نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۲ شماره ۶، سال ۱۳۹۹، صفحات ۱۴۱۹ تا ۱۴۳۸
DOI: 10.22060/ceej.2019.15376.5903

ارایه روشی جهت تحلیل شدت تصادفات راه های برون شهری مبتنی بر توابع خوشه‌بندی مکانی و داده‌کاوی به روش درخت تصمیم، محور مورد مطالعه: آزادراه قزوین-لوشان

حمید بهبهانی[۱]، میثم عفتی[۲*]، سمانه مرتضایی[۱]

[۱] دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
[۲] گروه مهندسی عمران (راه و ترابری)، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

خلاصه: تحلیل مکانی تصادفات رخ داده در راه های برون شهری با هدف شناسایی پارامترهای مؤثر بر افزایش شدت تصادفات، می تواند در تصمیم‌گیری متخصصین و دست‌اندرکاران اصلاح و بهبود ایمنی راه ها به منظور کاهش شدت تصادفات جاده ای موثر باشد. هدف این تحقیق ارایه روشی جهت تحلیل شدت تصادفات و تعیین عوامل موثر بر آن در آزادراه‌های برون شهری مبتنی بر توابع خوشه‌بندی مکانی و مدل داده کاوی درخت طبقه بندی و رگرسیون است. روش پیشنهادی در آزادراه قزوین-لوشان مورد ارزیابی و آزمون قرار می‌گیرد. در این راستا به منظور بررسی توزیع مکانی تصادفات در محور مورد مطالعه طی دوره ۶ ساله ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ شمسی، از توابع خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار و تراکم کرنل استفاده شده است. خروجی تحلیل‌های مکانی نشان داد، که تمرکز تصادفات در بخش اعظمی از قوس های افقی محور مورد مطالعه بیشتر می باشد. باتوجه به این دستاورد در فاز بعدی تحقیق به منظور بررسی عوامل موثر بر شدت تصادفات، از مدل داده کاوی درخت طبقه بندی و رگرسیون بر روی تصادفات رخ داده در کل محور و به طور خاص تصادفات رخ داده در قوس‌های افقی استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بود که مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش شدت تصادفات در محور مورد مطالعه، دو متغیر نوع تصادفات و عامل انسانی با ضرایب اهمیت نسبی متغیرهای مستقل به ترتیب ۱۰۰ و ۳۹/۷ درصد برای کل محور و ۱۰۰و ۶۵/۹ درصد برای قوس های افقی هستند. بررسی اهمیت نسبی سایر متغیرهای مدل پیشنهادی نیز نشان داد که طرح هندسی، نحوه برخورد و روز وقوع تصادف از جمله عوامل موثر در افزایش تصادفات با شدت خسارتی در آزادراه قزوین-لوشان می باشد. این تحقیق نشان داد که تلفیق توابع مکانمند GIS با تحلیل‌های ناپارامتریک داده‌کاوی مبتنی بر درخت تصمیم که قابلیت مدلسازی توامان داده‌های کمی و کیفی را همزمان دارا می‌باشد، در تعیین عوامل موثر بر شدت تصادفات و تحلیل مکانمند الگوهای رایج تصادفات در محورهای برون‌شهری کارا و موثر است.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۱-۰۹-۱۳۹۷
بازنگری: ۱۴-۱۱-۱۳۹۷
پذیرش: ۲۲-۰۲-۱۳۹۸
ارائه آنلاین: ۱۳-۰۴-۱۳۹۸

کلمات کلیدی:
ایمنی راه
شدت تصادفات
تحلیل مکانی
مدل خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار
تابع مکانمند تراکم کرنل
درخت طبقه بندی و رگرسیون

۱- مقدمه

سیستم حمل و نقل جاده ای به عنوان مهم ترین سیستم زیربنایی، نقش حیاتی در عملکرد سایر فعالیت ها دارد. بنابراین برنامه ریزی و مدیریت آن به طور موثر، بسیار مهم است. افزایش زیاد تصادفات ترافیکی، باعث شده که بهبود وضع ایمنی راه ها، به یکی از مهم ترین اهداف مهندسی حمل و نقل در اکثر کشورها تبدیل گردد. امروزه شناسایی الگوی فضایی-مکانی تصادفات در جاده ها می تواند به عنوان ابزاری برای انتخاب مناسب ترین برنامه در جهت کاهش تصادفات و همچنین اثربخشی چنین طرح هایی، پس از اجرا مورد استفاده قرار گیرد. سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) تحولات انکارناپذیری را در زمینه سازمان دهی و مدیریت داده های مکانی، امکاناتی چون آنالیزهای مکانی، شبیه سازی و مدل سازی را در اختیار برنامه ریزان و مدیران حمل و نقل قرار می دهد. پیشرفت های اخیر

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Meysameffati@guilan.ac.ir

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمائید.

در سیستم های اطلاعات مکانی آن را به یک ابزار قدرتمند تبدیل کرده است که می تواند شرح و درک ما از توزیع جغرافیایی پدیده ها را بهبود بخشد [۱]. نظر به اینکه تصادفات یک پدیده مکان مند است، تحلیل تصادفات راه های برون شهری بر مبنای سیستم اطلاعات مکانی کمک شایانی در شناسایی مناطق مستعد بروز حادثه می نماید. داده کاوی مکانی فرایند کشف الگوهای مکانی مفید ولی در عین حال ضمنی، از پایگاه داده های حاوی اطلاعات مکانی است. با توجه به حجم عظیم داده های مکانی تصادفات، گسترش ابزارهای کشف دانش از پایگاه داده های مکانی به یک امر مهم تبدیل شده است. ابزارهای کارا برای استخراج اطلاعات از مجموعه داده های مکانی برای سازمان هایی که مجموعه داده های بزرگ مکانی را تولید و مدیریت می کنند، می توانند بسیار مهم باشند. پیشرفت های موجود در زمینه ساختار داده مکانی و پایگاه داده های مکانی به همراه توسعه روش های داده کاوی و ساخت انبار داده ها، زمینه را برای پیدایش داده کاوی مکانی ایجاد می کند [۲] .به دلیل پیچیدگی پارامترهای مرتبط با تصادفات جاده ای و ماهیت مکانی آنها داده های جمع آوری شده معمولاً حجیم و ناهمگن می باشند. روش های داده کاوی برای تحلیل این نوع داده ها به منظور کاهش عدم تجانس و کشف الگوهای مبهم مفید هستند[۳] .

درهمین راستا محققان زیادی از تحلیل های مکانی نه به منظور تحلیل شدت تصادفات بلکه برای نمایش موقعیت تصادفات روی نقشه های رقومی، خوشه بندی تصادفات و تشخیص نواحی حادثه خیز استفاده کردند [۶-۴] .به عنوان مثال استینبرقن و همکاران در سال ۲۰۰۴ کارایی استفاده از تحلیل های مکانی و روش های الگویی نقطه ای را به منظور تعیین محل های تمرکز تصادفات مورد بررسی قرار دادن. این مطالعه نشان داد که در راه های با الگوی ترافیکی پراکنده، پارامتر مجاورت به نواحی شهری به طور قابل توجهی محل های تمرکز تصادفات را تحت تاثیر قرار خواهد داد[۷]. شفابخش و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۷ با استفاده از تلفیق چندین تابع مکانمند، به بررسی توزیع تصادفات درون شهری در مشهد پرداختند. آن ها تلفیق مدل های فوق را روشی مناسب برای درک بهتر مشکلات مربوط به ایمنی جاده می دانند [۸]. اولاک و همکارانش در سال ۲۰۱۷ با هدف بررسی تصادفات افراد مسن، یک تجزیه و تحلیل مکانی سه مرحله‌ای شامل تابع تراکم کرنل با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی در سه شهرستان در ناحیه شمال غربی فلوریدا بر اساس داده های تصادفات دریافت شده از اداره حمل و نقل فلوریدا (FDOT) انجام دادند. این تجزیه و تحلیل مکانی به دنبال یک رویکرد مبتنی بر رگرسیون لجستیک به منظور شناسایی عوامل مؤثری است که می توانند به بررسی الگوهای متمایز تصادفات رانندگان پیری کمک کنند. نتایج نشان داد که دانش مبتنی بر GIS می تواند به توسعه برنامه‌های ایمنی با رویکردهای قابل اطمینان کمک کند[۹]. برخی از پژوهشگران در نیز سال ۲۰۱۸ از روش های مکانمند برای مطالعه عوامل موثر در تشکیل خوشه بندی تصادفات کامیون های باری در بزرگراهی در کشور شیلی استفاده کردند. نتایج بررسی ها نشان داد عواملی از قبیل از دست دادن کنترل وسیله نقلیه، خستگی و عدم اطمینان راننده و همچنین تصادفاتی که شامل تراکتورهایی با یدک کش هستند، تمایل بیشتری به ایجاد تشکیل خوشه تصادفات از توع واژگونی دارند ولی بیشترین خوشه بندی تصادفات (مناطقی با فراوانی تصادف) در قسمت جنوبی بزرگراه مربوط به قوس های قائم در روزهای ابری بوده و در قسمت های جنوبی در روزهای آفتابی رخ داده است[۱۰].

تاکنون به منظور تحلیل شدت تصادفات استفاده از رگرسیون های آماری از قبیل مدل های لوجیتو پروبیت (دوگانه و ترتیبی) [۱۴-۱۱] به طور گسترده متداول بوده است، ولی به دلیل متنوع و پیچیده بودن اطلاعات، ممکن است این مدل های سنتی برای بررسی عوامل مختلف و تاثیر آن ها بر شدت تصادفات مناسب نباشند[۱۵]. یانیس و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند که مدل های رگرسیون پارامتریک بوده و بسیار وابسته به فرضیه های تعریف شده از روابط تابعی موجود و همچنین خصوصیات متغیرهای مورداستفاده جهت تحلیل شدت تصادفات هستند. بنابراین، چنانچه این روابط یه درستی تعریف نشوند یا اندکی تغییر کنند، مدل برآورد نادرستی از شدت تصادفات خواهد داشت[۱۶]. با توجه به کاستی های مدل های رگرسیون، در سال های اخیر پژوهشگران مختلف سعی کرده اند با استفاده از روش های ناپارامتری و ابزارهای داده کاوی شدت تصادفات را تحلیل نمایند. این روش‌ها که بعضا براساس تکنیک های دسته بندی داده ها انجام می شوند، از میان حجم داده ها، الگوهایی را استخراج می کند که شدت تصادفات برحسب خسارتی بودن و یا جرحی یا فوتی بودن، هر یک در دسته های مربوط

به خود قرار می گیرند و به این ترتیب شرایطی که باعث می شود تا یک تصادف برحسب متغیرهای مستقل مربوط به خود در یک دسته مشخص از شدت تصادفات قرارگیرد، معلوم می‌شود.

یکی از روش‌های داده‌کاوی که قابلیت تحلیل داده‌های کمی و کیفی را توامان دارد، مدل درخت طبقه بندی و رگرسیون (CART) است. درخت های تصمیم گیری ابزاری قدرتمند در تعیین مهم ترین متغیر های مستقل و حل مسائل دسته بندی و پیش بینی به شمار می روند. ازجمله مطالعات صورت گرفته در بررسی شدت تصادفات با روش درخت طبقه بندی و رگرسیون می توان به موارد زیر اشاره کرد: عفتی و صادقی در سال ۲۰۱۵، پژوهشی را با تلفیق یک چارچوب مکانمند مبتنی بر هستی شناسی و داده کاوی درخت طبقه بندی و رگرسیون به منظور پیش بینی شدت تصادفات در محور قدیم قزوین-رشت، انجام دادند. این مطالعه نشان داد که می توان از تلفیق هستی شناسی با درخت طبقه بندی و رگرسیون برای نشان دادن ارتباط میان عوامل تاثیرگذار و شدت تصادف که در قوانین تصمیم‌گیری داده کاوی ضمنی نگهداری شده است، استفاده کرد. علاوه بر این، آنالیز حساسیت شدت تصادفات نشان داد که رابطه شدیدی بین شدت تصادفات وسایل نقلیه موتوری و هندسه جاده، نقص خودرو و وضعیت راننده وجود دارد [۱۷]. کاشانی و بشارتی در سال ۲۰۱۶ با استفاده از روش CART به بررسی شدت تصادفات در بزرگراه های درون شهری و راه های چندخطه ایران پرداختند. مطالعات آن ها نشان داد که مدل CARTروشی کارا برای تحلیل شدت تصادفات بوده است، همچنین براساس تحلیل درخت طبقه بندی و رگرسیون، کمربند ایمنی ابزاری قدرتمند در جلوگیری از تصادفات شدید محسوب می شود [۱۸] .همچنین هوآنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ از روش کارت برای بررسی شدت تصادفات یک آزادراه کوهستانی استفاده کردند. آن ها دریافتند که مهم ترین عامل تاثیرگذار بر شدت تصادفات آزادراه مورد مطالعه، رفتار راننده می باشد [۱۵] .از دیگر مطالعات در این زمینه می توان به بررسی شدت آسیب های وارده به موتورسواران [۱۹]، عابر پیاده [۲۰]، دوچرخه سواران [۲۱] و کاربران راه های برون شهری [۱۹]، آزادراه های برون شهری [۲۲]، آزادراه های کوهستانی [۲۳ و ۱۵] و تصادفات کامیون ها [۲۴] اشاره کرد.

از طرفی قوس های افقی یکی از مهم ترین اجزای طرح هندسی راه‌ها هستند، که هرساله تصادفات زیادی در این نواحی اتفاق می افتد، این بخش از راه به دلیل اعمال نیروی گریز از مرکز بر وسایل نقلیه، از حادثه خیزترین نقاط جاده ای محسوب می شود، که همواره توجه ویژه ای را جهت کاهش حوادث به خود معطوف می سازد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که یکی از عوامل تاثیرگذار بر شدت تصادفات، مشخصات هندسی قوس های افقی می باشد [۲۵]، درواقع قوس های افقی باعث افزایش شدت تصادفات شده و هرچه قوس – افقی شدیدتر باشد، احتمال خطر افزایش می یابد [۲۹-۲۶]. گلنون و همکارانش در سال ۱۹۸۵ به منظور بررسی ایمنی قوس های افقی، مطالعه ای را روی ۳۵۵۷ قطعه در ایالت های امریکا انجام دادند، که از میان آن ها ۳۳۰۴ قطعه دارای قوس و۲۵۳ قطعه، صرفا مسیر مستقیم بودند. نتایج نشان داد که در ایمنی راه در مقاطع قوس ها، شعاع و درجه قوس نقش مهمی را ایفا می کنند [۳۰]. همچنین هاونگ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ نیز در مطالعات خود بر روی شدت تصادفات آزادراه کوهستانی در چین به این نتیجه رسید که در تصادفات ناشی از عجله و شتاب بی مورد، قوس هایی با شعاع بزرگتر (مستقیم و انحنای کمتر) احتمال وقوع تصادفات با شدت فوتی و جرحی بیشتری دارند [۱۵]. تحقیقات صورت گرفته نشان داد علاوه بر شعاع و درجه قوس پارامترهای دیگری از قبیل طول قطعه، جریان ترافیک، عرض راه و مشخصات حاشیه آن، قوس های قائم و در نهایت تعداد تقاطع بر شدت و نرخ تصادفات قوس های افقی تاثیرگذارند [۳۱].

همان گونه که اشاره شد اکثر مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته است، با فرض خطی بودن رابطه میان شدت تصادفات و عوامل موثر، از مدل های رگرسیونی برای برآورد شدت تصادفات استفاده کرده اند. که این پیش فرض می تواند منجر به تخمین نادرستی از عوامل موثر بر شدت تصادفات شود، چراکه ممکن است روابط پیچیده غیرخطی‌ای بین عوامل موثر بر شدت تصادفات وجود داشته باشد. از طرف دیگر تاکنون به ندرت به تحلیل داده‌کاوی مکان مبنای شدت تصادفات در قوس های افقی پرداخته شده است، لذا در این پژوهش با ارایه روشی تلفیقی از سیستم های اطلاعات مکانی و داده‌کاوی، ضمن تحلیل مکانمند تصادفات در محور مورد مطالعه، شدت تصادفات رخ داده (بخصوص تصادفات رخ داده در قوس های افقی) با استفاده از روش داده کاوی درخت طبقه بندی و رگرسیون، که قابلیت مدلسازی

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در تحقیق
Table 1.Data used in study

داده	مشخصات	منبع	توضیح
داده تصادف	داده ۵ ساله آزادراه قزوین-لوشان شامل عوامل محیطی، انسانی و طرح هندسی	پلیس راه کشور	توصیفی
نقشه‌های مکانمند	شامل کاربری‌ها و عوارض (مجتمع‌های تفریحی‌ورفاهی، پاسگاه پلیس، مساجد، پمپ بنزین و فوریت‌های پزشکی) محورمورد مطالعه	سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای	مکانی و توصیفی در فرمت GIS

روابط پیچیده متغیرهای کمی وکیفی را بصورت توأمان دارا می باشد، مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در ادامه در بخش ۲ روش تحقیق و داده های مورد استفاده تشریح خواهد شد، در بخش ۳ پیاده سازی و بحث، و در بخش ۴ بحث روی نتایج حاصله انجام می‌گیرد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- داده و منطقه مورد مطالعه

آزادراه قزوین-لوشان بخشی از آزادراه قزوین-رشت است که در استان قزوین واقع شده است، این محور جزء اولین آزادراهی است که از رشته کوه البرز می‌گذرد و از مهم ترین محورهای ارتباطی کشور محسوب می‌شود. محور قزوین-لوشان در بین عرض های جغرافیایی'۳۶°۱۸ تا '۳۶°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی '۴۹°۵۷ تا '۴۹°۳۲ شرقی قرار دارد. از آن جایی که بخشی از این محور در منطقه کوهستانی استان قزوین واقع شده است، به همین دلیل از آزادراه های پرخطر کشور به شمار می آید و بسیار مستعد تصادف است. جدول ۱ داده های مورد استفاده در تحقیق و ویژگی آن ها را توصیف می کند.

۲-۲- روش تحقیق

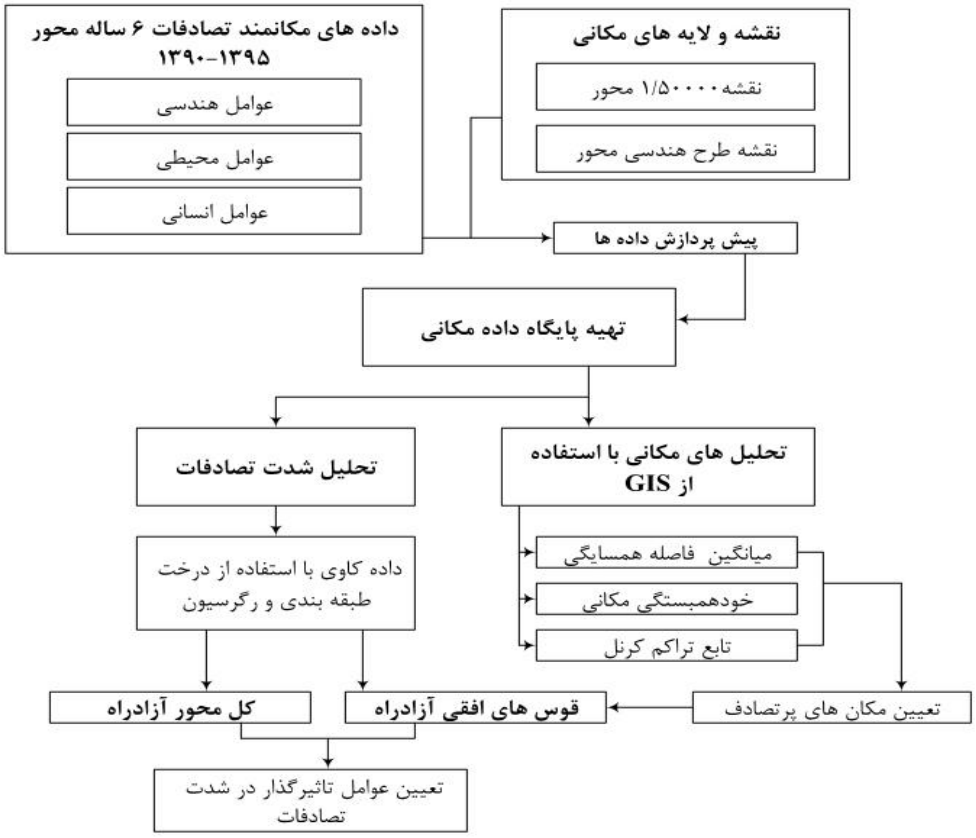
رویکرد اصلی تحقیق براساس تلفیق تحلیل مکانی و مدل درخت طبقه بندی و رگرسیون، به منظور تحلیل مکان مبنای شدت تصادفات و تعیین فاکتورهای موثر در آن استوار است. شکل۱ ساختار کلی روش پیشنهادی تحقیق را نشان می دهد. در این ساختار، داده های ورودی که از منابع مختلف اخذ شده اند، پس از پیش پردازش های لازم نظیر حذف داده های تکراری و ناقص، در پایگاه داده ذخیره شده و تحلیل می شوند تا تاثیر آن ها بر سطوح مختلف شدت تصادفات سنجیده شود. به منظور بررسی شدت تصادفات در محور موردمطالعه، از دو استراتژی استفاده می گردد. ابتدا با توجه به حجم عظیم رکوردهای تصادف، الگوریتم داده‌کاوی CART برروی تصادفات کل محور مورد مطالعه اعمال می شود، سپس به منظور تعیین مقاطع پرتصادف محور، از آنجا که تصادفات مأخوذه از پلیس راه کشور دارای مختصات مکانی GPS می‌باشند، از تحلیل‌های مکانی میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی، خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار و تابع تراکم کرنل استفاده می‌شود. نتایج تحلیل مکانی، قوس های افقی را به طور خاص مقاطع پرتصادف در محور موردمطالعه شناسایی نمودند. لذا در ادامه آزمون CART صرفا بر روی تصادفات رخ داده در مقاطع قوس‌دار محور اعمال می گردد، تا عوامل تاثیرگذار بر شدت تصادفات در قوس های افقی پر تصادف نیز شناسایی گردند.

۲-۲-۱- روش های تحلیل مکانی مورداستفاده در روش پیشنهادی

تحلیل های مکانی کلید شناخت رویدادهای فضایی و زمانی تصادفات می باشند که شامل مجموعه ای از تکنیک ها برای توصیف و مدل سازی داده های فضایی هستند. جدول ۲ تحلیل های مکانی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد.

۲-۲-۲- میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی (آزمون خوشه بندی)

یکی از شاخص های آماری مورداستفاده برای تحلیل الگوهای مکانی تصادفات، آزمون شاخص میانگین نزدیک ترین فاصله همسایه می باشد. به کمک این آزمون نحوه پراکنش الگوهای تصادفات در محدوده موردمطالعه بررسی می شود که آیا تصادفات رخ داده توزیع خوشه ای دارند یا نه. چنانچه نسبت میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی کمتر از یک باشد، داده های موردمطالعه دارای الگوی خوشه ای و اگر این نسبت بزرگتر از یک باشد، دارای الگوی پراکنده



شکل ۱. روش تحقیق

Fig. 1.Research Methodology

جدول ۲. تحلیل‌های مکانی استفاده شده در پژوهش

Table 2.Spatial Analysis used in study

روش‌های تحلیل مکانی	هدف
میانگین‌ترین نزدیکترین فاصله همسایگی	نحوه پراکنش الگوهای تصادفات در محدوده مورد مطالعه
خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار	تحلیل نقاط کانونی تصادفات
تراکم کرتل	تحلیل داده‌ها و نمایش مدل‌های واقعی از الگوی نقاط کانونی

می باشند. نسبت میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی از نظر آماری به صورت رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$ANN = \frac{\bar{D}_0}{\bar{D}_E} \quad (۱)$$

که در آن $\bar{D}_0$ میانگین فاصله مشاهده شده بین تصادف و نزدیک ترین همسایگانش و $\bar{D}_E$ میانگین فاصله بین تصادف و نزدیک ترین همسایگانش در صورتی که توزیع پدیده ها به صورت تصادفی باشد، است که با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه می شود:

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{i-1}^{n} d_i}{n} \quad (۲)$$

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/N}} \quad (۳)$$

در معادلات بالا d_i فاصله بین پدیده مورد بررسی و نزدیک ترین همسایه اش، n تعداد کل عوارض و همچنین A مساحت کل محدوده مورد مطالعه است. هنگام به کارگیری شاخص نزدیک ترین همسایه جهت بررسی الگوی مکانی از آزمون امتیاز استاندارد Z_{ANN} استفاده

می شود که به صورت روابط ۴ و ۵ محاسبه می شود:

$$Z_{ANN} = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}_E}{SE} \quad (۴)$$

$$SE = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (۵)$$

مقدار P-Value نیز تقریبی از مساحت زیر منحنی برای توزیع معین خواهد بود که با آزمون آماری محدود می شود.

۲-۲-۲-۱-تحلیل خود همبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار

آماره گتیس-ارد جی استار به منظور تحلیل نقاط کانون استفاده می شود؛ این روش خروجی ای تولید می کند که در آن هر نقطه یا عارضه دارای Z-Value است که نشان می دهد در کجای داده ها مقادیر زیاد و یا کم خوشه بندی شده اند. Z-Valueبزرگ و P-Value کوچک برای هر نقطه نشان دهنده خوشه بندی مکانی مقادیر بالاست. Z-Value پایین و منفی و P-Value کوچک نشان دهنده خوشه بندی مکانی مقادیر پایین است. جواب G_i^* یک Z-Value است. تعریف آماری "گتیس-ارد جی استار" در رابطه ۶ آمده است.

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_{i,j} - \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j \sum_{i=1}^{n} wi,j}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j^2 - (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_j)^2} \times \sqrt{\frac{1}{n-1}\left[n\sum_{i=1}^{n} w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^{n} w_{i,j})^2\right]}} \quad (۶)$$

که در آن x_j مقدار ویژگی برای عارضه j ، n اندازه نمونه، $w_{i,j}$ وزن های مکانی بین عارضه های i و j است. مقدار مثبت این آماره، خوشه مکانی از مقادیر بالا و مقدار منفی، خوشه مکانی از مقادیر پایین را نشان می دهد. این آماره که برای هر عارضه محاسبه می شود، نوعی امتیاز z است. برای امتیاز z مثبت و معنادار از لحاظ آماری، هرچه امتیاز z بزرگتر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه بندی شده و لکه داغ تشکیل می دهند. برای امتیاز z منفی و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز z کوچکتر باشد، به معنای خوشه بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و به آن ها لکه های سرد می گویند.

۲-۲-۳- روش برآورد تراکم کرنل

برآورد تراکم کرنل روشی مناسب برای تحلیل داده های یک بعدی و دوبعدی است. این روش قادر است به سرعت و به صورت بصری نقاط کانون را از پایگاه داده بزرگ شناسایی کرده و در نتیجه خروجی آماری و رضایت بخشی را ارائه دهد. مزایای بازنمایش سطحی به خصوص در تصادفات راه های برون شهری این است که آن ها می توانند مدل پیوسته واقعی تری را از الگو های نقاط کانونی ارائه دهند. مزایای زیادی در استفاده از برآورد کرنل وجود دارد که مزیت اصلی این روش خاص، تشخیص گسترش خطر تصادف است. برآورد $\hat{p}(X)$ از تراکم در X می تواند با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شود، که در آن K_σ تابع کرنل است:

$$R_i = \hat{p}(X) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} K_\sigma(X - X_i) \quad (۷)$$

۲-۲-۴- مدل درخت طبقه بندی و رگرسیون درختی پیشنهادی به منظور بررسی شدت تصادفات آزادراه قزوین-لوشان

روش درخت طبقه بندی و رگرسیون یک روش رایج داده کاوی است که می تواند روابط پیچیده ی میان پارامتر ها را به سادگی بیان کند. درصورت استفاده از این روش، همبستگی میان متغیر ها حایز اهمیت نمی باشد [۳۲]. در واقع این مدل می تواند با دریافت حجم زیادی از داده هایی که دارای متغیر های مختلفی هستند، به عنوان اطلاعات ورودی، نتیجه ای مناسب را تنها با استفاده از متغیرهای اساسی تولید کند و آن ها را در یک گراف خلاصه نماید [۳۳]. درخت طبقه بندی و رگرسیون یک روش مدل سازی ناپارامتریک و بهترین ابزار برای تحلیل شدت تصادف می باشد [۲۴]. اساس کار در این روش به این صورت است که ابتدا تمام داده ها در بالاترین گره که به آن " گره ریشه" گفته می شود، قرار می گیرند، سپس هر گره براساس متغیر جداکننده ای که بهترین خلوص را ایجاد کند، به دو زیرگره تقسیم می شود. اگر گره های ایجاد شده به اندازه کافی یکدست و خالص باشند، انشعاب آن ها متوقف شده و در حکم گره نهایی یا برگ خواهند بود که هیچ زیرمجموعه ای ندارد، اما اگر خلوص لازم را نداشته باشند، مجدداً به گره های دیگری منشعب خواهند شد. در واقع داده های هر زیر گره، همگن تر از گره قبلی خود هستند. به

گره هایی که مابین گره ریشه و گره های نهایی هستند، گره میانی گفته می شود. شروع مدل سازی نیاز به دو دسته متغیر دارد؛ متغیر هدف (وابسته) و متغیر مستقل، هدف از این تقسیم بندی یافتن سطوح مختلف شدت تصادف (خسارتی، جرحی و فوتی) و مقدار مربوط به آن در مناسب ترین زیرمجموعه است. در این پژوهش از نرم افزار SPSS۲۴ به منظور تحلیل شدت تصادفات با روش درخت طبقه بندی و رگرسیون در محور مورد مطالعه استفاده می شود.

۲-۲-۵- شاخص جینی

از معروف ترین شاخص های تقسیم بندی برای داده هایی اسمی می توان به شاخص جینی اشاره کرد، این شاخص از رابطه ۱۰ به دست می آید:

$$p(j\,|m)=\frac{p(j\,.m)}{p(m)}, p(j\,,m)=\frac{\pi(j)N_j(m)}{N_j} \quad (۸)$$

$$p(m)=\sum_{j=1}^{J}P(\mathrm{j,m}) \quad (۹)$$

$$Gini\,(m)=1-\sum_{j=1}^{J}P^2(j\,|m) \quad (۱۰)$$

در روابط فوق $N_j(m)$ تعداد مشاهدات مربوط به دسته در گره m، N_j تعداد کل مشاهدات مربوط به کلاس j در گره ریشه، $p(\mathrm{j}|m)$ احتمال قرارگیری مشاهدات مربوطه در دسته j در گره m، $Gini(m)$ که همان شاخص جینی می باشد، نشانگر عدم خلوص در گره m است. درصورتی که تمام مشاهدات در یک گره از دسته باشند، این شاخص برابر صفر و نشان دهنده کمترین ناخالصی (بیشترین خلوص) در گره می باشد و بالعکس. بیشترین مقدار $Gini(m)$ نیز زمانی حاصل می شود که از تمامی مشاهدات به یک نسبت در گره وجود داشته باشد. شاخص جینی در هر گره برای تمام متغیرها محاسبه شده و متغیری به عنوان متغیر جداکننده انتخاب می شود، که کمترین مقدار برای جینی از آن بدست بیاید.

۲-۲-۶- ضریب اهمیت متغیر

در مدل سازی، شناسایی متغیرهایی که نقش اساسی در پیش بینی متغیر هدف دارند، یکی از مهم ترین مراحل مدل سازی است. یکی از خروجی های روش درخت طبقه بندی و رگرسیون، شاخص اهمیت متغیر است که براساس آن پس از ساخت درخت بهینه، اهمیت متغیر به صورت نسبی طبق رابطه ۱۱ به دست می آید:

$$VIM(x_j)=\sum_{m=1}^{M}\frac{n_m}{N}\Delta Gini(S(x_j,m)) \quad (۱۱)$$

$S(x_j,m)$ جداکننده متغیر x_j در محل گره m و $\Delta Gini(S(x_j,m))$ کاهش شاخص جینی در گره m بر اساس متغیر x_j و n_m/N نسبت مشاهدات در گره m، M تعداد کل گره ها و N تعداد کل مشاهدات است. این مقدار برای همه متغیرهای مستقل x_j محاسبه شده و به نحوی مقیاس می شود که مجموع آن x_j مستقل برای همه متغیرها برابر مقدار ۱ شود. متغیری که بیش ترین سهم را دارد، نسبت به بقیه، به صورت نسبی بزرگترین عدد را اختیار می کند.

۳- پیاده سازی

به منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی تحقیق، در ابتدا داده‌های ورودی با استفاده از آزمون های خوشه بندی نظیر میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی، روش های خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار و همچنین تابع برآورد تراکم کرنل جهت شناسایی ناحیه‌های تجمع تصادفات در محور مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل شدند. همانطور که در روش تحقیق بیان شد پس از مشخص شدن محل‌های تجمع تصادف، شدت تصادف در این مکان ها و همچنین کل محور با استفاده نرم افزار تحلیل خواهد شد. بدین منظور در مجموع ۲۰۵۱ مورد تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) برای آزادراه قزوین-لوشان، در فرمت متن، عدد، تاریخ و زمان در دوره زمانی شش ساله ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برای تجزیه و تحلیل مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است پیش از فرایند داده کاوی، پیش پردازش های لازم روی داده های تصادف و داده های مکانی از قبیل نرمال سازی متغیر های ورودی، هم مقیاس کردن و حذف داده های تکراری و ناقص انجام شد. طبق تحقیقات صورت گرفته در روش درخت طبقه بندی و رگرسیون باید بخشی از داده ها به آموزشو بخشی دیگر به آزمونتعلق گیرد [۳۴]. در این پژوهش ۸۵ درصد داده ها به صورت تصادفی انتخاب و به آموزش مدل اختصاص داده شده و ۱۵درصد دیگر برای آزمایش مدل به کار برده می شود. از آن جا که تعداد تصادفات منجر به فوت نسبت به

جدول۳ . متغیرهای مورد استفاده در بررسی شدت تصادفات

Table 3.Description of variables in accident severity investigation

کلاس	متغیر	توضیح
متغیر هدف	شدت تصادفات	۱. تصادفات خسارتی ۲. تصادفات فوتی و جرحی
عوامل محیطی	شرایط آب و هوا	بارانی، صاف، طوفانی، مه آلود،ابری و برفی
	شرایط روشنایی	شب، روز، طلوع و غروب
	شرایط سطح روسازی	خشک، یخبندان و برفی، تر، شنی و خاکی، روغنی و کثیف
	کاربری اطراف	مسکونی، تجاری،کشاورزی
عوامل هندسی	طرح هندسی	مسیر مستقیم، مستقیم و سربالایی و سرپایی (قوس قایم)، پیچ و مسطح (قوس افقی)، پیچ و سربالای و سرپایینی (ترکیب قوس افقی و قایم)
	نوع منطقه	هموار، تپه ماهور، کوهستانی
	نوع شانه	شانه خاکی، شانه آسفالتی، بدون شانه
	نوع راه	دو طرفه مجزا، دو طرفه غیر مجزا، یکطرفه
	نوع خط کشی	مقطع، ممتد،دوبل
تصادف	نوع برخورد	جلو به جلو، جلو به عقب، جلو به پهلوی راست، جلو به پهلوی چپ، جلو با شی ثابت برخورد از عقب، برخورد از پهلو، سایر
	نوع تصادف	واژگونی و سقوط، خروج از جاده، برخورد وسیله نقلیه با شی ثابت، برخورد وسیله نقلیه با یک وسیله نقلیه، برخورد وسیله نقلیه با چند وسیله نقلیه، سایر
	محل تصادف	باند سواره، رفوژ میانه‌رو، شانه، کنار جاده (حریم)، خارج از حریم جاده
	زمان تصادف	00-6 , 6-12 ,12-18 ,18-24
	روز هفته	شنبه، یک‌شنبه، دوشنبه، سه‌شنبه، چهارشنبه، پنج‌شنبه و جمعه
راننده	عوامل انسانی	خستگی و خواب‌آلودگی، عجله و شتاب بی‌مورد، سایر، ندار

کل تصادفات در محور موردمطالعه، کم می باشد (۶۹ به ۲۰۵۱)، در نظر گرفتن سه سطح مذکور برای متغیر وابسته نتایج خوبی به همراه ندارد، لذا تصادفات فوتی با تصادفات منجر به جرح ادغام گردید و متغیر هدف به دو دسته تصادفات منجر به خسارت و تصادفات منجر به جرح و فوت تقسیم بندی شدند. در واقع برای افزایش دقت پیش بینی در مسائلی که متغیر هدف دارای چندین سطح است، بهتر است متغیر هدف به دو سطح تبدیل شود [۱۷ و ۲۰ و ۳۸-۳۴]. جدول ۳ متغیر های ورودی روش پیشنهادی تحقیق و ویژگی های آن ها را نمایش می دهد.

۳-۱- نتایج تحلیل مکانی تصادفات

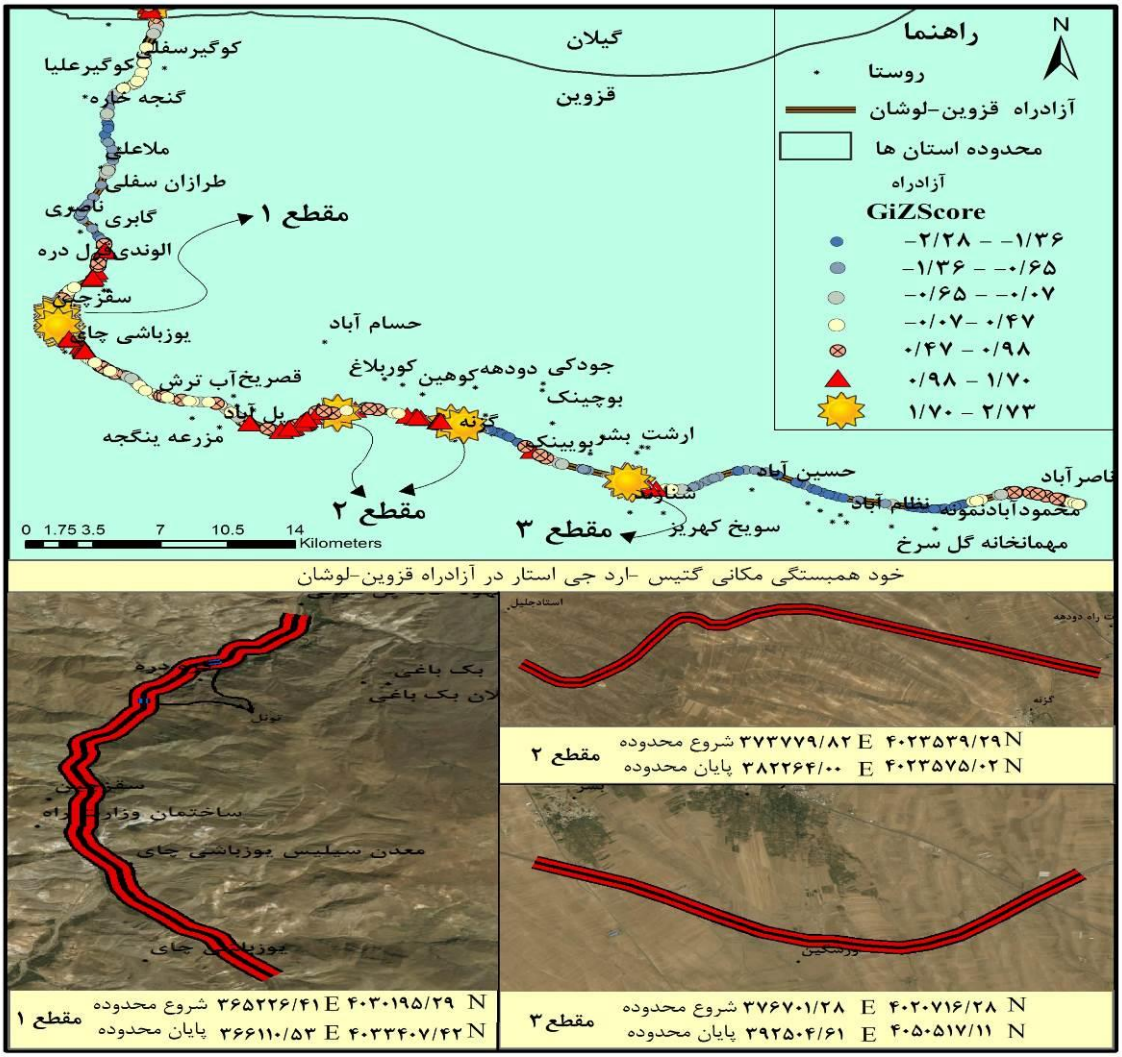
همان طورکه در بخش های پیشین اشاره شد یکی از اهداف این تحقیق تعیین مکان های پرتصادف در محور مورد مطالعه می باشد. در ادامه نتایج تحلیل های مکانی صورت گرفته به تفضیل بیان می گردد.

به کمک آزمون میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی می توان نحوه پراکنش الگوهای تصادفات را در محدوده محورهای مورد مطالعه بررسی کرد. اگر نتیجه آزمون داده های تصادفات، شکل خوشه ای نداشته باشد، کانون تصادفات شکل نگرفته است و دیگر لازم نیست زمانی صرف شناسایی کانون های تصادف شود. نتایج آزمون نقاط تصادفات سال های ۱۳۹۰-۱۳۹۵ محور آزادراه قزوین-لوشان با استفاده از آزمون آماری شاخص نزدیکترین همسایه در جدول ۴ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود نسبت نزدیک ترین همسایه برای تصادفات کل آزادراه و قوس های افقی آن کوچکتر از ۱ است، که نشان می دهد تصادفات این محور دارای الگوی خوشه ای هستند، درواقع بیانگر آن است که مکان های خاصی از آزادراه محل تمرکز تصادفات می باشند. باتوجه به آماره Z محاسبه شده و هم چنین مقدار $P-Value<0/001$ که نشان دهنده رد فرض تصادفی بودن توزیع تصادفات است، نتیجه می شود که خوشه ای بودن تصادفات از نظر آماری معنادار است. بر همین اساس

جدول ۴. نتیجه آزمون میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی

Table 4.Result of Nearest Neighbor index

نتیجه آزمون	میانگین فاصله مشاهده شده	میانگین فاصله مورد انتظار	نسبت نزدیک‌ترین همسایه	Z	P-Value
کل محور آزادراه	۱۴/۲۰متر	۳۷۲/۸۴متر	۰/۰۳۸	-۸۳/۳۴	۰/۰۰
قوس‌های افقی آزادراه	۱۲/۶۴متر	۵۸۲/۰۴متر	۰/۰۲۲	-۵۱/۸۲	۰/۰۰

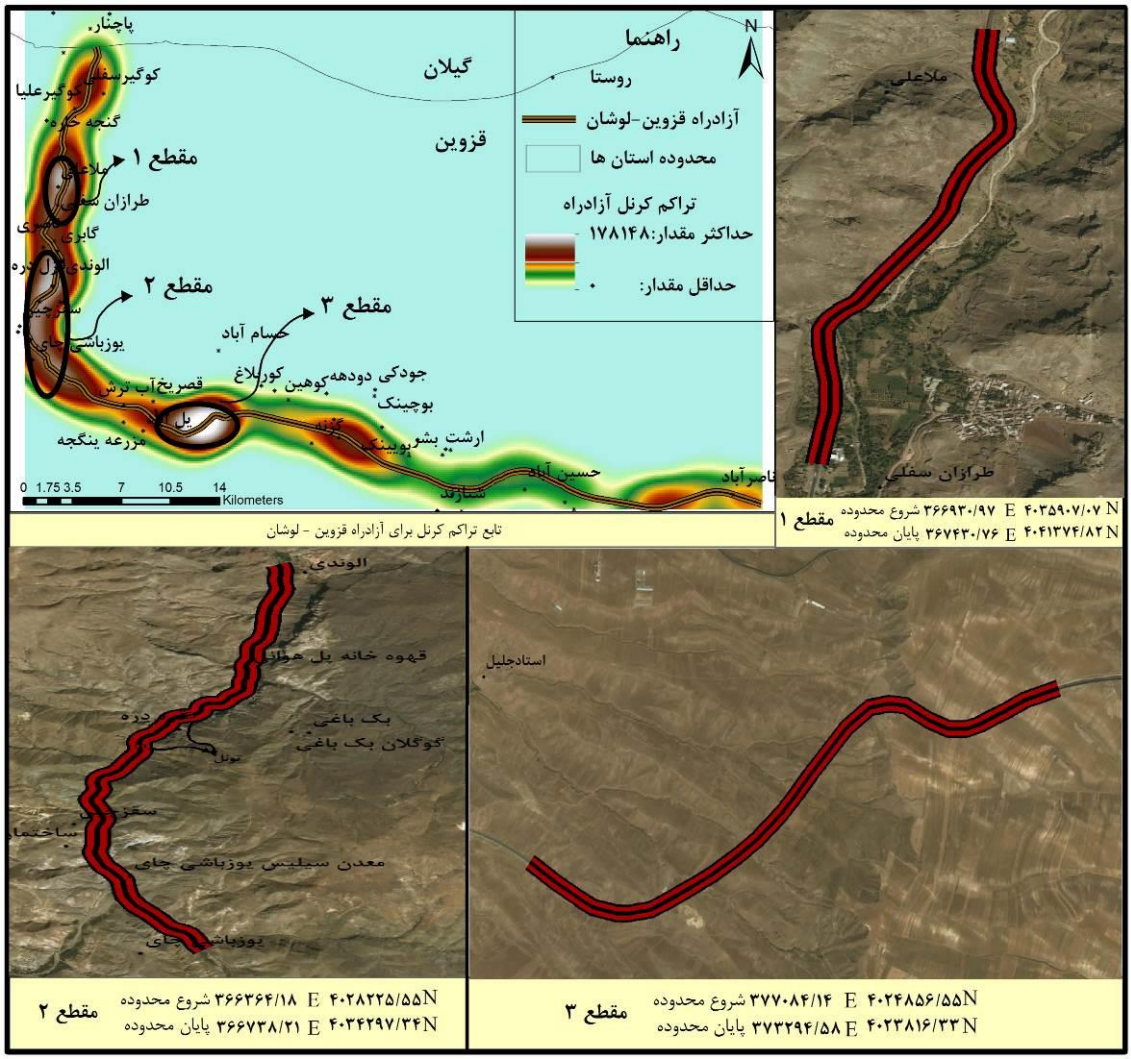


شکل ۲. خروجی تحلیل مکانی خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار در آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 2.Result of Getis-Ord G* autocorrelation analysis in Qazvin-Loshan Freeway

از روش های خودهمبستگی مکانی نظیر گتیس ارد-جی استار و تراکم کرنل به منظور شناسایی نقاط کانونی موجود استفاده می شود.

در مرحله بعد روش خودهمبستگی مکانی گتیس ارد-جی استار روی داده‌های تصادفات پیاده سازی می شود، در این روش هرچه مقدار G_i Z Score که شاخص این روش است، بزرگ تر باشد، نشان دهنده خوشه بندی بالای تصادفات است که اصطلاحا به آن ها لکه داغمی گویند. در شکل ۲ خروجی روش پیشنهادی مشاهده می گردد، در آن نقاط با رنگ زرد پررنگ نشان دهنده نقاط کانونی تصادفات در محور آزادراه قزوین-لوشان می باشند. براساس نتایج خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار، قوس های افقی و

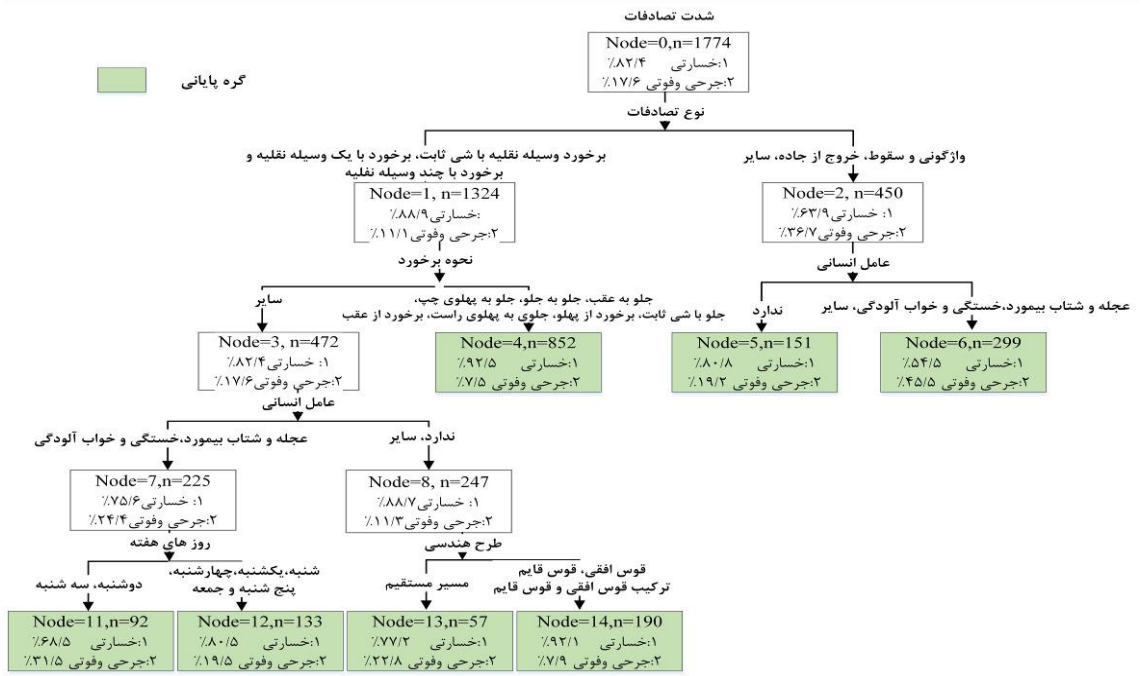


شکل ۳. خروجی تابع تراکم کرنل برای آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 3.Result of Kernel density function in Qazvin-Loshan Freeway

محدوده ی مجاور بسیار نزدیک به آن در محور موردمطالعه یکی از مناطقی است که بیش ترین تصادفات را به خود اختصاص داده است. نقاط کانونی تصادفات در آزادراه قزوین-لوشان بیشتر در محدوده مرکزی و شمالی این محور بوقوع پیوسته است. بازدید میدانی صورت گرفته از این محور نشان می دهد، محدوده مرکزی آزادراه قزوین-لوشان کوهستانی بوده (حوالی کوهین تا ملاعلی) و علاوه بر قوس های افقی متوالی دارای پستی و بلندی های زیادی نیز می باشد و در محدوده شمالی نیز وجود تونل های متعدد را می توان علل اساس تصادفات این نقاط دانست ولی از آن جهت که در این پژوهش اطلاعات دقیقی از تونل های محورهای موردنظر دراختیار نیست، از بحث بیشتر روی آن صرف نظر می شود.

پس از آن بعد به منظور ارزیابی صحت نتایج تحلیل مکانی خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار، از تحلیل مکانی تراکم کرنل برای شناسایی و نمایش محدوده کانونی تصادفات استفاده شد. نتایج تابع تراکم کرنل تقریبا مشابه نتایج خودهمبستگی گتیس-ارد بوده و نشان می دهد تراکم تصادفات در آزادراه قزوین-لوشان از مرکز به سمت شمال محور بیشتر از قسمت های دیگر است. این قسمت در محدوده ی روستای یل آباد و اطراف روستای یوزباشی چای تا ملاعلی را شامل می شود، همانطور که در نتایج روش گتیس-ارد جی استار ذکر شد، وجود منطقه کوهستانی به همراه قوس های افقی را می توان از عوامل موثر در وقوع تصادفات این نواحی دانست. از آن جایی که نتایج هردو تحلیل مکانی، قوس های افقی را یکی از مناطق پرتصادف نشان دادند، در بخش بعدی علاوه بر بررسی شدت تصادفات در کل محور، به بررسی شدت تصادفات در قوس های



شکل ۴. نمودار درختی تصادفات کل محور آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 4.Classification and Regression Tree in the whole axis crashes

افقی آزادراه نیز پرداخته می شود تا مشخص گردد چه عواملی باعث افزایش شدت تصادفات در این مناطق می شود.

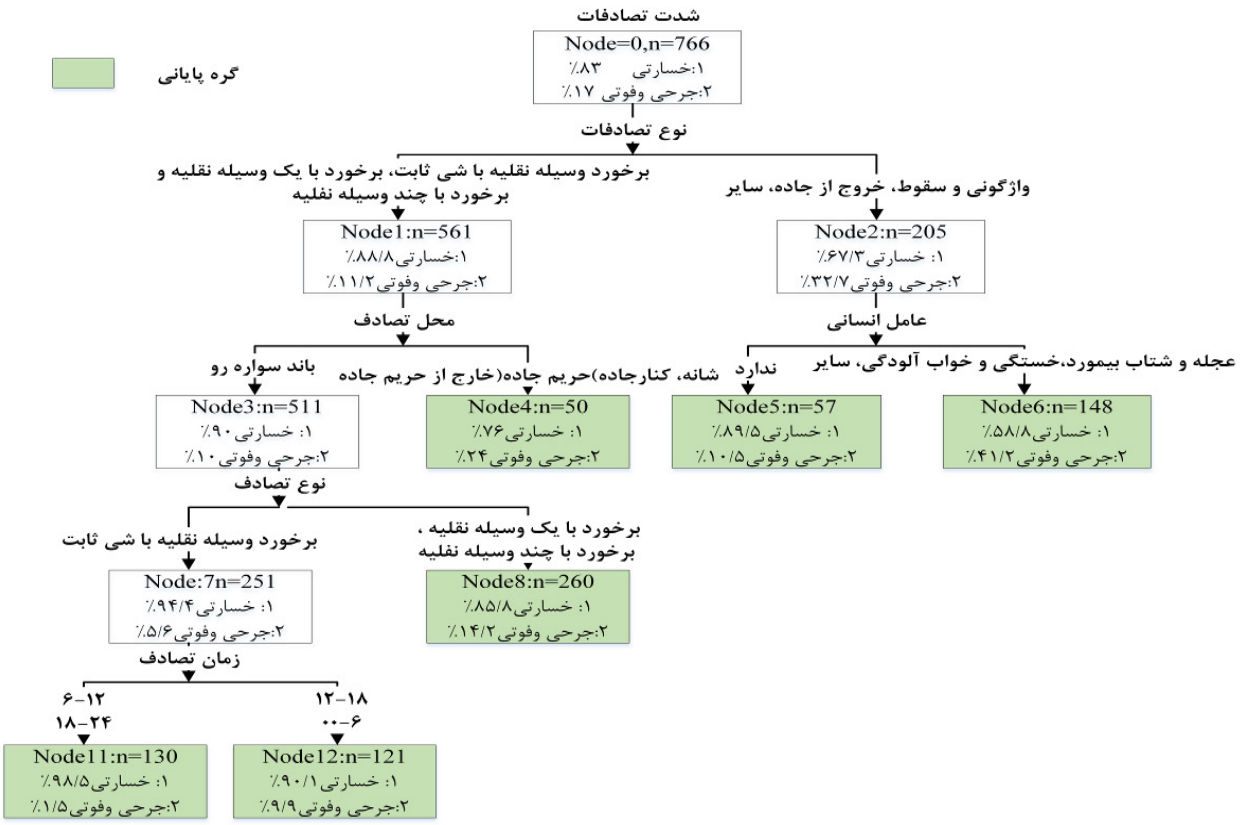
۳-۲- نتایج تحلیل شدت تصادفات

۳-۲-۱- بررسی شدت تصادفات و عوامل موثر بر آن در کل محور آزادراه قزوین-لوشان

به منظور بررسی شدت تصادفات در آزادراه قزوین-لوشان، ابتدا آزمون درخت طبقه بندی و رگرسیون برروی تصادفات کل محور اعمال شده و نتیجه مدل سازی به تفضیل بیان می شود.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود، گره ریشه به وسیله متغیر "نوع تصادفات" به دو شاخه تقسیم می شود. این الگو نشان می دهد که "نوع تصادفات" نقش اساسی را در طبقه بندی شدت تصادفات آزادراه ایفا می کند. براساس این گره، احتمال وقوع تصادفات واژگونی و سقوط و خروج از جاده با شدت فوتی و جرحی بیشتر بوده (۳۶/۷ ٪ در مقابل ۱۱/۱ ٪)، در صورتیکه سایرتصادفات با شدت خسارتی اتفاق افتاده است (۸۸/۹ ٪ در مقابل ۶۳/۹ ٪). متغیرهای تاثیرگذار بعدی "عامل انسانی" و "نحوه برخورد" هستند. درخت طبقه بندی برای آزادراه نشان می دهد، اگر تصادفات رخ داده در این محور از نوع خروج از جاده و واژگونی و سقوط باشد و هیچ عامل انسانی در آن دخالت نداشته باشد، وقوع تصادفات خسارتی محتمل تر از زمانیست که عوامل انسانی تاثیر گذار باشند (٪۸۰/۸ به ۵۴/۵ ٪) ولی در صورت تاثیرگذار بودن عامل انسانی به صورت خستگی و خواب آلودگی، عجله وشتاب بی مورد و عدم رعایت قوانین و غیره احتمال وقوع تصادفات فوتی و جرحی بسیار بیشتر است. در سمت چپ درخت، گره ۱ توسط متغیر "نحوه برخورد" به یک گره میانی و یک گره پایانی تقسیم می شود. تمامی انواع برخوردها از جلو، عقب و پهلو در گره ۴ و سایر برخورد ها در گره ۳ قرار می گیرد. طبق این

قسمت، تصادفات خسارتی در گره ۴ محتمل تر است (٪۹۲/۵ در مقابل ٪۸۲/۴). با حرکت به سمت پایین درخت، می توان مشاهده کرد که گره ۳ بر اساس عامل انسانی به دو گره میانی تقسیم می شود. بر این اساس آن دسته از تصادفاتی که خستگی و خواب آلودگی راننده و عجله و شتاب بی مورد آن ها باعث تصادف بوده در گره ۷ و تصادفاتی که در آن ها عامل انسانی دخالت نداشته و یا عواملی از قبیل بی توجهی به قوانین و مقررات، تخلف عمدی و... در وقوع آن ها موثر بوده درگره ۸ قرار می گیرند. نمودار در این بخش



شکل ۵. نمودار درختی تصادفات قوس های افقی آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 5.Classification and Regression Tree in the horizontal curves with high crashes

نشان می دهد که خستگی و خواب آلودگی راننده و عجله و شتاب بی مورد آن ها باعث افزایش شدت تصادفات جرحی و فوتی (۲۴/۴ ٪ در مقابل ۱۱/۳ ٪) می گردد. در اخرین قسمت از سمت چپ درخت، داده ها براساس دو متغیر "روز وقوع تصادف"و "طرح هندسی" تقسیم بندی می شوند. تقسیم بندی گره ۷ براساس متغیر روز وقو ع تصادف نشان می دهد تصادفاتی که در روزهای پایانی هفته اتفاق می افتد (چهارشنبه، پنج شنبه و جمعه)، بیشتر ازنوع خسارتی است (۸۰/۵ ٪ در مقابل ۶۸/۵ ٪). گره ۸ نیز بر اساس طرح هندسی محل تصادف به دو گره پایانی تقسیم شده، که نتایج این تقسیم بندی نشان می دهد تصادفاتی که در قوس های افقی، قوس های قایم و یا ترکیبی از آن ها به وقوع می پیوندند نسبت به آن دسته از تصادفاتی که در مسیر مستقیم رخ داده اند، بیشتر با شدت خسارتی (۹۲/۱٪ در مقابل ۷۷/۲ ٪) و تصادفاتی که در مسیر مستقیم اتفاق افتاده اند، بیشتر با شدت فوتی و جرحی هستند (۸/۲۲٪در مقابل ۷/۹ ٪).

۳-۲-۲- بررسی شدت تصادفات و عوامل موثر بر آن در قوس های افقی آزادراه قزوین-لوشان

نتایج حاصله از پیاده‌سازی مدل CART بر روی تصادفات رخ داده در قوس های افقی محور مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است. این شکل نشان می دهد که متغیر "نوع تصادفات" همانند بخش قبلی از اصلی ترین عامل در بررسی شدت تصادفات در قوس های افقی بوده و براساس این گره، احتمال وقوع تصادفات واژگونی و سقوط و خروج از جاده در قوس های آزادراه با شدت فوتی و جرحی، بیشتر از تصادفات خسارتی می باشد (۳۲/۷ ٪ در مقابل ۱۱/۲ ٪). در سمت راست درخت، همانند نتایج بدست آمده از بررسی شدت در کل محور، چنانچه در تصادفات واژگونی وسقوط و خروج از جاده قوس های افقی، "عامل انسانی" به عنوان متغیر تاثیرگذار بر شدت تصادفات حضور داشته باشد، وقوع تصادفات فوتی و جرحی محتمل تر است (۴۱/۲ ٪ در مقابل ۱۰/۵٪). در سمت چپ درخت نیز می توان مشاهده کرد، علاوه بر "نوع تصادفات"،"محل تصادفات" و"زمان تصادفات" عوامل مهم در شدت تصادفات قوس های افقی محسوب می شود. گره ۱

جدول ۵. مقادیر اهمیت متغیرهای مستقل برای کل محورهای آزادراه قزوین-لوشان

Table 5.The relative importance value of independence variable

تصادفات کل محور		تصادفات قوس‌های افقی	
متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت	متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت
نوع تصادفات	۱۰۰٪	نوع تصادفات	۱۰۰٪
عامل انسانی	۳۹/۷٪	محل تصادف	۸۷/۳٪
نحوه برخورد	۳۲/۲٪	عامل انسانی	۶۵/۹٪
طرح هندسی	۱۴/۵٪	زمان وقوع تصادف	۲۶/۷٪
روز وقوع تصادف	۳/۵٪	نحوه برخورد	۲۰/۱٪

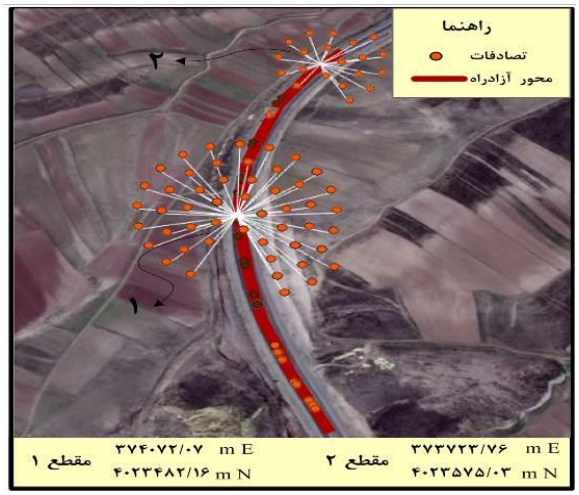
نشان می دهد احتمال تصادفات جرحی و فوتی در شانه راه، حریم جاده یا خارج از آن بیشتر از باند سواره رو است (۲۴٪ به ۱۰٪). در گره۳ نیز تصادفاتی که در باند سواره روی قوس های افقی رخ داده، چنانچه از نوع برخورد با یک یا چند وسیله نقلیه باشد، با احتمال زیاد جرحی و فوتی خواهد بود (۱۴/۲ ٪ در مقابل ۵/۶ ٪). در پایان گره ۷ با تقسیم به دو گره ۹و۱۰ نشان می دهد که تصادفاتی که در باند سواره روی قوس های افقی اتفاق افتاده اند، اگر از نوع برخورد با شی ثابت باشند، در بازه های زمانی ۱۲ تا ۱۸و ۱۲شب تا ۶ صبح بیشتر با شدت جرحی وفوتی به وقوع می پیوندد. در واقع می توان گفت چنانچه در این بازه ها (۰۰ تا ۶ صبح زمان خواب طبیعی و۱۲ تا ۱۸ زمان استراحت بعد از ظهر) راننده دچار خواب آلودگی شود، لحظه ای غفلت، می تواند تصادفات مرگباری را در قوس های افقی به بار آورد، برهمین اساس در بازه های زمانی فوق خستگی و خواب آلودگی یکی از مهم ترین پارامترهای تاثیرگذار در شدت تصادفات محسوب می شود.

پس از بررسی نتایج درخت های تصمیم گیری فوق، اهمیت متغیر های مستقل تاثیرگذار بر شدت تصادفات محاسبه گردید که در جدول ۵ می توان مشاهده کرد. در واقع این ضریب می تواند تفسیر درخت تصمیم گیری تسهیل کند.

۴- نتایج و بحث

نتایج تحلیل درخت طبقه بندی و رگرسیون در هر دو بخش نشان می دهد، "نوع تصادفات" بعنوان اولین جداکننده، مهمترین متغیر در این مدل محسوب می شود. علاوه بر آن "عامل انسانی"، "نحوه برخورد"، "طرح هندسی" [۱۱ و ۲۲]، محل تصادف (شانه، حریم جاده و ...) [۳۹]، روز و زمان وقوع تصادف [۴۰] متغیر هایی هستند که بر شدت تصادفات آزادراه قزوین-لوشان تاثیر می گذارند. همانطور که نتایج نشان می دهد، در آزادراه تصادفات از نوع واژگونی و خروج از جاده احتمال بیشتری برای وقوع تصادفات فوتی و جرحی و تصادفاتی از نوع برخورد با وسیله نقلیه و یا برخورد با شی ثابت احتمال وقوع تصادفات با شدت خسارتی بیشتری را دارند [۱۳ و ۴۴-۴۱]، "عامل انسانی" یکی دیگر متغیر مهم در بررسی شدت تصادفات آزادراه و قوس های آن محسوب می شود. بر اساس درخت طبقه بندی عجله و شتاب بی مورد و خستگی و خواب آلودگی راننده از مهم ترین عوامل انسانی هستند که در آزادراه قزوین-لوشان باعث افزایش احتمال وقوع تصادفات (خسارتی و جرحی و فوتی) می شوند [۱۳ و ۱۸ و ۴۱ و ۴۲]. مطابق مطالعات صورت گرفته خسته و خواب آلود بودن راننده بیشتر منجر به تصادفات جرحی و فوتی می گردد [۱۵] و همچنین ممکن است کاهش زمان واکنش، اختلال در قضاوت، کاهش آگاهی و ایمنی را در برداشته و منجر به افزایش شدت تصادفات شود [۴۲].

متغیر بعدی که بر شدت تصادفات تاثیرگذار است، "نحوه برخورد" می باشد. تصادفات جلو به جلوو جلو به عقب از متداول ترین نوع برخورد وسیله نقلیه با یکدیگر در محور آزادراه قزوین-لوشان می باشند. نتایج تحلیل شدت تصادفات در آزادراه قزوین-لوشان نشان می دهد که احتمال تصادفات فوتی و جرحی در این نوع برخورد ها بیشتر از سایر برخوردها است. تحقیقات صورت گرفته در زمینه عوامل تاثیرگذار بر تصادفات جلو به جلو نشان می دهد که فراوانی تصادفات جلو به جلو با افزایش عرض خط کاهش می یابد[۴۵ و ۴۶] و همچنین بیشتر تصادفات جلو به جلوی فوتی در مناطقی با محدودیت های

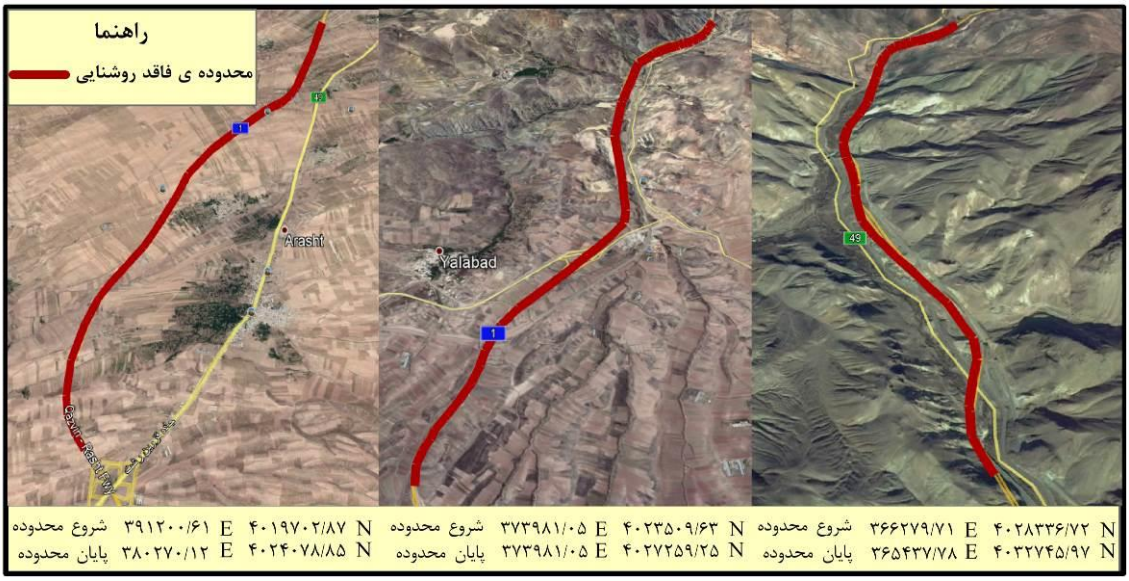


شکل۶. تجمع تصادفات در مجاورت قوس‌های افقی آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 6.Crashes accumulation in the vicinity of horizontal bend in the freeway

افزایش سرعت [۴۶ و ۴۷] و مناطق سبقت آزاد [۴۸] رخ می دهد. حسین پور و همکارانش در سال۲۰۱۴ در تحقیقات خود برروی شدت تصادفات جلو به جلو در۴۸۴ قطعه از راه های مالزی بیان کردند، که قوس های افقی، عرض شانه راه، نوع منطقه و اصطکاک جانبی باعث ایجاد تصادفاتی با شدت زیاد و همچنین کاربری منطقه، نقاط دسترسی و وجود میانه باعث کاهش شدت تصادفات جلو به جلو در این قطعات گردیده است [۴۹]. پرگاردر نیز در سال ۲۰۰۶ در تحقیقات خود برروی شدت تصادفات جلو به جلو در راه های روستایی دوخطه ایالت مینیبان کرد که دو دلیل اصلی برای عبور رانندگان از خط مرکزی جاده و وقوع تصادفات جلو به جلو وجود دارد؛ اول اینکه رانندگان نسبت به شرایط جاده بسیار سریع، می رانند و دوم اینکه مردم بی دقت بوده و بی توجه به خط مرکزی کم و بیش از آن عبور می کنند [۵۰]. در میان مطالعات صورت گرفته در مورد بررسی شدت تصادفات جلو به عقب می توان به مطالعه چنو همکارانش در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد، نتایج نشان داد که وجود کامیون ها، شرایط نورانی نامناسب، حضور باد، تعداد وسایل نقلیه و غیره می تواند باعث افزایش شدت تصادفات از عقب گردد [۵۱]. شاوکی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ نیز به بررسی شدت تصادفات برخورد از عقب پرداختند، آن ها رانندگی سریع، میزان تجربه، محل دریافت گواهی نامه، بسیار نزدیک راندن به وسیله نقلیه مقابل (عدم رعایت فاصله طولی)، نوع جاده و تعداد خطوط آن را از عوامل تاثیرگذار بر این تصادفات دانستند [۵۲]. "طرح هندسی" یکی دیگر از عوامل موثر بر شدت تصادفات آزادراه قزوین-لوشان می باشد. اعمال درخت طبقه‌بندی روش پیشنهادی بر روی تصادفات آزادراه در شکل ۴ نیز موید آن است که طرح هندسی یکی از عوامل موثر در شدت تصادفات می باشد. از طرفی نتایج تحلیل های مکانی نیز نشان داد که وجود قوس های افقی یکی از دلایل افزایش شدت تصادفات خسارتی در آزادراه قزوین-لوشان هستند. شکل ۶ تجمع تصادفات را در مجاورت یک قوس افقی محور را نشان می دهد، نمایش خوشه ای درواقع بیانگر تراکم تصادفات در آن مقطع راه می باشد.

"روز و زمان وقوع تصادف" از دیگر متغیر هایی هستند که بر شدت تصادفات آزادراه و قوس های افقی آن تاثیر می گذارند. نتایج تحلیل های انجام شده بر روی محور مورد مطالعه نشان داد که روز های آغازین (شنبه و یک شنبه) و پایانی هفته (چهارشنبه، پنج شنبه و جمعه) بیشترین تعداد تصادفات خسارتی در آزادراه را شامل می شوند، در واقع از دلایل بیشتر بودن تصادفات در تعطیلات پایان هفته، می توان به تمایل زیاد ساکنان استان قزوین و یا استان های مجاور، به بهره بندی از طبیعت استان های شمالی، همچنین بازگشت بومیانی که درخارج از استان مشغول به کار هستند به نزد خانواده خود، اشاره نمود. از طرفی دیگر بیشتر تصادفات فوتی و جرحی در محور مورد مطالعه در زمان های ۱۲ظهر تا ۱۸و ۱۲ نیمه شب تا ۶ صبح بوقوع پیوسته است. در حال حاضر نیز یکی از مشکلات موجود در آزادراه قزوین-لوشان مربوط به نبود نورکافی در شب می باشد، بدین صورت که فقط در نقاطی از محمود آباد نمونه



شکل۷. مناطق فاقد روشنایی آزادراه قزوین-لوشان

Fig. 7.No lighting area in Qazvin-Loshan Freeway

قزوین، حوالی جاده جدید قزوین به جاده قدیم رشت، ساوه و اصفهان، روشنایی وجود دارد و خودروها در مابقی مسیر در تاریکی شب از این آزادراه عبور می کنند که در بازه زمانی ۰۰-۶ صبح این امر موجبات بروز تصادفات جبران ناپذیری را فراهم می آورد، شکل ۷ بخشی از این محور را که در شب فاقد روشنایی کافی است، نشان می دهد. چو در سال ۲۰۱۳ و ما و همکارانش در سال ۲۰۱۶ نیز دریافتند که احتمال وقوع تصادفات شدید در طول شب بیشتر است [۱۲ و ۳۹].

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از روش های ناپارامتریک داده کاوی در تلفیق با سامانه های اطلاعات مکانی می توان از میان حجم زیادی از داده های تصادفات، الگوهای مفیدی استخراج کرده و شدت تصادفات را به صورت مکانمند تحلیل کرد. درخت تصمیم و بخصوص درخت طبقه بندی و رگرسیون یکی از ابزارهای قدرت مند داده کاوی است که می تواند با نمایش گرافیکی الگوها، رابطه پیچیده میان متغیرهای ورودی و شدت تصادفات را نشان دهد. در این پژوهش، ابتدا خوشه‌بندی مکانی تصادفات محور آزادراه قزوین-لوشان بررسی شد و نتایج نشان داد که قوس های افقی جمله مقاطع پرتصادفات هستند. درهمین راستا، به منظور بررسی شدت تصادفات در محورمورد مطالعه و شناسایی عوامل موثر بر آن ، از داده‌کاوی مبتنی بر درخت تصمیم با دو استراتژی استفاده شد؛ یکی بر روی کل محور و دیگری روی قوس های افقی. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش شدت تصادفات در محور مورد مطالعه، دو متغیر نوع تصادفات و عامل انسانی هستند. همچنین بررسی اهمیت نسبی برای سایر متغیرها در مدل پیشنهادی نشان داد که طرح هندسی، نحوه برخورد و روز وقوع تصادف از جمله عوامل موثر در افزایش تصادفات با شدت خسارتی در آزادراه قزوین-لوشان می باشند. علاوه بر این نتایج بکارگیری روش پیشنهادی بر روی تصادفات قوس های افقی نیز نشان داد محل تصادف به خصوص شانه و حریم راه و همچنین ساعت وقوع تصادف باعث وقوع تصادفات خسارتی شدید می گردد. این متغیرها به طورکلی باعث افزایش خسارات و جراحت تصادفات رخ داد در آزادراه شده‌اند. همچنین برخی از عواملی که بیشتر منجر به وقوع تصادفات با شدت خسارتی شده است، عبارت‌اند از وقوع تصادفات به دلیل عجله و شتاب بی مورد در روزهای پایانی هفته، برخورد وسایل نقلیه با یکدیگر در قوس های افقی در شانه و حریم راه، برخورد وسایل نقلیه با شی ثابت در شب به دلیل نبود روشنایی کافی، واژگونی وسیله نقلیه و خروج از جاده به علت خستگی و خواب آلودگی در قوس های افقی و غیره .

با توجه به دستاوردهای این تحقیق، نویسندگان پیشنهاد می‌کنند که شناسایی عوامل موثر در شدت تصادفات و اعمال یک سری اقدامات مهم، از جمله نظارت سلسله مراتبی بر حوادث ناشی از رانندگی های مخاطره آمیز، اعمال جریمه بیشتر برای افزایش سرعت و رانندگی

در هنگام خستگی و خواب آلودگی، استقرار سیستم های پیشرفته رانندگی برای هشدار خستگی، انجام آزمایشات لازم مرتبط با خواب پیش از سفر، نظارت تجمعی بر زمان رانندگی برای سفرهای طولانی و همچنین ایجاد تابلوهای اطلاع رسان پیش از قوس های افقی و تامین روشنایی کافی و ارتقاء آگاهی عمومی در مورد رانندگی ایمن می‌تواند موجبات افزایش سطح ایمنی آزادراه‌ها و کاهش شدت تصادفات را به دنبال داشته باشد. در پایان لازم به ذکر است که مطالعه فوق دارای محدودیت‌هایی نیز می باشد؛ از آن جمله می‌توان به عدم ثبت سرعت و حجم اطلاعات ترافیکی در زمان وقوع رویدادهای تصادف در پایگاه اطلاعات تصادفات اخذ شده از پلیس راه اشاره نمود. در نهایت در راستای تکمیل این مطالعه در پژوهش های آتی پیشنهاد می شود که از روش پیشنهادی به منظور تحلیل مکان مند تصادفات در بخش های حادثه خیز معابر درون‌شهری جهت دستیابی به عوامل موثر بر شدت تصادفات درون شهری استفاده شود.

۶- علائم انگلیسی

A مساحت، m^2

d_i فاصله، m

۷- زیرنویس ها

[1]Geospatila Information Systems

[2]Logit Model

[3]Probit Model

[4]Classification and Regression Tree (CART)

[5]Ontology

[6]Haung

[7]Glennon

[8]Nearest Neighbor Index

[9]Root Node

[10]Splitter

[11]Purity

[12]Child Note

[13]Terminal Node

[14]Gini Index

[15]Relative Importance Of Variable

[16]Training

[17]Testing

[18]Hot Spots

[19]Head-On Crashes

[20]Rear-end Crashes

[21]Per Garder

[22]Maine

[23]Chen

[24]Shawky

[25]Tailgating

[26]Chu

[27]Ma et al

مراجع

[1] Y.-B. Zhou, S. Liang, G.-X. Chen, C. Rea, S.-M. Han, Z.-G. He, Y.-P. Li, J.-G. Wei, G.-M. Zhao, Q.-W. Jiang, Spatial-temporal variations of Schistosoma japonicum distribution after an integrated national control strategy: a cohort in a marshland area of China, BMC Public Health, 13(1) (2013) 297.

[2] R.R. Vatsavai, A. Ganguly, V. Chandola, A. Stefanidis, S. Klasky, S. Shekhar, Spatiotemporal data mining in the era of big spatial data: algorithms and applications, in: Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL international workshop on analytics for big geospatial data, 2012, pp. 1-10.

[3] J. Mennis, D. Guo, Spatial data mining and geographic knowledge discovery—An introduction, Computers, Environment and Urban Systems, 33(6) (2009) 403-408.

[4] S. Erdogan, I. Yilmaz, T. Baybura, M. Gullu, Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar, Accident Analysis & Prevention, 40(1) (2008) 174-181.

[5] I.B. Gundogdu, Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: Case study of Konya, Safety Science, 48(6) (2010) 763-769.

[6] M. Effati, Determining Roads Black Spots Using Spatial Information Systems and Multicriteria Decision Making Processes, Transportation engineering, 4 (2012) 349-363.

[7] T. Steenberghen, T. Dufays, I. Thomas, B. Flahaut, Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example, International Journal of Geographical Information Science, 18(2) (2004) 169-181.

[8] G.A. Shafabakhsh, A. Famili, M.S. Bahadori, GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran, Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 4(3) (2017) 290-299.

[9] M.B. Ulak, E.E. Ozguven, L. Spainhour, O.A. Vanli, Spatial investigation of aging-involved crashes: A GIS-based case study in Northwest Florida, Journal of transport geography, 58 (2017) 71-91.

[10] C.A. Blazquez, B. Picarte, J.F. Calderón, F. Losada, Spatial autocorrelation analysis of cargo trucks on highway crashes in Chile, Accident Analysis & Prevention, 120 (2018) 195-210.

[11] R. Yu, M. Abdel-Aty, Using hierarchical Bayesian binary probit models to analyze crash injury severity on high speed facilities with real-time traffic data, Accident Analysis & Prevention, 62 (2014) 161-167.

[12] Z. Yang, L. Zhibin, L. Pan, Z. Liteng, Exploring contributing factors to crash injury severity at freeway diverge areas using ordered probit model, Procedia Engineering, 21 (2011) 178-185.

[13] T. Abegaz, Y. Berhane, A. Worku, A. Assrat, A. Assefa, Effects of excessive speeding and falling asleep while driving on crash injury severity in Ethiopia: A generalized ordered logit model analysis, Accident Analysis & Prevention, 71 (2014) 15-21.

[14] Z. Ma, I. Steven, J. Chien, C. Dong, D. Hu, T. Xu, Exploring factors affecting injury severity of crashes in freeway tunnels, Tunnelling and underground space technology, 59 (2016) 100-104.

[15] H. Huang, Y. Peng, J. Wang, Q. Luo, X. Li, Interactive risk analysis on crash injury severity at a mountainous freeway with tunnel groups in China, Accident Analysis & Prevention, 111 (2018) 56-62.

[16] G. Yannis, E. Papadimitriou, E. Dupont, H. Martensen, Estimation of fatality and injury risk by means of in-depth fatal accident investigation data, Traffic injury prevention, 11(5) (2010) 492-502.

[17] M. Effati, A. Sadeghi-Niaraki, A semantic-based classification and regression tree approach for modelling complex spatial rules in motor vehicle crashes domain, Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 5(4) (2015) 181-194.

[18] A. Tavakoli Kashani, M.M. Besharati, An analysis of vehicle occupants' injury severity in crashes occurred on rural freeways and multilane highways in Iran, International Journal of Transportation Engineering, 4(2) (2016) 137-146.

[19] A.T. Kashani, R. Rabieyan, M.M. Besharati, A data mining approach to investigate the factors influencing the crash severity of motorcycle pillion passengers, Journal of safety research, 51 (2014) 93-98.

[20] S. Jung, X. Qin, C. Oh, Improving strategic policies for pedestrian safety enhancement using classification tree modeling, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 85 (2016) 53-64.

[21] G. Prati, L. Pietrantoni, F. Fraboni, Using data mining techniques to predict the severity of bicycle crashes, Accident Analysis & Prevention, 101 (2017) 44-54.

[22] K. Haleem, A. Gan, Effect of driver's age and side of impact on crash severity along urban freeways: A mixed logit approach, Journal of safety research, 46 (2013) 67-76.

[23] R. Yu, M. Abdel-Aty, Analyzing crash injury severity for a mountainous freeway incorporating real-time traffic and weather data, Safety science, 63 (2014) 50-56.

[24] L.-Y. Chang, J.-T. Chien, Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model, Safety science, 51(1) (2013) 17-22.

[25] Z. Wang, H. Chen, J.J. Lu, Exploring impacts of factors contributing to injury severity at freeway diverge areas, Transportation Research Record, 2102(1) (2009) 43-52.

[26] H.H. Bissell, G. Pilkington, J. Mason, D. Woods, Roadway cross section and alinement, in: Synthesis of

141.

[36] D. Delen, R. Sharda, M. Bessonov, Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks, Accident Analysis & Prevention, 38(3) (2006) 434-444.

[37] S. Dissanayake, J.J. Lu, Factors influential in making an injury severity difference to older drivers involved in fixed object–passenger car crashes, Accident Analysis & Prevention, 34(5) (2002) 609-618.

[38] D.M. Tax, R.P. Duin, Using two-class classifiers for multiclass classification, in: Object recognition supported by user interaction for service robots, IEEE, 2002, pp. 124-127.

[39] C. Zegeer, R. Stewart, D. Reinfurt, F. Council, T. Neuman, E. Hamilton, T. Miller, W. Hunter, Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves, (1991).

[40] J. Pahukula, S. Hernandez, A. Unnikrishnan, A time of day analysis of crashes involving large trucks in urban areas, Accident Analysis & Prevention, 75 (2015) 155-163.

[41] H.-C. Chu, Assessing factors causing severe injuries in crashes of high-deck buses in long-distance driving on freeways, Accident Analysis & Prevention, 62 (2014) 130-136.

[42] W.Y. Mergia, D. Eustace, D. Chimba, M. Qumsiyeh, Exploring factors contributing to injury severity at freeway merging and diverging locations in Ohio, Accident Analysis & Prevention, 55 (2013) 202-210.

[43] N. Amarasingha, S. Dissanayake, Gender differences of young drivers on injury severity outcome of highway crashes, Journal of safety research, 49 (2014) 113. e111-120.

[44] G.F. Ulfarsson, F.L. Mannering, Differences in male and female injury severities in sport-utility vehicle, minivan, pickup and passenger car accidents, Accident Analysis & Prevention, 36(2) (2004) 135-147.

[45] S.H. Al-Senan, P.H. Wright, Prediction of head-on accident sites, Transportation research record, 1122 (1987) 79-85.

[46] C.V. Zegeer, R.C. Deen, J.G. Mayes, The Effect of lane and Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements, vol. 1, US Department of Transportation, Federal Highway Administration Washington, DC, 1982.

[27] D.A. Walmsley, I. Summersgill, The relationship between road layout and accidents on modern rural trunk roads, Transport Research Laboratory, 1998.

[28] G. Gibreel, S. Easa, Y. Hassan, I. El-Dimeery, State of the art of highway geometric design consistency, Journal of transportation engineering, 125(4) (1999) 305-313.

[29] T. Ikeda, N. Mori, Analysis of correlation between roadway alignment and traffic accidents, in: 3rd International Symposium on Highway Geometric DesignTransportation Research BoardAmerican Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Federal Highway AdministrationAmerican Society of Civil EngineersAssociation Mondiale de la RouteInternational Road FederationInstitute of Transportation Engineers (ITE) National Association of County EngineersTransportation Association of Canada (TAC) Chicago Department of TransportationIllinois Department of TransportationIllinois State Toll Highway Authority, 2005.

[30] J.C. Glennon, T.R. Neuman, J.E. Leisch, SAFETY AND OPERATIONAL CONSIDERATIONS FOR DESIGN OF RURAL HIGHWAY CURVES. FINAL REPORT, in, 1983.

[31] M. SAFAARZADEH, S. SHAABANI, A. AZARMI, Accident Prediction Model on Curves for Two-Lane Rural Road, (2007).

[32] L. Breiman, J. Friedman, C.J. Stone, R.A. Olshen, Classification and regression trees, CRC press, 1984.

[33] L.-Y. Chang, H.-W. Wang, Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques, Accident Analysis & Prevention, 38(5) (2006) 1019-1027.

[34] J.R. Stewart, Applications of classification and regression tree methods in roadway safety studies, Transportation Research Record, 1542(1) (1996) 1-5.

[35] E.L. Allwein, R.E. Schapire, Y. Singer, Reducing multiclass to binary: A unifying approach for margin classifiers, Journal of machine learning research, 1(Dec) (2000) 113-

shoulder widths on accident reductions on rural, two-lane roads, (1980).

[47] J.E. Leisch, TRAFFIC CONTROL & ROADWAY ELEMENTS-THEIR RELATIONSHIP TO HIGHWAY SAFETY/REVISED. CHAPTER 12 ALINEMENT, (1971).

[48] K.R. Agent, R.C. Deen, Relationships between roadway geometrics and accidents, (1974).

[49] M. Hosseinpour, A.S. Yahaya, A.F. Sadullah, Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads, Accident Analysis & Prevention, 62 (2014) 209-222.

[50] P. Gårder, Segment characteristics and severity of head-on crashes on two-lane rural highways in Maine, Accident Analysis & Prevention, 38(4) (2006) 652-661.

[51] C. Chen, G. Zhang, R. Tarefder, J. Ma, H. Wei, H. Guan, A multinomial logit model-Bayesian network hybrid approach for driver injury severity analyses in rear-end crashes, Accident Analysis & Prevention, 80 (2015) 76-88.

[52] S.A. Mohamed, K. Mohamed, H.A. Al-Harthi, Investigating factors affecting the occurrence and severity of rear-end crashes, Transportation research procedia, 25 (2017) 2098-2107.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Behbahani, M. Effati, S. Mortezaei, Providing a Method for Accident Severity Analysis Using Geospatial Clustering Functions and Decision Tree, Case Study: Qazvin-Loshan Freeway, Amirkabir J. Civil Eng., 52(6) (2020) 1419-1438.

DOI: 10.22060/ceej.2019.15376.5903

این صفحه عمداً خالی است