نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۵۱ ، شماره ۴ (زمستان ۱۴۰۰)، مقاله پژوهشی، ۸۱-۹۵ پیاپی ۱۰۵

تحلیل شدت تصادفات برون‌شهری با استفاده از داده‌کاوی مکان‌مند مطالعه موردی: محور قدیم قزوین- لوشان

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

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

(دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۵، نشر آنلاین: ۱۳۹۹/۸/۲۵)

چکیده

مدل‌سازی شدت تصادفات به‌منظور شناسایی پارامترهای مؤثر بر آن در راه‌های برون‌شهری و همچنین تحلیل مکانی تصادفات رخداده می‌تواند موجبات کاهش تصادفات جاده‌ای یک محور برون‌شهری را فراهم آورد. هدف این تحقیق ارائه مدلی مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) و داده‌کاوی به‌روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون جهت تحلیل شدت تصادفات و تعیین عوامل مؤثر بر آن در راه‌های اصلی دوخطه برون‌شهری است. روش پیشنهادی در محور قدیم قزوین- لوشان مورد ارزیابی و آزمون قرار می‌گیرد. در این راستا به منظور بررسی توزیع مکانی تصادفات در محور موردمطالعه طی دوره ۶ ساله ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ شمسی، از توابع خودهمبستگی مکانی گتیس- ارد جی استار (Getis-Ord Gi) و تراکم کرنل استفاده شده است. خروجی تحلیل‌های مکانی نشان داد، که تمرکز تصادفات در بخش اعظمی از قوس‌های افقی محور موردمطالعه بیشتر می‌باشد. باتوجه به این دستاورد در فاز بعدی تحقیق به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر شدت تصادفات، از مدل داده‌کاوی درخت طبقه‌بندی و رگرسیون بر روی تصادفات رخداده در کل محور و به طور خاص تصادفات رخداده در قوس‌های افقی استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بود که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادفات در محور موردمطالعه، دو متغیر نوع تصادفات و نحوه برخورد با ضرایب اهمیت متغیرهای مستقل به‌ترتیب ۱۰۰ و ۶/۱۴ درصد برای کل محور و ۱۰۰ و ۸/۲۲ درصد برای قوس‌های افقی هستند. بررسی اهمیت نسبی سایر متغیرهای مدل پیشنهادی نشان داد که نوع راه و توپوگرافی منطقه از جمله عوامل مؤثر در افزایش تصادفات با شدت خسارتی در محور قدیم قزوین- لوشان می‌باشد. علاوه بر این نتایج مدل‌سازی بر روی تصادفات رخداده در قوس‌های افقی نیز حاکی از این بود که مقاطع دارای خط-کشی ممتد، بیش از سایر مقاطع، مستعد وقوع تصادفات فوتی و جرحی شدید هستند. این تحقیق نشان داد که تلفیق توابع مکان‌مند GIS با تحلیل‌های ناپارامتریک داده‌کاوی که قابلیت مدل‌سازی توأمان داده‌های کمی و کیفی را هم‌زمان دارا می‌باشد، در تعیین عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادفات و تصمیم‌گیری به‌منظور ارتقا سطح ایمنی در محورهای برون‌شهری کارا و مؤثر است.

کلیدواژه‌ها: شدت تصادفات، داده‌کاوی، تحلیل مکانی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، قوس‌های افقی.

۱- مقدمه

در ایران، بخش عظیمی از شبکه راه‌ها، از نوع برون‌شهری است که شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش شدت تصادفات در این راه‌ها، نه تنها می‌تواند باعث جلوگیری از فوت افراد درگیر در تصادف شود، بلکه از وقوع مصدومیت‌های شدید نیز جلوگیری می‌کند. ازآنجاکه در کشور بیش از ۹۰ درصد جابه‌جایی مسافر، در مد حمل ونقل جاده‌ای انجام می‌گیرد (سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، ۲۰۱۸)، این موضوع در کنار سهم بالای تصادفات، لزوم مدل‌سازی و تحلیل وضعیت ایمنی راه‌ها، سرنشینان وسایل نقلیه اعم از رانندگان و مسافران را دوچندان می‌کند (Kashani و Mohayamani، ۲۰۱۱). مدل‌سازی و تعیین عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات جاده‌ای باعث می‌شود که طراحان بتوانند از این اطلاعات در راستای طراحی جاده، مدیریت بزرگراه، اجرا، آموزش و درنهایت کاهش سوانح ترافیکی شدید بهره‌مند شوند (Haung و همکاران، ۲۰۱۸). سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)[1] به‌عنوان سیستم مدیریت اطلاعات مکانی و انجام آنالیزهای مکانی نقش ارزنده‌ای را در تحلیل تصادفات جاده‌ای ایفا می‌کنند. نظر به این‌که تصادف یک پدیده مکانی است و تحلیل‌های

1 Geographic Information System

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۱-۳۳۷۲۲۳۹

آدرس ایمیل: meysameffati@guilan.ac.ir (م. عفتی)، behbahani@iust.ac.ir (ح. بهبهانی)، samane.mortezaei1372@yahoo.com (س. مرتضایی)، mahyarvahedi@msc.guilan.ac.ir (م. واحدی ساحلی).

GIS نیز مبتنی بر مکان است. در این تحقیق رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی مکانی مورد تأکید قرار گرفته است. در همین راستا محققان زیادی از تحلیل‌های مکانی نه به‌منظور تحلیل شدت تصادفات بلکه برای نمایش موقعیت تصادفات روی نقشه‌های رقومی، خوشه‌بندی تصادفات و تشخیص نواحی حادثه‌خیز استفاده کردند (Erdogan و همکاران، ۲۰۰۸؛ Gundogdu، ۲۰۱۰؛ Effati و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین کارایی استفاده از تحلیل‌های مکانی و روش‌های الگوی نقطه‌ای به منظور تعیین محل‌های تمرکز تصادفات نشان داد که در راه‌های با الگوی ترافیکی پراکنده، پارامتر مجاورت به نواحی شهری به‌طور قابل‌توجهی محل‌های تمرکز تصادفات را تحت تأثیر قرار خواهد داد (Steenberghen و همکاران، ۲۰۰۴).

از طرفی در سال‌های اخیر تحقیقات مختلفی در جهت مدل-سازی تصادفات توسعه داده‌شده‌اند؛ در هر یک از این تحقیقات عوامل مختلف مؤثر بر شاخص‌های ایمنی راه مانند فراوانی (شمار) یا شدت تصادفات بررسی شده است. مدل‌سازی تصادفات راه‌ها به‌منظور درک بهتر عوامل مؤثر بر تصادفات ترافیکی و کاهش فراوانی آن‌ها با مهار یا بهبود این عوامل است. ساخت مدل‌های آماری دقیق، قابل‌اطمینان و فراگیر برای تحلیل تصادفات خودرویی، از اهمیت زیادی در مطالعات مربوط به ایمنی راه‌ها برخوردار است. این مدل‌ها می‌تواند در شناسایی نقاط حادثه‌خیز، پیش‌بینی تصادفات و از آنجا اصلاح شرایط حادثه‌ساز و بهبود ایمنی راه‌ها نقشی کارا داشته باشد.

به‌منظور مدل‌سازی شدت تصادفات تاکنون به‌طور گسترده از مدل‌های آماری از قبیل مدل‌های لوجیت[۲] و پروبیت[۳] (دوگانه و ترتیبی) استفاده شده است (Abdel-Ati و همکاران، ۲۰۱۴؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۱؛ Abegaz و همکاران، ۲۰۱۴، Ma و همکاران، ۲۰۱۶؛ Vahedi و Effati، ۲۰۱۹)، ولی به‌دلیل متنوع و پیچیده بودن اطلاعات، ممکن است این مدل‌های سنتی برای بررسی عوامل مختلف و تأثیر آن‌ها بر شدت تصادفات مناسب نباشند. نتایج به‌دست آمده تاکنون نشان داد، که مدل‌های رگرسیون پارامتریک بوده و بسیار وابسته به فرضیه‌های تعریف‌شده از روابط تابعی موجود و همچنین خصوصیات متغیرهای مورداستفاده جهت تحلیل شدت تصادفات هستند. بنابراین، چنانچه این روابط به‌درستی تعریف نشوند یا اندکی تغییر کنند، مدل برآورد نادرستی از شدت تصادفات خواهد داشت (Yannis و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به کاستی مدل‌های رگرسیون، در سال-های اخیر، پژوهشگران مختلف سعی کرده‌اند با استفاده از روش-های ناپارامتری و ابزارهای داده‌کاوی شدت تصادفات را تحلیل نمایند. این روش‌ها که بعضاً براساس تکنیک‌های دسته‌بندی داده-ها انجام می‌شوند، از میان حجم داده‌ها، الگوهایی را استخراج می-کند که شدت تصادفات برحسب خسارتی بودن و یا جرحی یا فوتی بودن، هر یک در دسته‌های مربوط به خود قرار می‌گیرند و به این ترتیب شرایطی که باعث می‌شود تا یک تصادف برحسب متغیرهای مستقل مربوط به خود در یک دسته مشخص از شدت تصادفات قرار گیرد، معلوم می‌شود.

در سال ۲۰۰۳ از تلفیق داده‌ای و خوشه‌بندی[۴] برای بررسی و تحلیل دو دسته شدت تصادفات ترافیکی (آسیب جانی و خسارات مالی) در کشور کره جنوبی استفاده شد. برای این منظور از روش های شبکه عصبی مصنوعی[۵] و درخت تصمیم‌گیری[۶] استفاده شد. آن‌ها الگوریتم خوشه‌بندی‌ای را به منظور تقسیم مجموعه داده به زیرمجموعه‌هایی به‌کار گرفتند و سپس هر زیرمجموعه از داده را در آموزش طبقات استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که طبقه‌بندی بر اساس خوشه‌بندی درصورتی‌که تنوع در مشاهدات داده‌های تصادفات ترافیکی جاده‌ای کشور کره، نسبتاً بزرگ باشد، عملکرد بهتری دارد (Sohn و Lee، ۲۰۰۳).

در کشور ما نیز پژوهش‌های بسیاری پیرامون کاربرد روش‌های داده‌کاوی در بررسی شدت تصادفات انجام شده است. خواجه‌سلیمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ با تحلیل شدت تصادفات وسایل نقلیه سواری، موتورسیکلت‌ها و کامیون‌ها در هفت استان کشور با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، به این نتیجه رسیدند که عوامل مختلف و متفاوتی بر شدت هریک از این تصادفات تأثیرگذار بوده است. برای مثال، برای خودروی سواری، انحراف به چپ خودرو و حضور عابر پیاده، نقشی اساسی داشته‌اند.

عفتی و همکاران در سال ۲۰۱۲، با طراحی یک سیستم دانش‌مبنای مکان‌مند جهت پیش‌بینی شدت تصادفات برون‌شهری در محور رشت- قزوین، به الگوهایی کاربردی جهت پیش‌بینی شدت تصادفات دست یافتند. به‌عنوان مثال، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عدم استفاده از کمربند ایمنی، شرایط جوی بارانی و وجود قوس می‌تواند احتمال فوتی بودن تصادف را به‌شدت افزایش دهد.

یکی از روش‌های داده‌کاوی که قابلیت تحلیل داده‌های کمی و کیفی را توأمان دارد، مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)[۷] است. درخت‌های تصمیم‌گیری ابزاری قدرتمند در تعیین مهم‌ترین متغیرهای مستقل و حل مسائل دسته‌بندی و پیش‌بینی به‌شمار می‌روند. ازجمله مطالعات صورت گرفته در بررسی شدت تصادفات با روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: عفتی و صادقی در سال ۲۰۱۵،

2. Logit Model
3. Probit Model
4. Clustering
5. Artificial Neural Network (ANN)
6. Decission Trees
7. Classification and Regression Tree (CART)

پژوهشی را با تلفیق یک چارچوب مکان‌مند مبتنی بر هستی-شناسی[8] و داده‌کاوی درخت طبقه‌بندی و رگرسیون به منظور پیش‌بینی شدت تصادفات در محور قدیم قزوین- رشت، انجام دادند. این مطالعه نشان داد که می‌توان از تلفیق هستی‌شناسی با درخت طبقه‌بندی و رگرسیون برای نشان دادن ارتباط میان عوامل تأثیرگذار و شدت تصادف که در قوانین تصمیم‌گیری داده‌کاوی 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 (Effati و Sadeghi، ۲۰۱۵). نتایج مطالعات بررسی شدت تصادفات راه‌های برون‌شهری دو طرفه- دو خطه نشان داد که مدل CART روشی کارا برای تحلیل مصدومیت ناشی از تصادفات در راه‌های دوخطه- دوطرفه برون‌شهری من‌جمله محور موردمطالعه است (Kashani و Mohayamani، ۲۰۱۱).

از طرفی قوس‌های افقی یکی از مهم‌ترین اجزای طرح هندسی راه‌ها هستند، که هرساله تصادفات زیادی در این نواحی اتفاق می‌افتد، این بخش از راه به دلیل اعمال نیروی گریز از مرکز بر وسایل نقلیه، از حادثه‌خیزترین نقاط جاده‌ای محسوب می‌شود، که همواره توجه ویژه‌ای را جهت کاهش حوادث به خود معطوف می‌سازد. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که یکی از عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات، مشخصات هندسی قوس‌های افقی می‌باشد (Wang و همکاران، ۲۰۰۹)، درواقع قوس‌های افقی باعث افزایش شدت تصادفات شده و هرچه قوس افقی شدیدتر باشد (شعاع کوچک‌تر یا درجه قوس بالاتر)، احتمال خطر افزایش می‌یابد (Bissell و همکاران، ۱۹۸۲؛ Walmsley و Summersgill، ۱۹۹۸؛ Gibreel و همکاران، ۱۹۹۹؛ Ikeda و Mori، ۲۰۰۵). مطالعه‌ای که روی ۳۵۵۷ قطعه در ایالت‌های امریکا (۳۳۰۴ قطعه دارای قوس و ۲۵۳ قطعه، صرفاً مسیر مستقیم) به منظور بررسی ایمنی قوس‌های افقی، انجام شد، نشان داد که در ایمنی راه در مقاطع قوس‌ها، شعاع و درجه قوس نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Glennon و همکاران، ۱۹۸۵).

Huang در مطالعات خود بر روی شدت تصادفات آزادراه کوهستانی در چین به این نتیجه رسید که در تصادفات ناشی از عجله و شتاب بی‌مورد، قوس‌هایی با شعاع بزرگ‌تر (مستقیم و انحنای کم‌تر) احتمال وقوع تصادفات با شدت فوتی و جرحی بیشتری دارند (Huang و همکاران، ۲۰۱۸). 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، قوس‌های قائم و درنهایت تعداد تقاطع بر شدت و نرخ تصادفات قوس‌های افقی تأثیرگذارند (Saffarzade و همکاران، ۲۰۰۷).

در این مقاله سعی شده است به‌منظور تحلیل مکان‌مبنای شدت تصادفات در قوس‌های افقی، با ارائه مدلی تلفیقی از سیستم‌های اطلاعات مکانی و داده‌کاوی، ضمن تحلیل مکان‌مند تصادفات در محور موردمطالعه، شدت تصادفات رخداده در قوس‌های افقی به‌طور خاص با استفاده از مدل‌سازی درخت طبقه‌بندی و رگرسیون مورد تحلیل قرار گیرد تا ضمن بررسی مقاطع پرتصادف در محور موردمطالعه، عوامل مؤثر بر شدت وقوع آن‌ها نیز شناسایی گردد. در ادامه در بخش ۲ روش تحقیق و داده‌های مورداستفاده تشریح خواهد شد، در بخش ۳ پیاده‌سازی و بحث، و در بخش ۴ بحث روی نتایج حاصله انجام می‌گیرد. درنهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- داده و منطقه موردمطالعه

جاده قدیم قزوین- رشت که در شمال ایران واقع شده است، از قدیمی‌ترین و اصلی‌ترین راه‌های کریدور شمال- جنوب کشور است که تهران را به شمال ایران متصل می‌کند. این محور در منطقه کوهستانی با ارتفاعی بین ۳۰۰ تا ۲۳۹۴ متر واقع شده که از راه‌های اصلی برون‌شهری پرخطر کشور به شمار می‌آید و به‌دلیل وجود قوس‌های پر پیچ‌وخم بسیار مستعد تصادف است. محور موردمطالعه در بین عرض‌های جغرافیایی '۳۶°۱۹ تا '۳۶°۳۷ شمالی و طول جغرافیایی '۴۹°۳۷ تا '۴۹°۳۲ شرقی قرار دارد. این محور در سال ۱۳۹۵ محل عبور حدود ۱۵۷۰۰۰۰ وسیله نقلیه از هر سمت خود بوده است. جدول (۱) داده‌های مورداستفاده در تحقیق و ویژگی آن‌ها را توصیف می‌کند.

۲-۲- روش تحقیق

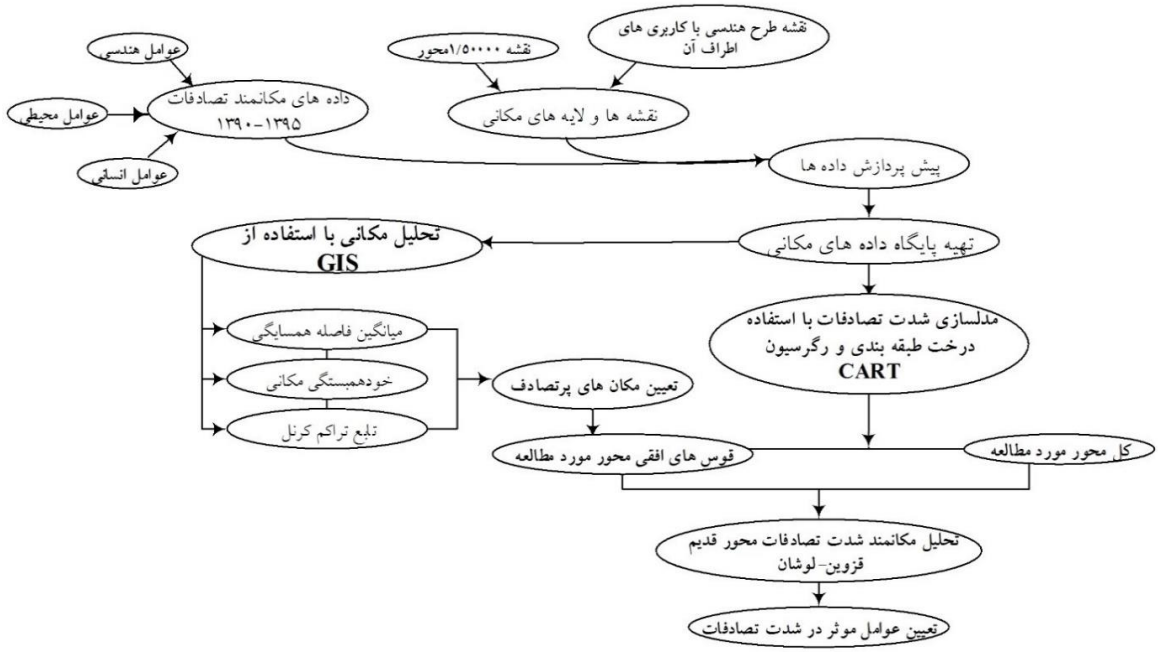
رویکرد اصلی تحقیق براساس تلفیق تحلیل مکانی و مدل‌سازی با روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، به‌منظور تحلیل مکان‌مبنای شدت تصادفات و تعیین فاکتورهای مؤثر در آن استوار است. شکل (۱) ساختار کلی روش پیشنهادی تحقیق را نشان می‌دهد. در این ساختار، داده‌های ورودی که از منابع مختلف اخذ شده‌اند، پس از پیش‌پردازش‌های لازم نظیر حذف داده‌های تکراری و ناقص، در پایگاه داده ذخیره شده و تحلیل می‌شوند تا تأثیر آن‌ها بر سطوح مختلف شدت تصادفات سنجیده شود. به‌منظور مدل‌سازی شدت تصادفات در محور موردمطالعه، از دو استراتژی استفاده می‌گردد.

8. Ontology

ابتدا با توجه به حجم عظیم رکوردهای تصادف، الگوریتم داده‌کاوی CART بر روی تصادفات کل محور موردمطالعه اعمال می‌شود، سپس به منظور تعیین مقاطع پرتصادف محور، ازآنجاکه تصادفات مأخوذه از پلیس‌راه کشور دارای مختصات مکانی GPS[9] می‌باشند، از تحلیل‌های مکانی میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی، خودهمبستگی مکانی گتیس- ارد جی‌استار و تابع تراکم کرنل استفاده می‌شود.

جدول ۱- داده‌های مورداستفاده در تحقیق

داده	مشخصات	منبع	توضیح
داده تصادف	داده شش ساله جاده قدیم قزوین- لوشان شامل عوامل محیطی، انسانی و طرح هندسی	پلیس راه کشور	توصیفی
نقشه‌های مکان‌مند	شامل کاربری‌ها و عوارض (مجتمع‌های تفریحی و رفاهی، پاسگاه پلیس، مساجد، پمپ‌بنزین و فوریت‌های پزشکی) محور موردمطالعه	سازمان راهداری و حمل‌و‌نقل جاده‌ای	مکانی و توصیفی در GIS فرمت



شکل ۱- روندنمای تحقیق

نتایج تحلیل مکانی، قوس‌های افقی را به‌طور خاص مقاطع پرتصادف در محور موردمطالعه شناسایی نمودند. لذا در ادامه آزمون CART صرفاً بر روی تصادفات رخ‌داده در مقاطع قوس‌دار محور اعمال می‌گردد، تا عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات در قوس‌های افقی پر تصادف نیز شناسایی گردند.

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

تحلیل‌های مکانی کلید شناخت رویدادهای فضایی و زمانی تصادفات می‌باشند که شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای توصیف و مدل‌سازی داده‌های مکانی هستند. تحلیل نقاط کانون[10] ازجمله روش‌های مناسب برای به تصویر کشیدن اطلاعات مربوط به نقاط حادثه‌خیز (نقاط کانون) به صورت سطوح پیوسته است. به‌عبارتی روش‌های آماری یکپارچه به تحلیل‌گران کمک می‌کنند تا الگوهای عمومی را درک کنند. جدول (۲) تحلیل‌های مکانی مورداستفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تحلیل‌های مکانی استفاده‌شده در پژوهش

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

9 Global Positioning System
10. Analysis of focal points

۲-۲-۱-۱- میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی[11] (آزمون خوشه‌بندی)

یکی از شاخص‌های آماری مورداستفاده برای تحلیل الگوهای مکانی تصادفات، آزمون شاخص میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایه می‌باشد (Cover و Hart، ۱۹۶۷). به کمک این آزمون نحوه پراکنش الگوهای تصادفات در محدوده موردمطالعه بررسی می‌شود که آیا تصادفات رخداده توزیع خوشه‌ای دارند یا نه. چنانچه نسبت میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی کم‌تر از یک باشد، داده‌های موردمطالعه دارای الگوی خوشه‌ای و اگر این نسبت بزرگ‌تر از یک باشد، دارای الگوی پراکنده می‌باشند. نسبت میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی از نظر آماری به‌صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$ANN = \frac{\overline{D}_O}{\overline{D}_E} \qquad (۱)$$

که در آن $\overline{D}_O$ میانگین فاصله مشاهده‌شده بین تصادف و نزدیک‌ترین همسایگانش و $\overline{D}_E$ میانگین فاصله بین تصادف و نزدیک‌ترین همسایگانش درصورتی‌که توزیع پدیده‌ها به‌صورت تصادفی باشد، است که با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شود:

$$\overline{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} \qquad (۲)$$

$$\overline{D}_O = \frac{0.5}{\sqrt{n/N}} \qquad (۳)$$

در معادلات بالا d_i فاصله بین پدیده موردبررسی و نزدیک‌ترین همسایه‌اش، n تعداد کل عوارض است. هنگام به‌کارگیری شاخص نزدیک‌ترین همسایه جهت بررسی الگوی مکانی از آزمون امتیاز استاندارد Z_{ANN} استفاده می‌شود که به صورت (۴) محاسبه می‌شود.

$$Z_{ANN} = \frac{\overline{D}_O - \overline{D}_E}{SE} \qquad (۴)$$

$$\overline{D}_O = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/N}} \qquad (۵)$$

A مساحت کل محدوده موردمطالعه می‌باشد. مقدار P-Value نیز تقریبی از مساحت زیر منحنی برای توزیع معین خواهد بود که با آزمون آماری محدود می‌شود.

۲-۲-۱-۲- تحلیل خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار

آماره گتیس-ارد جی استار به منظور تحلیل نقاط کانون استفاده می‌شود؛ این روش خروجی‌ای تولید می‌کند که در آن هر نقطه یا عارضه دارای Z-Value است که نشان می‌دهد در کجای داده‌ها مقادیر زیاد و یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. Z-Value بزرگ و P-Value کوچک برای هر نقطه نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر بالاست. Z-Value پایین و منفی و P-Value کوچک نشان دهنده خوشه‌بندی مکانی مقادیر پایین است. جواب G_i^* یک Z-Value است. تعریف آماری "گتیس- ارد جی استار" در رابطه (۶) آمده است (Ord و Getis، ۱۹۹۵).

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

که در آن x_j مقدار ویژگی برای عارضه j، n اندازه نمونه، $w_{i,j}$ وزن‌های مکانی بین عارضه‌های i و j است. مقدار مثبت این آماره، خوشه مکانی از مقادیر بالا و مقدار منفی، خوشه مکانی از مقادیر پایین را نشان می‌دهد. این آماره که برای هر عارضه محاسبه می‌شود، نوعی امتیاز Z است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از لحاظ آماری، هرچه امتیاز Z بزرگ‌تر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، هرچه امتیاز Z کوچک‌تر باشد، به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و به آن‌ها لکه‌های سرد می‌گویند.

۲-۲-۱-۳- روش برآورد تراکم کرنل

برآورد تراکم کرنل روشی مناسب برای تحلیل داده‌های یک‌بعدی و دوبعدی است. این روش قادر است به‌سرعت و به‌صورت بصری نقاط کانون را از پایگاه داده بزرگ شناسایی کرده و درنتیجه خروجی آماری و رضایت بخشی را ارائه دهد. مزایای بازنمایش سطحی به‌خصوص در تصادفات راه‌های برون‌شهری این است که آن‌ها می‌توانند مدل پیوسته واقعی‌تری را از الگوهای نقاط کانونی ارائه دهند. به‌عبارتی این روش برخلاف روش‌های خودهمبستگی مکانی که نقاط کانون را شناسایی می‌کنند، می‌تواند مناطق حادثه‌خیز را نیز شناسایی کند. روش برآورد تراکم کرنل برای تحلیل نقاط کانون روشی قابل‌اطمینان‌تر و مطلوب‌تر شناخته می‌شود و نتایج نسبتاً پایداری را به کاربر ارائه می‌دهد. 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

11. Nearest Neighbor Index

می‌تواند با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شود، که در آن k_σ تابع کرنل است (Fotheringham و همکاران، ۲۰۰۰).

$$R_i = \hat{p}(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} k_\sigma(x - x_i) \quad (۷)$$

۲-۲-۲-مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون درختی پیشنهادی به‌منظور بررسی شدت تصادفات محور قدیم قزوین- لوشان

مدل‌سازی به‌روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون یک روش رایج داده‌کاوی است که می‌تواند روابط پیچیده میان پارامترها را به‌سادگی بیان کند. در صورت استفاده از این روش، همبستگی میان متغیرها حائز اهمیت نمی‌باشد (Breiman و همکاران، ۱۹۸۱). درواقع این مدل می‌تواند با دریافت حجم زیادی از داده-هایی که دارای متغیرهای مختلفی هستند، به‌عنوان اطلاعات ورودی، نتیجه‌ای مناسب را تنها با استفاده از متغیرهای اساسی تولید کند و آن‌ها را در یک گراف خلاصه نماید (Chang و Wang، ۲۰۰۶). درخت طبقه‌بندی و رگرسیون یک روش مدل‌سازی ناپارامتریک است اساس کار در این روش به این صورت است که ابتدا تمام داده‌ها در بالاترین گره که به آن "گره ریشه"[۱۲] گفته می‌شود، قرار می‌گیرند، سپس هر گره براساس متغیر جداکننده-ای[۱۳] که بهترین خلوص[۱۴] را ایجاد کند، به دو زیرگره[۱۵] تقسیم می‌شود. اگر گره‌های ایجادشده به‌اندازه کافی یکدست و خالص باشند، انشعاب آن‌ها متوقف شده و در حکم گره نهایی یا برگ خواهند بود که هیچ زیرمجموعه‌ای ندارد، اما اگر خلوص لازم را نداشته باشند، مجدداً به گره‌های دیگری منشعب خواهند شد. درواقع داده‌های هر زیر گره، همگن‌تر از گره قبلی خود هستند. به گره‌هایی که مابین گره ریشه و گره‌های نهایی[۱۶] هستند، گره میانی گفته می‌شود. شروع مدل‌سازی نیاز به دو دسته متغیر دارد؛ متغیر هدف (وابسته) و متغیر مستقل، هدف از این تقسیم‌بندی یافتن سطوح مختلف شدت تصادف (خسارتی، جرحی و فوتی) و مقدار مربوط به آن در مناسب‌ترین زیرمجموعه است.

۲-۲-۲-۱- شاخص جینی[۱۷]

شاخص‌های بسیاری برای تقسیم‌بندی داده‌های اسمی وجود دارد. از معروف‌ترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص جینی اشاره کرد. شاخص جینی، از تفریق مجموع مربعات احتمالات یک دسته از عدد یک حاصل می‌شود. این شاخص از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید (Breiman و همکاران، ۱۹۸۱).

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

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

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

در روابط (۸) تا (۱۰)، $N_j(m)$ تعداد مشاهدات مربوط به دسته j در گره m، N_j تعداد کل مشاهدات مربوط به کلاس j در گره ریشه، $p(j|m)$ احتمال قرارگیری مشاهدات مربوطه در دسته j در گره m، $Gini(m)$ که همان شاخص جینی می‌باشد، نشانگر عدم خلوص (وجود چنددستگی) در گره m است. درصورتی‌که تمام مشاهدات در یک گره از دسته باشند، این شاخص برابر صفر و نشان‌دهنده کم‌ترین ناخالصی (بیش‌ترین خلوص) در گره می‌باشد و بالعکس. بیشترین مقدار $Gini(m)$ نیز زمانی حاصل می‌شود که از تمامی مشاهدات به یک نسبت در گره وجود داشته باشد. شاخص جینی در هر گره برای تمام متغیرها محاسبه شده و متغیری به‌عنوان متغیر جداکننده انتخاب می‌شود، که کم‌ترین مقدار برای جینی از آن به‌دست بیاید.

۲-۲-۲-۲- ضریب اهمیت نسبی متغیر[۱۸]

در مدل‌سازی، شناسایی متغیرهایی که نقش اساسی در پیش-بینی متغیر هدف دارند، یکی از مهم‌ترین مراحل مدل‌سازی است. یکی از خروجی‌های روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، شاخص اهمیت متغیر است که براساس آن پس از ساخت درخت بهینه، اهمیت متغیر به صورت نسبی طبق رابطه (۱۱) به‌دست می‌آید:

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

$S(x_j, m)$ جداکننده متغیر x_j در محل گره m و $\Delta\, Gini\left(S(x_j, m)\right)$ کاهش شاخص جینی در گره m بر اساس متغیر x_j و $\frac{n_m}{N}$ نسبت مشاهدات در گره m، M تعداد کل گره‌ها و N تعداد کل مشاهدات است. این مقدار برای همه متغیرهای مستقل x_j محاسبه شده و به نحوی مقیاس می‌شود که مجموع آن x_j مستقل برای همه متغیرها برابر مقدار یک شود. متغیری

12. Root Node
13. Splitter
14. Purity
15. Child Note
16. Terminal Node
17. Gini Index
18. Relative Importance Of Variable

که بیش‌ترین سهم را دارد، نسبت به بقیه، به صورت نسبی بزرگ‌ترین عدد را اختیار می‌کند.

۳-پیاده‌سازی

به‌منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی تحقیق، در ابتدا داده‌های ورودی با استفاده از آزمون‌های خوشه‌بندی نظیر میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی، روش‌های خودهمبستگی مکانی گتیس- ارد جی استار و همچنین تابع برآورد تراکم کرنل جهت شناسایی ناحیه‌های تجمع تصادفات در محور موردمطالعه، تجزیه‌وتحلیل شدند. همان‌طور که در روش تحقیق بیان شد پس از مشخص شدن محل‌های تجمع تصادف، شدت تصادف در این مکان‌ها و همچنین کل محور تحلیل خواهد شد. بدین منظور درمجموع ۱۱۵۷ مورد تصادفات (فوتی، جرحی و خسارتی) برای جاده قدیم قزوین- لوشان، در فرمت متن، عدد، تاریخ و زمان در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ برای تجزیه‌وتحلیل موردبررسی قرار گرفت. تعداد تصادفات در بانک اطلاعاتی مورداستفاده در تحقیق برای محور رشت- لوشان، به تفکیک سال وقوع و شدت تصادف در جدول (۳) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است، پیش از فرایند داده‌کاوی، پیش‌پردازش‌های لازم روی داده‌های تصادف و داده‌های مکانی از قبیل حذف داده‌های تکراری و ناقص انجام شد، که درنتیجه آن، ۹۸۶ تصادف برای فرآیند مدل‌سازی مورداستفاده قرار گرفت. ازآنجاکه تعداد تصادفات منجر به فوت نسبت به کل تصادفات در محور موردمطالعه، کم می‌باشد، در نظر گرفتن سه سطح مذکور برای متغیر وابسته نتایج خوبی به‌همراه 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 تقسیم‌بندی شدند. درواقع برای افزایش دقت پیش‌بینی در مسائلی که متغیر هدف دارای چندین سطح است، بهتر است متغیر هدف به دو سطح تبدیل شود (Kashani و Mohayamani، ۲۰۱۱؛ Jung و همکاران، ۲۰۱۶؛ Allwein و همکاران، ۲۰۰۰؛ Delen و همکاران، ۲۰۰۶؛ Dissanayake، ۲۰۰۲؛ Tax و Duin، ۲۰۰۲).

جدول ۳- تعداد تصادفات به تفکیک شدت در دوره تحقیق

		سال					
		۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵
شدت	خسارتی	۱۳۶	۹۹	۱۲۸	۱۷۱	۱۴۷	۱۱۹
	جرحی	۴۸	۵۷	۳۸	۷۴	۴۳	۳۸
	فوتی	۷	۱۶	۱۵	۷	۸	۹
	مجموع	۱۹۱	۱۷۲	۱۸۱	۲۵۲	۱۹۸	۱۶۳

۳-۱- نتایج تحلیل مکانی تصادفات

همان‌طور که در بخش‌های پیشین اشاره شد یکی از اهداف این تحقیق تعیین مکان‌های پرتصادف در محور موردمطالعه می‌باشد. ابتدا به کمک آزمون میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی می‌توان نحوه پراکنش الگوهای تصادفات را در محدوده محورهای موردمطالعه بررسی کرد. اگر نتیجه آزمون داده‌های تصادفات، شکل خوشه‌ای نداشته باشد، کانون تصادفات شکل نگرفته است و دیگر لازم نیست، زمانی صرف شناسایی کانون‌های تصادف شود. نتایج آزمون تصادفات محور آزادراه قزوین- لوشان با استفاده از آزمون آماری شاخص نزدیک‌ترین همسایه در جدول (۴) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نسبت نزدیک‌ترین همسایه برای تصادفات کل آزادراه و قوس‌های افقی آن کوچک‌تر از یک است، که نشان می‌دهد تصادفات این محور دارای الگوی خوشه‌ای هستند، درواقع بیانگر آن است که مکان‌های خاصی از آزادراه محل تمرکز تصادفات می‌باشند. باتوجه به آماره Z محاسبه‌شده و هم‌چنین مقدار $P-Value<0/001$ که نشان‌دهنده رد فرض تصادفی بودن توزیع تصادفات است، نتیجه می‌شود که خوشه‌ای بودن تصادفات از نظر آماری معنادار است. بر همین اساس از روش‌های خودهمبستگی مکانی نظیر گتیس ارد- جی‌استار و تراکم کرنل به‌منظور شناسایی نقاط کانونی موجود استفاده می‌شود.

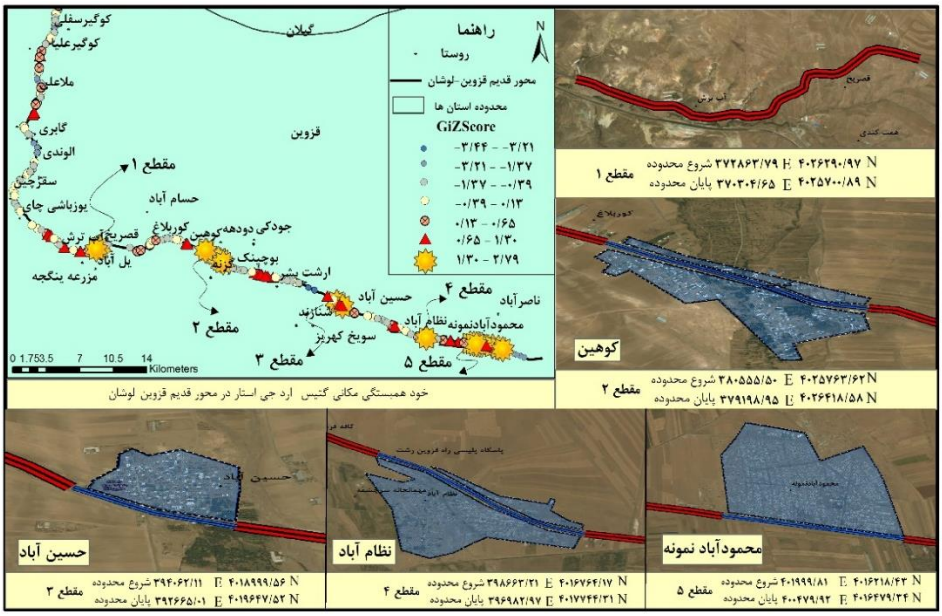
جدول ۴- نتیجه آزمون میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی

نتیجه آزمون	جاده قدیم قزوین- لوشان	
	قوس‌های افقی	کل محور
میانگین فاصله مشاهده‌شده	۱۳/۵۷ متر	۱۵/۳ متر
میانگین فاصله مورد انتظار	۵۵۵/۸۳ متر	۴۵۲/۱۲متر
نسبت نزدیک‌ترین همسایه	۰/۰۲۴ متر	۰/۰۳۴
Z-Score	- ۴۶/۶۹	- ۶۲/۸۶
P-Value	۰/۰۰	۰/۰۰

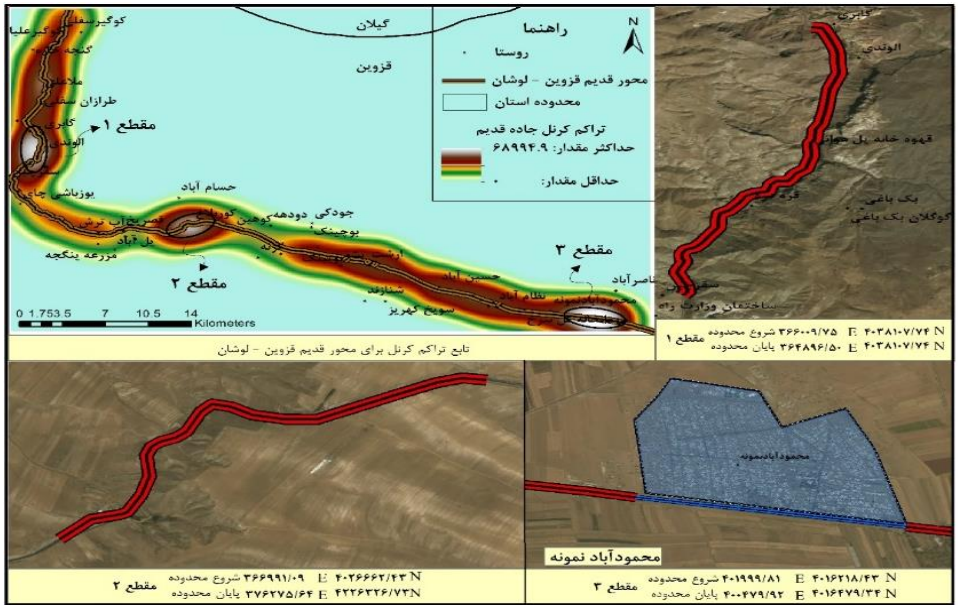
در مرحله بعد روش خودهمبستگی مکانی گتیس ارد- جی استار روی داده‌های تصادفات پیاده‌سازی می‌شود، در این روش هرچه مقدار $G_i Zscore$ که شاخص این روش است، بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده خوشه‌بندی بالای تصادفات است که اصطلاحاً به آن‌ها لکه داغ[19] می‌گویند. در شکل (۲) خروجی روش پیشنهادی مشاهده می‌گردد، در آن نقاط با رنگ زردپررنگ نشان‌دهنده نقاط کانونی تصادفات در محور قدیم قزوین- لوشان می‌باشند. براساس نتایج خودهمبستگی مکانی گتیس- ارد جی استار، در جاده قدیم بیشترین تراکم تصادفات در محدوده مناطق روستایی محمودآباد نمونه، نظام‌آباد، کوهین و حسین‌آباد از توابع استان قزوین و

19. Hot Spots

همچنین منطقه پر پیچ‌وخم (قوس‌های افقی) در مجاورت منطقه قصریخ و آب‌پرش (مقطع ۱) می‌باشد. از آنجایی‌که تولید و جذب سفر در مناطق شهری و روستایی بیشتر از سایر بخش‌هاست، درنتیجه عبور و مرور در این مناطق افزایش می‌یابد، علاوه بر این با توجه به نقشه جاده قدیم می‌توان متوجه شد، که این محور در محدوده شهرهای نام‌برده تقریباً به‌صورت مستقیم و بدون قوس افقی است درنتیجه این امر باعث می‌شود راننده به‌سرعت خود بی‌افزاید. سرعت بالا، عدم کنترل خودرو را به‌دنبال دارد، که باعث بروز تصادفات می‌شود. پس می‌توان وجود این مناطق روستایی در اطراف جاده قدیم (به‌واسطه افزایش تولید و جذب سفر) و مقاطع پر پیچ‌وخم را از عوامل بروز تصادفات دانست.



شکل ۲- خروجی تحلیل مکانی خودهمبستگی مکانی گتیس- ارد جی استار در محور قدیم قزوین- لوشان



شکل ۳- خروجی تابع تراکم کرنل در محور قدیم قزوین- لوشان

پس از آن بعد به‌منظور ارزیابی تحلیل مکانی فوق، از تحلیل مکانی کرنل برای شناسایی و نمایش محدوده کانونی تصادفات استفاده شد. مطابق شکل (۳) نتایج تابع تراکم کرنل تقریباً همانند نتایج خودهمبستگی گتیس- ارد، محدوده شهری محمودآباد نمونه را به‌عنوان منطقه‌ای با تراکم تصادفات بالا نشان می‌دهد. علاوه بر آن اطراف گردنه کوهین و قسمتی از مناطق شمالی این محور نیز تصادفات زیادی مشاهده می‌شود. به‌طورکلی از آنجایی نتایج تحلیل‌های مکانی، قوس‌های افقی در این محور یکی از

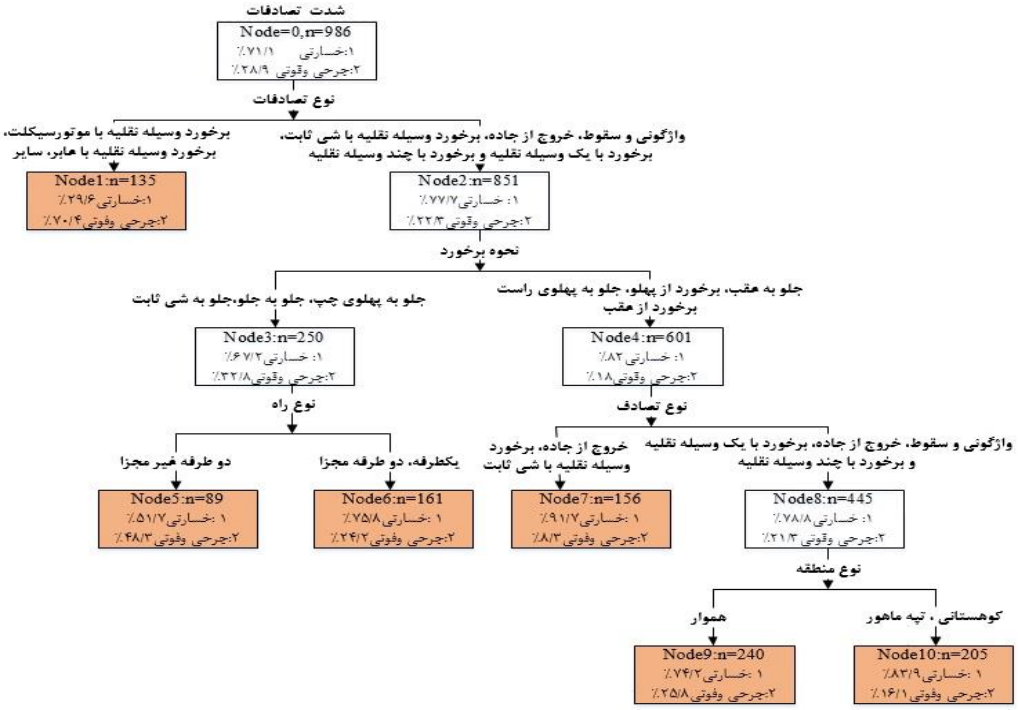
مکان‌های تراکم تصادفات نشان دادند، درنتیجه در بخش بعدی علاوه بر بررسی شدت تصادفات در کل محورهای موردمطالعه، به بررسی شدت تصادفات در قوس‌های افقی این محور نیز پرداخته می‌شود تا مشخص گردد چه عواملی باعث افزایش شدت تصادفات در این مناطق می‌شود.

۳-۲- نتایج مدل‌سازی شدت تصادفات

۳-۲-۱- بررسی مدل شدت تصادفات در کل محور قدیم قزوین- لوشان

به منظور بررسی شدت تصادفات در محور قدیم قزوین- لوشان، آزمون درخت طبقه‌بندی و رگرسیون بر روی تصادفات کل محور اعمال شده و نتیجه مدل‌سازی به تفضیل بیان می‌شود. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، گره ریشه به‌وسیله متغیر "نوع تصادفات" به دو شاخه تقسیم می‌شود.

این الگو نشان می‌دهد که "نوع تصادفات" نقش اساسی را در طبقه‌بندی شدت تصادفات جاده قدیم ایفا می‌کند. براساس این گره، بیشتر تصادفات از نوع برخورد با عابر و یا موتورسیکلت در این محور، با شدت جرحی و فوتی به‌وقوع می‌پیوندند (۷۰/۴ درصد در مقابل ۲۹/۶ درصد). متغیر تأثیرگذار بعدی "نحوه برخورد" است. گره ۲ توسط متغیر "نحوه برخورد" به دو زیرگره ۳ و ۴ تقسیم می‌شود. این قسمت نشان می‌دهد که از میان تصادفات خروج از جاده، واژگونی و سقوط، برخورد گره وقوع تصادفات با شدت خسارتی محتمل‌تر است. سپس برخورد وسیله نقلیه با یک یا چند وسیله‌نقلیه و برخورد با شی ثابت، برخورد از پهلو و برخورد جلو به پهلوی راست محتمل‌تر بوده است (۶۰۱ به ۲۵۰) و در هر دو گره ۳ بر اساس "نوع راه" به دو گره پایانی ۵ و ۶ تقسیم می‌شود. طبق این تقسیم‌بندی، بیشتر تصادفات با شدت خسارتی در قسمت‌های که به‌صورت یک‌طرفه و یا دوطرفه مجزا می‌باشد، رخ داده است (۷۵/۸٪ در مقابل ۵۱/۷٪) و در مقابل بیشتر تصادفات فوتی است، به‌وقوع پیوسته است (۴۸/۳ درصد در مقابل ۲۴/۲ درصد). تقسیم‌بندی گره ۴ براساس "نوع تصادف"به گره ۷ (گره و جرحی در بخش‌هایی که راه به صورت دوطرفه غیرمجزا پایانی) و ۸ نشان از نقش اساس این پارامتر در شدت تصادفات محور قدیم دارد. پس از آن گره ۸ طبق متغیر "نوع منطقه" به دو گره پایانی ۹ و ۱۰ دسته‌بندی می‌شود. این قسمت نشان می‌دهد بیشتر تصادفات از نوع واژگونی و سقوط، برخورد وسیله نقلیه با یک یا چند وسیله نقلیه، در مناطق کوهستانی و تپه‌ماهور به‌وقوع پیوسته و از نوع خسارتی می‌باشد (۸۳/۹ درصد در مقابل ۷۴/۲ درصد).

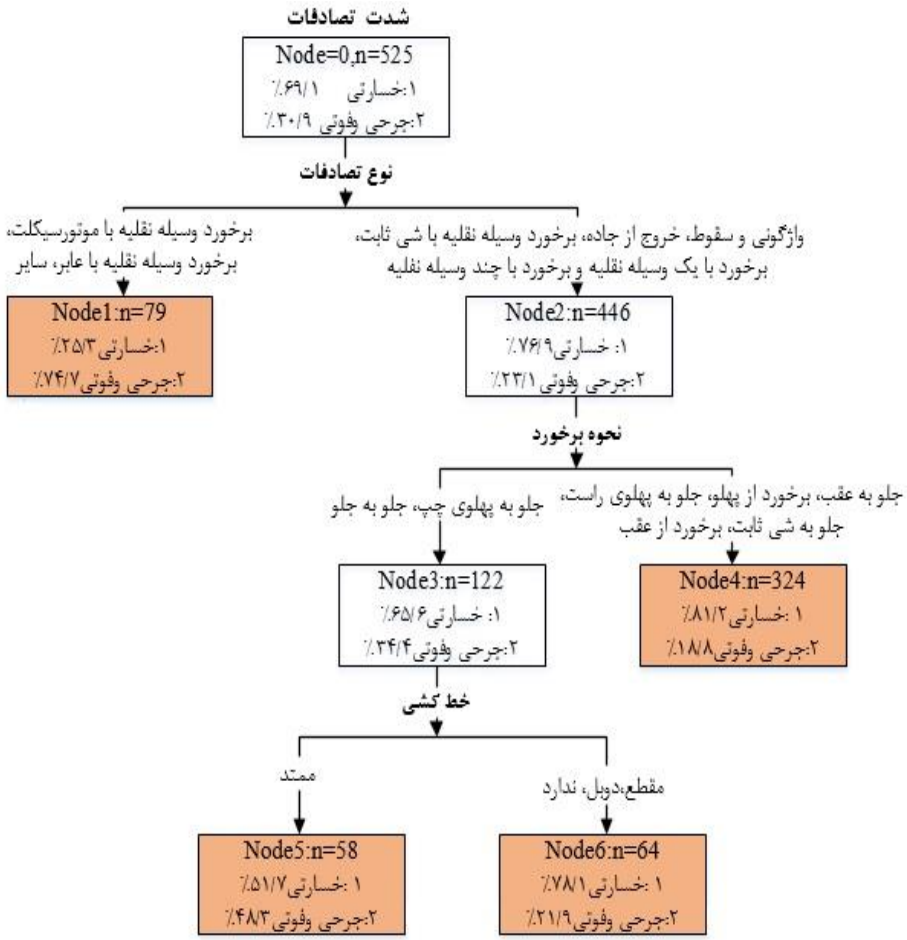


شکل ۴- نمودار درختی تصادفات کل محور قدیم قزوین- لوشان

۳-۲-۲- بررسی مدل شدت تصادفات قوس‌های افقی محور قدیم قزوین- لوشان

پس از بررسی شدت تصادفات کل محور جاده قدیم، ازآنجاکه نتایج تحلیل مکانی، قوس‌های افقی را یکی از مناطق مستعد تصادفات در محور موردمطالعه نشان دادند، تصادفاتی که در قوس-های افقی و یا در مناطقی با ترکیب قوس افقی و قوس قائم رخ داده، از طریق موقعیت تصادفات روی محورهای موردمطالعه

شناسایی‌شده و آزمون درخت طبقه‌بندی و رگرسیون روی آن‌ها اعمال می‌گردد تا عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات در قوس‌های افقی نیز بررسی گردد. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که متغیر "نوع تصادفات" همانند بخش قبلی از اصلی‌ترین عامل در بررسی شدت تصادفات قوس‌ها می‌باشد. تقسیم‌بندی گره یک نشان می-دهد بیشتر تصادفات با شدت فوتی و جرحی از نوع برخورد با عابر و موتورسیکلت می‌باشد. در مقابل گره دو در سمت راست درخت، نشان‌دهنده تصادفات "واژگونی و سقوط، خروج از جاده، برخورد با یک یا چند وسیله نقلیه و برخورد با شیء ثابت" است.



شکل ۵- نمودار درختی تصادفات قوس های افقی محور قدیم قزوین- لوشان

این گره به‌وسیله متغیر "نحوه برخورد" به یک گره میانی و یک گره پایانی تقسیم می‌شود. این بخش نشان می‌دهد اگر تصادفات واژگونی و سقوط، خروج از جاده، برخورد با یک یا چند وسیله نقلیه و برخورد با شیء ثابت، به صورت برخورد جلو به عقب، جلو به پهلوی راست، جلو به شیء ثابت، برخورد از پهلو و عقب باشد، شدت تصادف از نوع خسارتی بیشتر خواهد بود (۸۱/۲ درصد به ۶۵/۶ درصد). در گره ۳ متغیر "خط‌کشی" عاملی تأثیرگذار در شدت تصادفات جلو به پهلوی چپ و جلو به جلو محسوب می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در صورت ممتد بودن خط‌کشی وسط جاده وقوع تصادفات جرحی و فوتی محتمل‌تر از زمانی است که خط-کشی به صورت دوبل، مقطعی یا بدون خط‌کشی باشد. درواقع بر اساس قوانین و مقررات رانندگی در صورت وجود خط ممتد امکان سبقت گرفتن برای رانندگان وجود ندارد، ولی به‌دلیل تخلف و عدم رعایت قوانین توسط برخی از رانندگان در صورت سبقت گرفتن ممکن است تصادفات مرگبار جلو به جلو رخ بدهد (۴۸/۳ درصد در مقابل ۲۱/۹ درصد). بنابراین، این نتیجه نباید منجر به این برداشت اشتباه شود که خط‌کشی ممتد می‌تواند منجر به تصادفات شدیدتری گردد، بلکه باید به این نکته توجه داشت که این نوع خط‌کشی، معمولاً در مناطقی اعمال می‌شود که عوامل حادثه‌ساز بیشتری حضور دارند و همین عوامل حادثه‌ساز هستند که در صورت تخطی از قوانین (سبقت غیرمجاز) می‌توانند منجر به افزایش شدت تصادفات در این مقاطع شوند. در سمت دیگر، مقاطعی که خطوط منقطع دارند، عرض بیشتر و قوس‌های ملایم‌تری دارند. در چنین شرایطی، درصورتی‌که خودروها در

معرض یک برخورد جلوبه‌جلو (شاخ‌به‌شاخ) قرار گیرند، فضای بیشتری برای مانور و فرار از برخورد دارند (به دلیل عرض بیشتر این مقاطع و احتمالاً وجود شانه). به‌علاوه، اغلب اوقات به‌دلیل قوس‌های ملایم‌تر، احتمال واژگونی یا سقوط پایین‌تر خواهد بود.

پس از بررسی نتایج درخت‌های تصمیم‌گیری فوق، اهمیت نسبی متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر شدت تصادفات محاسبه گردید که در جدول (۵) می‌توان مشاهده کرد. درواقع این ضریب می‌تواند تفسیر درخت تصمیم‌گیری تسهیل کند.

جدول ۵- مقادیر اهمیت نسبی متغیرهای مستقل برای محورها قدیم قزوین- لوشان

تصادفات کل محور		تصادفات قوس‌های افقی	
متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت	متغیرهای وابسته	ضریب اهمیت
نوع تصادفات	٪۱۰۰	نوع تصادفات	٪۱۰۰
نحوه برخورد	۱۴/٪۶	نحوه برخورد	۲۲/٪۸
نوع راه	۱۱/٪۸	خط‌کشی	۱۲/٪۲
نوع منطقه	۹/٪۲	کاربری محل	۱۱/٪۸
نوع شانه	۶/٪۵	نوع راه	۱۰/٪۸

۴- نتایج و بحث

نتایج تحلیل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون در هر دو بخش نشان می‌دهد که"نوع تصادفات" به‌عنوان اولین جداکننده، مهم‌ترین متغیر در این مدل محسوب می‌شود. علاوه بر آن "نحوه برخورد"، "نوع منطقه"، "نوع راه" و "خط‌کشی" از دیگر متغیرهایی هستند که بر شدت تصادفات جاده قدیم قزوین- لوشان تأثیر می‌گذارند. بخش عمده نتایج در راستای پژوهش‌های پیشین قرار می‌گیرد. برای مثال، کاشانی و شریعت در سال ۲۰۱۱ به این نتیجه رسیدند که نوع تصادف و نوع برخورد می‌تواند بر شدت تصادفات رخداده در راه‌های دوخطه دوطرفه برون‌شهری مؤثر باشد. عفتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیز نوع تصادف و توسعه‌یافتگی منطقه پیرامون راه را از عوامل تأثیرگذار بر شدت تصادفات در این قبیل راه‌ها تشخیص داده بودند.

همان‌طور که نتایج درخت CART نشان می‌دهد، در جاده قدیم تصادفاتی از نوع واژگونی و خروج از جاده[20]، بیشتر با شدت خسارتی و برخورد با عابر و یا موتورسیکلت بیشتر با شدت فوتی و جرحی به‌وقوع می‌پیوندند. ازآنجایی‌که جاده قدیم قزوین- لوشان در مجاورت مناطق شهری و روستایی بوده و نتایج تحلیل‌های مکانی صورت گرفته نیز به این موضوع اشاره دارد که بیشتر تصادفات این محور علاوه بر قوس‌های افقی در محدوده روستاهای محمودآباد نمونه، نظام‌آباد و کوهین اتفاق افتاده است، پس ازآنجاکه تردد عابر و موتورسیکلت در این مناطق بیشتر از سایر بخش‌هاست، درنتیجه احتمال وقوع تصادفات فوتی و جرحی به‌دلیل برخورد عابر با وسیله نقلیه و موتورسیکلت محتمل‌تر است. متغیر بعدی که بر شدت تصادفات محور موردمطالعه تأثیرگذار است، "نحوه برخورد" می‌باشد. در میان انواع تصادفات وسایل نقلیه به یکدیگر، تصادفات جلو به جلو[21] و جلو به عقب[22]، از پرتعدادترین تصادفات با شدت فوتی و جرحی محسوب می‌شوند. تحقیقات صورت گرفته در زمینه عوامل تأثیرگذار بر تصادفات جلو به جلو نشان می‌دهد که فراوانی تصادفات جلو به جلو با افزایش عرض خط کاهش می‌یابد (Zegeer و همکاران، ۱۹۹۱؛ Al-Senan و Wright، ۱۹۸۷) و همچنین بیشتر تصادفات جلو به جلو با شدت فوتی در مناطقی با محدودیت‌های افزایش سرعت (Leisch، ۱۹۷۱؛ Al-Senan و Wright، ۱۹۸۷) و در مناطق سبقت آزاد (Agent و Deen، ۱۹۷۵) رخ می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، چنانچه جاده به‌صورت دوطرفه غیرمجزا باشد، وقوع تصادفات جلوبه‌جلو با شدت فوتی و جرحی تقریباً دو برابر حالتی است که جاده دوطرفه مجزا یا یک‌طرفه باشد.

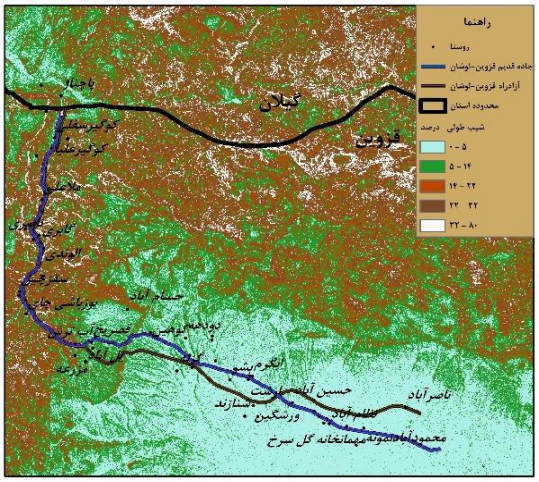
Garder در تحقیقات خود بر روی شدت تصادفات جلو به جلو در راه‌های روستایی دوخطه ایالت مین[23] به این نتیجه دست یافت که دو دلیل اصلی برای عبور رانندگان از خط مرکزی جاده و وقوع تصادفات جلو به جلو وجود دارد؛ اول این‌که رانندگان نسبت به شرایط جاده بسیار سریع می‌رانند و دوم این‌که مردم بی‌دقت بوده و بی‌توجه به خط مرکزی، کم‌وبیش از آن عبور می‌کنند (Garder، ۲۰۰۶). در میان مطالعات صورت گرفته در موردبررسی شدت تصادفات جلو به عقب نیز می‌توان به مطالعه Chen و همکارانش در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد، نتایج نشان آن‌ها داد که وجود کامیون‌ها، شرایط نورانی نامناسب، حضور باد، تعداد وسایل نقلیه و غیره می‌تواند باعث افزایش شدت تصادفات از عقب می‌گردد (Chen و همکاران، ۲۰۱۵).

Shawky و همکارانش در سال ۲۰۱۷ نیز به بررسی شدت تصادفات برخورد از عقب پرداختند، آن‌ها رانندگی سریع، میزان تجربه، محل دریافت گواهی‌نامه، بسیار نزدیک راندن به وسیله نقلیه مقابل[24]، نوع جاده و تعداد خطوط آن را از عوامل تأثیرگذار بر این تصادفات دانستند.

"نوع منطقه" یکی دیگر از متغیرهای مؤثر در شدت تصادفات محور قدیم قزوین- لوشان می‌باشد، که ایمنی و پایداری حمل‌ونقل را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Choi و همکاران، ۲۰۱۱). همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، بخش وسیعی از جاده قدیم

20. Run-off road
21. Head-on crashes
22. Rear-end crashes
23. Maine
24. Tailgating

قزوین- لوشان کوهستانی بوده و از مناطقی با ارتفاع بالا (بالغ بر ۱۵۰۰متر) می‌گذرد. درخت طبقه‌بندی برای کل محور جاده قدیم نشان داد که بیشتر تصادفات واژگونی و سقوط در این محور، در مناطق کوهستانی و تپه‌ماهور به وقوع می‌پیوندد، از آنجایی شیب طولی زیاد یکی از ویژگی‌های اساسی جاده‌ها در مناطق کوهستانی است، می‌توان چنین نتیجه گرفت که شیب طولی زیاد در محور موردمطالعه باعث افزایش شدت تصادفات می‌شود (Roque و همکاران، ۲۰۱۵). پدیده‌های اقلیمی با توجه به حاکمیت شرایط آب‌وهوایی خاص در هر منطقه است، درواقع در مناطق کوهستانی و مرتفع، شرایط اقلیمی سرد و یخبندان همراه با ریزش برف، تگرگ سقوط بهمن و مه و در مناطق کوهپایه‌ای باران، باد و گردوغبار می‌تواند باعث وقوع تصادف باشد (Musavi، ۲۰۱۰).



شکل ۶- نقشه ارتفاعی دو استان قزوین و گیلان

با توجه به شکل (۴) و (۵)، آخرین متغیرهای موردبررسی "نوع راه" و "نوع خط‌کشی" می‌باشند. جاده قدیم قزوین- لوشان علاوه بر مناطق غیرشهری از مناطق شهری و روستایی نیز عبور می‌کند، به‌همین خاطر بخش‌هایی از آن به‌صورت دوطرفه غیرمجزا و بخش‌هایی به‌صورت دوطرفه مجزا و حتی یک‌طرفه می‌باشد. نتایج طبقه‌بندی در شکل (۴) نشان می‌دهد که در قسمت‌هایی که مسیر رفت‌وبرگشت از هم جدا نشده‌اند، احتمال وقوع تصادفات فوتی و جرحی تقریباً دو برابر قسمت‌های جداشده و یا یک‌طرفه است. درواقع همان‌طور که در توضیحات مربوط به متغیر "نحوه برخورد" بدان اشاره شد، چنانچه جاده به‌صورت دوطرفه غیرمجزا باشد (جداکننده فیزیکی موجود نباشد)، احتمال وقوع تصادفات جلوبه‌جلو، به دلیل بی‌توجهی راننده و عبور از خط مرکزی جاده و یا سبقت گرفتن وجود دارد (Shawky و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر "نوع راه"، نوع "خط‌کشی" از دیگر عامل است که بر شدت تصادفات جاده قدیم تأثیر می‌گذارد. تاکنون تحقیقات نشان داده که رابطه بین خط‌کشی معابر و عملکرد رانندگی، به تشخیص فاصله خط‌کشی بعدی، سطح بازتابی، رنگ خط‌کشی، کنتراست روشنایی و چرخه عمر خط‌کشی بستگی دارد. براساس درخت طبقه‌بندی، در صورت ممتد بودن خط‌کشی وسط جاده قدیم قزوین- لوشان وقوع تصادفات جرحی و فوتی محتمل‌تر از حالتی است که خط‌کشی به صورت دوبل، مقطعی یا بدون خط‌کشی باشد. براساس قوانین و مقررات رانندگی در صورت وجود خط ممتد امکان سبقت گرفتن برای رانندگان وجود ندارد، ولی به‌دلیل تخلف و عدم رعایت قوانین توسط برخی از رانندگان در صورت سبقت گرفتن و همچنین نبود فاصله دید کافی در قوس‌های افقی ممکن است تصادفات جلو به جلو مرگباری رخ بدهد. بررسی تأثیر ساختار خط‌کشی (تعداد خطوط، خط‌کشی مقطع یا ممتد و عرض خط) بر فاصله تشخیص شروع خط‌کشی توسط خودرو در حال حرکت نشان داد که افزایش روشنایی خط از طریق استفاده از خطوط عریض‌تر، دو خط به‌جای یک خط و همچنین استفاده از خطوط ممتد به‌جای خطوط منقطع، سرعت تشخیص خط‌کشی را افزایش می‌دهد، درنتیجه باعث افزایش احتیاط و کاهش شدت تصادفات می‌شود (Schnell و Zwahlen، ۱۹۹۷).

این پژوهش نشان می‌دهد که همانند مطالعات قبلی (Haung و همکاران، ۲۰۱۸؛ Theofilatos و همکاران، ۲۰۱۲؛ Theofilatos، ۲۰۱۷). "آب‌وهوا" اثر کمی بر شدت تصادفات جاده قدیم دارد، درصورتی‌که برخی مطالعاتی این عامل را یکی از پارامترهای اساسی و تأثیرگذار در بررسی شدت تصادفات می‌دانند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۱؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۹؛ Ma و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mergia و همکاران، ۲۰۱۳؛ Abdel-Ati و همکاران، ۲۰۱۴).

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از مدل‌سازی ناپارامتریک داده‌کاوی در تلفیق با مدل‌سازی مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات مکانی می‌توان از میان حجم زیادی از داده‌های تصادفات، الگوهای مفیدی استخراج کرده و شدت تصادفات را به‌صورت مکان‌مند تحلیل کرد. در این پژوهش، ابتدا خوشه‌بندی مکانی تصادفات محور آزادراه قزوین- لوشان بررسی شد و نتایج نشان داد که قوس‌های افقی ازجمله مقاطع پرتصادفات هستند. در همین راستا، به منظور بررسی شدت تصادفات در محور موردمطالعه و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، از داده‌کاوی مبتنی بر درخت تصمیم که یکی از ابزار قدرتمند داده‌کاوی است، با دو استراتژی استفاده شد؛ یکی بر روی کل محور و دیگری روی قوس‌های افقی.

در این مطالعه رابطه بین سطوح شدت تصادفات و عوامل مختلفی (به‌عنوان مثال، ویژگی‌های طراحی هندسی، رفتار راننده و عوامل محیطی) برای جاده قدیم قزوین- لوشان موردبررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که مهم‌ترین عوامل مؤثر

بر افزایش شدت تصادفات در محور موردمطالعه، دو متغیر نوع تصادفات و نحوه برخورد با ضرایب اهمیت نسبی متغیرهای مستقل به‌ترتیب ۱۰۰و ۱۴/۶ درصد برای کل محور و ۱۰۰ و ۲۲/۸ درصد برای قوس‌های افقی هستند. بررسی اهمیت نسبی برای سایر متغیرها در مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که نوع راه، نوع منطقه و نوع شانه ازجمله عوامل مؤثر در افزایش تصادفات با شدت خسارتی در جاده قدیم قزوین- لوشان می‌باشد. علاوه بر این نتایج مدل‌سازی بر روی تصادفات قوس‌های افقی نیز نشان داد خط‌کشی و کاربری محل و همچنین نوع راه وقوع تصادفات خسارتی شدید می‌گردد. این متغیرها به‌طورکلی باعث افزایش خسارات و جراحت و یک سری رفتارهای پرمخاطره از سوی راننده در جاده قدیم می‌شوند.

شناسایی عوامل مؤثر در شدت تصادفات و انجام اقدامات اجرایی بازدارنده، ازجمله نظارت بیشتر بر سرعت غیرمجاز و رانندگی در هنگام خستگی و خواب‌آلودگی، استقرار سیستم‌های هوشمند رانندگی به‌منظور هشدار خستگی در خودروهای نسل جدید، نظارت تجمعی بر زمان رانندگی برای سفرهای طولانی، نصب جداکننده فیزیکی در جاده و همچنین ایجاد تابلوهای اطلاع‌رسان و خط‌کشی‌های مخصوص پیش از قوس‌های افقی و تأمین روشنایی کافی و ارتقاء آگاهی عمومی کاربران راه ممکن است افزایش سطح ایمنی آزادراه را به‌دنبال داشته باشد.

مطالعه فوق دارای چندین محدودیت می‌باشد. اولاً، پایگاه اطلاعات ما قبل از وقوع تصادفات مانند سرعت و حجم اطلاعات ترافیکی را شامل نمی‌شود، هرچند این عوامل مهم هستند، اما اثرات آن‌ها قابل‌بررسی نیست. دوم، متغیر هدف در این پژوهش برای شدت تصادفات دوگانه است (خسارتی- جرحی و فوتی). در حقیقت، بسیاری از تصادفات فوق‌العاده شدید که تلفات جانی و مالی بسیاری را به بار می‌آورند، ممکن است دارای دلایل منحصربه‌فردی باشند که در اطلاعات فعلی ما این رویدادها قابل‌تشخیص نیستند.

درنهایت در راستای تکمیل این مطالعه در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که با روشی مشابه به منظور تحلیل مکان‌مند تصادفات در قوس‌های افقی و سایر بخش‌های حادثه‌خیز محیط شهری، و با استفاده از منابع اطلاعاتی گسترده‌تر، دستیابی به عوامل مؤثر بر شدت تصادفات درون‌شهری فراهم آید.

۶- تقدیر و تشکر

لازم است در این بخش از پلیس‌راه و راهور ناجا و همچنین اداره راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای که با در اختیار گذاشتن اطلاعات تصادفات و محورهای مطالعه، ما را در راستای انجام مناسب‌تر این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر به‌عمل آید.

۷- مراجع

Abegaz T, Berhane Y, Worku A, Assrat A, Assefa A, "Effects of excessive speeding and falling asleep while driving on crash injury severity in Ethiopia: a generalized ordered logit model analysis", Accident Analysis and Prevention, 2014, 71 (10), 15-21.

Agent K, Deen R, "Relationship between roadway geometrics and accidents", In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 541. TRB, National Research Council, Washington, DC, 1975, 1-11.

Al-Senan SH, Wright PH, "Prediction of head-on accident sites", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1987, 1122, 79-85.

Allwein E, Schapire R, Singer Y, "Reducing multiclass to binary: a unifying approach for margin classifiers", The Journal of Machine Learning Research, 2000, 1, 113-141.

Bissell HH, Pilkington GB, Mason JM, Woods DL, "Roadway cross section and alignment", in Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements volume 1, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1, 1982, 1 (1), 1-16.

Breiman L, Friedman J, Olshen RA, Stone CJ, "Classification and Regression Trees", CRC press, 1981.

Chang LY, Wang HW, "Analysis of traffic injury severity: an application of nonparametric classification tree techniques", Accident Analysis & Prevention, 2006, 38 (5), 1019-1027.

Chen C, Zhang G, Tarefder R, Ma J, Wei H, "A Multinomial Logit Model-Bayesian Network Hybrid Approach for Driver Injury Severity Analyses in Rear-end Crashes", Accident Analysis and Pervination, 2015, 80, 76-88.

Choi J, Kim S, Heo TY, Lee J, "Safety effect of highways terrain types in vehicles crashes models of major rural roads", KSCE Journal Of Civil Engineering, 2011, 15 (2), 405-412.

Cover, Thomas, and Peter Hart, "Nearest neighbor pattern classification", IEEE transactions on information theory, 1967, 13 (1), 21-27.

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

Dissanayake S, Lu J, "Factors influential in making an injury severity difference to older drivers involved in fixed object-passenger car crashes", Accident analysis and prevention,2002, 34 (5), 609-618.

Effati M, "Determining Roads Black Spots using Spatial Information Systems and Multicriteria Decision Making Processes", Transportation engineering, 2012, 4, 349-363.

Effati M, Rajabi M, Sh Shabani, "Developing a knowledge-driven geospatial information system for regional transportation corridors accidents prediction", Transportation engineering, 2012, 345-359.

Effati M, Sadeghi A, "A sementic-based classification tree approaches for modelling complex spatial rules in motor vehicle crashes domain", Wires Data Mining & Knowledge Discovery, 2015, 5, 181-194.

Effati M, Jean-Claude T, Sh Shabani, "Geospatial and machine learning techniques for wicked social science problems: analysis of crash severity on a regional

Roadway, Railway and Airal Accidents, Zanjan, 10 November, 2010, (In persion).
Ord J, Keith, Getis A, "Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application", Geographical analysis, 1995, 27 (4) 286-306.
R.M.T.O, I.R. of Iran Road Maintenance & Transportation Organization; Annual Report (in persion), 2008.
Roque C, Moura F, Cardoso JL, "Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes", Accident Analysis and Prevention, 2015, 80, 262-273.
Shawky AM, Kishta M, AL-Harthi HA, "Investigating Factors Affecting the Occurrence and Severity of Rear-End Crashes", Transportation Resarch Procedia 2017, 25, 2098-2107.
Saffarzadeh M, Zamani A, Shabani SH, "Accident Prediction Model on Curves for Two-Lane Rural Road", Jornal of Transportation Research, 2007, 4 (3), 213-221, (in Persian).
Schnell T, Zwahlen HT, "Driver preview distances at night based on driver eye scanning recordings as a function of pavement marking retroreflectivities", Transportation Research Record 1692, National Research Council, Washington, D.C., 1997, 129-141.
Sohn SY, Lee SH, "Data fusion, ensemble and clustering to improve the classification accuracy for the severity of road traffic accidents in Korea", Safety Science, 2003, 41 (1), 1-14.
Steenberghen T, Dufays T, Thomas I, Flahaut B, "Intraurban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian Case", International Journal of Geographic Information Science, 2004, 18 (2), 169-181.
Stewart J, "Applications of classification and regression tree methods in roadway safety studies", Transportation Research Record, Journal of Transportation Research Board, 1996, 15 (1), 1-5.
Tax D, Duin R, "Using two-class classifiers for multiclass classification", 16th International Conference on Pattern Recognition, volume 3, Quebec, Canada, 14 August, 2002, 124-127.
Theofilatos A, Graham DJ, Yannis G, "Factors affecting accident severity inside and outside urban areas in Greece", Traffic Injury Preventation, 2012, 13 (5), 458-467.
Theofilatos A, "Incorporating real-time traffic and weather data to explore road accident likelihood and severity in urban arterials", Journal of Safety Research, 2017, 61, 9-21.
Vahedi Saheli M, Effati M, "Investigation of Factors Contributing to Pedestrian Crash Severity in Rural Roads", Journal of Injury and Violence Research, 2019, 11 (4),.
Vahedi Saheli M, Effati M, "Examining the impact of land-use related factors on rural traffic collisions", Journal of Injury and Violence Research, 2019, 11 (4).
Vahedi Saheli M, Effati M, "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, 2021, 19 (2), 347-365.
Walmsley D, Summersgill I, "The relationship between road layout and accidents on modern rural trunk roads", report 334, Transport Research Laboratory Crowthorne highway corridor", Journal of Geographical Systems, 2015, 17 (2), 107-135.
Effati, M, Vahedi Saheli M, "Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques", International Journal of Transportation Science and Technology, 2021 (In Press).
Erdogan S, Yilmaz I, Baybura T, "Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar", Accident Analysis and Prevention, 2008, 40 (1), 174-18.
Fotheringham A, Brubsdon C, Charlton ME, Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis London, U.K.: Sage Publication, 2000.
Garder P, "Segment characteristics and severity of head-on crashes on two-lane rural rural highways in maine", Accident Analysis and Prevention, 2006, 38, 652-661.
Gibreel GM, Easa SM, Hassan Y, El-Dimeery IA, "State of the art of highway geometric design consistency", Journal of Transportation Engineering, 1999, 125 (4), 305-313.
Glennon JC, Neuman TR, Leisech JE, "Safety and operational considerations for design of Highway curves", Tarnsportation Resaerch Record, FHWA/RD-86/035, 1985.
Gundogdu IB, "Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: Case study of Konya", Safety Science, 2010, 48 (6), 763-769.
Huang H, Peng Y, Wang J, Luo Q, Li X, "Interactive risk analysis on crash injury severity at a mountainous freeway with tunnel groups in China", Accident Analysis and Prevention, 2018, 111, 56-62.
Ikeda T, Mori N, "Analysis of correlation between roadway alignment and traffic accidents", Proceedings of the Third International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, June 29-July 1, 2005.
Jung S, Qin X, Oh C, "Improving strategic policies for pedestrian safety enhancement using classification tree modeling", Transportatin Research Part A: Policy and Practice, 2016, 85, 53-64.
Kashani AT, Mohaymany AS, "Analysis of the traffic injury severity on two lane, two-way rural roads based on classification tree models", Safety Science, 2011, 49 (10), 1314-1320.
Khajahsalimi M, Khabiri MM, Fallah Nezhad MS, "Prediction and Investigation of Road Traffic Accident Severity Factors using Support Vector Machine Algorithm", Journal of Civil and Environmental Engineering, 2019, 49 (3), 35-43.
Leisch JE, "Traffic Control and Roadway Elements-Their Relationship to Highway Safety-Revised", Chapter 12: Alignment. Highway User Federation for Safety and Mobility, Washington, DC, 1971.
Ma Z, Chien IJ, Dong C, Hu D, Xu T, "Exploring factors affecting injury severity of crashes in freeway tunnels", Tunnelling and Underground Space Technology, 2016, 59, 100-104.
Mergia WY, Eustace D, Chimba D, Qumsiyeh M, "Exploring factors contributing to injury severity at freeway merging and diverging locations in Ohio", Accident Analysis and Prevention, 2013, 55 (3), 202-210.
Musavi SR, "The Effect of Climatic Elements in Safety of Transportation Network", 2nd National Conference of

House, Nine Mile Ride,Wokingham, Berkshire RG40 3GA, 1998.

Wang ZY, Chen HY, Lu JJ, "Exploring impacts of factors contributing to injury severity at freeway diverge areas", Transportation Research Recorde, 2009, 2012 (1), 43-52.

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

Yu R, Abdel-Aty M, "Analyzing crash injury severity for a mountainous freeway incorporating real-time traffic and weather data", Safety Science, 2014a, 63 (4), 50-56.

Yu R, Abdel-Aty M, "Using hierarchical Bayesian binary probit models to analyze crash injury severity on high speed facilities with real-time Traffic data", Accident Analysis and Prevention, 2014b, 62 (2), 61-167.

Zegeer C, Stewart R, Reinfurt D, Council F, Neuman T, Hamilton E, Miller T, Hunter W, "Cost effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves", Federal Highway Administration, Final Report No. FHWA-RD-90-021, 1991.

Zhang Y, Li Z, Liu P, Zha L, "Exploring contributing factors to crash injury severity at freeway diverge areas using ordered probit model", Procedia Engineering, 2011, 21 (1), 178-185.

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 51 (2022), Issue 4 (Winter), 81-95

EXTENDED ABSTRACT

Modelling and Analyzing the Severity of two-lane Highway Crashes Using the Spatial Data mining, Case Study: Old Corridor of Qazvin-Loshan

Meysam Effati [a,*], Hamid Behbahani [b], Samane Mortezaei [b], Mahyar vahedi Saheli [a]

[a] *Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, University of Guilan, Iran*
[b] *Department of Road and Transportation, Faculty of Civil Engineering, The University Of Elmo-Sanat, Tehran, Iran*

Received: 27 December 2018; **Accepted:** 16 November 2020

Keywords:
Accidents severity, Data mining, Spatial analysis, Classification and regression tree, Horizontal curves.

1. Introduction

Identifying the effective parameters on the increase of the severity of the accidents in the two-lane highway and also the spatial analysis of the accidents occurring in them, could lead to the reduction of the road accidents of this road. Based on this, the present research, in addition to identifying sections with high crashes, it also identifies the factors affecting the severity of accidents.

2. Methodology

To do so, In this study, first, in order to study the clustering and spatial distribution of the accidents of Old Corridor of Qazvin-Loshan Freeway during the period from 2011 to 2016, the Geographic Information System's spatial functions such as Getis-Ord G* Autocorrelation and kernel density functions were Used.

In the next phase of the study, in order to study the factors affecting the severity of accidents, the Classification and Regression Tree was used on accidents occurring in the whole axis and specifically in the horizontal curves with high crashes.

3. Results and discussion

The preliminary results of the spatial analysis showed that the focus of accidents in horizontal curves was greater. According to this achievement, as mentioned in the previous section, we used Classification and Regression Tree to identify the factors affecting the severity of accidents occurring in the whole axis and specifically in the horizontal curves with high crashes. The results of this part of the study show that the type of accidents (overturning and falling, exit from the road, Multi-vehicle collisions, etc.) and type of crashes deal with the coefficients of the importance of independent variables are 100 and 16.4 percent for the total axis and 100 and 8.28 percent for horizontal curves, are the most important factors in the severity of accidents of this axis. The study of the relative importance of other variables in the proposed model shows that the type of road and type of terrain is one of the effective factors in increasing the accident severity in the old corridor of Qazvin-Loshan. In addition, the results of modeling on horizontal curves crashes showed that road surface marking, especially of continuous type, causes severe fatal accidents.

* Corresponding Author
E-mail addresses: meysameffati@guilan.ac.ir (Meysam Effati), behbahani@iust.ac.ir (Hamid Behbahani), samane.mortezaei1372@yahoo.com (Samane Mortezaei), mahyarvahedi@msc.guilan.ac.ir (Mahyar Vahedi Saheli).

4. Conclusions

The results showed that the integration of GIS spatial functions with non-parametric decision-making tree-based data mining analysis, which is capable of simultaneous modeling of quantitative and qualitative data, is used to determine the factors affecting the severity of accidents and to spatial analyze the patterns of accidents used in two-lane highway, is effective and efficient.

5. References

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

Kashani AT, Mohaymany AS, "Analysis of the traffic injury severity on two lane, two-way rural roads based on classification tree models", Safety Science, 2011, 49 (10), 1314-1320.