

تحلیل و ارزیابی عوامل موثر بر تصادفات کاربران آسیب پذیر در معابر شهری با استفاده از استخراج قواعد انجمنی

مقاله علمی - پژوهشی

نوید ندیمی*، دانشیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
سید صابر ناصرعلوی، استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
وحید خلیفه، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
مهدی امینیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: navidnadimi@uk.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷ - پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۸۲-۶۵

چکیده

تصادفات شدید ترافیکی در راه‌های درون‌شهری عمدتاً به کاربران آسیب‌پذیر نظیر عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسیکلت‌سواران مربوط می‌شود. به دلیل نبود محافظت‌های مشابه خودروها برای این کاربران، تصادفات آن‌ها غالباً با شدت بالا همراه است. با توجه به تأکید جهانی بر حمل‌ونقل پایدار (مانند پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری)، توجه به ایمنی این گروه از کاربران، به‌ویژه در شهرهای بزرگ، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای ارتقای ایمنی این گروه، نیاز است با تحلیل تصادفات پیشین، الگوهای رفتاری و عوامل موثر شناسایی شوند تا بتوان از وقوع حوادث مشابه در آینده پیشگیری کرد. در این پژوهش از روش استخراج قواعد انجمنی به‌عنوان یکی از زیرشاخه‌های یادگیری ماشینی، برای شناسایی الگوهای پرتکرار و منظم در تصادفات عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسیکلت‌سواران استفاده شده است. تحلیل‌ها بر پایه داده‌های تصادفات شهر تهران، به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران با آمار بالای تصادفات کاربران آسیب‌پذیر، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تصادفات فوتی کاربران آسیب‌پذیر در شهر تهران به عابران پیاده (۴۳ درصد) و موتورسواران (۴۲ درصد) مربوط می‌شود. بیشترین عابران فوت‌شده شامل اتباع، افراد خیابان‌گرد، معتادان و پاکبانان شهرداری بوده‌اند (با پشتیبانی ۰/۹۲۶). همچنین، حوادث جرحی عمدتاً به برخورد وسایل نقلیه با موتورسیکلت‌ها مرتبط بوده است (با پشتیبانی ۰/۷۷۲). بررسی تصادفات جرحی موتورسیکلت‌ها نشان داد که شرایط محیطی و راه تأثیر قابل‌توجهی نداشته‌اند، اما عامل انسانی، به‌ویژه عجله و شتاب بی‌مورد، نقش کلیدی ایفا کرده است (با پشتیبانی ۰/۶۶۱). به‌منظور کاهش تصادفات فوتی عابران پیاده و جرحی موتورسیکلت‌سواران در شهر تهران، انجام اقدامات مهندسی، تصویب و اعمال قوانین مؤثر و اجرای برنامه‌های آموزشی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کاربران آسیب‌پذیر، تصادف، قواعد انجمنی، ایمنی، حمل و نقل پایدار

۱- مقدمه

نام‌گذاری این گروه با عنوان «آسیب‌پذیر» این است که برخلاف سرنشینان وسایل نقلیه موتوری که با بدنه خودرو از برخورد محافظت می‌شوند، این گروه از هیچ محافظتی برخوردار نیستند. در نتیجه، تصادف این کاربران با سایر وسایل نقلیه غالباً با شدت بالایی همراه بوده و منجر به جراحات جدی یا مرگ می‌شود.

ایمنی ترافیک یکی از مسائل اساسی و حیاتی در حمل‌ونقل شهری است که هر ساله توجه زیادی از سوی مدیران و سیاست‌گذاران شهری به آن معطوف می‌شود. کاربران آسیب‌پذیر شامل عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران، روزانه به صورت مکرر در حال رفت‌وآمد در شهرها هستند. دلیل

کاربران آسیب‌پذیر سبب کشف الگوها می‌شود و شرایط را برای اعمال اقدامات پیشگیرانه مؤثر فراهم می‌سازد. تاکنون روش‌های مختلف آماری و مدل‌سازی در این زمینه توسعه و اعمال شده است. در یک مقاله از مدل درخت رگرسیون استفاده و این نتیجه حاصل شد که عابران پیاده، موتورسیکلت‌سواران و دوچرخه‌سواران بیشتر از سایر انواع رانندگان وسایل نقلیه دچار آسیب‌های شدید می‌شوند [Amoh-Gyimah et. al., 2016]. تصادفات عابر پیاده در مطالعات بسیاری به طور مستقل مورد بررسی قرار گرفته است. مشخص شده که فراوانی و شدت تصادفات عابر پیاده با طیف وسیعی از عوامل از جمله عوامل رفتاری و محیطی مرتبط است. در مطالعاتی ادعا شد که عابران پیاده مرد، بیشتر مستعد این نوع تصادفات هستند [Aziz et. al., 2013]، در حالی که عابران پیاده با جنسیت زن، آسیب بیشتری را تجربه می‌کنند [Bil et. al., 2010]. علاوه بر این، نشان داده شد که سن می‌تواند به طور قابل توجهی بر شدت تصادف تأثیر گذارد [Boufous et. al., 2012]. نتایج مطالعات نشان داد که خطر آسیب‌های شدید و مرگ و میر با افزایش سن افزایش می‌یابد. با این حال، برخی از مطالعات نشان داد که کودکان نیز در معرض خطر قابل توجهی از مرگ و میر هستند [Chang, 2008]. رابطه سنی رانندگان با شدت تصادف عابر پیاده نیز در برخی مطالعات مورد بررسی قرار گرفت [Chang & Wang, 2006]. همچنین، یافته‌های مطالعات گذشته در این زمینه تأیید می‌کند که عوامل دیگری نیز در شدت صدمات تصادف عابر پیاده اثرگذارند که از آن جمله می‌توان به عبور عرضی عابر پیاده [Wang et. al., 2024]، مصرف الکل و وقوع تصادف در طول شب [Eluru et. al., 2008]، خطوط ترافیک بیشتر و جاده‌های عریض‌تر و شرایط نور [WHO, 2013]، عدم کنترل ترافیک [Chang & Wang, 2006]، نوع وسیله نقلیه درگیر و سرعت بالای وسایل نقلیه [Kang & Wang et. al., 2013]، وضعیت آب و هوا [Wang et. al., 2022] و نقض چراغ قرمز توسط عابر پیاده [Kaplan et. al., 2014] اشاره کرد. همچنین در مطالعاتی که در ایران انجام گرفت، عواملی نظیر گوش‌دادن رانندگان به موسیقی، صحبت کردن رانندگان با سرنشینان خودرو، نبود تابلوهای هشداردهنده در خصوص محل‌های عبور عابران و در محل‌های فاقد خط‌کشی، رفتارهای غیرقابل‌پیش‌بینی عابران حین عبور و بی‌توجهی رانندگان به مسیر، احتمال وقوع برخوردهای خودرو - عابران پیاده را افزایش می‌داد [Khayesi, 2020]. در طول سال‌ها، محققان بر بررسی جنبه‌های مختلف تصادفات عابر پیاده،

تصادفات جاده‌ای سالانه منجر به ۱/۳ میلیون مرگ و ۵۰ میلیون جراحت می‌شود و علت اصلی مرگ و میر کودکان و جوانان ۵ تا ۲۹ ساله در جهان است [شیخ فرد و حقیقی، ۱۳۹۷]. سازمان بهداشت جهانی هزینه‌های اقتصادی تصادفات جاده‌ای را ۳ درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی یا ۲/۳ تریلیون دلار تخمین زده است. به دلیل این موضوع مهم اجتماعی، سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۵ هدف پایداری جهانی را برای به نصف رساندن تعداد مرگ و میر و جراحات جهانی ناشی از تصادفات جاده‌ای تا سال ۲۰۲۰ اعلام کرد [صفازاده و همکاران، ۱۳۹۳]. با این حال، مرگ و میر و جراحات ناشی از ترافیک در سراسر جهان به جای کاهش، افزایش یافته و عملاً هدف سازمان ملل محقق نشده است. توضیح سازمان بهداشت جهانی برای این شکست، ناهمگونی پیشرفت بوده است [شیخ فرد و حقیقی، ۱۳۹۷]. در حالی که تلفات ناشی از ترافیک جاده‌ای به طور کلی در کشورهای با درآمد بالا، ثابت یا کاهش یافته است، اما کشورهای با درآمد کم و متوسط، با افزایش این تلفات روبرو بوده‌اند. گزارش سازمان بهداشت جهانی همچنین نشان می‌دهد که کاربران آسیب‌پذیر جاده‌ای شامل عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران که بیش از سرنشینان وسایل نقلیه در معرض خطر هستند، به طور نامتعارفی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند و ۲۶ درصد از کل مرگ‌های ناشی از تصادفات جاده‌ای را در سطح جهان تشکیل می‌دهند [شیخ فرد و حقیقی، ۱۳۹۷]. همچنین افزایش شهرنشینی مشخص کرده که اجرای سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری برای غلبه بر چنین شکست‌هایی ضروری است [قطب الدینی و ندیمی، ۱۴۰۰]. اگرچه پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری دو حالت نسبتاً پایدار و دوست‌دار محیط‌زیست از ترافیک هستند، اما همچنان در طراحی و بهره‌برداری از راه‌ها تا حد زیادی نادیده گرفته می‌شوند. بنابراین افرادی که از این شیوه‌های حمل و نقلی استفاده می‌کنند، بیشتر در تصادفات ترافیکی آسیب می‌بینند. در نتیجه، تصادفات کاربران آسیب‌پذیر نسبت به وسایل نقلیه موتوری توجه بیشتری را در تحلیل ایمنی ترافیک به خود جلب می‌کند.

۲- پیشینه تحقیق

برخی از مطالعات بر روی عابران پیاده [Hossain et. al., 2023] یا دوچرخه‌سواران [Aldred et. al., 2020] متمرکز شده‌اند. در حالی که دیگران هر دو تصادف را که شامل تصادفات عابران پیاده و دوچرخه‌سواران بوده، تجزیه و تحلیل کردند [Aldred et. al., 2018]. شناسایی عوامل مؤثر در تصادفات

کلیدی در احتمال پیامدهای آسیب و شدت خود دارند. از نظر ویژگی‌های دوچرخه‌سوار، مردها نسبت به هم‌تایان زن خود احتمال بیشتری برای آسیب‌های شدیدتر دارند [Moore et al., 2011]. این امر ممکن است به دلیل این واقعیت باشد که مردان بیشتر از زنان به شیوه‌ای ریسک‌پذیر عمل می‌کنند [Moore et al., 2011]. علاوه بر این در مطالعات دیگری، گزارش شده است که دوچرخه‌سواران مسن‌تر نسبت به هم‌تایان جوان‌تر خود صدمات شدیدتری را در تصادفات متحمل می‌شوند [Morrison et al., 2019] و [Oikawa et al., 2016]. دو ویژگی مهم دیگری که احتمال صدمات شدید و مرگ و میر دوچرخه‌سواران را افزایش می‌دهد، قرارگیری تحت تأثیر الکل/مواد مخدر و عدم استفاده از کلاه ایمنی است [Pei-Fen et al., 2023]. علاوه بر دوچرخه‌سواران، رانندگان نیز نقش مهمی در تعیین شدت جراحات دوچرخه‌سوار در تصادفات دوچرخه-وسیله‌نقلیه ایفا می‌کنند. در این رابطه، رانندگان ریسک‌پذیر، رانندگان بدون بیمه و رانندگان تحت تأثیر الکل همگی احتمال آسیب‌های شدیدتر را افزایش می‌دهند [Persaud et al., 2012] و [Salum et al., 2019]. از نظر ویژگی‌های وسیله‌نقلیه، وسایل نقلیه سنگین، کامیون‌های بزرگ، ون‌ها و وانت‌ها احتمال صدمات شدید دوچرخه‌سواران و تلفات را افزایش می‌دهند [Sarkar et al., 2011] و [Senserrick et al., 2014]. علاوه بر این، با توجه به ویژگی‌های جاده، مناطق پرسرعت، بخش‌های قوسی شکل، مناطق حومه‌ای و سطح جاده خشک، آسیب‌های شدیدتری در دوچرخه‌سواران را به دنبال دارد [Samerei et al., 2021]. در نهایت، با توجه به شرایط آب و هوایی و محیطی، تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که فصل عامل مهمی در شدت آسیب تصادفات کاربران آسیب‌پذیر همچون دوچرخه‌سواران و عابرین پیاده بوده و احتمال مرگ در دوچرخه‌سواران درگیر در تصادف با وسیله‌نقلیه موتوری، در تابستان در مقایسه با زمستان بیشتر است [Shaojie et al., 2022]. همچنین مطالعات متعددی در مورد عوامل مؤثر در شدت تصادفات موتورسیکلت سواران بر اساس مدل‌های آماری مختلف انجام شده است. برخی از محققان عواملی مانند جاده، ترافیک، محیط، ویژگی‌های انسان و وسیله‌نقلیه را در شدت تصادفات موتورسیکلت بررسی کردند [Sivasankaran & Balasubramanian, 2020]. در سایر مطالعات نشان داده شد که عوامل متعددی مانند عدم استفاده از کلاه ایمنی موتورسیکلت، سرعت بالا، جنسیت موتورسوار، سن موتورسوار، موتور سواری بدون داشتن

تعیین و طبقه‌بندی عوامل مرتبط با شدت آسیب، و توسعه مدل‌های مختلف برای پیش‌بینی تصادفات عابر پیاده تمرکز کرده‌اند. در یک مقاله، مدل لاجیت باینری برای ارزیابی خطر جراحات تلفات عابران پیاده در تصادفات رانندگی ایجاد شد [Kanitpong et al., 2024]. تحقیق دیگری با استفاده از روش رگرسیون خوشه‌بندی به این نتیجه رسید که فصول پاییز و زمستان، احتمال تصادفات منجر به مرگ را در عابرین پیاده افزایش می‌دهد [Chang & Wang, 2006]. محققین دیگری، داده‌های تصادف عابر پیاده را با استفاده از رگرسیون لجستیک بررسی کردند و دریافتند که نور ضعیف، عبور از گذرگاه، جنسیت مرد و سن بالای ۷۰ سال احتمال آسیب دیدگی عابر پیاده را افزایش می‌دهد [Lalika et al., 2022]. در مطالعه دیگری، محققین به مطالعه تصادفات عابرین پیاده در شهر آدیس آبابا در کشور اتیوپی پرداختند. علت اصلی این مطالعه حجم بیش از ۶۰ درصدی سفرهای روزانه از طریق این مد حمل و نقلی و درگیری ۸۵ درصدی عابرین پیاده در تصادفات بود. بدین منظور آنها با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک با پارامترهای تصادفی، تأثیر هندسه راه، ویژگی‌های ترافیکی، خصوصیات مکانی و جمعیت راننده/عابر پیاده را بر شدت جراحات‌های عابرین پیاده بررسی نمودند [Mabunda et al., 2008]. در این مطالعه مشخص شد، عوامل مرتبط با افزایش احتمال جراحات مرگبار عابرین پیاده عبارتند از: تصادفات در جاده‌های پرسرعت، در تقاطع‌ها، در هنگام تاریکی و در برخورد با وسایل نقلیه سنگین. همچنین رانندگانی که تحصیلات کمتری داشتند، بیشتر در تصادفات مرگبار با عابران پیاده درگیر شده‌اند. در میان کاربران آسیب‌پذیر راه، دوچرخه سواران در مطالعات اخیر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. دوچرخه‌سواری یکی از راه‌حل‌های پایدار حرکتی برای سفرهای مسافت کوتاه و متوسط است. اما با خطرات قابل توجهی که توسط وسایل نقلیه موتوری به آن تحمیل می‌شود، مواجه است. اخیراً در لندن، ریسک تصادف جرحی، با استفاده از یک مدل رگرسیون چندسطحی اندازه‌گیری شده و دریافتند که محدوده پایین‌تر سرعت و مسیرهای ویژه دوچرخه‌سواری از عوامل اثرگذار هستند [Manan et al., 2018]. مطالعه جدیدتری در اسپانیا، روش شبکه بیزین را جهت شناسایی مرتبط‌ترین ویژگی‌ها برای شدت جراحات دوچرخه‌سوار بکار برد. آنها دریافتند که اختلاط با وسایل نقلیه سنگین خطر بالاتر و حرکت در مسیرهای ویژه خطر کمتری را برای دوچرخه سواران ایجاد می‌نماید [Mohamed et al., 2013]. دوچرخه‌سواران نقش

ارتباط با شناسایی الگوهای پرتکرار تصادفات کاربران آسیب‌پذیر با استفاده از قواعد انجمنی انجام نشده است.

۳- روش تحقیق

در این مقاله، ابتدا یک تحلیل توصیفی در ارتباط با تصادفات فوتی و جرحی کاربران آسیب‌پذیر (عابران پیاده، راکبین موتورسیکلت و دوچرخه) صورت می‌گیرد. در گام دوم، از روش استخراج قواعد انجمنی برای تعیین ارتباط میان متغیرهای مختلف در تصادفات فوتی و جرحی کاربران آسیب‌پذیر استفاده خواهد شد. قواعد انجمنی در شکل اولیه خود برای تحلیل سبد خرید و تعیین چگونگی خرید اقلام مختلف توسط مشتریان به کار گرفته شده است. در این روش، تمامی داده‌ها باید به صورت طبقه‌ای باشند. قواعد انجمنی در قالب عبارات ساده «اگر/آنگاه» تعریف شده و به منظور ایجاد روابط منطقی میان متغیرها استفاده می‌شود. استخراج قواعد انجمنی به‌عنوان یک رویکرد داده‌کاوی، برای شناسایی و تفسیر الگوها و قواعد از پایگاه‌های داده بزرگ تراکنشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به دنبال کشف الگوها یا روابط مکرر میان متغیرها است. برای ارزیابی قدرت یک رابطه ارائه‌شده در این قواعد، از شاخص‌های پشتیبانی، اطمینان، لیفت و نفوذ استفاده می‌شود که به بررسی میزان اعتبار و صحت قواعد کمک می‌کنند.

۳-۱- اصول قواعد انجمنی

برای نشان دادن مفهوم شاخص‌های قواعد انجمنی، اگر قاعده‌ای به صورت «اگر X آنگاه Y » تعریف شود:

- اطمینان (Confidence): نشان می‌دهد که در چند درصد از مواردی که X وجود داشته است، Y و X همزمان با یکدیگر رخ داده‌اند. این شاخص بیانگر قدرت ارتباط بین دو متغیر است.

- پشتیبانی (Support): نشان می‌دهد که Y و X در چند درصد از کل تراکنش‌ها با هم رخ داده‌اند. این شاخص به تکرار همزمان دو متغیر در کل مجموعه داده اشاره دارد.

- لیفت (Lift): نسبت پشتیبانی یک قاعده به اطمینان مورد انتظار را اندازه‌گیری می‌کند. لیفت مشخص می‌کند که وقوع X و Y با هم تا چه حد بیش از حالت تصادفی است.

- نفوذ (Conviction): تفاوت بین پشتیبانی مشاهده‌شده برای یک قاعده و پشتیبانی مورد انتظار آن را نشان می‌دهد.

- محاسبات لازم برای تولید قواعد انجمنی به حداقل مقدار پوشش (Support Threshold) تعیین شده بستگی دارد. برای دستیابی به تعداد مشخصی از قواعد با بیشترین پوشش ممکن،

گواهینامه، برخورد با وسایل نقلیه سنگین، موتور سواری در نیمه شب یا صبح زود، موقعیت و هندسه جاده، تخلفات ترافیکی، تغییرات فصلی و تراکم بالای ترافیک می‌توانند شدت تصادفات موتورسیکلت را افزایش دهند [Sourav et. al., 2022]. [Sun et. al., 2019] و [Sze & Wong, 2007] در مطالعه‌ای در ایران عوامل موثر بر جرحی یا فوتی بودن تصادفات موتورسواران در راه‌های برون‌شهری استان تهران طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ با استفاده از مدل لوجیت دوتایی مورد تحلیل قرار گرفت. متغیرهای بررسی‌شده در این مدل شامل ویژگی‌هایی نظیر مشخصات موتورسوار، زمان وقوع تصادف، وسیله‌نقلیه مواجهه‌شونده با موتورسیکلت، مقصر بودن موتورسوار، فاصله از نزدیک‌ترین پاسگاه، علت تامه ثبت‌شده در صحنه تصادف، تعداد وسایل درگیر در تصادف و انحراف به چپ موتورسیکلت بودند. نتایج نشان داد، ثبت انحراف به چپ به عنوان علت تامه، وقوع شب هنگام تصادف در منطقه البرز، وقوع تصادف بین دو موتورسیکلت و وزن خودرو مواجهه‌شده با موتورسیکلت مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر شدت جراحت موتورسواران در راه‌های برون‌شهری‌اند [Tay et. al., 2011].

در مطالعه دیگری در شهر تهران، با استفاده از شبکه عصبی، جنگل تصادفی و تحلیل‌های آماری (مقایسه میانگین شدت تصادفات در متغیرها)، دو مجموعه داده، شامل تصادفات ثبت شده توسط پلیس در تهران و داده‌های جمع‌آوری شده از موتورسواران شهر تهران با استفاده از مصاحبه میدانی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این مطالعه مشخص گردید که تخلفات موتورسیکلت سواران دلیل عمده افزایش شدت تصادفات آنها است [Tulu et. al., 2017]. سوال اصلی این مقاله ای است که چه الگویی میان پارامترهای دخیل در هنگام رخداد تصادفات فوتی و جرحی کاربران آسیب‌پذیر شهر تهران بیشتر تکرار شده است. به واقع این مقاله در نظر دارد تا با توجه به اهمیت ایمنی کاربران آسیب‌پذیر (عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسیکلت‌سواران) در معابر داخل شهری، به بررسی عوامل موثر بر رخداد تصادفات عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و موتورسواران در شهر تهران بپردازد. برای این منظور از آمار تصادفات فوتی و جرحی رخ داده در سه سال متوالی از ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ و قواعد انجمنی استفاده می‌شود. هدف از این تحلیل‌ها ایجاد یک بینش در ارتباط با تصادفات کاربران آسیب‌پذیر در معابر شهری و تلاش جهت کاهش این نوع تصادفات است. تاکنون تحقیق جامعی در رابطه با شهر تهران در

۳-۲- داده‌ها

شهر تهران به عنوان پایتخت ایران با جمعیتی حدود ۹/۶ میلیون نفر و تراکم جمعیت ۱۲۶ نفر در هکتار، در این مقاله به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. این شهر شامل ۲۲ منطقه شهری است و با توجه به نقش کلیدی خود در حمل‌ونقل کشور، تحلیل تصادفات ترافیکی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. جمع طول کل انواع راه‌های شهر تهران در سال ۱۳۹۹ حدود ۱۰/۶ هزار کیلومتر برآورد شده است. از نظر کیفیت و کمیت بزرگراه‌های درون‌شهری، تهران در سطح کشور بی‌نظیر است. در شکل ۱ جزئیات نقشه بزرگراه‌های تهران ارائه شده که توزیع و شبکه حمل‌ونقل این شهر را به تصویر می‌کشد.

شهر تهران، با وسعت و جمعیت بالای خود، روزانه حجم عظیمی از سفرهای شهری را تجربه می‌کند. در سال ۱۳۹۹، تعداد سفرهای روزانه در این شهر حدود ۱۹/۴ میلیون اعلام شده است. این حجم سفر، چالش‌های متعددی از جمله تراکم ترافیک، تأخیر، و آلودگی هوا را به همراه داشته است. متوسط سرعت وسایل نقلیه در شبکه معابر تهران ۲۵/۸ کیلومتر بر ساعت برآورد شده و نسبت زمان تأخیر به زمان سفر، حدود ۳۸/۳ درصد گزارش شده است. اگرچه کندی حرکت وسایل نقلیه بر کارایی سیستم حمل‌ونقل اثر منفی دارد، اما از طرف دیگر می‌تواند به کاهش تعداد و شدت تصادفات ترافیکی منجر شود. با وجود این، وضعیت تصادفات فوتی در تهران مناسب نیست. در سال ۱۳۹۹، تعداد فوتی‌های ناشی از تصادفات به ۵۸۳ نفر کاهش یافته است، در حالی که این رقم در سال ۱۳۹۳، ۷۳۳ نفر بوده است. تحلیل آمارها نشان می‌دهد که حدود ۴۳ درصد از فوتی‌ها مربوط به عابران پیاده، ۴۲ درصد به موتورسواران و ۱۵ درصد به سرنشینان خودروهای سواری اختصاص داشته است. این ارقام بیانگر وضعیت نامناسب ایمنی برای کاربران آسیب‌پذیر در تهران است. یکی از عوامل اصلی تصادفات فوتی در شهر تهران، عدم توجه به جلو است که حدود ۴۸ درصد از این تصادفات را شامل می‌شود. این عامل که در ایران به‌عنوان یک عبارت کلی در ثبت دلایل تصادفات استفاده می‌شود، بیشتر به موضوع حواس‌پرتی راننده اشاره دارد و می‌تواند دلایل متنوعی داشته باشد. همچنین، با توجه به گستردگی شبکه بزرگراهی تهران، بیشترین تعداد فوتی‌ها در این محورها رخ داده است. برای تحلیل دقیق‌تر تصادفات فوتی و جرحی، از متغیرهای مشخص شده در جداول ۱ و ۲ استفاده خواهد شد. این جداول جزئیات متغیرها، شامل بازه تغییرات و طبقات آن‌ها، را ارائه می‌دهند. همچنین، برای هر طبقه کدگذاری مشخصی در نظر گرفته شده است تا استفاده از این متغیرها در جداول و تحلیل‌ها تسهیل شود.

یک رویکرد تدریجی اتخاذ می‌شود. در این روش، ابتدا یک مقدار اولیه نسبتاً بالای پوشش تعیین می‌شود. سپس این مقدار به‌صورت متوالی کاهش یافته و کل فرآیند استخراج قواعد مجدداً اجرا می‌شود. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که تعداد قواعد مطلوب با سطح دقت حداقلی تعیین شده به دست آید.

در این مقاله، داده‌های تصادفات به تفکیک تصادفات فوتی و جرحی، صرفاً برای کاربران آسیب‌پذیر راه مورد بازبینی و تحلیل اکتشافی قرار گرفته است. پس از انجام فرآیند پاک‌سازی داده‌ها، مجموعه داده آماده‌شده با استفاده از الگوریتم *Apriori* تحلیل می‌شود. الگوریتم *Apriori* یکی از الگوریتم‌های مطرح در داده‌کاوی است که برای یافتن روابط بین موارد مرتبط در داده‌های تراکنشی استفاده می‌شود. این الگوریتم به‌طور خاص برای شناسایی مجموعه اقلام مکرر و استخراج قوانین انجمنی طراحی شده است. فرآیند این الگوریتم با جستجو در پایگاه داده آغاز می‌شود و مجموعه اقلامی را شناسایی می‌کند که حداقل نیازهای پشتیبانی (*Support*) و اطمینان (*Confidence*) را برآورده می‌کنند. با این روش، الگوریتم می‌تواند روابط و الگوهای تکراری میان متغیرها را شناسایی کرده و قواعد مرتبط را استخراج کند.

برخی از ابزارهای نرم افزاری که می‌توانند برای تحلیل سبد بازار استفاده شوند عبارتند از *Weka*، *RapidMiner* و برنامه‌های رایگان *R* و پایتون. این ابزارها از الگوریتم‌هایی مانند *apriori* و *FP-Growth* برای تحلیل داده‌های تراکنشی و شناسایی ارتباط بین محصولات استفاده می‌کنند که می‌تواند برای تصمیم‌گیری تجاری، مانند طراحی راهبردهای بازاریابی استفاده شود. در این مقاله همه تحلیل‌های اولیه و مدلسازی با زبان *R* و نرم افزار *R-studio* صورت گرفت. *R* یک زبان برنامه نویسی است که برای محاسبات آماری و گرافیک استفاده می‌شود و به طور گسترده‌ای در تحلیل داده‌ها، یادگیری ماشینی و تحقیقات علمی استفاده می‌شود. *R* طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های آماری و گرافیکی را ارائه می‌دهد و از طریق بسته‌های ایجاد شده توسط کاربران، بسیار قابل توسعه است. در این مقاله از بسته *arules* استفاده شد که زیرساختی را برای نمایش، تحلیل داده‌ها و الگوهای تراکنشی، از جمله قوانین مرتبط با استخراج و مجموعه اقلام مکرر، فراهم می‌کند. اکوسیستم بسته *arules* شامل چندین بسته الحاقی است که عملکرد جامعی را برای تحلیل الگوهای جالب از مجموعه داده‌های تراکنش بزرگ ارائه می‌دهد. علاوه بر این، از بسته *arulesViz* برای ارائه قوانین مرتبط در حالت گرافیکی استفاده شده است.



شکل ۱. شبکه بزرگراهی شهر تهران

جدول ۱. متغیرهای مربوط به تصادفات فوتی

متغیر	جزئیات	کدها	نام گذاری
منطقه شهرداری	۱ تا ۲۲	از ۱ تا ۲۲	zone
محل تصادف	بزرگراه	۱	hightype
	خیابان اصلی	۲	
	سایر موارد	۳	
محل فوت	بیمارستان / منزل	۱	fat_location
	سایر موارد	۲	
نوع کاربر متوفی	عابر پیاده	۱	ispedestrian
	سایر موارد	۲	
نوع عابر پیاده	معمولی	۱	ped_special_state
	سایر موارد (تبعه خارجی، خیابان گرد و معتاد، کارگر شهرداری، سایر)	۲	
نوع برخورد	برخورد با خودروی سواری	۱	veh
	برخورد با موتورسیکلت	۲	
	برخورد با سایر موارد	۳	
مسیر ویژه	خیر	۱	exclu_lane
	بله	۲	
علت تامه تصادف	عدم توجه به جلو	۱	why
	عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه	۲	
	تغییر مسیر ناگهانی	۳	
	عدم رعایت حق تقدم	۴	
	حرکت در خلاف جهت و حرکت با دنده عقب	۵	
	سایر موارد	۶	
روز هفته	شنبه	۰	day
	یکشنبه	۱	
	دوشنبه	۲	
	سه شنبه	۳	
	چهارشنبه	۴	
	پنجشنبه	۵	
جمعه	۶		
بازه زمانی	۶:۰۰ تا ۱۰:۰۰	۱	time
	۱۰:۰۰ تا ۱۴:۰۰	۲	
	۱۴:۰۰ تا ۱۸:۰۰	۳	
	۱۸:۰۰ تا ۲۲:۰۰	۴	
	۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰	۵	
ماه سال	فروردین تا اسفند	۱ تا ۱۲	month
سال	۱۳۹۷	۱	year
	۱۳۹۸	۲	
	۱۳۹۹	۳	

جدول ۲. متغیرهای مربوط به تصادفات جرحی

نام گذاری	کدها	طبقات	متغیر
weather	۱	صاف	وضعیت آب و هوایی
	۲	سایر موارد	
accytype	۱	وسیله نقلیه با موتورسیکلت	نوع تصادف
	۲	موتورسیکلت با عابر پیاده	
	۳	موتورسیکلت با موتورسیکلت	
	۴	سایر موارد	
humanfac	۱	عجله و شتاب بی مورد و بی توجهی به قوانین و مقررات	عامل انسانی
	۲	سایر موارد	
why	۱	نامشخص	علت تصادف
	۲	عدم توجه به جلو	
	۳	عدم رعایت حق تقدم	
	۴	تغییر مسیر ناگهانی	
	۵	حرکت در خلاف جهت و حرکت با دنده عقب	
	۶	سایر موارد	
config	۱	مستقیم	شکل کلی راه محل حادثه
	۲	تقاطع	
	۳	سایر موارد	
zone	۱ تا ۲۲	۱ تا ۲۲	منطقه شهرداری
hightype	۱	بزرگراه	محل تصادف
	۲	خیابان اصلی	
	۳	سایر موارد	
day	۰	شنبه	روز هفته
	۱	یکشنبه	
	۲	دوشنبه	
	۳	سه شنبه	
	۴	چهارشنبه	
	۵	پنجشنبه	
۶	جمعه		
time	۱	۶:۰۰ تا ۱۰:۰۰	بازه زمانی
	۲	۱۰:۰۰ تا ۱۴:۰۰	
	۳	۱۴:۰۰ تا ۱۸:۰۰	
	۴	۱۸:۰۰ تا ۲۲:۰۰	
	۵	۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰	
month	۱ تا ۱۲	فروردین تا اسفند	ماه سال

داده‌های تحقیق مربوط به شهر تهران بوده و اطلاعات تصادفات فوتی مربوط به سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ و تصادفات جرحی سال

۱۳۹۹ است.

۴- نتایج و بحث

اینجا، تحلیل قواعد انجمنی است و برای تناظر هر یک از متغیرها با یک قلم کالا لازم است همه متغیرهای هر زیرگروه در این تحلیل لحاظ گردد. پس از ایجاد متغیرهای مجازی باید آنها به داده تراکنشی تبدیل شوند. برای تبدیل داده‌های عادی به داده‌های تراکنشی برای الگوریتم *apriori*، داده‌ها باید در قالب‌های خاصی سازماندهی شوند که یکی از این روش‌ها که در این مقاله از آن استفاده شد، روش *single* است. در روش *single*، هر ردیف نشان دهنده یک تراکنش واحد و هر ستون نشان دهنده یک آیتم است. در این بخش ابتدا یک تحلیل توصیفی از متغیرهای مرتبط با تصادفات فوتی و جرحی در جداول ۳ و ۴ ارائه می‌شود.

به منظور آماده‌سازی داده برای تحلیل با الگوریتم *apriori* ابتدا متغیرهای به کار رفته در هر مجموعه داده (فوتی و جرحی) به متغیرهای مجازی تبدیل می‌شود (عنوان و تعریف متغیر در جداول ۱ و ۲ آمده است). متغیرهای هر یک از زیرگروه‌ها باینری (۰ و ۱) هستند و جهت تحلیل تصادفات فوتی و جرحی به ترتیب تعداد ۶۹ و ۶۶ متغیر باینری لحاظ شده است. همچنین لازم به ذکر است در اغلب روش‌های مدل‌سازی از جمله رگرسیون لجستیک، یکی از سطوح در هر گروه متغیر به عنوان مرجع لحاظ می‌شود و در تحلیل عملاً این متغیر مرجع حذف می‌گردد [Wall et. al., 2016] و [Wang et. al., 2015]. ولی در این مقاله وضعیت این گونه نیست و هیچ متغیر مرجعی برای هر زیرگروه تعریف نشده است. زیرا روش بکار رفته در

جدول ۳. آمار توصیفی متغیرهای بکاررفته در مجموعه داده تصادفات فوتی کاربران آسیب پذیر شهر تهران

نام متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
zone	۱	۲۲	۱۱/۱۶	۶/۶۴۲
hightype	۱	۳	۱/۶۳	۰/۶۹۴
fat_location	۱	۲	۱/۳۹	۰/۴۸۸
ispedestrian	۱	۲	۱/۴۶	۰/۴۹۹
ped_special_state	۱	۲	۱/۹۲	۰/۲۶۶
veh	۱	۳	۱/۷۱	۰/۷۴۲
exclu_lane	۱	۲	۱/۰۳	۰/۱۸۳
why	۱	۶	۲/۵۴	۱/۹۲۱
day	۰	۶	۲/۹۱	۱/۹۶۴
time	۱	۵	۳/۳۴	۱/۳۷۴
month	۱	۱۲	۶/۵۶	۳/۴۱۰
year	۱	۳	۱/۹۶	۰/۸۲۲
تعداد مشاهدات	۱۵۲۷			

جدول ۴. آمار توصیفی متغیرهای بکاررفته در مجموعه داده تصادفات جرحی کاربران آسیب پذیر شهر تهران

نام گروه متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
zone	۱	۲۲	۹/۹۳	۵/۹۴۱
hightype	۱	۳	۱/۹۱	۰/۵۵۱
weather	۱	۲	۱/۰۲	۰/۱۵۱
acctype	۱	۴	۱/۳۵	۰/۷۱۳
humanfac	۱	۲	۱/۳۴	۰/۴۷۳
why	۱	۶	۲/۸۵	۱/۹۲۹
day	۰	۶	۲/۸۵	۱/۹۲۸
time	۱	۵	۳	۱/۲۰۹
month	۱	۱۲	۶/۶۵	۳/۲۵۵
config	۱	۳	۱/۶۷	۰/۷۹۹
تعداد مشاهدات	۹۵۲۳			

سپس موارد پر تکرار برای داده فوتی و جرحی شناسایی و در کوچک ارائه می‌شود. لازم به ذکر است برای این منظور مقدار جداول ۵ و ۶ بر اساس معیار شمارش به ترتیب از بزرگ به حداقل معیار پشتیبانی روی عدد ۰/۵ تنظیم شده است.

جدول ۵. موارد پر تکرار در تصادفات فوتی

مورد	پشتیبانی	تعداد
{exclu_lane1}	۰/۹۶۵	۱۴۵۹
{ped_special_state2}	۰/۹۲۶	۱۳۹۹
{ped_special_state2, exclu_lane1}	۰/۸۹۲	۱۳۵۰
{fat_location1}	۰/۶۱۰	۹۲۳
{fat_location1, exclu_lane1}	۰/۵۸۹	۸۹۲
{fat_location1, ped_special_state2}	۰/۵۷۹	۸۷۶
{fat_location1, ped_special_state2, exclu_lane1}	۰/۵۵۹	۸۴۵
{ispedestrian1}	۰/۵۳۹	۸۱۵
{ispedestrian1, exclu_lane1}	۰/۵۲۱	۷۸۸

پس از حادثه در محل بیمارستان فوت شدند. این موضوع می‌تواند به دلیل شدت بالای حادثه، انتقال دیر هنگام به بیمارستان و یا کمبود خدمات اورژانس و درمانی باشد و نیاز به بررسی بیشتر به طور جداگانه دارد.

عمده تصادفات جرحی در آب و هوای صاف، در مسیر مستقیم و راه‌های اصلی صورت گرفته که نشان می‌دهد عامل راه و محیط تأثیر چندانی بر رخداد این حوادث نداشته است.

عمده حوادث جرحی مربوط به برخورد وسیله نقلیه با موتورسیکلت بوده است. بطور کلی با توجه به گسترش فعالیت موتورسیکلت سواران در بخش جابه‌جایی بار در شهر تهران به ویژه پیک‌های حمل غذا که سرعت تحویل در آنها اهمیت دارد، بایستی مطالعات و اقدامات ویژه‌ای جهت ارتقای ایمنی این گروه از کاربران در شهر تهران صورت پذیرد. در مطالعه‌ای در چین مشخص گردید که در محل‌هایی با تعداد زیاد رستوران و تقاطع، تصادفات موتورسیکلت بیشتر خواهد بود [Wu et. al., 2012].

عجله و شتاب بی‌مورد و عدم توجه به قوانین و مقررات دلیل رخداد عمده حوادث جرحی، موتورسیکلت سواران بوده است. درصد زیادی از موتور سیکلت سواران شهر تهران در امر جابجایی و حمل بار فعال هستند و تحویل سریع بارها از لحاظ اقتصادی برای آنها منفعت دارد. در حال حاضر، در ایران بحث اعمال قوانین و مقررات در ارتباط با رانندگان وسایل نقلیه به مراتب شدیدتر از موتورسیکلت سواران است. به نوعی می‌توان گفت استفاده از موتورسیکلت در بسیاری از موارد در بین شهروندان به جهت آزادی در انجام تخلفات راهنمایی و رانندگی جایگاه ویژه‌ای داشته و بعضاً افراد جهت جابه‌جایی سریع و با مشکل کمتر استفاده از این شیوه حمل و نقلی را ترجیح می‌دهند.

عمده تصادفات فوتی کاربران آسیب‌پذیر در شهر تهران مربوط به عابران پیاده بوده است (پشتیبانی ۰/۵۳۹). اطلاعات و جزئیات کاملی از تصادفات دوچرخه‌سواران در پایگاه داده موجود ثبت نشده بود. این احتمال وجود دارد که بخش از تصادفات دوچرخه‌سواران در قالب تصادفات موتورسیکلت ثبت شده باشد. عمده عابران پیاده فوت شده در گروه اتباع، افراد خیابان‌گرد و معتاد و کارگران شهرداری بوده است (با پشتیبانی ۰/۹۲۶). این موضوع به دلیل حضور بیشتر این افراد در معابر، ریسک‌پذیری بیشتر و عدم توجه به تردد وسایل نقلیه می‌تواند باشد. لازم است تا نسبت به ساماندهی تردد افراد خیابان‌گرد و معتاد در سطح معابر با سرعت بالا تدبیری شود. همچنین کارگران شهرداری بایستی به شکل مناسب آشکارسازی شوند و نیز آموزش‌های لازم به آنها در رابطه با نحوه فعالیت در حاشیه معابر پرسرعت شهر داده شود. عمده تصادفات فوتی عابران پیاده در مسیرهای عادی صورت گرفته و این افراد عمدتاً شامل اتباع، افراد خیابان‌گرد و معتاد و پاکبانان زحمتکش شهرداری بوده است. لازم است تا از ورود اتباع و افراد خیابان‌گرد و معتاد به مسیرهای سواره‌رو جلوگیری شود. همچنین پاکبانان زحمتکش شهرداری به خوبی با لباس‌ها و تجهیزات مناسب در حین فعالیت در این مسیرها آشکارسازی شوند. در مطالعه‌ای در لوئیزیانا مشخص گردید که رنگ تیره لباس عابران پیاده یک فاکتور مهم اثرگذار در تصادفات فوتی است [Wang et. al., 2020]. همچنین آموزش‌های لازم به آنها برای فعالیت در حاشیه معابر جهت حفظ ایمنی داده شود. در مطالعه‌ای در فلوریدا نیز مشخص گردید که اقدامات آموزشی در کنار موارد مهندسی و اعمال قانون نقش موثری بر بهبود ایمنی عابران پیاده (به‌ویژه سالمندان) دارد [Waseem et. al., 2019]. عمده عابران پیاده

از کلاه ایمنی و مانورهای مناسب جهت جلوگیری از تصادف تأکید شده است [Wu et. al., 2011]. همچنین در مطالعه دیگری در پاکستان بر ایجاد کمپین‌های آموزشی و راهکارهایی مبتنی بر قانون‌گذاری و اعمال قانون موتورسوارانی که از کلاه ایمنی استفاده نمی‌کنند اشاره شده است [Wu et. al., 2019].

لازم است تا جهت حفظ ایمنی موتورسیکلت‌سواران علاوه بر بحث استفاده از کلاه ایمنی بر رعایت سایر قوانین و مقررات و به ویژه تردد با سرعت متناسب با شرایط این وسیله نقلیه تأکید شود. قبلاً در مطالعه‌ای در تایلند بر لزوم آموزش اصول پایه ایمنی به موتورسواران نظیر مهارت‌های رانندگی تدافعی، استفاده

جدول ۶. موارد پرتکرار در تصادفات جرحی

تعداد	پشتیبانی	مورد
۹۳۰۰	۰/۹۷۶	{weather1}
۷۳۵۳	۰/۷۷۲	{acctype1}
۷۱۷۰	۰/۷۵۳	{weather1, acctype1}
۶۵۵۵	۰/۶۸۹	{hightype2}
۶۴۰۰	۰/۶۷۲	{hightype2, weather1}
۶۲۹۲	۰/۶۶۱	{humanfac1}
۶۱۴۱	۰/۶۴۴	{weather1, humanfac1}
۵۱۶۸	۰/۵۴۳	{config1}
۵۰۳۱	۰/۵۲۹	{weather1, config1}
۴۹۲۲	۰/۵۱۷	{acctype1, humanfac1}
۴۸۳۳	۰/۵۰۸	{hightype2, acctype1}
۴۷۹۶	۰/۵۰۴	{weather1, acctype1, humanfac1}

مهم است که حداقل آستانه‌های پشتیبان و اطمینان با دقت انتخاب شود و در صورت لزوم روش‌هایی برای کاهش تعداد قوانین استخراج شده در نظر گرفته شود. در جداول ۷ و ۸ تعداد ۲۰ قانون مهم استخراج شده با الگوریتم *apriori* برای مجموعه داده تصادفات فوتی و جرحی ارائه شده است. لازم به ذکر است که این قوانین بر اساس مقدار اطمینان (از بزرگ به کوچک) مرتب شدند. براساس قوانین جدول ۷ می‌توان گفت که تصادفات فوتی در ساعات نیمه شب (از ساعت ۲۲:۰۰ تا ۶:۰۰ صبح) در میان افراد معتاد، ولگرد و کارگران زحمتکش شهرداری در راه‌های اصلی بیشتر مشاهده شده است. اکثر فوتی‌ها پس از انتقال به بیمارستان رخ داده است. بحث حواسپرتی رانندگان در قالب عامل عدم توجه به جلو در رخداد این حوادث فوتی نقش داشته است.

جهت تعیین معیارهای پشتیبانی و اطمینان مناسب، برای معیار پشتیبانی مقادیر ۰/۱ و ۰/۳ و ۰/۵ و برای معیار اطمینان مقادیر ۰/۵ و ۰/۷ و ۰/۹ لحاظ گردید و بر اساس ترکیبات دو به دو مقادیر مذکور، ۹ حالت تشکیل شد و تعداد قوانین استخراج شده با الگوریتم *apriori* به تفکیک مجموعه داده تصادفات فوتی و جرحی محاسبه شد. در نهایت، معیارهای پشتیبانی و اطمینان به ترتیب ۰/۱ و ۰/۵ انتخاب شد و برای ادامه تحلیل فقط ۱۱۱۴ قانون برای مجموعه داده تصادفات فوتی و ۴۰۸ قانون برای مجموعه داده تصادفات جرحی مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد قوانین استخراج شده به عوامل مختلفی مانند اندازه مجموعه داده، حداقل آستانه‌های پشتیبانی و اطمینان و الگوریتم مورد استفاده برای استخراج قوانین بستگی دارد. تعداد قوانین انجمنی که باید استخراج شوند به مسأله خاص و اهداف تحلیل بستگی دارد.

جدول ۷. قوانین مهم استخراج شده با الگوریتم **apriori** برای مجموعه داده تصادفات فوتی

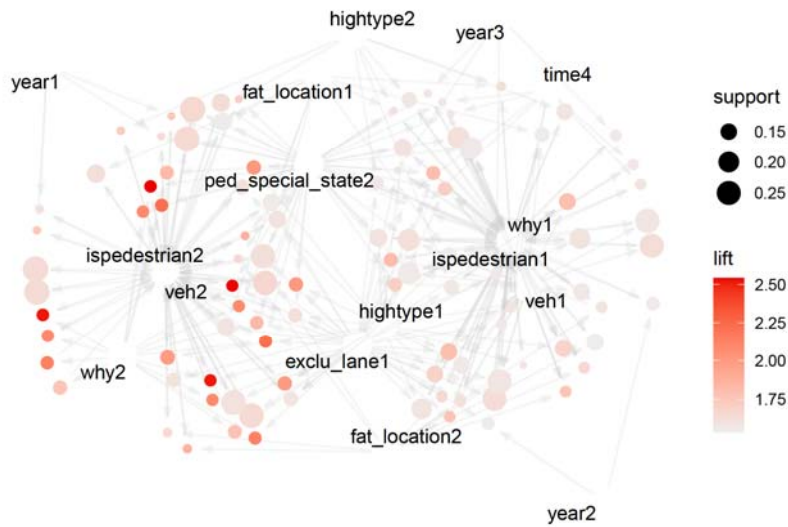
ردیف	قوانین (اگر- آنگاه)	پشتیبانی	اطمینان	نفوذ	لیفت	تعداد
1	{veh1,time4} => {exclu_lane1}	0.12	1.000	0.12	1.04	181
2	{time5,year1} => {exclu_lane1}	0.111	1.000	0.111	1.04	168
3	{veh1,time5} => {exclu_lane1}	0.133	1.000	0.133	1.04	201
4	{hightype1,time5} => {exclu_lane1}	0.14	1.000	0.14	1.04	212
5	{veh1,year2} => {exclu_lane1}	0.138	1.000	0.138	1.04	208
6	{ispedestrian2,veh1} => {exclu_lane1}	0.139	1.000	0.139	1.04	210
7	{ped_special_state2,veh1,time4} => {exclu_lane1}	0.11	1.000	0.11	1.04	166
8	{ped_special_state2,veh1,time5} => {exclu_lane1}	0.114	1.000	0.114	1.04	173
9	{hightype1,ped_special_state2,time5} => {exclu_lane1}	0.122	1.000	0.122	1.04	184
10	{ispedestrian1,veh1,year2} => {exclu_lane1}	0.102	1.000	0.102	1.04	154
11	{ped_special_state2,veh1,year2} => {exclu_lane1}	0.118	1.000	0.118	1.04	178
12	{fat_location2,ped_special_state2,veh1} => {exclu_lane1}	0.155	1.000	0.155	1.04	234
13	{ispedestrian2,ped_special_state2,veh1} => {exclu_lane1}	0.136	1.000	0.136	1.04	205
14	{fat_location2,ped_special_state2,veh1,why1} => {exclu_lane1}	0.106	1.000	0.106	1.04	161
15	{fat_location2,ispedestrian1,ped_special_state2,veh1} => {exclu_lane1}	0.107	1.000	0.107	1.04	162
16	{hightype1,fat_location2,ispedestrian1,ped_special_state2} => {exclu_lane1}	0.103	1.000	0.103	1.04	156
17	{hightype1,ped_special_state2,veh1,why1} => {exclu_lane1}	0.155	0.996	0.155	1.03	235
18	{hightype1,fat_location1,ispedestrian2} => {exclu_lane1}	0.14	0.995	0.14	1.03	211
19	{hightype1,fat_location1,ispedestrian2,ped_special_state2} => {exclu_lane1}	0.138	0.995	0.138	1.03	208
20	{ispedestrian1,time5} => {exclu_lane1}	0.135	0.995	0.135	1.03	204
21	{hightype1,ped_special_state2,year2} => {exclu_lane1}	0.131	0.995	0.131	1.03	198
22	{hightype1,ispedestrian1,ped_special_state2,veh1,why1} => {exclu_lane1}	0.128	0.995	0.128	1.03	194
23	{hightype3} => {exclu_lane1}	0.124	0.995	0.124	1.03	188
24	{veh2,why2} => {ped_special_state2}	0.124	0.995	0.124	1.08	187
25	{veh2,exclu_lane1,why2} => {ped_special_state2}	0.122	0.995	0.122	1.07	184
26	{ispedestrian2,veh2,why2} => {ped_special_state2}	0.119	0.994	0.119	1.07	180
27	{ispedestrian2,veh2,exclu_lane1,why2} => {ped_special_state2}	0.117	0.994	0.117	1.07	177
28	{hightype3,ped_special_state2} => {exclu_lane1}	0.116	0.994	0.116	1.03	176
29	{ispedestrian1,ped_special_state2,time5} => {exclu_lane1}	0.108	0.994	0.108	1.03	164
30	{hightype1,ped_special_state2,veh1} => {exclu_lane1}	0.213	0.994	0.213	1.03	322

جدول ۸. قوانین مهم استخراج شده با الگوریتم **apriori** برای مجموعه داده تصادفات جرحی

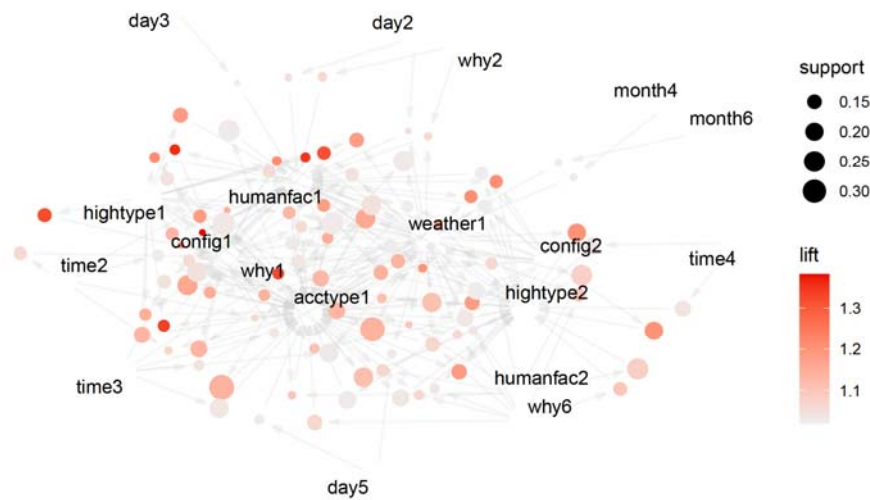
ردیف	قوانین (اگر - آنگاه)	پشتیبانی	اطمینان	پوشش	لیفت	تعداد
1	{month5} => {weather1}	0.101	1	0.101	1.024	962
2	{month4} => {weather1}	0.1063	0.998	0.1065	1.022	1012
3	{month6} => {weather1}	0.1049	0.998	0.1051	1.022	999
4	{hightype2, day3} => {weather1}	0.1021	0.9878	0.1033	1.011	972
5	{why1, config2} => {weather1}	0.1115	0.987	0.113	1.011	1062
6	{humanfac1, day2} => {weather1}	0.1007	0.9866	0.1021	1.01	959
7	{time1} => {weather1}	0.1227	0.9865	0.1243	1.01	1168
8	{day2} => {weather1}	0.1465	0.9859	0.1486	1.01	1395
9	{humanfac1, day3} => {weather1}	0.1018	0.9858	0.1032	1.009	969
10	{day3} => {weather1}	0.1504	0.9842	0.1528	1.008	1432
11	{humanfac1, config3} => {weather1}	0.1258	0.9836	0.1279	1.007	1198
12	{acctype1, day2} => {weather1}	0.1094	0.983	0.1113	1.007	1042
13	{hightype2, humanfac1, config2} => {weather1}	0.1376	0.9827	0.14	1.006	1310
14	{hightype2, humanfac1, why1} => {weather1}	0.1755	0.9824	0.1786	1.006	1671
15	{acctype1, day1} => {weather1}	0.1092	0.9821	0.1112	1.006	1040
16	{humanfac1, config2} => {weather1}	0.165	0.9819	0.168	1.005	1571
17	{hightype2, config2} => {weather1}	0.2026	0.9817	0.2063	1.005	1929
18	{acctype1, day3} => {weather1}	0.1175	0.9816	0.1197	1.005	1119
19	{config2} => {weather1}	0.2446	0.9815	0.2492	1.005	2329
20	{day1} => {weather1}	0.1442	0.9807	0.147	1.004	1373
21	{humanfac1, why1} => {weather1}	0.2616	0.9807	0.2667	1.004	2491
22	{hightype2, why1} => {weather1}	0.265	0.9802	0.2704	1.004	2524
23	{why1} => {weather1}	0.3844	0.9802	0.3922	1.004	3661
24	{hightype2, time3} => {weather1}	0.1916	0.9801	0.1955	1.004	1825
25	{hightype2, humanfac1, time3} => {weather1}	0.119	0.9801	0.1214	1.004	1133
26	{hightype2, acctype1, humanfac1, why1} => {weather1}	0.1546	0.98	0.1577	1.004	1472
27	{why1, time3} => {weather1}	0.1079	0.98	0.1102	1.003	1028
28	{humanfac1, why6} => {weather1}	0.1124	0.9799	0.1147	1.003	1070
29	{acctype1, config3} => {weather1}	0.1521	0.9797	0.1552	1.003	1448
30	{acctype1, humanfac1, why1} => {weather1}	0.2342	0.9794	0.2391	1.003	2230

انجمنی نشان داده شده که در آن هر مورد به عنوان یک گره و هر قانون به عنوان یک یال بین گره‌ها نشان داده شده است. ضخامت لبه نشان‌دهنده قدرت قانون بوده و رنگ لبه نشان‌دهنده معیار لیفت قانون است.

براساس قوانین جدول ۸ می‌توان گفت که تصادفات جرحی در روزهای وسط هفته (دوشنبه و سه‌شنبه) و در ساعات اوج ترافیک عصرگاهی در میان موتورسیکلت‌سواران بیشتر مشاهده شده است. بحث عجله و شتاب بی‌مورد به عنوان یک عامل انسانی مشهود در این حوادث بوده است. در شکل ۱ و ۲ قواعد



شکل ۲. گراف قوانین استخراج شده از تصادفات فوتی



شکل ۳. گراف قوانین استخراج شده از تصادفات جرحی

۵- نتیجه گیری

عبور عابران از عرض خیابان، ایجاد جزایر ایمن برای عبور و مرور عابران، اصلاح پیاده‌روها جهت تأمین عرض مناسب و ایمنی بیشتر، و استفاده از لباس‌های شبرنگ برای کارگران شهرداری توصیه می‌شود. علاوه بر این، در مناطق پرتردد، استفاده از سنگ‌فرش به منظور افزایش ایمنی و کاهش خطرات تصادفات پیشنهاد می‌شود.

تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که عمده تصادفات فوتی کاربران آسیب‌پذیر در شهر تهران مربوط به عابران پیاده است. این تصادفات بیشتر در مسیرهای ویژه رخ داده و قربانیان اغلب شامل اتباع، افراد خیابان‌گرد، معتادان و کارگران شهرداری بوده‌اند. برای کاهش این گونه حوادث، شناسایی نقاط حادثه‌خیز از اهمیت بالایی برخوردار است. پس از شناسایی این نقاط، اجرای تدابیری نظیر نصب نرده‌های محافظ برای جلوگیری از

تحقیقات آتی می‌توانند به شناسایی راهکارهای نوآورانه برای بهبود ایمنی کاربران آسیب‌پذیر و کاهش تصادفات آن‌ها کمک کنند. یکی از مسیرهای مهم، بررسی رفتار کاربران آسیب‌پذیر با استفاده از فناوری‌هایی نظیر GPS و بینایی کامپیوتری است تا تأثیر عوامل محیطی، زیرساختی و انسانی بر وقوع تصادفات مشخص شود. علاوه بر این، نقش فناوری‌های هوشمند مانند سیستم‌های هشدار تصادف و وسایل نقلیه خودران در پیشگیری از تصادفات و میزان پذیرش این فناوری‌ها توسط کاربران، حوزه‌ای مهم برای تحقیقات آینده است. همچنین، پژوهش‌های بیشتری باید به ارزیابی اثربخشی سیاست‌های شهری مانند آرام‌سازی ترافیک، ایجاد نرده‌های محافظ و اجبار استفاده از وسایل ایمنی بپردازند تا بهترین مداخلات شناسایی شوند.

مدل‌سازی پیش‌بینی تصادفات با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحلیل اثرات شهرنشینی و طراحی شهری بر ایمنی کاربران آسیب‌پذیر، و بررسی عوامل فرهنگی و اجتماعی نظیر فرهنگ رانندگی و رفتار عابران پیاده نیز می‌تواند به درک بهتر عوامل مؤثر در تصادفات کمک کند. علاوه بر این، توسعه شاخص‌های جدید برای ارزیابی ایمنی، شامل ابعاد انسانی، محیطی و فناوری، می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف زیرساختی و ارائه راهکارهای بهبود منجر شود. تمرکز بر این موضوعات می‌تواند دانش موجود در این زمینه را گسترش داده و به کاهش تصادفات و افزایش ایمنی کاربران آسیب‌پذیر کمک کند.

از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از عابران پیاده پس از وقوع حادثه در بیمارستان فوت کرده‌اند. این موضوع ضرورت بررسی فاصله نزدیک‌ترین اورژانس‌ها تا محل حادثه، کاهش زمان واکنش در شبانه‌روز و بهبود خدمات‌رسانی بیمارستان‌ها را برجسته می‌کند. کاهش این فاصله و بهبود کیفیت خدمات می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در افزایش شانس نجات مصدومان داشته باشد.

عمده تصادفات جرحی در شهر تهران ناشی از برخورد وسایل نقلیه با موتورسیکلت‌ها بوده است. از آنجایی که بدن موتورسیکلت‌سواران نقش محافظ آن‌ها را ایفا می‌کند، عدم استفاده از وسایل ایمنی نظیر کلاه ایمنی منجر به افزایش شدت آسیب‌ها می‌شود. برای کاهش این حوادث، اعمال قوانین سخت‌گیرانه‌تر برای استفاده از وسایل ایمنی ضروری است. همچنین، آرام‌سازی جریان ترافیک از طریق کاهش سرعت با نصب سرعت‌کاه‌ها می‌تواند به کاهش شدت تصادفات کمک کند. برخورد جدی با موتورسیکلت‌سوارانی که قوانین ایمنی را رعایت نمی‌کنند نیز یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه است. بررسی عوامل محیطی و جاده‌ای در تصادفات نشان می‌دهد که بیشتر تصادفات جرحی در شرایط آب‌وهوایی صاف و مسیرهای مستقیم رخ داده است. این یافته‌ها حاکی از آن است که عوامل انسانی مانند بی‌توجهی رانندگان و رفتارهای پرخطر، نقش کلیدی‌تری در وقوع حوادث ایفا می‌کنند. بنابراین، توجه به آموزش رفتارهای ایمن و فرهنگ‌سازی در کنار تقویت قوانین، از جمله راهکارهای پیشنهادی برای کاهش تصادفات کاربران آسیب‌پذیر است. اجرای مجموعه این تدابیر می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در ایمنی کاربران آسیب‌پذیر در شهر تهران ایجاد کرده و به کاهش تصادفات فوتی و جرحی در این گروه کمک کند.

۶- مراجع

-قطب‌الدینی، مهدیه و ندیمی، نوید. (۱۴۰۰). ارزیابی عوامل مؤثر بر ایمنی موتورسیکلت‌سواران ۱. فصلنامه علمی راهور، ۱۴۰۰(۳۷)، ۳۵-۹.

-Ahmed Hossain, Xiaoduan Sun, Raju Thapa, Md. Mahmud Hossain, Subasish Das, (2023). Exploring association of contributing factors to pedestrian fatal and severe injury crashes under dark-no-streetlight condition, *IATSS Research*, Vol. 47, Issue 2, 214-224. doi.org/10.1016/j.iatssr.2023.03.002.

-شیخ‌فرد، عباس و حقیقی، فرشیدرضا. (۱۳۹۷). تحلیل عوامل بالقوه مؤثر در احتمال برخورد وسیله نقلیه با عابران پیاده در محیط شهری. فصلنامه علمی راهور، ۱۳۹۷(۲۴)، ۱۹۸-۱۷۹.

-صفاغزاده، محمود، بروجردیان، امین میرزا و صاحبی، سینا (۱۳۹۳). ارائه مدل پیش‌بینی شدت جراحت ناشی از تصادفات موتورسواران در راه‌های برون شهری. فصلنامه علمی راهور، ۱۳۹۰(۱۱)، ۱۶۱-۱۳۹.

- injury severity level in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1033-1054.
- Global Status Report on Road Safety (2018). World Health Organization, Paris.
- Jang, K., Park, S. H., Kang, S., Song, K. H., Kang, S., & Chung, S. (2013). Evaluation of pedestrian safety: Pedestrian crash hot spots and risk factors for injury severity. *Transportation Research Record*, 2393(1), 104-116.
- Junhua Wang, Hao Song, Ting Fu, Molly Behan, Lei Jie, Yingxian He, Qiangqiang Shangguan (2022). Crash prediction for freeway work zones in real time: A comparison between Convolutional Neural Network and Binary Logistic Regression model, *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol. 11, Issue 3, 484-495. doi.org/10.1016/j.ijst.2021.06.002
- Kaplan, S., Vavatsoulas, K., & Prato, C. G. (2014). Aggravating and mitigating factors associated with cyclist injury severity in Denmark. *Journal of Safety Research*, 50, 75-82.
- Khayesi, M. (2020). Vulnerable road users or vulnerable transport planning? *Frontiers in Sustainable Cities*, 2, 25
- Kunnawee Kanitpong, Auearree Jensupakarn, Pathumporn Dabsomsri, Kannika Issalakul, (2024). Characteristics of motorcycle crashes in Thailand and factors affecting crash severity: Evidence from in-depth crash investigation, *Transportation Engineering*, Vol. 16, 2024, 100227, doi.org/10.1016/j.treng.2024.100227
- Luciano Lalika, Angela E. Kitali, Henrick J. Haule, Emmanuel Kidando, Thobias Sando, Priyanka Alluri. (2022). What are the leading causes of fatal and severe injury crashes involving older pedestrian? Evidence from Bayesian network model, *Journal of Safety Research*, Vol.80, 281-292. doi.org/10.1016/j.jsr.2021.12.011
- Mabunda, M. M., Swart, L. A., & Seedat, M. (2008). Magnitude and categories of pedestrian fatalities in South Africa. *Accident Analysis & Prevention*, 40, 586-593.
- Manan, M. M. A., Várhelyi, A., Çelik, A. K., & Hashim, H. H. (2018). Road characteristics and environment factors associated with motorcycle fatal crashes in Malaysia. *IATSS Research*, 42(4), 207-220.
- Mohamed, M. G., Saunier, N., Miranda-Moreno, L. F., & Ukkusuri, S. V. (2013). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian-vehicle crashes in New York, US -Aldred, R., García-Herrero, S., Anaya, E., Herrera, S., & Mariscal, M. Á. (2020). Cyclist injury severity in Spain: a Bayesian analysis of police road injury data focusing on involved vehicles and route environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 96.
- Aldred, R., Goodman, A., Gulliver, J., & Woodcock, J. (2018). Cycling injury risk in London: A case-control study exploring the impact of cycle volumes, motor vehicle volumes, and road characteristics including speed limits. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 75-84.
- Amoh-Gyimah, R., Saberi, M., & Sarvi, M. (2016). Macroscopic modeling of pedestrian and bicycle crashes: A cross-comparison of estimation methods. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 147-159.
- Aziz, H. A., Ukkusuri, S. V., & Hasan, S. (2013). Exploring the determinants of pedestrian-vehicle crash severity in New York City. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1298-1309.
- Bíl, M., Bílová, M., & Müller, I. (2010). Critical factors in fatal collisions of adult cyclists with automobiles. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1632-1636.
- Boufous, S., de Rome, L., Senserrick, T., & Ivers, R. (2012). Risk factors for severe injury in cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 404-409.
- Chang, D. (2008). National pedestrian crash report. Washington: National Center for Statistics and Analysis, National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation.
- Chang, L. Y., & Wang, H. W. (2006). Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 1019-1027.
- Chenzhu Wang, Mohamed Abdel-Aty, Said M Easa, Fei Chen, Jianchuan Cheng, Arshad Jamal, (2024). Evaluating helmet-wearing of single-vehicle overspeeding motorcycle crashes: Insights from temporal instability in parsimonious pooled framework, *Traffic Injury Prevention*, Vol. 25, Issue 4, 2024, 623-630, doi.org/10.1080/15389588.2024.2331644
- Eluru, N., Bhat, C. R., & Hensher, D. A. (2008). A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist

- Transportation Science and Technology*, Vol. 11, Issue 4, 738-751, ISSN 2046-0430. doi.org/10.1016/j.ijst.2021.10.001
- Sivasankaran, S. K., & Balasubramanian, V. (2020). Exploring the severity of bicycle-vehicle crashes using latent class clustering approach in India. *Journal of Safety Research*, 72, 127-138.
- Sourav De, SandipDey, Surbhi Bhatia, Siddhartha BhattacharyyaChapter. (2022). An introduction to data mining in social networks, Hybrid Computational Intelligence for Pattern Analysis, Advanced Data Mining Tools and Methods for Social Computing, Academic Press, 1-25. ISBN 9780323857086. doi.org/10.1016/B978-0-32-385708-6.00008-4
- Sun, M., Sun, X., & Shan, D. (2019). Pedestrian crash analysis with latent class clustering method. *Accident Analysis & Prevention*, 124, 50-57.
- Sze, N. N., & Wong, S. C. (2007). Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1267-1278.
- Tay, R., Choi, J., Kattan, L., & Khan, A. (2011). A multinomial logit model of pedestrian-vehicle crash severity. *International Journal of Sustainable Transportation*, 5(4), 233-249.
- Tulu, G. S., Washington, S., Haque, M. M., & King, M. J. (2017). Injury severity of pedestrians involved in road traffic crashes in Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Transportation Safety & Security*, 9(sup1), 47-66.
- Wall, S. P., Lee, D. C., Frangos, S. G., Sethi, M., Heyer, J. H., Ayoung-Chee, P., & DiMaggio, C. J. (2016). The effect of sharrows, painted bicycle lanes and physically protected paths on the severity of bicycle injuries caused by motor vehicles. *Safety*, 2(4), 26.
- Wang, C., Lu, L., & Lu, J. (2015). Statistical analysis of bicyclists' injury severity at unsignalized intersections. *Traffic Injury Prevention*, 16(5), 507-512.
- Wang, J., Huang, H., Xu, P., Xie, S., & Wong, S. C. (2020). Random parameter probit models to analyze pedestrian red-light violations and injury severity in pedestrian-motor vehicle crashes at signalized crossings. *Journal of Transportation Safety & Security*, 12(6), 818-837.
- Waseem, M., Ahmed, A., & Saeed, T. U. (2019). Factors affecting motorcyclists' injury and Montreal, Canada. *Safety Science*, 54, 27-37.
- Moore, D. N., Schneider IV, W. H., Savolainen, P. T., & Farzaneh, M. (2011). Mixed logit analysis of bicyclist injury severity resulting from motor vehicle crashes at intersection and non-intersection locations. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 621-630.
- Morrison, C. N., Thompson, J., Kondo, M. C., & Beck, B. (2019). On-road bicycle lane types, roadway characteristics, and risks for bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 123-131.
- Oikawa, S., Matsui, Y., Doi, T., & Sakurai, T. (2016). Relation between vehicle travel velocity and pedestrian injury risk in different age groups for the design of a pedestrian detection system. *Safety Science*, 82, 361-367.
- Pei-Fen Kuo, Umroh Dian Sulistyah, I Gede Brawiswa Putra, Dominique Lord. (2023). Exploring the spatial relationship of e-bike and motorcycle crashes: Implications for risk reduction, *Journal of Safety Research*, Vol. 88, 199-216, doi.org/10.1016/j.jsr.2023.11.007
- Persaud, N., Coleman, E., Zwolakowski, D., Lauwers, B., & Cass, D. (2012). Nonuse of bicycle helmets and risk of fatal head injury: a proportional mortality, case-control study. *Cmaj*, 184(17), E921-E923.
- Salum, J. H., Kitali, A. E., Bwire, H., Sando, T., & Alluri, P. (2019). Severity of motorcycle crashes in Dar es Salaam, Tanzania. *Traffic Injury Prevention*, 20(2), 189-195.
- Sarkar, S., Tay, R., & Hunt, J. D. (2011). Logistic regression model of risk of fatality in vehicle-pedestrian crashes on national highways in Bangladesh. *Transportation Research Record*, 2264(1), 128-137.
- Senserrick, T., Boafous, S. D., Rome, L., Ivers, R., & Stevenson, M. (2014). Detailed analysis of pedestrian casualty collisions in Victoria, Australia. *Traffic Injury Prevention*, 15, 197-205.
- Seyed Alireza Samerei, Kayvan Aghabayk, Nirajan Shiwakoti, Amin Mohammadi (2021). Using latent class clustering and binary logistic regression to model Australian cyclist injury severity in motor vehicle-bicycle crashes, *Journal of Safety Research*, Vol. 79, 246-256. doi.org/10.1016/j.jsr.2021.09.005
- Shaojie Liu, Yang Li, Wei, David, Fan, (2022). Mixed logit model based diagnostic analysis of bicycle-vehicle crashes at daytime and nighttime, *International Journal of*

-Yan, X., Ma, M., Huang, H., Abdel-Aty, M., & Wu, C. (2011). Motor vehicle–bicycle crashes in Beijing: Irregular maneuvers, crash patterns, and injury severity. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1751-1758.

-Zhai, X., Huang, H., Sze, N. N., Song, Z., & KwongHon, K. (2019). Diagnostic analysis of the effects of weather condition on pedestrian crash severity. *Accident Analysis & Prevention*, 122, 318–324.

severities: An empirical assessment using random parameters logit model with heterogeneity in means and variances. *Accident Analysis and Prevention*, 123, 12–19.

-Wu, C., Yao, L., & Zhang, K. (2012). The red-light running behavior of electric bike riders and cyclists at urban intersections in China: an observational study. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 186-192.

Traffic Crash Analysis and Evaluation Using Association Rules Mining among Vulnerable Users in Urban Streets

Navid Nadimi, Associate Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Seyed Saber Naser Alavi, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Vahid Khalife, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.

Mehdi Aminian, M.Sc., Grad., Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

E-mail: navidnadimi@uk.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

In urban streets, severe traffic crashes mostly relate to vulnerable users such as pedestrians, and cyclists. Because of not being protected like vehicles for their occupants, the severity of such crashes is high. Now, in the world sustainable transportation (walking and bicycle) is highlighted, thus it is important to regard the safety of this group of users more. For this purpose, it is necessary to gain an insight from previous crashes of vulnerable users. Therefore it is possible to propose countermeasures to reduce the crashes and prevent future incidents. In this paper, association rules s used as a machine learning method to find the frequent patterns and rules in the crashes of pedestrians, and cyclists. Tehran (capital of Iran) as a city with high frequency of fatal crashes in the period of 2020 to 2021 is selected as the case study. The results indicated that most fatal crashes among vulnerable road users relate to pedestrians and motorcycles (43 and 42 percent). Most of those who died in pedestrian crashes were foreigners, homeless, and municipal workers (support 0.926). Most of the injuries related to the crash of vehicles with motorcycles (support 0.661). In injury crashes of motorcycles, road and environment factors did not have a great role. Nevertheless, human factor in the form of non-necessary agility and acceleration was an effective variable (support 0.661). Engineering, education, regulation and enforcement can be the most effective countermeasures to reduce the severe crashes among vulnerable road users in Tehran.

Keywords: Vulnerable Users, Crash, Association Rule, Safety, Sustainable Transportation