدردانی

در فراهم کردن زمینه‌های لازم برای انجام این پژوهش تشکر و قدردانی کنند.

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های بی‌دریغ مسئولان محترم دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

مراجع

۱. سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای، "سالنامه آماری حمل و نقل جاده‌ای"، وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۸).
2. American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique", ASTM E 1859-97, (2002).
3. Galambus, V., "Pavement Texture and Available Skid Resistance", Federal Highway Administration, Washington D.C. (1977).
4. Jayawickrama, P.W., and Senadheera, S.P., "Survey of state practice to control skid resistance on hot mix asphalt concrete pavement", Transportation Research Records Report No. 1536, TRB, Washington D.C., (1996).
5. Rizenbergs, R., Burchheit, J.C., and Warren, L.A., "Relation of Accidents and Pavement Friction on Rural Two Lane Roads", Transportation Research Records Report 296, TRB, Washington D.C., (1977).
6. Wang, H.J., "An Assessment of the Skid Resistance and Macro-texture of Bituminous Road Surfacing", Transport Research Laboratory, (1992).
7. Henry, J.J., and Dahir, S.H., "Effects of Textures and the Aggregates that produce them on the Performance of Bituminous Surfaces", Transportation Research Record No. 712, TRB, Washington D.C., (1979).
8. Salt, G.F., "Research on Skid Resistance at the Transport and Road Research Laboratory (1927-1977)", TRRL Supplementary Report 340, (1977).
9. Wallman, C., and Astrom, H., "Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety", VTI meddelande 911A, Project Friction and Traffic Safety, (2001).
10. Kuttesch, J. S., "Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data", Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, (2004).
11. Al-Mansour, A., Al-Suhaibani, A., and Al-Syyari, S., "Pavement skid resistance analysis and evaluation of highway network in Saudi Arabia", *First Gulf Conference on Roads, Kuwait*, (2005).
12. Masad, E., "Relationship of Aggregate Texture to Asphalt Pavement Skid Resistance Using Image Analysis of Aggregate Shape," Transportation Research Board, Washington D.C., (2007).

۱۳. فخری، منصور و عموسلطان، ارشاد، "بررسی تأثیر نوع سنگدانه بر خصوصیات اصطکاکی و نفوذپذیری اندوهای سنگدانه‌ای"، پژوهش‌نامه حمل و نقل، شماره ۳، ص. ۱۷۱-۱۷۹، (۱۳۸۴).

۱۴. مجمع جهانی راه-پیارک، "راهنمای ایمنی راه‌ها"، انتشارات پژوهشکده حمل و نقل، معاونت آموزش، پژوهشات و فناوری، وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۴).

15. Huang, Y. H., "Pavement Analysis and Design", 2nd ed., University of Kentucky, (2004).