Website: https://www.Sepehr.org Online ISSN: 2588-3879; Print ISSN: 2588-3860

Scientific - Research Quarterly

Geographical Data (SEPEHR) Vo.33,No.132, Winter 2025

P.P 85-101

Research paper

https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2025.2019597.3050

# Spatio-temporal analysis of accidents along Kandovan road using geostatistical methods

**Jalal Samia[1]*, Manouchehr Ranjbar Shoobi[2], Amer Nikpour[3]**

1- (*Corresponding author) Assistant professor, Department of geography, Faculty of humanities and social sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. Email: j.samia@umz.ac.ir

2- Red Crescent relief and rescue organization of Babolsar, Iran. Email: manochehrranjbarshoobi@gmail.com

3- Associate professor, Department of geography, Faculty of humanities and social sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. Email: a.nikpour@umz.ac.ir

**Article Info**

**Date of receive:**

2024/01/12

**Date of last review:**

2024/02/27

**Date of accept:**

2024/03/01

**Date of online publication:**

2024/03/14

**Keywords:**

GIS,

Kernel density,

Hot spot analysis,

Accidents clusters,

Mazandaran

## Extended Abstract

### Introduction

**Visiting Mazandaran province could be a fascinating and memorable trip due to its amazing natural touristic attractions such as Caspian Sea and mount Damavand. The three main roads naming Kandovan, Haraz and Firoozkooh can be used to access Mazandaran province. Among them, passing through Kandovan road is fascinating with its beautiful natural landscapes. At the same time, this road is also known as one of the most dangerous roads of Iran due to its mountainous location and the potential occurrence of different types of climatic and geomorphologic hazards. Apart from these dangers, the occurrence of accidents in Kandovan road is one of the main concerns of tourists visiting west parts of Mazandaran province and also the local governments providing relief and rescue services and facilities to injured people. Therefore, it is crucial to identifying the dangerous sections of this road in order to minimize fatalities and socio-economic losses. The purpose of this research is to investigate the spatio-temporal density pattern of road accidents and also to identify accidents clusters along Kandovan road.**

### Materials and methods

**To this end, we used road accidents information along Kandovan road, collected by the relief and rescue bases of Red Crescent organization of Mazandaran province in the period of 2016 to 2022. Information like location, date, and the number of death and injuries in the road accidents along this road were used in this research. First, we used GIS, spatial and statistical analyses in order to get insight from road accidents distribution and statistics. . ...** **Page 86**

**How to Cite:**

Samia, J. Ranjbar Shoobi, M. Nikpour, A (2025). Spatio-temporal analysis of accidents along Kandovan road using geostatistical methods. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 33(132), 85-101.

In the next step, Kernel Density Estimation – a Geostatitical measure – was used to investigate the general spatial density pattern of road accidents in the period of 2016-2022 and also the spatio-temporal density pattern of road accidents in every year from 2016 to 2022. Furthermore, the hot spot analysis was implemented to the distribution of road accidents in this period in order to find out whether accidents are clustered, dispersed or randomly distributed. Both general spatial pattern and annual spatio-temporal patterns of accidents were investigated using hot spot analysis. With this, accidents clusters reflected as hot spots were identified based on the Getis-Ord Gi*index and the associated Z-score, P-value and Gi-bin statistics. In this context, the number of accident clusters, the length of road in the accident clusters and the percentage of observed accidents in the clusters were computed from 2016 to 2022.

**Results and discussion**

Results show that 2084 accidents were occurred in the period of 2016-2022 with 9076 injuries and 52 deaths. The most number of accidents was occurred in 2022 following the end of Corona lockdown in 2021. Also, several parts of Kandovan road indicated to contain the highest number of accidents density. Besides, the accident density pattern changes spatially and temporarily with an increasing trend in the number of accidents density from the end year of Corona disease epidemic in 2020. Results from hot spot analysis also identified several accidents clusters along this road in the period of 2016-2022. In this context, road accidents clusters were identified in Zangouleh Bridge, Majlar, Siah bisheh, Knadovan tunnel and Ushen Bridge with average Z-score value of 3.12, average P-value smaller than 0.05 and confidence interval of 90 to 99%. The total length of road in these clusters was more than 14 kilometer which contains around 60 % of the total accidents. The spatio-temporal distribution pattern of accidents clusters and also road lengths in the identified clusters change decreasingly in the period of 2016-2022. The results of this research can be used to investigate the reasons behind the occurrence of road accidents in the high accidents density sections and also in accidents clusters identified along the road. Taking proper preparation and mitigation strategies can be beneficial in proper crisis management of road accidents in order to avoid human causalities and socio-economic losses.

**Conclusion**

We conclude that kernel density estimation and hot spot analysis are effective geostatistical approaches to investigate the density pattern of road accidents and also to identify accidents clusters. In order to increase the safety of Kandovan road, the factors contributing to accidents occurrence in highly dense accidents sections of road and also in accidents clusters need to be identified, and with implementing proper measures, their effects can be minimized.

شاپای الکترونیکی: 2588-3879 / شاپای چاپی: 2588-3860
تارنمای نشریه https://www.Sepehr.org

فصلنامه علمی - پژوهشی
اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره۳۳، شماره ۱۳۲، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
صفحات ۱۰۱ - ۸۵

https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2025.2019597.3050

# تحلیل الگوی مکانی– زمانی تصادفات در جاده کندوان با استفاده از روش‌های آمار فضایی

جلال سمیعا[1]*، منوچهر رنجبرشوبی[2]، عامر نیک‌پور[3]

۱- (*نویسنده مسئول) استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران j.samia@umz.ac.ir
۲- کارشناس سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر بابلسر، ایران manochehrranjbarshoobi@gmail.com
۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران a.nikpour@umz.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۰/۲۲
تاریخ آخرین بازنگری:
۱۴۰۲/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۲/۱۱
تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۱۲/۲۴

**واژه‌های کلیدی:**

GIS؛
تراکم کرنل؛
تحلیل نقاط حاد؛
خوشه‌های تصادفات،
مازندران

## چکیده

احتمال وقوع تصادف در جاده کندوان که به‌عنوان یکی از زیباترین و شگفت‌انگیزترین جاده‌های توریستی کشور شناخته شده است، از دغدغه‌های مهم مسافران در بازدید از استان مازندران، محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، با استفاده از قابلیت‌های GIS، الگوی توزیع مکانی- زمانی تراکم تصادفات جاده‌ای، الگوی توزیع مکانی- زمانی خوشه‌های تصادفات و سطح معنی‌داری آماری آن‌ها با استفاده از روش‌های تخمین تراکم کرنل و تحلیل نقاط حاد مورد بررسی قرار گرفته است. به‌این منظور، داده‌های تصادفات جاده‌ای به‌وقوع پیوسته دربازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ که توسط سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر استان مازندران جمع‌آوری شده، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل توصیفی و آماری تصادفات جاده‌ای نشان می‌دهد که در این بازه زمانی، ۲۰۸۴ تصادف درامتداد این جاده به‌وقوع پیوسته که در آن ۹۰۷۶ نفر مصدوم و ۵۲ نفر فوت شده‌اند. بیشترین تعداد وقوع تصادفات در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ بوده که نسبت به تعداد پایین وقوع تصادفات در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به‌دلیل مشکلات مرتبط با بیماری کرونا و منع مسافرت، رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است. علاوه بر این، نتایج حاصل از تابع تخمین تراکم کرنل نشان‌دهنده تراکم بالای تصادفات در منطقه‌های پل زنگوله، تونل کندوان، سیاه بیشه، مجلار، پل اوشن و شاه چشمه در بازه زمانی ۱۴۰۱- ۱۳۹۵ است. همچنین نتایج به‌دست آمده از تحلیل نقاط حاد نشان می‌دهد که در منطقه‌های پل زنگوله، تونل کندوان، مجلار، سیاه بیشه و پل اوشن خوشه‌های مکانی تصادفات با مقدار میانگین Z-score = 3.12 و سطح اطمینان ۹۰-۹۵ ٪ شناسایی شده‌اند. نتایج این تحقیق می‌تواند در جهت شناسایی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری خوشه‌های مکانی تصادفات و افزایش ایمنی حمل و نقل جاده‌ای در محور کندوان مورد استفاده قرار بگیرد.

********

**استناد به این مقاله:**

سمیعا، ج؛ رنجبرشوبی، م؛ نیک‌پور، ع(۱۴۰۳) تحلیل الگوی مکانی – زمانی تصادفات در جاده کندوان با استفاده از روش‌های آمار فضایی. فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) ۳۳ (۱۳۲)، ۱۰۱-۸۵

## ۱- مقدمه

وجود شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای مناسب یکی از مهم‌ترین نیازهای اساسی برای توسعه اقتصادی- اجتماعی در کشورها به‌شمار می‌رود. سازمان ملل متحد، افزایش ایمنی شبکه‌های حمل و نقل را به منظور کاهش تلفات انسانی تا سال ۲۰۳۰ و همچنین دسترسی به سیستم‌های حمل ونقلی مقرون به‌صرفه را در راستای اهداف توسعه پایدار درنظر گرفته است *(Mohammed et al., 2023)*. در کنار توجه به توسعه زیرساخت‌های مرتبط با شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ای، چالش‌های متعددی در ارتباط با ایمنی شبکه‌های راه‌ها *(Zheng et al., 2021)*، ترافیک، قوانین راهنمایی و رانندگی و همچنین وجود مکان‌های خطرناک ازنظر وقوع تصادفات جاده‌ای وجود دارد، که نیازمند برنامه‌ریزی، اتخاذ استراتژی‌های مناسب و استفاده از روش‌های علمی و فناوری‌های نوین است *(Zheng et al., 2021; Outay et al., 2020)*. در این زمینه، تصادفات جاده‌ای و آثار و تبعات منفی انسانی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن‌ها *(Gutierrez-Osorio et al., 2020)*، از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی مسئولان و برنامه‌ریزان حمل و نقل جاده‌ای و مخصوصاً مسافران محسوب می‌شود. همه روزه، وقوع تصادفات جاده‌ای باعث مرگ، مصدومیت و معلولیت بسیاری از افراد در کشورهای مختلف می‌شود که در کنار تلفات و صدمات انسانی، آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی فراوانی برای افراد درگیر تصادفات و خانواده‌های آن‌ها ایجاد می‌شود. براساس گزارش ایمنی جاده منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO)، تصادفات جاده‌ای، هشتمین دلیل مرگ و میر در جهان است که در این زمینه هر ساله تقریباً ۱/۳ میلیون نفر بر اثر وقوع تصادفات جاده‌ای از بین می‌روند، ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر مصدوم می‌شوند و با این روند، احتمالاً به‌عنوان پنجمین عامل مرگ و میر تا سال ۲۰۳۰ در جهان شناخته خواهد شد *(WHO, 2018; WHO, 2015)*. علاوه بر این، بیش از ۹۰٪ تصادفات جاده‌ای در کشورهای توسعه نیافته و یا در حال توسعه اتفاق می‌افتد که به یک چالش در حوزه سلامت عمومی و همچنین به یکی از مشکلات توسعه اقتصادی-اجتماعی در این کشورها تبدیل شده است *(Gutierrez-Osorio et al., 2020)*.

دلایل وقوع تصادفات جاده‌ای عمدتاً مرتبط با خطاهای انسانی، کیفیت و ایمنی جاده‌ها و شرایط آب و هوایی در نظر گرفته می‌شود *(Eboli et al., 2020)*. در زمینه خطاهای انسانی، غالباً خصوصیات رفتاری، سطح مهارت و تجربه رانندگان، انجام رفتارهای مخاطره‌آمیز، سرعت بیش از اندازه، بی‌دقتی و خطاهای انسانی، مصرف الکل و مواد مخدر توسط رانندگان می‌تواند در وقوع تصادفات جاده‌ای نقش داشته باشد *(Rolison, 2020; Yan et al., 2021)*. عواملی همچون زیر ساخت جاده‌ها، نوع آن‌ها و طراحی هندسی جاده‌ها نیز می توانند نقش مؤثری در افزایش کیفیت و ایمنی جاده‌ها و کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای داشته باشند *(Eleonora et al., 2019; Wang et al., 2013)*. همچنین، شرایط نامساعد آب و هوایی مانند بارندگی، بارش برف و مه آلودگی و وقوع مخاطرات طبیعی مانند زمین لغزش مخصوصاً در جاده‌های کوهستانی به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌ای به‌شمار می‌روند *(Leard et al., 2015; Winter et al., 2019)*.

در کنار مطالعه و بررسی نقش عوامل مؤثر بر وقوع تصادفات جاده‌ای، شناسایی قسمت‌های خطرناک جاده‌ها از نظر وقوع سوانح رانندگی نیز می‌تواند در جهت اجرای اقدامات احتیاطی پیشگیرانه مورد استفاده قرار بگیرد که به نوبه خود می‌تواند باعث افزایش کیفیت و ایمنی راه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد تصادفات شود. به‌این‌منظور، مطالعات متعددی با استفاده از روش‌های مختلف نظیر جمع‌آوری اطلاعات و نقشه‌برداری موقعیت مکانی- زمانی تصادفات جاده‌ای *(lai et al., 2004)* و همچنین تجزیه و تحلیل داده‌های تصادفات با روش‌های آماری *(Elvik et al., 2023)* و آمار مکانی *(Xie et al., 2013)* انجام شده است. علاوه بر این، توسعه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان فناوری نوین، تکنیک‌ها و ابزارهای ارزشمندی را برای تجزیه و تحلیل تصادفات جاده‌ای فراهم آورده است. به‌عنوان نمونه، در تحقیق انجام شده توسط لی و همکارانشان *(Lee et al., 2019)*، تأثیر شدت

تصادفات جاده‌ای بر روی شکل‌گیری الگوی مکانی-زمانی خوشه‌های تصادفات با استفاده از روش‌های تحلیل آماری GIS مبنا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داده است که استفاده از شاخص شدت تصادفات می‌تواند با دقت بیشتری خوشه‌های تصادفات را شناسایی کند. در تحقیقی دیگر توسط مسکویتلا و همکارنشان *(Mesquitela et al., 2022)* با استفاده از روش‌های آمار مکانی نظیر تخمین تراکم کرنل و تحلیل نقاط حاد، خوشه‌های تصادفات در شهر لیسبون پرتغال شناسایی شده است. همچنین در مطالعه انجام شده توسط باسانی و همکارانشان *(Bassani et al., 2022)*، با استفاده از روش‌های آماری مکانی تخمین تراکم کرنل و تحلیل خوشه ای در پلتفرم GIS، شکل‌گیری خوشه‌های تصادفات عمدتاً مرتبط با تقاطعات بین جاده‌ها بوده است. بنابراین، GIS با قابلیت‌هایی نظیر نمایش و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی با استفاده از روش‌های آمار مکانی نظیر تحلیل تراکم و تحلیل الگوی توزیع نقطه‌ای[1] پدیده‌های جغرافیایی *(Yao et al., 2015)* می‌تواند در جهت پشتیبانی سیستم مدیریت شبکه‌های حمل و نقل و افزایش کیفیت ایمنی جاده‌ها مورد استفاده قرار بگیرد.

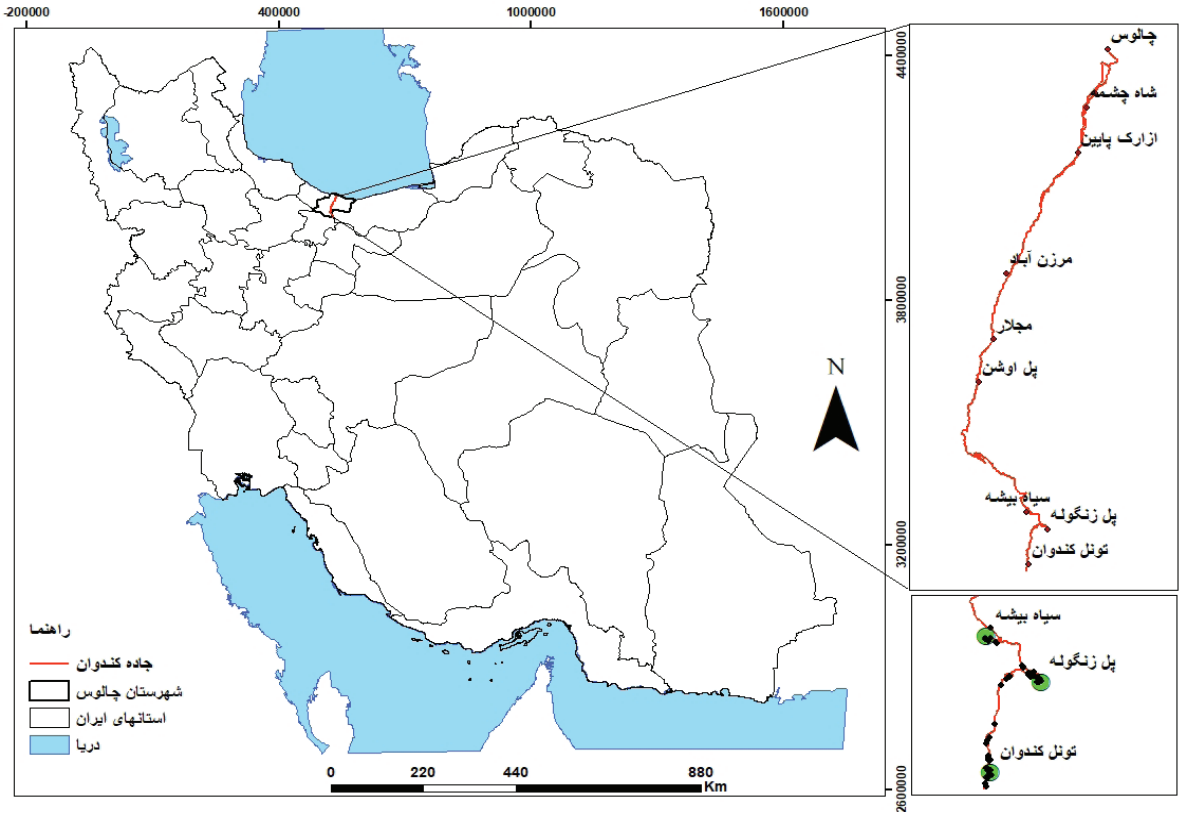
بررسی روند تحولی الگوی وقوع تصادفات در مقیاس‌های مکانی-زمانی در جاده‌ها می‌تواند پیدایش و شکل‌گیری قسمت‌های خطرناک و یا احیاناً از بین رفتن مکان‌های خطرناک از نظر وقوع تصادفات جاده‌ای *(Bil et al., 2019)* در اثر اقدامات مؤثر سازمان‌های مسئول مرتبط با حمل و نقل، را مشخص کند. در راستای این منظور، هدف پژوهش ارائه شده، بررسی الگوی توزیع تراکم تصادفات جاده‌ای و همچنین شناسایی مناطق حاد حادثه‌خیز در جاده توریستی کندوان (کرج-چالوس) در محدوده استان مازندران با استفاده از GIS، شاخص‌های آمار مکانی تحلیل تراکم کرنل *(Bassanie et al., 2022)* و تحلیل نقاط حاد[2] (Yu et al., ۲۰۱٤) است. رویکرد نوین در این پژوهش، پایش تغییرات مکانی-زمانی الگوی تراکم و تغییرپذیری مکانی-زمانی نقاط حاد حادثه‌خیز در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۵ است که تاکنون در این جاده پرتردد کشور و همچنین سایر جاده‌های کشور در مقیاس زمانی هفت ساله، چنین مطالعه‌ای انجام نشده است. البته می‌بایستی این نکته ذکر شود که در تحقیق انجام شده توسط علیان و همکاران (۱۳۹۹)، مطالعه تصادفات جاده‌ای به‌وقوع پیوسته در محور کندوان در سال ۱۳۸۸ و ارتباط آن با متغیرهایی نظیر هندسه جاده و شرایط اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته که با هدف پژوهش ارائه شده در این تحقیق متفاوت است. ترکیب نتایج پژوهش حاضر همراه با مطالعه و بررسی عوامل مؤثر بر تراکم بالای تصادفات و شکل‌گیری خوشه‌های تصادفات[3] در امتداد این جاده می‌تواند در جهت انجام عملیات فنی-عمرانی، قانونی، آموزشی و فرهنگی توسط سازمان‌های مسئول، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران حوزه حمل و نقل و ترافیک جاده‌ای مورد استفاده قرار گیرد تا با افزایش ایمنی بیشتر در این جاده، تعداد تصادفات و تبعات منفی انسانی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن کاهش پیدا کند.

## ۲- داده‌ها و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

یکی از مهم‌ترین مقاصد گردشگری و توریستی در کشور، استان مازندران است که به‌دلیل تنوع و تعدد انواع جاذبه‌های عمدتاً طبیعی، در تمامی روزهای سال پذیرای مسافران و گردشگران است. شرایط اقلیمی معتدل و مرطوب در استان مازندران و مخصوصاً موقعیت جغرافیایی ویژه مناطق غربی این استان به‌دلیل نزدیکی به دریای خزر و مجاورت با ارتفاعات البرز، شرایط آب و هوایی معتدلی را همراه با بارش‌های قابل‌ملاحظه فراهم آورده است *(شاهبایی کوتنایی و همکاران، ۱۳۹۶)*. همچنین مناطق غربی استان مازندران به‌دلیل وجود جاذبه‌های طبیعی مانند آبشارها، چشمه‌های آب سرد وگرم معدنی، پارک‌های جنگلی، غارها، چشمه‌ها، دریاچه‌ها و همچنین جاذبه‌های تاریخی و وجود انواع مراکز تفریحی،

1- Point pattern analysis
2- Hot spot analysis
3- Accidents clusters




**نگاره۱: موقعیت جاده کندوان در استان مازندران و توزیع تصادفات جاده‌ای در نقشه بزرگ‌نمایی‌شده بخشی از جاده کندوان**

به‌عنوان قطب گردشگری در کشور شناخته می‌شود *(تقی‌پوریان و همکاران، ۱۳۹۷)*. برای دسترسی به این مناطق، اغلب مسافران از جاده کندوان (کرج-چالوس) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسیرهای ارتباطی به استان مازندران استفاده می‌کنند. جاده کندوان (نگاره ۱)، یکی از مهم‌ترین محورهای مواصلاتی اتصال پایتخت به شمال کشور به طول ۱٦٦ کیلومتر است که به‌دلیل وجود جاذبه‌های طبیعی بکر به‌عنوان زیباترین جاده گردشگری در کشور شناخته شده و علی‌رغم حجم بالای ترافیک، پرطرفدارترین جاده انتخابی به شمال کشور، محسوب می‌شود.

با وجود جاذبه‌ها و زیبایی‌های شگفت‌انگیز طبیعی در امتداد جاده کندوان، این محور از خطرناک‌ترین جاده‌های کشور از نظر وقوع حوادث جاده‌ای به‌شمار می‌رود. جریان پرحجم و پرتردد انواع وسایل نقلیه، خطاهای انسانی و بی‌احتیاطی رانندگان، وجود شرایط نامساعد اقلیمی در فصول پربارش و سرد سال نظیر بارش برف و یخبندان *(متشرعی و همکاران، ۱۳۹۱)* و همچنین وقوع انواع بلایای طبیعی نظیر سیل و رانش کوه *(علیان و همکاران، ۱٤۰۱)* از عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات در این جاده هستند. در پژوهش حاضر، اطلاعات مرتبط با تصادفات به‌وقوع پیوسته در جاده کندوان که توسط سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر در استان مازندران جمع‌آوری شده‌اند، به‌منظور مطالعه و بررسی الگوی تراکم تصادفات و شناسایی مناطق حاد حادثه‌خیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این زمینه، اطلاعاتی مانند مکان و زمان وقوع سوانح، نام منطقه‌ای که در آن تصادف اتفاق افتاده، تعداد افراد فوت شده و مصدوم در بازه زمانی ۱٤۰۱-۱۳۹۵ توسط پایگاه‌های امداد و نجات جمع‌آوری و در بانک‌های

اطلاعات سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر برای تجزیه و تحلیل و فراهم کردن امکانات و خدمات اورژانسی درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## ۲-۲- روش تحقیق

در پژوهش حاضر، با استفاده از تحلیل‌های آمار مکانی در بستر GIS، الگوی مکانی-زمانی تصادفات جاده‌ای در محور کندوان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. به‌این منظور، ابتدا با استفاده از تابع تخمین تراکم کرنل[1] *(Chen et al., 2017)* الگوی توزیع مکانی-زمانی تراکم تصادفات استخراج شده *(عفتی و همکاران، ۱۳۹۹)* و سپس با استفاده از تحلیل نقاط حاد[2] *(Yu et al., 2014)*، نقاط حاد حادثه‌خیز شناسایی شده و سپس با استفاده از شاخص آماری Getis-* Ord Gi *(Getis et al., 1992)*، سطح معنی‌داری و اطمینان آماری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### ۲-۲-۱- تخمین تراکم کرنل

مشخص کردن الگوی توزیع تراکم تصادفات جاده‌ای در بخش‌های مختلف شبکه‌های حمل و نقل می‌تواند برای تجزیه و تحلیل دلایل وقوع حوادث جاده‌ای، شناسایی مناطق خطرناک و همچنین افزایش ایمنی راه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. به‌این‌منظور، تابع تخمین تراکم کرنل با نمایش و تحلیل داده‌های مکانی، الگوهای توزیع تراکم پدیده‌های جغرافیایی را در فاصله همسایگی مشخصی محاسبه می‌نماید *(Yoshiki et al., 2016)*. به‌این‌منظور از این تابع در مطالعاتی نظیر تحلیل توزیع تراکم جرم و جنایت *(Hu et al., 2018)*، تحلیل توزیع مکانی تصادفات جاده‌ای *(Yoshiki et al., 2016)* و همچنین در مطالعات مرتبط با ارزیابی خطر ریسک وقوع آتش‌سوزی استفاده شده است *(Koutsias et al., 2014)*.

به‌منظور ارزیابی الگوی تراکم تصادفات جاده‌ای، تابع تخمین تراکم کرنل، یک سطح انحنای هموار بر روی موقعیت مکانی تصادفات و براساس فواصل همسایگی مشخص اعمال می‌کند که نتیجه آن توزیع مقدار تراکم تصادفات در واحد سطح است که در آن بالاترین مقدار تراکم بر روی موقعیت مکانی تصادفات بوده و با افزایش فاصله از آن‌ها مقدار تراکم دارای روندی کاهشی می‌شود. شکل کلی تابع تخمین تراکم کرنل براساس رابطه (۱) تعریف می‌شود *(Silverman, 1986)*.

$$D = \frac{1}{(r)^2} \sum_{i=1}^{n} \left[ \frac{3}{\pi} * p_i \left( 1 - \left( \frac{d_i}{r} \right)^2 \right)^2 \right] \qquad for\ d_i < r$$

رابطه (۱)

که در آن، D تراکم تصادفات، i موقعیت مکانی تصادفات در فواصل مشخص، $d_i$ فاصله بین موقعیت مکانی نقطه تصادف i و موقعیت مکانی سایر تصادفات، r شعاع همسایگی و $p_i$ مجموع تعداد تصادفات را نشان می‌دهند. در این پژوهش، تعیین موقعیت مکانی تصادفات جاده‌ای در محور کندوان در بازه زمانی هفت ساله (از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۱) با استفاده از تابع تخمین کرنل برای بررسی الگوی توزیع تراکم مکانی-زمانی تصادفات انجام شده است. همچنین الگوی توزیع مکانی تراکم مجموع تصادفات جاده‌ای به‌وقوع پیوسته در این بازه زمانی هفت ساله نیز محاسبه شده است. علاوه بر این، با استفاده از توابع تحلیل مکانی، تغییرپذیری مکانی-زمانی طول جاده‌ها در کلاس‌های مختلف تراکم تصادفات جاده‌ای مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

### ۲-۲-۲- تحلیل نقاط حاد

روش تحلیل نقاط حاد برای بررسی و شناسایی الگوی توزیع مکانی - زمانی خوشه‌های تصادفات جاده‌ای و همچنین ارزیابی سطح اطمینان و معنی‌داری آماری آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش، Getis-Ord Gi* به‌عنوان شاخص ارزیابی خودهمبستگی[3] به‌منظور بررسی الگوی توزیع مکانی-زمانی تصادفات جاده‌ای و تعیین تشکیل خوشه‌های تصادفات *(عفتی و همکاران، ۱۳۹۹)* و

1- Kernel density estimation
2- Hot spot analysis
3- Local spatial autocorrelation

یا تصادفی‌بودن[1] وقوع سوانح جاده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرمول آماری آن به‌صورت رابطه (۲) است (*Getis et al., 1992*)

رابطه (۲)

$$Gi^{*}=\frac{\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}x_j-\bar{X}\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}}{s\sqrt{\left[n\sum_{j=1}^{n} w^{2}_{i,j}-\left(\sum_{j=1}^{n} w_{i,j}\right)^{2}\right]}{n-1}}$$

در رابطه(۲) n تعداد تصادفات جاده‌ای، $w_{i,j}$ وزن بین نقاط i و j، $x_j$ مقدار ویژگی مشخص‌شده برای نقطه مورد نظر j و $\hat{x}$ میانگین هستند. در استفاده از این شاخص، سطح معنی‌داری و اطمینان آماری براساس مقادیر Z-score و P-value مشخص می‌شود که در آن مقادیر مثبت و بزرگ Z-score ( با مقادیر پایین P-value) نشان‌دهنده خوشه‌بندی نقاط در یک منطقه مشخص و تشکیل خوشه‌های حاد حادثه‌خیز[2] است (*Tola et al., 2021*) همچنین مقادیر منفی و کوچک Z-score (یا مقادیر بزرگ P-value) نشان‌دهنده احتمال پایین وعدم تشکیل خوشه‌ها[3] برای عوارض نقطه‌ای است. در صورتی که مقدار Z-score صفر و یا نزدیک به صفر باشد، توزیع پدیده‌های جغرافیایی نقطه‌ای به صورت تصادفی خواهد بود (*Mesquitela et al., 2022*) سطوح اطمینان آماری در شاخص Getis-Ord* Gi توسط مقادیر محاسبه‌شده در Gi-bin است که سطوح اطمینان ۹۹-۹۰ درصدی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، از روش تحلیل نقاط حاد برای شناسایی خوشه‌های مکانی تصادفات جاده‌ای در امتداد جاده کندوان در بازه زمانی هفت ساله از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۴۰۱ استفاده شده است که در آن الگوی توزیع مکانی-زمانی خوشه‌های تصادفات، الگوی کلی خوشه‌های تصادفات با استفاده از مجموع تصادفات به‌وقوع پیوسته در بازه زمانی هفت ساله و همچنین سطح معنی‌داری و اطمینان آماری آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری Z-score و P-value و Gi-bin محاسبه شده است.

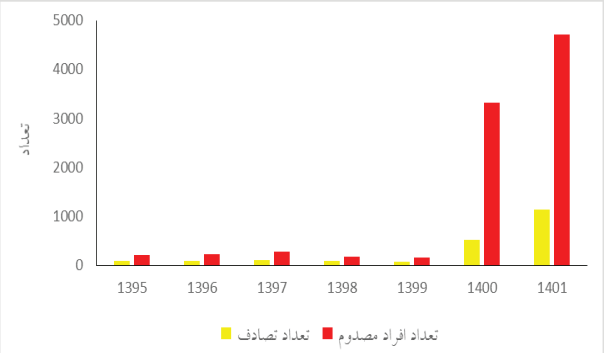
1- Randomness
2- Hot spot
3- Cold spot

## ۳- نتایج وبحث

### ۳-۱- نتایج تحلیل توصیفی و آماری تصادفات در جاده کندوان

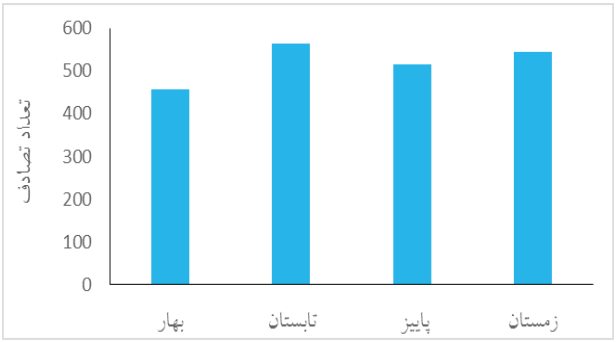
بررسی تصادفات جاده کندوان نشان می‌دهد که در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵، ۲۰۸۴ مورد تصادف به‌وقوع پیوسته که در آن‌ها ۹۰۷۶ نفر مصدوم و ۵۲ نفر فوت شده‌اند. بیشترین تعداد تصادفات (۱۱۴۱)، بیشترین تعداد افراد مصدوم (۴۷۱۴ نفر) و همچنین بیشترین فوتی (۱۹ نفر) در سال ۱۴۰۱ رخ داده است در حالی‌که کمترین تعداد تصادفات (۷۵)، کمترین تعداد افراد مصدوم (۷۵) و همچنین فوتی (۱نفر) در سال ۱۳۹۹ اتفاق افتاده است (نگاره ۲).

افزایش قابل‌ملاحظه تعداد تصادفات جاده‌ای در سال‌های ۱۴۰۰و ۱۴۰۱ می‌تواند مرتبط با پایان محدودیت‌های سفر ناشی از همه‌گیری بیماری کرونا باشد که در آن حجم ترافیک و تردد نسبت به سال‌های اوج بیماری کرونا (۱۳۹۹-۱۳۹۸) و در نتیجه آن سوانح جاده‌ای، افزایش پیدا کرده است.




**نگاره۲: تعداد تصادفات جاده‌ای و افراد مصدوم‌شده در سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵در جاده کندوان**

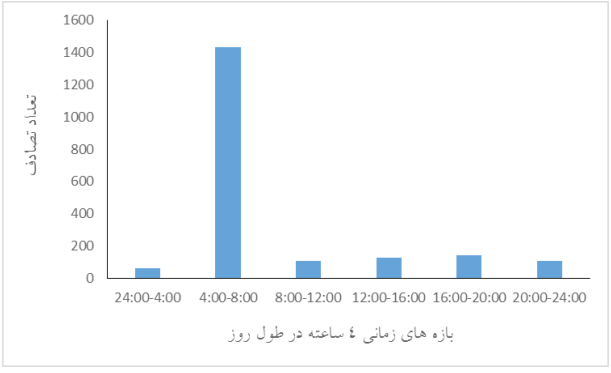
علاوه بر این، توزیع فصلی تصادفات نشان می‌دهد که بیشترین تصادفات در فصل تابستان (۵۶۵) و کمترین تصادفات در فصل بهار رخ داده است (۴۵۶) (نگاره ۳).




**نگاره۳: تعداد تصادفات جاده‌ای در فصول مختلف سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ در جاده کندوان**

در این زمینه، غرب استان مازندران به‌دلیل وجود انواع جاذبه‌های طبیعی گردشگری، مقصد اصلی بسیاری از مسافران در فصل تابستان بوده که می‌تواند موجب حجم بالای ترافیک و وقوع تصادفات جاده‌ای شود. از نظر آماری، نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک‌طرفه بر روی تعداد تصادفات در فصل‌های مختلف هر سال در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ نشان داده است اختلاف معنی‌داری بین میانگین تعداد تصادفات جاده‌ای در فصل‌های مختلف سال وجود ندارد (P-value > 0.05) که می‌تواند مرتبط با ماهیت و دلایل متفاوت وقوع تصادفات جاده‌ای در محور کندوان در فصل‌های مختلف سال باشد. در این رابطه، در کنار حجم بالای ترافیک جاده‌ای در فصل تابستان در مقایسه با فصول دیگر و خطاهای انسانی، در سایر فصول نیز دلایل تصادف می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان نمونه، شرایط اقلیمی نامساعد در فصل‌های بهار و پاییز و وقوع بارندگی‌های شدید و تأثیر آن بر سقوط سنگ می‌تواند عاملی برای وقوع سوانح جاده‌ای *(فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۹)* باشد. همچنین در فصل زمستان، شرایط نامساعد جوّی نظیر بارندگی، مه‌آلودگی جاده و بارش برف و یخبندان، سقوط بهمن و همچنین ریزش کوه *(متشرعی و همکاران، ۱۳۹۱؛ علیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰)* نیز می‌تواند از جمله دلایل وقوع سوانح رانندگی باشد. بررسی توزیع زمانی وقوع تصادفات در طول روز در سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ نیز نشان می‌دهد که بیشترین تعداد تصادفات در ساعت ۸ صبح به‌وقوع پیوسته (۱۳۷۰ مورد تصادف) که ٦٥ درصد کل تصادفات رخ داده در محور کندوان را شامل می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تعداد تصادفات به‌وقوع پیوسته در بازه‌های زمانی چهار ساعته در طول روز نشان می‌دهد بازه زمانی ٤ الی ٨ صبح، بیشترین تعداد تصادفات به‌وقوع پیوسته در محور کندوان را به‌خود اختصاص داده (۱٤۳٥ مورد تصادف) و در سایر بازه‌های زمانی روند توزیع وقوع تصادفات یکنواخت است (نگاره ٤).

نتایج حاصل از تحلیل واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که از نظر آماری اختلاف معناداری بین میانگین تعداد تصادفات، علیرغم تعداد بالای تصادفات در بازه زمانی ٤ الی ٨ صبح، در بازه‌های زمانی مختلف وجود ندارد (P-value > 0.05). دلیل فراوانی بالای وقوع تصادفات در بازه زمانی ٤ الی ٨ صبح می‌تواند مرتبط با تصمیم مسافران برای سفر به شمال و یا بازگشت از سفر در صبح زود باشد که به‌دلایلی همچون خستگی و خواب‌آلودگی *(علیان و همکاران، ۱٤۰۱)* منجر به‌وقوع تصادف می‌شود.




**نگاره٤: تعداد تصادفات رخ داده در طول زمان‌های مختلف روز در بازه زمانی ۱۳۹٥ تا ۱٤۰۱ در محور کندوان**

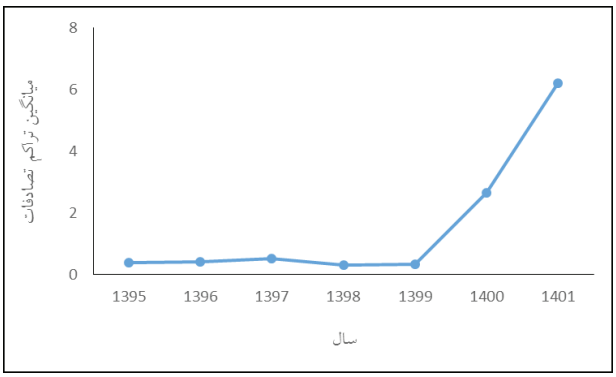
### ۳-۲- الگوی مکانی-زمانی تراکم تصادفات در جاده کندوان

نتایج به‌دست‌آمده از روش تخمین تراکم کرنل برای بررسی تراکم تصادفات در امتداد جاده کندوان نشان می‌دهد که بیشترین مقدار میانگین تراکم تصادفات مرتبط با سال ۱٤۰۱ (٦/۱۹ تصادف) و کمترین مقدار میانگین تراکم تصادفات در سال ۱۳۹۸ (۰/۳۱ تصادف) بوده است (نگاره۵). روند صعودی قابل‌ملاحظه در افزایش تراکم تصادفات جاده‌ای بعد از سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ می‌تواند مرتبط با پایان محدودیت‌های اعمال‌شده در جابه‌جایی و مسافرت ناشی‌از بیماری کرونا باشد که باعث افزایش ترافیک و تردد مسافران در جاده کندوان شده و به‌تبع آن تصادفات بیشتری در سال‌های ۱٤۰۰ و ۱٤۰۱ رخ داده است (نگاره ۵).

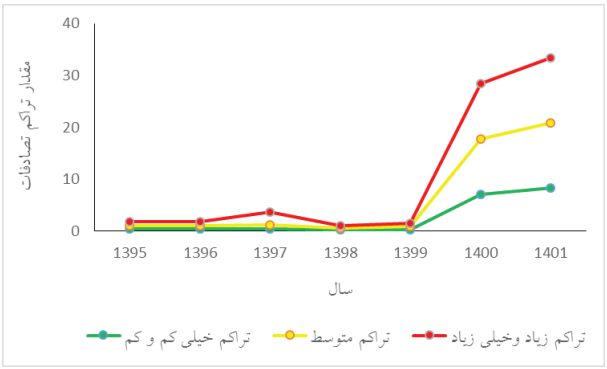
علاوه بر این، تغییرات مقدار تراکم تصادفات در کلاس‌های پنج‌گانه تراکم (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد وخیلی زیاد) نیز روند صعودی قابل‌ملاحظه‌ای را بعد از سال ۱۳۹۹ نشان می‌دهد (نگاره ٦) که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر اتمام محدودیت‌های کرونا و افزایش حجم حمل و نقل در جاده کندوان باشد.

علاوه بر این، الگوی کلی تراکم تصادفات جاده‌ای در بازه زمانی سال‌های ۱٤۰۱-۱۳۹۵ نشان می‌دهد که منطقه پل زنگوله با میانگین تراکم ۷۷/۵ تصادف، خطرناک‌ترین قسمت جاده کندوان به‌شمار می‌رود (نگاره ۸ د). مهم‌تر اینکه، منطقه پل زنگوله در تمامی سال‌های این بازه زمانی نیز از تراکم بالایی از تصادفات جاده‌ای برخوردار است. (نگاره‌های ۷ الف - د، نگاره‌های ۸ الف - ج). در این زمینه، بررسی الگوی سالانه تراکم تصادفات نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۵، منطقه‌های پل زنگوله و تونل کندوان (نگاره ۷ الف)، در سال ۱۳۹٦، منطقه‌های پل زنگوله، تونل کندوان، سیاه بیشه و مجلار (نگاره ۷ ب)، در سال ۱۳۹۷، منطقه‌های پل زنگوله و تونل کندوان (نگاره ۷ ج)، در سال ۱۳۹۸، پل زنگوله، تونل کندوان، مجلار و پل اوشن (نگاره ۷ د)، در سال ۱۳۹۹، منطقه‌های پل زنگوله و پل اوشن (نگاره ۸ الف)، در سال ۱٤۰۰ منطقه پل زنگوله (نگاره ۸ ب) و در سال ۱٤۰۱، منطقه‌های شاه چشمه، پل زنگوله و تونل کندوان (نگاره ۸ ج) با دارا بودن بیشترین مقدار تراکم تصادفات، خطرناک‌ترین بخش‌های محور کندوان شناخته می‌شوند.

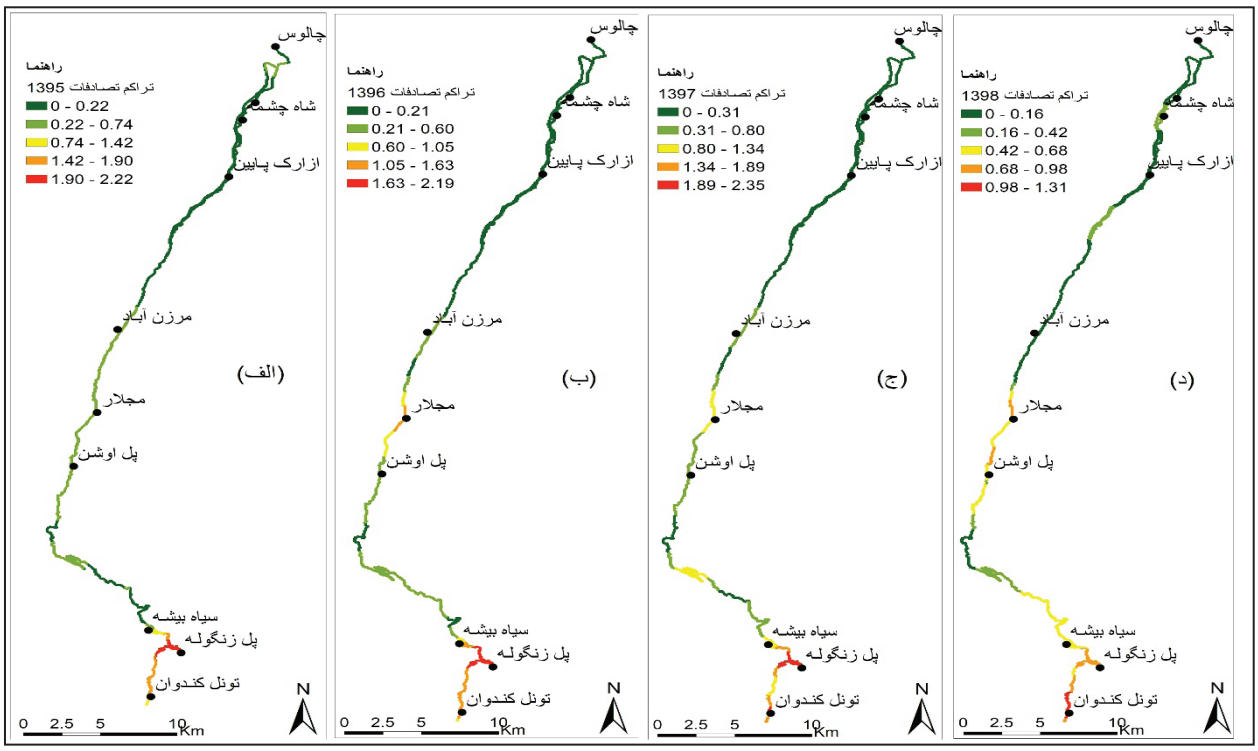
همچنین تحلیل نتایج تغییرات طول جاده نشان می‌دهد که میانگین طول جاده در کلاس‌های با تراکم خیلی کم و کم ۸٤ کیلومتر، در کلاس با تراکم متوسط ۹ کیلومتر و در کلاس با تراکم زیاد و خیلی زیاد ۸ کیلومتر در بازه زمانی ۱٤۰۱-۱۳۹۵ هستند (نگاره ۹).



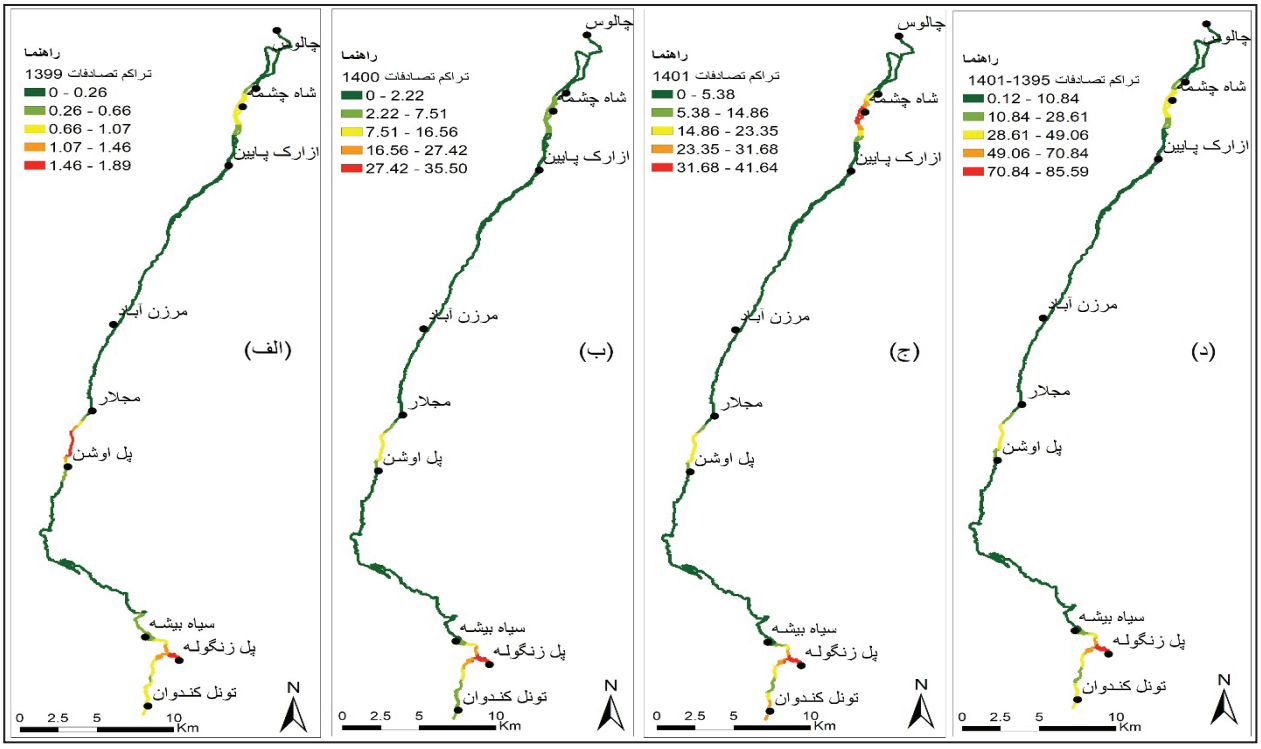

**نگاره۵: تغییرات میانگین تراکم تصادفات جاده‌ای در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱٤۰۱ در جاده کندوان**



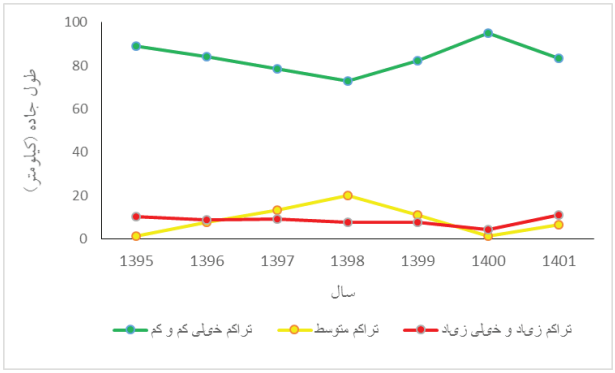

**نگاره٦: تغییر تراکم تصادفات جاده‌ای در کلاس‌های مختلف تراکم در هر یک از سال‌های بازه زمانی سال‌های ۱٤۰۱-۱۳۹۵ در جاده کندوان**




نگاره۷: تراکم تصادفات سالانه جاده‌ای در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۵ در جاده کندوان




نگاره۸: تراکم تصادفات سالانه جاده‌ای در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۹ (نگاره‌های ۸ الف - ج)
و الگوی کلی آن در جاده کندوان (نگاره ۸ د)



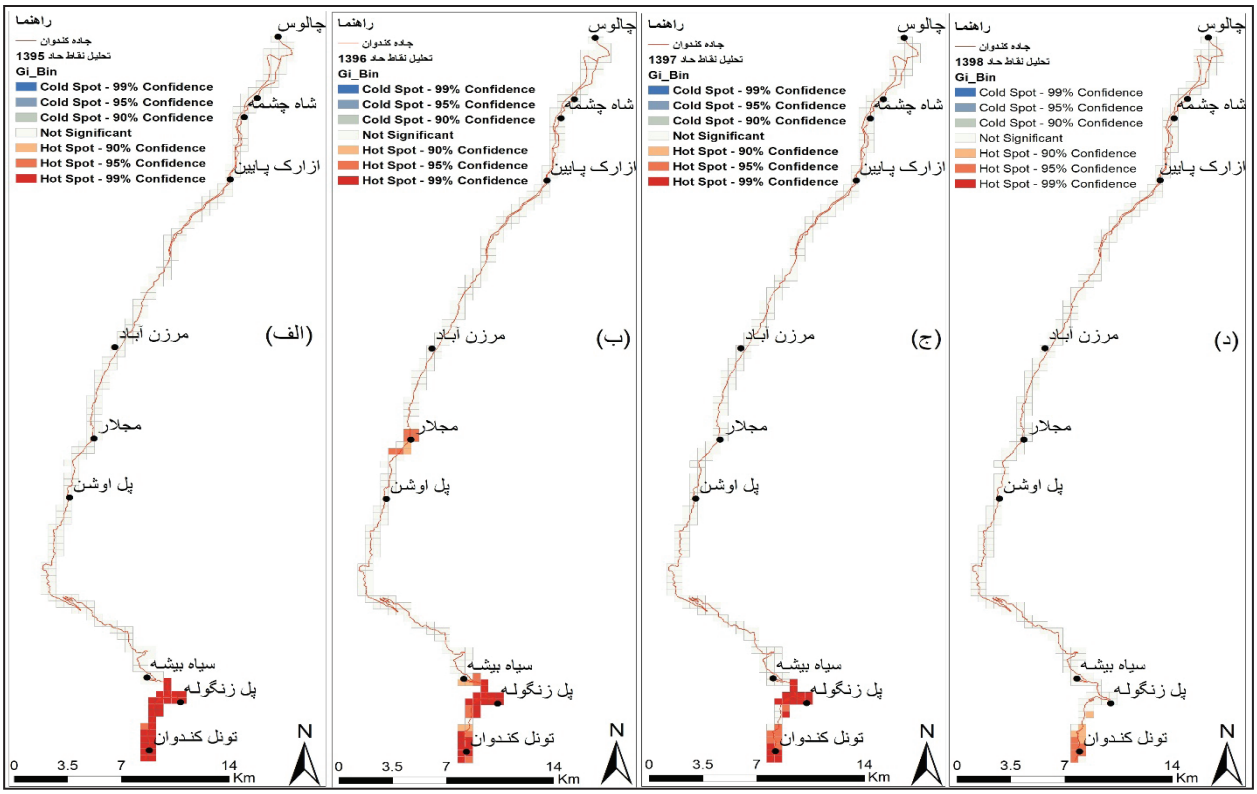

**نگاره۹: تغییرات طول جاده در کلاس‌های مختلف تراکم تصادفات جاده‌ای در هر یک از سال‌های بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۵ در جاده کندوان**

### ۳-۳- الگوی توزیع مکانی-زمانی نقاط حاد تصادفات در جاده کندوان

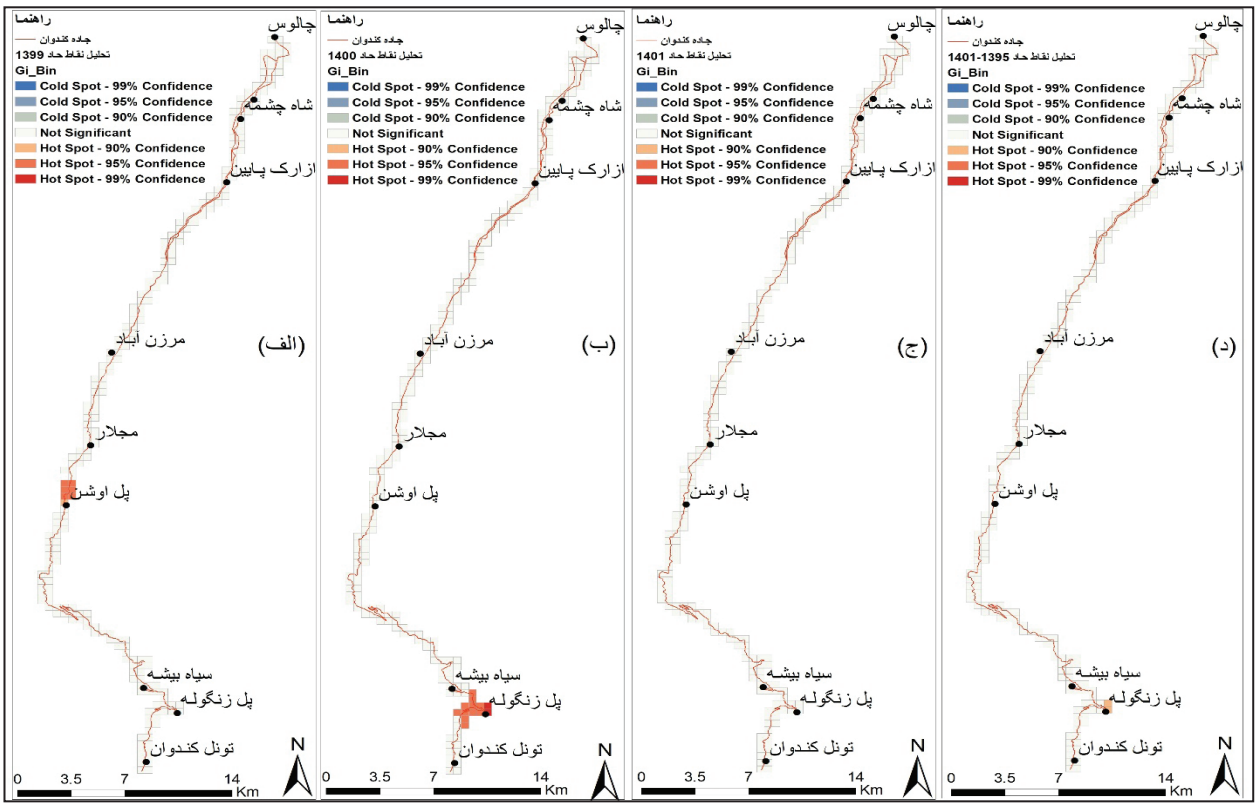
نتایج به‌دست‌آمده از روش تحلیل نقاط حاد، نشان‌دهنده شناسایی خوشه‌های تصادفات و تغییرپذیری مکانی-زمانی آن‌ها در سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ در جاده کندوان است (نگاره‌های ۱۰ الف-د و نگاره‌های ۱۱ الف-د). در این بازه زمانی، در منطقه‌های پل زنگوله، تونل کندوان، مجلار، سیاه بیشه و پل اوشن، خوشه‌های تصادفات با میانگین Z-score = 3.12، میانگین P-value < 0.05 و سطوح اطمینان ۹۰ تا ۹۵ درصد شناسایی شده‌اند (جدول ۱).

علاوه براین، نتایج نشان‌دهنده تغییرپذیری مکانی-زمانی تعداد خوشه‌های تصادفات شناسایی شده و همچنین تغییرپذیری اندازه طول جاده در آن‌ها هست (جدول ۱ و نگاره ۱۲).

در این رابطه، بیشترین تعداد خوشه‌های تصادفات در سال ۱۳۹۶ در چهار منطقه مجلار، سیاه بیشه، پل زنگوله و تونل کندوان به طول ۱۴/۳۹۰ کیلومتر شناسایی شده که شامل ۶۰ ٪ تصادفات به‌وقوع پیوسته است (جدول ۱ و نگاره ۱۰ ب). همچنین در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تعداد




**نگاره۱۰: الگوی توزیع مکانی-زمانی خوشه‌های تصادفات در روش تحلیل نقاط حاد در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۵ (نگاره‌های الف-د)**

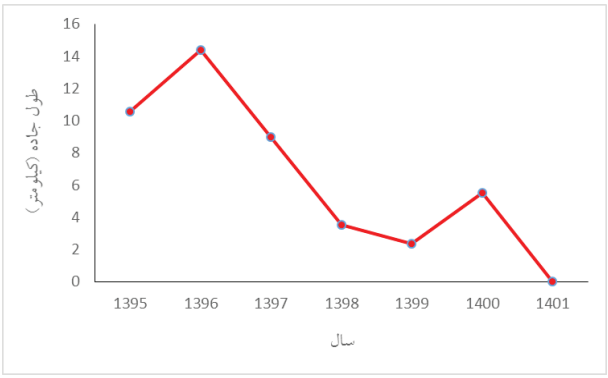



**نگاره۱۱: الگوی توزیع مکانی-زمانی خوشه‌های تصادفات در روش تحلیل نقاط حاد در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۹ (نگاره‌های الف-د)**

**جدول۱: نتایج تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵**

| سال | میانگین P-value | میانگین Z-score | تعداد خوشه | طول جاده در خوشه (کیلومتر) | درصد تصادفات در خوشه |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۵ | ۰ | ٤/٦٢ | ۱ | ۱۰/٥٦ | ٥٤/٦٦ |
| ۱۳۹٦ | ۰/۰۰۲ | ۳/٦۸ | ٤ | ۱٤/۱۳۹ | ٦۰/۲٥ |
| ۱۳۹۷ | ۰ | ۳/٥۸ | ۲ | ۸/۹۸ | ۳۹/۷۹ |
| ۱۳۹۸ | ۰/۰۰۱ | ۳/۲۱ | ۲ | ۳/٥۰ | ۲۰/٦۳ |
| ۱۳۹۹ | ۰ | ۳/۳۷ | ۱ | ۲/۳۳ | ۲٤/٦۱ |
| ۱٤۰۰ | ۰ | ۳/٤۰ | ۱ | ٥/٤۸ | ٥۸/۷۸ |
| ۱٤۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۳۹٥-۱٤۰۱ | ۰ | ۳/٤٦ | ۱ | ۰/٤٤ | ۳۲/٦۲ |

خوشه‌های تصادفات و همچنین طول جاده در آن‌ها (به ترتیب ۳/۵۰ و ۲/۳۳ کیلومتر) خیلی کم است (جدول ۱ و نگاره ۱۰ د و نگاره ۱۱ الف) که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر ممنوعیت‌های اعمال شده در حمل و نقل جاده‌ای به‌دلیل بیماری کرونا باشد.




**نگاره۱۲: تغییرپذیری طول جاده در خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۹۵ در جاده کندوان**

نکته قابل توجه دیگر در نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نقاط حاد، عدم شناسایی قسمت‌های با ریسک و احتمال پایین وقوع تصادفات جاده‌ای (Cold spot) در بازه زمانی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۹۵ است (Gi-bin < 0) (نگاره‌های ۱۰ الف-د و نگاره‌های ۱۱ الف-د). در این رابطه، در ۹۴ کیلومتر از طول جاده کندوان، خوشه‌های مکانی تصادفات (Hot spot) و همچنین مناطق با ریسک پایین وقوع تصادفات جاده‌ای (Cold spot) شناسایی نشده که می‌تواند نشان‌دهنده توزیع تصادفی (Random) حوادث جاده‌ای باشد (Gi-bin = 0، Z-score = -0.32 و P-value > 0.05). همچنین ذکر این نکته ضروری است که عدم تشکیل و شناسایی خوشه تصادف در سال ۱۴۰۱ علی‌رغم تعداد زیاد تصادفات به‌وقوع پیوسته، می‌تواند مرتبط با الگوی پراکنده توزیع تصادفات در طول جاده باشد و بنابراین الگوی توزیع سوانح جاده‌ای در این سال به‌صورت تصادفی (Random) برآورد شده است.

خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده در امتداد جاده کندوان می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل مختلفی همچون وضعیت زیرساخت جاده، وجود شرایط نامساعد اقلیمی و همچنین وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی در کنار خطاهای انسانی رانندگان در این قسمت‌ها باشد. در مطالعه انجام شده در ارتباط با وضعیت زیرساخت جاده در این محور، درجه انحنا وشیب جاده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌ای شناخته شده‌اند *(علیان و همکاران، ۱۴۰۱)*. در این زمینه، مقایسه درجه انحنا و شیب جاده در خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده و سایر قسمت‌های جاده می‌تواند به صورت دقیق‌تر نقش این عوامل را در تشکیل نقاط حاد حادثه‌خیز مشخص کند. همچنین باتوجه به کوهستانی بودن جاده، شرایط اقلیمی نظیر بارندگی، بارش برف، مه‌آلودگی، وقوع بهمن و یخبندان در وقوع تصادفات جاده‌ای تأثیرگذار بوده *(علیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۴؛ فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۹)* که بررسی این عوامل در خوشه‌های تصادفات شناسایی شده می‌تواند تأثیر آن‌ها را در بروز سوانح جاده‌ای مشخص کند. علاوه بر این، نقش عوامل زمین‌شناسی و وضعیت مستعد بخش‌هایی از جاده کندوان برای ریزش کوه، جریانات واریزه‌ای و بهمن‌های سنگی *(فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۸۹؛ متشرعی و همکاران، ۱۳۹۱؛ شایان و همکاران، ۱۳۹۶)* نیز می‌تواند در وقوع تصادفات جاده‌ای تأثیرگذار باشد. در این رابطه، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در خوشه‌های تصادفات شناسایی شده می‌تواند تأثیر آن‌ها را در بروز تصادفات جاده‌ای مشخص کند. می‌بایستی تأکید شود که نقش خطاهای انسانی در وقوع تصادفات جاده‌ای انکارناپذیر بوده و در مطالعه صورت گرفته در این جاده به‌عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع تصادفات شناخته شده است *(سلمانی و همکاران، ۱۳۹۶)*.

نتایج این تحقیق مخصوصاً در ارتباط با مناطق با تراکم بالای تصادفات و شکل‌گیری خوشه‌های تصادفات می‌تواند در جهت افزایش ایمنی حمل و نقل در جاده کندوان مورد استفاده قرار بگیرد. در این زمینه، انجام عملیات فنی عمرانی مرتبط با شرایط زیرساخت جاده در خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده توسط سازمان‌های مسئول می‌تواند تأثیر ساختار جاده در بروز حوادث رانندگی را به حداقل برساند. همچنین، فراهم‌کردن علائم هشداردهنده در خوشه‌های تصادفات شناسایی شده توسط پلیس در جهت افزایش سطح آگاهی مسافران می‌تواند در کاهش وقوع تصادفات نقش داشته باشد. در کنار این موارد، اجرای دقیق قوانین رانندگی توسط پلیس راهنمایی و رانندگی و استفاده از

فناوری‌هایی نظیر دوربین‌های کنترل سرعت در مناطق با تراکم بالای تصادفات جاده‌ای نیز می‌تواند موجب کاهش خطاهای انسانی و وقوع تصادف شود. علاوه براین، مکان‌یابی استقرار پایگاه‌های امداد ونجات در مجاورت خوشه‌های تصادفات شناسایی شده در جاده کندوان می‌تواند نقش مهمی در فراهم‌کردن خدمات اورژانسی برای مدیریت بحران مطلوب حوادث جاده‌ای داشته باشد.

## ٤- نتیجه‌گیری

در جاده کندوان، میانگین تراکم تصادفات جاده‌ای با مقدار ۰/۳۱ تصادف در واحد طول جاده در سال ۱۳۹۸ که سال شروع محدودیت‌های مرتبط با بیماری کرونا بوده، به مقدار ٦/۱۹ تصادف در سال ۱٤۰۱ رسیده و در نتیجه رشد قابل ملاحظه‌ای را بعد از اتمام محدودیت‌های دوران بیماری کرونا نشان می‌دهد. علاوه براین، الگوی توزیع مکانی تراکم تصادفات جاده‌ای نشان می‌دهد که منطقه پل زنگوله بیشترین مقدار تراکم تصادفات را در سال‌های ۱٤۰۱-۱۳۹۵ به خود اختصاص داده است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل نقاط حاد نشان می‌دهد که خوشه‌های تصادفات در منطقه‌های پل زنگوله، تونل کندوان، مجلار، سیاه بیشه و پل اوشن در بازه زمانی سال‌های ۱٤۰۱-۱۳۹۵ در امتداد جاده کندوان شناسایی شده است که تعداد آن‌ها و همچنین مقدار طول جاده در خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده از نظر مکانی و زمانی متغیر هستند. در این زمینه، در سال ۱۳۹٦، بیشترین تعداد خوشه مکانی تصادفات به طول ۱٤/۳٦ کیلومتر در امتدا جاده کندوان شناسایی شده که شامل ٦۰٪ تصادفات به‌وقوع پیوسته است. مناطق خطرناک شناسایی‌شده از نظر شدت تراکم بالای تصادفات و همچنین تشکیل خوشه‌های تصادفات می‌تواند مورد استفاده سازمان‌هایی نظیر اداره راه و شهرسازی، پلیس راهنمایی و رانندگی، سازمان‌های امداد و نجات حوادث جاده‌ای قرار گرفته و همچنین در جهت افزایش آگاهی و فراهم‌آوردن علائم هشدار به مسافران مورد استفاده قرار گیرد. عواملی همچون خطاهای انسانی، شرایط آب و هوایی، ساختار هندسی و توپوگرافیکی جاده و وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی در امتداد این محور می‌تواند در تراکم بالای تصادفات و همچنین شکل‌گیری خوشه‌های تصادفات نقش داشته باشد که مطالعه و بررسی تأثیر هر کدام از این عوامل و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای کم کردن اثر آن‌ها توسط سازمان‌های مسئول می‌تواند سبب افزایش ایمنی جاده کندوان شود.

## تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

## References

1- Asakereh, H., Shahbaee Kotenaee, A., & Foroumadi, M. (2019). Evaluating Changes and Forecasting Minimum Temperature in the West of Mazandaran Province Using Statistical Downscaling Model SDSM. Journal of Water and Soil Science, 23(1), 101-119. (In Persian)

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

3- Bíl, M., Andrášik, R., & Sedoník, J. (2019). A detailed spatiotemporal analysis of traffic crash hotspots. Applied geography, 107, 82-90.

4- Chen, Y. C. (2017). A tutorial on kernel density estimation and recent advances. Biostatistics & Epidemiology, 1(1), 161-187.

5- Eboli, L., Forciniti, C., & Mazzulla, G. (2020). Factors influencing accident severity: an analysis by road accident type. Transportation research procedia, 47, 449-456.

6 - Elvik, R., & Høye, A. K. (2023). Changes over time in the relationship between road accidents and factors influencing them: The case of Norway. Accident Analysis & Prevention, 183, 1-6.

7- Farajzadeh Asl, M., Gholizadeh, M.H., & Adabi Firozjai, A. (2011). Spatial Analysis of Accidents with Climatic Hazards Approach Case Study: Karaj-Chalous Road. Physical Geography Research, 42(73), 37-51. (In

spatiotemporal analysis for road traffic crashes; in support of sustainable transportation Planning. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 20, 1-23.

18- Mostafazader, R., Safarian Zangir, V., & Haji, K.H. (2021). The relation between climatic variables on the occurrence of road accidents, case study: Barzand road, Garmi-Ardebil road. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 8(4), 17-26. (In Persian)

19- Motesharei, A., Ghomi, J., Eftekhari, A., Pouzesh, B., & Shahmari, M. (2012). Landslide susceptibility zonation in Chalous-Tehran road and Highway under construction. Geotechnical Geology, 8(2), 147-158. (In Persian)

20- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. Transportation research part A: policy and practice, 141, 116-129.

21- Papadimitriou, E., Filtness, A., Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Quigley, C., & Yannis, G. (2019). Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure. Accident Analysis & Prevention, 125, 85-97.

22- Rolison, J. J. (2020). Identifying the causes of road traffic collisions: Using police officers' expertise to improve the reporting of contributory factors data. Accident Analysis & Prevention, 135, 1-8.

23- Salmani, M., Heydari, Z., & Mohamadi, Z. (2018). Road Accident Analysis to Improve Safety of Tourist Roads (Case Study: Karaj Chalus Axis). Geography and Territorial Spatial Arrangement, 8(27), 187-204. (In Persian)

24- Shayan, S., Chelichi, E., & Yamani, M. (2018). Geomorphologic and Environmental Hazards Assessment in Karaj-Chaloos Way (Karaj to Kandowan Tunnel). Journal of Geography and Environmental Hazards, 6(2), 1-16. (In Persian)

25- Silverman, B. W. (2018). Density estimation for statistics and data analysis. Routledge. 1st edition, New York, 1-176.

26-Taghipourian, M.J., Yazdani, R., & Aghaifar, M.Z. (2019). The role of destination brand image on tourism Behavioral tendencies (case study: west of Mazandaran Persian)

8- Farajzadeh Asl, M., & Karami, Sh. (2005). Road Accident Analysis by A Climatic Approach Using Geographic Information ystems (GIS) Case Study: Firouz koh- Sari road. The Journal of Spatial Planning and Geomatics, 9(1), 151-167. (In Persian)

9 - Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical analysis, 24(3), 189-206.

10- Gutierrez-Osorio, C., & Pedraza, C. (2020). Modern data sources and techniques for analysis and forecast of road accidents: A review. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 7(4), 432-446.

11- Hashimoto, S., Yoshiki, S., Saeki, R., Mimura, Y., Ando, R., & Nanba, S. (2016). Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation. Journal of traffic and transportation engineering (English edition), 3(3), 262-270.

12- Kalantari, A., & Alian, S. (2022). Analysis of road accidents with emphasis on environmental and road characteristics in geospatial information system Case study of Karaj-Kandovan axis. Human Geography Research, 54(2), 563-582. (In Persian)

13 - Lai, P. C., & Chan, W. Y. (2004). GIS for road accident analysis in Hong Kong. Geographic Information Sciences, 10(1), 58-67.

14- Le, K. G., Liu, P., & Lin, L. T. (2020). Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam. Geo-spatial Information Science, 23(2), 153-164.

15- McCartt, A. T., Shabanova, V. I., & Leaf, W. A. (2003). Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. Accident Analysis & Prevention, 35(3), 311-320.

16- Mesquitela, J., Elvas, L. B., Ferreira, J. C., & Nunes, L. (2022). Data Analytics Process over Road Accidents Data—A Case Study of Lisbon City. ISPRS International Journal of Geo-Information, 11(2), 1-18.

17- Mohammed, S., Alkhereibi, A. H., Abulibdeh, A., Jawarneh, R. N., & Balakrishnan, P. (2023). GIS-based

66, 80-88.
36- Zheng, L., Sayed, T., & Mannering, F. (2021). Modeling traffic conflicts for use in road safety analysis: A review of analytic methods and future directions. Analytic methods in accident research, 29, 100142.

Province's tourists). Journal of Urban Tourism, 5(4), 37-50. (In Persian)
27- Tola, A. M., Demissie, T. A., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2021). Severity, spatial pattern and statistical analysis of road traffic crash hot spots in Ethiopia. Applied Sciences, 11(19), 1-18.
28- Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2013). The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. Safety science, 57, 264-275.
29- Winter, M. G. (2019). Landslide hazards and risks to road users, road infrastructure and socio-economic activity. Geotechnical Engineering, Foundation of the Future. Icelandic Geotechnical Society, Reykjavik, 196-228.
30- World Health Organization. (2018). Global status report on road safety.
31- World Health Organization. (2015). Global status report on road safety.
32- Xie, Z., & Yan, J. (2013). Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. Journal of transport geography, 31, 64-71.
33-Yan, M., Chen, W., Wang, J., Zhang, M., & Zhao, L. (2021). Characteristics and causes of particularly major road traffic accidents involving commercial vehicles in China. International journal of environmental research and public health, 18(8), 1-18.
34- Yao, S., Loo, B. P., & Yang, B. Z. (2016). Traffic collisions in space: four decades of advancement in applied GIS. Annals of GIS, 22(1), 1-14.
35- Yu, H., Liu, P., Chen, J., & Wang, H. (2014). Comparative analysis of the spatial analysis methods for hotspot identification. Accident Analysis & Prevention,

**COPYRIGHTS**

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 4.0 International (CC BY-ND 4.0)