تجزیه و تحلیل نقش زیرساخت‌های عابران پیاده در تصادفات عابران پیاده در شهر اصفهان با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

مقاله علمی – پژوهشی

رسول ذبیحیان، گروه مهندسی عمران، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران

*__محمدرضا احدی (نویسنده مسئول)__، پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

علی نادران، دانشکده عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*__پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.ahadi@bhrc.ac.ir__

دریافت:۱۴۰۵/۰۳/۲- پذیرش:۱۴۰۵/۰۸/۰۵

صفحه ۵۴۸-۵۳۵

چکیده

این مطالعه به بررسی تأثیر زیرساخت‌های عابران پیاده بر تصادفات عابران پیاده در شهر اصفهان می‌پردازد و نشان می‌دهد که عرض پیاده‌رو بیشترین تأثیر را بر ایمنی عابران دارد .افزایش عرض پیاده‌رو فضای بیشتری برای حرکت عابران فراهم می‌کند و احتمال وقوع تصادف را کاهش می‌دهد .در مقابل، پیاده‌روهای باریک باعث ازدحام عابران و وسایل نقلیه می‌شوند و خطر تصادف را افزایش می‌دهند. علاوه بر عرض پیاده‌رو، عواملی مانند فاصله پارکینگ‌ها از پیاده‌رو، محدودیت سرعت، کیفیت پیاده‌رو، تعداد ایستگاه‌های اتوبوس، تقاطع‌ها و خطوط عابر پیاده نیز بررسی شدند. اگرچه این عوامل نیز بر تصادفات تأثیر دارند، اما تحلیل‌ها نشان می‌دهد که عرض پیاده‌رو تأثیر بیشتری نسبت به سایر عوامل دارد. این یافته‌ها اهمیت طراحی مناسب پیاده‌روها را در کاهش تصادفات و افزایش ایمنی عابران تأکید می‌کند. بر اساس این نتایج، یکی از اولویت‌های اصلی در برنامه‌ریزی شهری و بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل باید گسترش و بهبود کیفیت پیاده‌روها باشد .این اقدام نه تنها به کاهش تصادفات عابران کمک می‌کند، بلکه کیفیت کلی زندگی شهری را نیز بهبود می‌بخشد .بنابراین، برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیرندگان باید توجه ویژه‌ای به طراحی و بهبود پیاده‌روها داشته باشند. در این مطالعه، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل تأثیر عناصر مختلف زیرساختی بر تصادفات عابران پیاده در اصفهان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. نتایج نشان داد که عرض پیاده‌رو با تأثیر ٪۳۵ بر تصادفات عابران پیاده، مهم‌ترین متغیر است و پس از آن محدودیت سرعت، فاصله پارکینگ، کیفیت پیاده‌رو و خطوط عابر پیاده قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: زیرساخت عابران پیاده، عرض پیاده‌رو، تصادفات عابران پیاده، یادگیری ماشین، برنامه‌ریزی شهری، MATLAB، اصفهان

۱-مقدمه

عابران پیاده به‌عنوان کاربران آسیب‌پذیر جاده‌ای شناخته می‌شوند و در تصادفات ترافیکی بیشترین آسیب را متحمل می‌شوند. در مقایسه با سرنشینان یا رانندگان وسایل نقلیه، عابران پیاده مستقیماً در معرض برخورد با وسایل نقلیه قرار دارند و این امر منجر به نرخ بالای جراحات و تلفات در میان آن‌ها می‌شود. در سال ۲۰۱۷، در ایران ۲۳۲۵ عابر پیاده جان خود را از دست دادند و ۳۲۵۰۰ نفر زخمی شدند، که نرخ مرگ‌ومیر ۱,۳۲ در هر ۱۰۰،۰۰۰ نفر را نشان می‌دهد. در سطح جهانی، عابران پیاده حدود ٪۲۲ از کل تلفات جاده‌ای را تشکیل

می‌دهند، اما این نسبت در کشورهای با درآمد پایین تا ٤٥٪ افزایش می‌یابد. در ایران، بین سال‌های ۲۰۰٦ تا ۲۰۱۰، ۲۹۰۰٥٤ عابر پیاده در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست دادند که تقریباً ۲٤,۲٪ از کل تلفات ترافیکی را شامل می‌شود. عوامل متعددی در وقوع تصادفات عابران پیاده نقش دارند، از جمله رفتار رانندگان، طراحی جاده‌ها، و شرایط محیطی. با این حال، زیرساخت‌های عابران پیاده، مانند عرض پیاده‌رو، کیفیت سطح پیاده‌رو، و فاصله از پارکینگ‌ها، تأثیر بسزایی در ایمنی عابران دارند. هدف این مطالعه، تحلیل رابطه بین تصادفات عابران پیاده و متغیرهای فیزیکی محیطی، به‌ویژه زیرساخت‌های عابران پیاده، با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شهر اصفهان است.

متغیرهای مورد بررسی شامل کاربری زمین، تراکم ساختمانی، شبکه‌های جاده‌ای، دسترسی به مشاغل، زیرساخت‌های عابران پیاده، دسترسی به حمل‌ونقل، و جمعیت هستند. فرآیند تحقیق شامل دو مرحله است: در مرحله اول، با استفاده از روش‌های یادگیری نظارت‌شده، تأثیر متغیرهای فیزیکی محیطی بر تصادفات عابران پیاده تحلیل می‌شود. در مرحله دوم، با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری بدون نظارت، الگوها و روابط پنهان بین این متغیرها و تصادفات شناسایی می‌شوند. این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به ارائه بینش‌های جدیدی در زمینه ایمنی عابران پیاده و بهبود زیرساخت‌های شهری می‌پردازد. نتایج حاصل می‌تواند راهنمایی برای برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیرندگان در جهت کاهش تصادفات و ارتقای کیفیت زندگی شهری باشد.

۲-پیشینه تحقیق

تحقیقات متعددی به بررسی نقش زیرساخت‌های عابران پیاده در تصادفات پرداخته‌اند. در ادامه، به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود:کامبوزیا و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی شدت تصادفات عابران پیاده در جاده‌های روستایی استان گیلان پرداختند. آن‌ها از داده‌های تصادفات بین سال‌های ۲۰۱٤ تا ۲۰۱۹ استفاده کرده و ۱۱ متغیر مستقل مؤثر بر شدت تصادفات را مورد تحلیل قرار دادند. روش‌های آماری مانند تحلیل فراوانی، آزمون فریدمن، تحلیل عاملی و مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون لجستیک چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی (MLP) و (RBF) به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که هر روش با توجه به عملکرد خود، شدت تصادفات را از دیدگاه‌های مختلف بررسی کرده و نتایج متفاوتی ارائه داده است. ترکیب نتایج خروجی‌ها می‌تواند به پیشنهاد بهترین اقدامات برای افزایش ایمنی عابران پیاده در جاده‌های روستایی گیلان منجر شود. مئوتسی و همکاران (۲۰۲۱) مدل جدیدی برای پیش‌بینی تصادفات عابران پیاده با هدف بهبود ارزیابی‌های ایمنی ارائه کردند. این مدل با استفاده از داده‌های تصادفات منجر به فوت و جراحت در ایتالیا طی یک دوره۵ ساله توسعه یافت. روش گرادیان بوستینگ به دلیل انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی روابط غیرخطی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که این مدل قادر است مکان‌هایی با ریسک بالا، متوسط و پایین را به‌دقت شناسایی کند و ابزار قابل اعتمادی برای تحلیل تصادفات عابران پیاده فراهم آورد. تائو و همکاران (۲۰۲۲) از شبکه عصبی بیزی برای پیش‌بینی مرگ‌ومیر عابران پیاده در تصادفات جاده‌ای در استرالیا استفاده کردند. این مدل با ترکیب نظریه بیز و شبکه‌های عصبی، عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها را در نظر می‌گیرد. ساختار بهینه مدل شامل سه لایه پنهان با ١٦ گره در لایه اول و ۸ گره در لایه‌های دوم و سوم بود. عملکرد این مدل با سایر تکنیک‌های یادگیری ماشین مقایسه شد و نتایج نشان داد که شبکه عصبی بیزی عملکرد بهتری در پیش‌بینی مرگ‌ومیر عابران پیاده دارد. چانگ و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی رابطه غیرخطی بین عوامل فیزیکی محیطی و مرگ‌ومیر عابران پیاده در کره جنوبی پرداختند. آن‌ها از الگوریتم XGBoost برای طبقه‌بندی مکان‌های با تصادفات مرگبار و بدون تصادف استفاده کردند.

۱۵ ویژگی مرتبط با شرایط جاده، امکانات جاده‌ای، شبکه‌های جاده‌ای و کاربری زمین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیای به مکان‌ها اختصاص یافت. برای تفسیر نتایج مدل، از SHAP استفاده شد که نشان داد روابط بین ویژگی‌ها و مرگ‌ومیر عابران پیاده غیرخطی و

محلی هستند. این مطالعه تأکید کرد که بخش‌هایی از جاده که در مسیرهای پرتردد در مناطق مسکونی متراکم قرار دارند، نقاط بالقوه برای تصادفات مرگبار عابران پیاده هستند. این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل و پیش‌بینی تصادفات عابران پیاده فراهم آورد. درک بهتر از عوامل مؤثر بر ایمنی عابران پیاده می‌تواند به توسعه سیاست‌ها و طراحی‌های شهری مؤثرتر برای کاهش تصادفات و بهبود ایمنی منجر شود.

۳-روش‌شناسی

شهر اصفهان، به‌عنوان یکی از مراکز پرجمعیت و پرتردد کشور، به‌دلیل نرخ بالای تصادفات شهری، به‌عنوان مطالعه موردی این پژوهش انتخاب شده است. هدف اصلی این تحقیق، تحلیل نقش زیرساخت‌های عابران پیاده در بروز تصادفات شهری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است.

۳-۱-محدوده و داده‌های پژوهش

در این مطالعه، تمامی تصادفات عابران پیاده در معابر شهری اصفهان که در سال ۲۰۲۲ توسط پلیس راهور ثبت شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات جغرافیایی تصادفات از سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ است که توسط پلیس راهور و اداره حمل‌ونقل و ترافیک شهری اصفهان فراهم شده‌اند. همچنین، اطلاعات مربوط به کاربری اراضی توسط اداره کل شهرسازی اصفهان تأمین شده است.

۳-۲-متغیرهای زیرساختی مورد بررسی

متغیرهای زیرساختی مورد تحلیل در این پژوهش عبارتند از:

-عرض پیاده‌رو

-کیفیت سطح پیاده‌رو

-فاصله پارکینگ‌ها تا پیاده‌رو

-تعداد خطوط عابر پیاده

-تعداد تقاطع‌ها

-تعداد ایستگاه‌های اتوبوس

-محدودیت‌های سرعت

این متغیرها با استفاده از داده‌های مکانی و شهری جمع‌آوری و در مدل‌های یادگیری ماشین مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳-۳-روش‌های یادگیری ماشین

برای تحلیل داده‌ها، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در محیط نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. روش‌های به‌کاررفته شامل:

-یادگیری نظارت‌شده : برای پیش‌بینی احتمال وقوع تصادف بر اساس ویژگی‌های زیرساختی.

-یادگیری بدون نظارت: برای شناسایی الگوهای پنهان و خوشه‌بندی مناطق با ریسک بالای تصادف.

این رویکرد ترکیبی امکان تحلیل جامع‌تری از تأثیر زیرساخت‌های عابران پیاده بر تصادفات را فراهم می‌کند.

۳-٤- اهمیت تحلیل زیرساخت‌های عابران پیاده

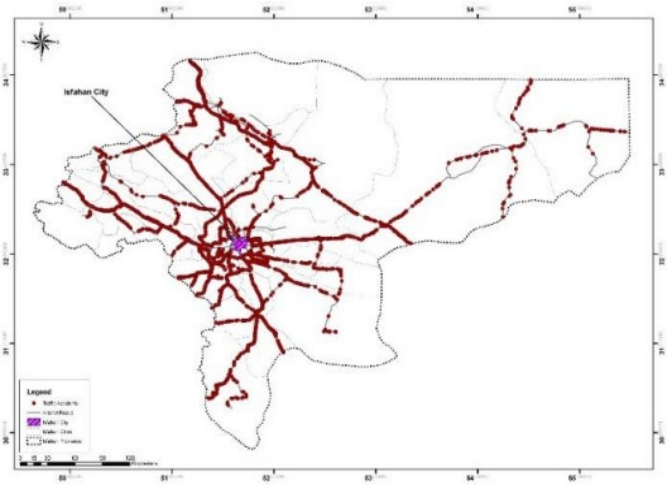
در حالی که بسیاری از مطالعات پیشین بر عوامل اجتماعی و اقلیمی مؤثر بر تصادفات تمرکز داشته‌اند، این پژوهش با تمرکز بر ویژگی‌های فیزیکی محیطی، به‌ویژه زیرساخت‌های عابران پیاده، سعی در پر کردن خلأ موجود در ادبیات تحقیق دارد .استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در این زمینه، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر و ارائه راهکارهای مؤثرتر برای بهبود ایمنی عابران پیاده را فراهم می‌سازد.

۳-۵-قابلیت تعمیم نتایج

اگرچه این مطالعه بر شهر اصفهان متمرکز است، اما روش‌شناسی به‌کاررفته و یافته‌های حاصل از آن می‌توانند به‌عنوان الگویی برای سایر شهرهای ایران مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به شباهت‌های ساختاری و زیرساختی در بسیاری از شهرهای کشور، نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های شهری و ارتقاء ایمنی عابران پیاده در سطح ملی مؤثر باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در اصفهان



شکل ۲. توزیع مکانی تصادفات ترافیکی در منطقه مورد مطالعه

۳-۶-جریان ترافیک و موقعیت مناطق ترافیکی در شهر اصفهان

اصفهان یکی از شهرهای مهم ایران، مرکز استان اصفهان و همچنین مرکز شهرستان اصفهان است. این شهر در دشتی هموار و در ارتفاع ۱۵۷۰ متری از سطح دریا واقع شده است. مرز محدوده ترافیکی در شهر اصفهان از شمال به خیابان مسجد سید و خیابان عبدالرزاق می‌رسد. از سمت شرق شامل خیابان حافظ، خیابان نشاط و خیابان چهارباغ خواجو می‌شود. در جنوب، این محدوده تا خیابان کمال‌الدین اسماعیل و خیابان مطهری ادامه دارد؛ و در سمت غرب، خیابان دکتر بهشتی و خیابان کاشانی حد مرزی منطقه ترافیکی هستند.

بنابراین، برخی از خیابان‌هایی که در محدوده ترافیکی شهر اصفهان قرار دارند، عبارتند از: خیابان منوچهری، خیابان شهید موحدیان، خیابان فلسطین، خیابان فرشادی، خیابان بهشتی‌خواه، بلوار استاندارد، خیابان هشت‌بهشت، خیابان فردوسی، میدان فلسطین، خیابان سید علی‌خان، خیابان آمادگاه، خیابان باغ گلدسته، خیابان سپاه، میدان امام حسین، تقاطع قصر، خیابان شیخ بهایی، خیابان آیت‌الله شمس‌آبادی، خیابان عباس‌آباد، خیابان ابوذر، خیابان خواجه، خیابان اردیبهشت، خیابان آیت‌الله طالقانی، خیابان میرداماد، خیابان آیت‌الله زاهد، خیابان آیت‌الله طیب، چهارباغ پایین، خیابان مسجد حکیم و خیابان حافظ.

۳-۷-جامعه آماری، حجم نمونه

نمونه آماری این مطالعه، تعداد تصادفات عابر پیاده در خیابان‌های شهر اصفهان در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ است. در تحلیل توزیع مکانی تصادفات، از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای تعداد تصادفات در خیابان‌های شهری بر اساس قطعات جاده‌ای در اصفهان نیز استفاده شده است.

۳-۸-روش نمونه‌گیری

روش نمونه‌گیری تصادفات عابر پیاده در خیابان‌های شهری به صورت سرشماری (انتخاب کل جامعه آماری) در شهر اصفهان انجام شده است. داده‌های این مطالعه از اطلاعات مکانی تصادفات خیابان‌های شهری اصفهان در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲ استخراج شده‌اند که توسط پلیس راهور از طریق معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری اصفهان گزارش شده‌اند.

۳-۹-رگرسیون پرسپترون چندلایه

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) سیستم‌های محاسباتی الهام‌گرفته از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی در مغز انسان هستند. این سیستم‌ها برای یادگیری و انجام وظایف بدون نیاز به برنامه‌نویسی صریح طراحی شده‌اند و با استفاده از نمونه‌ها آموزش می‌بینند و قادر به انجام عملیات مشابه با سیستم عصبی طبیعی هستند.

در واقع، شبکه‌های عصبی مصنوعی از واحدهای متصل به‌هم به نام نورون‌های مصنوعی تشکیل شده‌اند که رفتار نورون‌های مغز بیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کنند. این نورون‌های مصنوعی از طریق پیوندهایی متصل شده‌اند که عملکردی مشابه سیناپس‌های بیولوژیکی دارند و امکان انتقال اطلاعات بین نورون‌ها را فراهم می‌کنند.

در یک شبکه عصبی مصنوعی، هر نورون سیگنال‌های ورودی را دریافت کرده و با استفاده از یک تابع فعال‌سازی خاص آن‌ها را پردازش می‌کند. سیگنال پردازش‌شده سپس به نورون‌های متصل منتقل می‌شود و جریان اطلاعات در سراسر شبکه ادامه می‌یابد. این ساختار متصل به هم، امکان یادگیری مبتنی بر الگوها و روابط موجود در داده‌ها و انجام پیش‌بینی را برای شبکه فراهم می‌کند.

اتصالات بین نورون‌های مصنوعی در یک شبکه به‌عنوان لبه شناخته می‌شوند. هر لبه دارای یک وزن است که میزان قدرت اتصال بین نورون‌های مربوطه را تعیین می‌کند. در طی فرآیند یادگیری، این وزن‌ها به منظور بهینه‌سازی عملکرد شبکه تنظیم می‌شوند. تغییرات در وزن‌ها باعث افزایش یا کاهش قدرت سیگنال در هر اتصال می‌شود.

نورون‌های مصنوعی معمولاً در لایه‌هایی سازماندهی می‌شوند. لایه ورودی داده‌های خام یا ویژگی‌های خارجی را دریافت می‌کند، لایه‌های پنهان بعدی این ورودی‌ها را پردازش و تبدیل می‌کنند و در نهایت، لایه خروجی پیش‌بینی یا خروجی نهایی شبکه را تولید می‌کند. در شکل ۲ که یک شبکه عصبی مصنوعی را به‌صورت نمادین نشان می‌دهد، دایره‌ها نورون‌های موجود در سه لایه ورودی، پنهان و خروجی را نمایش می‌دهند. لایه ورودی با X و لایه خروجی با Y نشان داده شده است [۲۴-۲۵].

یکی از رایج‌ترین مدل‌های شبکه عصبی پیش‌خور، پرسپترون چندلایه (MLP) است. به‌جز لایه ورودی، سایر لایه‌ها از نورون‌هایی با توابع فعال‌سازی غیرخطی تشکیل شده‌اند. درMLP، فرآیند یادگیری معمولاً با استفاده از تکنیک یادگیری نظارت‌شده‌ای به نام پس‌انتشار خطا انجام می‌شود. این تکنیک به شبکه امکان می‌دهد که پارامترهای خود را به‌صورت تکراری تنظیم کند تا خطای بین پیش‌بینی‌ها و خروجی‌های مورد انتظار را کاهش دهد.

یکی از مزایای مهم شبکه MLP توانایی آن در تقریب سیستم‌های غیرخطی پیوسته است. حتی با یک لایه پنهان و یک تابع فعال‌سازی محدود، این شبکه می‌تواند روابط و الگوهای پیچیده موجود در داده‌ها را به‌خوبی تقریب بزند .

مدل‌های رگرسیون برای بررسی روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل بسیار مناسب هستند، به‌ویژه در شرایطی که حجم نمونه کوچک باشد و از روش برازش کمترین مربعات استفاده شود. با این حال، باید توجه داشت که

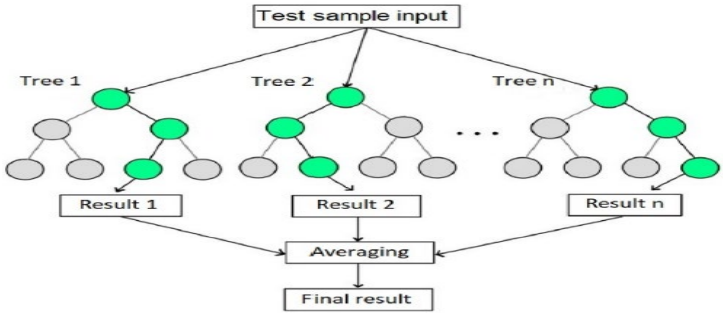
مدل‌های رگرسیون مبتنی بر فرضیاتی از جمله استقلال مؤلفه‌های متغیرها هستند که ممکن است در شرایط واقعی برقرار نباشد.

در شبکه‌هایMLP، رگرسیون به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که ضریب همبستگی چندگانه (R) به حداکثر مقدار خود برسد و همزمان انحراف معیار به حداقل ممکن برسد. با بهینه‌سازی این معیارها، مدل MLP می‌تواند متغیرهای معنادار آماری را در سیستم شناسایی کند.

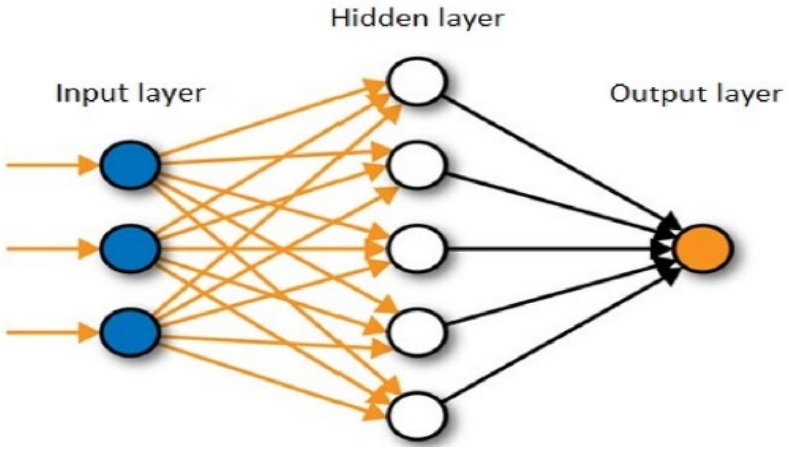
۳-۱۰-رگرسیون (XGBoost تقویت گرادیان افزایشی)

الگوریتم XGBoost یک تکنیک قدرتمند یادگیری ماشین است که عملکرد پیش‌بینی مدل‌های ضعیف (اغلب بر پایه درخت تصمیم) را بهبود می‌بخشد. این الگوریتم به عنوان یکی از برترین الگوریتم‌های یادگیری نظارت‌شده شناخته می‌شود.

الگوریتم XGBoost از یک روند کاری خاص پیروی می‌کند که شامل مراحل زیر است.



شکل ۳. مدل رگرسیون جنگل تصادفی



شکل ٤. مدل شبکه عصبی مصنوعی

۳-۱۱-ارزیابی

تا کنون روش‌های مختلفی برای تعیین اهمیت نسبی و سهم متغیرهای ورودی در خروجی مدل‌ها استفاده شده است. در این تحقیق، تحلیل حساسیت مبتنی بر ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین تأثیر متغیرهای ورودی بر متغیر وابسته به کار گرفته شده است. برای ارزیابی مدل‌ها از ضریب تعیین(R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده می‌شود، که در آن y_i مقدار واقعی، y'_i مقدار پیش‌بینی شده، $\bar{y}$ میانگین مقادیر واقعی، $\bar{y}'$ میانگین مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌های مورد بررسی است.

$$R^2 = R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{N}(y_i\prime-\bar{y})(y_i\prime-\overline{y\prime}))^2}{(\sum_{i=1}^{N}(y_i\prime-\bar{y})^2(y_i\prime-\overline{y\prime}))^2} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i\prime-\bar{y})^2}{N}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{(\sum_{i=1}^{N}(|y_i\prime-\overline{y\prime}|)}{N} \quad (۳)$$

٤-نتایج و بحث

در این مقاله، عوامل مختلف مؤثر بر تصادفات عابران پیاده بررسی شده است. این عوامل شامل مساحت شبکه‌های جاده‌ای، مساحت عرض پیاده‌روها، فاصله بین پارکینگ‌ها و مناطق عابرپیاده، محدودیت‌های سرعت وسایل نقلیه، کیفیت سطح پیاده‌رو، تعداد ایستگاه‌های اتوبوس، تعداد تقاطع‌ها و خطوط عبور عابرپیاده می‌باشند. هر یک از این متغیرها می‌توانند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر تعداد تصادفات تأثیرگذار باشند و درک اثرات آن‌ها برای طراحی و بهبود زیرساخت‌های شهری اهمیت فراوانی دارد. جدول زیر اطلاعات مربوط به این عوامل را خلاصه می‌کند.

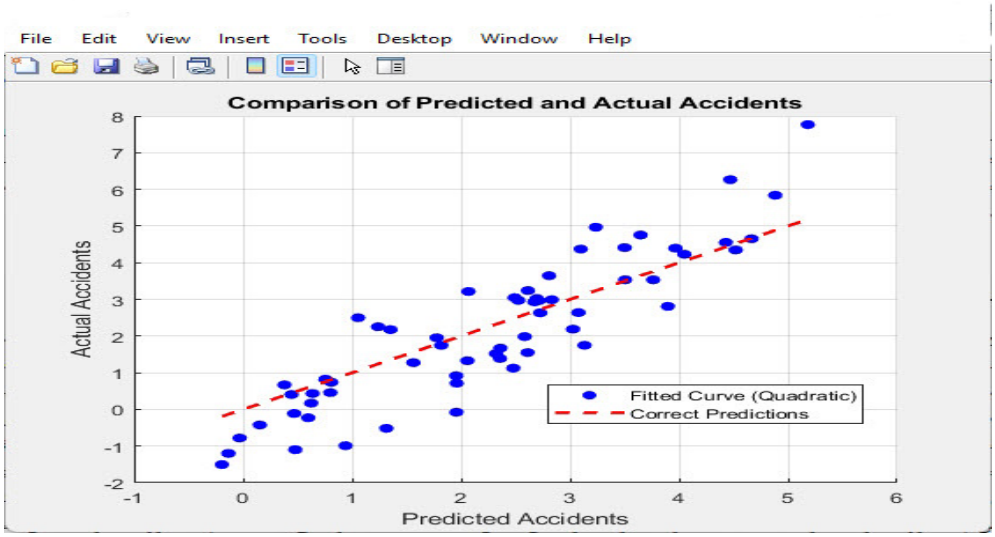
جدول ۱. خلاصه متغیرها

ردیف	مساحت شبکه خیابانی (متر مربع)	مساحت عرض پیاده‌رو (متر مربع)	فاصله بین پارکینگ‌ها و پیاده‌رو (متر)	سرعت مجاز خودرو (متر بر ثانیه)	کیفیت سطح پیاده‌رو	وجود گذرگاه عابر پیاده	تعداد ایستگاه‌های اتوبوس	تعداد تقاطع‌ها	لگاریتم جمعیت	عرض خیابان (متر)	تعداد خطوط	تعداد تصادفات
۱	۵۵۰۰	۲۵۸	۲۵	۱٤,۳	خوب	دارد	۱	٤	۸,۱	۵۵	۵	۹
۲	۵٦۰۰	۳۷۱	۱۹	۹,۱	متوسط	ندارد	۱	۵	۸,۲	۵٦	۵	۹
۳	۲۷۰۰	۳۹٤	۱۷	۱۰,۳	متوسط	ندارد	۱	٤	۹,۱	۲۷	۲	۹
٤	۵٦۰۰	۲۳۸	۱۵	۱۲,٦	عالی	دارد	۰	۲	۸,۷	۵٦	۵	٤
۵	۵۲۰۰	۲٤۷	۱۱	۹,۸	ضعیف	دارد	۰	۱	۹,٤	۵۲	۵	۱
٦	۳۲۰۰	۲۳۸	۱٦	۸,۲	خوب	ندارد	۰	٤	۸,۱	۳۲	۳	۱
۷	٦۰۰۰	۳۸۳	۲۰	۱٤	عالی	دارد	۰	۱	۷,۷	٦۰	٦	۵
۸	۵٦۰۰	۲۱۹	۲۷	۱۳	عالی	دارد	۱	٤	۸,٦	۵٦	۵	۹
۹	۳۱۰۰	۳۵٦	۲٤	۱۳	خوب	دارد	۱	۱	۸,۷	۳۱	۳	۲
۱۰	۵۷۰۰	۳٤۵	۲۹	۱٤,۸	متوسط	دارد	۱	۱	۷,٦	۵۷	۵	۰

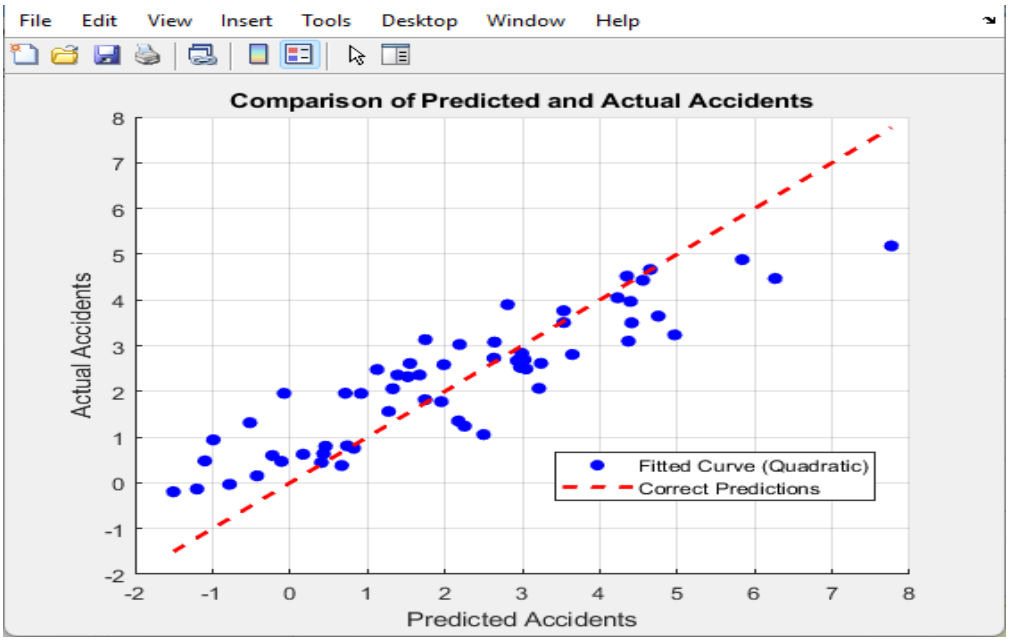
جدول ۲. نتایج سه مدل رگرسیونی

Model	R^2		ریشه میانگین مربعات خطا (ریشه خطای مربعی میانگین)		میانگین خطای مطلق	
	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	**آزمون**
رگرسیون جنگل تصادفی	۰,۸۵	۰,۸۳	۲,۲۲	۲,۷٦	۱,٤٤	۱,۷۰
رگرسیون پرسپترون چندلایه	۰,۸۰	۰,۷۹	۲,۷۸	۳,۳۵	۱,۸۳	۲,۱٤
رگرسیون بوستینگ گرادیان اکستریم (XGBoost)	۰,۸۳	۰,۷۷	۲,٦٦	۲,۳۵	۱,۷۷	۲,۱٦

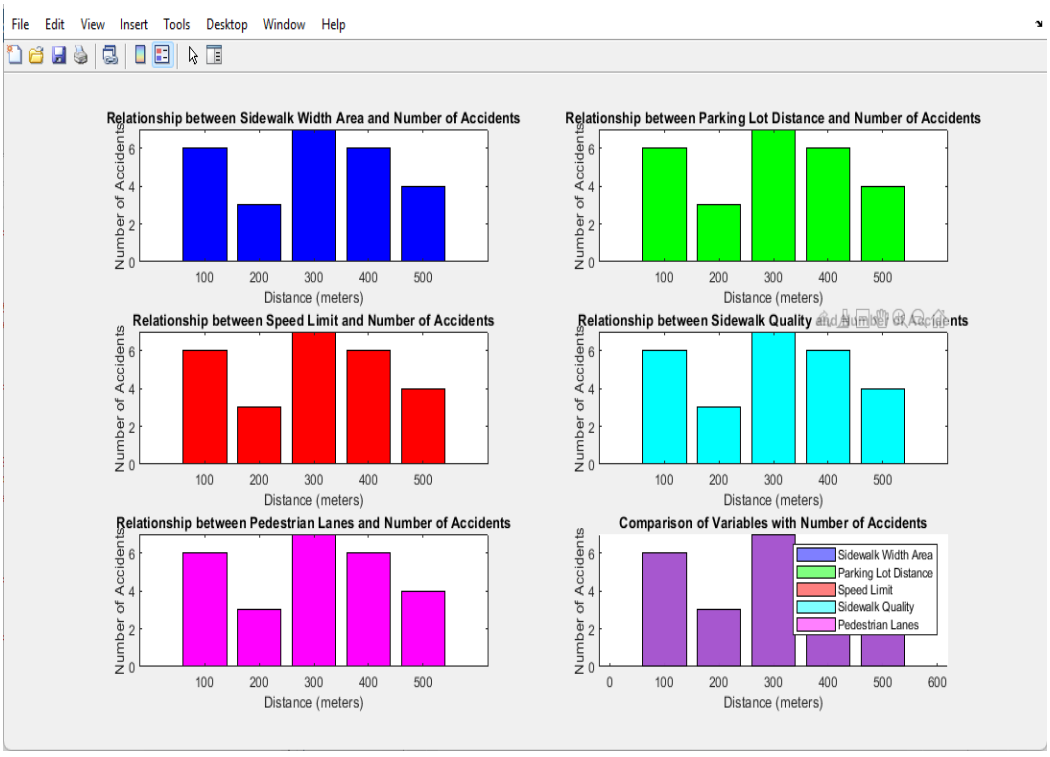
ورودی‌ها (ویژگی‌ها) و مقادیر هدف متناظر در حین آموزش مقایسه می‌شوند، به طوری که شبکه مقدارهای پیش‌بینی شده خود را با مقادیر واقعی هدف مقایسه کرده و با استفاده از الگوریتم نزول گرادیان وزن‌ها را تنظیم می‌کند تا اختلاف بین آن‌ها را به حداقل برساند. این فرآیند تکراری ادامه می‌یابد تا عملکرد شبکه بهینه شود. مدل شامل دو لایه مخفی است که هر کدام ۵۰ نورون دارند. همچنین، تابع فعال‌سازی ReLU (activation ='relu') برای وارد کردن غیرخطی بودن به مدل استفاده شده و حل‌کننده Adam (solver ='adam') برای بهینه‌سازی به کار رفته است. سایر پارامترها شامل آلفا(alpha = 0.001)، حداکثر تعداد تکرارها (max_iter = 500) و نرخ یادگیری (learning_rate = 0.001) نیز مشخص شده‌اند. مدل ساخته شده با مقدار R^2 برابر با ۷۹٪ روی داده‌های تست و ۸۰٪ روی داده‌های آموزش ارزیابی شده است. نمودار عملکرد مدل شبکه عصبی رگرسیون پرسپترون چندلایه در شکل ۵ نشان داده شده است. الگوریتم رگرسیون XGBoost با استفاده از کتابخانه xgboost در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است. این الگوریتم مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم را به کار می‌گیرد که هر درخت بعدی برای اصلاح خطاهای درخت قبلی آموزش داده می‌شود. این فرآیند تکراری با هدف کمینه کردن تابع زیان مشخصی انجام می‌شود که خطا بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی را اندازه‌گیری می‌کند. در فاز آموزش، چندین پارامتر تنظیم می‌شوند از جمله تعداد برآوردگرها یا تعداد دورهای بوستینگ (n_estimators = 100)، بذر تصادفی برای تکرارپذیری(random_state = 99)، نرخ یادگیری در هر دور بوستینگ (learning_rate = 0.1) و عمق حداکثر هر درخت (max_depth = 6) که پیچیدگی الگوها را تعیین می‌کند. مدل رگرسیون XGBoost ساخته شده با مقدار R2 برابر با ۷۷٪ روی داده‌های تست و ۸۳٪ روی داده‌های آموزش ارزیابی شده است و نمودار عملکرد مدل در شکل ۷ نشان داده شده است. طبق شکل ۸، اهمیت هر متغیر مستقل روی متغیر هدف نمایش داده شده است که تاثیر این متغیرها بر پیش‌بینی حوادث را نشان می‌دهد. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که استفاده از عرض پیاده‌رو تاثیر بیشتری بر تعداد حوادث دارد نسبت به کیفیت سطح پیاده‌رو.



شکل ۵. نمودار عملکرد مدل رگرسیون شبکه عصبی پرسپترون چندلایه(MLP)



شکل ٦. نمودار عملکرد مدل رگرسیونXGBoost



شکل ۷-الف: نمودار اول: رابطه بین مساحت عرض پیاده‌رو و تعداد تصادفات

ب: نمودار دوم: رابطه بین فاصله پارکینگ‌ها تا پیاده‌رو و تعداد تصادفات

ج: نمودار سوم: رابطه بین حداکثر سرعت و تعداد تصادفات

د: نمودار چهارم: رابطه بین کیفیت سطح پیاده‌رو و تعداد تصادفات

ه: نمودار پنجم: رابطه بین مسیر عبور عابران پیاده و تعداد تصادفات

و: نمودار نهایی: مقایسه همه متغیرها با تعداد تصادفات

۵-نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل نقش زیرساخت‌های عابران پیاده در تصادفات عابران در شهر اصفهان نشان‌دهنده اهمیت قابل توجه عرض پیاده‌رو در کاهش تصادفات عابران پیاده است. بر اساس تحلیل‌های انجام شده، متغیر عرض پیاده‌رو بیشترین تاثیر را در تعداد تصادفات عابران پیاده دارد. افزایش عرض پیاده‌رو می‌تواند فضای بیشتری برای حرکت عابران فراهم کند و در نهایت از وقوع تصادفات جلوگیری نماید. این نتیجه از آنجا حاصل شده است که پیاده‌روهای باریک باعث ایجاد تنگنا برای هر دو گروه عابران و خودروها می‌شوند و احتمال تصادف را افزایش می‌دهند. در این مقاله، عوامل دیگری مانند فاصله بین پارکینگ‌ها و پیاده‌روها، سرعت مجاز خودروها، کیفیت سطح پیاده‌رو، تعداد ایستگاه‌های اتوبوس، تعداد تقاطع‌ها و مسیرهای عابران پیاده نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هرچند این متغیرها نیز بر وقوع تصادفات تاثیر دارند، نتایج تحلیل نشان می‌دهد که عرض پیاده‌رو تاثیر بیشتری نسبت به سایر متغیرها دارد. این امر اهمیت طراحی مناسب پیاده‌روها را در کاهش تصادفات و افزایش ایمنی عابران پیاده برجسته می‌کند. با توجه به این یافته‌ها، به نظر می‌رسد یکی از اولویت‌های اصلی در برنامه‌ریزی شهری و بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل، افزایش عرض پیاده‌روها و بهبود کیفیت آن‌ها باشد. این امر نه تنها به کاهش تصادفات عابران کمک می‌کند بلکه کیفیت زندگی شهری را نیز ارتقاء می‌بخشد. بنابراین، تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان شهری باید هنگام طراحی و بهبود پیاده‌روها به این جنبه‌ها توجه ویژه‌ای داشته باشند.

-عرض پیاده‌رو: افزایش عرض پیاده‌رو منجر به افزایش ۳۵٪ در تعداد تصادفات می‌شود که نشان‌دهنده همبستگی مثبت قوی بین عرض پیاده‌رو و تعداد تصادفات است.-فاصله پارکینگ: افزایش فاصله بین پارکینگ‌ها و پیاده‌روها حدود ۱۰٪ تاثیر مثبت در افزایش تصادفات دارد، به طوری که در برخی موارد افزایش فاصله منجر به افزایش تا ۱۰٪ در تصادفات شده است.

-سرعت مجاز: افزایش سرعت حداکثر خودروها منجر به ۲۰٪ افزایش تصادفات می‌شود که نشان‌دهنده تاثیر مستقیم سرعت بالا در افزایش تصادفات است.

-کیفیت پیاده‌رو: کاهش کیفیت پیاده‌رو باعث افزایش حدود ۱۵٪ در تصادفات می‌شود که به دلیل اختلال در شرایط حرکت عابران است.

-مسیر عابر پیاده: وجود یا عدم وجود مسیرهای مشخص عابر پیاده تاثیر مثبت ۵٪ در کاهش تصادفات دارد، چرا که مسیرهای مشخص می‌توانند تا ۵٪ تصادفات را کاهش دهند.

-مقایسه نهایی: به طور کلی، بیشترین تاثیر مربوط به عرض پیاده‌رو است که تاثیر مستقیم ۳۵٪ بر تصادفات دارد. سایر متغیرها مانند سرعت، فاصله پارکینگ و کیفیت پیاده‌رو به ترتیب تاثیر کمتری با مقادیر ۲۰٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ دارند.

در پایان می‌توان گفت که برای کاهش تصادفات عابران پیاده باید توجه ویژه‌ای به افزایش عرض پیاده‌رو و بهبود کیفیت آن داشت، چرا که این دو متغیر بیشترین تاثیر را در کاهش تصادفات دارند.

٦- مراجع

- Ahmadzadeh Jokandan, N., Sheikh Fard, A., & Haghigi, F. R. (2022). Identifying potential risk factors for pedestrian accidents in Gilan province using structural equation modeling. *Traffic Engineering*, 88, 1-14.

- Amouzadeh Omrani, M., & Fadallah, M. R. (2023). Evaluation of factors affecting pedestrian accident severity on urban streets and proposing a model for predicting these accidents (Case study: City of Qazvin). *Jadid Road Journal*, 3, 83-102.

- Babić, D., Babić, D., Fiolić, M., & Ferko, M. (2021). Factors affecting pedestrian conspicuity at night: Analysis based on driver eye tracking. *Safety science,* 139, 105257.

- Bakhtiyari, M., Delpisheh, A., Monfared, A.B., Kazemi-Galougahi, M.H., Mehmandar, M.R,.

- Bao, J., Liu, P., & Ukkusuri, S. V. (2019). A spatiotemporal deep learning approach for citywide short-term crash risk prediction with multi-source data. *Accident Analysis & Prevention,* 122, 239-254.

- Lobo, A., Ferreira, S., Iglesias, I., & Couto, A. (2020). Daily and Latent Lagged Effects of Rainfall on Pedestrian–Vehicle Collisions. Weather, climate, and society, 12(2), 279-291.

- Ministry of Housing and Urban Development. (1996). Urban road design regulations - Section 10: Pedestrian paths.

-Mirzaei, B., Shad, R., & Mohammadzadeh Moghadam, A. (2022). Assessment of spatial distribution of pedestrian accidents among the elderly using GIS (Case study: City of Mashhad). *Traffic Engineering*, 89, 15-25.

- Moeinaddini, M., Asadi-Shekari, Z., Zaly Shah, M., (2014). The relationship between urban street.

-Mokhtarimousavi, S., Anderson, J. C., Azizinamini, A., & Hadi, M. (2020). Factors affecting injury severity in vehicle-pedestrian crashes: A day-of-week analysis using random parameter ordered response models and Artificial Neural Networks. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 9(2), 100-115.

- Najafi Moghaddam Gilani, V., Mohammadpour, H., & Hosseinian, M. (2021). Analysis and study of pedestrian accidents on rural roads connected to the city of Rasht and providing safety solutions to reduce traffic accidents. *Gilan Police Journal*, 39, 91-108.

-Noland, R.B., Oh, L., 2004. The effect of infrastructure and demographic change on traffic-related.

-Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., Geetha, N., 2011. Spatio-Temporal Clustering of Road Accidents: GIS Based Analysis and Assessment. Int. Conf. Spat. Think. Geogr. Inf. Sci . 2011 21 0, 317–325.

doi:10.1016/j.sbspro.2011.07.020

- Shahgholi, M. S., & Kargar, B. (2023). Spatial analysis of pedestrian accidents in District 5 of Isfahan city. *Geographical Journal of Sazeman*, 78, 21-39.

- Solai, M. (1993). Studies and analysis of vehicle accidents with pedestrians in urban areas. Master's thesis in Road and Transportation Engineering, Iran University of Science and Technology.

- Ulak, M. B., Kocatepe, A., Yazici, A., Ozguven, E. E., & Kumar, A. (2021). A stop safety index to address pedestrian safety around bus stops. *Safety Science,* 133, 105017.

- Brewster, S. E., Elliott, M. A., & Kelly, S. W. (2015). Evidence that implementation intentions reduce drivers' speeding behavior: testing a new intervention to change driver behavior. *Accident Analysis & Prevention,* 74, 229-242.

- D., 2006. Road traffic injury prevention training manual. *World Health Organization,* Geneva.

- Edrisi, A. (2002). Modeling factors affecting the severity and frequency of truck accidents on two-lane rural roads using logit models and neural networks. Master's thesis in Road and Transportation Engineering, Sharif University of Technology.

- Farsi Poor, H. (1999). Review of pedestrian safety status in the country. *Journal of Traffic News*, 1(3-4), 6-11.

- Huang, H., Zeng, Q., Pei, X., Wong, S. C., & Xu, P. (2016). Predicting crash frequency using an optimised radial basis function neural network model. *Transportmetrica A: Transport Science*, *12*(4), 330-345.

- Jadaan, K. S., Al-Fayyad, M., & Gammoh, H. F. (2014). Prediction of road traffic accidents in Jordan using artificial neural network (ANN). *Journal of Traffic and Logistics Engineering,* 2(2).

- Karami, A., Haji Hosseini, M., & Abbasi, M. H. (2018). Proposing a pedestrian accident prediction model at intersections in the city of Isfahan. Conference on Civil Engineering, *Architecture, and Urban Planning in the Islamic Countries.*

-Khalesdadian, H. (2018). Investigation of pedestrian accident factors and solutions for their reduction: A case study of the city of Ghorveh. *International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Development in Iran*.

- Khayyati Kivi, A. H., Barg Gol, I., & Hamedi, G. (2021). Evaluation of pedestrian accident severity on rural roads using cluster analysis. *8th National Conference on Sustainable Development in Civil Engineering*.

-Khosrowmehr, A., & Davoodi, S. R. (2017). Investigation and ranking of pedestrian accident causes and evaluation of appropriate solutions (Case study: City of Gorgan). *First National Conference on Road and Transportation Engineering*.

-Ki Manesh, M. R., & Zabihian, R. (2023). Evaluation of factors affecting pedestrian accidents in urban streets and proposing a model for predicting these accidents (Case study: City of Zanjan). *Transportation Research Journal*, 3, 171-190.

-Meocci, M., Branzi, V., Martini, G., Arrighi, R., & Petrizzo, I. (2021). A predictive pedestrian crash model based on artificial intelligence techniques. *Applied Sciences,* 11(23), 11364.

-Naderan, A., & Safarzadeh, M. (2023). Modeling the risk of urban accidents based on the characteristics of the physical environment. *Ministry of Science, Research, and Technology - University of Science and Technology - Faculty of Engineering.*
networks and the number of transport fatalities at the city level. Saf. *Sci. 62,* 114–120.
doi:10.1016/j.ssci.2013.08.015

-Office of Technical Studies and Standards, Ministry of Planning and Budget. (1996). Pedestrian facilities - Technical foundations. *Publication No. 1441.*

-Olowosegun, A., Babajide, N., Akintola, A., Fountas, G., & Fonzone, A. (2022). Analysis of pedestrian accident injury-severities at road junctions and crossings using an advanced random parameter modelling framework: The case of Scotland. *Accident Analysis & Prevention,* 169, 106610.

-Park, S., & Ko, D. (2020). A multilevel model approach for investigating individual accident characteristics and neighborhood environment characteristics affecting pedestrian-vehicle crashes. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 17(9), 3107.

-Riahi, M., Salehi, M., Mansournia, M.A., (2015). The Road Traffic Crashes as a Neglected Public.

-Tao, W., Aghaabbasi, M., Ali, M., Almaliki, A. H., Zainol, R., Almaliki, A. A., & Hussein, E. E. (2022). An advanced machine learning approach to predicting pedestrian fatality caused by road crashes: A step toward sustainable pedestrian safety. *Sustainability,* 14(4), 2436.*Transportation Officials,* Washington, D.C.

-Ulak, M. B., Kocatepe, A., Yazici, A., Ozguven, E. E., & Kumar, A. (2021). A stop safety index to address pedestrian safety around bus stops. *Safety Science*, *133*, 105017.

-Xie, K., Ozbay, K., & Yang, H. (2015). Spatial analysis of highway incident durations in the context of Hurricane Sandy. *Accident Analysis & Prevention,* 74, 77-86.

-Yue, H. (2024). Investigating the influence of streetscape environmental.

- Zegeer, Charles V. & J. Richard Stewart & Herman Huang & Peter Lagerwey (2001). Safety Effects of Marked Versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations. *Transportation Research Record,* No. 1773, 56-68.

- Zeng, Q., & Huang, H. (2014). Bayesian spatial joint modeling of traffic crashes on an urban road network. *Accident Analysis & Prevention,* 67, 105-112.

-Abbas, M. S. (2023). Accident prediction using machine learning: analyzing weather conditions, and model performance (Master's thesis, M. Abbas).

-Chang, I., Park, H., Hong, E., Lee, J., & Kwon, N. (2022). Predicting effects of built environment on fatal pedestrian accidents at location-specific level: Application of XGBoost and SHAP. *Accident Analysis & Prevention,* 166, 106545.

-Chen, Y., Yuan, R., Wei, J., & Li, S. (2023). Research on the influencing factors of elderly pedestrian traffic accidents considering the built environment. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development,* 11(1), 44-63. **doi:10.1016/j.ssci.2013.08.015**

-Dundas, G. (2020, April). Pedestrian suspension bridge for Bibbulmun Track. *In Austroads Bridge Conference,* 10th, Melbourne, Victoria, Australia fatalities and crashes: a case study of Illinois county-level data. *Accid. Anal. Prev.* 36 4, 525–532.

-Hall, J. W., (1983). Pedestrian Accident Accident on Rural Highways. *Transportation Research Record,* No. 904, 46-50.

Health Concern (2019). An Observational Study From Iranian Population. *Traffic Inj. Prev.* 16 1, 36–41. **doi:10.1080/15389588.2014.898182**

-https://amerandish.com.

-https://amerandish.com

-Kamboozia, N., Ameri, M., & Hosseinian, S. M. (2020). Statistical analysis and accident prediction models leading to pedestrian injuries and deaths on rural roads in Iran. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion,* 27(4), 493-509.

-Lee, J., Abdel-Aty, M., Cai, Q., Wang, L., & Huang, H. (2018). Integrated modeling approach for non-motorized mode trips and fatal crashes in the framework of transportation safety planning. *Transportation Research Record*, *2672*(32), 49-60.

Analysis of the Role of Pedestrian Infrastructure in Pedestrian Accidents Using Machine Learning Algorithms (Case Study: Isfahan City)

Rasoul Zabihian, Ph.D., Department of Civil Engineering, Ki.C., Islamic Azad University, Kish, Iran.
***Mohammad Reza Ahadi,** Transportation Research Institute, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*
Ali Naderan, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: m.ahadi@bhrc.ac.ir

Received: May 2026- Accepted: November 2026

ABSTRACT
The primary goal of this study is to assess the role of pedestrian infrastructure, particularly sidewalk width, in influencing pedestrian accidents in the city of Isfahan. The study aims to analyze how various infrastructure-related factors, including sidewalk width, contribute to pedestrian safety and accident frequency in urban environments, with a focus on the dynamic between pedestrian movement and vehicular traffic. Machine learning algorithms were employed within MATLAB software to process and analyze infrastructure and pedestrian accident data collected from various districts of Isfahan. Multiple variables were considered, including sidewalk width, speed limits, distance between parking lots and sidewalks, sidewalk quality, number of bus stops, intersections, and pedestrian lanes.The analysis revealed that sidewalk width is the most significant factor affecting pedestrian accidents, accounting for approximately 35% of the effect on accident frequency. Wider sidewalks were found to provide more space for pedestrian movement, reducing congestion and minimizing interactions with vehicles, thus lowering accident risks. Other factors, such as speed limits, parking lot proximity, sidewalk quality,The study strongly emphasizes the importance of improving pedestrian infrastructure, particularly by expanding and maintaining adequate sidewalk widths, as a key strategy for reducing pedestrian accidents. Enhancing sidewalk design not only improves pedestrian safety but also contributes to better public space quality, encourages walking, and promotes more sustainable urban environments. The findings advocate for urban planners, civil engineers, and policymakers to prioritize sidewalk improvements in their urban planning and transportation infrastructure strategies to create safer and more livable cities.

Keywords: Pedestrian Infrastructure, Sidewalk Width, Pedestrian Accidents, Machine Learning