تحلیل شدت تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی راه‌های دوخطه برون‌شهری با استفاده از GIS و الگوریتم جنگل تصادفی

مقاله علمی – پژوهشی

مرتضی صفری، دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران (راه وترابری)، دانشکده پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

میثم عفتی *، دانشیار، گروه مهندسی عمران (راه وترابری)، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

مهیار عربانی، استاد، گروه مهندسی عمران (راه وترابری)، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Meysameffati@guilan.ac.ir

دریافت: ۱٤۰۳/۰٤/۰٤– پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۲۵۰-۲۳۵

چکیده

قوس‌های افقی با ایجاد یک انتقال بین دو مقطع صاف جاده نقش مهمی را در شبکه راه‌های بین‌شهری ایفا می‌کنند و طبق آمار از محل‌های پرحادثه و پرتصادف هستند. هدف این پژوهش معرفی روشی مکان‌مند برای استخراج پارامترهای هندسی قوس‌های افقی مسیرهای دوخطه برون‌شهری بکمک سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و تصاویر ماهواره‌ای، شناسایی قوس‌های پرتصادف با استفاده از توابع خوشه‌ای مکانی و بررسی عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات در قوس‌های افقی مسیرهای دوخطه برون‌شهری به تفکیک رانندگان بومی (رانندگان آشنا با مسیر) و غیربومی (رانندگان ناآشنا با مسیر) با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی است. نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی در محور موردمطالعه (رشت - انزلی) حاکی از آن بود که مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت تصادفات در قوس‌های افقی پرتصادف شناسایی شده به روش تخمین تراکم کرنل به ترتیب نحوه برخورد و سطح روشنایی با ضریب اهمیت ۰/۵۱ و ۰/٤۱ برای تصادفات رانندگان بومی در کنار حجم ترافیک روزانه و نحوه برخورد با ضریب اهمیت ۰/۵۳ و ۰/۵۱ برای تصادفات رانندگان غیربومی هستند. حجم ترافیک روزانه و سن برای تصادفات رانندگان بومی به‌همراه شرایط سطح جاده و سطح روشنایی مسیر برای رانندگان غیربومی از دیگر مولفه‌های تأثیرگذار بر شدت شدت تصادف قوس‌های افقی محور موردمطالعه شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مکانی، جنگل تصادفی، راه‌های دوخطه برون‌شهری، شدت تصادفات، قوس‌های افقی

۱-مقدمه

امروزه تصادفات رانندگی به یکی از جدی‌ترین معضلات ممکن در جوامع، خصوصاً کشورهای در حال توسعه تبدیل شده است و ایمنی در تردد را به چالش کشانده. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۲۲ هر ساله حدود ۱,۳ میلیون نفر در سراسر جهان جان خود را در نتیجه تصادفات جاده‌ای از دست داده و بین ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر نیز از صدمات جسمی و معلولیت ناشی از تصادفات جاده‌ای رنج می‌برند (World Health Organization., 2022). در ایران بر اساس آمارهای به‌دست‌آمده از پزشکی قانونی در ده ماه اول سال ۱٤۰۰، ۱٤۳٤۹ مرگ و ۲٦۹۷۸۵ نفر مجروح گزارش شده است، که به ترتیب رشد ۱۱/۵ و ۱/۰۵ درصدی را نسبت به سال ۱۳۹۹ در پی داشته است. طبق گزارش مدیریت بزرگراه‌های فدرال در آمریکا بیش از ۲۵درصد از تصادفات منجر به مرگ مربوط به تصادفات قوس‌های افقی می‌باشند (FHWA., 2010). قوس‌های افقی به عنوان یکی از مهمترین عناصر راه‌ها به‌طور مداوم توسط آژانس‌های حمل‌ونقل و عوامل اجرایی مسئول حجم زیادی از تصادفات جاده‌ای، خصوصاً راه‌های برون‌شهری دوخطه نامبرده می‌شوند. قوس‌های افقی کاربران راه را مجبور به تغییر جهت در مسیر خود کرده و در نتیجه منجر به کاهش ایمنی می‌شوند (Gooch et al., 2018). به دلیل حجم تصادف بالا در

قوس‌های افقی تلاش‌هایی به منظور مطالعه بر روی ایمنی این اجزای راه برای سالیان متوالی صورت گرفته است. اکثر مطالعات قبلی نشان می‌دهند که شعاع قوس به‌طور قابل توجهی بر وقوع تصادف تأثیرگذار بود و شعاع کمتر (پیچ تندتر) احتمال وقوع تصادف را افزایش می‌دهد (Findley et al., 2012; Wu et al., 2017; Zegeer et al., 1992).

تصادفات خودرو به خودرو در جاده‌های دوخطه برون‌شهری یک نگرانی عمده برای ایمنی جاده‌ها، به‌ویژه در قوس‌های افقی است. این تصادفات اغلب منجر به صدمات جدی، تلفات حیانی و خسارات مالی می‌شوند که توسعه اقدامات مؤثر برای پیشگیری یا کاهش آن‌ها را به امری ضروری مبدل نموده است. آشنایی با مسیر برای رانندگان بطور قابل ملاحظه‌ای با رفتارهای رانندگی، وقوع تصادف و شدت جراحات رانندگان درگیر در تصادف مرتبط می‌باشد (Intini et al., 2018; Quddus, 2015; Wen & Xue, 2020c, 2020d, 2020a) و از عوامل مهم مرتبط با ایمنی است که باید بیشتر مورد بررسی قرار بگیرد. رانندگان بومی یا آشنا با مسیر، رانندگانی هستند که در طول سال مکررا یا تعداد زیادی سفر در یک مسیر را تجربه می‌کنند و از محیط جاده و همه ویژگی‌های آن آگاهی کامل دارند. از طرفی بر اساس مطالعات گذشته رانندگان ناآشنا با مسیر ممکن است رفتاری ایمن‌تر از رانندگان آشنا با مسیر، بدلیل تمرکز بیشتر و حواس‌پرتی کمتر داشته باشند (Intini et al., 2018). مطالعه تصادفات وسایل نقلیه بر اساس آشنایی راننده با مسیر می‌تواند به شناسایی الگوها و رفتارهایی در ایمنی جاده کمک کند که ممکن است هنگام مطالعه تصادفات منجر به جراحت و مرگ‌ومیر آشکار نباشند. درک این الگوها می‌تواند به محققان و متولیان ایمنی راه‌ها کمک کند تا استراتژی‌های هدفمندتر و موثرتری برای بهبود ایمنی جاده‌ها خصوصا در قوس‌های افقی و کاهش تعداد تصادفات ایجاد کنند. بنابراین نیاز است علاوه بر دقت نظر در طراحی قوس‌های افقی در مرحله مطالعه راه‌های جدید، با استفاده از روش‌های علمی با ارزیابی قوس‌های واقع در راه‌های برون‌شهری، به شناسایی قوس‌های با ریسک تصادف زیاد برای رانندگان آشنا و ناآشنا با مسیر و انجام اقدامات لازم برای کاهش احتمال تصادفات پرداخت. با پیشرفت در سیستم اطلاعات مکانی و در دسترس بودن داده‌های مکانمند، روش‌های تجزیه و تحلیل مکانی به گزینه‌ای مقرون بصرفه و عملی برای شناسایی و محاسبه پارامترهای هندسی قوس‌های افقی تبدیل شده است. در این تحقیق، ابتدا از پتانسیل موجود در سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه و استخراج ویژگی‌های قوس‌های افقی مسیر موردمطالعه مانند شعاع و طول قوس به همراه عرض خط و سواره‌رو در مقطع هر قوس استفاده خواهد شد. در ادامه بمنظور شناسایی قوس‌های پرتصادف از طریق بررسی توزیع خوشه‌ای تصادفات در قوس‌های افقی محور مورد مطالعه از تابع تراکم کرنل (KDE) استفاده خواهد شد. کرنل ابزاریست برای بررسی همبستگی مکانی رویدادهای تصادف و تعیین الگوی خوشه‌ای تصادفات که در این تحقیق صرفا بر روی قوس‌های افقی راه برون‌شهری مطالعه انجام می‌پذیرد. بنابراین در ادامه تحقیق جهت تحلیل شدت تصادفات به تفکیک رانندگان بومی و غیربومی در نظر است که از یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر طبقه‌بندی و پیش‌بینی یادگیری ماشین تحت عنوان جنگل تصادفی (RF) استفاده گردد. جنگل تصادفی که یکی از مدل‌های یادگیری جمعی مبتنی بر درختان تصمیم است که در کنار پیش‌بینی و تحلیل تصادفات در زمینه‌های بسیاری کاربرد دارد (Yang et al., 2023). ویژگی خاص الگوریتم جنگل تصادفی این است که می‌تواند متغیرهای غیرخطی و با ابعاد زیاد را مدیریت کرده و در برابر داده‌های پرت و نویزها مقاوم است. همچنین کار با این مدل آسان بوده و برای هر دو مسئله طبقه‌بندی و پیش‌بینی با دقت بالا کاربرد دارد (Breiman, 2001).

در واقع هدف از این مطالعه اولاً امکان‌سنجی استفاده از توابع محاسباتی GIS برای استخراج پارامترهای هندسی قوس‌های افقی به‌منظور کاهش یا حذف نیاز به بررسی و اندازه‌گیری میدانی قوس‌ها، ثانیاً بررسی نقاط کانونی تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی محور مورد مطالعه به‌منظور شناسایی مقاطع قوسی پرتصادف به تفکیک رانندگان بومی و غیربومیی با استفاده از تحلیل مکانی تراکم کرنل ثالثاً تحلیل شدت تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های پرتصادف شناسایی شده در مرحله قبل، به کمک الگوریتم جنگل تصادفی با استفاده از پارامترهای استخراج‌شده از قوس‌ها و داده تصادفات رخداده در این مقاطع است. به‌طور کلی تحلیل تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی به کمک توابع مکانی در تلفیق با الگوریتم جنگل تصادفی پیشنهادی می‌تواند درک عمیق‌تری از عواملی که در این تصادفات نقش دارند فراهم کند و امکان مداخلات ایمنی جاده‌ای هدفمند و مؤثرتر را فراهم کند. با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و شناسایی عوامل

خطر، متولیان ایمنی، راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای می‌توانند استراتژی‌های مبتنی بر شواهد را برای کاهش وقوع و شدت تصادفات در قوس‌های افقی مسیرهای دوخطه برون‌شهری را توسعه دهند و در نتیجه ایمنی جاده را برای همه کاربران بهبود بخشند.

۲-پیشینه پژوهش

قوس‌های افقی بخش‌های نسبتاً پرخطری از سیستم بزرگراه در جهان هستند. مشخص شده است که برخورد در قوس‌های افقی راه‌های دوخطه بیش از دو برابر از همه بخش‌های جاده دوخطه منجر به مرگ می‌شود (Hummer et al., 2010). قوس‌ها مکان‌هایی هستند که آژانس‌های بزرگراهی و عوامل اجرایی گزینه‌ها و فرصت‌های زیادی برای بهبود ایمنی دارند. قوس‌های افقی در نقش خود به‌عنوان انتقال بین بخش‌های مستقیم و در پتانسیل آن‌ها به‌عنوان یک خطر ایمنی برای رانندگان، اجزای حیاتی در جاده هستند. بنابراین، تعیین ویژگی‌های قوس، هم مکانی (شامل موقعیت، طول، شعاع) و هم غیرمکانی (شامل حجم ترافیک، علائم، نوع روسازی) یک وظیفه مهم است. کاربردهایی که از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) استفاده می‌کنند در زمینه حمل‌ونقل رایج و مفید بوده و امروزه مطالعات بسیاری با بهره‌گیری از پتانسیل موجود در این ابزار به شناسایی الگوی فضایی- مکانی تصادفات در جاده‌ها می‌پردازند (Effati et al., 2015a; Effati et al., 2015b; Effati , 2021; Azari et al., 2023; Khan Vahedi & et al., 2023; Mekonnen et al., 2023; Shahi et al., 2023; Tamakloe, 2023; Ta makloe & Park, 2023). کاربردهای GIS برای ارزیابی ترازهای جاده به‌طور کلی توسعه یافته‌اند و برخی بر ارزیابی قوس‌های افقی متمرکز شده‌اند.

ختاک و شمایله (Khattak & Shamayleh, 2005) در سال ۲۰۰۵ از GIS برای به دست آوردن مدل سه‌بعدی بزرگراه‌ها به‌منظور ارزیابی ایمنی در مورد فواصل دید استفاده نمودند. این فرایند شامل چهار مرحله تحت عنوان وارد کردن داده‌ها به GIS، شناسایی مناطقی با احتمال وجود مشکل در آن‌ها، تائید موانع دید و صحت سنجی نتایج با مشاهدات میدانی بود. انجام فرایند تشخیص نقاط مشکل‌دار ازنظر فاصله دید در GIS منجر به جداسازی ۱۰ نقطه شد که پس از بررسی‌های میدانی صحت وجود مشکل در این نقاط تائید شد که نشان‌دهنده توانایی GIS در تجزیه‌وتحلیل برخی موضوعات پیچیده بدون بازدید و عملیات میدانی است.

شناخته‌شده‌ترین و شاید پرکاربردترین مدل برای پیش‌بینی ایمنی مسیرهای دوطرفه برون‌شهری توسط زیگر و همکاران (Zegeer et al., 1991). در سال ۱۹۹۱ توسعه داده شد که به اثرات ایمنی بهبودها و اصلاحات ایمنی هندسی مختلف بر روی قوس‌های افقی نگاه کرد. این مطالعه مدلی را برای پیش‌بینی تعداد تصادفات قوس‌ها بر اساس عوامل هندسی مانند شعاع قوس، طول قوس، عرض جاده، رتبه‌بندی خطر کنار جاده، شیب طولی جاده در طول قوس، وجود یا عدم وجود انتقال مارپیچی از بخش مماس جاده به بخش قوس جاده و همچنین حجم ترافیک (ADT) ایجاد کرد که محدود به یک ایالت در آمریکا بوده و قابلیت تعمیم به مناطق دیگر را نداشت. تاکنون مطالعات اندکی بر روی تحلیل تصادفات قوس‌های افقی مسیرهای برون‌شهری دوخطه با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین پرداخته‌اند. تصادفات خسارتی، جرحی و منجر به مرگ‌ومیر قوانین مهمی در نسبت تصادف دارند که باید در تجزیه‌وتحلیل تصادفات لحاظ شوند.

تجزیه‌وتحلیل عمیق تصادفات ترافیکی جاده و تعیین عوامل مرتبط با شدت آسیب در تصادفات به‌منظور بهبود ایمنی جاده ضروری است. در طول سال‌ها، استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین در مهندسی برای ارزیابی ریسک در حال افزایش است، جایی که شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربردی‌ترین روش هستند و الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، درختان تصمیم، شبکه‌های بیزی و بسیاری از تکنیک‌های دیگر برای پیش‌بینی نوع تصادفات و شدت آسیب در تصادفات جاده‌ای توسعه یافته‌اند (Santos et al., 2022).

ون و همکاران (Wen et al., 2023) در سال ۲۰۲۳ تأثیر قوس‌های افقی بر تصادفات کامیون‌های خودروبر (کامیون‌های حمل خودرو) در راه‌های کوهستانی را به کمک الگوریتم‌های لاجیت، ازجمله الگوریتم لاجیت با پارامتر تصادفی همبسته مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی مطالعه آن‌ها بررسی رابطه بین وجود قوس‌ها و شدت تصادفات کامیون‌های خودروبر در راه‌های کوهستانی بود. نتایج نشان داد که شدت آسیب تصادفات کامیون به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر نوع تصادف، نوع وسیله نقلیه، وضعیت سطح روسازی، زمان در طول شبانه‌روز، فصل، وضعیت روشنایی، نوع روسازی و گاردریل قرار گرفت. این

مطالعه ثابت کرد که ترکیب قوس‌ها و شیب عوامل بسیار مهمی هستند که به‌طور جدی بر شدت تصادفات تأثیرگذارند. تحقیقات قبلی مفهوم آشنا بودن با مسیر را به روش‌ها و مقیاس‌های مختلفی از جمله در مقیاس زمانبندی (Beijer et al., 2004; Liu & Ye, 2011) بطوریکه رانندگان در طول یک هفته یا یک ماه حداقل یکبار از مسیر تردد نمایند و مقیاس مبتنی بر فاصله (Bertola et al., 2012) (محدوده محل سکونت راننده و فاصله با مسیر موردنظر) مورد بررسی قرار داده‌اند. برخی محققین در مورد آشنا بودن راننده با مسیر بر رفتار راننده و ایمنی جاده نتایج مختلفی را گزارش داده‌اند. ما و همکاران (Ma et al., 2018) در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ به این نتیجه رسیدند که مولفه گواهینامه مربوط به خارج از محدوده استان مورد مطالعه بطور قابل توجهی با شدت صدمات عابر پیاده در تقاطع‌ها مرتبط است و دلیل آن می‌تواند تاثیر آشنایی رانندگان بومی با مسیر باشد. هاروتونیان و همکاران در مطالعات خود (Harootunian, Aultman-Hall, et al., 2014; Harootunian et al., 2015; Harootunian, Lee, et al., 2014) پی بردند که تفاوت زیادی بین الگوی تصادفات رانندگان بومی یک استان با رانندگان غیر بومی در تصادفات تک‌وسیله‌ای وجود دارد و رانندگان غیر بومی درک نادرستی از محیط رانندگی خود دارند. همچنین فاصله بین محل تصادف و محل سکونت مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد رانندگانی که بیش از ۵۰ مایل از محل سکونت خود فاصله دارند، در مقایسه با رانندگان محلی بیش از ۵۰ درصد احتمال بروز خطا در رانندگی‌شان بیشتر است. با بررسی تحقیقات پیشین مشخص شد که تمرکز عمده مطالعات برای تحلیل تصادفات در قوس‌های افقی با فرض خطی بودن رابطه میان شدت و عوامل مؤثر در تصادفات از مدل‌های آماری نظیر ازجمله لاجیت و پروبیت ترتیبی برای تحلیل شدت تصادفات استفاده شده است. این مدل‌ها بر اساس توابع از پیش تعریف شده هستند که ممکن است موجب کاهش دقت مدل شده و منجر به تحلیل نادرست عوامل مؤثر بر شدت و فراوانی تصادفات در قوس‌های افقی شوند. تکنیک‌های یادگیری ماشین اخیراً نشان داده‌اند که ابزارهای غیرپارامتری هستند که توانایی مدیریت مقادیر از دست رفته و دارای مشکل را نیز دارند. ازاین‌رو این مطالعه با به‌کارگیری الگوریتم جنگل تصادفی و به کمک پتانسیل موجود در GIS به دنبال روشی سریع‌تر و با دقت بالا در تحلیل تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در مقاطع قوس افقی راه‌های دوخطه برون‌شهری است.

۳-مواد و روش تحقیق

۱-۳-روش تحقیق

روش پیشنهادی تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. این مطالعه شامل یک رویکرد مکانمند سه مرحله‌ای است. ابتدا در فاز یک از پتانسیل محاسبه‌گر قوس در سیستم‌های اطلاعات مکانی برای استخراج شعاع و طول قوس و قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای موجود برای استخراج عرض سواره‌رو و عرض شانه راه به‌منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش ایمنی، برای شناسایی قوس‌ها و استخراج پارامترهای هندسی قوس‌ها استفاده شده است. در فاز دوم، از آنجا که تصادفات در قوس‌ها ممکن است دارای الگوی خوشه‌ای باشند و در این تحقیق محل‌های تمرکز تصادفات در قوس‌ها جزء اهداف تحقیق است، بنابراین از الگوریتم داده‌کاوی مکانی مبتنی بر خوشه‌بندی بنام تراکم کرنل استفاده خواهد شد تا قوس‌های افقی پرتصادف و الگوهای خوشه‌ای تصادف در قوس‌ها به تفکیک رانندگان بومی و غیربومی شناسایی شده و ویژگی هندسی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. مهم‌ترین برتری روش برآورد تراکم کرنل نسبت به سایر روش‌های موجود، توزیع ریسک تصادف و مدل‌سازی همبستگی مکانی است. توزیع ریسک از طریق پخش کردن احتمال وقوع تصادف در یک شعاع معین اطراف محل وقوع (با توجه به وجود ارتباط مکانی) تعریف می‌گردد. همچنین تراکم کرنل به عنوان یک روش ناپارامتری عمل می‌کند. این ویژگی به تراکم کرنل اجازه می‌دهد که در مقایسه با سایر روش‌های تحلیل نقاط پرتصادف نظیر هیستوگرام و تابع توزیع احتمال پارامتریک که به‌طور معمول به فرض‌های خاصی در مورد توزیع داده‌ها نیاز دارد، بهتر به توزیع داده‌ها پاسخ دهد به‌ویژه در صورتی که توزیع داده‌ها پیچیده باشد. اگرچه روش تراکم کرنل به‌طور گسترده برای تحلیل و تشخیص الگوی تصادفات بکار رفته است و می‌تواند همراه با شناسایی مناطق پرخطر بینش‌های ارزشمندی را در مورد توزیع مکانی تصادفات ارائه دهد، اما به تنهایی ممکن است برای تحلیل عوامل مؤثر بر تصادفات کافی نباشد، زیرا سایر عوامل مؤثر شامل حجم ترافیک، هندسه جاده، شرایط آب‌وهوایی و رفتار راننده را در نظر نمی‌گیرد (Safari et al., 2024;). این روش تصادفات را بدون در نظر گرفتن متغیرهای

توضیحی ویژگی‌های ذکر شده تجزیه و تحلیل می‌کند و بر این فرض استوار است که قسمت‌هایی از جاده که در مجاورت مکانی نزدیک هستند خطرات تصادف مشابهی دارند که در بعد مکانی تغییر می‌کنند (Katicha & Flintsch, 2023). از این رو در این تحقیق الگوریتم جنگل تصادفی به عنوان یکی از روش‌های یادگیری ماشین بر روی خروجی تصادفاتی که در نقاط کانونی شناسایی شده در تابع تراکم کرنل رخ داده اعمال می‌شود. از دلایل انتخاب جنگل تصادفی در مطالعه حاضر توانایی این مدل در داده‌های کمی و کیفی به‌صورت هم‌زمان می‌باشد. همچنین می‌توان از این الگوریتم برای رتبه‌بندی متغیرها براساس اهمیت آن‌ها استفاده کرد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های یادگیری ماشین نظیر درختان تصمیم، در برابر بیش برازش داده‌ها مقاوم‌تر بوده و از تفسیرهای غلط جلوگیری می‌کند. از طرفی ترکیب این الگوریتم با روش تراکم کرنل می‌تواند عدم قابلیت جنگل تصادفی در تحلیل مکانی و شناسایی مقاطع پرتصادف را نیز رفع کند. در نتیجه با ادغام این دو روش می‌توان تحلیل جامع‌تری در شدت تصادفات رانندگان بومی و غیربومی ارائه داد. بنابراین نهایتاً در فاز سوم، با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی، شدت تصادفات رانندگان بومی و غیربومی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و عوامل موثر بر آن‌ها معرفی می‌گردند.

شکل ۱. روش پیشنهادی تحقیق

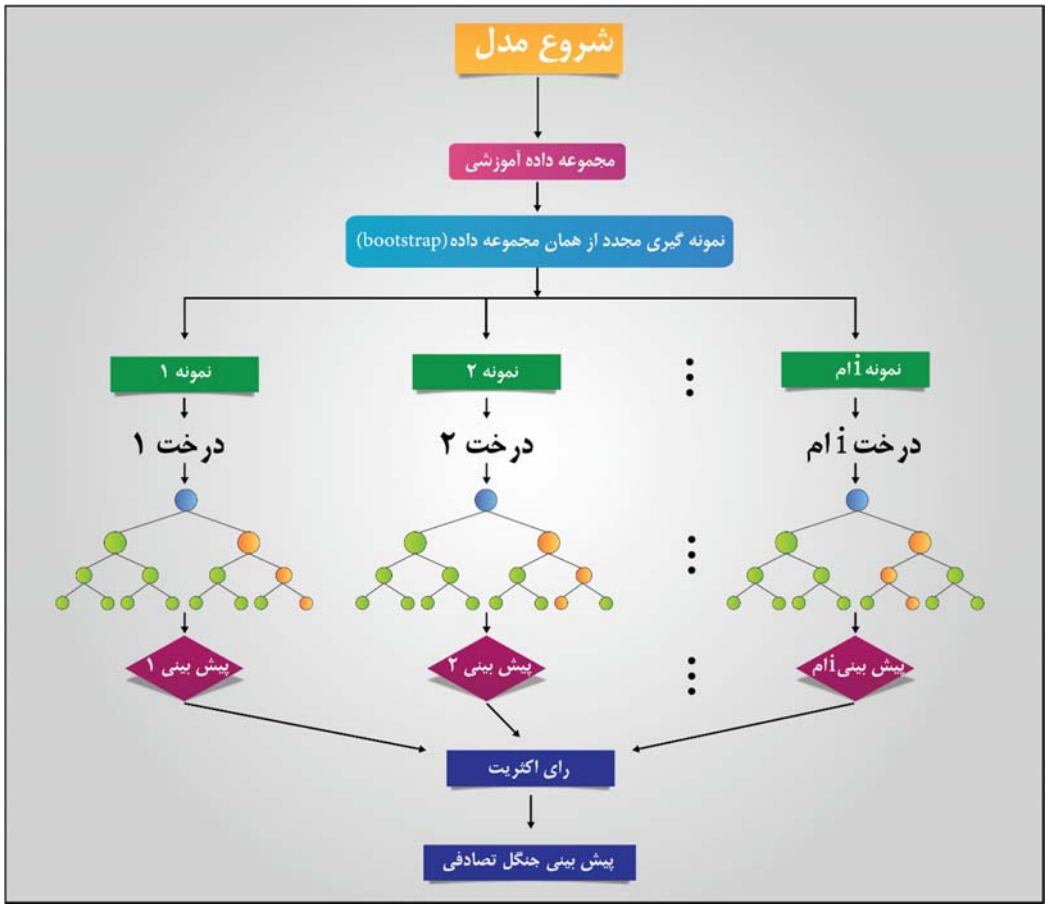
تحلیل خوشه‌ای تصادفات قوس‌ها به روش تراکم کرنل

استفاده از تابع تراکم کرنل به دو روش شامل: روش ساده و روش هسته‌ای امکان‌پذیر است که در هر دو روش یک محدودهٔ جستجو جهت محاسبه تراکم مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش ساده در کل مساحت محدودهٔ جستجو، تراکم را به‌صورت یکنواخت در نظر می‌گیرد. در روش هسته‌ای تراکم تابعی از فاصله فرض شده و بر اساس آن محاسبات مورد نیاز در ناحیهٔ جستجو انجام می‌گیرد. از این رو روش هسته‌ای توانایی بالاتری به‌منظور نمایش توزیع داده‌ها در سطح دارد. ویژگی اصلی تراکم کرنل یافتن نقطه پرتصادف بر اساس تحلیل یک منطقه با خطر تصادف، بجای یک نقطه خاص است. این روش احتمال را برای متغیر تصادفی تخمین می‌زند و یک مقدار در واحد مساحت را از نقاط یا ویژگی‌های چندخطی با استفاده از یک تابع کرنل محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر تابع کرنل سهم یک نقطه مشاهده شده معین را روی همسایگی آن نقطه مشخص می‌کند. بنابراین سهم نقطه داده $x(i)$ به‌شدت به فاصله این نقطه و x بستگی دارد. چگالی در هر نقطه x را می‌توان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کرد که در آن k نشان دهنده تابع کرنل و h نشان دهنده پهنای باند کرنل هستند (Amiri et al., 2021).

$$f(x) = \frac{1}{x}\sum_{i=1}^{n} k\left(\frac{x-x(i)}{h}\right) \quad (۱)$$

الگوریتم جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری جمعی است که دقت پیش‌بینی خود را با روی‌هم قرار دادن تعداد قابل توجهی از طبقه‌بندی کننده‌ها بهبود می‌بخشد. این تکنیک از روش خودگردان‌سازی استفاده می‌کند و با ساخت هم‌زمان بسیاری از درختان تصمیم مستقل در طول مرحله آموزش با استفاده از تصادفی بودن ویژگی برای ساخت یک جنگل نامرتبط از درختان عمل می‌کند (Elyassami et al., 2021). طبقه‌بندی کننده‌ها در واقع درختان تصمیمی می‌باشند که گروه‌بندی شده‌اند و گروه‌بندی آن‌ها به عنوان جنگل (گروهی از درختان تصمیم) نامیده می‌شوند که نتایج تمام درختان را با هم ترکیب کرده و در نتیجه خروجی، پیش‌بینی بهتری را ارائه می‌دهد. به منظور همبستگی درختان، الگوریتم با انتخاب تصادفی متغیرهای مستقل برای ساخت درخت تصمیم شروع به کار می‌کند. الگوریتم جنگل تصادفی چندین درخت تصمیم ساخته و خروجی آن‌ها را با یکدیگر ترکیب کرده تا پیش‌بینی‌های دقیق‌تری حاصل شود. در نهایت رای‌گیری جمعی برای نتایج به‌دست آمده از هر درخت تصمیم به‌دست آمده و نتیجه (متغیر هدف) با استفاده از بیشترین آراء (بیشترین خروجی به‌دست آمده توسط درختان تصمیم) و اکثریت رای همه درختان پیش‌بنی می‌شود (Belgiu & Drăguţ, 2016). روند واضح الگوریتم جنگل تصادفی در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در معادلات ۲ و ۳ نشان داده شده است، می‌توان از شاخص جینی یا شاخص آنتروپی برای ساخته گره‌ها در درختان تصمیم استفاده نمود که نشان دهنده بهترین اتصال داده‌ها با حداکثر فاصله بین شاخه‌های آن است(Flach, 2012).



شکل ۲. روش عملکرد جنگل تصادفی

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^{C}(pi)^2 \quad (۲)$$

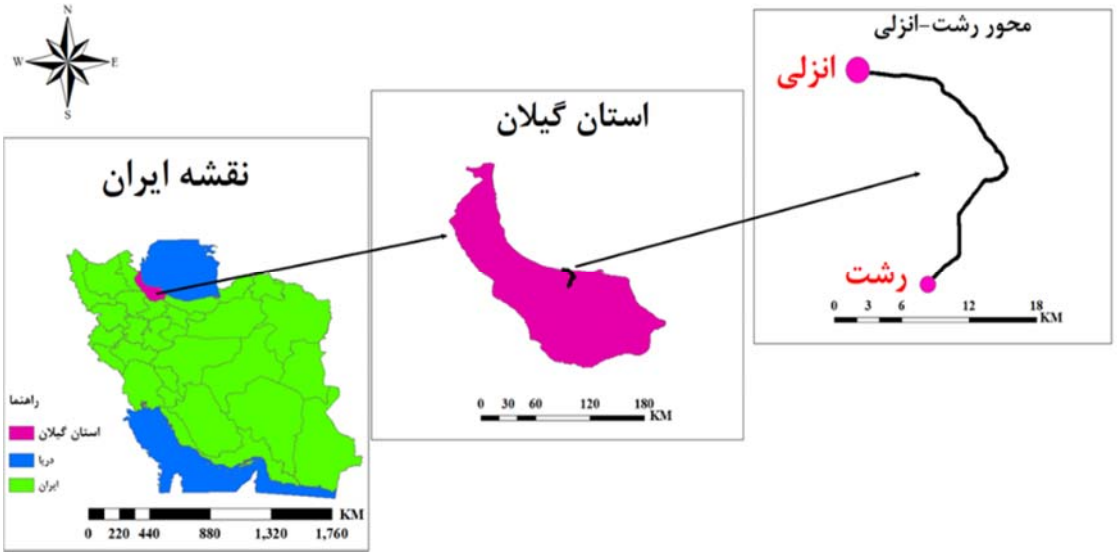
$$Enropy = \sum_{i=1}^{C} - pi \times log_2 pi \quad (۳)$$

$$RF = argmax_{j\epsilon\{1,2,\dots C\}} \sum_{i=1}^{i} DT_{i,j} \quad (٤)$$

در این معادلات pi فرکانس نسبی کلاس مشاهده شده و C نشان دهنده تعداد کلاس‌ها در مجموعه داده است. آخرین نتیجه جنگل تصادفی را می‌توان به‌صورت ریاضی با رابطه ٤ بیان کرد. جایی که تابع argmax مقدار حداکثر یا اکثریت آرا را نشان می‌دهد، i عدد درخت تصمیم است که از یک شروع می‌شود و به iامین درخت تصمیم ختم می‌شود و j نشان دهنده تعداد کلاس موجود در ویژگی نتیجه است. به دلیل ادغام چندین درخت تصمیم، الگوریتم درخت تصمیم می‌تواند به مقادیر دقت بالایی دست یابد و از مشکل برازش بیش از حد جلوگیری کند. با این حال فرایند پیش‌بینی در این مدل به دلیل تعداد زیاد درختان تصمیم به زمان بیشتری نیاز دارد که پیچیدگی آن را نیز در مقایسه با سایر تکنیک‌های یادگیری ماشین افزایش می‌دهد(AlThuwaynee et al., 2021).

۳-۲-منطقه موردمطالعه

محور موردمطالعه در این پژوهش، محور رشت – انزلی در استان گیلان است. این مطالعه بر اساس داده‌های حدود ۳۵ کیلومتر از مسیر رشت به انزلی و داده‌های تصادفات بین سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ خورشیدی انجام شده است. متغیرهای مورداستفاده در این مطالعه در جدول ۱ مشخص شده‌اند. این محور، یکی از پرترددترین محورهای استان گیلان بعد از محور رشت - لاهیجان و جزء چهار محور پرتصادف استان محسوب می‌شود. شکل ۳ موقعیت این محور را نشان می‌دهد. اگرچه بدیهی است که تعداد فراوانی سفر رانندگان در مسیر را مبنای آشنایی با مسیر قرار داد اما بدست آوردن این داده غیرممکن است، از این رو روش این مطالعه برای شناسایی رانندگان بومی (رانندگان آشنا با مسیر) و غیربومی (رانندگان ناآشنا با مسیر) عمدتاً بر اساس پلاک خودرو در تصادفات بوده و پلاک‌های متعلق به دو شهر رشت و انزلی بومی در نظر گرفته شده و سایر خودروها غیربومی. دو مجموعه داده به‌صورت جدا برای تصادفات رانندگان بومی و غیربومی جمع‌آوری و برای اجرای مدل‌های تحقیق پیش‌پردازش‌های موردنیاز نظیر حذف داده‌های تکراری و ناقص بر روی آن‌ها اعمال گردید. از آنجایی که تصادفات فوتی بر روی قوس‌های افقی محور موردمطالعه بسیار اندک بوده، متغیر هدف در این تحقیق تنها دو کلاس تصادفات خسارتی و تصادفات جرحی در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. منطقه و محور مورد مطالعه

٤-پیاده‌سازی و نتایج

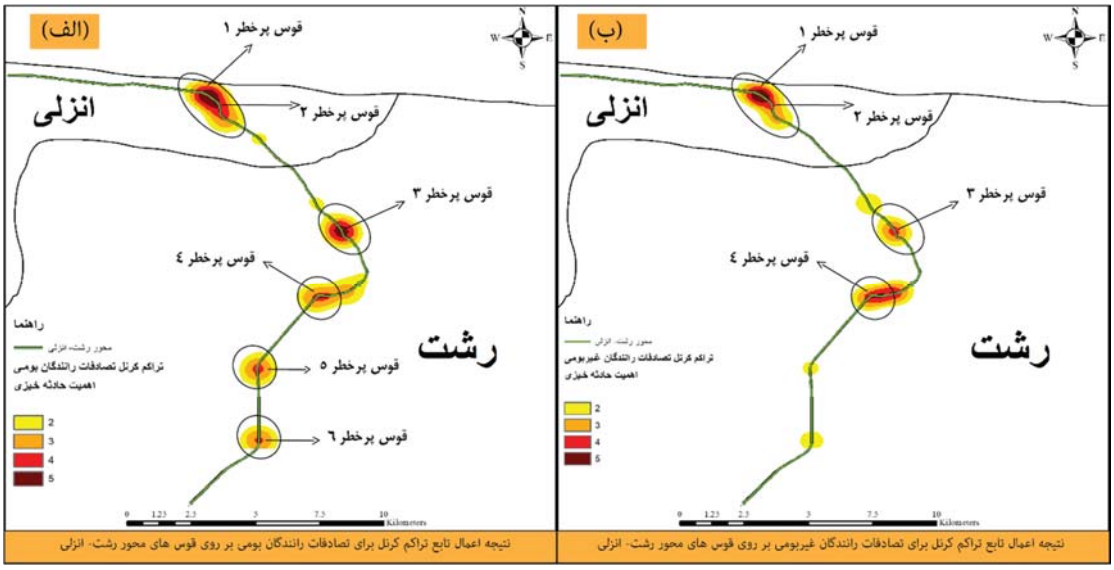
٤-١-استخراج پارامترهای هندسی قوس‌ها

مطابق شکل ٤ پارامترهای هندسی قوس‌ها نظیر شعاع قوس، طول قوس، عرض سواره‌رو و عرض شانه راه با توابع مکانی در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی استخراج شد. شعاع و طول ۱۷ قوس شناسایی شده، با استفاده از محاسبه‌گر قوس مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل شعاع قوس‌ها در محور موردمطالعه نشان داد که اکثر قوس‌ها دارای شعاع بالای ۵۰۰ متر هستند که این نشان می‌دهد قوس‌های افقی انتخاب‌شده به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که نسبتاً ملایم باشند تا ابتدا خطر کلی تصادفات و در وهله بعدی خطر تصادفات شدید را کاهش دهد. همچنین اکثر قوس‌ها دارای طول بیش از ٤۰۰ متر بودند که نشان می‌دهد طول قوس‌ها به اندازه‌ای طولانی هستند که به رانندگان اجازه می‌دهد بدون تغییر ناگهانی سرعت به حرکت خود ادامه دهند. نتایج روش پیشنهادی جهت استخراج داده‌های هندسی قوس‌های افقی در این مطالعه نشان داد سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای قادرند پارامترهای هندسی قوس‌های افقی شامل شعاع قوس، طول قوس، عرض سواره رو و شانه راه را با دقت مناسبی شناسایی کرده و با استخراج این داده‌های ارزشمند در تحلیل تصادفات قوس‌ها را با پارامترهای بیشتری به انجام رسانید. در ادامه پارامترهای استخراج شده با روش پیشنهادی در الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی جهت تحلیل تصادفات رانندگان بومی و غیربومی به خدمت گرفته می‌شوند.

شکل ٤. استخراج پارامترهای هندسی قوس‌های افقی به کمک GIS و تصاویر ماهواره‌ای

٤-٢-تحلیل مکانی تصادفات وسایل نقلیه در قوس‌های افقی به تفکیک رانندگان بومی و غیربومی

شکل ٥ خروجی حاصل از اعمال تابع تراکم کرنل برای تصادفات وسایل نقلیه با پلاک بومی و غیربومی را بر روی قوس‌های افقی محور مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج تابع تراکم کرنل نشان می‌دهد تراکم تصادفات برای تصادفات رانندگان بومی و غیر بومی در قوس‌های افقی تقریبا مشابه هم بوده و قوس‌های پرخطر تصادف برای دو گروه یکسان هستند. اکثر قوس‌های پرخطر این محور از محدوده شهر خمام شروع شده و تا اطراف شهر انزلی می‌باشند. تعداد قوس‌های پرخطر از لحاظ اهمیت تصادفات و کانون آن برای رانندگان بومی بیشتر بوده و کانون تصادفات رانندگان غیربومی محدودتر بوده که از دلایل آن می‌توان تردد بیشتر رانندگان بومی در محور موردمطالعه و تمرکز و احتیاط بیشتر رانندگان غبربومی بدلیل ناآشنایی با مسیر را بیان کرد. جدول ۱ مشخصات قوس‌های افقی پرخطر محور رشت- انزلی برای تصادفات رانندگان بومی و غیربومی را نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر تصادفات قوس‌های افقی در محور موردمطالعه، الگوریتم جنگل تصادفی بصورت مجزا بر روی دو مجموعه داده تصادفات رخداده برای رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی پرتصادف شناسایی شده توسط تراکم کرنل در محور موردمطالعه اعمال شد.



شکل ۵. خروجی حاصل از اعمال تابع تراکم کرنل برای تصادفات رانندگان بومی (الف) و غیربومی (ب) بر روی قوس‌های افقی محور رشت – انزلی

جدول ۱. مشخصات قوس‌های افقی پرخطر محور رشت – انزلی

نام قوس	شعاع قوس (متر)	طول قوس (متر)	عرض سواره‌رو در مقطع قوس (متر)	عرض شانه راه در مقطع قوس (متر)
قوس شماره ۱	۵۰۸	۵۱۸	۷/۸۰	۲/۵
قوس شماره ۲	۷۱۲	۷۸۲	۷	۲
قوس شماره ۳	۲۲۱	۲٦۱/٤٥	۷/۲۰	۲/٤۰
قوس شماره ٤	٤۱۸/۲۳	٥٥٤/٥۰	۱۰	۰
قوس شماره ٥	٥٦۲	٥٥۳/٦٥	۹/۷	۲/٦۰
قوس شماره ٦	۱۱۰۰	۷۷۱/۸٦	۷/۹٤	۱/۸

در این تحقیق به‌منظور تحلیل و تعیین عوامل مؤثر بر تصادفات رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی پانزده معیار تأثیرگذار شامل عوامل انسانی، محیطی و وسیله نقلیه در نظر گرفته شده که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است برخی از این معیارها مرتبط با خصوصیات هندسی قوس‌ها است که به روش مکان‌مند پیشنهادی در بخش استخراج پارامترهای هندسی قوس‌ها به دست آمدند. برای رسیدن به یک پیش‌بینی مطلوب در جنگل تصادفی، درنظر گرفتن مقادیر مناسب برای هایپر پارامترهای آن بسیار ضروری است. جنگل تصادفی برای داده‌های آموزشی با ۱۰۰ درخت مختلف به‌همراه عمق درخت ۱۰ و روش اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابر برای دو متغیر پیش‌بینی (خسارتی و جرحی) توسعه داده شد. روش اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابر بر روی داده‌های تمرینی اجرا می‌شود تا جلوی بیش برازش مدل گرفته شود. در این روش اعتبارسنجی مجموعه داده ما به ۱۰ قسمت تقسیم شده و در هربار اجرا یک قسمت به‌عنوان داده تست و نه قسمت به‌عنوان داده آموزشی در نظر گرفته می‌شود و در نهایت میانگین ده بار اجرا به‌عنوان نتیجه نهایی اعلام می‌شود. بر اساس روش اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری، دقت پیش‌بینی مدل ۸٤/۱٪ و ۸۹/۳٪ به ترتیب برای تصادفات رانندگان بومی و غیربومی برای مجموعه داده آموزشی به دست آمد که دقت بالای جنگل تصادفی در پیش‌بینی شدت تصادفات را نشان می‌دهد. خلاصه نتایج برخی روش‌های ارزشیابی دقت طبقه‌بندی مدل در جدول ۳ آمده است. طبق این نتایج می‌توان تأیید کرد که دقت مدل قابل‌قبول است.

جدول ۲. متغیرهای ورودی و خروجی مورداستفاده در تحلیل تصادف وسایل نقلیه قوس‌های افقی

متغیرها	نوع متغیر	تعریف متغیر	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	انحراف معیار
شدت تصادف	خروجی/کیفی	خسارتی/ جرحی				
علت تصادف	ورودی/کیفی	حرکت روبه‌عقب، عدم رعایت حق‌تقدم، فاصله جانبی نامناسب نقص خودرو، گردش‌به‌چپ رانندگی در مسیر اشتباه ناتوانی در کنترل خودرو، حرکت غیرمنتظره، عدم توجه به روبه‌رو	---	---	---	---
نحوه برخورد	ورودی/کیفی	جلو به عقب، جلو به پلو، پهلوبه‌پهلو، عقب به پهلو	---	---	---	---
شرایط سطح جاده	ورودی/کیفی	مرطوب/خیس، خشک، یخ‌بندان	---	---	---	---
شرایط روشنایی	ورودی/کیفی	نور کافی، نور کم	---	---	---	---
شرایط آب‌وهوا	ورودی/کیفی	صاف، بارانی، ابری، برفی	---	---	---	---
ساعت تصادف	ورودی/کیفی	۲٤ الی ۰۵:۵۹، ۰٦ الی ۱۱:۵۹، ۱۲ الی ۱۷:۵۹، ۱۸ الی ۲۳:۵۹	---	---	---	--
نوع وسیله نقلیه	ورودی/کیفی	سواری، وانت، اتوبوس، مینی‌بوس، کامیون	---	---	---	--
جنسیت راننده	ورودی/کیفی	مذکر، مؤنث	---	---	---	---
سن راننده	ورودی/کمی	۱۸ -۲٤، ۲۵-۳۵، ۳٦-٤۵، بالای ٤٦	---	---	---	---
حجم ترافیک روزانه	ورودی/کمی	خودرو/ روز	۱۵۹٦۳	۲٦۳٦۰/۸۵	٤۵۲۱۵	۱٦۷۳۲/۵
شعاع قوس	ورودی/کمی	متر	۲۲۱/۳٤	۸٤۱/۱۲	۱٦۲۰	٤۰٤/٤۵
طول قوس	ورودی/کمی	متر	۲۵۹/٦۳	۵۹۳/٤۳	۸۷۷/۳۳	۱۷۱/٤٦
عرض سواره‌رو	ورودی/کمی	متر	٦/۱۳	۷/۹۳	۱۳/۷۹	۱/۹۰
عرض شانه راه	ورودی/کمی	متر	۰/۰	۲/٤۲	٤/۵۰	۱/۲۰

جدول ۳. خلاصه نتایج برخی شاخص‌های ارزشیابی دقت مدل طبقه‌بندی

شاخص ارزشیابی	نمونه طبقه‌بندی‌شده درست	نمونه طبقه‌بندی‌شده نادرست	معیار کاپا	میانگین خطای مطلق
رانندگان بومی	۳۳۵ (۸٤/۱۷ درصد)	٦۳ (۱۵/۸۲ درصد)	۰/۲۲۲٤	۰/۲٦۱
رانندگان غیربومی	۱٦۰ (۸۹/۳ درصد)	۱۹ (۱۰/٦ درصد)	۰/۲٦۲۷	۰/۲۰۰

مدل جنگل تصادفی نشان می‌دهد که زاویه برخورد و حجم ترافیک روزانه به ترتیب مهم‌ترین نقش را برای تصادفات رانندگان بومی و رانندگان غیربومی در طبقه‌بندی علل مختلف تصادفات وسایل نقلیه در قوس‌های افقی محور دارند. با این حال متغیرهای سطح روشنایی، حجم ترافیک روزانه، سن راننده و زمان تصادف برای رانندگان بومی و زاویه برخورد، وضعیت سطح جاده، سطح روشنایی و سن راننده برای رانندگان غیربومی به‌عنوان سایر متغیرهای مهم توسط مدل شناخته شدند. جدول ٤

اهمیت متغیرهای مدل با استفاده از طبقه‌بندی جنگل تصادفی را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل جنگل تصادفی برای تصادفات رانندگان بومی که در قوس‌های پرتصادف رخداده نشان می‌دهد نحوه برخورد مهم‌ترین نقش را در تعیین شدت تصادفات رانندگان بومی دارد. تصادفات جلو به عقب و جلو به پهلو از متداول‌ترین نوع برخورد وسایل نقلیه با یکدیگر در قوس‌های افقی محور رشت – انزلی برای رانندگان بومی هستند. نتایج تحلیل شدت تصادفات در قوس‌های افقی این محور نشان می‌دهد که احتمال تصادفات خسارتی و جرحی در این نوع برخوردها بیشتر از سایر برخوردها خصوصاً برای خودروهای سواری سبک است. تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه تحلیل نحوه برخورد در تصادفات نشان داده بسیاری از عوامل شامل مشخصات راننده، ویژگی‌های وسیله نقلیه و محیط در این نوع برخورد نقش دارند (Didin & Iridiastadi, 2020) و همچنین بیشتر تصادفات جلو به پهلو تحت تاثیر سن و جنسیت راننده قرار می‌گیرند، بطوریکه رانندگان مرد بیشتر از رانندگان زن و همینطور رانندگان ۶۵ سال و بالاتر بیشتر در تصادفات مرگ‌بار این نوع برخورد درگیر هستند (Eboli et al., 2020). علاوه بر این عامل سطح روشنایی مسیر در قوس‌ها دومین عامل تاثیرگذار در شدت تصادفات رانندگان بومی در قوس‌ها شناسایی شد. نتایج مدل نشان داد تاریکی هوا عامل افزایش تصادفات جرحی برای رانندگان بومی خصوصاً رانندگان میانسال (۲۵ تا ۳۵ سال) است. تصادف رانندگان بومی و آشنا با مسیر در شب میتواند بدلیل افزایش اطمینان این گروه از رانندگان از خود بدلیل آشنا بودنشان با مسیر باشد که سبب کاهش احتیاط از جانب آن‌ها می‌شود. همچنین بر اساس مطالعات بین‌المللی عواملی مانند کاهش دید در شب، خستگی بیشتر رانندگان، آب و هوای نامناسب و رانندگی در صورت استفاده از نوشیدنی‌های الکلی شدت تصادفات در تاریکی را افزایش می‌دهد (Peng et al., 2021).

جدول ٤. مقادیر اهمیت متغیرهای مستقل مدل برای تصادفات وسایل نقلیه با پلاک بومی و غیربومی در قوس‌های افقی

تصادفات رانندگان بومی		تصادفات رانندگان غیربومی	
متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت	متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت
نحوه برخورد	۰/۵۱	حجم ترافیک روزانه	۰/۵۳
سطح روشنایی	۰/٤۹	نحوه برخورد	۰/۵۱
حجم ترافیک روزانه	۰/٤۹	سطح جاده	۰/٤٦
سن	۰/٤٦	سطح روشنایی	۰/٤۲
زمان	۰/٤٤	سن	۰/٤۲
سطح جاده	۰/٤	جنسیت	۰/٤۱
شرایط آب‌وهوا	۰/٤	شعاع قوس	۰/۳۸
دلیل تصادف	۰/۳۸	شرایط آب‌وهوا	۰/۳۷
شعاع قوس	۰/۳۷	زمان	۰/۳۵
نوع وسیله	۰/۳٦	نوع وسیله	۰/۳٤
عرض سواره‌رو	۰/۳۵	عرض سواره‌رو	۰/۳۳
جنسیت	۰/۳٤	علت تصادف	۰/۳۳
طول قوس	۰/۳٤	طول قوس	۰/۳
عرض شانه راه	۰/۳۳	عرض شانه راه	۰/۲۹

عامل دیگری که تأثیر زیادی در شدت و فراوانی تصادفات برای رانندگان بومی دارد حجم ترافیک روزانه است. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش حجم ترافیک روزانه در این محور باعث شدیدتر شدن تصادفات در قوس‌های افقی می‌شود و بیشتر تصادفات خسارتی در مواقعی رخ داده است که حجم ترافیک روزانه بیش از ۲۵ هزار خودرو در روز بوده است. سن راننده و زمان تصادفاً نیز از دیگر متغیرهای مهم درگیر در تصادفات رانندگان بومی در قوس‌های افقی محور مورد مطالعه هستند که بر شدت تصادفات تأثیر می‌گذارند. نتایج تحلیل‌های انجام شده نشان داد رانندگان میان‌سال بیشترین فراوانی را در بروز تصادفات

خسارتی در میان رانندگان بومی داشتند. این نتیجه همانند برخی مطالعات نشان می‌دهد نوجوانان و افراد میان‌سال نسبت به افراد مسن‌تر بیشتر مستعد حواس‌پرتی و بروز خطا در تصادفات هستند (Liang & Yang, 2022).

پژوهش حاضر نشان داد متغیر حجم ترافیک روزانه، مهم‌ترین عامل در تعیین شدت تصادفات رانندگان غیربومی است. بر اساس تحلیل‌هایی که صورت گرفت مشخص شد بر خلاف رانندگان بومی، حجم ترافیک کمتر عامل شدیدتر شدن تصادفات رانندگان غیربومی خصوصاً در ساعات پایانی روز و تاریکی هوا است. ریتالاک و استندوف دریافتند که کاهش حجم ترافیک تأثیر بسزایی در کاهش فراوانی تصادفات دارد، با این حال رابطه خاصی برای تأثیر حجم ترافیک در شدت تصادفات کشف نشد (Retallack & Ostendorf, 2020) با این حال تصور می‌شود مجموعه داده‌های مختلف نتایج متفاوتی در پی داشته باشند. در محیط‌هایی با ترافیک کم ممکن است رانندگان به دلیل تردد کمتر و فضای مانوور بیشتر در جاده، سرعت خود را افزایش دهند که این می‌تواند منجر به افزایش شدت تصادفات گردد. متغیر تاثیرگذار بعدی بر شدت تصادفات رانندگان غیربومی نحوه برخورد است. نتایج تحلیل شدت تصادفات رانندگان غیربومی در قوس‌های افقی محور مورد مطالعه نشان می‌دهد که همانند تصادفات رانندگان بومی تصادفات از نوع برخورد جلو به عقب و جلو به پهلو متداول‌ترین نوع برخورد در بین رانندگان غیربومی نیز است. تصادفات جلو به عقب اغلب به دلیل عدم فاصله‌گیری مناسب رانندگان در قوس‌های افقی این محور رخ داده است؛ بنابراین برای کاهش تعداد تصادفات جلو به عقب رعایت فاصله مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. متغیر سطح جاده سومین متغیر مهم در تعیین شدت تصادفات رانندگان غیربومی نشان داده شد. نتایج نشان داد بیشتر تصادفات رخ داده برای رانندگان غیربومی در قوس‌های افقی محور موردمطالعه در شرایط خشک بوده است که این امر بدلیل خشک بودن سطح راه در بیشتر روزهای سال طبیعی به نظر می‌رسد. با این وجود نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد آب‌وهوای نامساعد عامل مهمی در شدیدتر شدن تصادفات است (Wen & Xue, 2020d; Effati & Atrchian, 2024). متغیر مهم بعدی در تصادفات رانندگان غیر بومی سطح روشنایی جاده می‌باشد. بر خلاف نتایج مدل برای رانندگان بومی، شدت تصادفات رانندگان غیربومی در روز بیشتر بوده است. همچنین طبق مطالعات گذشته تاریکی جاده می‌تواند بر عدم آشنایی جاده توسط رانندگان غیربومی تاثیر بیشتری گذاشته و موجب کاهش ایمنی گردد (Wen & Xue, 2020b). با وجود اینکه از لحاظ فراوانی کل تصادفات تفاوت زیادی بین تصادفات روز و شب در بین رانندگان غیربومی نبود، وجود این متغیر در میان تاثیرگذارترین متغیرهای موثر در شدت تصادفات رانندگان بومی و غیربومی نشان می‌دهد وضعیت روشنایی در قوس‌های افقی محور برون‌شهری رشت- انزلی بطور کلی ضعیف است و هردو گروه تحت تاثیر این عامل قرار می‌گیرند.

۵- نتیجه‌گیری

تحلیل تصادفات رخ‌داده برای رانندگان بومی و غیربومی در قوس‌های افقی با در نظر گرفتن پارامترهای هندسی قوس‌ها کمک‌های شایانی به ارتقای ایمنی محورهای برون‌شهری نموده و در برنامه‌ریزی آتی برای طراحی قوس‌های یک شبکه راه مؤثر است. پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از روش‌های ناپارامتریک مبتنی بر یادگیری ماشین در تلفیق با سامانه‌های اطلاعات مکانی و قدرت تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به کمک داده‌های تصادفات، عوامل مؤثر در بروز تصادفات بر اساس دلایل مختلف را برای تصادفات وسایل نقلیه در قوس‌های افقی محورهای برون‌شهری دوخطه تحلیل نمود و الگوهای مفیدی در این مقاطع از راه‌های برون‌شهری استخراج کرد. استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی با قابلیت مدل‌سازی داده‌های پیچیده و حجیم در تحلیل‌های ایمنی و تصادفات منجر به کشف الگوها و روابط بین متغیرهای مؤثر بر تصادف می‌گردد. این تحقیق نشان داد جنگل تصادفی به‌عنوان یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند رابطه پیچیده میان انواع متغیرهای ورودی کمی و کیفی و عوامل مؤثر بر بروز تصادفات رانندگان بومی و غیربومی را در قوس‌های افقی پرتصادف محورهای دوخطه برون‌شهری نشان دهد. نتایج اعمال جنگل تصادفی بر روی تصادفات این دو گروه در محور مورد مطالعه نشان داد مؤلفه نحوه برخورد و حجم ترافیک روزانه به ترتیب برای رانندگان بومی و رانندگان غیربومی مؤثرترین عامل در بروز تصادفات در قوس‌های افقی به دلایل مختلف است و سایر مؤلفه‌ها نظیر شرایط راننده، زاویه برخورد، سن و زمان مشترکاً برای هر دو گروه از دیگر عاملان مؤثر در تصادفات هستند.

۶-پی‌نوشت‌ها

1. Kernel Density Estimation
2. Curve Calculator
3. Random Forest Kernel Density Estimation
4. Cross Validation

۷-مراجع

-AlThuwaynee, O. F., Kim, S.-W., Najemaden, M. A., Aydda, A., Balogun, A.-L., Fayyadh, M. M., & Park, H.-J. (2021). Demystifying uncertainty in PM10 susceptibility mapping using variable drop-off in extreme-gradient boosting (XGB) and random forest (RF) algorithms. *Environmental Science and Pollution Research,* 28, 43544–43566.

-Amiri, A. M., Nadimi, N., Khalifeh, V., & Shams, M. (2021). GIS-based crash hotspot identification: a comparison among mapping clusters and spatial analysis techniques. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 28(3), 325–338.

-Azari, M., Paydar, A., Feizizadeh, B., & Hasanlou, V. G. (2023). A GIS-based approach for accident hotspots mapping in mountain roads using seasonal and geometric indicators*. Applied Geomatics,* 15(1), 127–139.

-Beijer, D., Smiley, A., & Eizenman, M. (2004). Observed driver glance behavior at roadside advertising signs. *Transportation Research Record*, 1899(1), 96–103.

-Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011

-Bertola, M. A., Balk, S. A., & Shurbutt, J. (2012). Evaluating driver performance on rural two-lane horizontal curved roadways using a driving simulator. *United States. Federal Highway Administration*.

-Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45, 5–32.

-Didin, F. S., & Iridiastadi, H. (2020). Risk factors for rear-end collision: a systematic literature review. *IOP Conference Series*: *Materials Science and Engineering,* 909(1), 012076.

-Eboli, L., Forciniti, C., & Mazzulla, G. (2020). Factors influencing accident severity: an analysis by road accident type. *Transportation Research Procedia*, 47, 449–456.
doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.120

-Effati, M., & Atrchian, C. (2024). Considering the Reliability of Police-Reported Weather Information on Freeways Traffic Crash Severity Analysis: Proposing a Mixed Statistical and Geospatial Solution. Transportation in Developing Economies, 10(2), 30.

-Effati, M., Thill, J. C., & Shabani, S. (2015a). Geospatial and machine learning techniques for wicked social science problems: analysis of crash severity on a regional highway corridor. *Journal of Geographical Systems,* 17, 107-135.

-Effati, M., Rajabi, M. A., Hakimpour, F., & Shabani, S. (2015b). Prediction of crash severity on two-lane, two-way roads based on fuzzy classification and regression tree using geospatial analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering,* 29(6), 04014099.

-Elyassami, S., Hamid, Y., & Habuza, T. (2021). Road crashes analysis and prediction using gradient boosted and random forest trees. *2020 6th IEEE Congress on Information Science and Technology* (CiSt), 520–525.

-Federal Highway Administration (FHWA). (2010). Roads and curves, 2005–2008. *FHWA Office of Safety,* Washington, DC. (n.d.).

-Findley, D., Zegeer, C., Sundstrom, C., Hummer, J., & Rasdorf, W. (2012). Applying the Highway Safety Manual to two-lane road curves. *Journal of the Transportation Research Forum*, 51(1424-2016–117840), 25–38.

-Flach, P. (2012). Machine learning: the art and science of algorithms that make sense of data. *Cambridge university press.*

-Gooch, J. P., Gayah, V. v, & Donnell, E. T. (2018). Safety performance functions for horizontal curves and tangents on two lane, two way rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 28–37.

-Harootunian, K., Aultman-Hall, L., & Lee, B. H. Y. (2014). Assessing the relative crash fault of out-of-state drivers in Vermont, USA. *Journal of Transportation Safety & Security*, 6(3), 207–219.

-Harootunian, K., Lee, B. H. Y., & Aultman-Hall, L. (2014). Odds of fault and factors for out-of-state drivers in crashes in four states of the USA.

International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 28(4), 503–512.

-Quddus, M. (2015). Effects of geodemographic profiles of drivers on their injury severity from traffic crashes using multilevel mixed-effects ordered logit model. *Transportation Research Record*, 2514(1), 149–157.

-Retallack, A. E., & Ostendorf, B. (2020). Relationship between traffic volume and accident frequency at intersections. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1393.

-Safari, M., Effati, M., & Arabani, M. (2024). Spatial analysis of daytime and nighttime crash severity on horizontal curves of mountainous rural highways: A case study in Northern Iran. *Results in Engineering*, 24, 103344.

-Santos, K., Dias, J. P., & Amado, C. (2022). A literature review of machine learning algorithms for crash injury severity prediction. *Journal of Safety Research*, 80, 254–269.

-Shahi, S., Brussel, M., & Grigolon, A. (2023). Spatial analysis of road traffic crashes and user based assessment of road safety: A case study of Rotterdam. *Traffic Injury Prevention*, 1–10.

-Tamakloe, R. (2023). Risk Factors Influencing Fatal Powered Two-Wheeler At-Fault and Not-at-Fault Crashes: An Application of Spatio-Temporal Hotspot and Association Rule Mining Techniques. *Informatics*, 10(2), 43.

-Tamakloe, R., & Park, D. (2023). Factors influencing fatal vehicle-involved crash consequence metrics at spatio-temporal hotspots in South Korea: Application of GIS and machine learning techniques. International *Journal of Urban Sciences*, 27(3), 483–517.

-Vahedi Saheli, M., & Effati, M. (2021). Segment-based count regression geospatial modeling of the effect of roadside land uses on pedestrian crash frequency in rural roads. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 19, 347-365.

-Wen, H., Ma, Z., Chen, Z., & Luo, C. (2023). Analyzing the impact of curve and slope on multi-vehicle truck crash severity on mountainous freeways. *Accident Analysis & Prevention,* 181, 106951.

Accident Analysis & Prevention, 72, 32–43. **doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.01**

-Harootunian, K., Lee, B. H. Y., & Aultman-Hall, L. (2015). Fault determination for crashes in Vermont: implications of distance from home. *Transportation Research Record*, 2514(1), 97–104.

-Hummer, J. E., Rasdorf, W., Findley, D. J., Zegeer, C. v, & Sundstrom, C. A. (2010). Curve collisions: road and collision characteristics and countermeasures. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2(3), 203–220.

-Intini, P., Berloco, N., Colonna, P., Ranieri, V., & Ryeng, E. (2018). Exploring the relationships between drivers' familiarity and two-lane rural road accidents. A multi-level study. *Accident Analysis & Prevention,* 111, 280–296.

-Katicha, S. W., & Flintsch, G. W. (2023). A kernel density empirical Bayes (KDEB) approach to estimate accident risk. *Accident Analysis & Prevention*, 186, 107039. **doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107039**

-Khan, I. U., Vachal, K., Ebrahimi, S., & Wadhwa, S. S. (2023). Hotspot analysis of single-vehicle lane departure crashes in North Dakota. *IATSS Research*, 47(1), 25–34. **doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.12.003**

-Khattak, A. J., & Shamayleh, H. (2005). Highway safety assessment through geographic information system-based data visualization. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19(4), 407–411.

-Liang, O. S., & Yang, C. C. (2022). How are different sources of distraction associated with at-fault crashes among drivers of different age gender groups? Accident Analysis & Prevention, 165, 106505. **doi.org/10.1016/j.aap.2021.106505**

-Liu, C., & Ye, T. J. (2011). Run-off-road crashes: An on-scene perspective.

-Ma, Z., Lu, X., Chien, S. I.-J., & Hu, D. (2018). Investigating factors influencing pedestrian injury severity at intersections. *Traffic Injury Prevention*, 19(2), 159–164.

-Mekonnen, A. A., Sipos, T., & Krizsik, N. (2023). Identifying Hazardous Crash Locations Using Empirical Bayes and Spatial Autocorrelation. *ISPRS International Journal of Geo-Information,* 12(3), 85.

-Peng, Z., Wang, Y., & Wang, L. (2021). A comparative analysis of factors influencing the injury severity of daytime and nighttime crashes on a mountainous expressway in China.

-Wu, L., Lord, D., & Geedipally, S. R. (2017). Developing crash modification factors for horizontal curves on rural two-lane undivided highways using a cross-sectional study. *Transportation Research Record,* 2636(1), 53–61.

-Yang, J., Han, S., & Chen, Y. (2023). Prediction of Traffic Accident Severity Based on Random Forest. *Journal of Advanced Transportation*.

-Zegeer, C., Reinfurt, D., Neuman, T., Stewart, R., & Council, F. (1991). Safety improvements on horizontal curves for two-lane rural roads-Informational guide.

-Zegeer, C. v, Stewart, J. R., Council, F. M., Reinfurt, D. W., & Hamilton, E. (1992). Safety effects of geometric improvements on horizontal curves. *Transportation Research Record,* 1356.

-Wen, H., & Xue, G. (2020a). Exploring the relationships between single-vehicle traffic accident and driver's route familiarity on the mountainous highways. *Cognition, Technology & Work,* 22, 815–824.

-Wen, H., & Xue, G. (2020b). Exploring the relationships between single-vehicle traffic accident and driver's route familiarity on the mountainous highways. *Cognition, Technology & Work,* 22, 815–824.

-Wen, H., & Xue, G. (2020c). How to Measure Driver's Route Familiarity. *In CICTP 2020,* 4620–4632.

-Wen, H., & Xue, G. (2020d). Injury severity analysis of familiar drivers and unfamiliar drivers in single-vehicle crashes on the mountainous highways. *Accident Analysis & Prevention,* 144, 105667.

-World Health Organization (WHO). Available from https://www.who.int. (n.d.).

Crash Injury Severity Analysis of Familiar and Unfamiliar Drivers on Horizontal Curves of Rural Two-Lane Roads Using GIS and Random Forest Algorithm

Morteza Safari, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Meysam Effati, Assistant Professor, Department of Civil Engineering (Road & Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

Mahyar Arabani, Professor, Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran.

E-mail: Meysameffati@guilan.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

By providing a transition between two straight road segments, horizontal curves play a significant role in the interurban road network. According to statistics, these locations are characterized by high incident and accident rates. The aim of this study is to introduce a geospatial based method for extracting the geometric parameters of horizontal curves on rural two-lane roads using Geospatial Information Systems (GIS) and satellite imagery, as well as identifying accident-prone curves through the utilization of spatial clustering functions and and investigating factors influencing the injury severity of accidents on the horizontal curves of rural two-lane roads based on familiar and unfamiliar drivers, using the Random Forest algorithm. The implementation results of the proposed method on the studied corridor (Rasht - Anzali) indicated that the most significant contributing factors to severity of crashes on accident-prone horizontal curves, which were identified using the kernel density estimation method were collision type and road light condition with coefficients of 0.51 and 0.41 for accidents involving familiar drivers and the factors of daily traffic volume and collision type with coefficients of 0.53 and 0.51 for accidents involving unfamiliar drivers. Factors such as daily traffic volume and driver age for familiar drivers, road surface conditions and road light condition for unfamiliar drivers were recognized as additional influential factors on the severity of crashes of studied corridor's horizontal curves.

Kewwords: Spatial Analysis, Random Forest, Rural Two-Lane Roads, Crash Severity, Horizontal Curves