

مدل سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

امیررضا ممدوحی^۱نعمت سلطانی^۲

از صفحه ۷۵ تا ۹۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

زمینه و اهداف: تأثیر خرابی‌های روسازی راه‌ها بر ایمنی مسیر به اندازه تأثیر آن بر راحتی سرنشینان استفاده‌کننده از راه شناخته شده نیست. برخی از انواع خرابی‌ها مانند صیقلی شدن سطح دانه‌های روسازی، بر روی فاصله توقف وسایل نقلیه تأثیرگذار هستند. برخی دیگر از خرابی‌ها با ایجاد ناهمواری در سطح راه‌ها، بر رفتار رانندگان در هنگام رانندگی اثر می‌گذارند. در این مقاله، یک تحلیل ایمنی از رفتار انحراف مسیر رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی ارائه شده است. **روش:** رفتار رانندگان بر اساس پارامترهای هندسی خرابی‌ها، پارامترهای ترافیکی و مشخصات خیابان‌های مورد مطالعه، ارزیابی شد. رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی در دو حالت بدون انحراف از مسیر حرکت (بدون عکس‌العمل یا ترمزگیری و عبور از روی خرابی) و با انحراف از مسیر حرکت (انحراف از مسیر حرکت و عبور از کنار خرابی) دسته‌بندی و با استفاده از مدل لوجیت در نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. بدین منظور داده‌های مرتبط با متغیرهای محل خرابی، مساحت خرابی، طول و عرض خرابی، فاصله خرابی تا خط‌کشی، نوع خرابی، متوسط تردد ساعتی، سرعت متوسط وسایل نقلیه و تعداد خرابی در فاصله ۱۰۰ متری از خرابی مورد نظر در ارتباط با ۵۴۰ وسیله نقلیه عبوری از ۱۸ محل خرابی، در خیابان‌هایی با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ در شهر یزد به صورت میدانی با حضور در محل و بدون جلب توجه رانندگان جمع‌آوری شد.

۱. استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
(نویسنده مسئول) (armamdoohi@modares.ac.ir)

۲. دانشجوی دکتری راه و ترابری، پژوهشگاه حمل‌ونقل طراحان پارسه، تهران، ایران، soltani.nemat@gmail.com

مدل‌سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از مدل نهایی، کاهش فاصله مرکز خرابی از خط‌کشی و کاهش متوسط تردد ساعتی وسایل نقلیه باعث افزایش احتمال انحراف وسیله نقلیه از مسیر حرکت در زمان مواجهه رانندگان با خرابی می‌شود.

پیشنهادها: بر اساس نتایج حاصل از تحقیق پیشنهاد می‌شود که خرابی‌ها در خیابان‌های با حجم تردد کمتر و نزدیک‌تر به خط‌کشی خیابان، در اولویت ترمیم قرار گیرند. از آنجاکه پارامترهای مؤثر در روش‌های مدیریت روسازی عموماً بر بهینه‌کردن هزینه‌های ترمیم روسازی تمرکز دارند، لازم است، به‌منظور افزایش ایمنی راه‌ها، معیارهایی از خرابی‌هایی که موجب ناهمواری در سطح روسازی می‌شوند، در سیستم‌های مدیریت روسازی در نظر گرفته شوند.

کلیدواژه‌ها

ایمنی راه، خرابی روسازی، رفتار رانندگان.

مقدمه

در ایران در سال ۱۳۹۳، ۴ هزار ۵۸۴ نفر بر اثر تصادف درون‌شهری فوت شده‌اند (سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، ۱۳۹۳: ۲۵). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با ایمنی در حمل‌ونقل صورت گرفته است (دوبلین و همکاران^۱، ۲۰۱۳: ۲۷۴-۲۹۱؛ آناستاسپولوس و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۶۲۸-۶۳۳). با وجود تحقیقات گسترده و شناسایی تأثیر خرابی‌های سطح روسازی بر راحتی سرنشینان استفاده‌کننده از راه، تحقیقات کمتری در ارتباط با تأثیر آن‌ها بر ایمنی راه صورت گرفته است. علاوه‌براین، ملاک‌های اقتصادی همواره به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در سیستم‌های مدیریت روسازی^۳ در نظر گرفته شده است و نقش انواع گوناگون خرابی‌های روسازی‌ها بر ایمنی مسیر به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در سیستم‌های مدیریت روسازی نادیده گرفته شده است. بنابراین لازم است تا با شناخت بیشتر ارتباط بین خرابی‌های روسازی و ایمنی مسیر، علاوه بر افزایش ایمنی، درباره اصلاح سیستم‌های مدیریت روسازی اقدام شود (بلا و همکاران^۴، ۲۰۱۲: ۹۵۱).

1. Doublein, et al.
2. Anastasopoulos, et al.
3. PMS: Pavement Management System
4. Bella, et al.

برخی از خرابی‌ها با کاهش اصطکاک بین لاستیک و سطح روسازی بر ایمنی مسیر مؤثر هستند (مایورا و پینا، ۲۰۰۹: ۸۱-۸۶؛ لیندمن^۲، ۲۰۰۶: ۳۹۵-۴۰۰). برخی دیگر از این خرابی‌ها، مانند چاله‌ها یا ناهمواری‌های ایجادشده در سطح روسازی در محل دریچه‌های منهول، با ایجاد ناهمواری در سطح روسازی موجب کاهش ایمنی مسیر می‌شود؛ این نوع خرابی‌ها در سطح روسازی راه‌های کشورهای در حال توسعه بیشتر مشاهده می‌شود. چاله‌ها هنگامی به وجود می‌آیند که تکه‌های کوچکی از سطح روسازی در اثر ساییده شدن به وسیله جریان ترافیک از آن جدا می‌شوند. در این صورت، روسازی به خاطر کیفیت ضعیف مخلوط رویه، نقاط ضعیف در لایه اساس یا بستر، یا به خاطر آن‌که ترک خوردگی پوست سوسماری با شدت زیاد حاصل شده است، همواره در معرض فروپاشی قرار خواهد گرفت. روند رشد چاله‌ها بر اثر جمع شدن رطوبت آزاد تسریع می‌شود (شاهین^۳، ۲۰۰۵: ۳۷۸).

دریچه‌های منهول، اندازه و شکل متفاوتی دارند و در بسیاری از موارد، این دریچه‌ها به درستی نصب نشده‌اند و اختلاف سطح قابل توجهی مابین سطح دریچه منهول و سطح روسازی وجود دارد. همچنین نگهداری از این دریچه‌ها به درستی انجام نمی‌شود؛ بنابراین این دریچه‌ها در خیابان‌های شهری به نقاطی تبدیل شده‌اند که می‌توانند بر ایمنی مسیر تأثیرگذار باشند. رانندگان در زمان مواجهه با این نوع خرابی‌ها، بسته به مشخصات هندسی خرابی و عوامل محیطی و ترافیکی، نیازمند تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی عبور از خرابی می‌باشند. این تصمیم می‌تواند طیف وسیعی از پاسخ‌ها، مانند عبور از خرابی بدون عکس العمل، ترمز کردن و سپس عبور از خرابی و یا انحراف از مسیر حرکت و عبور از کنار خرابی را دربرگیرد. تصمیم اشتباه رانندگان می‌تواند به تصادف منجر شود؛ از این رو درک میزان حساسیت رانندگان در انحراف از مسیر حرکت، یا عدم انحراف از مسیر حرکت، در زمان مواجهه با خرابی می‌تواند در ایمنی مسیر و برنامه‌ریزی در خصوص مدیریت نگهداری روسازی راه‌ها بسیار مفید باشد (چانگ^۴، ۲۰۱۴: ۷۲۰).

1. Mayora and Pifa
2. Lindenmann
3. Shahin
4. Chang

مدل سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

هدف از این تحقیق، ارائه یک تحلیل ایمنی از رفتار انحراف مسیر رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی است. در بخش بعدی مقاله به مرور تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی تأثیر خرابی‌های سطح روسازی بر ایمنی مسیر پرداخته شده است. سپس نحوه گردآوری داده‌ها و روش تحقیق معرفی و نتایج مدل و تفسیر آن ارائه شده است. بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها می‌پردازد.

پیشینه تحقیق

تأثیر خرابی‌های روسازی بر ایمنی مسیر به اندازه تأثیر آن‌ها بر راحتی سرنشینان استفاده‌کننده از راه شناخته شده نیست (بلا و همکاران^۱، ۲۰۱۲: ۹۴۴). لی و همکارانش^۲ (۲۰۱۳) به بررسی ارتباط بین شرایط روسازی و شدت تصادفات پرداختند. مطالعات آنان بر پایه اطلاعات تصادفات و شرایط روسازی راه‌ها در ایالت تگزاس آمریکا بین سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ میلادی صورت گرفت. آن‌ها در تحقیق خود، روسازی‌ها را بر اساس شرایط گوناگون دسته‌بندی کردند. بر اساس میزان خرابی، روسازی راه به چهار دسته خیلی ضعیف، ضعیف، مناسب و خیلی خوب دسته‌بندی شد. بر اساس نتایج تحقیق آن‌ها، شدت تصادفات در راه‌های با روسازی ضعیف و خیلی خوب از همه بیشتر می‌باشد. آن‌ها در تحلیل نتایج خود، افزایش شدت تصادفات در راه‌های با روسازی‌های ضعیف را ناشی از مانورهای ناگهانی وسایل نقلیه برای پرهیز از عبور از روی خرابی عنوان کردند. همچنین به دلیل آن‌که در راه‌های با شرایط روسازی خیلی خوب، رانندگان تمایل دارند تا با سرعت بیشتری حرکت کنند، شدت تصادفات در این‌گونه روسازی‌ها افزایش یافته است (لی و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۰۶). با توجه به گستردگی انواع خرابی‌های روسازی، تأثیر آن‌ها بر ایمنی مسیر یکسان نیست. صیقلی شدن سطح دانه‌های روسازی، یکی از انواع خرابی‌های روسازی است که به کاهش اصطکاک سطح روسازی و کاهش ایمنی مسیر منجر می‌شود. بلا و همکارانش^۳ تأثیر کاهش اصطکاک را بر ایمنی موتورسواران در قوس‌ها بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار

1. Bella, et al.

2. Li, et al.

3. Bella, et al.

بایکسیم^۱ تعادل یا عدم تعادل موتورسواران را در عبور از قوس بر اساس پارامترهای شعاع قوس، میزان نیروی ترمز موتورسیکلت در ابتدای قوس، سرعت موتورسیکلت و میزان صیقلی شدن سطح دانه‌ها (ضریب اصطکاک بین لاستیک و سطح جاده) بررسی کردند (بلا و همکاران ۲۰۱۲: ۹۵۱).

بر اساس تحقیقات بادهاواراپو^۲ بر روی راه‌های آمریکا، تصادفاتی که در قوس‌های افقی با روسازی دارای ضریب اصطکاک کمتر رخ می‌دهند، شدت بالاتری دارند. همچنین آن‌ها بر اساس تحقیقات خود پیشنهاد دادند که معیاری از ضریب اصطکاک جانبی در سیستم مدیریت روسازی خصوصاً در قوس‌ها در نظر گرفته شود (بادهاواراپو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷).

بلا و همکارانش به بررسی میزان تأثیر چاله‌های موجود در سطح روسازی بر ایمنی موتورسیکلت‌سواران پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود مشخصاتی همچون ابعاد چاله‌ها، محل چاله‌ها در روسازی، شرایط آب‌وهوایی، سرعت وسیله نقلیه و چگالی چاله‌ها در مسیر مورد مطالعه را در نظر گرفتند و در نهایت، مدل‌های پیش‌بینی و برخی نمودارها را برای ارزیابی میزان خطر موتورسیکلت‌سواران در عبور از خرابی بر اساس پارامترهای بررسی شده به دست آوردند (بلا و همکاران، ۲۰۱۱: ۹).

استفاده از مدل‌های آماری در تحقیقات مرتبط با حمل‌ونقل کاربرد فراوانی دارد (آناستاسپولوس و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۱۰-۱۱۹؛ کافیسو و همکاران^۳، ۲۰۱۰: ۱۰۷۲-۱۰۷۹، کوکلمن و کوون^۴، ۲۰۰۲: ۳۱۳-۳۲۱). مدل‌های لجیت^۵ و رده‌بندی درختی^۶ در بررسی و شناخت متغیرهای گسسته همچون شدت تصادفات و رفتار رانندگان کاربرد دارند

1. Bikesim
2. Buddhavarapu
3. Cafiso, et al.
4. Kockelman and Kweon
5. Logit
6. CART: Classification And Regression Tree

مدل سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

(المیتینی و همکاران^۱، ۲۰۱۰: ۱۰۱-۱۱۱؛ پاپایوانو^۲، ۲۰۰۷: ۱۴۷-۱۵۸، کول و همکاران^۳، ۲۰۰۴: ۲۷۳-۲۸۰). چانگ^۴ با استفاده از مدل رده‌بندی درختی، اثر دریاچه‌های منهول را بر رفتار موتورسیکلت‌سواران مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، رفتار رانندگان در سه گروه دسته‌بندی شد: ۱- رانندگانی که بدون هیچ عکس‌العملی از روی دریاچه منهول عبور می‌کنند، ۲- رانندگانی که در مواجهه با دریاچه منهول ابتدا با ترمز کردن، سرعت خود را کاهش می‌دهند و سپس از روی آن عبور می‌کنند و ۳- رانندگانی که با انحراف از مسیر خود از کنار دریاچه عبور می‌کنند. بر اساس این تحقیق، میزان اختلاف ارتفاع مابین سطح دریاچه منهول و سطح آسفالت راه، شرایط سطح دریاچه منهول و همچنین اندازه دریاچه بر رفتار رانندگان تأثیرگذار هستند (چانگ، ۲۰۱۴: ۲۱۱). وو و همکارانش^۵ شدت تصادفات را در راه‌های دوخطه برون‌شهری آمریکا در تصادفات شامل یک وسیله نقلیه و چند وسیله نقلیه با استفاده از مدل لوجیت بررسی کردند. آن‌ها در تحقیقات خود عواملی چون رفتار راننده، شرایط آب‌وهوایی، شرایط محیطی و مشخصات هندسی و ترافیکی مسیر را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس این تحقیق، سبقت‌گرفتن رانندگان در افزایش شدت تصادفات شامل یک وسیله نقلیه مؤثر است (وو و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۴).

چنگ و همکارانش^۶ با استفاده از شبکه عصبی و مدل لوجیت، عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری رانندگان در ارتباط با تغییر خط را بررسی و در نهایت، مدل پیش‌بینی تصمیم‌گیری رانندگان در ارتباط با تغییر خط را ارائه کردند (چنگ و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۳). در این تحقیق با توجه به گسسته بودن متغیر رفتار راننده، از مدل لوجیت برای ارائه یک تحلیل ایمنی از رفتار انحراف مسیر رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی استفاده شده است.

7. Elmitiny, et al.

1. Papaioannou

2. Köll, et al.

3. Chang

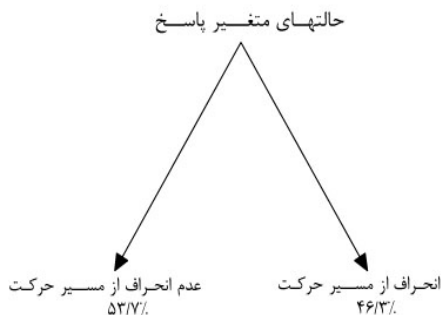
4. Wu, et al.

5. Zheng, et al.

روش تحقیق

به منظور بررسی واکنش رانندگان در مواجهه با خرابی‌ها، در سطح روسازی در خیابان‌های با درجه عملکردی شریانی درجه ۲، ۱۸ محل خرابی با مشخصات هندسی متفاوت که همگی اختلاف ارتفاع بیش از ۷۵ میلی‌متر مابین سطح روسازی مسیر و سطح خرابی داشتند، در ۶ خیابان شهر یزد در نظر گرفته شدند. اطلاعات مرتبط با مشخصات هندسی خرابی، مشخصات خیابان‌ها و داده‌های ترافیکی در ساعات ۹ تا ۱۴:۳۰، طی ۱۵ روز کاری در سال ۱۳۹۲ جمع‌آوری شد.

متغیرهای موردنیاز برای بررسی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی‌های سطح روسازی، بر اساس مرور ادبیات و همچنین عقل سلیم جمع‌آوری شد. پس از تهیه بانک اطلاعاتی موردنیاز، متغیرهایی به شکل‌های گوناگون از جمله ترکیبی و مجازی^۱ با استفاده از متغیرهای اولیه ساخته شد. در جدول ۱، متغیرهای اولیه و برخی از متغیرهای ترکیبی و مجازی ایجادشده ارائه شده است. اطلاعات مرتبط با رفتار رانندگان با حضور در محل و مشاهده چشمی و بدون جلب توجه رانندگان جمع‌آوری شده است. در این تحقیق، رفتار رانندگان در ۲ گروه دسته‌بندی شده است: ۱- رانندگانی که بدون انحراف از مسیر حرکت از روی خرابی عبور می‌کنند و ۲- رانندگانی که در مواجهه با خرابی با انحراف از مسیر خود از کنار خرابی عبور می‌کنند (شکل ۱). لازم به ذکر است در این تحقیق، اطلاعات مرتبط با وسایل نقلیه‌ای که در مسیری مستقیم بر روی خرابی در حرکت بوده‌اند، جمع‌آوری شده است.



شکل ۱. دو حالت متغیر پاسخ

خط عبوری که خرابی در آن واقع شده است، به‌منزله محل خرابی در نظر گرفته شده است. براین اساس، خط عبوری تندرو کد ۱، خط عبوری میانی کد ۳، خط عبوری کندرو کد ۵، و چنانچه خرابی بر روی خط‌کشی مابین خطوط تندرو و میانی و یا خط‌کشی مابین خطوط میانی و کندرو قرار گرفته باشد، به ترتیب با کد ۲ و ۴ نشان داده شده است. همچنین تعداد خرابی مشاهده‌شده در فاصله ۱۰۰ متری قبل از خرابی موردنظر به‌منزله تعداد خرابی در فاصله ۱۰۰ متری در نظر گرفته شده است.

سرعت وسایل نقلیه با در نظر گرفتن مدت‌زمان عبور وسیله نقلیه از مسافتی معین و محاسبه سرعت متوسط آن به دست آمده است. لازم به ذکر است که طول مشخصی از مسیر که برای محاسبه سرعت متوسط وسایل نقلیه استفاده شده، به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده است که خرابی بر حرکت وسایل نقلیه در طی آن طول مشخص، تأثیری نداشته باشد. حجم تردد وسایل نقلیه با شمارش وسایل نقلیه عبوری از محل در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای به دست آمده است.

جدول ۱. تعریف و کدبندی متغیرهای کمی و کیفی مرتبط با داده‌های جمع‌آوری‌شده

متغیرها	نشانه	کدگذاری
رفتار راننده (متغیر وابسته)	Behavior	منحرف‌نشدن از مسیر حرکت - ۰ انحراف از مسیر حرکت - ۱
محل خرابی	Location	خط عبوری ۱-۱ خط عبوری ۲ و ۱-۲ خط عبوری ۳-۲ خط عبوری ۳ و ۲-۴ خط عبوری ۳-۵
مساحت خرابی	Area	متغیر پیوسته بدون کد
طول خرابی	Length	متغیر پیوسته بدون کد
عرض خرابی	Width	متغیر پیوسته بدون کد

متغیر پیوسته بدون کد	Distance	فاصله خرابی تا خط کشی
فرورفتگی-۰ بیرون زدگی-۱	TOD	نوع خرابی
متغیر پیوسته بدون کد	AHT	متوسط تردد ساعتی
متغیر پیوسته بدون کد	V	سرعت متوسط وسیله نقلیه
متغیر پیوسته بدون کد	۱۰۰.t.kh	تعداد خرابی در فاصله ۱۰۰ متری از خرابی مورد نظر
سرعت وسیله نقلیه > ۴۰ کیلومتر بر ساعت - ۰ سرعت وسیله نقلیه ≤ ۴۰ کیلومتر بر ساعت - ۱	V _d	سرعت وسیله نقلیه (متغیر مجازی)
خط عبوری ۱ یا ۱ و ۲-۱ خط عبوری ۲ یا ۳ یا ۲ و ۳-۰	Location _d	محل خرابی (متغیر مجازی)
عرض خرابی > ۷۰ سانتی متر - ۰ عرض خرابی ≤ ۷۰ سانتی متر - ۱	Width _d	عرض خرابی (متغیر مجازی)
متغیر پیوسته بدون کد	Area*Width	عرض خرابی*مساحت خرابی
متغیر پیوسته بدون کد	LN(Area	لگاریتم طبیعی مساحت خرابی

در جدول ۲، فراوانی مطلق و نسبی وقوع هریک از حالات متغیر پاسخ و در جدول ۳، آمار توصیفی متغیرهای موجود در مدل نشان داده شده است.

جدول ۲. فراوانی مطلق و نسبی وقوع هریک از حالات متغیر پاسخ

حالات متغیر پاسخ	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (درصد)
منحرف نشدن از مسیر حرکت	۲۹۰	۵۳/۷
انحراف از مسیر حرکت	۲۵۰	۴۶/۳
جمع کل	۵۴۰	۱۰۰

مدل سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

جدول ۳. نتایج تحلیل آمار توصیفی متغیرهای مورد استفاده در فرایند مدل سازی

تعداد خرابی در فاصله ۱۰۰ متری	سرعت متوسط	متوسط تردد ساعتی	نوع خرابی	فاصله تا خط کشی	عرض خرابی	طول خرابی	مساحت خرابی	محل خرابی (خط عبوری)	رفتار راننده	
۱/۲۸	۴۷/۵۱	۵۲۲/۶۷	۱/۶۱	۱۴۹/۷۱	۱۰۲/۲۲	۱۱۱/۹۴		۳	۰/۴۶	میانگین
۱	۴۶	۵۵۸	۲	۱۸۰	۷۰	۹۵	۵۰۱۲	۳	۰	میانه
۱	۴۵	۱۱۲	۲	۱۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۸۵۰	۳	۰	مد
۱/۰۴	۱۱/۰۸	۲۰۵/۵۷	۰/۴۹	۷۸/۸۴	۹۰/۴۸	۷۹/۴۳		۰/۹۴	۰/۴۹	انحراف معیار
۰	۲۷	۱۱۲	۱	۰	۳۰	۲۵	۷۵۰	۱	۰	مینیمم
۳	۷۹	۸۹۴	۲	۳۰۵	۳۶۰	۳۱۰	۹۳۶۰۰	۵	۱	ماکسیمم

برای جمع آوری داده میدانی و تحلیل مدل آماری استنباطی از مدل انتخاب گسسته لوجیت و از نرم افزار اسپاس اس اس استفاده شد. مدل های لوجیت برای حالاتی مناسب هستند که هدف از آنها، پیش بینی وقوع یا عدم وقوع یک متغیر بر حسب یک سری متغیر مربوط به آن باشد. این مدل، شبیه مدل های رگرسیون خطی بوده، ولی برای مواردی مناسب است که متغیرهای وابسته به صورت گسسته هستند (اورتوزار و ویلوسن، ۲۰۱۱: ۲۲۷).

در این بررسی، دو حالت رفتار رانندگان، منحرف نشدن از مسیر حرکت و انحراف از مسیر حرکت به کار برده شده است.

لذا مجموعه گزینه ها عبارت است از:

$$C = \{ (WOD) \text{ منحرف نشدن از مسیر حرکت}, (WD) \text{ انحراف از مسیر حرکت} \} \quad (1)$$

بنابراین تابع احتمالی لوجیت به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{WOD} = \frac{e^{V_{WOD}}}{e^{V_{WOD}} + e^{V_{WD}}} \quad (2)$$

$$P_{WD} = \frac{e^{V_{WD}}}{e^{V_{WOD}} + e^{V_{WD}}} \quad \text{و} \quad (۳)$$

رابطه (۲) را می توان به صورت زیر بازسازی کرد:

$$P_{WOD} = \frac{1}{1 + e^{V_{WD} - V_{WOD}}} \quad (۴)$$

و

$$P_{WD} = 1 - P_{WOD} \quad (۵)$$

که در آن:

P_{WOD} : احتمال آن که راننده از مسیر حرکت خود منحرف نشود.

P_{WD} : احتمال آن که راننده از مسیر حرکت خود منحرف شود.

لازم به ذکر است، در مدل سازی با نرم افزار اسپاس اس، تفاضل بین ضرایب در توابع مطلوب، مثلاً در این بررسی مقدار ضرایب $V_{WD} - V_{WOD} = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n$ برای تابع احتمال آن که راننده از مسیر حرکت خود منحرف نشود، به دست می آید؛ یعنی در تابع مذکور با فرم $P_{WOD} = \frac{1}{1 + e^{V_{WD} - V_{WOD}}}$ مقادیر منفی ضرایب به دست آمده در مدل، با توجه به اسمی بودن متغیرهای مستقل (داشتن مقادیر ۰ تا ۱)، در صورت یک بودن متغیر مورد نظر، زیاد شدن احتمال آن که راننده از مسیر خود منحرف نشود و در مورد ضرایب مثبت، زیاد شدن این احتمال را که راننده از مسیر خود منحرف شود، ارائه می کند.

رابطه (۶) از معیارهای سنجش مدل ضریب نیکویی برازش است که نشان دهنده بهبود مدل نسبت به مدل اولیه (با تنها مقدار ثابت) می باشد. ضریب نیکویی برازش عددی مابین ۰ و ۱ است و هر چه به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده برازش بهتر مدل می باشد.

$$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} \quad (۶)$$

در رابطه (۶)، $LL(\beta)$ مقدار لگاریتم درست نمایی تابع مطلوبیت پرداخت شده و $LL(C)$ مقدار

لگاریتم درست‌نمایی تابع مطلوبیت تنها با ضریب ثابت است.

یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج تحلیل همبستگی پیرسون، متغیرهای با همبستگی بالا (بیش از ۰/۷) شناسایی و بررسی شدند. همچنین با توجه به همین جدول، همبستگی معنی‌دار بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ بررسی شد. رابطه هر متغیر مستقل با متغیر وابسته به صورت مجزا و مستقل از سایر عوامل نیز بررسی شد و نقش هر عامل به‌تنهایی نشان داده شد. از آنجاکه در مدل‌های نهایی، اثر توأمان عوامل باهم مشاهده می‌شود؛ لذا امکان دارد یک متغیر به‌تنهایی معنی‌دار بوده، ولی در مدل نهایی معنی‌دار نباشد یا بالعکس. از دلایل این امر، وجود پدیده هم‌خطی و یا امکان معنی‌دار شدن متغیر در اثر توأمان آن با متغیرهای دیگر در مدل می‌باشد. نتایج این تحلیل در جدول ۴ ارائه شده است. فرایند مدل‌سازی شامل ساخت و پرداخت بیش از ۵۰۰ مدل گوناگون با متغیرهای مستقل (جدول ۱) بوده و مدل نهایی بر اساس ضوابط ارزیابی مدل شامل علامت منطقی متغیر، آماره t (معنی‌داری متغیرها $\geq \text{sig } 0/05$)، $LL(\beta)$ ، و درصد صحیح برآورد، انتخاب شد. برآورد ضرایب به‌دست‌آمده مربوط به تابع احتمال رفتار راننده در زمانی که از مسیر حرکت خود منحرف نشود، به دست آمد؛ بنابراین متغیرهای با ضرایب منفی باعث افزایش احتمال منحرف‌نشدن راننده از مسیر حرکت خود می‌شوند و متغیرهای با ضرایب مثبت باعث افزایش احتمال انحراف راننده از مسیر حرکت می‌شوند. نتایج مدل نهایی در جداول ۵، ۶ و ۷ ارائه شده‌اند.

جدول ۴. مقادیر $LL(\beta)$ برای متغیرهای مستقل به‌تنهایی (مدل‌های تک‌متغیره)

متغیرهای مستقل	$LL(\beta)$
Area	-۳۵۵/۶۷۶
TOD	-۳۷۰/۱۳۶
AHT	-۳۵۷/۴۵۳
V	-۳۵۶/۰۳۸

-۳۶۲/۱۴۱	۱۰۰.t.kh
-۳۶۶/۶۶۳	Location
-۳۵۹/۱۵	Length
-۳۵۸/۷۲۶	width
-۳۵۱/۳۶۹	Distance

جدول ۵. متغیرها به همراه ضرایب به دست آمده از مدل رفتار رانندگان

P-Value	Coefficient	متغیر مستقل
۰/۰۴۱	۱/۸۲۶	Constant
۰/۰۲	-۰/۵۹۲	LN(AHT)
۰/۰۴۶	-۰/۰۰۳	Distance

جدول ۶. نتایج برازش مدل رفتار رانندگان

تعداد مشاهدات	n = ۵۴۰
مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازای صفر	$-۳۷۵/۶۴۹ = (۰)LL$
مقدار تابع لگاریتم احتمال در همگرایی	$-۳۲۵/۶۸۸ = (LL)\beta$
مقدار تابع لگاریتم احتمال به ازای جملات ثابت	$-۳۶۱/۴۷۳ = (LL)C$
ضریب نیکویی برازش	$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} = ۰.۱۳۳$
ضریب نیکویی برازش	$\rho_c^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(C)} = ۰.۰۹۹$

مدل سازی رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی

جدول ۷. فراوانی مطلق مشاهده و پیش بینی شده برای مدل رفتار رانندگان

پیش بینی	مشاهدات	منحرف نشدن از مسیر ۰	انحراف از مسیر ۱	جمع فراوانی مطلق پیش بینی شده
منحرف نشدن از مسیر ۰	۲۳۱	۱۲۳	۳۵۴	
انحراف از مسیر ۱	۵۹	۱۲۷	۱۸۶	
جمع فراوانی مطلق مشاهده شده	۲۹۰	۲۵۰	۵۴۰	

متوسط تردد ساعتی

در خیابان‌هایی با حجم تردد بیشتر وسایل نقلیه، رانندگان در مواجهه با ناهمواری‌های سطح راه به احتمال زیاد، مسیر خود را منحرف نمی‌کنند. از دلایل این امر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

با افزایش حجم تردد وسایل نقلیه، فاصله دید کاهش و تراکم وسایل نقلیه، افزایش می‌یابد؛ بنابراین رانندگان توانایی کمتری برای انحراف از مسیر خود در مواجهه با ناهمواری‌های سطح راه دارند.

با افزایش حجم تردد، سرعت وسایل نقلیه کاهش می‌یابد و امکان عبور راحت با سرعت موجود در مواجهه با ناهمواری بر روی خرابی فراهم می‌شود.

فاصله مرکز خرابی از خط‌کشی

با افزایش فاصله مرکز خرابی از خط‌کشی، رانندگان در مواجهه با خرابی به احتمال زیاد از مسیر خود منحرف نمی‌شوند؛ دلیل این امر آن است که با افزایش فاصله از خط‌کشی، خرابی در میانه خط عبوری قرار می‌گیرد و در راستای مسیر عبور چرخ‌ها نمی‌باشد.

تحقیق مشابهی در کشور تایوان به منظور بررسی رفتار موتورسواران در زمان مواجهه با ناهمواری‌ها در سطح روسازی به دلیل وجود دریچه‌های منهول صورت گرفت. به ترتیب،

میزان اختلاف ارتفاع مابین سطوح دریچه منهول و روسازی، حجم موتورسیکلت و میزان تردد موتورسیکلت در بازه زمانی ۵ دقیقه، دارای بیشترین تأثیر بر روی رفتار رانندگان تشخیص داده شد. براین اساس، زمانی که حجم تردد موتورسیکلت افزایش یابد، رانندگان به احتمال زیاد، بدون هیچ عکس‌العملی از روی خرابی عبور می‌کنند. در تحقیق ذکر شده، موقعیت قرارگیری خرابی در مسیر، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته نشده است (چانگ، ۲۰۱۴).

نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیق

تأثیر شرایط روسازی بر ایمنی مسیر به‌اندازه تأثیر آن بر راحتی سرنشینان استفاده‌کننده از راه، شناخته شده نیست. فراوانی خرابی‌هایی که موجب ایجاد ناهمواری در سطح روسازی می‌شوند، در کشورهای در حال توسعه بیشتر است. رانندگان در مواجهه با خرابی بر اساس عوامل گوناگون، واکنش‌های متفاوتی از جمله عبور از خرابی، ترمز ناگهانی، انحراف وسیله نقلیه از مسیر حرکت یا ترکیبی از آن‌ها را نشان می‌دهند. در این تحقیق، رفتار رانندگان در مواجهه با خرابی در دو حالت، انحراف از مسیر حرکت و منحرف نشدن از مسیر حرکت دسته‌بندی شد. با توجه به گسسته بودن متغیر پاسخ (رفتار رانندگان) از تابع لوجیت برای مدل‌سازی استفاده شد. به‌منظور دستیابی به مدل نهایی بیش از ۵۰۰ مدل با استفاده از متغیرهای مستقل ذکر شده ساخته شد؛ مدل نهایی بر اساس ضوابط ارزیابی مدل شامل علامت منطقی متغیر، آماره t (معنی‌داری متغیرها $\geq \text{sig } 0/05$)، $LL(\beta)$ و درصد صحیح برآورد به دست آمد.

به‌منظور تحلیل ایمنی رفتار انحراف مسیر رانندگان در مواجهه با خرابی روسازی، داده‌های مرتبط با ۵۴۰ وسیله نقلیه عبوری از ۱۸ محل خرابی در خیابان‌هایی با درجه عملکردی شریانی درجه ۲، در شهر یزد در طی ۱۵ روز کاری در سال ۱۳۹۲ جمع‌آوری شد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق:

- ۱- افزایش حجم تردد عبوری وسایل نقلیه موجب کاهش احتمال انحراف وسیله نقلیه از مسیر حرکت در زمان مواجهه رانندگان با خرابی می‌شود؛
- ۲- با افزایش فاصله مرکز خرابی از خط‌کشی، احتمال انحراف وسیله نقلیه از مسیر حرکت در زمان مواجهه رانندگان با خرابی کاهش می‌یابد.

بنابراین لازم است، خرابی‌ها در خیابان‌های با حجم تردد کمتر و نزدیک‌تر به خط‌کشی خیابان، در اولویت ترمیم قرار گیرند. پارامترهای مؤثر در روش‌های مدیریت روسازی عموماً بر بهینه‌کردن هزینه‌های ترمیم روسازی تمرکز دارند. در طی مرور مطالعات گذشته در خصوص تأثیر این نوع خرابی‌ها بر ایمنی مسیر و همچنین بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، پیشنهاد می‌شود تا معیارهایی از خرابی‌هایی که موجب ناهمواری در سطح روسازی می‌گردند، در سیستم‌های مدیریت روسازی در نظر گرفته شوند.

با توجه به آن‌که در این تحقیق، خرابی‌های موجود در خیابان‌های با درجه عملکردی شریانی درجه ۲ مورد بررسی قرار گرفت، برای مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود که تأثیر این نوع خرابی‌ها بر رفتار رانندگان در سایر معابر شهری با درجه عملکردی متفاوت (شریانی درجه ۱ و محلی) مورد بررسی قرار گیرد. در این تحقیق، تأثیر خرابی بر رفتار رانندگان بررسی شد، اگرچه تغییر ناگهانی رفتار رانندگان (انحراف از مسیر حرکت) احتمال وقوع تصادف را افزایش می‌دهد؛ ولی لزوماً به یک تصادف منجر نمی‌شود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که ارتباط بین این نوع خرابی‌ها و تعداد و شدت تصادفات در معابر شهری بررسی شود.

منابع

سازمان راه‌داری و حمل‌ونقل جاده‌ای. (۱۳۹۳). سالنامه آماری سازمان راه‌داری و حمل‌ونقل جاده‌ای وزارت راه و شهرسازی.

Anastasopoulos, P.C., Mannering, F.L., Shankar, V.N., and Haddock, J. E. (2012). A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 628-633.

Anastasopoulos, P.C., Shankar, V.N., Haddock, J.E., and Mannering, F.L. (2012). A multivariate tobit analysis of highway accident-injury-severity rates. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 110-119.

Bella, F., Calvi, A., and D'Amico, F. (2012). Impact of Pavement Defects on Motorcycles' Road Safety. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 943-952.

- Bella, F., D'Amico, F., and Ferranti, L. (2011). Analysis of the effects of pavement defects on safety of powered two wheelers. In Proceedings of 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements (Thessaloniki, Greece).
- Buddhavarapu, P., Banerjee, A., and Prozzi, J.A. (2013). Influence of pavement condition on horizontal curve safety. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 9-18.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., and Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42, 1072-1079.
- Chang, L.-Y. (2014). Analysis of effects of manhole covers on motorcycle driver maneuvers: A nonparametric classification tree approach. *Traffic Injury Prevention*, 15, 206-212.
- De Dios Ortuzar, J., and Willumsen, L.G. (2011). *Modelling transport* (John Wiley & Sons).
- Deublein, M., Schubert, M., Adey, B.T., Köhler, J., and Faber, M. H. (2013). Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approach. *Accident Analysis & Prevention*, 51, 274-291.
- Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., and Nashar, D. (2010). Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation. *Accident Analysis & Prevention*, 42, 101-111.
- Kockelman, K.M., and Kweon, Y.-J. (2002). Driver injury severity: an application of ordered probit models. *Accident Analysis & Prevention*, 34, 313-321.
- Köll, H., Bader, M., and Axhausen, K.W. (2004). Driver behaviour during flashing green before amber: a comparative study. *Accident Analysis & Prevention*, 36, 273-280.
- Li, Y., Liu, C., and Ding, L. (2013). Impact of pavement conditions on crash severity. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 399-406.
- Lindenmann, H. (2006). New findings regarding the significance of pavement

- skid resistance for road safety on Swiss freeways. *Journal of safety research*, 37, 395-400.
- Mayora, J.M.P., and Piña, R.J. (2009). An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 41, 881-886.
- Papaioannou, P. (2007). Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece. *Accident Analysis & Prevention*, 39, 147-158.
- Shahin, M.Y. (2005). *Pavement management for airports, roads, and parking lots*. Vol 501 (Springer New York).
- Wu, Q., Chen, F., Zhang, G., Liu, X.C., Wang, H., and Bogus, S.M. (2014). Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single-and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 105-115.
- Zheng, J., Suzuki, K., and Fujita, M. (2014). Predicting driver's lane-changing decisions using a neural network model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 42, 73-83.