



Providing a Method for Accident Severity Analysis Using Geospatial Clustering Functions and Decision Tree, Case Study: Qazvin-Loshan Freeway

H. Behbahani¹, M. Effati^{2*}, S. Mortezaei¹

¹ Department of Road and Transportation, Faculty of Civil Engineering, the University Of Elmo-Sanat, Tehran, Iran

² Department of Civil Engineering (Road and Transportation), Faculty of Engineering, The University of Guilan, Iran

ABSTRACT: Spatial analysis of accidents occurred in freeways and identifying effective parameters can help researchers and authorities to improve road safety by reducing the severity of accidents. The purpose of this study is to provide a method to analyze the accident severity and determine related effective parameters in freeways based on spatial clustering functions and regression and classification tree data mining method. Proposed method was assessed in Qazvin-Loshan freeway. In this study, to study the spatial distribution of the accidents in the aforementioned axis during the period from 2011 to 2016, the spatial functions such as Getis-Ord G^* autocorrelation and Kernel Density Functions were Used. The results of spatial analysis showed that the spatial gathering of accidents in most of horizontal curves was greater. According to this achievement, in the next phase of the study, in order to study the factors affecting the severity of accidents, the Regression and Classification Tree was used on accidents that occurred in the whole axis and specifically the crashes which occurred in the horizontal curves. Results of this part of the study showed that the type of accidents (overturning and falling, exit from the road, multi-vehicle collisions, etc.) and human factors are the most important factors in the severity of accidents in this axis. Relative importance coefficients for these two independent variables are 100 and 39.7 percent for the whole axis and 100 and 65.9 percent for horizontal curves. The study of the relative importance of other variables used in the proposed model showed that the geometric design, type and date of crashes are among the most effective factors in increasing the property damage only crashes in Qazvin-Loshan Freeway. This study showed that the integration of GIS functions with non-parametric data mining algorithms such as decision tree, which is capable of simultaneous modeling of quantitative and qualitative data, is an effective approach to determine the factors affecting the severity of accidents and to analyze the spatial patterns of accidents in freeways.

Review History:

Received: 2018-12-02

Revised: 2019-02-03

Accepted: 2019-05-12

Available Online: 2019-07-04

Keywords:

Road Safety

Accidents Severity

Getis-Ord G^* Autocorrelation

kernel Density Functions

Classification and Regression Tree

1. INTRODUCTION

The effective treatment of road accidents and thus the enhancement of road safety is a major concern to societies due to the losses in human lives and the economic and social costs. Tremendous efforts have been dedicated by transportation researchers and practitioners to improve road safety.

Spatial analysis of accidents occurred in freeways and identifying effective parameters can help researchers and authorities to improve road safety by reducing the severity of accidents. Traffic safety of freeways has attracted major concerns, especially for a mountainous freeway affected by adverse terrain conditions, constrained roadway geometry and complicated driving environments. On the basis of a comprehensive dataset collected from a freeway with a length of 85 km but gathering 2 tunnels.

Since injury severity of freeway crashes is the result of the combination of multiple factors, no single factor can likely be identified to provide a complete explanation for the high risk

*Corresponding author's email: meysameffati@guilan.ac.ir

of severe crashes in freeways. At mountainous freeways, the sophisticated interaction of the adverse terrain, road facilities, environmental factors and driving behaviors, may greatly elevate the likelihood of crash occurrence and injury severity [1].

This study seeks to examine the interactive effects of freeway alignment, driving behaviors, vehicle characteristics, and environmental factors on crash severity. A classification and regression tree (CART) model is employed as it can deal with high-order interactions between explanatory variables. Classification and Regression Trees (CART) method, as a commonly used data mining technique, can capture non-additive behaviors, which provides the ability to highlight sophisticated relationships that are difficult to discover. When CART analysis is applied, variable correlation problems are not problematic [2]. Also, CART model can boost efficiency when it deals with large-scale data containing a large number of explanatory variables and produces useful results using only a few essential variables



with a brief graphic display [3, 4].

Identifying the effective parameters on the increase of the severity of the accident in freeways and also the spatial analysis of the accidents occurring in them could lead to the reduction of road accidents. In this regard, the present paper seeks to identify the high crash locations, in addition to the factors affecting the severity of accidents. The probability of accident occurrence, and its severity, can often be reduced by the systematic analysis of the incident scenarios and by resorting to appropriate solutions involving the application of proper traffic control devices, suitable roadway design practices and effective traffic police activities. However, the task of making effective solutions warrants analysis of spatial and temporal patterns in the zone of traffic accidents, which can be achieved through the application of geospatial technology [5].

2. METHODOLOGY

In this study, the accidents of Qazvin-Loshan Freeway during the period from 2011 to 2016 were initially investigated, using the clustering and spatial distribution methods. The employed spatial functions included Getis-Ord G^* Autocorrelation and kernel density functions.

In the next stage, the Classification and Regression Tree models were used to evaluate the factors affecting the severity of accidents occurring in the whole axis and specifically in the high crash horizontal curves. The Classification and Regression Tree (CART) is a non-parametric modeling approach, which uses a decision tree to solve classification and regression problems using both categorical and continuous variables. When the value of the target variable is categorical, CART produces a classification tree, whereas a regression tree is developed for the continuous variables. Relationships between risk factors and injury severity can be identified by splitting a large dataset into more homogenous subsets during the classification process. The classification tree begins from the topmost node using a binary split procedure, where statistical tests are run against every attribute in the dataset [1].

3. RESULT AND DISCUSSION

The preliminary results of spatial analysis showed that the number of accidents was greater in horizontal curves. According to this achievement, 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 most 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 human factors with the respective independent variables importance coefficients of 100 and 39.7 percent for the whole axis and 100 and 65.9 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 geometric design, type of crashes, and date of the accident are the effective factors in increasing the accident severity at the Qazvin-Loshan Freeway. Also, the results of modeling of crashes occurred in horizontal curves showed that the accident location, especially the shoulder, as well as the time of the accident, cause serious accidents.

4. CONCLUSIONS

Safety interventions to prevent severe crashes at the freeway include hierarchical supervision in terms of hazardous driving events, enhanced enforcement for speeding and fatigue driving, deployment of advanced driving assistance systems for fatigue driving warning, and cumulative driving time monitoring for long-distance-travel freight vehicles.

This study showed that the integration of GIS functions with non-parametric data mining analysis based on decision tree, which is capable of simultaneous modeling of quantitative and qualitative data, is an effective approach to determine the factors affecting the severity of accidents and to analyze the spatial patterns of accidents in freeways.

The results of the study can be proved useful for enhancing road safety in Iran. Further research could focus on examining additional parameters such as geometrical road characteristics, traffic parameters such as flows, speeds and so on. Furthermore, different areas and regions in Iran could be explored. In this case, other statistical methods could be explored as well, for example, multilevel models.

REFERENCES

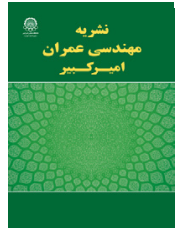
- [1] H. Huang, Y. Peng, J. Wang, Q. Luo, X. Li, Interactive risk analysis on crash injury severity at a mountainous freeway with tunnel groups in China, *Accident Analysis and Prevention*, 111 (2018) 56-62.
- [2] L. Breiman, J. Friedman, R. A. Olshen, C. J. Stone, *Classification and Regression Trees*. CRC press, (1984).
- [3] 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.
- [4] S. Jung, X. Qin, C. Oh, Improving strategic policies for pedestrian safety enhancement using classification tree modeling, *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 85(2016) 53-64.
- [5] W. Cheng, S. Washington, New criteria for evaluating methods of identifying hotspots. *Transportation Research Record* 2083 (2008) 76-85.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

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) 353-354.

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

تاریخچه داوری:

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

کلمات کلیدی:

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

خلاصه: تحلیل مکانی تصادفات رخ داده در راه های برون شهری با هدف شناسایی پارامترهای مؤثر بر افزایش شدت تصادفات، می تواند در تصمیم گیری متخصصین و دست‌اندرکاران اصلاح و بهبود ایمنی راه ها به منظور کاهش شدت تصادفات جاده ای مؤثر باشد. هدف این تحقیق ارایه روشی جهت تحلیل شدت تصادفات و تعیین عوامل مؤثر 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 مؤثر 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 مؤثر 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 ۱۰۰ و 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 مؤثر 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 مؤثر بر شدت تصادفات و تحلیل مکانمند الگوهای رایج تصادفات در محورهای برون‌شهری کارا و مؤثر است.

۱- مقدمه

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

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 مؤثر، 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

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



از سیستم های 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 برنامه های ایمنی با رویکردهای قابل اطمینان کمک کند [۹]. برخی از پژوهشگران در نیز سال ۲۰۱۸ از روش های مکانمند برای مطالعه عوامل مؤثر 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 نوع واژگونی دارند ولی بیشترین خوشه بندی تصادفات (مناطق 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 مورد استفاده جهت تحلیل شدت تصادفات هستند. بنابراین، چنانچه این روابط به 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 روش ها که بعضاً 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

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].

در همین 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 [۴-۶]. 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 دادند. 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 مرحله ای شامل تابع تراکم کرنل با استفاده

راه‌ها هستند، که هر ساله تصادفات زیادی در این نواحی اتفاق می‌افتد، این بخش از راه به دلیل اعمال نیروی گریز از مرکز بر وسایل نقلیه، از حادثه خیزترین نقاط جاده ای محسوب می‌شود، که همواره توجه ویژه ای را جهت کاهش حوادث به خود معطوف می‌سازد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که یکی از عوامل تاثیرگذار بر شدت تصادفات، مشخصات هندسی قوس های افقی می باشد [۲۵]، در واقع 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 و ۲۵۳ 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 تاثیر گذارند [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 غیرخطی ای 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 ارائه 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

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 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 می‌روند. از جمله 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 تصمیم گیری 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 CART روشی 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

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Data used in study

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

شود. به منظور بررسی شدت تصادفات در محور مورد مطالعه، از دو استراتژی استفاده می‌گردد. ابتدا با توجه به حجم عظیم رکوردهای تصادف، الگوریتم داده‌کاوی CART بر روی تصادفات کل محور مورد مطالعه اعمال می‌شود، 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 نزدیک‌ترین فاصله همسایگی، خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار و تابع تراکم کرنل استفاده می‌شود. نتایج تحلیل مکانی، قوس‌های افقی را به طور خاص مقاطع پرتصادف در محور مورد مطالعه شناسایی نمودند. لذا در ادامه آزمون CART صرفاً بر روی تصادفات رخ داده در مقاطع قوس‌دار محور اعمال می‌گردد، تا عوامل تاثیرگذار بر شدت تصادفات در قوس‌های افقی پرتصادف نیز شناسایی گردند.

۲-۲-۱- روش‌های تحلیل مکانی مورد استفاده در روش پیشنهادی
تحلیل‌های مکانی کلید شناخت رویدادهای فضایی و زمانی تصادفات می‌باشند که شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای توصیف و مدل‌سازی داده‌های فضایی هستند. جدول ۲ تحلیل‌های مکانی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

۲-۲-۲- میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی (آزمون خوشه بندی)
یکی از شاخص‌های آماری مورد استفاده برای تحلیل الگوهای مکانی تصادفات، آزمون شاخص میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایه می‌باشد. به کمک این آزمون نحوه پراکنش الگوهای تصادفات در محدوده مورد مطالعه بررسی می‌شود که آیا تصادفات رخ داده توزیع خوشه‌ای دارند یا نه. چنانچه نسبت میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی کمتر از یک باشد، داده‌های مورد مطالعه دارای الگوی خوشه‌ای و اگر این نسبت بزرگتر از یک باشد، دارای الگوی پراکنده

روابط پیچیده متغیرهای کمی و کیفی را بصورت توأمان دارا می‌باشد، مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. در ادامه در بخش ۲ روش تحقیق و داده‌های مورد استفاده تشریح خواهد شد، در بخش ۳ پیاده‌سازی و بحث، و در بخش ۴ بحث روی نتایج حاصله انجام می‌گیرد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

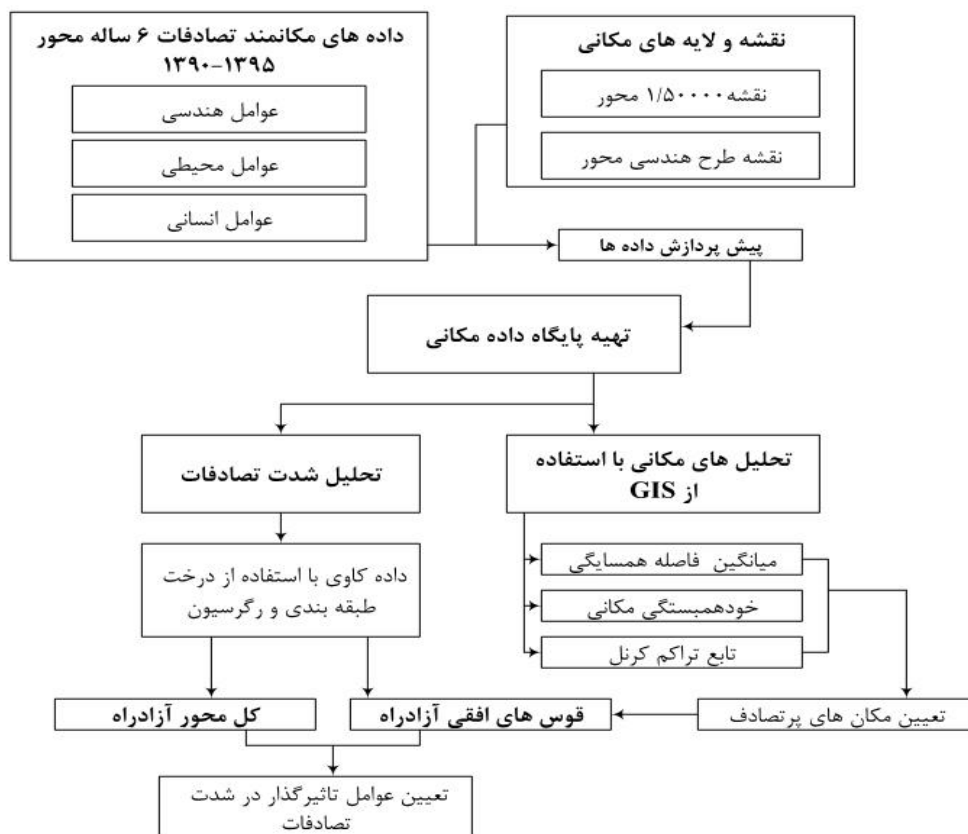
۲- مواد و روش تحقیق

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 مهم‌ترین محورهای ارتباطی کشور محسوب می‌شود. محور قزوین-لوشان در بین عرض‌های 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 آزادراه‌های پرخطر کشور به شمار می‌آید و بسیار مستعد تصادف است. جدول ۱ داده‌های مورد استفاده در تحقیق و ویژگی آن‌ها را توصیف می‌کند.

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. شکل ۱ ساختار کلی روش پیشنهادی تحقیق را نشان می‌دهد. در این ساختار، داده‌های ورودی که از منابع مختلف اخذ شده‌اند، پس از پیش پردازش‌های لازم نظیر حذف داده‌های تکراری و ناقص، در پایگاه داده ذخیره شده و تحلیل می‌شوند تا تاثیر آن‌ها بر سطوح مختلف شدت تصادفات سنجیده



شکل ۱. روش تحقیق

Fig. 1. Research Methodology

جدول ۲. تحلیل های مکانی استفاده شده در پژوهش

Table 2. Spatial Analysis used in study

هدف	روش های تحلیل مکانی
نحوه پراکنش الگوهای تصادفات در محدوده مورد مطالعه	میانگین ترین نزدیکترین فاصله همسایگی
تحلیل نقاط کانونی تصادفات	خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار
تحلیل داده ها و نمایش مدل های واقعی از الگوی نقاط کانونی	تراکم کرنل

$$\bar{D}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (2)$$

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/N}} \quad (3)$$

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

$$ANN = \frac{\bar{D}_0}{\bar{D}_E} \quad (1)$$

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:

۲-۲-۳- روش برآورد تراکم کرنل

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

$$Z_{ANN} = \frac{\bar{D}_0 - \bar{D}_E}{SE} \quad (4)$$

$$SE = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (5)$$

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 الگوهای 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:

$$R_i = \hat{p}(X) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_\sigma(X - X_i) \quad (7)$$

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 پارامترها را به سادگی بیان کند. در صورت استفاده از این روش، همبستگی میان متغیرها حایز اهمیت نمی باشد [۳۲]. در واقع این مدل می تواند با دریافت حجم زیادی از داده هایی که دارای متغیرهای 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

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

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-Value بزرگ 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.

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_{i,j} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \sum_{i=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_j\right)^2} \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[n \sum_{i=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j}\right)^2 \right]}} \quad (6)$$

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 است. برای امتیاز 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.

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:

$$VIM(x_j) = \sum_{m=1}^M \frac{n_m}{N} \Delta Gini(S(x_j, m)) \quad (11)$$

$S(x_j, m)$ 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 پیاده سازی روش پیشنهادی تحقیق، در ابتدا داده های 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 ناحیه های تجمع تصادفات در محور مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل شدند. همانطور که در روش تحقیق بیان شد پس از مشخص شدن محل های 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 متغیرهای 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 آموزش 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 ۱۵ درصد دیگر برای آزمایش مدل به کار برده می شود. از آن جا که تعداد تصادفات منجر به فوت نسبت 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:

$$p(j|m) = \frac{p(j,m)}{p(m)}, p(j,m) = \frac{\pi(j)N_j(m)}{N_j} \quad (8)$$

$$p(m) = \sum_{j=1}^J P(j,m) \quad (9)$$

$$Gini(m) = 1 - \sum_{j=1}^J P^2(j|m) \quad (10)$$

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، $p(j|m)$ 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. در صورتی 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

جدول ۳. 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 سربالایی (قوس قائم)، پیچ و مسطح (قوس افقی)، پیچ و سربالایی و سربالایی (ترکیب قوس افقی و قائم)
	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
	نوع برخورد	جلو به جلو، جلو به عقب، جلو به پهلو راست، جلو به پهلو 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
تصادف	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

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

کل تصادفات در محور مورد مطالعه، 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 متغیرهای ورودی روش پیشنهادی تحقیق و ویژگی های آن ها را نمایش می دهد.

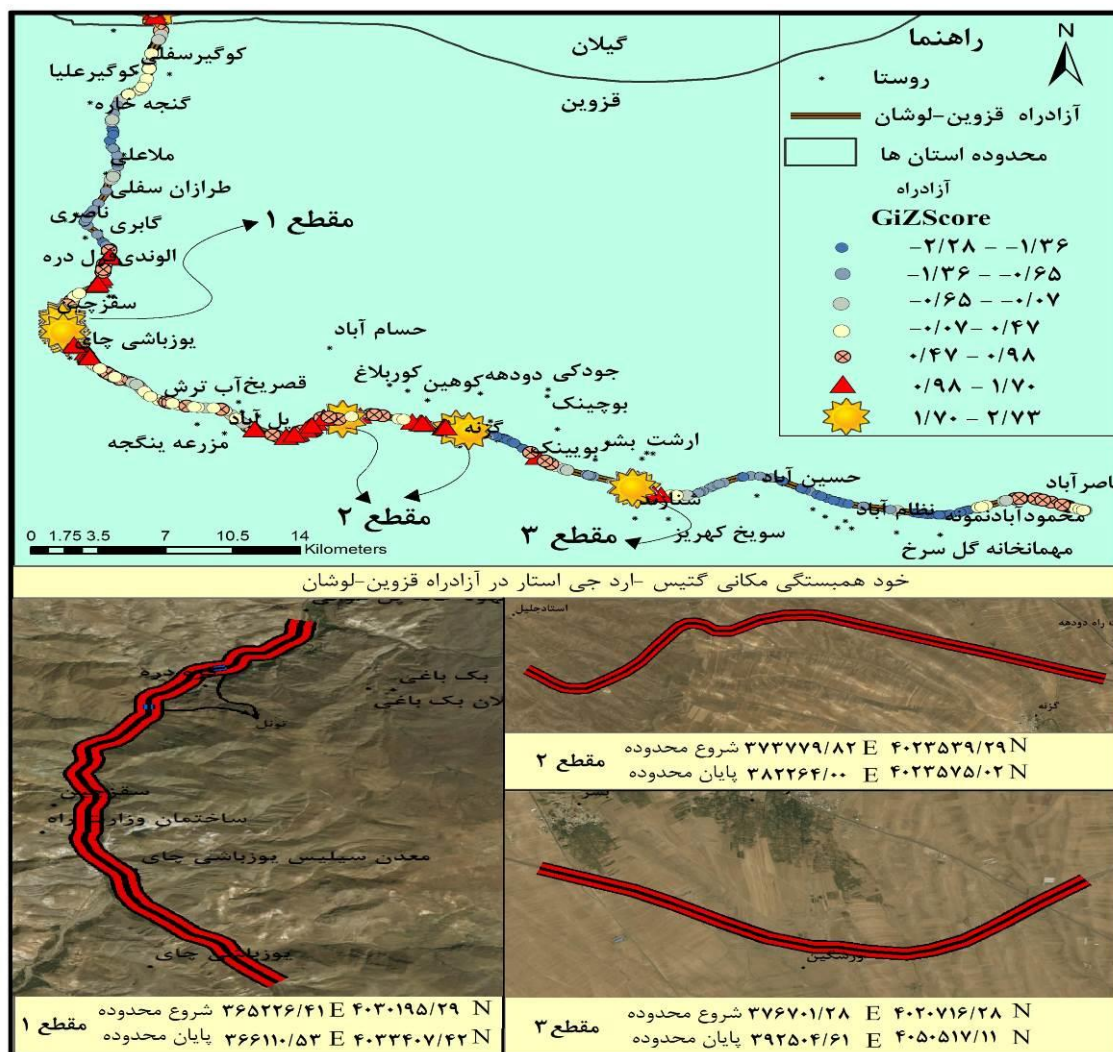
۳-۱- نتایج تحلیل مکانی تصادفات

همان طور که 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 تفصیل بیان می گردد.

جدول ۴. نتیجه آزمون میانگین نزدیک ترین فاصله همسایگی

Table 4. Result of Nearest Neighbor index

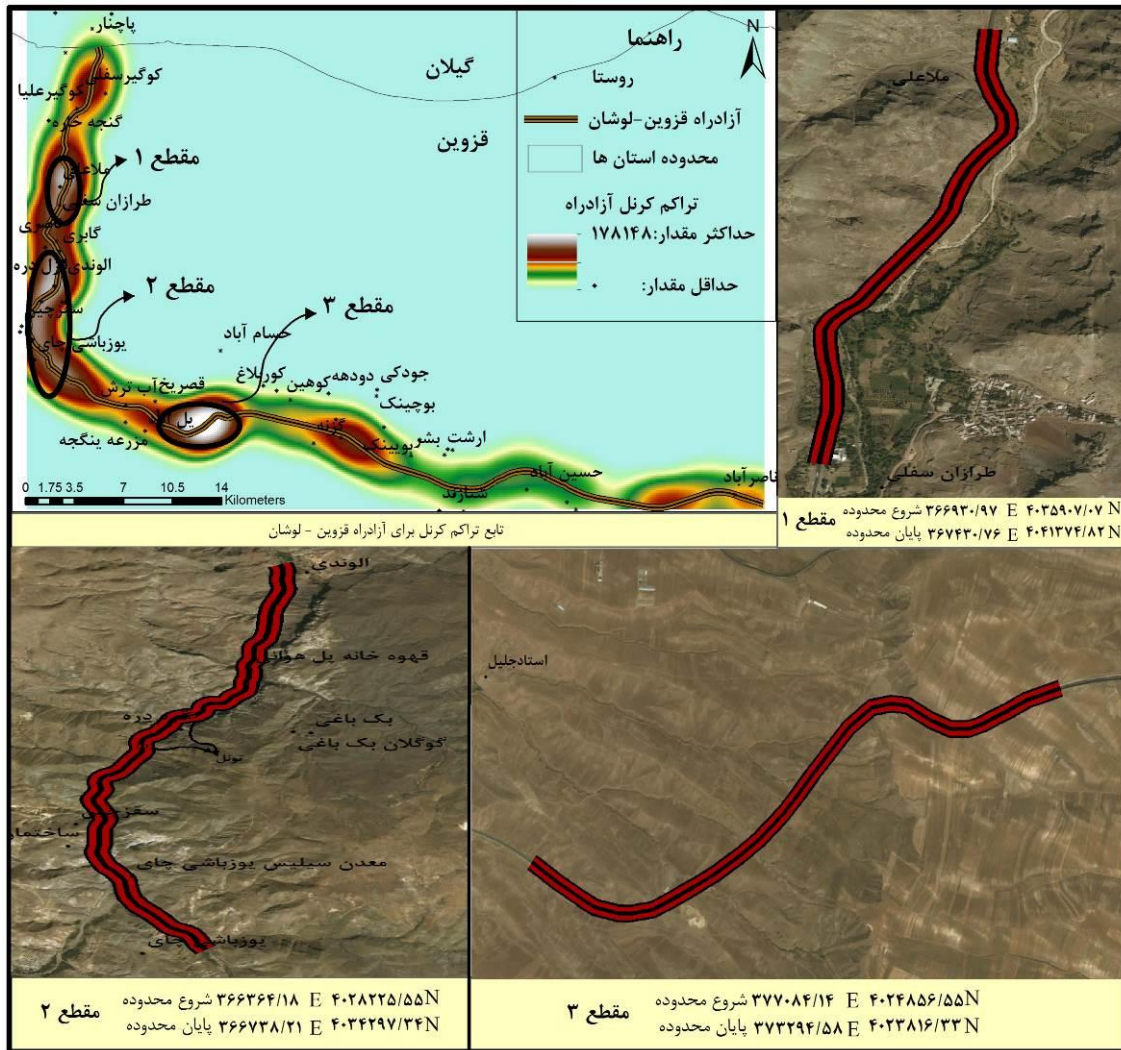
نتیجه آزمون	میانگین فاصله مشاهده شده	میانگین فاصله مورد انتظار	نسبت نزدیک ترین همسایه	Z	P-Value
کل محور آزادراه	۱۴/۲۰ متر	۳۷۲/۸۴ متر	۰/۰۳۸	-۸۳/۳۴	۰/۰۰
قوس های افقی آزادراه	۱۲/۶۴ متر	۵۸۲/۰۴ متر	۰/۰۲۲	-۵۱/۸۲	۰/۰۰



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

باشد، نشان دهنده خوشه بندی بالای تصادفات است که اصطلاحاً 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 قانونی تصادفات در محور آزادراه قزوین-لوشان می باشند. براساس نتایج خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار، قوس های افقی و

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 داده های تصادفات پیاده سازی می شود، در این روش هرچه مقدار $G_i^* Z$ Score که شاخص این روش است، بزرگ تر



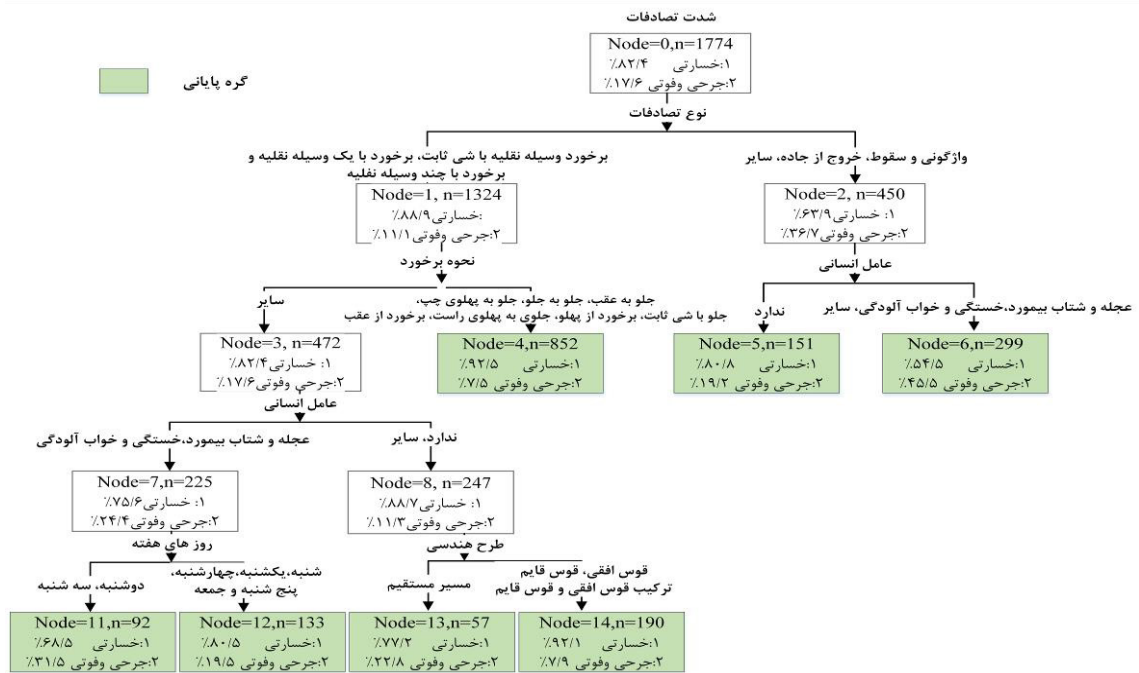
شکل ۳. خروجی تابع تراکم کرنل برای آزادراه قزوین-لوشان

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

خودهمبستگی مکانی گتیس-ارد جی استار، از تحلیل مکانی تراکم کرنل برای شناسایی و نمایش محدوده کانونی تصادفات استفاده شد. نتایج تابع تراکم کرنل تقریباً 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 هر دو 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

محدوده ی مجاور بسیار نزدیک به آن در محور مورد مطالعه 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 مورد نظر در اختیار نیست، از بحث بیشتر روی آن صرف نظر می شود.

پس از آن بعد به منظور ارزیابی صحت نتایج تحلیل مکانی



شکل ۴. نمودار درختی تصادفات کل محور آزادراه قزوین-لوشان
Fig. 4. Classification and Regression Tree in the whole axis crashes

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٪ و لی در صورت تاثیر گذار بودن عامل انسانی به صورت خستگی و خواب آلودگی، عجله و شتاب 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 برخوردها 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 در گره ۸ قرار می گیرند. نمودار در این بخش

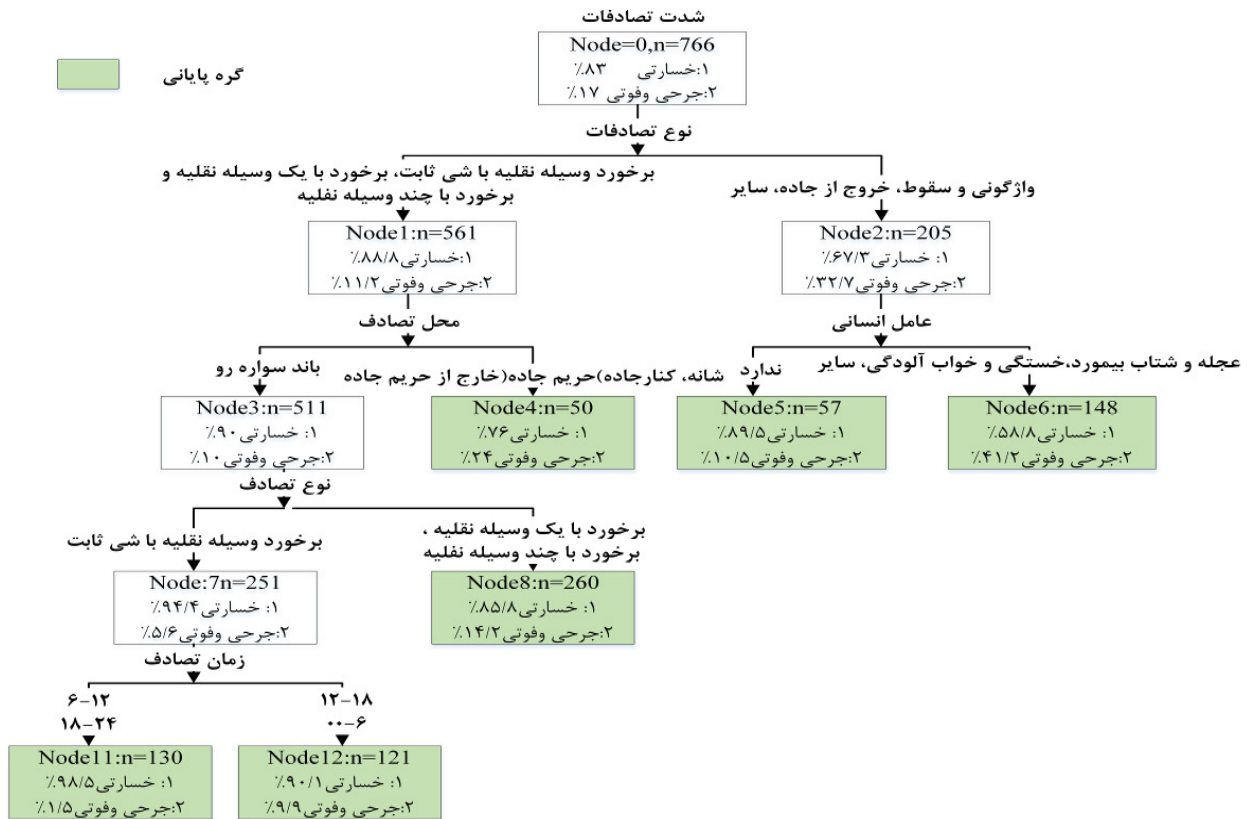
افقی آزادراه نیز پرداخته می شود تا مشخص گردد چه عواملی باعث افزایش شدت تصادفات در این مناطق می شود.

۲-۳- 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 بر روی تصادفات کل محور اعمال شده و نتیجه مدل سازی به تفصیل 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 سایر تصادفات با شدت خسارتی اتفاق افتاده است (۸۸/۹٪ در مقابل ۶۳/۹٪). متغیرهای تاثیر گذار بعدی "عامل انسانی" و "نحوه برخورد" هستند. درخت طبقه بندی برای آزادراه نشان می دهد، اگر تصادفات رخ داده



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

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

افقی آزادراه قزوین-لوشان

نتایج حاصله از پیاده سازی 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 و سقوط 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

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 آخرین 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 وقوع تصادف نشان می دهد تصادفاتی که در روزهای پایانی هفته اتفاق می افتد (چهارشنبه، پنج شنبه و جمعه)، بیشتر از نوع 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 قائم 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٪).

۲-۲-۳- بررسی شدت تصادفات و عوامل موثر بر آن در قوس های

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

Table 5. The relative importance value of independence variable

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

حریم جاده و ... [۳۹]، روز و زمان وقوع تصادف [۴۰] متغیرهایی هستند که بر شدت تصادفات آزادراه قزوین-لوشان تاثیر می‌گذارند. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، 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 قوس‌های آن محسوب می‌شود. 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) می‌شوند [۱۳] و ۱۸ و ۴۱ و ۴۲]. مطابق مطالعات صورت گرفته خسته و خواب آلود بودن راننده بیشتر منجر به تصادفات جرحی و فوتی می‌گردد [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].

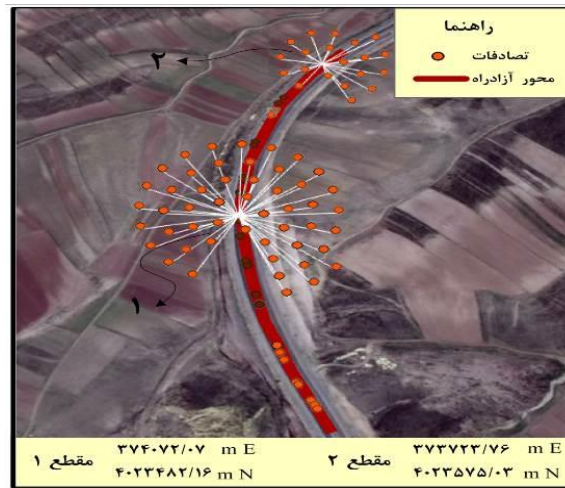
متغیر بعدی که بر شدت تصادفات تاثیرگذار است، "نحوه برخورد" می‌باشد. تصادفات جلو به جلو و عقب از متداول ترین نوع برخورد وسیله نقلیه با یکدیگر در محور آزادراه قزوین-لوشان می‌باشند. نتایج تحلیل شدت تصادفات در آزادراه قزوین-لوشان نشان می‌دهد که احتمال تصادفات فوتی و جرحی در این نوع برخوردها بیشتر از سایر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

نشان می‌دهد احتمال تصادفات جرحی و فوتی در شانه راه، حریم جاده یا خارج از آن بیشتر از باند سواره رو است (۲۴٪ به ۱۰٪). در گره ۳ نیز تصادفاتی که در باند سواره روی قوس‌های 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 ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که تصادفاتی که در باند سواره روی قوس‌های افقی اتفاق افتاده اند، اگر از نوع برخورد با شی ثابت باشند، در بازه‌های زمانی ۱۲ تا ۱۸ و ۱۲ شب تا ۶ صبح بیشتر با شدت جرحی و فوتی به وقوع می‌پیوندد. در واقع می‌توان گفت چنانچه در این بازه‌ها (۰۰ تا ۶ صبح زمان خواب طبیعی و ۱۲ تا ۱۸ زمان استراحت بعد از ظهر) راننده دچار خواب آلودگی شود، لحظه‌ای غفلت، می‌تواند تصادفات مرگباری را در قوس‌های افقی به بار آورد، بر همین اساس در بازه‌های زمانی فوق خستگی و خواب آلودگی یکی از مهم ترین پارامترهای تاثیرگذار در شدت تصادفات محسوب می‌شود.

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

۴- نتایج و بحث

نتایج تحلیل درخت طبقه بندی و رگرسیون در هر دو بخش نشان می‌دهد، "نوع تصادفات" بعنوان اولین جداکننده، مهمترین متغیر در این مدل محسوب می‌شود. علاوه بر آن "عامل انسانی"، "نحوه برخورد"، "طرح هندسی" [۱۱ و ۲۲]، محل تصادف (شانه،

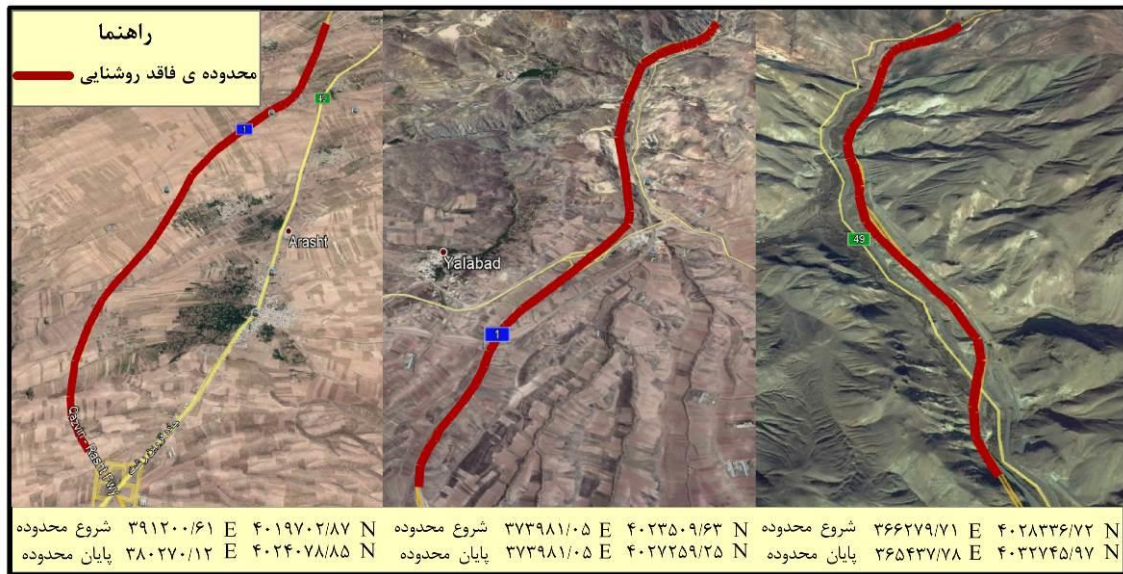


شکل ۶. تجمع تصادفات در مجاورت قوس‌های افقی آزادراه قزوین-لوشان
 Fig. 6. Crashes accumulation in the vicinity of horizontal bend in the freeway

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 تحلیل‌های مکانی نیز نشان داد که وجود قوس‌های 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 خوشه‌ای در واقع بیانگر تراکم تصادفات در آن مقطع راه می باشد.

"روز و زمان وقوع تصادف" از دیگر متغیرهایی هستند که بر شدت تصادفات آزادراه و قوس‌های افقی آن تاثیر می گذارند. نتایج تحلیل‌های انجام شده بر روی محور مورد مطالعه نشان داد که روزهای آغازین (شنبه و یکشنبه) و پایانی هفته (چهارشنبه، پنجشنبه 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 استان‌های مجاور، به بهره‌بندی از طبیعت استان‌های شمالی، همچنین بازگشت بومیانی که در خارج 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 زمان‌های ۱۲ ظهر تا ۱۸ و 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 محمودآباد نمونه

افزایش سرعت [۴۶ و ۴۷] و مناطق سبقت آزاد [۴۸] رخ می دهد. حسین پور و همکارانش در سال ۲۰۱۴ در تحقیقات خود بر روی شدت تصادفات جلو به جلو در ۴۸۴ قطعه از راه‌های مالزی بیان کردند، که قوس‌های 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]. پیرگارد نیز در سال ۲۰۰۶ در تحقیقات خود بر روی شدت تصادفات جلو به جلو در راه‌های روستایی دوخطه ایالت مینبیاں 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 کامیون‌ها، 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، آن‌ها 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



شکل ۷. مناطق فاقد روشنایی آزادراه قزوین-لوشان
Fig. 7. No lighting area in Qazvin-Loshan Freeway

کل محور و دیگری روی قوس های افقی. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که مهم ترین 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 طور کلی باعث افزایش خسارات و جراحت تصادفات رخ داد در آزادراه شده اند. همچنین برخی از عواملی که بیشتر منجر به وقوع تصادفات با شدت خسارتی شده است، عبارتند 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 می کنند 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

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 ۶-۰۰ 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 خوشه بندی مکانی تصادفات محور آزادراه قزوین-لوشان بررسی شد و نتایج نشان داد که قوس های افقی جمله مقاطع پرتصادفات هستند. در همین راستا، به منظور بررسی شدت تصادفات در محور مورد مطالعه و شناسایی عوامل موثر بر آن، از داده کاوی مبتنی بر درخت تصمیم با دو استراتژی استفاده شد؛ یکی بر روی

- ¹⁵Relative Importance Of Variable
- ¹⁶Training
- ¹⁷Testing
- ¹⁸Hot Spots
- ¹⁹Head-On Crashes
- ²⁰Rear-end Crashes
- ²¹Per Garder
- ²²Maine
- ²³Chen
- ²⁴Shawky
- ²⁵Tailgating
- ²⁶Chu
- ²⁷Ma et al

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 رسانی پیش از قوس های افقی و تامین روشنایی کافی و ارتقاء آگاهی عمومی در مورد رانندگی ایمن می تواند موجبات افزایش سطح ایمنی آزادراه ها و کاهش شدت تصادفات را به دنبال داشته باشد. در پایان لازم به ذکر است که مطالعه فوق دارای محدودیت هایی نیز می باشد؛ از آن جمله می توان 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 درون شهری جهت دستیابی به عوامل موثر بر شدت تصادفات درون شهری استفاده شود.

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.

۶- علائم انگلیسی

A مساحت، m^2
 d_i فاصله، m

۷- زیر نویس ها

- ¹Geospatial Information Systems
- ²Logit Model
- ³Probit Model
- ⁴Classification and Regression Tree (CART)
- ⁵Ontology
- ⁶Haung
- ⁷Glennon
- ⁸Nearest Neighbor Index
- ⁹Root Node
- ¹⁰Splitter
- ¹¹Purity
- ¹²Child Note
- ¹³Terminal Node
- ¹⁴Gini Index

- [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*
- [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.

- 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 Design* Transportation Research Board American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Federal Highway Administration American Society of Civil Engineers Association Mondiale de la Route International Road Federation Institute of Transportation Engineers (ITE) National Association of County Engineers Transportation Association of Canada (TAC) Chicago Department of Transportation Illinois Department of Transportation Illinois 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-

- [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.
- 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.

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](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15376.5903)



