Disaster Prevention and Management Knowledge

Winter 2024. Vol 13. Issue 4

Research Paper

Spatial-temporal Analysis of Road Accidents in Haraz Road Using Spatial Statistics and Geographical Information System

*Jalal Samia[1], Manouchehr Ranjbar Shoubi[1], Amer Nikpour[1]

1. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Samia, J., Ranjbar Shoubi, M., & Nikpour, A. (2024). [Spatial-temporal Analysis of Road Accidents in Haraz Road Using Spatial Statistics and Geographical Information System (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge. 13*(4):508-527. https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.768.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.768.1

ABSTRACT

Background and objective Road accidents are one of the main causes of injury, disability, and causalities in developing countries. The occurrence of road accidents on Haraz Road, one of the most important tourist axes of the country, is a concern for many travelers and tourists. The main purpose of this article was to study the distribution of the density of road accidents and identify the spatial clusters of accidents on the Haraz Road as one of the most important strategic and tourist transportation axes of Iran.

Method Information related to road accidents on Haraz Road was collected by the Iranian Red Crescent Relief and Rescue Organization and the density of accidents and spatial clusters of accidents were evaluated and identified using the kernel estimation function and Getis-Ord Gi* spatial statistics index based on analyzing the acute points of accidents in the 5 years of 2016-2020.

Results Results from the kernel density estimation indicated that the density of accidents varies spatially along the road and temporarily from 2016 to 2020. The Kahrud-e Pain region on Haraz Road was found to have the highest density of accidents in the five years. The analysis of the accident-prone hotspots has also determined that in the parts of Punjab, Kahrud-e Pain, Gernak, and Pleur, spatial clusters of accidents with an average value of Z-score of 4.49 were formed, over time, and in 5 years, the number of accident clusters, the percentage of accidents occurring in the clusters, as well as the road length in the identified accident clusters have decreased.

Conclusion Kernel density estimation function and analyzing the acute points of accidents were effective in investigating and analyzing the spatiotemporal distribution and density of accidents, as well as identifying the spatial clusters of accidents on Haraz Road. The results can be used to implement infrastructural and technical actions, prepare for relief quick actions, and also increase awareness of passengers from dangerous sections of Haraz Road.

Keywords Road accidents, Haraz road, Kernel density, Hot spot, Spatiotemporal analysis

Article Info:

Received: 12 Oct 2023

Accepted: 16 Dec 2023

Available Online: 01 Jan 2024

* *Corresponding Author:*

Jalal Samia, Assistant Professor.

Address: Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities and Social Sciences,University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Tel: +98 (939) 7034589

E-mail: j.samia@umz.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

With the expansion of road transport networks and the increasing development of various types of vehicles, there has been a rise in people's need and desire to travel for access to goods, services, and better living conditions. This increase in mobility has led to heightened traffic and congestion on many urban and rural roads across the country. A major challenge facing traffic planners, road transport authorities, traffic police, rescue, and emergency medical services, as well as drivers and passengers, is the high incidence of road accidents. These accidents can result in human casualties, injuries, disabilities, economic losses, and social damages. This issue is particularly pressing in regions like Mazandaran Province, which attracts numerous tourists daily due to its natural beauty and busy roads. Haraz Road, providing the shortest route from Tehran to Mazandaran and featuring key natural attractions like Damavand Mountain, experiences heavy traffic and frequent road accidents. This study aimed to analyze the spatial and temporal distribution patterns of road accident density using the kernel density estimation (KDE) method, identify accident-prone zones through acute point analysis, and explore the spatial and temporal variability of accident clusters on the tourist-heavy Haraz Road.

Method

The data used for this analysis was collected over five years (2016-2020) by the Red Crescent Society of Iran in Mazandaran Province.

Results

The results indicated that during this period, 742 accidents occurred on Haraz Road, resulting in 1,538 injuries and 91 fatalities. The decrease in the number of accidents from 2018 to 2020 may reflect the impact of COVID-19-related restrictions on traffic and road transportation. Additionally, the seasonal distribution of road accidents shows a higher frequency in spring and summer compared to other seasons on Haraz Road. An examination of the density distribution pattern of road accidents using the kernel density estimation (KDE) method from 2016-2020 revealed spatial-temporal variability in accident density along different sections of Haraz Road. During this period, the stretch from Punjab to Kahrud-e Pain was identified as the most hazardous part of Haraz Road, exhibiting the highest accident density. An analysis of the annual trend in accident density highlighted that in 2015, the areas of Kahrud-e Pain, Gaznak, and Pleur were recognized as the most dangerous. In subsequent years, only Kahrud-e Pain continued to show the highest density of accidents, while Gaznak and Pleur experienced medium to low accident densities. Furthermore, the KDE results indicated that between 2016 and 2020, approximately 8 km of Haraz Road had high to very high accident density. In the same timeframe, around 7 km of the road had an average accident density, and over 90 km of the road was estimated to have low to very low accident density. In addition to the results from the kernel density estimation (KDE) function, hot spot analysis from 2016 to 2020 also identified four critical accident-prone areas along Haraz Road in Punjab, Kahrud-e Pain, Gaznak, and Pleur. These areas exhibited spatial clusters of accidents with a Z-score of 4.49, indicating a confidence level between 90% and 99%. The segments of Haraz Road within these clusters, totaling 6 km in length, accounted for 42% of the accidents recorded continuously over the five years. An examination of the spatio-temporal patterns in the analysis of these acute points revealed a decreasing trend in the number of spatial accident clusters, the percentage of continuous accidents, and the length of road affected within the identified clusters from 2016 to 2020. This trend may be linked to the COVID-19 pandemic and associated travel restrictions from 2019 to 2020.

Conclusion

The findings from this research can assist in identifying factors contributing to road accidents in areas with high accident densities and where spatial accident clusters are present. The identified high-risk areas along Haraz Road should draw attention from organizations involved in traffic and road transport, traffic police, and rescue stations, as well as from travelers themselves. This awareness is crucial for implementing necessary measures to enhance road and travel safety. Furthermore, the results can be leveraged for crisis management of road accidents, helping to develop preventive strategies to reduce accident occurrences, prepare for potential accidents, and provide essential services to possible victims.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The ethical principles observed in the article.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

Study design, methodology and data interpretation: Jalal Samia; Data collection and implementing a part of the research method: Manouchehr Ranjber Shoubi; Final revision: Amer Nikpour.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors are extremely grateful to the Red Crescent Rescue Organization of Mazandaran Province for providing the statistics of road accidents in Haraz Axis.

فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران

مقاله پژوهشی

تحلیل مکانی‌زمانی تصادفات جاده‌ای در محور مواصلاتی هراز با استفاده از شاخص‌های آمار مکانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی

*جلال سمیعا[۱]، منوچهر رنجبر شوبی[۱]، عامر نیک‌پور[۱]

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Samia, J., Ranjbar Shoubi, M., & Nikpour, A. (2024). [Spatial-temporal Analysis of Road Accidents in Haraz Road Using Spatial Statistics and Geographical Information System (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. *13*(4):508-527. https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.768.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.13.4.768.1

چکیده

زمینه و هدف تصادفات جاده‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل مصدومیت، معلولیت و مرگ‌ومیر در بسیاری از کشورهای در حال توسعه و مخصوصاً ایران است. وقوع تصادفات جاده‌ای در محور هراز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محورهای توریستی کشور، دغدغه بسیاری از مسافران و گردشگران است. هدف اصلی این مقاله، مطالعه توزیع و پراکنش تراکم تصادفات جاده‌ای و شناسایی خوشه‌های مکانی تصادفات در جاده هراز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محورهای مواصلاتی استراتژیک و توریستی کشور است.

روش اطلاعات مرتبط با تصادفات جاده‌ای در محور هراز توسط سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر ایران جمع‌آوری شده است که در آن تراکم تصادفات و خوشه‌های مکانی تصادفات با استفاده از تابع تخمین کرنل و شاخص آمار مکانی* Getis-Ord Gi در روش تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در بازه زمانی ۵ ساله ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ مورد ارزیابی و شناسایی قرار گرفته است.

یافته‌ها نتایج به‌دست‌آمده از اعمال تابع تخمین تراکم کرنل نشان‌دهنده تعییرپذیری مکانی‌زمانی تراکم تصادفات جاده‌ای در امتداد محور هراز در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ بوده که در آن منطقه کهرود پایین بیشترین میزان تراکم تصادفات را به خود اختصاص داده است. تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز نیز مشخص کرده است که در قسمت‌های پنجاب، کهرود پایین، گرنک و پلور خوشه‌های مکانی تصادفات با مقدار میانگین Z-score ۴/۴۹ شکل گرفته است که در طول زمان و در بازه زمانی ۵ ساله، تعداد خوشه‌های تصادفات، درصد تصادفات رخداده در خوشه‌ها و همچنین طول محور در خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده کاهش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری تابع تخمین تراکم کرنل و روش تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در بررسی و تحلیل مکانی‌زمانی توزیع پراکنش و تراکم تصادفات و همچنین شناسایی خوشه‌های مکانی تصادفات در محور هراز مؤثر بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در جهت انجام اقدامات اصلاحی فنی و ساختاری، امدادرسانی و همچنین آگاهی‌بخشی مسافران از وجود قسمت‌های خطرناک مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها تصادفات جاده‌ای، محور هراز، تراکم کرنل، نقاط حاد، تحلیل مکانی‌زمانی

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۲۰ مهر ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۲۵ آذر ۱۴۰۲
تاریخ انتشار: ۱۱ دی ۱۴۰۲

* نویسنده مسئول:
دکتر جلال سمیعا
نشانی: بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری.
تلفن: ۷۰۳۴۵۸۹ (۹۳۹) ۹۸+
پست الکترونیکی: j.samia@umz.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

وقوع تصادفات جاده‌ای به‌دلیل تبعاتی مانند تهدید جان انسان‌ها، مصدومیت و معلولیت، آثار منفی اقتصادی و همچنین تبعات جبران‌ناپذیر روانی و اجتماعی (حسنی و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۹) به‌عنوان یک چالش جهانی برای کشورها و دولت‌ها مخصوصاً چالشی برای سلامت عمومی و توسعه اقتصادی‌اجتماعی در کشورهای در حال توسعه به حساب می‌آید. طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، تقریبا ۱/۳ میلیون نفر همه ساله بر اثر وقوع تصادفات جاده‌ای دچار مصدومیت شده و یا جان خود را از دست می‌دهند (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۸: ۱). همچنین براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، ۹۳ درصد مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات جاده‌ای در کشورهای با درآمد کم تا متوسط به‌وقوع می‌پیوندد و تقریباً خسارات اقتصادی معادل ۳ درصد ارزش تولید ناخالص دولتی این کشورها را شامل می‌شود (گوریا، ۲۰۱۶: ۲). روند وقوع تصادفات جاده‌ای در جهان به‌دلیل رشد جمعیت، تحولات موجود در زیرساخت‌ها و گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل و همچنین استفاده روزافزون از وسایل نقلیه، در حال افزایش است.

در کشور ما نیز به دلیل افزایش جمعیت و گسترش زیرساخت‌های مرتبط با حمل‌ونقل و همچنین افزایش تعداد خودرو، استفاده از خودرو به‌عنوان مهم‌ترین وسیله حمل‌ونقل گسترش چشمگیری داشته است که ضمن فراهم آوردن سطح رفاهی مطلوب برای افراد جامعه دارای عواقب جانی، اقتصادی و روانی و اجتماعی در اثر وقوع تصادفات است. در این زمینه و براساس آمار یونیسف، مرگ‌ومیر ناشی از وقوع تصادفات جاده‌ای در ایران معادل ۲۰ برابر میانگین جهانی است (بهادری و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳۶). همچنین براساس اطلاعات تصادفات برون‌شهری مرکز آمار ایران، در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ در کشور، تقریباً بیش از ۵ میلیون تصادف جاده‌ای رخ داده که در آن بیش از ۱۳۰ هزار نفر متأسفانه فوت شده و بیش از ۲ میلیون نفر دچار مصدومیت شده‌اند.

درزمینه دلایل وقوع تصادفات جاده‌ای، عوامل انسانی همچون سرعت بیش از اندازه، خطا و بی‌دقتی رانندگان، رانندگی تحت شرایط نامطلوب روانی، عدم رعایت نکات ایمنی مانند استفاده از کمربند ایمنی، عدم تمرکز به دلیل استفاده از تلفن همراه، زیرساخت‌های حمل‌ونقل فاقد ایمنی، مانند کیفیت پایین جاده‌ها و فقدان علائم راهنمایی مناسب، وسائل نقلیه فاقد ایمنی و استانداردهای لازم، عدم امدادرسانی فوری به هنگام وقوع تصادف و کمبود قوانین اجرایی مرتبط با حمل‌ونقل جاده‌ای نقش بسزایی دارند (الویک و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۵۴؛ وینتر و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۶۳؛ ساخاری و همکاران، ۲۰۱۷: ۲). همچنین نقش عوامل طبیعی و مخاطرات محیطی نظیر شرایط نامطلوب آب‌وهوایی (افشاری آزاد، ۱۳۸۷: ۱۰)، وقوع رانش زمین در محورهای کوهستانی و سیل می‌تواند خطر ریسک وقوع تصادفات جاده‌ای را به شکل قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد (پتروا، ۲۰۱۱: ۵۵؛ برگل حیات و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۵۷؛ اسمیت و همکاران، ۱۹۸۲: ۱۰۵؛ آلخانو، ۲۰۰۸: ۱۲۵۲). بنابراین به دلیل تبعات منفی جانی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از وقوع تصادفات جاده‌ای لازم است تا راهکارهای پیشگیرانه مناسبی در نظر گرفته شود تا میزان آسیب‌ها و خسارات ناشی از آن کاهش پیدا کند. در این زمینه و ازنظر زیرساختی، فرهنگ‌سازی و آموزش، به‌کارگیری قوانین مناسب راهنمایی و رانندگی، دخالت مؤثر پلیس راهنمایی و رانندگی با اجرای قوانین صریح و قاطع و همچنین طراحی و اجرای علمی و اصولی زیرساخت‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۹: ۹۴۰) به‌منظور فراهم آوردن بستر مناسب حمل‌ونقل می‌تواند به کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای منجر شود. ازنظر برنامه‌ریزی و مدیریت علمی حمل‌ونقل جاده‌ای، احتمال فراوانی وقوع، شدت و تبعات ناشی از وقوع تصادفات جاده‌ای می‌تواند با استفاده از تجزیه‌وتحلیل‌های آماری (ساولینین و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۶۷)، تجزیه‌وتحلیل‌های مکانی‌زمانی تصادفات جاده‌ای (پراسانکومار و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۱۸)، مدل‌سازی و پیش‌بینی سناریوهای مختلف وقوع تصادفات و حوادث جاده‌ای (دوبلین و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۹۴؛ حکیم و همکاران، ۱۹۹۱: ۳۸۰) مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

علاوه‌براین، استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] در جهت جمع‌آوری، ذخیره و نمایش گرافیکی ترافیک جاده‌ای و داده‌های تصادفات، تجزیه‌وتحلیل، مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع تصادفات جاده‌ای می‌تواند بستری اساسی در جهت برنامه‌ریزی و اتخاذ تصمیمات مناسب برای افزایش ایمنی و کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای فراهم آورد (استفان و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۴۵۵؛ شاهزاد و همکاران، ۲۰۲۰: ۴۷۳؛ ساتریا و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۴۳). همچنین با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی ضمن نمایش اطلاعات مرتبط با توزیع مکانی و زمانی تصادفات جاده‌ای، امکان ارزیابی جامع عوامل مؤثر و مرتبط با وقوع، پراکنش و توزیع تصادفات، وابستگی مکانی تصادفات، تجزیه‌وتحلیل‌های تراکم و نقاط حاد حادثه‌خیز تصادفات جاده‌ای فراهم می‌آید (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰۷: ۵۶؛ آقاجانی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۱۲۷). در این زمینه، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کشورهایی نظیر استرالیا، بلژیک و دانمارک منجر به کاهش ۳۰ درصدی وقوع تصادفات مرگ‌بار جاده‌ای شده است (ایسلام و همکاران، ۲۰۲۲: ۲).

پژوهش حاضر تلاش دارد با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص‌های آمار مکانی، تجزیه‌وتحلیلهای مکانی‌زمانی مرتبط با توزیع و تراکم تصادفات جاده‌ای و ارزیابی نقاط حاد حادثه‌خیز در محور هراز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و

1. Geographical Information System (GIS)

خطرناک‌ترین راه‌های مواصلاتی کشور را ارائه دهد. از جنبه‌های نوآورانه پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های مشابه صورت‌گرفته، انجام تجزیه‌وتحلیل مکانی‌زمانی توزیع تراکم تصادفات جاده‌ای و همچنین بررسی تغییرپذیری مکانی‌زمانی نقاط حاد حادثه‌خیز است (صیدایی و همکاران، ۱۳۹۹: ۹۴۳؛ زینلی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۶).

مطالعه و ارزیابی توزیع تراکم تصادفات و همچنین شناسایی قسمت‌های حاد و خطرناک ازنظر وقوع تصادفات جاده‌ای در این محور به نوبه خود می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه و مبنا در جهت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در ارتباط با انجام اقدامات اصلاحی فنی، ساختاری و قانونی درزمینه مدیریت ترافیک و سوانح جاده‌ای و همچنین آگاهی مسافران در قسمت‌های مختلف محور هراز مورد استفاده قرار بگیرد.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

استان مازندران به دلیل موقعیت مکانی استراتژیک و اهمیت توریستی همه‌ساله پذیرای میلیون‌ها گردشگر از سایر قسمت‌های کشور و جهان است و ازنظر حمل‌ونقل جاده‌ای در محورهای ارتباطی اصلی از تردد و حجم ترافیک بالایی برخوردار است. همان‌طور که در مقدمه تحقیق بیان شد، این حجم بالای تردد مسافران و ترافیک در محورهای اصلی استان به دلیل وجود خطاهای انسانی، شرایط آب‌وهوایی و زمین‌شناسی و همچنین کوهستانی بودن، زمینه را برای وقوع فراوان تصادفات جاده‌ای فراهم می‌آورد.

در این تحقیق منطقه موردمطالعه، محور مواصلاتی هراز (جاده ۷۷) در استان مازندران است که به دلیل اتصال استان مازندران از شهرستان آمل به پایتخت از اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است (تصویر شماره ۱). محور هراز به طول تقریبی ۱۸۵ کیلومتر به‌عنوان مهم‌ترین و کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی از استان مازندران به تهران به شمار می‌آید. این محور مواصلاتی، به دلیل وجود قابلیت‌های توریستی و چشم‌اندازهای متنوع طبیعی نظیر قله دماوند، رودخانه هراز ، چشم اندازهای زمین‌شناسی متنوع، وجود آبشارها و چشمه‌های آب معدنی گرم و سرد در تمامی فصول و روزهای سال از تردد و ترافیک بالایی برخوردار است. براساس اطلاعات آماری ارائه‌شده توسط مدیر کل سازمان پزشکی قانونی استان مازندران، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳، ۵۷۰ نفر در اثر وقوع تصادفات جاده‌ای در محور هراز جان خود را از دست داده‌اند. به دلیل وقوع فراوان تصادفات جاده‌ای و همچنین وقوع مخاطرات مختلف طبیعی نظیر سقوط بهمن و ریزش قطعات سنگی، محور هراز به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین جاده‌های کشور به شمار می‌آید.

داده‌های مورداستفاده در این تحقیق با استفاده از مطالعات میدانی و برداشت موقعیت جغرافیایی تصادفات در امتداد محور هراز توسط سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر ایران با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی[2] جمع‌آوری شده است. اطلاعات برداشت‌شده شامل موقعیت طول و عرض جغرافیایی تصادفات، شرح جزئیات وقوع تصادفات، تاریخ و زمان وقوع تصادفات، نام پایگاه عامل امداد و نجات، نام مناطقی که در آن حادثه به وقوع پیوسته، تعداد افراد حادثه‌دیده و فوت‌شده در بازه زمانی ۵ ساله از تاریخ اول فروردین ۱۳۹۵ تا ۲۸ اسفند ۱۳۹۹ است.

روش

در این تحقیق، با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و شاخص‌های آمار مکانی، تحلیل مکانی‌زمانی وقوع تصادفات جاده‌ای در محور هراز موردمطالعه قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا با استفاده از روش تخمین تراکم کرنل[3] (سیلورمن، ۱۹۸۶؛ ژی و همکاران ۲۰۰۸) موقعیت مکانی تراکم تصادفات در امتداد محور هراز به‌صورت گرافیکی نمایش داده شده و سپس با استفاده از تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز[4] (خرتس و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰)، مناطق ویژه و حاد با پتانسیل بالای خطر ریسک وقوع تصادفات شناسایی و سطح معنی‌داری آماری آن‌ها با استفاده از شاخص آماری Getis-Ord Gi* (سیپوس، ۲۰۱۷: ۱۰) ارزیابی و طبقه‌بندی شده است.

تخمین تراکم کرنل

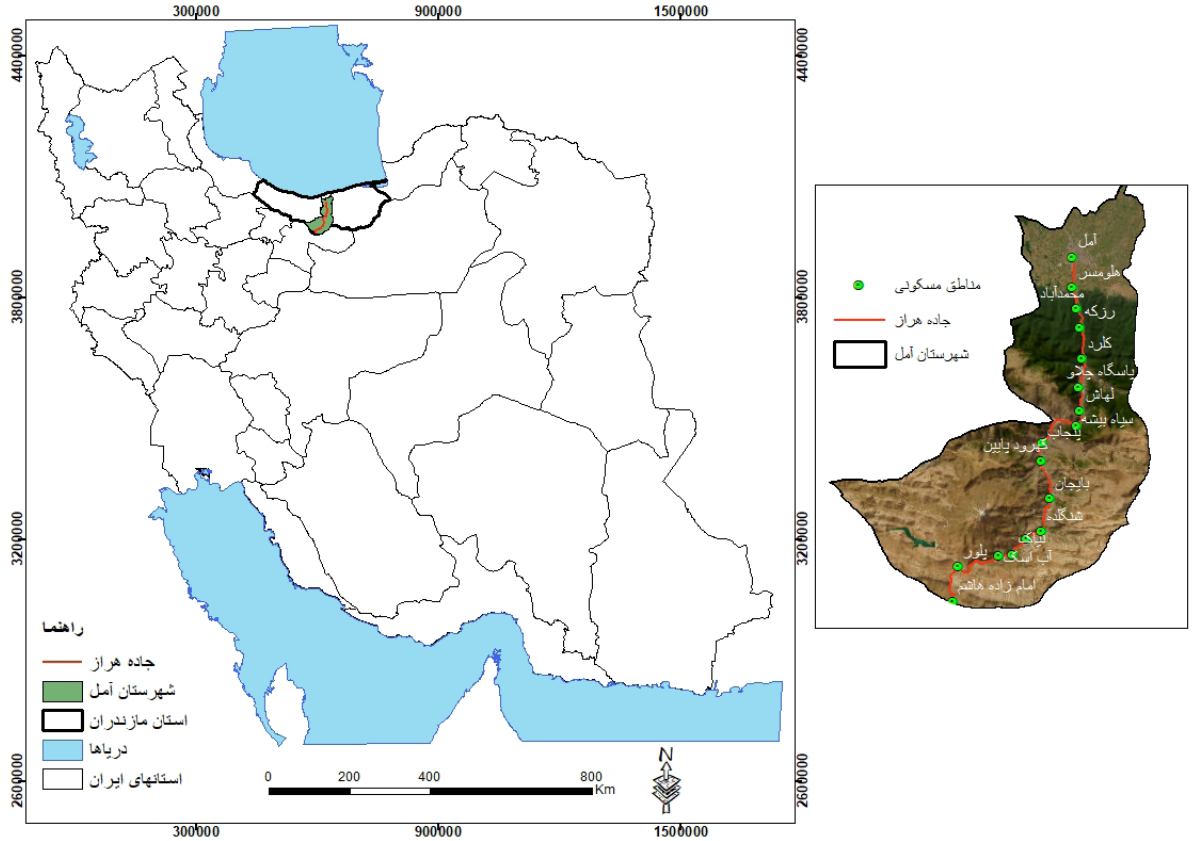
تابع تراکم کرنل به‌منظور تخمین و برآورد تراکم عوارض مکانی نقطه‌ای و خطی در یک فاصله مشخصی از همسایگی با عوارض مکانی در واحد سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد (فرمول شماره ۱). برای تخمین تراکم عوارض، یک تابع منحنی هموار بر روی تمامی نقاط و یا خطوط مکانی موردنظر براساس فواصل همسایگی و با شعاع‌های مختلف جست‌وجو اعمال خواهد شد. تراکم محاسبه‌شده در تابع تخمین کرنل در واحد سطح است که بیشترین مقدار آن روی نقاط و یا خطوط خواهد بود و به‌تدریج با افزایش فاصله از نقاط و یا خطوط مقدار تراکم کاهش پیدا خواهد کرد. به‌طوری‌که در حداکثر شعاع همسایگی مقدار تراکم صفر خواهد شد. برای برآورد تراکم تصادفات جاده‌ای فرمول شماره ۱ مورد استفاده قرار گرفته است.

1.

$$Density = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^{n} [\frac{3}{\pi} * pop_i \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radius}\right)^2\right)^2]$$

$$for\ dist_i < radius$$

2. Global Position System (GPS)
3. Kernel density estimation
4. Hotspot analysis



تصویر ۱. محور مواصلاتی هراز در محدوده شهرستان آمل (ماخذ، پژوهش حاضر)

که در آن I= 1, 2, ...n نشان‌دهنده موقعیت مکانی تصادفات در فاصله و شعاع همسایگی مشخص، disti فاصله بین نقطه تصادف i و موقعیت سایر نقاط تصادفات، radius فاصله و شعاع همسایگی، popi تعداد تصادفات و Density نشان‌دهنده تراکم است. در این مقاله، تابع تخمین تراکم کرنل به‌منظور تخمین و برآورد تراکم مکانی‌زمانی تصادفات جاده‌ای در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ در محور هراز مورد استفاده قرار گرفته که در آن تغییرپذیری مکانی‌زمانی میزان تراکم تصادفات جاده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز[5]

در روش تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز، خوشه‌های مکانی تصادفات با سطح معنی‌داری بالا به‌عنوان نقاط حاد[6] ارزیابی و خوشه‌های مکانی با سطح معنی‌داری پایین به‌عنوان نقاط با پتانسیل ریسک وقوع کم[7] تصادفات شناسایی می‌شوند. در این روش، ارزیابی سطح معنی‌داری با استفاده از شاخص‌های آماری P-value (مقدار احتمالاتی)، z-score (نمره استاندارد) و سطوح اطمینان (Gi-bin) محاسبه می‌شود. در این زمینه، مقادیر مثبت و زیاد z-score و مقادیر کم P-value نشان‌دهنده خوشه‌بندی مکانی و تجمع تصادفات در نقاط حاد حادثه‌خیز و مقادیر منفی z-score با مقادیر کم P-value نشان‌دهنده احتمال کم وجود خوشه‌های مکانی تصادفات است. مقادیر z-score نزدیک به صفر، نشان‌دهنده عدم وجود خوشه‌های مکانی و تصادفی بودن توزیع عوارض مکانی و وقوع تصادفات است. همچنین مقادیر محاسبه‌شده در شاخص Gi-bin سطح معنی‌داری آماری خوشه‌های مکانی شناسایی‌شده را نشان می‌دهد که در آن Gi-bin=+/-3 سطح اطمینان ۹۹ درصد، Gi-bin=+/-2 سطح اطمینان ۹۵ درصد، Gi-bin=+/-1 سطح اطمینان ۹۰ درصد و Gi-bin=0 ازنظر آماری فاقد سطوح معنی‌دار است و نشان‌دهنده توزیع و پراکنش تصادفی عوارض جغرافیایی است. برای ارزیابی نقاط حاد حادثه‌خیز تصادفات در محور هراز و محاسبه شاخص آمار مکانی Getis-Ord Gi* فرمول شماره ۲ استفاده شده است.

$$2.\quad Gi^{*} = \frac{\sum_{j=1}^{n} wi,jxj - \bar{X}\sum_{j=1}^{n} wi,j}{s\sqrt{\frac{\left[n\sum_{j=1}^{n} wi^{2},j - \left(\sum_{j=1}^{n} wi,j\right)^{2}\right]}{n-1}}}$$

5. Hot Spot Analysis Getis-Ord Gi*
6. Hot Spot
7. Cold Spot

جدول ۱. آمار تصادفات جاده‌ای در محور هراز در بازه زمانی ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر)

سال	تعداد تصادفات	افراد مصدوم‌شده	افراد فوت‌شده
		تعداد (درصد)	تعداد (درصد)
۱۳۹۵	۱۵۷	۳۴۳ (۲۲)	۱۷ (۱۹)
۱۳۹۶	۱۵۷	۳۳۹ (۲۱)	۲۳ (۲۵)
۱۳۹۷	۲۳۷	۴۸۴ (۳۱)	۲۴ (۲۶)
۱۳۹۸	۱۴۳	۳۱۲ (۲۰)	۱۹ (۲۱)
۱۳۹۹	۴۸	۱۰۴ (۶)	۸ (۹)
مجموع	۷۴۲	۱۵۸۳ (۱۰۰)	۹۱ (۱۰۰)

که در آن، xj مقدار ویژگی برای عارضه جغرافیایی مورد نظر wi,j ،j وزن مکانی بین عوارض جغرافیایی i و n، j تعداد کل تصادفات می‌باشد. با استفاده از این تابع، تحلیل نقاط حاد حادثه خیز در محور هراز بر اساس موقعیت مکانی‌زمانی مجموع تصادفات در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ و همچنین برای هر یک از سالهای ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ انجام شده شاخصهای آماری P-value، z-score و Gi-bin محاسبه شده است.

یافته‌ها

تحلیل آماری داده‌های تصادفات در محور هراز

در بازه زمانی ۵ ساله از سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۳۹۹، ۷۴۲ مورد تصادف در محور هراز به وقوع پیوسته که بیشترین تعداد تصادف در سال ۱۳۹۷ با ۲۳۷ مورد و کمترین تعداد تصادف در سال ۱۳۹۹ با ۴۸ مورد بوده است (جدول شماره ۱). همچنین در این بازه زمانی، ۱۵۳۸ نفر در اثر وقوع تصادفات جاده‌ای دچار مصدومیت شده و ۹۱ نفر متأسفانه جان خود را از دست داده‌اند (جدول شماره ۱). بیشترین تعداد افراد مصدوم و فوتی مرتبط با سال ۱۳۹۷ بوده که به ترتیب ۳۱ و ۲۶ درصد و کمترین تعداد افراد مصدوم و فوتی در سال ۱۳۹۹ به ترتیب با ۶ و ۹ درصد بوده است (جدول شماره ۱). روند نزولی تعداد تصادفات، مصدومین و فوتی از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ وقوع بحران همه‌گیری کرونا و منع مسافرت سراسری، نقش عمده‌ای در کاهش تردد، حجم ترافیک و وقوع تصادفات در محور هراز داشته است. ازنظر توزیع زمانی فصلی تصادفات جاده‌ای در محور هراز، فصل‌های تابستان و بهار با ۲۰۳ و ۲۰۲ تصادف، بیشترین و فصل پاییز با ۱۵۸ تصادف کمترین تعداد تصادفات جاده‌ای را در بازه زمانی ۵ ساله ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ به خود اختصاص داده اند (جدول شماره ۲).

همچنین فراوانی آمار مصدومین حوادث جاده‌ای در فصول مختلف نشان می‌دهد فصل تابستان بیشترین درصد فراوانی و فصل زمستان کمترین درصد فراوانی مصدومین را به ترتیب با ۲۷ و ۲۳ درصد به خود اختصاص داده‌اند. درحالی‌که فصل بهار با ۳۲ درصد و فصل زمستان با ۱۲ درصد، بیشترین و کمترین درصد فراوانی افراد فوت‌شده در اثر وقوع تصادفات جاده‌ای در محور هراز را به خود اختصاص داده‌اند (تصویر شماره ۲). فراوانی بالای تصادفات در فصل تابستان می‌تواند به دلیل ایام تعطیلات دانش‌آموزی و دانشگاهی و استفاده از این فرصت جهت مسافرت توسط خانواده‌ها برای بازدید از مناطق توریستی استان مازندران نظیر دریای خزر باشد. همچنین استفاده افراد بومی از مناطق ییلاقی موجود در محور هراز در فصل تابستان نیز می‌تواند نقش مؤثری در افزایش حجم تردد و ترافیک و افزایش احتمال وقوع تصادفات جاده‌ای ایفا کند. فراوانی بالای تصادفات جاده‌ای در فصل بهار در محور هراز می‌تواند نشان‌دهنده نقش مؤثر عوامل اقلیمی در وقوع تصادفات جاده‌ای باشد (نظم فر و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۵). شرایط نامناسب اقلیمی، مانند وقوع بارندگی‌های بهاره و همچنین روان‌آب‌های حاصل از ذوب برف در محور کوهستانی هراز می‌تواند عامل مهمی در افزایش وقوع تصادفات جاده‌ای در فصل بهار باشد. علاوه‌براین، بارندگی‌های بهاره می‌تواند موجب تحریک و ناپایداری دامنه‌های کوهستانی مستعد زمین، لغزش و ریزش قطعات سنگی در محور هراز شود (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۹) که به نوبه خود می‌تواند در وقوع تصادفات جاده‌ای نقش مؤثری داشته باشد. در این زمینه بسیاری از دامنه‌های کوهستانی محور هراز، شامل سازندهای زمین‌شناسی مستعد زمین‌لغزش نظیر سازند شمشک است که تحت تأثیر عوامل تحریک‌کننده نظیر بارندگی و زلزله منجر به وقوع زمین‌لغزش و ریزش قطعات سنگی می‌شود (دهقان فاروجی و همکاران ۱۴۰۱: ۳۸).

نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داده است اختلاف معنی‌داری بین میانگین تعداد افراد مصدوم‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ و همچنین میانگین تعداد افراد فوت‌شده در این بازه زمانی وجود ندارد (P=۰/۹۴ و P=۰/۷). همچنین نتایج

جدول ۲. تعداد تصادفات جاده‌ای، فراوانی افراد مصدوم و فوت‌شده در محور هراز در فصول مختلف بازه زمانی ۵۹۳۱تا ۹۹۳۱ (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر)

فصل	تعداد تصادفات	افراد مصدوم‌شده	افراد فوت‌شده
		تعداد (درصد)	
بهار	۲۰۲	۳۹۹ (۲۵)	۲۹ (۳۲)
تابستان	۲۰۳	۴۲۵ (۲۷)	۲۷ (۳۰)
پاییز	۱۵۸	۳۹۳ (۲۵)	۱۱ (۱۲)
زمستان	۱۷۹	۳۶۶ (۲۳)	۲۴ (۲۶)
مجموع	۷۴۲	۱۵۸۳ (۱۰۰)	۹۱ (۱۰۰)

آنالیز واریانس یک‌طرفه در توزیع فصلی افراد مصدوم و فوتی نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین میانگین افراد فوت‌شده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ وجود ندارد (P=۰/۳۳)، درحالی‌که بین میانگین افراد مصدوم‌شده در فصول مختلف سال اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۴).

تحلیل مکانی‌زمانی تصادفات جاده‌ای با استفاده از تراکم کرنل

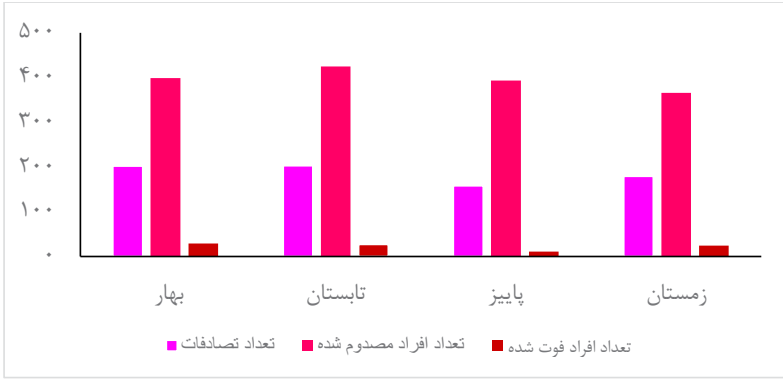
نتایج حاصل از اعمال تابع تخمین تراکم کرنل بر روی موقعیت مکانی‌زمانی تصادفات نشان می‌دهد در قسمت‌هایی از محور هراز، تراکم تصادفات بیشتر از سایر قسمت‌ها است (تصویرهای شماره ۳ تا ۵). منطقه پنجاب تا کهرود در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ دارای بیشترین مقدار تراکم تصادفات بوده (۱۱ تا ۲۰ مورد تصادف در هر کیلومتر مربع) و نشان‌دهنده خطرناک‌ترین منطقه در محور هراز ازنظر وقوع تصادفات جاده‌ای است (تصویر شماره ۵، ج). همچنین الگوی مکانی‌زمانی تراکم تصادفات نشان می‌دهد که سال ۱۳۹۵ با دارا بودن بیشترین مقدار تراکم تصادفات جاده‌ای در ۳ منطقه کهرود پایین، گزنک و پلور نسبت به سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، شامل بیشترین مناطق خطرناک ازنظر تراکم وقوع تصادفات جاده‌ای است (تصویر شماره ۳، الف). درحالی‌که الگوی مکانی‌زمانی تراکم تصادفات در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ نشان‌دهنده تراکم بالای تصادفات فقط در منطقه کهرود پایین است و ۲ منطقه دیگر گزنک و پلور در کلاس‌های با تراکم متوسط و کم تصادفات جاده‌ای قرار گرفته‌اند (تصویرهای شماره ۳، ب؛ ۴، پ؛ ۴، ت و ۵ ث).

در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ که به دلیل وقوع بحران همه‌گیری کرونا محور هراز از تردد و حجم ترافیک کمتری برخوردار بوده و از کمترین مقدار تصادف نسبت به سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷برخوردار بوده نیز منطقه کهرود پایین به‌عنوان مهم‌ترین منطقه ازنظر تراکم تصادفات جاده‌ای انتخاب شده است (تصویر شماره ۴، ت و تصویر شماره ۵، ث). علاوه‌براین، تابع تخمین کرنل اعمال‌شده بر روی مجموع تصادفات در بازه زمانی ۵ ساله نشان‌دهنده وجود تراکم خیلی زیاد تصادف در منطقه کهرود پایین است (تصویر شماره ۵، ج).

نتایج به‌دست‌آمده از اعمال تابع تخمین کرنل بر روی داده‌های تصادفات، نشان‌دهنده تغییرپذیری میانگین تراکم تصادفات جاده‌ای در کلاس‌های با تراکم خیلی زیاد تا متوسط تصادفات در امتداد محور هراز در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ است (تصویر شماره ۶). براین‌اساس، سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۹ به ترتیب با میانگین تراکم تصادفات ۲/۴۴ و ۰/۳۶ در هرکیلومتر مربع دارای بیشترین و کمترین مقدار تراکم تصادفات جاده‌ای در محور هراز

جدول ۳. طول محور هراز در کلاس‌های با تراکم خیلی زیاد تا خیلی کم در بازه زمانی ۵۹۳۱تا ۹۹۳۱، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر)

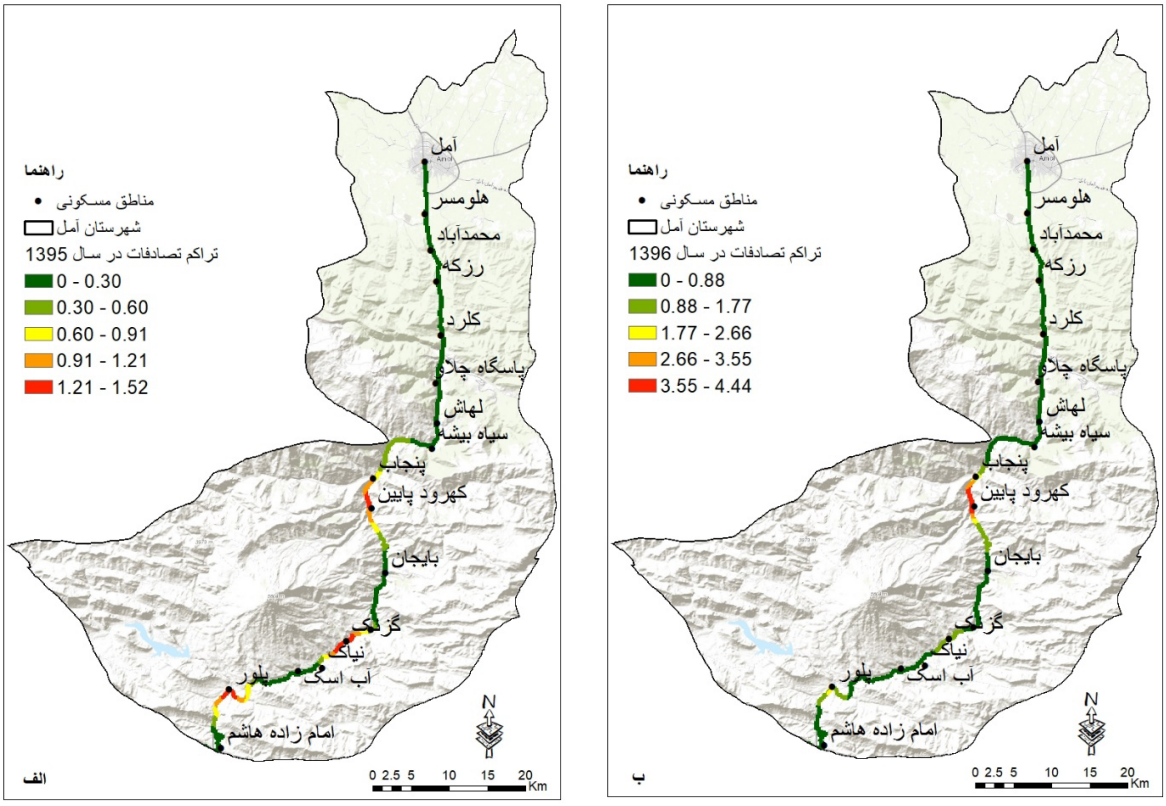
سال	طول جاده در کلاس‌های با تراکم خیلی زیاد و زیاد (کیلومتر)	طول جاده در کلاس با تراکم متوسط (کیلومتر)	طول جاده در کلاس‌های با تراکم کم و خیلی کم (کیلومتر)
۱۳۹۵	۱۷/۴۵	۸/۲۵	۸۲/۳۷
۱۳۹۶	۶/۳۱	۹/۱۰	۹۲/۶۳
۱۳۹۷	۵/۳۸	۲/۸۱	۹۹/۸۲
۱۳۹۸	۶/۳۳	۱۰/۶۲	۹۱/۰۵
۱۳۹۹	۴/۹۴	۶/۰۱	۹۷/۰۶
میانگین	۸/۰۸	۷/۳۶	۹۲/۵۸



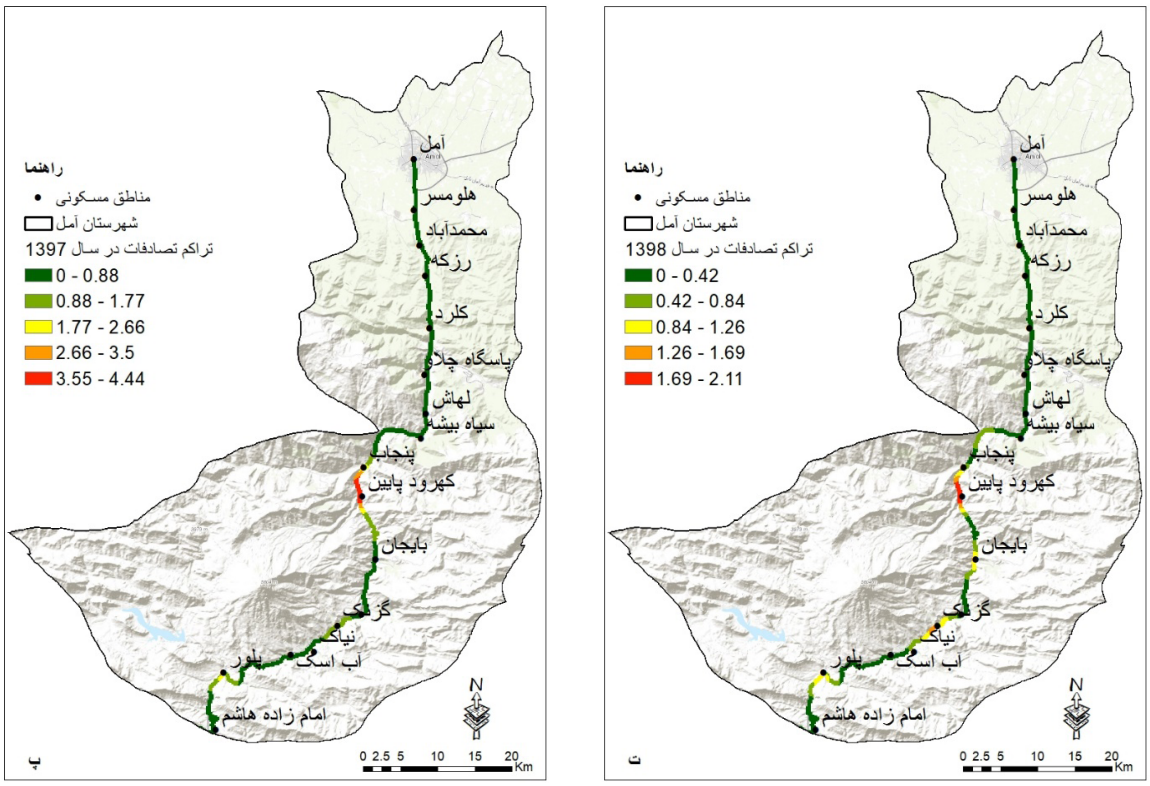
تصویر ۲. تعداد تصادفات، تعداد افراد مصدوم‌شده و تعداد افراد فوت‌شده در محور هراز در فصل‌های مختلف سال‌های ۵۹۳۱تا ۹۹۳۱ (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر)

هستند. در این زمینه، نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه بر روی میانگین تراکم تصادفات جاده‌ای نیز نشان داده است که ازنظر آماری اختلاف معناداری بین میانگین تراکم تصادفات جاده‌ای در بازه زمانی ۵ ساله بین کلاس‌های تراکم خیلی کم تا خیلی زیاد وجود دارد (P= ۰/۰۰). تراکم پایین تصادفات جاده‌ای در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ می‌تواند به دلیل بحران کرونا و عدم مسافرت توسط گردشگران سراسر کشور به استان مازندران و همچنین افراد بومی شهرستان آمل جهت استفاده از مناطق ییلاقی موجود در امتداد محور هراز باشد. در این زمینه، جمع‌آوری آمار تصادفات از سال‌های ۱۴۰۰ به بعد و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها می‌تواند جهت بررسی و تعیین روند احتمالی صعودی و یا نزولی تراکم تصادفات بعد از پایان همه‌گیری کرونا مورد استفاده قرار بگیرد.

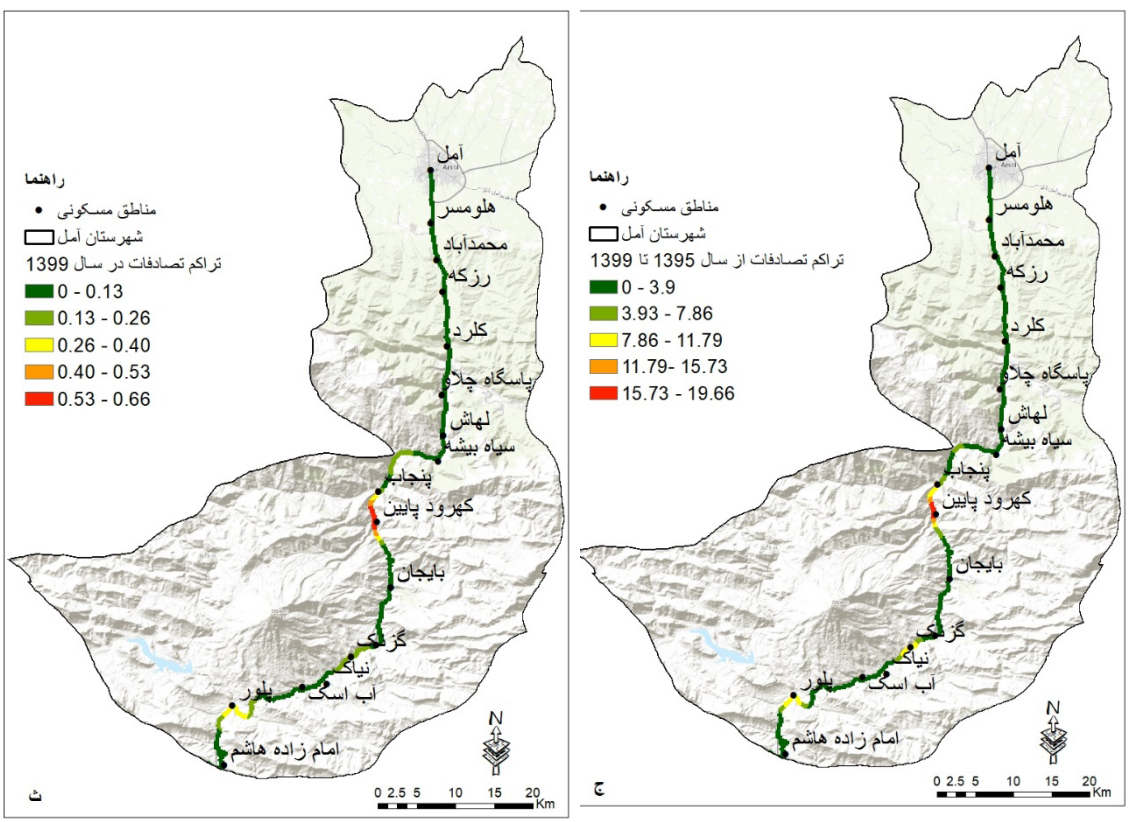
علاوه‌براین، تغییرات طول جاده در کلاس‌های مختلف تراکم تصادفات براساس نتایج حاصل از اعمال تابع تخمین کرنل نشان می‌دهد میانگین طول جاده در بازه زمانی ۵ ساله ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹، به مقدار تقریبی ۸ کیلومتر شامل تراکم خیلی زیاد و زیاد تصادفات جاده‌ای است. همچنین، تقریباً ۷ کیلومتر از محور هراز دارای تراکم متوسط تصادفات جاده‌ای و بیش از ۹۰ کیلومتر از



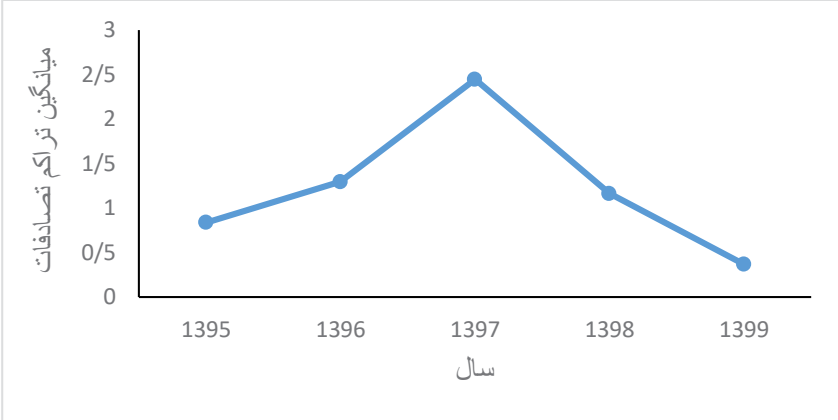
تصویر ۳. تابع تخمین تراکم کرنل اعمال‌شده بر روی داده‌های تصادفات در سال‌های ۵۹۳۱(الف)، ۶۹۳۱ (ب)، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



تصویر ۴. تابع تخمین تراکم کرنل اعمال‌شده بر روی داده‌های تصادفات در سال‌های ۷۹۳۱(پ)، ۸۹۳۱ (ت)، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



تصویر ۵. تابع تخمین تراکم کرنل اعمال‌شده بر روی داده‌های تصادفات در سال ۹۹۳۱ (ث)، تابع تخمین تراکم کرنل اعمال‌شده بر روی مجموع تصادفات در بازه زمانی ۵ ساله ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ (ج)، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



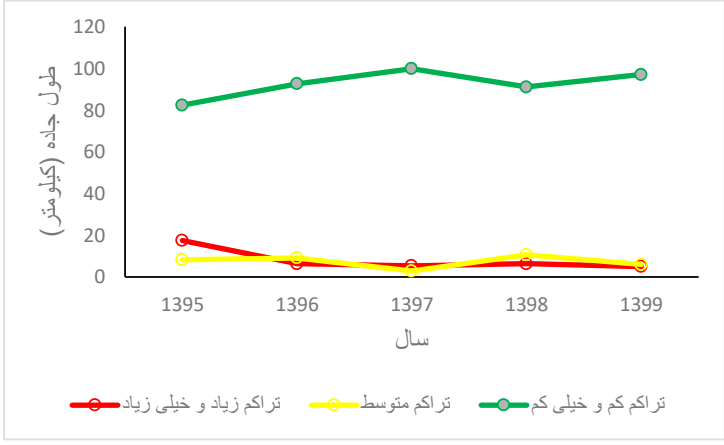
تصویر ۶. تغییرپذیری میانگین تراکم تصادفات در بازه زمانی ۵ ساله ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ در محور هراز، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

طول محور هراز شامل تراکم خیلی کم و کم تصادفات جاده‌ای است (جدول شماره ۳ و تصویر شماره ۷). بنابراین، بخش‌هایی از محور هراز که در آن تراکم، تصادفات بالا است، می‌بایستی مورد توجه و برنامه‌ریزی توسط سازمان‌هایی نظیر سازمان حمل‌ونقل و ترافیک جاده‌ای، اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، پایگاه‌های امداد و نجات، اورژانس و پلیس راهنمایی و رانندگی در جهت انجام اقدامات لازم برای کاهش تصادفات قرار گیرد.

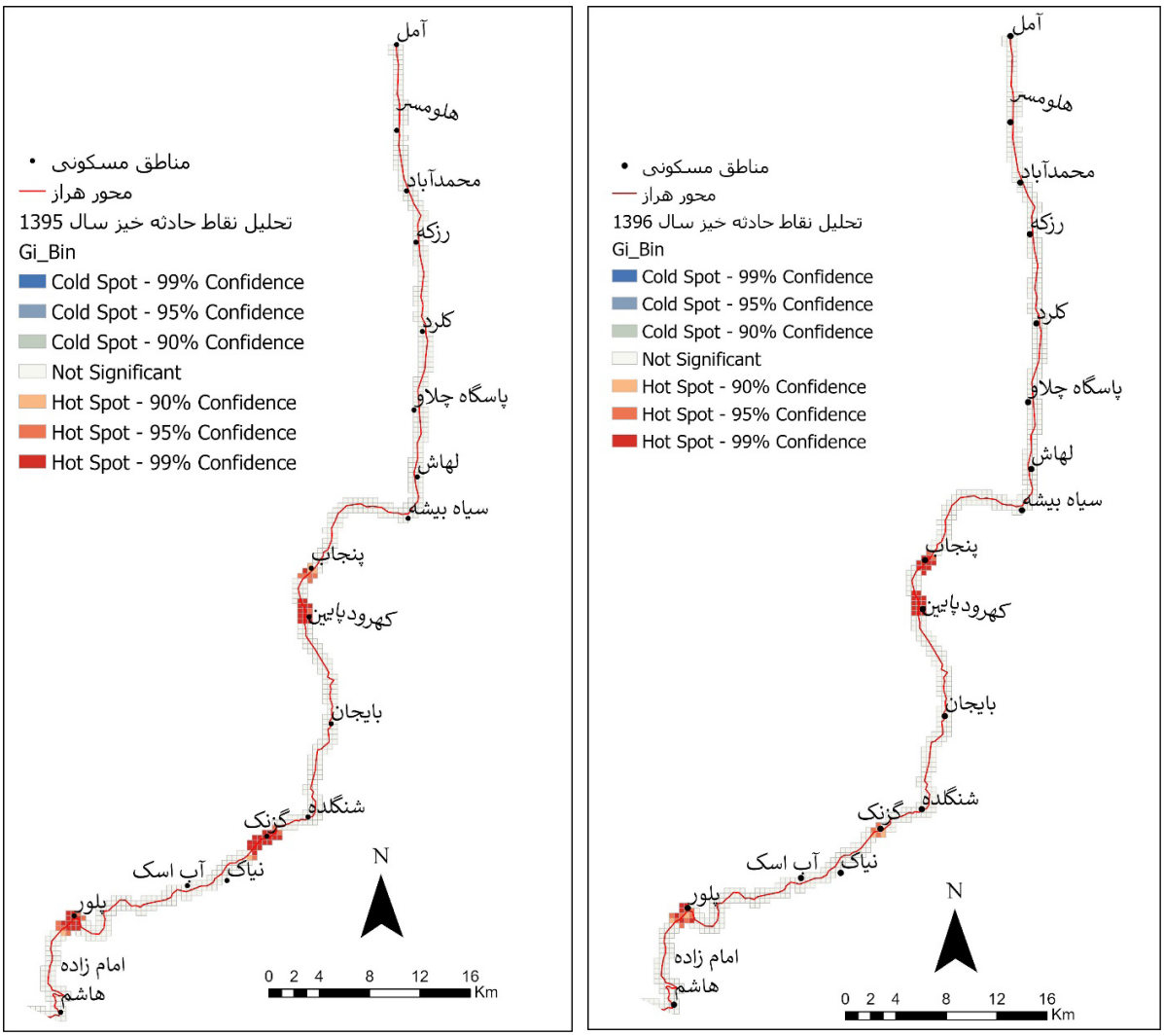
تحلیل مکانی‌زمانی تصادفات جاده‌ای با استفاده از تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز

نتایج استفاده از شاخص آمار مکانی Getis-Ord Gi* در روش تحلیل مکانی‌زمانی نقاط حاد حادثه‌خیز بر روی مجموع تصادفات جاده‌ای در بازه زمانی ۵ ساله ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ نشان می‌دهد در ۴ قسمت از محور هراز که شامل مناطق پنجاب، کهرود پایین، گزنک و پلور است، خوشه‌های مکانی تصادفات به‌عنوان نقاط حاد حادثه‌خیز شناسایی شده که ازنظر آماری با مقادیر میانگین Z-score = 4.49 ،P-value = 0.001 ،Gi-bin > 0 و سطح اطمینان ۹۰ تا ۹۹ درصد، معنی‌دار هستند (تصویر شماره ۱۰،ج و جدول شماره ۴). طول محور هراز در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده به‌طور تقریبی ۶ کیلومتر است که شامل ۴۲ درصد از تصادفات به‌وقوع‌پیوسته در محور هراز در بازه زمانی ۵ ساله است (جدول شماره ۴).

همچنین نتایج حاصل از تحلیل مکانی‌زمانی سالانه نقاط حاد حادثه‌خیز نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۵، ۴ خوشه مکانی تصادفات در منطقه‌های پنجاب، کهرود پایین، گزنک و پلور به طول تقریبی ۹ کیلومتر با مقادیر میانگین Z-score = 4.43 ،P-value < 0.05 ،Gi-bin > 0 و سطح اطمینان ۹۰ تا ۹۹ درصد شناسایی شده است که شامل ۵۲ درصد از تصادفات رخداده در سال ۱۳۹۵ است (تصویر شماره ۸، الف و جدول شماره ۴). علاوه‌براین، در سال ۱۳۹۶ نیز همان ۴ خوشه مکانی تصادفات شناسایی‌شده در سال ۱۳۹۵، شناسایی شده که مجدداً شامل ۵۲ درصد تصادفات رخداده است، ولی طول جاده در این خوشه‌ها



تصویر ۷. تغییرات طول جاده در کلاس‌های مختلف تراکم تصادفات خیلی زیاد و زیاد، متوسط، کم و خیلی کم در بازه زمانی ۵ ساله ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ در محور هراز، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



تصویر ۸. تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در امتداد محور هراز در سال‌های ۵۹۳۱ (الف) و ۶۹۳۱ (ب)، (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

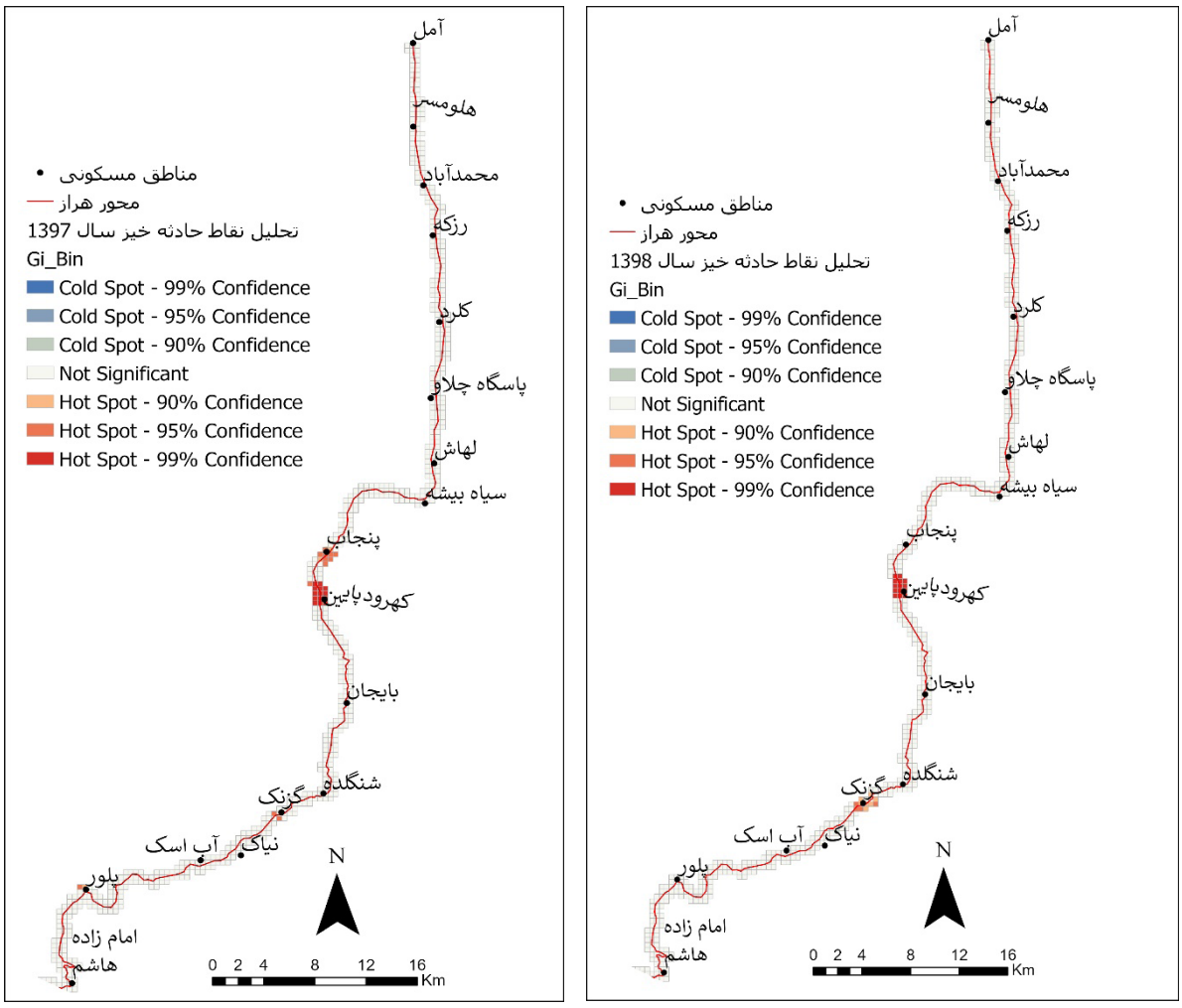
به طور تقریبی ۱ کیلومتر کاهش پیدا کرده است (تصویر شماره ۸، ب و جدول شماره ۴). مهم‌تر اینکه، در طول زمان و از سال ۱۳۹۶ به بعد، تعداد خوشه‌های مکانی تصادفات، درصد تصادفات به‌وقوع‌پیوسته و همچنین طول جاده در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده به نحو چشمگیری کاهش پیدا کرده است. به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۹، فقط ۱ خوشه مکانی تصادفات در منطقه کهرود پایین با ۳۵ درصد تصادفات رخ‌داده به طول تقریبی ۲ کیلومتر شناسایی شده است (تصویر شماره ۹، پ و ت؛ تصویر شماره ۱۰ ث و جدول شماره ۴).

کاهش تعداد خوشه‌های مکانی تصادفات و به تبع آن کاهش طول جاده در مناطق حاد حادثه‌خیز در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر اپیدمی کرونا بر روی کاهش مسافرت گردشگران به مناطق شمالی کشور باشد. همچنین موقعیت مکانی خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده با استفاده از شاخص آماری Getis-Ord Gi* منطبق بر مناطق با تراکم بالای تصادفات جاده‌ای به‌دست‌آمده در روش تخمین تراکم کرنل است (تصویرهای شماره ۳ تا ۵ و ۸ تا ۱۱).

همچنین نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه بر روی مقادیر Z-score در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۹ نشان می‌دهد که ازنظر آماری، میان میانگین مقادیر Z-score تغییرپذیری معناداری وجود دارد (P<۰/۰۵) (تصویر شماره ۱۲).

بحث و نتیجه‌گیری

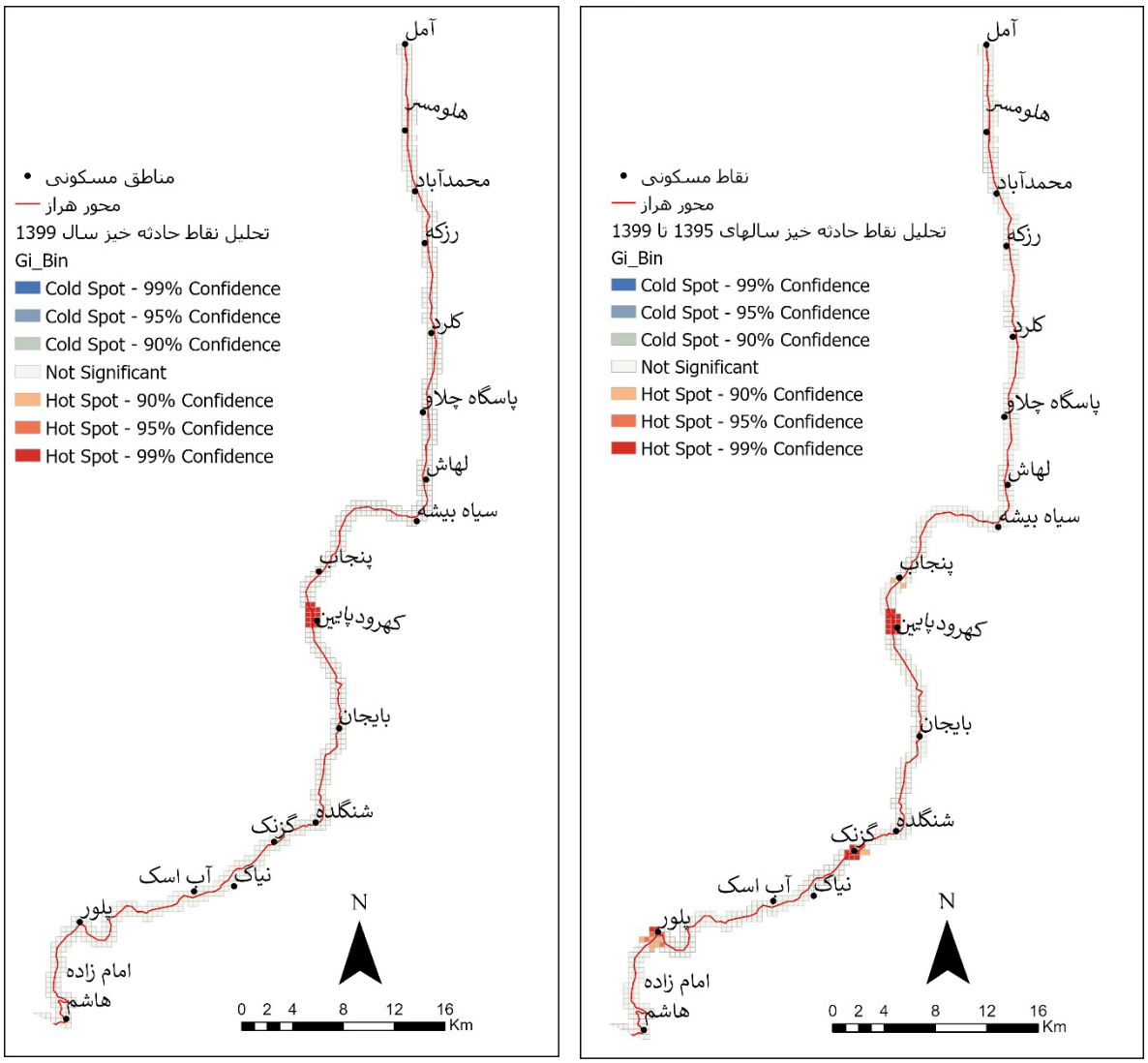
شکل‌گیری خوشه‌های مکانی تصادفات در امتداد محور هراز می‌تواند به دلایل مختلفی همچون وجود جاده‌های فرعی انحرافی، عدم وجود عرض کافی در قسمت‌هایی از محور و همچنین شرایط آب‌وهوایی و وجود مخاطرات محیطی نظیر وقوع زمین‌لغزش و ریزش قطعات سنگی باشد که نیازمند بررسی در مطالعات آینده است. به‌عنوان مثال، هر ۴ خوشه مکانی تصادفات شناسایی‌شده



تصویر ۹. تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در امتداد محور هراز در سال‌های ۷۹۳۱ (پ) و ۸۹۳۱ (ت)، (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

در مناطق پنجاب، کهرود پایین، گزنک و پلور در محل اتصال محور اصلی هراز به جاده‌های فرعی انحرافی جهت دستیابی به روستاهای ییلاقی قرار دارند (تصویر شماره ۱۳). علاوه‌براین، خوشه مکانی تصادف شناسایی‌شده در منطقه پنجاب و کهرود پایین به دلیل وجود سازند شمشک ازنظر زمین‌شناسی مستعد وقوع زمین لغزش و ریزش قطعات سنگی است که می‌تواند نقش مؤثری در بروز سوانح جاده‌ای ایفا کند (دهقان فاروجی و همکاران، ۱۴۰۱: ۳۸). همچنین احتمالاً، وجود خوشه مکانی تصادف در منطقه‌های گزنک و پلور نیز می‌تواند به دلایلی همچون عرض پایین جاده و همچنین وجود راه‌های فرعی انحرافی جهت دسترسی به مناطق توریستی نظیر آب گرم لاریجان، قله دماوند، دشت و سد لار و همچنین مناطق ییلاقی توریستی نظیر روستاهای نیاک، نوا و پلور باشد. بنابراین مطالعات آینده می‌تواند نقش و تأثیر هرکدام از این عوامل را در تشکیل خوشه‌های مکانی تصادفات مورد بررسی قرار دهد. البته می‌بایستی تأکید شود که نقش عوامل انسانی نظیر عدم تمرکز و بی‌دقتی رانندگان در وقوع تصادفات جاده‌ای انکارناپذیر است که در ترکیب با عوامل ذکرشده می‌تواند در شکل‌گیری خوشه‌های مکانی تصادفات نقش داشته باشد. بنابراین فرهنگ‌سازی، آموزش، آگاهی‌بخشی نسبت به وجود مناطق پرخطر و همچنین وجود و اجرای قوانین بازدارنده راهنمایی و رانندگی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای بر اثر خطاهای انسانی ایفا کند.

خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده در امتداد جاده هراز می‌توانند نقش قابل‌ملاحظه‌ای در مراحل مختلف مدیریت بحران سوانح و حوادث جاده‌ای ایفا کنند. در فاز پیشگیری مدیریت بحران، خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده می‌توانند جهت بررسی و مطالعه عوامل مؤثر در بروز تصادفات جاده‌ای مورد استفاده قرار بگیرند. شناخت و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات جاده‌ای از قبیل عوامل انسانی، وضعیت زیرساختی و هندسی جاده، عوامل اقلیمی، توپوگرافی و زمین‌شناسی در خوشه‌های مکانی تصادفات می‌تواند نقش مؤثری در کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای ایفا کند. به‌عنوان نمونه، افزایش آگاهی، اطلاع‌رسانی و هشداردهی مناسب با علائم و تابلوهای راهنمایی به مسافران، بهبود کیفیت زیرساختی جاده، استفاده از دیوارهای



تصویر ۰۱. تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز در امتداد محور هراز در سال ۹۹۳۱ (ث) و تحلیل نقاط حادثه‌خیز بر روی مجموع تصادفات در بازه زمانی ۵ ساله ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ (ج)، (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

حائل به‌منظور محافظت از وقوع رانش و زمین‌لغزش می‌تواند باعث کاهش وقوع تصادفات بشود. در کنار موارد مذکور، استقرار پایگاه‌های امداد و نجات و اورژانس در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده و یا نزدیکی آن‌ها می‌تواند نقش مؤثری در فازهای آماده‌سازی و واکنش مدیریت بحران در ارائه سریع خدمات اورژانسی و درمانی به هنگام وقوع تصادفات جاده‌ای داشته باشد.

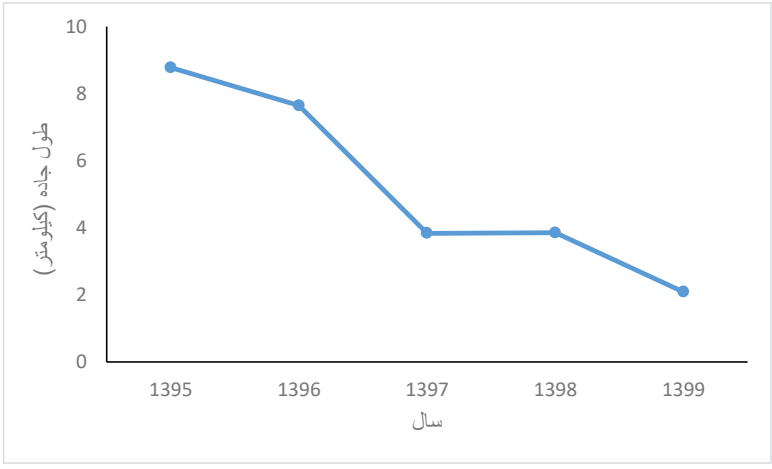
نکته قابل‌توجه دیگر در نتایج به‌دست‌آمده در روش تحلیل مکانی‌زمانی نقاط حاد حادثه‌خیز، عدم شناسایی و وجود نقاط با ریسک پایین خطر وقوع تصادفات در طول محور هراز در بازه زمانی ۵ ساله ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ است (Gi-bin < 0) (تصویرهای شماره ۸ تا ۱۰). در این رابطه، به‌طور میانگین و با مقدار تقریبی ۱۱۹ کیلومتر از طول محور هراز، نقاط حاد پرخطر و نقاط کم‌خطر وجود ندارد که نشان‌دهنده تصادفی بودن[8] وقوع تصادفات جاده‌ای در این بازه طولی است (Z-score=-0/33 و P= 0/5 و Gi-Bin = 0). در این زمینه، بسیاری از بخش‌های محور هراز به‌خصوص از شهر آمل تا منطقه پنجاب به دلیل گسترش زیرساختار حمل‌ونقل، تعریض جاده و همچنین ۴ بانده شدن مسیر، از کیفیت مناسبی جهت تردد وسایل نقلیه برخوردار است که می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل عدم وقوع فراوان تصادفات و تشکیل خوشه‌های مکانی تصادفات مخصوصاً در این قسمت از محور هراز باشد.

در قسمت‌هایی از محور مواصلاتی استراتژیک و توریستی هراز در استان مازندران تراکم توزیع تصادفات جاده‌ای نسبت به سایر قسمت‌ها زیادتر بوده و چندین خوشه مکانی تصادفات در بازه زمانی ۱۳۹۵ تا

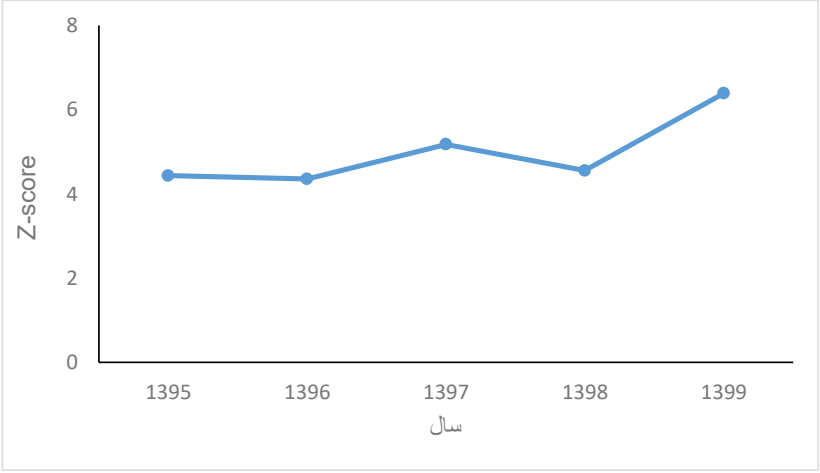
8. Randomness

جدول ۴. شاخص‌های آماری تحلیل نقاط حادثه خیز در خوشه‌های مکانی تصادفات در بازه زمانی ۵ ساله ۵۹۳۱تا ۹۹۳۱، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

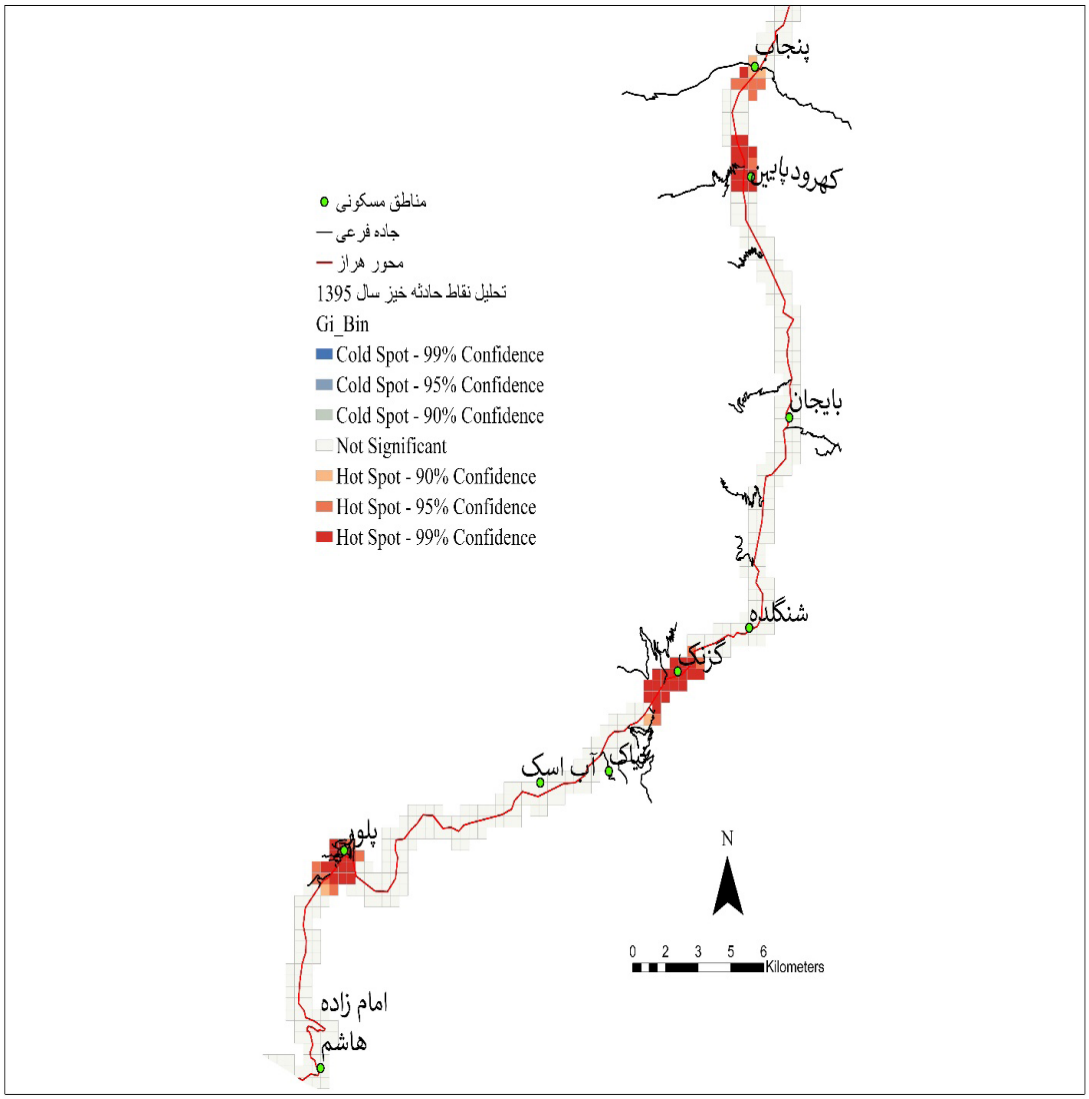
سال	میانگین P-value	میانگین Z-score	تعداد خوشه‌های مکانی تصادفات	طول جاده در خوشه‌های مکانی تصادفات (کیلومتر)	درصد تصادفات در خوشه‌های مکانی تصادفات
۱۳۹۵	۰/۰۰۰	۴/۴۳	۴	۸/۷۷۷	۵۲
۱۳۹۶	۰/۰۰۰	۴/۳۵	۴	۷/۶۴۴	۵۲
۱۳۹۷	۰/۰۰۰	۵/۱۷	۳	۳/۸۳۹	۳۷
۱۳۹۸	۰/۰۰۰	۴/۵۵	۲	۳/۸۵۴	۳۳
۱۳۹۹	۰/۰۰۰	۶/۳۸	۱	۲/۰۸۷	۳۵
۱۳۹۹-۱۳۹۵	۰/۰۰۱	۴/۴۹	۳	۶/۰۷۵	۴۲



تصویر ۱۱. تغییرات طول جاده در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده در بازه زمانی ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ در محور هراز، (ماخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



تصویر ۲۱. تغییرات میانگین مقادیر erocs-Z شاخص آمار مکانی *iG drO-stieG در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده در بازه زمانی ۵۹۳۱ تا ۹۹۳۱ در محور هراز، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).



تصویر ۳۱. وجود جاده‌های فرعی انحرافی در موقعیت مکانی خوشه‌های تصادفات شناسایی‌شده در سال ۵۹۳۱، (مأخذ، یافته‌های پژوهش حاضر).

۱۳۹۹ شناسایی شده است. نتایج حاصل از اعمال تابع برآورد تراکم کرنل نشان داده است که در بازه زمانی ۵ ساله، تقریباً ۸ کیومتر از محور هراز دارای بالاترین مقدار تراکم تصادفات جاده‌ای است و منطقه پنجاب تا کهرود پایین به‌عنوان خطرناک‌ترین منطقه ازنظر تراکم بالای تصادفات جاده‌ای شناسایی شده است. همچنین نتایج حاصل از تحلیل نقاط حاد حادثه‌خیز نیز منطبق بر نتایج به‌دست‌آمده از روش تابع تخمین کرنل است که در آن در مناطقی همچون کهرود پایین، پنجاب، گزنک و پلور خوشه‌های مکانی تصادفات به طول تقریبی ۶ کیلومتر که شامل ۴۲ درصد تصادفات جاده‌ای در بازه زمانی ۵ ساله است، شناسایی شده است. روند کاهشی مکانی‌زمانی تراکم تصادفات و همچنین طول جاده در خوشه‌های مکانی تصادفات شناسایی‌شده در بازه زمانی ۵ ساله می‌تواند نشان‌دهنده توجه سازمان‌های مرتبط با حمل‌ونقل و ترافیک جاده‌ای نسبت به مناطق پرخطر ازنظر وقوع تصادفات جاده‌ای و انجام اقدامات ساختاری، قانونی و آموزشی در جهت کاهش وقوع تصادفات جاده‌ای در محور هراز باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در این مقاله رعایت شده است.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

طراحی ساختار مقاله، انجام روش تحقیق و تفسیر نتایج: جلال سمیعا؛ جمع‌آوری داده‌ها و اجرای بخشی از روش تحقیق: منوچهر رنجبر شوبی؛ بازنگری نهایی: عامر نیک‌پور.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از سازمان امداد و نجات جمعیت هلال احمر استان مازندران به خاطر فراهم آوردن آمار تصادفات جاده‌ای در محور هراز نهایت تشکر را دارند.

References

Afshari, M. R. (2008). [The effects of climate factors on road accidents of Rasht to Anzali (Persian)]. *Journal of The Studies of Human Settlements Planning, 3*(7), 9-26. [Link]

Aghajani, M. A., Dezfoulian, R. S., Arjroody, A. R., & Rezaei, M. (2017). Applying GIS to identify the spatial and temporal patterns of road accidents using spatial statistics (case study: Ilam Province, Iran). *Transportation Research Procedia, 25,* 2126-2138. [DOI:10.1016/j.trpro.2017.05.409]

Alejano, L. R., Stockhausen, H. W., Alonso, E., Bastante, F. G., & Oyanguren, P. R. (2008). ROFRAQ: A statistics-based empirical method for assessing accident risk from rockfalls in quarries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 45*(8), 1252-1272. [DOI:10.1016/j.ijrmms.2008.01.003]

Anderson, T. (2007). Comparison of spatial methods for measuring road accident 'hotspots': A case study of London. *Journal of Maps, 3*(1), 55-63. [DOI:10.4113/jom.2007.72]

Bahadori, M., Nasiripur, A., Tofighi, S., & Gohari, M. (2010). Emergency medical services in Iran: An overview. *Australasian Medical Journal (Online), 3*(6), 335. [Link]

Bergel-Hayat, R., Debbarh, M., Antoniou, C., & Yannis, G. (2013).Explaining the road accident risk: Weather effects. *Accident Analysis & Prevention, 60,* 456-465. [DOI:10.1016/j.aap.2013.03.006] [PMID]

Dehghan Farouji, F., & Beitollahi, A. (2022). [The geology of the Haraz Road in the Province of Mazandaran with Emphasis on identifying Natural Hazards (Persian)]. *Road, 30*(113), 33-56. [Link]

de Winter, J. C., & Dodou, D. (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. *Journal of Safety Research, 41*(6), 463-470. [DOI:10.1016/j.jsr.2010.10.007] [PMID]

Deublein, M., Schubert, M., & Adey, B. T. (2014). Prediction of road accidents: Comparison of two Bayesian methods. *Structure and Infrastructure Engineering, 10*(11), 1394-1416. [DOI:10.1080/15732479.2013.821139]

Elvik, R. (2013). Risk of road accident associated with the use of drugs: A systematic review and meta-analysis of evidence from epidemiological studies. *Accident Analysis & Prevention, 60,* 254-267. [DOI:10.1016/j.aap.2012.06.017] [PMID]

Geurts, K., & Wets, G. (2003). *Black spot analysis methods: Literature review*. Diepenbeek: Universitaire Campus GEBOUW D. [Link]

Gorea, R. K. (2016). Financial impact of road traffic accidents on the society. *International Journal of Ethics, Trauma & Victimology, 2*(01), 6-9. [Link]

Hakim, S., Shefer, D., & Hocherman, I. (1991). A critical review of macro models for road accidents. *Accident Analysis & Prevention, 23*(5), 379-400. [DOI:10.1016/0001-4575(91)90058-D]

Hasani, V., & Jahanbin, N. (2019). [Spatial-spatial analysis of the inland urban crash using spatial GIS and Fuzzy Model (Case study: Kerman city))(Persian)]. *Journal of Urban Social Geography, 6*(1), 57-70. [Link]

Islam, K., Reza, I., Gazder, U., Akter, R., Arifuzzaman, M., & Rahman, M. M. (2022). Predicting road crash severity using classifier models and crash hotspots. *Applied Sciences, 12*(22), 11354. [DOI:10.3390/app122211354]

Mohammadi, N., & Sasanpour, F. (2021). [Landslide and debris flow risk analysis in Haraz and Lavasanat roads (Persian)]. *Water and Soil Management and Modelling, 1*(4), 14-29. [Link]

Nazmfar, H., Eshghei Char Borj, A., Alavi, S., & Jasaraty, A. (2017). [Spatial analysis of road accidents resulting in death approach to climate Case Study: Ardabil Province (Persian)]. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 26*(103), 83-97. [Link

Petrova, E. (2011). Critical infrastructure in Russia: Geographical analysis of accidents triggered by natural hazards. *Environmental Engineering & Management Journal , 1*(1), 53-58. [Link]

Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 21,* 317-325. [DOI:10.1016/j.sbspro.2011.07.020]]

Sakhare, A. V., & Kasbe, P. S. (2017). *A review on road accident data analysis using data mining techniques*. Paper presented at: 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), Coimbatore, India, 17-18 March 2017 . [DOI:10.1109/ICIIECS.2017.8275920]

Satria, R., & Castro, M. (2016). GIS tools for analyzing accidents and road design: A review. *Transportation Research Procedia, 18,* 242-247. [DOI:10.1016/j.trpro.2016.12.033]

Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D., & Quddus, M. A. (2011). The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. *Accident; Analysis and Prevention, 43*(5), 1666–1676. [DOI:10.1016/j.aap.2011.03.025] [PMID]

Seydai, S. E., Jahangir, E., Darabkhani, R., & Panahi, A. (2020). [Recognizing the Eventful points of the axes of Alborz province using the kernel density method (Persian)]. *Human Geography Research, 52*(3), 939-951. [Link]

Shahzad, M. (2020). Review of road accident analysis using GIS technique. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 27*(4), 472-481. [DOI:10.1080/17457300.2020.1811732] [PMID]

Silverman, B. W. (1986) *Density estimation for statistics and data analysis*. London: Chapman & Hall. [Link]

Sipos, T. (2017). Spatial statistical analysis of the traffic accidents. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 45*(2), 101-105. [DOI:10.3311/PPtr.9895]]

Smith, K. (1982). How seasonal and weather conditions influence road accidents in Glasgow. *Scottish Geographical Magazine, 98*(2), 103-114. [DOI:10.1080/00369228208736523]

Stephen, L., Kelakom, G. G., Sojan, J. M., Sreelakshmi, K. S., & Vishnu, N. B. (2018). Identification and analysis of accident blackspots using GIS. *International Research Journal of Engineering and Technology, 5*(03), 3455-3459. [Link]

Wang, M, Yi, J., Chen, X., Zhang, W., & Qiang, T. (2021). Spatial and temporal distribution analysis of traffic accidents using GIS-Based Data in Harbin. *Journal of Advanced Transportation, 2021* 1-10. [DOI:10.1155/2021/9207500]

WHO. (2018). *Global status report on road safety 2018*. Geneva: WHO. [Link]

Xie, Z., & Yan, J. (2008). Kernel density estimation of traffic accidents in a network space. Computers, *Environment and Urban Systems, 32*(5), 396-406. [DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2008.05.001]

Zeynali, S., Hosseinali, F., Sadeghi Niaraki, A., Kazemi Beydokhti, M., & Effati, M. (2015). [Spatial analysis of accidents at the suburban intersections using Kernel Density Estimation and Spatial Autocorrelation Methods (Persian)]. *Engineering Journal of Geospatial Information Technology, 3*(2), 21-42. [Link]