

Original Article



Spatio-Temporal Analyses of Pedestrian Accidents Using Time Series and Differential Moran's I, Case Study: Mashhad

Matin Shahri* and Mohammad Amin Ghannadi

Affiliation

Dep. of Geoscience
Engineering, Arak University
of Technology, Arak, Iran

ABSTRACT

Introduction: Pedestrians are considered the most vulnerable road users due to their lack of protective measures, making their safety crucial in transportation planning. Numerous studies have analyzed pedestrian accidents, focusing on predictive models, risk factors, and spatial-temporal patterns. These analyses highlight the importance of identifying high-risk areas and implementing preventive measures. Spatial and temporal autocorrelation effects are significant in understanding accident patterns, and methods like Moran's I index and Kernel Density Estimation are commonly used. The study of Mashhad, Iran, emphasizes the impact of rapid socio-economic growth on traffic accidents and the need for targeted safety interventions to protect pedestrians.

Materials & Methods: In this study, a time series exploratory analysis was used to examine pedestrian accidents on a monthly and hourly basis over a five-year period (2015-2019). Next, the presence of temporal autocorrelation and trends in pedestrian accidents were discussed. Then, using time series homogeneity analysis, the change points in the occurrence of accidents were examined. Finally, to extract spatial patterns of changes in pedestrian accidents during the study period, the differential Moran's I index was applied.

Results & Discussions: Using time series analysis, the temporal pattern and significant temporal autocorrelation in the monthly and hourly values of pedestrian accidents were confirmed. The results of the Mann-Kendall test, considering the effects of autocorrelation, also confirmed the presence of a significant trend in pedestrian accidents for different months of the year and different hours of the day. Additionally, through the homogeneity analysis of the time series using the Buishand test, the timing of sudden changes in accidents at different hours of the day (7:00-8:00 AM) and different months of the year (July and September) was identified. The results of using the differential Moran's I index also showed significant spatial correlation in the changes in pedestrian accidents between the initial time period (2015) and the end of the analysis period (2019), identifying areas with significant changes.

Conclusion: In this study, pedestrians, as one of the most vulnerable road users, were considered, and the changes in the occurrence of related accidents over a five-year period (2015-2019) were evaluated using time series analysis and differential Moran's I spatio-temporal analysis in the metropolis of Mashhad. Significant temporal autocorrelation in monthly and hourly scales was also confirmed in the occurrence of accidents, showing a specific trend in pedestrian accidents in different months of the year and different hours of the day. Finally, the timing of monthly and hourly changes was identified. The results showed significant spatio-temporal autocorrelation in the changes in accidents between the initial (2015) and final (2019) time slices for different months. However, there was no significant spatio-temporal correlation for different hours, indicating that reducing the temporal scale leads to the loss of spatial correlations. The results of this study can serve as a first step in identifying and analyzing spatio-temporal patterns, identifying changes in pedestrian accidents, and allowing safety experts and decision-makers to evaluate the identified areas through local inspections.

Keywords: Spatio-temporal analyses, Time series, homogeneity analyses, Differential Moran's I, Pedestrian accidents.

Citation:

Shahri, M., Ghannadi, M. A.,
*Spatio-Temporal Analyses of
Pedestrian Accidents Using
Time Series and Differential
Moran's I, Case Study:
Mashhad, Iran J Remote Sens
GIS. 17(1):79-108.*

* Corresponding Author: shahri@arakut.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/GISJ.2024.228548.1112>

Received: 2022.08.29

Accepted: 2023.12.30



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



تحلیل زمانی- مکانی تصادفات عابران پیاده با استفاده از سری زمانی و شاخص Moran's I تفاضلی (مطالعه موردی: شهر مشهد) متین شهری* و محمدامین قنادی

چکیده

سابقه و هدف: عابران پیاده، به دلیل نبود تدابیر حفاظتی، آسیب‌پذیرترین کاربران راه شناخته می‌شوند و ایمنی آنها در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بسیار حیاتی است. مطالعات متعددی که تصادفات عابران پیاده را تحلیل کرده‌اند معمولاً بر مدل‌های پیش‌بینی، عوامل خطر و الگوهای مکانی- زمانی متمرکز بوده‌اند. این تحلیل‌ها بر اهمیت شناسایی مناطق پرخطر و اجرای اقدامات پیشگیرانه تأکید می‌کنند. تأثیرات خودهمبستگی مکانی و زمانی در درک الگوهای تصادفات بسیار مهم است و شاخص‌هایی مانند Moran's I و تخمین تراکم کرنل، در این حوزه، کاربرد گسترده‌ای دارند. با توجه به موارد یادشده، مطالعه پیش رو تأثیر رشد سریع اجتماعی- اقتصادی در تصادفات ترافیکی و نیاز به مداخلات ایمنی هدفمند برای حفاظت از عابران پیاده را، در شهر مشهد در ایران، به صورت برجسته و مؤثر نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، با استفاده از تحلیل اکتشافی سری زمانی، تصادفات عابران پیاده به صورت ماهیانه و ساعتی در بازه‌های پنج‌ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۸) بررسی شده است. در گام بعد، وجود خودهمبستگی زمانی و همچنین روند در وقوع تصادفات عابران پیاده مورد بحث قرار گرفته و سپس، با استفاده از تحلیل یکنواختی سری زمانی، زمان تغییر در وقوع تصادفات بررسی شده است. در نهایت، به منظور استخراج الگوهای مکانی تغییرات تصادفات عابران پیاده در بازه زمانی مطالعاتی، از شاخص Moran's I تفاضلی استفاده شده است.

نتایج و بحث: با استفاده از تحلیل‌های سری زمانی، الگوی زمانی و وجود خودهمبستگی زمانی معنادار در مقادیر ماهیانه و ساعتی تصادفات عابران پیاده تأیید شد. نتایج آزمون من- کندال به لحاظ کردن تأثیرات خودهمبستگی نیز وجود روند معنادار در تصادفات عابران پیاده را به‌ازای ماه‌های گوناگون سال و ساعات متفاوت شبانه‌روز تأیید کرد. همچنین، از طریق تحلیل یکنواختی سری زمانی با استفاده از آزمون بیشاند، زمان وقوع تغییرات ناگهانی تصادفات در ساعات‌های متفاوت شبانه‌روز (۷:۰۰-۸:۰۰ صبح) و همچنین ماه‌های گوناگون سال (تیر و شهریور) شناسایی شد. نتایج استفاده از شاخص Moran's I تفاضلی نیز همبستگی مکانی معنادار در تغییرات تصادفات عابران پیاده، بین دو بازه زمانی آغاز (سال ۱۳۹۴) و پایان زمان تحلیل (سال ۱۳۹۸) را نشان داد و نواحی دارای تمرکز تغییرات معنادار شناسایی شد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، عابران پیاده به‌منزله یکی از آسیب‌پذیرترین کاربران راه مورد توجه قرار گرفته‌اند و تغییرات وقوع تصادفات مرتبط با آنها در بازه زمانی پنج‌ساله‌ای (۱۳۹۴-۱۳۹۸)، با استفاده از تحلیل‌های سری زمانی و همچنین تحلیل زمانی- مکانی Moran's I تفاضلی، در کلان‌شهر مشهد ارزیابی شده است. خودهمبستگی زمانی معنادار در مقیاس ماهیانه و ساعتی نیز در وقوع تصادفات به تأیید رسید و وقوع تصادفات عابران پیاده، در ماه‌های متفاوت سال و همچنین ساعات متفاوت شبانه‌روز، نیز روند مشخصی را نشان داد و در نهایت، زمان وقوع تغییرات ماهیانه و ساعتی شناسایی شد. نتایج بیانگر خودهمبستگی زمانی- مکانی معنادار در تغییر تصادفات، در حد فاصل برش زمانی ابتدا (سال ۱۳۹۴) و انتهای زمان تحلیل (۱۳۹۸)، به‌ازای ماه‌های متفاوت بود. درعین حال همبستگی زمانی- مکانی معناداری، به‌ازای ساعات متفاوت، وجود ندارد و از این‌رو کوچک کردن مقیاس زمانی به از دست رفتن همبستگی‌های مکانی نیز منجر می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند، در قالب گام نخست شناسایی و تحلیل الگوهای زمانی- مکانی، تغییرات تصادفات عابران پیاده را شناسایی و کمک کند متخصصان حوزه ایمنی و تصمیم‌گیرندگان، با بازرسی‌های محلی، نواحی استخراج‌شده را ارزیابی نمایند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل زمانی- مکانی، سری زمانی، تحلیل یکنواختی، شاخص Moran's I تفاضلی، تصادفات عابران پیاده.

استناد: شهری، م.، قنادی، م. ا.، تحلیل زمانی- مکانی تصادفات عابران پیاده با استفاده از سری زمانی و شاخص Moran's I تفاضلی، مطالعه موردی: شهر مشهد، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴.

۱۰۸-۷۹



۱- مقدمه

کاربران آسیب‌پذیر راه به کاربرانی اطلاق می‌شود که ضمن حضور در جریان ترافیک، اغلب بیشتر در معرض خطر قرار دارند و معمولاً به هیچ شیوه‌ای از آنها محافظت نمی‌شود (Sewalkar & Seitz, 2019). بر این اساس، عابران پیاده به دلیل بهره‌مند نشدن یا بهره‌مندی بسیار اندک از ابزار حفاظتی که به جذب انرژی در حین حوادث ترافیکی منجر می‌شود، آسیب‌پذیرترین کاربران شناخته می‌شوند (WHO, 2013). با توجه به اینکه تصادفات عابران پیاده (تلفات و جراحات)، به‌ویژه طی سال‌های اخیر، بخش شایان توجهی از حوادث رانندگی را به خود اختصاص داده است، ایمنی مرتبط با چنین کاربران آسیب‌پذیری در حوزه مهندسی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مسئله‌ای حیاتی است. توجه ویژه به این موضوع از یک سو و تأکید بر حمل‌ونقل انسان‌محور در عصر حاضر، از سوی دیگر، اهمیت طراحی معابر به‌منظور ایجاد خیابان‌های کامل^۱ را نیز دوچندان کرده است (Roess et al., 2010). بنابراین موضوع عابران پیاده و تسهیلات مربوط به آنها و همچنین تحلیل‌های درزمینه ایمنی، استخراج روندها و الگوهای وقوع تصادفات و رویدادهای ناشی از آن همواره از چالش‌های مهم مدیران در حوزه حمل‌ونقل شهری بوده است. در این راستا، با اقداماتی طی سه مرحله شامل زمان قبل از تصادف، هنگام تصادف و پس از تصادف می‌توان تلفات، جراحات و خسارات ناشی از تصادفات را به حداقل ممکن رساند. بدیهی است راهکارهایی که پیش از وقوع تصادف به‌صورت پیشگیرانه بیان می‌شوند اقدامات مؤثرتری خواهند بود. این کار مستلزم شناسایی نواحی و موقعیت‌های حادثه‌خیز و پس از آن، بیان سناریوهای گوناگون به‌منظور بهبود ایمنی این نواحی است.

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های متعددی، درزمینه تحلیل تصادفات و ایمنی عابران پیاده، انجام شده است و محققان تلاش کرده‌اند حوادث ترافیکی مرتبط با عابران پیاده را از دیدگاه‌های گوناگون تحلیل کنند. برای نمونه، می‌توان

به ارائه مدل‌های پیش‌بینی تصادفات عابر پیاده (Greib, 2003; Hoxha et al., 2017; Huang et al., 2017; Santhosh et al., 2020; Shiran et al., 2018)، بررسی عوامل و پارامترهای مؤثر در وقوع تصادفات عابران پیاده (Aidoo et al., 2013; Ćosić et al., 2019; Hassanpour et al., 2017; Martin, 2006; Nabavi (Niaki et al., 2016; Sheykhfard et al., 2020; 2021) و روش‌های ارزیابی ریسک تصادفات عابران پیاده (Al-Madani & Al-Janahi, 2006; Oikawa et al., 2016; Sheykhfard et al., 2020) اشاره کرد. بررسی الگوهای وقوع تصادفات عابران پیاده (Kaygisiz et al., 2015; Mandal & Yadav, 2014; Prato et al., 2012; Theofilatos & Efthymiou, 2012) و همچنین مطرح کردن روش‌هایی به‌منظور نمایش و بصری‌سازی تصادفات عابران پیاده (Hassanpour et al., 2017; Rabbani et al., 2021; Rankavat & Tiwari, 2013; Soltani & Askari, 2014) نیز از موضوعات مورد توجه در مطالعات پژوهشگران بوده است.

هنگام مواجهه با داده‌های تصادفات و ازجمله تصادفات عابران پیاده، ویژگی‌های مشترکی در موقعیت‌های مکانی و زمانی نزدیک به هم مشاهده می‌شود که با عنوان آثار خودهمبستگی‌های مکانی و زمانی شناخته می‌شود و در نظر نگرفتن این‌گونه تأثیرات، در فرایند مدل‌سازی، نتایج تحلیل‌های معمول را تحت تأثیر چشمگیری قرار خواهد داد (Kaygisiz et al., 2015). از دیگر سو وجود الگوهای زمانی- مکانی مشخص و سازمان‌یافته که ناشی از تأثیرات خودهمبستگی مکانی و زمانی است، نقش بسیار مهمی در تحلیل‌های مرتبط با ایمنی و استخراج نقاط حادثه‌خیز ایفا می‌کند که برای برنامه‌ریزان حوزه ایمنی، اهمیت فراوانی دارد زیرا هرگونه خطا در شناسایی و تحلیل این نواحی به هدر رفتن زمان و هزینه درخور توجهی منجر خواهد شد؛ اما از زاویه‌ای

۱. خیابان‌هایی که چندوجهی‌اند و تأثیر ترافیک در خیابان‌های جوامع را کاهش می‌دهند تا محیط امن‌تر، زیست‌پذیرتر و پایدار را برای همه کاربران گسترش دهند.

عابران پیاده با زمان فعالیت‌ها می‌توانند در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدیران ایمنی نقش مهمی داشته باشد. در این راستا، یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل استفاده از سری‌های زمانی است که در تحلیل تصادفات عابران پیاده در نواحی شهری، در تحقیقات پیشین، استفاده شده است (Fernandes & Boing, 2019; Jamali-Dolatabad et al., 2020; Parvareh et al., 2018; Zhang et al., 2020). تحلیل شناسایی روند و تمایل سری زمانی به افزایش، کاهش یا حتی ثابت بودن نیز در شاخه‌های متفاوتی علوم (Ahmed et al., 2018; Marcolini et al., 2017; Tímea et al., 2020) به کار رفته است اما، در حوزه مطالعات مرتبط با ایمنی و به‌ویژه تصادفات عابران پیاده، مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است.

با توجه به اهمیت هر دو ویژگی تأثیرات مکانی و زمانی، تجمیع این دو نیز در تحلیل تصادفات عابران پیاده مورد توجه پژوهشگران بوده است. برای نمونه، فاکس^۱ و همکاران (۲۰۱۵) با در نظر گرفتن آثار مقیاس زمانی و مکانی، از سه روش کریجینگ ساده، پواسون کریجینگ و مدل یکنواخت بیزی حداکثر آنتروپی^۲ به‌منظور بررسی تصادفات عابران پیاده، طی بازه زمانی نُه‌ماهه‌ای در شهرهای کلمبیا، بهره بردند و با مقایسه نواحی حادثه‌خیز^۳ در برش‌های زمانی متفاوت، روش‌های یادشده را با یکدیگر مقایسه کردند. بلاسکس و سلیس^۴ (۲۰۱۳)، طی مطالعه‌ای، تصادفات عابران پیاده کودک طی بازه زمانی نُه‌ساله‌ای را در شهر سانتیاگو شیلی ارزیابی کردند. طی این تحقیق، با استفاده از روش تخمین تراکم (KDE)^۵، هفت ناحیه بحرانی با خطر وقوع تصادفات بالا شناسایی شد و سپس شاخص همبستگی مکانی Moran' I^۶، به‌منظور ارزیابی ارتباط مکانی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات، به

دیگر، درک درست و شناسایی صحیح این نواحی به اولویت‌بندی مناسب در فرایندهای سیاست‌گذاری و تخصیص مناسب بودجه و زمان خواهد انجامید. پژوهشگران تأثیرات همبستگی‌های مکانی در تحلیل‌های مرتبط با تصادفات عابران پیاده را از دیدگاه‌های متفاوتی بررسی کرده‌اند. برای نمونه، می‌توان به بررسی تأثیرات مکانی عوامل مؤثر در وقوع تصادفات عابران پیاده در تقاطعات (Afshari et al., 2021; Munira et al., 2020; Stipancic et al., 2020; Xu et al., 2016)، تحلیل‌های مکانی مرتبط با تصادفات منجر به فوت (Bajada & Attard, 2021; Hasani et al., 2019) و منجر به جرح عابر پیاده (Shabanikiya et al., 2020) و همچنین استخراج الگوهای مکانی حاکم بر وقوع تصادفات عابران پیاده (Bunnarong & Upala, 2018; Schneider et al., 2004; Siddiqui et al., 2012; Truong & Somenahalli, 2011) اشاره کرد. به‌طورویژه، شاخص Moran's I استاندارد نیز به‌منزله یکی از ابزارهای متداول ارزیابی خودهمبستگی مکانی، ضمن مطالعات گوناگون در حوزه ایمنی و تحلیل تصادفات عابران پیاده، در مطالعات پیشین به کار رفته است (Aparidian et al., 2020; Blazquez & Celis, 2013; Hasani et al., 2019; Murat et al., 2017; Shbeeb, 2023; Truong & Somenahalli, 2011; Yigit Katanalp et al., 2023).

ازدیگرسو وقوع تصادفات و حوادث ترافیکی، علاوه‌بر اینکه در موقعیت‌های مکانی گوناگون متفاوت است و الگوهای متفاوتی را نشان می‌دهد، در زمان‌های گوناگون، ازجمله اوج صبح یا اوج عصر و یا در روزهای کاری و غیرکاری نیز، تفاوت‌های شایان توجهی دارد زیرا هر سفری که افراد ایجاد یا جذب می‌کنند می‌تواند منشأ ریسک احتمالی یک تصادف به شمار رود و بنابراین تغییر الگوهای سفر افراد، که با اهداف متفاوت و در زمان‌های گوناگون شبانه‌روز انجام می‌شود، در وقوع تصادف‌ها تأثیرگذار خواهد بود. بر این اساس، شناخت زمان آغاز یا اوج سفرها و روند سطح فعالیت افراد در زمان‌های متفاوت روز و تطابق وقوع تصادفات

1. Fox

2. Bayesian Maximum Entropy

3. Hot Spots

4. Blazquez & Celis

5. Kernel Density Estimation

et al., 2019) اما، در حوزه مطالعات ایمنی و تصادفات و رویدادهای ترافیکی، تا کنون پژوهشی در این زمینه انجام نشده است که در مطالعه پیش رو به آن پرداخته خواهد شد.

در پژوهش حاضر، مشهد در جایگاه دومین شهر پرجمعیت ایران با تنوع کاربری‌های گوناگون که میزان تولید و جذب سفر در مناطق متفاوت را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مورد مطالعه قرار گرفته است. همانند سایر کلان‌شهرها، در این شهر نیز، رشد سریع اجتماعی- اقتصادی طی دو دهه اخیر علاوه بر افزایش میزان تولید و جذب تقاضای سفر، افزایش تعداد وسایل نقلیه و حجم بالای ترافیک و در نتیجه، تصادفات ترافیکی را به دنبال داشته است. همچنین مشهد، به‌منزله شهری زیارتی، سالیانه مورد توجه میلیون‌ها زائر است که به آن سفر می‌کنند. در تحقیق پیش رو، ابتدا تحلیل اکتشافی سری زمانی مرتبط با تصادفات عابران پیاده، به‌صورت ماهیانه و ساعتی درمورد تصادفات این اشخاص طی بازه‌ای پنج‌ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۸) انجام شده است. بیان این نکته نیز ضروری است که در تحلیل رویدادهای تصادفی، ازجمله تصادف‌های ترافیکی، به‌منظور پرهیز از آثار تصادفی رویداد مورد نظر در اهداف برنامه‌ریزی بلندمدت، اغلب مجموعه‌ای از داده‌ها در بازه‌های زمانی حداقل ۳-۵ سال به کار می‌رود. با این حال، با هدف بررسی تغییرات پارامترهای متغیر با زمان، تحلیل‌ها معمولاً در زیرمقیاس‌های زمانی کوچک‌تر انجام می‌شوند. در گام بعد، وجود خودهمبستگی زمانی و همچنین روند در وقوع تصادفات عابران پیاده مورد بحث قرار گرفته و سپس تحلیل یکنواختی سری زمانی، به‌منظور شناسایی زمان تغییر در تصادفات، بررسی شده است. سپس شاخص Moran's I تفاضلی که تا کنون در شاخه‌های دیگر

کار رفت. میرزایی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) توزیع مکانی تصادفات عابران پیاده را درمورد افراد مسن بالای شصت سال در شهر مشهد، با استفاده از تابع چگالی کرنل، ارزیابی کردند که نتایج این پژوهش اختلاف معنادار تصادفات این گروه سنی را با سایر گروه‌های سنی نشان داد. کانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۸) نیز، در پژوهش خود، چگونگی تغییرات ویژگی‌های مکانی- زمانی حوادث ترافیکی مربوط به جمعیت سالمند در سئول را براساس دوره‌های زمانی گوناگون، بررسی کردند و با استفاده از تحلیل‌های مکعب مکان- زمان^۳، نواحی حادثه‌خیز را در بازه‌های متفاوت شبانه‌روز (صبح تا عصر) تحلیل کردند. در ادامه، تحلیل‌های مشابه برای ماه‌ها و فصل‌ها را نیز، به‌ازای موقعیت‌های مکانی گوناگون، مطرح کردند.

براساس جمع‌بندی مطالعات پیش‌تر انجام‌شده ازسوی محققان، می‌توان دریافت که در تحلیل‌های مرتبط با سری زمانی، تأکید اصلی بر وجود/ فقدان روند در وقوع تصادفات بوده است و تحلیل‌های یکنواختی که می‌تواند اطلاعات مناسبی در زمینه استخراج زمان تغییر رویدادها در اختیار تحلیل‌گر قرار دهد، انجام نشده است. همچنین، در تحلیل‌های مکانی نیز، بیشتر از شاخص Moran's I به‌منزله یکی از متداول‌ترین معیارهای تحلیل خودهمبستگی مکانی استفاده شده است که وجود/ نبود همبستگی مکانی را در برش زمانی مشخصی مورد آزمون قرار می‌دهد. مطالعات خاصی، با استفاده از تابع تراکم کرنل نیز، در شهر مشهد انجام شده است (Hassanpour et al., 2017). در پژوهشی با در نظر گرفتن ارتباطات و همبستگی‌های زمانی- مکانی، شاخص Moran's I تفاضلی^۴، به‌منزله حالت ویژه‌ای از Moran's I، تغییرات رویداد یا متغیر مورد نظر در بازه‌ای زمانی بررسی شده است (Grekousis & Gialis, 2019). این شاخص، طی سالیان اخیر، در تحلیل‌های زمانی- مکانی در دانش‌های گوناگون کاربرد داشته است (Gunawan et al., 2019; Ibeneme et al., 2022; Shariat Mohaymany & Shahri, 2020; Wilt

1. Mirzaei

2. Kang

3. Space-Time Cube

4. Differential Moran's I

خواهد بود. منطقه مطالعاتی و تقسیم‌بندی آن بر مبنای نواحی ترافیکی در شکل ۱ نمایش داده شده است. لازم است توضیح داده شود که حرم مطهر رضوی، در ناحیه ترافیکی، با برچسب ۱ مشخص شده است.

۳- روش‌شناسی

۳-۱- تحلیل سری زمانی

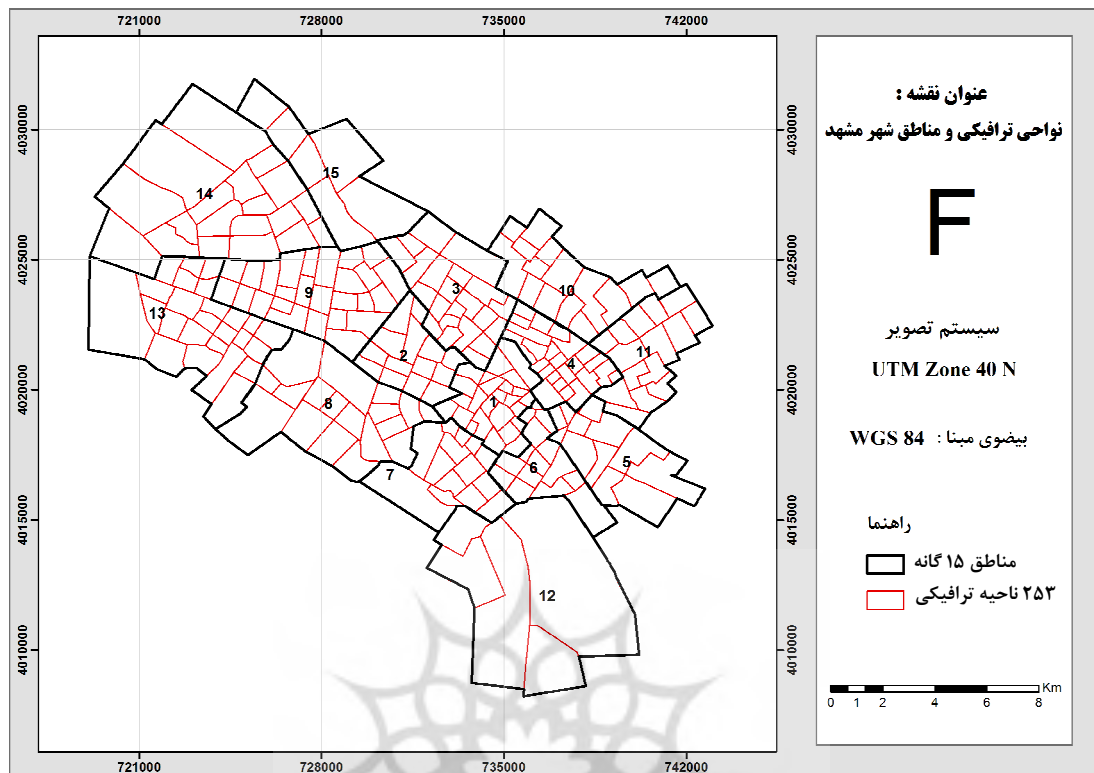
منظور از سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فاصله‌های زمانی برابر و منظم جمع‌آوری شده باشند و روش‌های آماری به‌کاررفته در این‌گونه داده‌ها تحلیل سری زمانی نامیده می‌شوند. بر این مبنای می‌توان داده‌های سری زمانی را داده‌هایی وابسته به زمان در نظر گرفت. با تحلیل سری‌های زمانی، ابتدا می‌توان اطلاعاتی درباره روند تغییرات پدیده‌ها و وضعیت متغیرها در شرایط گوناگون به دست آورد و پس از تفسیر پدیده می‌توان، با توجه به شرایط فعلی، آینده پدیده را نیز پیش‌بینی کرد. معمولاً الگوی رفتار یا مدل تغییرات سری زمانی را می‌توان به چهار مؤلفه «روند»^۱، «تناوب»^۲، «فصل»^۳ و «تغییرات نامعمول»^۴ تفکیک کرد (Madsen, 2007). از طرفی یکی از مسائل مهم، در تحلیل سری‌های زمانی، ارزیابی خودهمبستگی^۵ است. خودهمبستگی رابطه و شباهت بین مقدار متغیر مشاهده‌شده در زمان t و مقادیر آن متغیر را در زمان‌های قبل بررسی می‌کند. در صورتی که خودهمبستگی معنادار باشد، چگونگی آن نیز بررسی خواهد شد. مقادیر خودهمبستگی^۱ + نشان‌دهنده همبستگی مثبت کامل است؛ در حالی که خودهمبستگی^۱ - همبستگی منفی کامل را بیان می‌کند. در نهایت، این توابع با شناسایی مدل‌های مناسب برای توصیف مشاهدات گذشته و پیش‌بینی در آینده، یاری‌گر خواهند بود.

علوم استفاده شده بود، نخستین بار و به‌منظور استخراج الگوهای مکانی تغییرات تصادفات عابران پیاده در بازه زمانی مطالعاتی (ابتدای ۱۳۹۴ تا انتهای ۱۳۹۸) به کار رفت. نتایج این پژوهش می‌تواند در استخراج الگوهای زمانی- مکانی تصادفات عابران پیاده و بررسی روند زمانی و مکانی تمرکز تصادفات در نواحی خاص، مؤثر باشد و مناطقی با اولویت بیشتر را که نیازمند توجه ویژه به ایمنی عابران پیاده‌اند، برای متخصصان حوزه حمل‌ونقل مشخص نماید.

۲- منابع داده و پیش‌پردازش داده‌ها

این مطالعه براساس مجموعه داده‌های تصادفات رانندگی در دسترس در مشهد، طی پنج سال متوالی ۱۳۹۴-۱۳۹۸ انجام شده که این داده‌ها ازسوی سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر مشهد به‌روزرسانی شده است. داده‌های تصادفات به‌صورت لایه‌ای نقطه‌ای شامل ویژگی‌های توصیفی، از جمله نوع تصادف، روز، تاریخ و ساعت وقوع حادثه است که در کنار اطلاعات حاوی موقعیت مکانی ثبت‌شده با استفاده از GPS، مجموعه جامعی از پایگاه داده‌های تصادفات را ایجاد کرده است. یکی از محدودیت‌های تحلیل‌ها در زمینه تصادفات عابران پیاده آن است که به‌طور کلی فراوانی وقوع این نوع تصادفات چندان زیاد نیست و از این رو پراکندگی داده‌ها تحلیل‌های مرتبط با شبکه در حالت نقطه‌ای و به‌صورت غیرهم‌افزون^۱ را با محدودیت مواجه می‌کند. براساس مطالعات طرح جامع حمل‌ونقل، شهر مشهد به ۲۵۳ ناحیه ترافیکی^۲ همگن تقسیم شده است. به‌منظور انجام دادن تحلیل‌های زمانی- مکانی در مقیاس هم‌افزون^۳، داده‌های تصادفات در سطح نواحی ترافیکی تجمیع شده است. برای این کار، در مرحله نخست، مرزهای این نواحی ترافیکی از نظر وجود شکاف^۴ یا هم‌پوشانی^۵، بررسی و خطاهای هندسی اصلاح و حذف شد. سپس داده‌های تصادفات مرتبط با عابران پیاده در سطح نواحی ترافیکی تجمیع به آن تخصیص یافت. با توجه به در دست بودن اطلاعات توصیفی ساعت و ماه وقوع تصادف، امکان تحلیل در بازه‌های مورد نظر فراهم

1. Disaggregate
2. Traffic Analyses Zone
3. Aggregate
4. Gap
5. Overlay
6. Trend
7. Cyclic
8. Seasonal
9. Irregular
10. Autocorrelation



شکل ۱. نقشه ۲۵۳ ناحیه و ۱۵ منطقه ترافیکی در شهر مشهد

عابران پیاده در سطح نواحی ترافیکی در منطقه مطالعاتی تجمع شده‌اند. بنابراین، به منظور انجام دادن تحلیل‌های سری زمانی در این پژوهش، تعداد تصادفات عابران پیاده در سطح نواحی ترافیکی به تفکیک ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز و همچنین ماه‌های گوناگون سال، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸) بررسی شده است.

۱-۱-۳- شناسایی روند در سری زمانی و آزمون من-کندال

تمایل سری زمانی به افزایش، کاهش یا حتی ثابت بودن روند را تشکیل می‌دهد. در سری زمانی با روند افزایشی، انتظار می‌رود مقادیر مشاهدات در زمان‌های $t = 1$ و $t = 2$ به صورت $X_1 < X_2$ باشد. آزمون من-کندال یکی از مهم‌ترین معیارها در شناسایی روند سری

با توجه به ماهیت داده‌های مرتبط با حوادث و تصادفات ترافیکی، انتظار می‌رود وقوع تصادفات در محدوده زمانی مشخصی متمرکز باشد و الگوهای سازمان‌یافته‌ای در داده‌ها وجود داشته باشد. برای نمونه، الگوهای تجمع تصادفات طی بازه‌های زمانی اوج در طول شبانه‌روز و همچنین در ماه‌های خاص مرتبط با تعطیلات را می‌توان، با رسم و تحلیل نمودارهای سری زمانی، استخراج کرد. نمودارهای سری زمانی همچنین امکان مقایسه تصادفات، طی بازه‌های زمانی متفاوت را نیز فراهم می‌کنند. در نهایت، وجود روند منطقی وقوع تصادفات در بازه‌های زمانی مورد مطالعه (ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز یا ماه‌های گوناگون سال) باید با استفاده از آزمون‌های آماری نیز ارزیابی شود. بر این پایه و همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد، در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، تصادفات مرتبط با

شدت آن، شیب سن^۵ (۱۹۶۸) محاسبه می‌شود. توضیح اینکه روش معمول برای برآورد شیب یک خط رگرسیون منطبق بر مجموعه‌ای از داده‌ها، براساس برآورد حداقل مربعات است. این رویکرد، در شرایطی که عناصر داده در خطی مستقیم قرار نگیرند، کاربرد ندارد و درعین حال به داده‌های پرت نیز حساس است. یکی از راهکارهای جایگزین استفاده از تخمین ناپارامتری مناسبی برای شیب، به نام شیب سن، است که در آن مجموعه‌ای از شیب‌های خطی، شامل شیب‌های بین هر دو عدد متوالی، در سری زمانی محاسبه می‌شود و درنهایت، میانه تمامی شیب‌ها به دست می‌آید. مشخصاً هرچه مقدار شیب به صفر نزدیک‌تر باشد، روند شناسایی شده کمتر خواهد بود.

رابطه (۳) $Sen's\ slope = Median \left\{ \frac{x_j - x_i}{j - i} : i < j \right\}$

x_i و x_j داده‌های متوالی در سری زمانی‌اند. سطح اطمینان مشخصی نیز برای شیب سن (حد بالا و حد پایین) تعریف می‌شود که در آن:

رابطه (۴) $N = C(n, 2) \quad k = S \cdot z_{critical}$

N تعداد جفت عناصر در سری زمانی $(x_i, x_j \quad i < j)$ معرف انحراف معیار آزمون من- کندال و $z_{critical}$ نیز مقدار بحرانی برای $(1 - \alpha)/2$ است.

۳-۱-۲- تحلیل یکنواختی

شناسایی زمان تغییر روند در تصادفات عابران پیاده، در تحلیل‌های مرتبط با ایمنی بسیار مؤثر است و می‌توان آن را در انواع سیاست‌گذاری‌های حمل‌ونقل مرتبط به کار برد. به‌طور کلی روش‌های گوناگونی برای تحلیل یکنواختی و درعین حال تعیین زمان تغییر، در روند سری زمانی، وجود دارد که گزینه‌های متفاوت، ازجمله تغییر در مقادیر میانگین متغیر، تغییر در توزیع و یا

زمانی است که نخستین بار، من^۱ (۱۹۴۵) آن را معرفی و بعدها کندال^۲ (۱۹۶۵) آن را تکمیل کرد. این شاخص ناپارامتریک، با محاسبه مقدار آماره t کندال، فرض صفر آماری مبنی بر نبود روند مشخص در داده‌ها (تصادفات عابران پیاده در این پژوهش) را در مقابل فرض جایگزین مبنی بر وجود روند مثبت یا منفی مورد آزمون، قرار می‌دهد. یکی از مزیت‌های آزمون من- کندال امکان تحلیل داده‌های سری زمانی دوره‌ای است که در آن، داده‌ها در برش‌های زمانی همچون ساعت، ماه و فصل تحلیل می‌شوند و وجود روند بین مشاهدات، از هر برش زمانی به برش زمانی دیگر، بررسی می‌شود. در این حالت، برای هر دوره زمانی، مقدار t کندال محاسبه و سپس مقدار میانگین تمامی دوره‌ها محاسبه می‌شود. مقدار واریانس برای آزمون آماری من- کندال طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱) $S = \sum_{i=1}^{x-1} \sum_{j=1+1}^x \text{sgn}(x_j - x_i)$

رابطه (۲) $\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$

در این معادله‌ها، n تعداد مشاهدات و x_i مشاهدات مستقل از هم است.

آزمون روند من- کندال مستلزم آن است که مشاهدات مستقل از یکدیگر باشند (به این معنی که همبستگی بین مقادیر سری با خودش با تأخیر زمانی معینی نباید معنادار باشد). در شرایطی که مقداری خودهمبستگی در سری وجود داشته باشد، واریانس آماره S کمتر از مقدار واقعی برآورد خواهد شد. برای مواجهه با این مشکل، حامد و رائو^۳ (۱۹۹۸) و یوئه و وانگ^۴ (۲۰۰۴) دو روش جایگزین پیشنهاد کرده‌اند. روش اول از شناسایی روند، در صورتی که آن روند درواقع به دلیل وجود همبستگی باشد، اجتناب می‌کند ولی مزیت روش دوم آن است که، در شرایطی که روند و خودهمبستگی هم‌زمان در داده‌ها وجود داشته باشد، نتیجه قابل قبولی به دست خواهد داد.

پس از شناسایی روند در داده‌های سری زمانی، به‌منظور شناسایی مثبت یا منفی بودن روند و همچنین

1. Mann
2. Kendall
3. Hamed & Rao
4. Yue & Wang
5. Sen

همبستگی نشان می‌دهد. این ویژگی با عنوان تأثیرات خودهمبستگی مکانی شناخته می‌شود (Anselin, 1995). شاخص‌های آماری گوناگونی برای ارزیابی وجود یا نبود خودهمبستگی مکانی مطرح شده‌اند که در بین آنها شاخص Moran's I عمومی^۵ یکی از متداول‌ترین شاخص‌ها به شمار می‌رود. خودهمبستگی زمانی- مکانی نیز، به منزله حالت خاصی از خودهمبستگی مکانی، نوعی از ارتباطات مکانی را که در بستر زمان اتفاق می‌افتند توصیف می‌کند. بر این اساس، همبستگی مکانی یک متغیر در موقعیتی مکانی همانند t با میانگین وزن‌دار همان متغیر در برش زمانی دیگر و در موقعیت‌های مکانی z (که تأثیرگذاری آنها به دنبال تعریف ماتریس وزن تعریف می‌شود) بررسی می‌شود. آماره مورد نیاز، به منظور تحلیل همبستگی زمانی- مکانی، شاخص Moran's I دومتغیره است که در محاسبه آن، میانگین وزن‌دار متغیر در بازه زمانی دوم، به جای میانگین وزن‌دار متغیر در بازه زمانی اول، به کار می‌رود (Bone et al., 2013). آماره Moran's I عمومی تنها بیان می‌کند به‌طور کلی خودهمبستگی مکانی در الگوی رویدادها وجود دارد یا خیر؛ اما هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره موقعیت تمرکز رویدادها، با تجمع مقادیر بالا یا پایین در منطقه مطالعاتی، در اختیار تحلیل‌گر قرار نمی‌دهد. در مقابل، شاخص Moran's I محلی^۶ این مشکل را رفع می‌کند. شاخص Moran's I تک‌متغیره براساس رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این معادله، z_i و z_j مقادیر استانداردشده متغیر مورد نظر در موقعیت‌های مکانی i و j است و ماتریس وزن مکانی براساس نحوه تأثیرگذاری موقعیت j ها در موقعیت i تعریف می‌شود. شاخص Moran's I دومتغیره نیز طبق رابطه (۶) تعریف می‌شود.

وجود الگوی خاص در متغیر مورد بررسی را شناسایی می‌کند (Palma, 2016). آزمون‌های گوناگونی همچون آزمون پتی^۱ (۱۹۷۹)، آزمون بیشاند^۲ (۱۹۸۲)، آزمون تحلیل یکنواختی نرمال استاندارد (SNHT)^۳ (Alexandersson, 1986) و آزمون فن نویمان^۴ (۱۹۴۱) در مطالعات متفاوتی، به‌منظور تحلیل یکنواختی، به کار رفته‌اند (Elzeiny et al., 2019; Kahya et al., 2016; Qasim et al., 2020). هرچند به‌طور کلی آزمون‌های تحلیل یکنواختی، در مطالعات حمل‌ونقل، کاربرد بسیار اندکی دارد. یکی از معمول‌ترین آزمون‌ها، برای تحلیل یکنواختی، آزمون بیشاند است که می‌توان آن را درمورد متغیرها با هر توزیع آماری به کار برد. اگر T تعداد بازه‌های زمانی و x_t متغیر مشاهده‌شده متناظر با بازه زمانی t باشد، آزمون بیشاند یک فرض صفر را مبنی بر اینکه متغیرها در کل بازه T مقادیر میانگین یکسان دارند، در مقابل فرضی جایگزین، بررسی می‌کند. در مقابل، فرض جایگزین آن است که زمانی مشخص، نظیر t ، در کل بازه T وجود دارد که مقدار متوسط متغیر، طی آن زمان مشخص، تغییر چشمگیری را در قیاس با سایرین نشان می‌دهد. جزئیات بیشتر درباره مباحث آماری آزمون بیشاند را می‌توان در منبعی از همین محقق (۱۹۸۲) مشاهده کرد. در پژوهش حاضر، از این آزمون به‌منظور ارزیابی یکنواختی و استخراج زمان تغییر وقوع تصادفات عابران پیاده، به‌ازای ماه‌های متفاوت سال و ساعات گوناگون شبانه‌روز در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)، استفاده شده است.

۲-۳- شاخص Moran's I تفاضلی و تحلیل زمانی- مکانی

نواحی جغرافیایی اغلب الگوهای مکانی مشخصی را نشان می‌دهند. در بررسی سطوحی که در مجاورت یا همسایگی هم قرار می‌گیرند، گاه ویژگی‌های مشترکی دیده می‌شود؛ به‌طوری که مقادیر یک متغیر، در موقعیتی با مقادیر همان متغیر در موقعیت‌های مجاور،

1. Pettit
2. Buishand
3. Standard Normal Homogeneity Test (SHNT)
4. Von Neumann
5. Global
6. Local Moran's I

خوشه‌ها و نواحی پرت^۱ را فراهم می‌کند. مناطق با برچسب High-High و Low-Low نواحی دارای خودهمبستگی مثبت‌اند و نواحی با برچسب High-Low و Low-High به نواحی دارای خودهمبستگی منفی اشاره می‌کنند. دسته اول آن نواحی‌اند که در بازه زمانی اول، با مقایر بالای/ پایین رویداد مورد نظر مواجه و درعین حال با نواحی‌ای احاطه شده‌اند که مقادیر رویداد مورد نظر در آن نواحی، در بازه زمانی دوم نیز، بالا/ پایین است. دسته دوم نیز نواحی‌ای را نشان می‌دهند که در بازه زمانی اول، با مقایر بالای/ پایین رویداد مورد نظر مواجه شده اما با نواحی‌ای احاطه شده‌اند که مقادیر رویداد مورد نظر در آن نواحی، در بازه زمانی دوم، پایین/ بالاست. نتایج آزمون‌های خودهمبستگی مکانی، از جمله Moran's I را می‌توان با تکیه بر فرضی صفر، مبنی بر وجود الگوی تصادفی در رویدادهای مشاهده شده، تفسیر کرد. اگر نتایج آزمون‌های آماری فرض صفر را رد کند، خودهمبستگی مکانی معنادار خواهد بود. به منظور ارزیابی معناداری، از توزیع مرجع نرمالی (نمایانگر فرض صفر که همان الگوی تصادفی رویدادهاست) استفاده می‌شود که میانگین و انحراف معیار آن را می‌توان، براساس یک روند جایگشت تصادفی^۲ در سطوح اطمینان متفاوت، به دست آورد. شکل ۲ روندنما و مراحل پژوهش را نشان می‌دهد.

۴- نتایج و بحث

در این بخش، ابتدا نتایج تحلیل‌های زمانی براساس ارزیابی آزمون‌های تحلیل روند و ارزیابی خودهمبستگی زمانی بیان خواهد شد. سپس وجود/ نبود روند در تصادفات عابران پیاده، به‌ازای ماه‌های گوناگون و ساعات شبانه‌روز، بررسی خواهد شد و درنهایت، با بررسی نتایج حاصل از تحلیل یکنواختی، تغییرات در ضمن ماه‌ها و ساعت‌های متفاوت، طی کل بازه زمانی مورد مطالعه

$$I_{tt}^i = z_t^i \sum_j w_{ij} z_{tj}^i \quad \text{رابطه (۶)}$$

z_t^i مقدار استاندارد شده متغیر مورد نظر برای اولین برش زمانی (t) در موقعیت i و z_{tj}^i استاندارد شده متغیر مورد نظر در دومین برش زمانی (t') در موقعیت‌های مکانی j است (که در همسایگی موقعیت i قرار گرفته‌اند و تأثیرگذاری آنها بر مبنای ماتریس وزن مکانی مشخص می‌شود).

شاخص Moran's I تفاضلی به منزله حالت ویژه‌ای از Moran's I دومتغیره، به‌جای آنکه مقادیر مشاهدات متغیر در دو برش زمانی جدا را به کار برد، تغییرات در بازه‌های زمانی را بررسی می‌کند؛ به این معنی که اختلاف بین متغیر مورد نظر در زمان t (x_t) و متغیر در زمان t' ($x_{t'}$) تحلیل می‌شود (Anselin, 2019). با توجه به اینکه اختلاف واقعی، و نه اختلاف مطلق، تحلیل می‌شود بنابراین «بالا» به تغییرات مثبت و «پایین» به تغییرات منفی اشاره دارد. مقادیر اختلاف به‌صورت استاندارد شده به کار می‌رود؛ به این مفهوم که درواقع، اختلاف بین متغیرهای استاندارد شده در دو برش زمانی تحلیل نمی‌شود بلکه اختلاف استاندارد شده مقادیر اولیه متغیرها در نظر گرفته خواهد شد. شاخص Moran's I تفاضلی را می‌توان در قالب رابطه (۷) تعریف کرد.

$$I_t^p = (x_{i,t} - x_{i,t'}) \sum_j w_{ij} (x_{j,t} - x_{j,t'}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

همان‌گونه که مشخص است، رابطه (۷) درواقع همان Moran's I استاندارد است که بر متغیر جدید اختلاف ($x_{i,t} - x_{i,t'}$) اعمال می‌شود و با کم کردن هر دو متغیر از هم، تأثیرات ثابت مکانی کنترل می‌شود. به این ترتیب، اگر همبستگی زمانی به‌علت وجود تأثیرات ثابت باشد، در نظر گرفته نمی‌شود (منظور مجموعه‌ای از متغیرهایی است که در تعیین مقدار x_i مؤثرند و درعین حال، در طول زمان، بدون تغییر باقی می‌مانند). نتایج آزمون‌های خودهمبستگی مکانی و مکانی- زمانی، از جمله Moran's I تفاضلی، به‌صورت محلی، امکان تقسیم منطقه مورد مطالعه به چهار زیرمنطقه مربوط به

1. Outlier

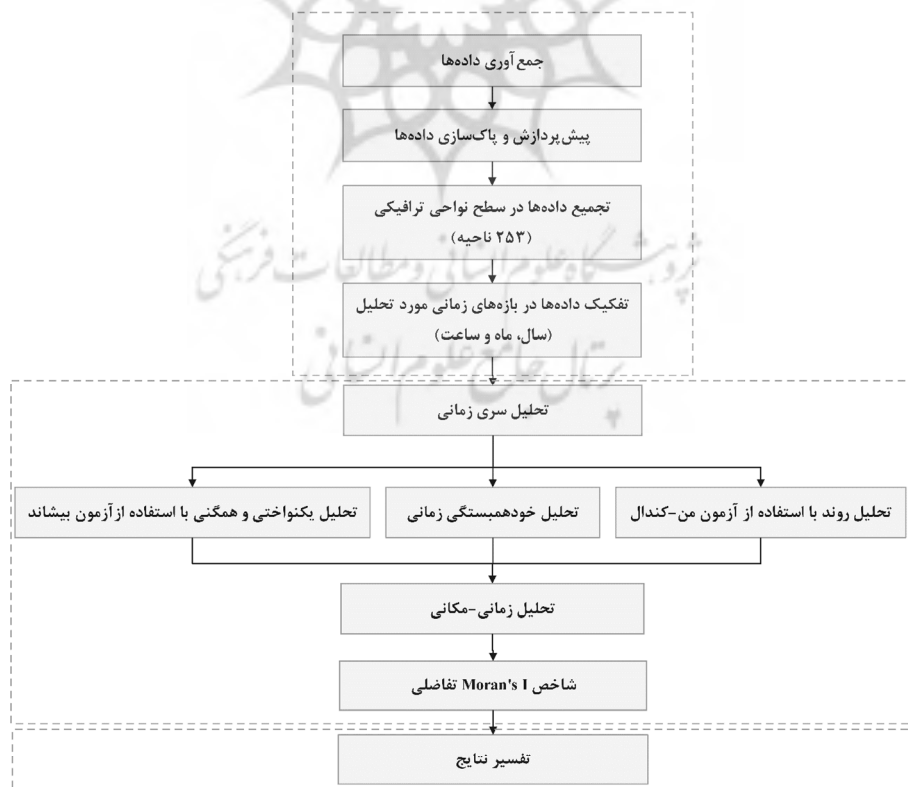
2. Permutation

اردیبهشت، مقادیری بالاتر از ماه‌های دیگر را نشان می‌دهد؛ درحالی‌که در خرداد، روند کاهشی محسوسی در کل پنج سال را می‌شود مشاهده کرد. همچنین، براساس شکل، می‌توان دریافت که وقوع تصادفات عابران پیاده در ماه‌های گرم سال (تیر تا شهریور)، از حالت میانگین و در مقایسه با سایر ماه‌های سال، تقریباً بیشتر است. طی ماه‌های پاییز و زمستان، روندی کاهشی در وقوع تصادفات به چشم می‌خورد. یکی از دلایل احتمالی فراوانی کمتر این وقایع در فصل‌های سرد ممکن است این باشد که توانایی و تمایل افراد برای راه رفتن، در چنین شرایطی، به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و بنابراین مجموع کیلومترهایی که عابران پیاده می‌پیمایند و همچنین مواجهه آنها با وسایل نقلیه کاهش می‌یابد. از دیگر سو آگاهی رانندگان از تغییرات آب‌وهوایی و مقاومت کمتر در برابر لغزش در شرایط بارانی و برفی را نیز می‌توان عاملی ضروری برای رانندگی با احتیاط بیشتر در نظر گرفت.

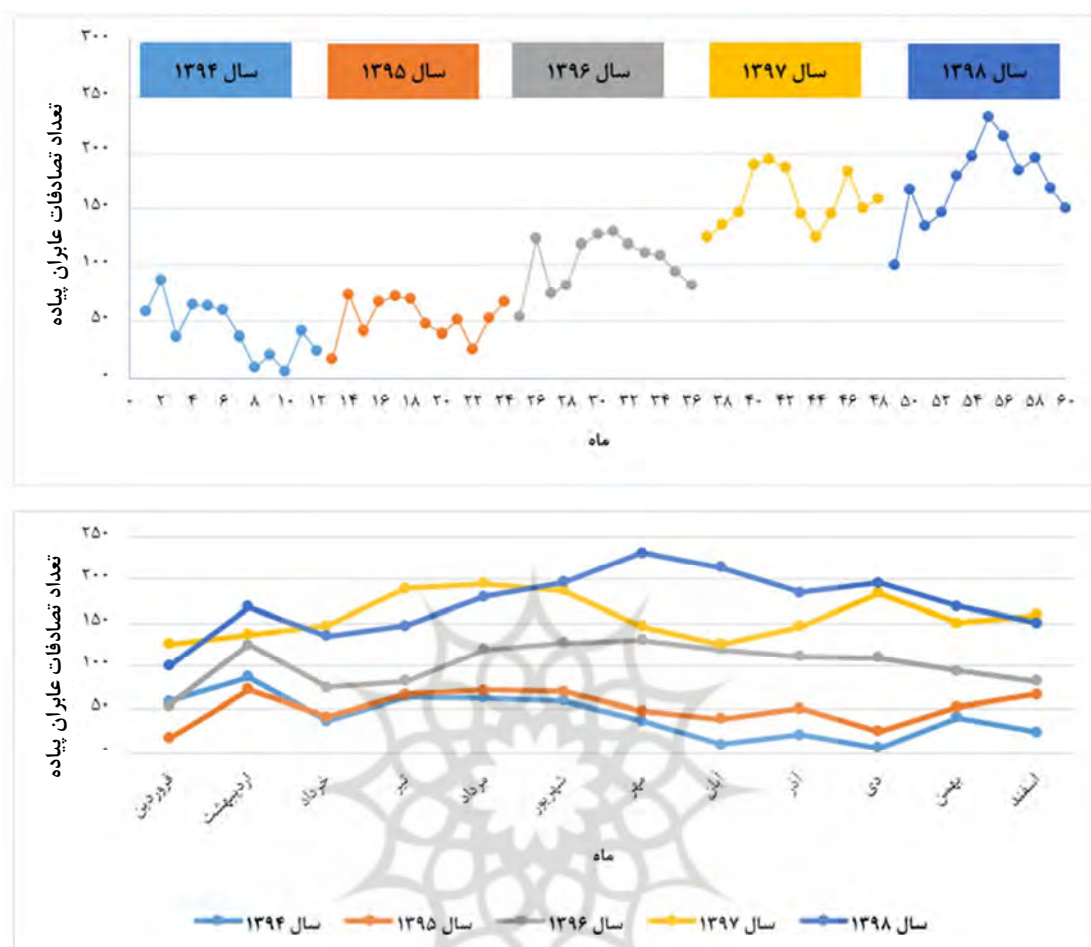
پنج‌ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۸)، ارزیابی می‌شود. ضمن انجام شدن تحلیل‌های زمانی- مکانی نیز، نتایج ارزیابی وجود/ نبود خودهمبستگی زمانی- مکانی در کل بازه زمانی مورد مطالعه و در سطح ۲۵۳ ناحیه ترافیکی شهر مشهد، با استفاده از شاخص Moran's I تفاضلی، مطرح خواهد شد.

۴-۱- نتایج تحلیل سری زمانی

نتایج تحلیل‌های سری زمانی داده‌های تصادفات عابران پیاده، به‌ازای ماه‌های گوناگون سال و ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز طی کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)، به‌ترتیب در شکل ۳ و شکل ۴. نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۳ و با مقایسه توزیع زمانی وقوع تصادفات عابران پیاده در ماه‌های گوناگون و طی کل بازه زمانی مورد مطالعه، مشاهده می‌شود که وقوع تصادفات در فصل بهار، اغلب در



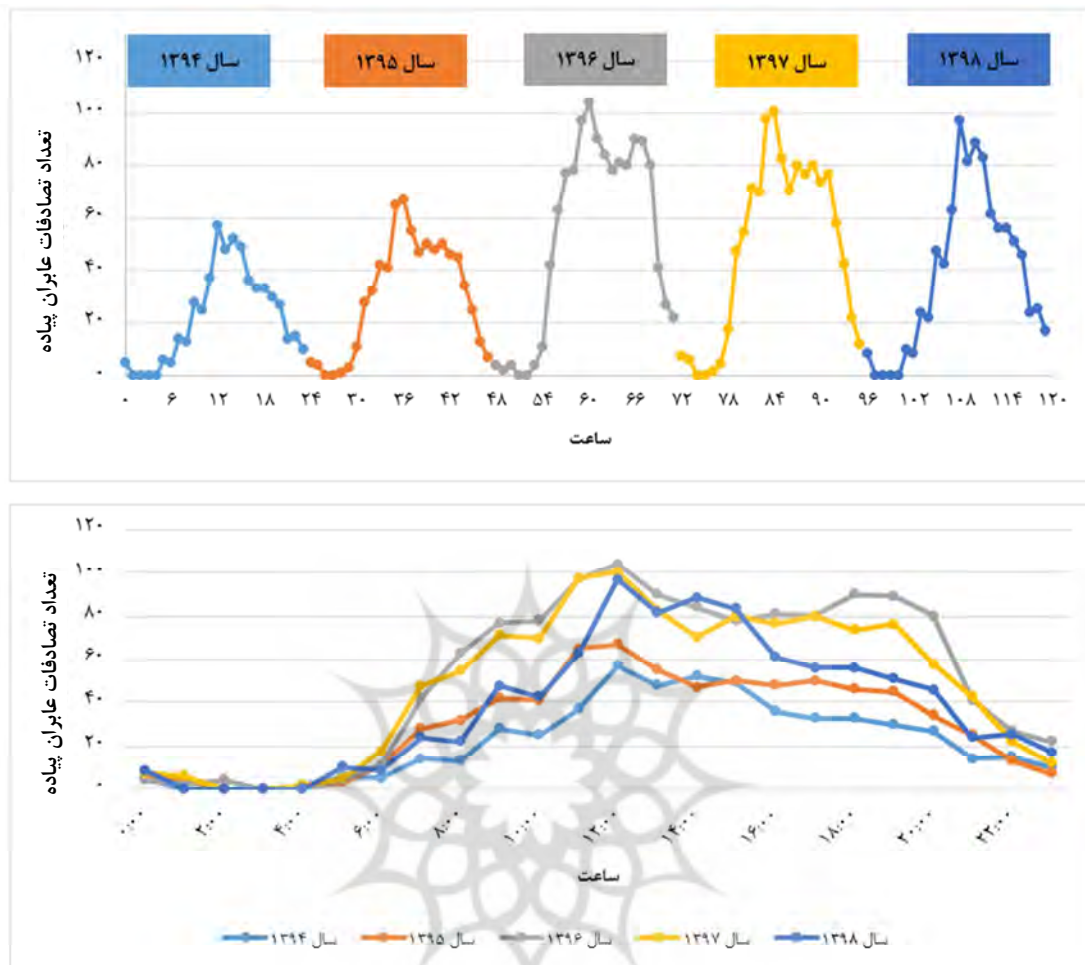
شکل ۲. روندنما و مراحل پژوهش



شکل ۳. سری زمانی نشان‌دهنده تصادفات عابران پیاده طی ماه‌های متفاوت سال، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۸-۱۳۹۴)

پس از آن، میزان تصادفات عابران پیاده به تدریج روندی کاهشی را طی می‌کند و سپس طی بازه‌ای زمانی در اوج عصر، از ۱۷:۰۰ تا ۲۰:۰۰، بار دیگر جهشی ناگهانی نشان می‌دهد و بعد از آن نیز، روندی کاهشی تا ساعات انتهایی شبانه‌روز ادامه می‌یابد. با توجه به شکل ۳ و شکل ۴ و مقایسه روند تغییرات و همچنین مقادیر مربوط، مشخص می‌شود که به طور کلی وقوع تصادفات عابران پیاده از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ یک روند را، هم در ماه‌های گوناگون سال و هم طی ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز، نشان می‌دهد. با این حال وجود/ نبود روند را باید به صورت آماری نیز، در سری زمانی، ارزیابی کرد.

به علاوه، با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که به طور کلی در وقوع تصادفات عابران پیاده طی کل ساعت‌های شبانه‌روز، دو بازه زمانی اوج در هر سال را می‌توان شناسایی کرد (یک اوج در میان روز، از ۱۲:۰۰ تا ۱۳:۰۰ و یک بازه تقریبی اوج عصر از ۱۷:۰۰ تا ۲۰:۰۰). همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در کل بازه زمانی مورد مطالعه، روند صعودی و روبه‌رشد وقوع تصادفات از ساعت ۷:۰۰ صبح آغاز می‌شود که علت آن معمولاً هم‌زمان بودن شروع کار بیشتر ادارات و مدارس و تعداد زیاد سفرهای کاری و آموزشی است؛ این روند افزایشی به تدریج ادامه می‌یابد و تقریباً در ساعت ۱۲:۰۰ ظهر و میانه روز، به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



شکل ۴. سری زمانی تصادفات ابران پیاده طی ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۸-۱۳۹۴)

(۰/۸۲)، در مقایسه با سایر برش‌های زمانی، به نوسان بیشتر متغیر مورد بررسی اشاره می‌کند. روند مشابه کاهشی درمورد ضریب تغییرات ماهیانه نیز برقرار است. همچنین در تحلیل ماهیانه نیز تفاوت شایان توجه ضریب تغییرات در سال ۱۳۹۴ (۰/۵۵)، در قیاس با سایر برش‌های زمانی، مشهود است.

از طرفی، بررسی مقادیر ضریب تغییرات مرتبط با تصادفات ابران پیاده، در جدول ۱. نیز نشان می‌دهد نوسانات ساعتی وقوع تصادفات، طی پنج سال بازه زمانی تحلیل، به‌طور کلی روندی کاهشی داشته است. درعین حال مقدار بیشتر ضریب تغییرات در سال ۱۳۹۴

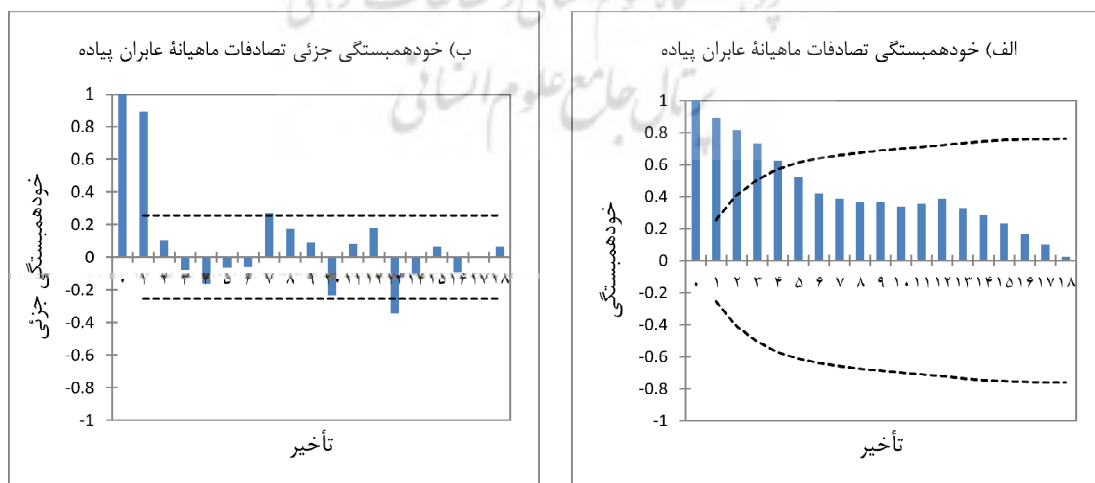
جدول ۱. مقادیر ضریب تغییرات ساعتی و ماهیانه تصادفات ابران پیاده، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۸-۱۳۹۴)

برش زمانی مورد بررسی	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۹۵	سال ۱۳۹۶	سال ۱۳۹۷	سال ۱۳۹۸
ضریب تغییرات ساعتی	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۷۰
ضریب تغییرات ماهیانه	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۰

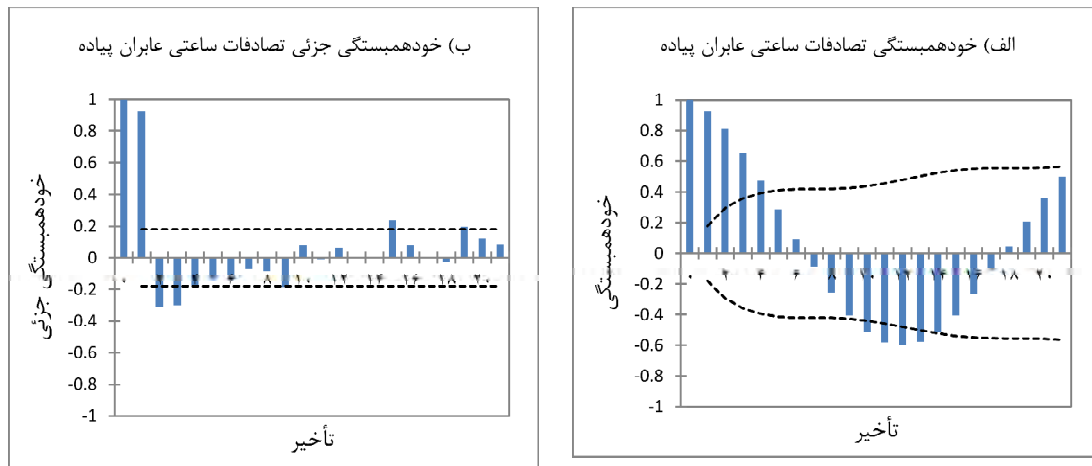
۴-۲- نتایج تحلیل خودهمبستگی

به منظور ارزیابی این نکته که وقوع تصادفات عابران پیاده تغییرات زمانی معنادار دارند یا خیر، نتایج تحلیل تابع خودهمبستگی بررسی شد. این تحلیل در اندازه گیری میزان تأثیر وقوع تصادفات، طی بازه های زمانی گذشته، در میزان تصادفات کاربرد دارد. بر این اساس، نمودار تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تصادفات ماهیانه عابران پیاده را می توان در شکل ۵ مشاهده کرد. با توجه به این شکل، می توان دریافت که به طور کلی تصادفات ماهیانه عابران پیاده، در بازه زمانی تحلیل، وابسته به زمان است زیرا ضریب همبستگی آن از بازه اطمینان بیشتر است. بر این مبنا، تصادفات ماهیانه عابران پیاده ایستا نیست و از این رو تغییرات آن، در طول بازه زمانی تحلیل، به سمت یکنواخت شدن میل نمی کند. همچنین با توجه به روند تابع خودهمبستگی در شکل ۵- الف، می توان دریافت همبستگی ماهیانه تصادفات عابران پیاده لزوماً روند ثابت نزولی یا صعودی را بر حسب تأخیر نشان نمی دهد؛ به این معنی که لزوماً هرچه مشاهدات با تأخیر بیشتری همراه باشند، همبستگی با روندی مشخص بیشتر یا کمتر نخواهد شد. نمودار همبستگی به صورت نزولی، بر حسب تأخیر تا تأخیر ۸، ادامه دارد و سپس روندی افزایشی و بار دیگر، به مرور، کاهش می یابد و

در نهایت نیز، ضریب همبستگی برای تأخیری برابر با ۱۸ بسیار کوچک خواهد بود (۰/۰۶۷). با توجه به شکل ۵- ب و با بررسی نمودار خودهمبستگی جزئی برای تصادفات ماهیانه عابران پیاده نیز می توان مشاهده کرد که دو تأخیر اولیه (۰ و ۱) خارج از بازه اطمینان قرار دارد و بنابراین درجه مدل اتورگرسیو برابر با ۲ خواهد بود. به عبارت دیگر مدل دارای جزء اتورگرسیو با دو پارامتر است. همچنین، در تأخیر سیزدهم نیز، تغییری واضح رخ داده است. با تحلیل روند تابع خودهمبستگی مرتبط با تصادفات ساعتی عابران پیاده در شکل ۶- الف نیز، می توان دریافت همبستگی ساعتی تصادفات از روند مشخص صعودی یا نزولی پیروی نمی کند. روند کاهشی تا تأخیر ۶ ادامه می یابد و سپس همبستگی به صورت منفی ادامه دارد تا در تأخیر ۱۲ به ۰/۰۶- می رسد. سپس خودهمبستگی، با روندی افزایشی، ادامه می یابد و در نهایت نیز، ضریب همبستگی برای تأخیری برابر با ۲۱ همچنان عدد شایان توجهی است (۰/۵۶). تحلیل تابع خودهمبستگی جزئی مرتبط با تصادفات ساعتی عابران پیاده در شکل ۶- ب نیز نشان می دهد چهار تأخیر اولیه (۰، ۱، ۲، ۳) خارج از سطح اطمینان است و بنابراین درجه مدل اتورگرسیو برابر با ۴ خواهد بود. به عبارت دیگر مدل دارای جزء اتورگرسیو با چهار پارامتر است.



شکل ۵. نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی تصادفات ماهیانه عابران پیاده، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۸-۱۳۹۴)



شکل ۶. نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی تصادفات ساعتی عابران پیاده، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

۳-۴- نتایج تحلیل روند و آزمون من- کندال با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی

همان گونه که در بخش روش شناسی بیان شد، پس از تأیید وجود خودهمبستگی، به منظور ارزیابی آماری وجود/ نبود روند در سری زمانی، آزمون من- کندال تصحیح شده با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی استفاده خواهد شد که نتایج آن، به ازای ماه های گوناگون سال و ساعت های متفاوت شبانه روز، در جدول خلاصه شده است.

بر اساس جدول ۲، می توان دریافت مقدار به دست آمده از آزمون من- کندال، با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی برای تصادفات ماهیانه عابران پیاده، برابر با ۰/۶۴۸ و مقدار متناظر p-value (کمتر از مقدار بحرانی ۰/۰۵) است؛ بر این اساس، فرض صفر مبنی بر نبود روند رد می شود و وجود روند در وقوع تصادفات عابران پیاده، طی ماه های متفاوت سال و در کل بازه زمانی مورد مطالعه، تأیید می شود. تحلیلی مشابه در مورد تصادفات مرتبط با ساعات متفاوت نیز نشان می دهد که مقدار به دست آمده از آزمون من-

کندال (۰/۱۹۴) و مقدار متناظر p-value آن معنادار است و با رد فرض صفر، فرض جایگزین مبنی بر وجود روند معنادار در وقوع تصادفات عابران پیاده، طی ساعت های متفاوت شبانه روز نیز، تأیید می شود. وجود روند، در تحلیل زمانی تصادفات عابران پیاده طی ماه های گوناگون در چند سال متوالی، در مطالعه فاکس (۲۰۱۵) نیز نشان داده شده است.

همچنین، مطابق جدول ۳، می توان دریافت مثبت بودن شیب سن به ازای تصادفات ماهیانه و ساعتی عابران پیاده (به ترتیب، برابر با ۲/۶۶ و ۰/۲۳۸) به معنی وجود شیبی مثبت در وقوع این تصادفات در بازه مورد نظر است. بر این مبنای، می توان نتیجه گرفت که تصادفات طی پنج سال متوالی، در ماه های گوناگون و در طول شبانه روز، روندی افزایشی دارد. شکل ۷ و شکل ۸ نیز، به ترتیب، نمودار متناظر با شیب سن برازش یافته به داده های ماهیانه و ساعتی تصادفات عابران پیاده در کل بازه مورد مطالعه را نشان می دهد.

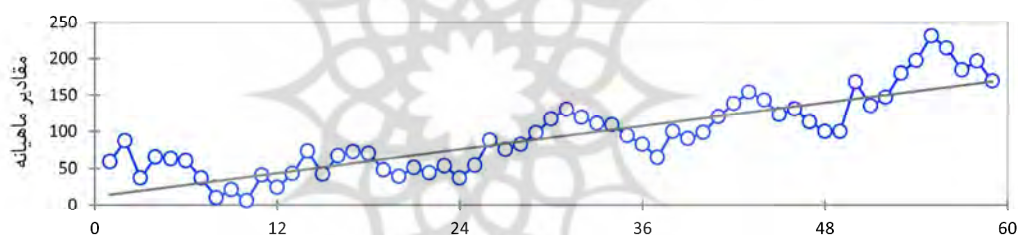
جدول ۲. نتایج آزمون من- کندال با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی و وجود روند در ماه‌های گوناگون سال و ساعات متفاوت شبانه‌روز، طی کل بازه مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

تصادفات ساعتی عابران پیاده	تصادفات ماهیانه عابران پیاده	شاخص مورد بررسی
۰/۱۹۴	۰/۶۴۸	آماره من- کندال، با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی
۰/۰۰۲	<۰/۰۰۰۱	p-value
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	مقدار بحرانی آزمون

جدول ۳. نتایج مقادیر شیب سن در تحلیل روند ماه‌های گوناگون سال و ساعات متفاوت شبانه‌روز، طی کل بازه مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

تصادفات ساعتی عابران پیاده			تصادفات ماهیانه عابران پیاده			متغیر مورد بررسی / آزمون آماری
حد بالا (٪۹۵)	حد پایین (٪۹۵)	مقدار	حد بالا (٪۹۵)	حد پایین (٪۹۵)	مقدار	
۰/۴۳۵	۰/۰۸۵	۰/۲۳۸	۳/۱۱	۲/۱۶	۲/۶۶	شیب سن
۲۷/۳۸	۱۶/۹۷	۲۳/۳۴	۳۱/۰۰	۲/۴۷۱	۱۱/۷۳	مقدار ثابت (عرض‌ازمبدأ)

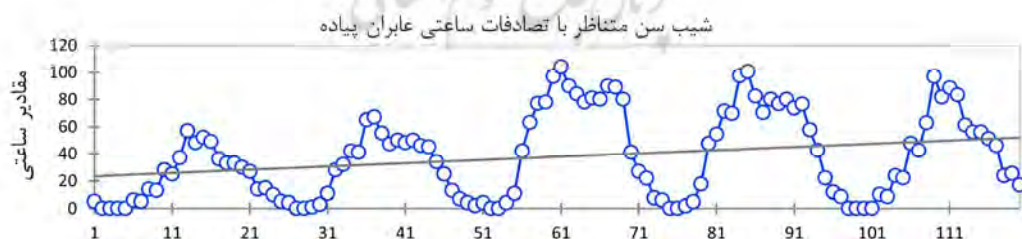
شیب سن متناظر با تصادفات ماهیانه عابران پیاده



ماه‌های گوناگون به‌ازای سال‌های متوالی، از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸

— Sen's slope

شکل ۷. نمودار متناظر با شیب سن برازش‌یافته به داده‌های ماهیانه تصادفات عابران پیاده، در کل بازه مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)



ساعات شبانه‌روز (بازه ۲۴ ساعته) به‌ازای سال‌های متوالی، از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸

— Sen's slope

شکل ۸. نمودار متناظر با شیب سن برازش‌یافته به داده‌های ساعتی تصادفات عابران پیاده در کل بازه مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

۴-۴- نتایج تحلیل همگنی و یکنواختی سری زمانی

نتایج حاصل از تحلیل همگنی و یکنواختی سری زمانی براساس شاخص بیشاند، به ازای داده های مرتبط با ماه های گوناگون، در جدول ۴ و شکل ۹ و همچنین نتایج تحلیل مشابه، به ازای داده های ساعتی، در جدول ۵ و شکل ۱۰ خلاصه شده است. همان گونه که بیان شد، شاخص بیشاند محل وقوع تغییر در الگوی وقوع رویدادها را مشخص می کند. با توجه به جدول ۴، آماره بیشاند به ازای ماه های گوناگون سال مثبت و معنادار است (مقادیر متناظر p-value کمتر از مقدار بحرانی ۰/۰۵) و به این ترتیب، در تمامی حالت ها، فرض صفر مبنی بر نبود تغییر در الگوی سری زمانی رد می شود که به مفهوم وقوع تغییر معنادار در الگوی وقوع تصادفات است. محل تغییر به ازای شماره ماه های متفاوت نیز، در هر سال، شناسایی شده است. در دو سال اول (۱۳۹۴ و ۱۳۹۵)، شهریور و در سه سال دوم (۱۳۹۶-۱۳۹۸)، تیر به منزله نقاط تغییر معرفی شده اند که به ترتیب

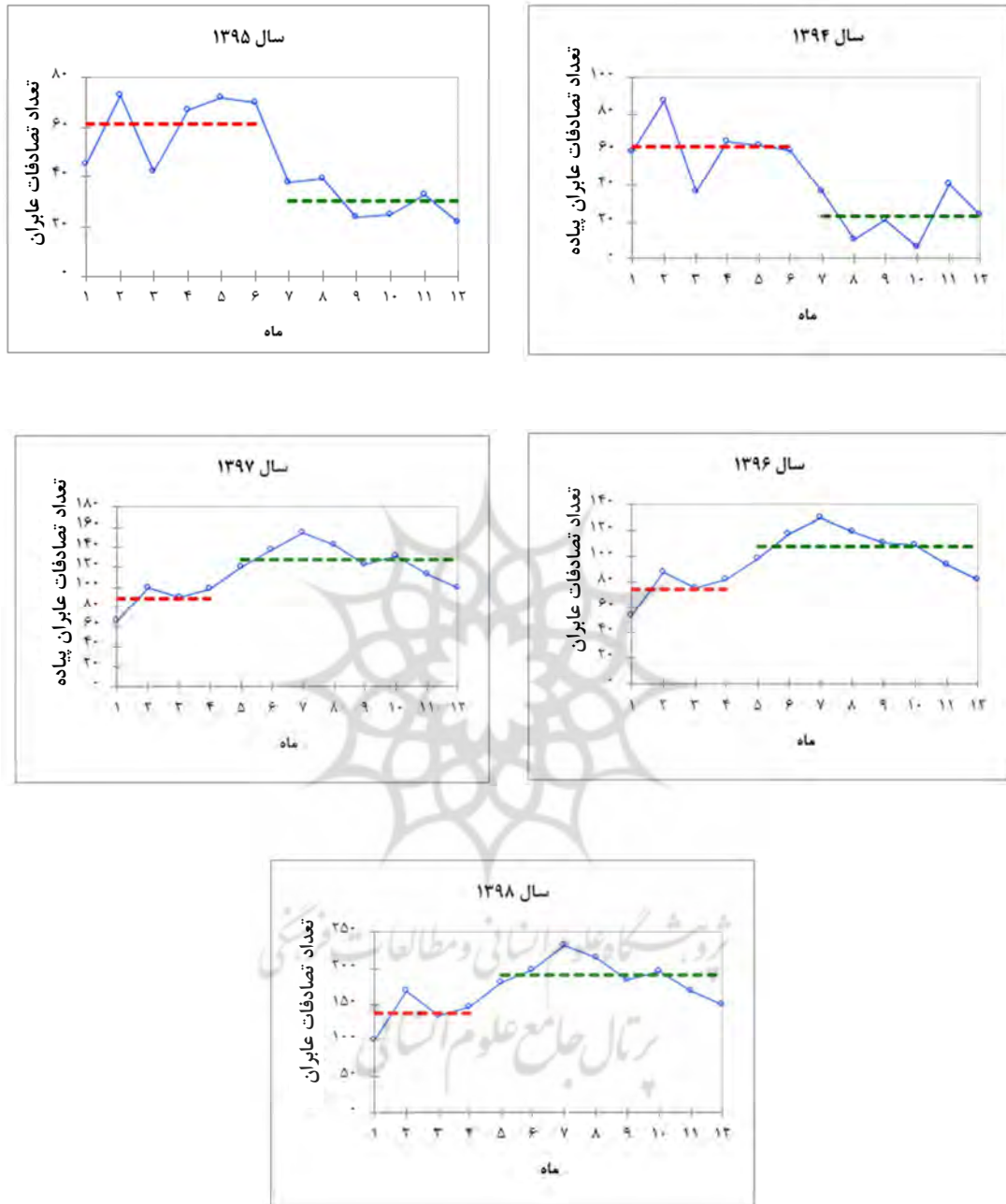
زمان پایان و آغاز تعطیلات تابستانی اند. تغییر شیب نمودار، در این بازه های زمانی، منطقی و مطابق با واقعیت است (شکل ۹). نتایج تحلیل مشابه، به منظور بررسی یکنواختی سری زمانی وقوع تصادفات عابران پیاده در ساعت های متفاوت شبانه روز نیز، در جدول ۵ خلاصه شده است. طبق این جدول، می توان دریافت که مقادیر آماره بیشاند به ازای ساعت های متفاوت شبانه روز مثبت و معنادار بوده است. این نکته با مقادیر متناظر p-value کمتر از مقدار بحرانی ۰/۰۵ اثبات می شود و فرض صفر مبنی بر نبود تغییر در سری زمانی رد می شود و وقوع تغییر در الگوی ساعتی وقوع تصادفات نیز تأیید می شود. ساعت تغییر در الگوی وقوع تصادفات در جدول ۵ نیز نشان می دهد، در کل دوره زمانی مورد مطالعه، بازه زمانی ۷:۰۰-۸:۰۰ صبح که بر شروع زمان اوج صبح و زمان آغاز فعالیت ها انطباق دارد، به منزله زمان تغییر شناسایی شده است. تغییر شیب نمودار در این بازه های زمانی نیز در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون تحلیل یکنواختی بیشاند به ازای داده های مرتبط با ماه های متفاوت، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

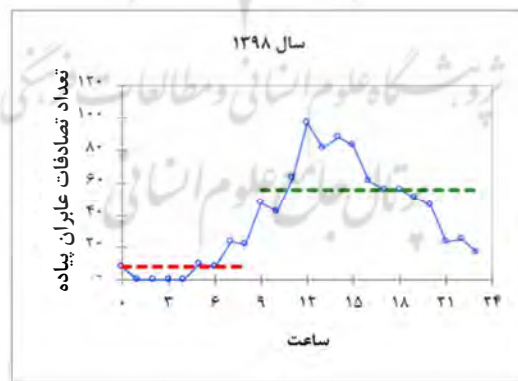
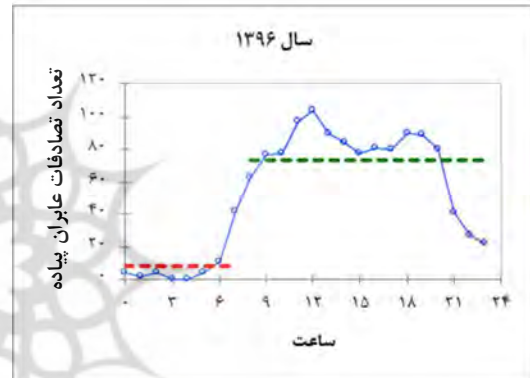
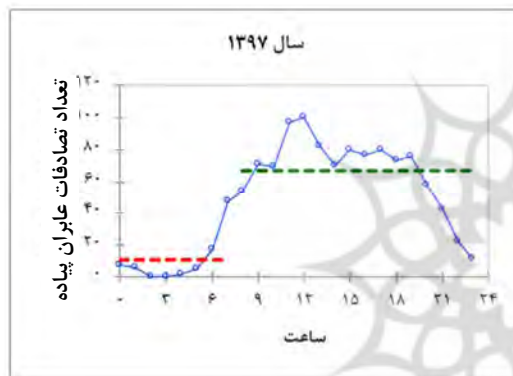
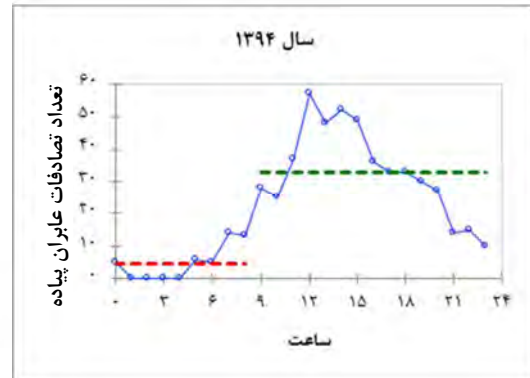
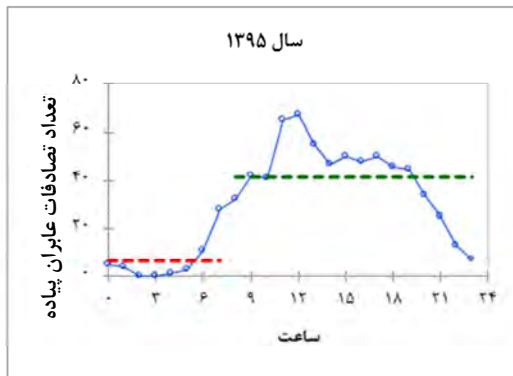
مقدار بحرانی آزمون	p-value	ماه بحرانی تغییر	Q (مقدار متناظر با آماره بیشاند)	بازه زمانی تحلیل
۰/۰۵	۰/۰۰	۶ (شهریور)	۴/۸۹	سال ۱۳۹۴
۰/۰۵	۰/۰۱	۶ (شهریور)	۵/۰۱	سال ۱۳۹۵
۰/۰۵	۰/۰۴	۴ (تیر)	۴/۲۰	سال ۱۳۹۶
۰/۰۵	۰/۰۲	۴ (تیر)	۴/۳۳	سال ۱۳۹۷
۰/۰۵	۰/۰۲	۴ (تیر)	۴/۴۱	سال ۱۳۹۸

جدول ۵. نتایج آزمون تحلیل یکنواختی بیشاند به ازای داده های مرتبط با ساعات متفاوت شبانه روز، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

مقدار بحرانی آزمون	p-value	ساعت بحرانی تغییر	Q (مقدار متناظر با آماره بیشاند)	بازه زمانی تحلیل
۰/۰۵	۰/۰۰	۸:۰۰ صبح	۸/۹۶	سال ۱۳۹۴
۰/۰۵	۰/۰۰	۷:۰۰ صبح	۸/۶۵	سال ۱۳۹۵
۰/۰۵	۰/۰۰	۷:۰۰ صبح	۹/۴۴	سال ۱۳۹۶
۰/۰۵	۰/۰۰	۷:۰۰ صبح	۸/۸۶	سال ۱۳۹۷
۰/۰۵	۰/۰۰	۸:۰۰ صبح	۸/۹۶	سال ۱۳۹۸



شکل ۹. نمودارهای مرتبط با آزمون بیشاند و محل وقوع تغییر برحسب ماه‌های متفاوت، به تفکیک سال، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)



شکل ۱۰. نمودارهای مرتبط با آزمون بیشاند و محل وقوع تغییر برحسب ساعت‌های متفاوت شبانه‌روز، به تفکیک سال، در کل بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

۴-۵- نتایج تحلیل زمانی- مکانی و شاخص Moran's I

تفاضلی

همان گونه که اشاره شد، شاخص Moran's I تفاضلی به منظور ارزیابی موقعیت مکانی تمرکز تغییرات وقوع تصادفات در بازه های زمانی متفاوت به کار رفته است. به این منظور، با در نظر گرفتن کل بازه زمانی مطالعه (از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸) و همچنین، با فرض مقادیر تصادفات عابران پیاده در سطح نواحی ترافیکی طی سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ که به ترتیب، به منزله ابتدا و انتهای برش زمانی مورد مطالعه مشخص شده اند، نتایج شاخص Moran's I تفاضلی عمومی به ازای ماه های گوناگون سال و ساعت های متفاوت شبانه روز (بازه های یک ساعته)، در دو برش زمانی مورد اشاره، محاسبه شد که نتایج آن به ترتیب، در جدول ۶ و جدول ۷، خلاصه

شده است. بنابراین متغیر مورد بررسی، در این بخش، تغییرات تصادفات عابران پیاده از ابتدای بازه زمانی تحلیل (۱۳۹۴) تا انتهای این بازه (۱۳۹۸) است. براساس مقادیر شاخص Moran's I به دست آمده در جدول ۶، می توان دریافت که تغییرات وقوع تصادفات، به ازای ماه های گوناگون سال، معنادار است (مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۵ مقدار بحرانی در سطح اطمینان ۰/۹۵) که وجود خودهمبستگی مکانی معناداری را نشان می دهد. با بررسی جدول ۷ نیز می توان دریافت مقادیر شاخص Moran's I تفاضلی، به ازای مقایسه ساعات مشابه، تقریباً در هیچ یک از ساعات شبانه روز معنادار نیست و مقیاس زمانی کوچک تر (ساعت) به از دست رفتن ویژگی های خودهمبستگی مکانی در تحلیل مورد نظر منجر شده است.

جدول ۶. نتایج شاخص Moran's I تفاضلی عمومی برای مقایسه ماه های متناظر، در دو برش زمانی ابتدا (۱۳۹۴) و انتهای بازه زمانی تحلیل (۱۳۹۸)

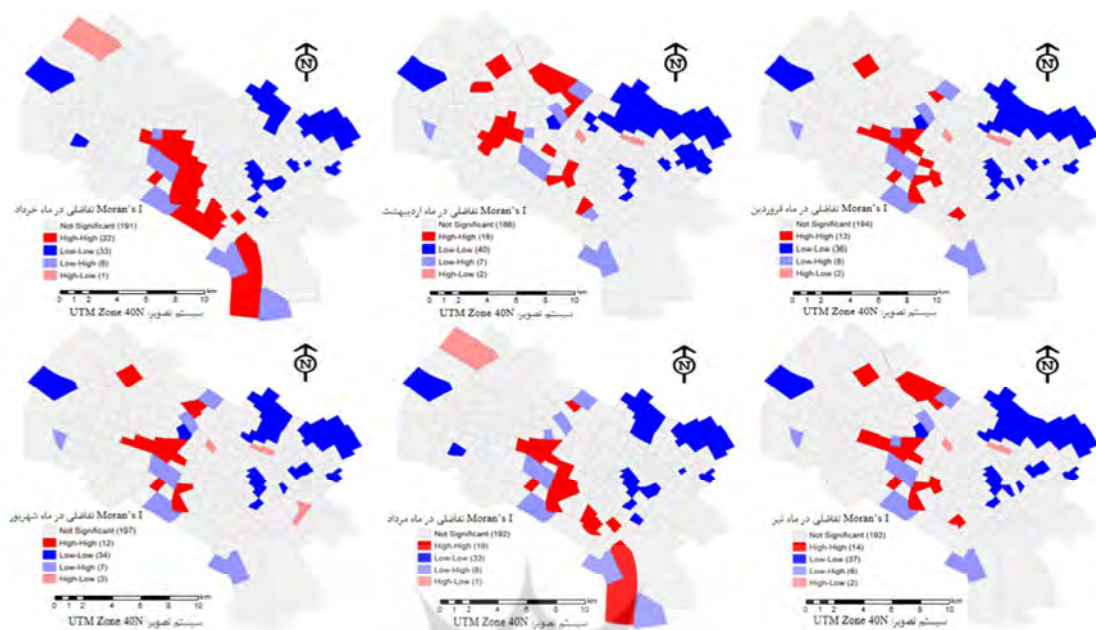
برش های زمانی	شاخص Moran's I	Z-Score	p-value
تحلیل	I تفاضلی		
فروردین	۰/۰۴	۱/۵۵	۰/۰۵
اردیبهشت	۰/۰۵	۱/۹۱	۰/۰۳
خرداد	۰/۰۴	۱/۷۴	۰/۰۳
تیر	۰/۰۸	۳/۱۳	۰/۰۰
مرداد	۰/۱۳	۴/۵۶	۰/۰۰
شهریور	۰/۰۶	۲/۰۳	۰/۰۲
مهر	۰/۱۲	۴/۱۶	۰/۰۰
آبان	۰/۰۸	۲/۹۳	۰/۰۰
آذر	۰/۱	۳/۶۷	۰/۰۰
دی	۰/۱۵	۵/۳۲	۰/۰۰
بهمن	۰/۲۵	۷/۳۱	۰/۰۰
اسفند	۰/۳۰	۹/۸	۰/۰۰

جدول ۷. نتایج شاخص Moran's I تفاضلی عمومی، برای مقایسه ساعات متناظر ابتدا (۱۳۹۴) و انتهای بازه زمانی تحلیل (۱۳۹۸)

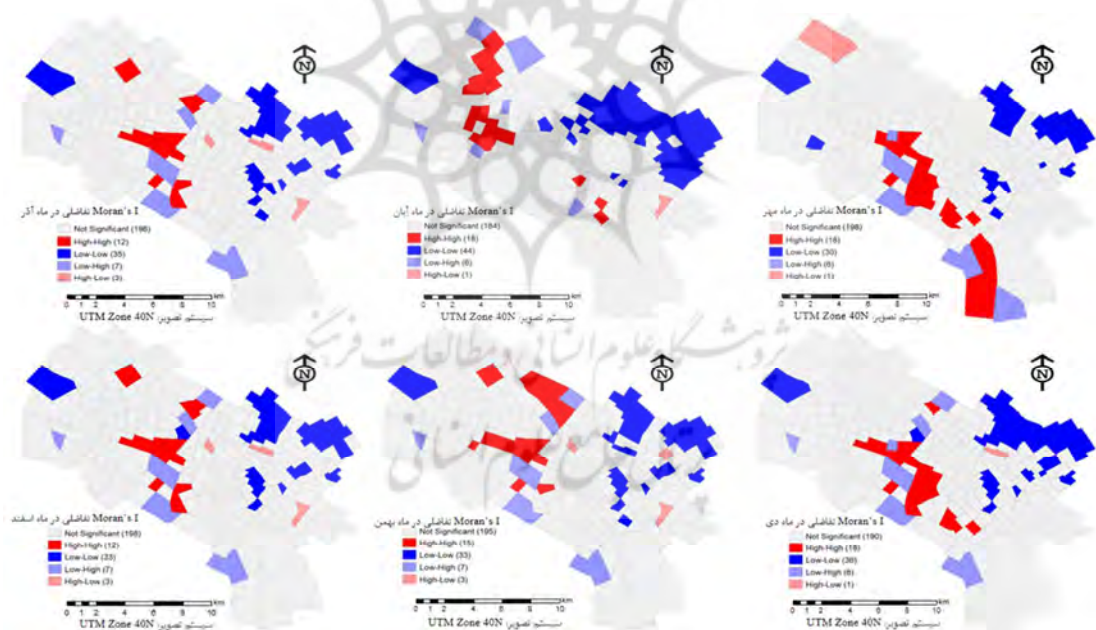
برش زمانی تحلیل (ساعت)	۱:۰۰	۲:۰۰	۳:۰۰	۴:۰۰	۵:۰۰	۶:۰۰	۷:۰۰	۸:۰۰	۹:۰۰	۱۰:۰۰	۱۱:۰۰	۱۲:۰۰
I	-۰.۸۳	۰.۱۱۵	۰.۱۰۲	-۰.۱۰۶	۰.۱۰۲	۰.۱۰۵	-۰.۱۰۵	۰.۱۰۲	-۰.۱۰۶	۰	-۰.۱۰۲	-۰.۸۴
p-value	۰.۱۰۵۹	۰.۳	۰.۳۶	۰.۸۷	۰.۳۱	۰.۸	۰.۸۷	۰.۳۴	۰.۸۵	۰.۴	۰.۴۳	۰.۶
z	-۲.۶۹	۰.۴۴	۰.۵۷	-۰.۸۵	۰.۵۲	۱.۲۸	-۰.۸۹	۰.۶۶	-۱.۱۱	۰.۸۸	-۰.۲۲	-۲.۷۳
برش زمانی تحلیل (ساعت)	۱۳:۰۰	۱۴:۰۰	۱۵:۰۰	۱۶:۰۰	۱۷:۰۰	۱۸:۰۰	۱۹:۰۰	۲۰:۰۰	۲۱:۰۰	۲۲:۰۰	۲۳:۰۰	
I	-۰.۱۰۲	-۰.۱۰۲	۰	-۰.۱۰۶	-۰.۱۰۲	۰	-۰.۱۰۶	۰.۱۰۱	-۰.۱۰۵	۰.۱۰۴	۰	
p-value	۰.۳۵	۰.۴۱	۰.۴۵	۰.۸۵	۰.۲۹	۰.۴	۰.۸۵	۰.۳۱	۰.۸۵	۰.۸۶	۰.۳۶	
z	-۰.۳۸	-۰.۳۹	۰.۱۰۷	-۰.۴	۰.۶۵	۰.۸۸	-۱.۱۰۲	۰.۴۵	-۰.۸۱	۰.۸۵	۰.۲۳	

آنها، ابتدای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۴)، از مقدار متوسط بیشتر بوده و درعین حال با نواحی ای احاطه شده اند که میزان وقوع تصادفات عابران پیاده در آنها، در انتهای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۸)، نیز بیشتر از مقدار متوسط است. این نکته بیان می کند در این نواحی، به رغم آنکه میانگین وقوع تصادفات عابران پیاده طی بازه های پنج ساله تداوم داشته است، اقدام خاصی برای بهبود ایمنی عابران پیاده انجام نشده و تغییرات همچنان میزان بالایی را نشان می دهد. برعکس، نواحی دارای برچسب Low-Low که اغلب در بخش شمال شرق و بخش هایی از شرق و روبه مرکز در نزدیکی حرم مطهر واقع شده اند، مناطقی را نشان می دهند که میزان تغییرات وقوع تصادفات در آنها، در ابتدای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۴)، کمتر از مقدار متوسط بوده و درعین حال با نواحی ای احاطه شده اند که وقوع تصادفات عابران پیاده در آنها، در انتهای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۸) نیز، کمتر از مقدار میانگین بوده است. با توجه به اینکه طی چند سال اخیر توجه ویژه ای به محدود کردن تردد در اطراف حرم مطهر شده، پایین بودن تغییرات تصادفات در بازه پنج ساله تحلیل، در این محدوده، دور از انتظار نبوده است.

همان گونه که مطرح شد، شاخص Moran's I تفاضلی عمومی درباره موقعیت تمرکز نواحی اطلاعاتی در اختیار قرار نمی دهد؛ بنابراین برای مشخص شدن موقعیت نواحی با تمرکز تغییرات، نقشه های مرتبط با Moran's I تفاضلی محلی نیز به وجود آمد که نتایج آن، به ازای ماه های گوناگون، در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ نشان داده شده است. براساس مفهوم شاخص Moran's I تفاضلی، نقشه حاصل نمایش دهنده همبستگی تغییرات تصادفات عابران پیاده بین دو بازه زمانی مورد نظر (۱۳۹۴ و ۱۳۹۸) خواهد بود و این شاخص، در واقع، به دنبال پاسخ به این سؤال است که آیا، در وقوع تصادفات عابران پیاده بین دو بازه زمانی مورد بررسی، تغییر معناداری وجود دارد یا خیر. با توجه به شکل های ۱۱ و ۱۲، می توان مشاهده کرد خودهمبستگی مکانی و مثبتی که با برچسب High-High و Low-Low نشان داده می شود، با روند تقریباً مشابهی در کل ماه های سال، در منطقه مطالعاتی حاکم است. بنابر موارد یادشده و با توجه به شکل ۱۱، مشاهده می شود که تمرکز نواحی دارای برچسب High-High اغلب در بخش هایی از مرکز و نواحی روبه جنوب منطقه مطالعاتی دیده می شود. این نواحی معرف مناطقی اند که وقوع تصادفات عابران پیاده در



شکل ۱۱. نتایج شاخص Moran's I تفاضلی برای تغییرات تصادفات عابران پیاده، به ازای ماه‌های متفاوت در شش ماه اول سال



شکل ۱۲. نتایج شاخص Moran's I تفاضلی برای تغییرات تصادفات عابران پیاده، به ازای ماه‌های متفاوت در شش ماه دوم سال

مورد توجه برنامه‌ریزان بوده است. اقدامات آرام‌سازی ترافیک، در مقیاس محله یا منطقه، از جمله راهکارهای عملیاتی محلی است که در پژوهش‌های سایر محققان

در محدوده شمال شرق مشهد نیز، به دلیل ارتباط با شبکه معابر برون‌شهری و نزدیک بودن به محدوده داخل شهر، سیاست‌های آرام‌سازی ترافیک^۱ که به کاهش وقوع تصادفات در این نواحی انجامیده، بیشتر

1. Traffic Calming

به دست آمده با نتایج پژوهش حسن پور و همکاران^۱ (۲۰۱۷) مشخص شد؛ مطالعات این محققان با تمرکز تصادفات عابران پیاده، طی بازه زمانی سه ساله ای در شهر مشهد، با استفاده از تابع کرنل انجام شده و نواحی واقع در بخش هایی از شمال شرق منطقه مطالعاتی و همچنین اطراف حرم مقدس به منزله نواحی حادثه خیز معرفی شده است. همان گونه که اشاره شد، در سال های اخیر، در زمینه تردد به بخش های مرکزی و به ویژه اطراف حرم محدودیت هایی انجام شده که به بهبود ایمنی در این مناطق منجر شده است؛ این نواحی در نقشه ها با برچسب Low-Low مشخص شده اند. بنابراین مشاهده می شود، با وجود تحلیل های زمانی یا غیرمکانی که صرفاً به وقوع رخ ندادن تغییرات می پردازند، شاخص های مکانی- زمانی موقعیت و محل وقوع تغییرات را نیز مشخص می کنند. شایان توضیح است که به دلیل معنادار نبودن شاخص Moran's I تفاضلی عمومی در ساعات متفاوت شبانه روز، تحلیلی درباره ایجاد نقشه های محلی انجام نشده است.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، عابران پیاده به منزله یکی از آسیب پذیرترین کاربران راه مورد توجه قرار گرفته و تغییرات وقوع تصادفات مرتبط با آنها طی بازه زمانی پنج ساله ای (۱۳۹۴-۱۳۹۸)، با استفاده از تحلیل های سری زمانی و تحلیل زمانی- مکانی Moran's I تفاضلی در کلان شهر مشهد، ارزیابی شده است. ضمن تحلیل سری زمانی، وجود خودهمبستگی زمانی بررسی شد و براساس نتایج، همبستگی ماهیانه و ساعتی در وقوع تصادفات عابران پیاده تأیید شد. همچنین به منظور شناسایی وجود روند زمانی، آزمون آماری من- کندال با در نظر گرفتن تأثیرات خودهمبستگی به کار رفت و نتایج روندی معنادار را در وقوع تصادفات عابران پیاده، طی ماه های گوناگون سال و نیز ساعات متفاوت

نیز، به منظور کاهش تصادفات عابران پیاده، از آنها استفاده ای مناسب شده است (Fox et al., 2015; Mead et al., 2014). در مقیاس های وسیع تر و در محدوده هایی که مجموعه ای از نواحی به صورت پیوسته میزان بالای تصادفات را نشان دهند، محققان سیاست های کلان تری، مانند کاهش سرعت در معابر اصلی یا آزادراهی را نیز، پیشنهاد کرده اند (Mead et al., 2014). نتایج جالب توجه در مورد نواحی ای به دست آمده است که با برچسب High-Low و Low-High مشخص شده اند و به شکل پراکنده، در بخش هایی از منطقه مطالعاتی قرار گرفته اند. در نواحی High-Low، وقوع تصادفات عابران پیاده در ابتدای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۴) بیشتر از مقدار میانگین بوده است ولی این نواحی با مناطقی احاطه شده اند که میزان وقوع این تصادفات در آنها، در انتهای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۸)، کمتر از مقدار میانگین است. این نکته بیان می کند که بنابر تحلیل ها، این نواحی در ابتدای بازه زمانی تحلیل به منزله مناطق حادثه خیز، از نظر تصادفات عابران پیاده، شناخته شده بودند و از این رو، به منظور بهبود وضعیت و ارتقای ایمنی عابران پیاده در این نواحی، سیاست هایی در سطح محلی مورد توجه مدیران حمل و نقلی قرار گرفته و طی بازه زمانی پنج ساله ای، مشخصاً اقدامات مؤثری در این زمینه انجام شده است. در نواحی Low-High، وقوع تصادفات عابران پیاده در ابتدای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۴)، از مقدار میانگین کمتر بود اما این نواحی در احاطه مناطقی قرار گرفته اند که میزان وقوع تصادفات عابران پیاده در آنها، در انتهای بازه زمانی تحلیل (سال ۱۳۹۸)، بیشتر از مقدار میانگین است. بنابراین با توجه به اینکه تغییرات در وقوع تصادفات، طی بازه زمانی پنج ساله ای، دارای شیبی صعودی بوده است، نواحی مذکور باید مورد توجه ویژه قرار بگیرند و متناسب با هر موقعیت و با توجه به بازرسی های محلی و میدانی، سیاست های مناسبی با هدف ارتقا یا بهبود ایمنی این مناطق در نظر گرفته شود. نکته درخور توجه پس از مقایسه نتایج

1. Hassanpour

روش مطرح شده در این پژوهش تحلیلی اکتشافی است و می توان آن را به منزله ابزار مناسبی برای کمی کردن و نمایش بصری تغییرات وقوع تصادفات عابران پیاده، به صورت نقشه در مقیاس هم افزون، مطرح کرد. با این همه، روش مورد اشاره رویکردی استنباطی نیست و بر مبنای روابط علی و معلولی، اطلاعاتی درباره عوامل و دلایل بروز تصادفات در اختیار قرار نمی دهد؛ از این رو پژوهش حاضر می تواند، به منزله گام نخست، الگوهای زمانی- مکانی تغییرات تصادفات عابران پیاده را شناسایی و تحلیل کند و متخصصان حوزه ایمنی و تصمیم گیرندگان نیز، با بازرسی های محلی، نواحی استخراج شده را ارزیابی کنند. بدیهی است که بیان سیاست ها یا راهکارها از موقعیتی مکانی به موقعیت مکانی دیگر متفاوت خواهد بود و می تواند از پیشنهاد نصب چراغ مخصوص عابران پیاده تا روش های متفاوت آرام سازی ترافیک را دربرگیرد.

۶- منابع

- Afshari, A., Ayati, E. & Barakchi, M., 2021, **Evaluating the Effects of External Factors on Pedestrian Violations at Signalized Intersections (A Case Study of Mashhad, Iran)**, IATSS Research, 45(2), PP. 234-240, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.10.004>.
- Ahmed, K., Shahid, S., Ismail, T., Nawaz, N. & Wang, X., 2018, **Absolute Homogeneity Assessment of Precipitation Time Series in an Arid Region of Pakistan**, Atmosfera, 31, PP. 301-316, <https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.03.06>.
- Aidoo, E.N., Amoh-Gyimah, R. & Ackaah, W., 2013, **The Effect of Road and Environmental Characteristics on Pedestrian Hit-and-Run Accidents in Ghana**, Accident Analysis & Prevention, 53, PP. 23-27, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.021>.
- Al-Madani, H. & Al-Janahi, A., 2006, **Personal Exposure Risk Factors in Pedestrian Accidents in Bahrain**, Safety Science, 44(4), PP. 335-347, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.10.009>.
- شبانهر روز، نشان داد. به علاوه، با استفاده از تحلیل یکنواختی که نخستین بار در حوزه ایمنی، در این مطالعه به کار رفته است، زمان وقوع تغییرات ماهیانه و ساعتی نیز شناسایی شد. بر این اساس، ماه های تیر و شهریور مطابق با آغاز و پایان تعطیلات تابستان و همچنین ساعت های ۷:۰۰-۸:۰۰ صبح که زمان آغاز فعالیت و تمرکز سفرهای کاری و آموزشی به شمار می رود، به منزله زمان های تغییر شناسایی شد. برای ارزیابی تغییرات مکانی- زمانی وقوع تصادفات نیز از شاخص Moran's I تفاضلی عمومی و محلی استفاده شد که نخستین بار در حوزه مطالعات ایمنی به کار رفته است. نتایج به دست آمده خودهمبستگی زمانی- مکانی معنادار در تغییر تصادفات را در حد فاصل برش زمانی ابتدا (سال ۱۳۹۴) و انتهای زمان تحلیل (سال ۱۳۹۸)، به ازای ماه های متفاوت، نشان داد. با وجود این، تحلیل مشابه مشخص کرد همبستگی زمانی- مکانی معناداری، به ازای ساعات متفاوت وجود ندارد و بنابراین کوچک کردن مقیاس زمانی به از دست رفتن همبستگی های مکانی نیز منجر می شود. از آنجاکه شناسایی نواحی و موقعیت های حادثه خیز و اندازه گیری کمی میزان خطر در هریک از این موقعیت ها را می توان گام اولیه برای پیشگیری از وقوع تصادفات به شمار آورد، با استفاده از روش مطرح شده در این پژوهش می توان، به جای رفتار واکنشی، از طریق شیوه ای کنشی با معضل تصادفات ترافیکی برخورد کرد؛ به این معنی که موقعیت ها و مناطقی که تصادفات ترافیکی مرتبط با عابران پیاده در آنها محتمل تر است یا میزان وقوع آن از مقداری میانگین در کل منطقه مطالعاتی بیشتر بوده، شناسایی و اولویت بندی می شوند. سپس با توجه به موقعیت این نواحی می توان سناریوهای متفاوتی، برای رفع خطر و افزایش ایمنی، پیشنهاد کرد. درواقع با استفاده از این ابزار، پیش از وقوع تصادف، احتمال وقوع آن بررسی می شود و با ارائه طرح های مناسب، می توان برای رفع آن درمورد عابران پیاده و جلوگیری از وقوع حادثه و صرف هزینه های گزاف متعاقب آن، گام هایی برداشت.

- Alexandersson, H., 1986, **A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data**, Journal of Climatology, 6(6), PP. 661-675, <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>.
- Anselin, L., 1995, **Local Indicators of Spatial Association—LISA**, Geographical Analysis, 27(2), PP. 93-115, <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- Anselin, L., 2019, **Local Spatial Autocorrelation**, GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis, <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>.
- Apardian, R.E. & Monwar Alam, B., 2020, **Pedestrian Fatal Crash Location Analysis in Ohio Using Exploratory Spatial Data Analysis Techniques**, Transportation Research Record, 2674(11), PP. 888-900, <https://doi.org/10.1177/0361198120950717>.
- Bajada, T. & Attard, M., 2021, **A Typological and Spatial Analysis of Pedestrian Fatalities and Injuries in Malta**, Research in Transportation Economics, 86, P. 101023, <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.101023>.
- Blazquez, C.A. & Celis, M.S., 2013, **A Spatial and Temporal Analysis of Child Pedestrian Crashes in Santiago, Chile**, Accident Analysis & Prevention, 50, PP. 304-311, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.001>.
- Bone, C., Wulder, M.A., White, J.C., Robertson, C. & Nelson, T.A., 2013, **A GIS-Based Risk Rating of Forest Insect Outbreaks Using Aerial Overview Surveys and the Local Moran's I statistic**, Applied Geography, 40, PP. 161-170, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.02.011>.
- Buishand, T.A., 1982, **Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records**, Journal of Hydrology, 58(1-2), PP. 11-27, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X).
- Bunnarong, S. & Upala, P., 2018, **Spatial Analysis to Identify Pedestrian Crash Zones: A Case Study of School Zones in Thailand**, The Open Transportation Journal, 12(1), DOI: 10.2174/1874447801812010167.
- Ćosić, M., Šimunović, L. & Jakovljević, M., 2019, **Relationships between External Factors and Pedestrian Accident Blackspots—A Case Study of the City of Zagreb**, Promet-Traffic&Transportation, 31(3), PP. 329-340, <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i3.3119>.
- Elzeiny, R., Khadr, M., Zahran, S. & Rashwan, E., 2019, **Homogeneity Analysis of Rainfall Series in the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia**, Journal of Engineering Research, 3(September), PP. 46-53, DOI:10.21608/erjeng.2019.125704.
- Fernandes, C.M. & Boing, A.C., 2019, **Pedestrian Mortality in Road Traffic Accidents in Brazil: Time Trend Analysis, 1996-2015**, Epidemiologia e Serviços de Saúde, 28, <https://doi.org/10.5123/S1679-49742019000100021>.
- Fox, L., Serre, M.L., Lippmann, S.J., Rodríguez, D.A., Bangdiwala, S.I., Gutiérrez, M.I., Escobar, G. & Villaveces, A., 2015, **Spatiotemporal Approaches to Analyzing Pedestrian Fatalities: The Case of Cali, Colombia**, Traffic Injury Prevention, 16(6), PP. 571-577, <https://doi.org/10.1080/15389588.2014.976336>.
- Greibe, P., 2003, **Accident Prediction Models for Urban Roads**, Accident Analysis & Prevention, 35(2), PP. 273-285, [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00005-2).
- Grekousis, G. & Gialis, S., 2019, **More Flexible Yet Less Developed? Spatio-Temporal Analysis of Labor Flexibilization and Gross Domestic Product in Crisis-Hit European Union Regions**, Social Indicators Research, 143(2), PP. 505-524, <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1994-0>.
- Gunawan, A., Mendez, C. & Santos-Marquez, F., 2019, **Regional Income Disparities, Distributional Convergence, and Spatial Effects: Evidence from Indonesia**, Munich Personal RePEc Archive, DOI: 10.1007/s10708-021-10377-7.
- Hamed, K.H. & Rao, A.R., 1998, **A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data**, Journal of Hydrology, 204(1-4), PP. 182-196, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).

- Hasani, J., Erfanpoor, S., Rajabi, A., Barzegar, A., Khodadoost, M., Afkar, M. & Hashemi Nazari, S.S., 2019, **Spatial Analysis of Mortality Rate of Pedestrian Accidents in Iran during 2012–2013**, Traffic Injury Prevention, 20(6), PP. 636-640, DOI: 10.1080/15389588.2019.1628223.
- Hassanpour, M., Mohammadzadeh, A., Mohsenian, S.H., 2016, **Investigating the Impact of Urban Planning Parameters on Pedestrian Accidents (Case Study: Mashhad City)**, 17th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, Tehran, Iran.
- Hassanpour, M., Shad, R., Mohammadzadeh, A., Shiran, G.H. & Mohsenian, S.H., 2017, **Identifying Pedestrian Accident Hotspots Using Kernel Density Function in GIS Environment (Case Study: Mashhad City)**, Road Journal, 25(90), PP. 19-30.
- Hoxha, G., Shala, A. & Likaj, R., 2017, **Pedestrian Crash Model for Vehicle Speed Calculation at Road Accident**, International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(9), PP. 1093-1099, DOI: <https://doi.org/10.1515/scjme-2017-0017>.
- Huang, J., Peng, Y., Yang, J., Otte, D. & Wang, B., 2018, **A Study on Correlation of Pedestrian Head Injuries with Physical Parameters Using in-Depth Traffic Accident Data and Mathematical Models**, Accident Analysis & Prevention, 119, PP. 91-103, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.012>.
- Ibeneme, S., Ukor, N., Droti, B., Karamagi, H., Okeibunor, J. & Zawaira, F., 2022, **Geospatial Clustering of Mobile Phone Use and Tuberculosis Health Outcomes Among African Health Systems [Original Research]**, Frontiers in Public Health, 9, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.653337>.
- Jamali-Dolatabad, M., Sadeghi-Bazargani, H. & Mousavi, S., 2022, **Applying Count Time Series to Assess 13-Year Pedestrian Mortality Trend Caused by Traffic Accidents in East-Azerbaijan Province, Iran**, International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 29(2), PP. 239-246, DOI: 10.1080/17457300.2021.1998134.
- Kahya, E., Arıkan, B.B. & Akdeniz, E., 2016, **Homogeneity Analysis of Precipitation Series in Turkey**, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering–ACE, 10.13140/rg.2.2.36695.27044.
- Kang, Y., Cho, N. & Son, S., 2018, **Spatiotemporal Characteristics of Elderly Population's Traffic Accidents in Seoul Using Space-Time Cube and Space-Time Kernel Density Estimation**, PLoS One, 13(5), P. e0196845, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196845>.
- Kaygisiz, Ö., Yildiz, A. & Duzgun, S., 2015, **Spatio-Temporal Pedestrian Accident Analysis to Improve Urban Pedestrian Safety: The Case of the Eskişehir Motorway**, Gazi University Journal of Science, 28(4), PP. 623-630.
- Kendall, M.G., 1965, **Course in Multivariate Analysis**, Hafner Publishing Company.
- Madsen, H., 2007, **Time Series Analysis**, CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781420059687>.
- Mandal, B.K. & Yadav, B.N., 2014, **Pattern and Distribution of Pedestrian Injuries in Fatal Road Traffic Accidental Cases in Dharan, Nepal**, Journal of Natural Science, Biology, and Medicine, 5(2), P. 320, DOI: 10.4103/0976-9668.136175.
- Mann, H.B., 1945, **Nonparametric Tests against Trend**, Econometrica: Journal of the Econometric Society, 13(3), PP. 245-259, <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- Marcolini, G., Bellin, A. & Chiogna, G., 2017, **Performance of the Standard Normal Homogeneity Test for the Homogenization of Mean Seasonal Snow Depth Time Series: Performance of Snht for Snow Depth Time Series**, International Journal of Climatology, 37, <https://doi.org/10.1002/joc.4977>.
- Martin, A., 2006, **Factors Influencing Pedestrian Safety: A Literature Review**, TRL Wokingham, Berks.
- Mead, J., Zegeer, C. & Bushell, M., 2014, **Evaluation of Pedestrian-Related Roadway Measures: A Summary of Available Research**, P a BI Center. Chapel Hill, NC, UNC Highway safety Research Center, 115, DOI: 10.4236/chnstd.2017.61003.

- Mirzaei, B., Shad, R. & Mohammadzadeh, A., 2021, **Evaluation of the Spatial Distribution of Elderly Pedestrian Accidents Using a GIS Environment (Case Study: Mashhad City)**, Journal of Traffic Engineering, 89, PP. 15-25.
- Munira, S., Sener, I.N. & Dai, B., 2020, **A Bayesian Spatial Poisson-Lognormal Model to Examine Pedestrian Crash Severity at Signalized Intersections**, Accident Analysis & Prevention, 144, P. 105679, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105679>.
- Murat, O., Sayin, C.G. & Yuruk, Y., 2017, **Analysis of the Pedestrian Accidents in Turkey**, International Journal of Engineering and Geosciences, 2(3), PP. 100-109, <https://doi.org/10.26833/ijeg.323826>.
- Nabavi Niaki, M.S., Fu, T., Saunier, N., Miranda-Moreno, L.F., Amador, L. & Bruneau, J.-F., 2016, **Road Lighting Effects on Bicycle and Pedestrian Accident Frequency: Case Study in Montreal, Quebec, Canada**, Transportation Research Record, 2555(1), PP. 86-94, <https://doi.org/10.3141/2555-12>.
- Oikawa, S., Matsui, Y., Doi, T. & Sakurai, T., 2016, **Relation between Vehicle Travel Velocity and Pedestrian Injury Risk in Different Age Groups for the Design of a Pedestrian Detection System**, Safety Science, 82, PP. 361-367, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.003>.
- Palma, W., 2016, **Time Series Analysis**. John Wiley & Sons, DOI: 10.1007/s00362-016-0858-4.
- Parvareh, M., Karimi, A., Rezaei, S., Woldemichael, A., Nili, S., Nouri, B. & Nasab, N.E., 2018, **Assessment and Prediction of Road Accident Injuries Trend Using Time-Series Models in Kurdistan**, Burns & Trauma, 6, DOI: 10.1186/s41038-018-0111-6.
- Pettitt, A.N., 1979, **A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem**, Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28(2), PP. 126-135, <https://doi.org/10.2307/2346729>.
- Prato, C.G., Gitelman, V. & Bekhor, S., 2012, **Mapping Patterns of Pedestrian Fatal Accidents in Israel**, Accident Analysis & Prevention, 44(1), PP. 56-62, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.022>.
- Qasim, S.M., Youns, A.M. & Mahmood-Agha, O.M., 2020, **Testing of the Homogeneity of Precipitation Time Series in Selected Regions of Iraq**, Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ), 25(1), PP. 126-137, DOI: 10.33899/rengj.2020.127033.1035.
- Rabbani, M., Musarat, M.A., Alaloul, W., Maqsoom, A., Bukhari, H. & Rafiq, W., 2021, **Road Traffic Accident Data Analysis and Its Visualization**, Civil Engineering and Architecture, 9, PP. 1603-1614, <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090530>.
- Rankavat, S. & Tiwari, G., 2013, **Pedestrian Accident Analysis in Delhi Using GIS**, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 10, PP. 1446-1457, DOI:10.11175/EASTS.10.1446.
- Roess, R.P., Prassas, E.S. & McShane, W.R., 2010, **Traffic Engineering** (4th ed.), Prentice Hall.
- Santhosh, A., Sam, E. & Bindhu, B., 2020, **Pedestrian Accident Prediction Modelling—A Case Study in Thiruvananthapuram City**, Transportation Research: Proceedings of CTRG 2017, DOI:10.1007/978-981-32-9042-6_50.
- Schneider, R.J., Ryznar, R.M. & Khattak, A.J., 2004, **An Accident Waiting to Happen: A Spatial Approach to Proactive Pedestrian Planning**, Accident Analysis & Prevention, 36(2), PP. 193-211, [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(02\)00149-5](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00149-5).
- Sen, P.K., 1968, **Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau**, Journal of the American Statistical Association, 63(324), PP. 1379-1389, <https://doi.org/10.2307/2285891>.
- Sewalkar, P. & Seitz, J., 2019, **Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges**, Sensors, 19(2), P. 358, <https://doi.org/10.3390/s19020358>.

- Shabanikiya, H., Hashtarkhani, S., Bergquist, R., Bagheri, N., VafaeiNejad, R., Amiri-Gholanlou, M., Akbari, T. & Kiani, B., 2020, **Multiple-Scale Spatial Analysis of Paediatric, Pedestrian Road Traffic Injuries in a Major City in North-Eastern Iran 2015–2019**, BMC Public Health, 20(1), PP. 1-11, DOI: 10.1186/s12889-020-08911-2.
- Shariat Mohaymany, A. & Shahri, M., 2020, **Evaluating the Impact of New Congestion Charging Scheme Using Smartphone-Based Data: A Spatial Change Detection Study**, Canadian Journal of Civil Engineering, 47(9), PP. 1105-1115, <https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0106>.
- Shbeeb, L., 2023, **Clustering and Pedestrian Crashes Prediction Modelling: Amman Case**, International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 30(4), PP. 501-529, DOI: 10.1080/17457300.2023.2214900.
- Sheykhsfard, A., Haghighi, F., Nordfjærn, T. & Soltaninejad, M., 2020, **Structural Equation Modelling of Potential Risk Factors for Pedestrian Accidents in Rural and Urban Roads**, International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 28(1), PP. 46-57, <https://doi.org/10.1080/17457300.2020.1835991>.
- Sheykhsfard, A., Haghighi, F., Papadimitriou, E. & Van Gelder, P., 2021, **Analysis of the Occurrence and Severity of Vehicle-Pedestrian Conflicts in Marked and Unmarked Crosswalks through Naturalistic Driving Study**, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 76, PP. 178-192, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.11.008>.
- Shiran, GH., Hassanpour, M., Shad, R. & Mohammadzadeh, A., 2017, **Network-Based Modeling of Pedestrian Injury Accidents Using Neural Networks in a GIS Environment (Case Study: Mashhad City)**, Journal of Transportation, 10(2), PP. 245-266, DOI: 20.1001.1.20086598.1397.10.2.4.9.
- Siddiqui, C., Abdel-Aty, M. & Choi, K., 2012, **Macroscopic Spatial Analysis of Pedestrian and Bicycle Crashes**, Accident Analysis & Prevention, 45, PP. 382-391, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.003>.
- Soltani, A. & Askari, S., 2014, **Analysis of Intra-Urban Traffic Accidents Using Spatiotemporal Visualization Techniques**, Transport and Telecommunication, 15(3), P. 227, DOI 10.2478/ttj-2014-0020.
- Stipancic, J., Miranda-Moreno, L., Strauss, J. & Labbe, A., 2020, **Pedestrian Safety at Signalized Intersections: Modelling Spatial Effects of Exposure, Geometry and Signalization on a Large Urban Network**, Accident Analysis & Prevention, 134, P. 105265. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105265>.
- Theofilatos, A. & Efthymiou, D., 2012, **Investigation of Pedestrians' Accident Patterns in Greater Athens Area**, Procedia-Social and Behavioral Sciences, 48, PP. 1897-1906, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1164>.
- Timea, K., Kovács-Székely, I. & Anda, A., 2020, **Homogeneity Tests and Non-Parametric Analyses of Tendencies in Precipitation Time Series in Keszthely, Western Hungary**, Theoretical and Applied Climatology, 139, <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03014-4>.
- Truong, L.T. & Somenahalli, S.V., 2011, **Using GIS to Identify Pedestrian-Vehicle Crash Hot Spots and Unsafe Bus Stops**, Journal of Public Transportation, 14(1), PP. 99-114, <https://doi.org/10.5038/2375-0901.14.1.6>.
- Von Neumann, J., 1941, **Distribution of the Ratio of the Mean Square Successive Difference to the Variance**, The Annals of Mathematical Statistics, 12(4), PP. 367-395, DOI: 10.1214/aoms/1177731677.
- WHO, 2013, **Pedestrian Safety: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners**.
- Wilt, G., Lewis, B. & Adams, E., 2019, **A Spatial Exploration of Changes in Drug Overdose Mortality in the United States, 2000–2016**, Preventing Chronic Disease, 16, <https://doi.org/10.5888/pcd16.180405>.

- Xu, X., Xie, S., Wong, S.C., Xu, P., Huang, H. & Pei, X., 2016, **Severity of Pedestrian Injuries due to Traffic Crashes at Signalized Intersections in Hong Kong: A Bayesian Spatial Logit Model**, Journal of Advanced Transportation, 50(8), PP. 2015-2028, <https://doi.org/10.1002/atr.1442>.
- Yigit Katanalp, B., Eren, E. & Alver, Y., 2023, **An Integrated Solution to Identify Pedestrian-Vehicle Accident Prone Locations: GIS-Based Multicriteria Decision Approach**, Journal of Transportation Safety & Security, 15(2), PP. 137-176, <https://doi.org/10.1080/19439962.2022.2048760>.
- Yue, S. & Wang, C., 2004, **The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series**, Water Resources Management, 18(3), PP. 201-218, DOI: 10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60.
- Zhang, S., Abdel-Aty, M., Yuan, J. & Li, P., 2020, **Prediction of Pedestrian Crossing Intentions at Intersections Based on Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network**, Transportation Research Record, 2674(4), PP. 57-65, <https://doi.org/10.1177/0361198120912422>.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

This page is Intentionally Left Blank



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات
پرتال جامع علوم انسانی