

Original Article



Identifying Spatial and Temporal Patterns of Urban Activities Using Mobile Phone Data

Hanieh Zhendeh Khatibi¹, Afshin Shariat Mohaymany^{2*}, Matin Shahri³

Affiliation

1. Ph.D. Candidate. School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
2. Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, School of Geoscience Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran

ABSTRACT

Introduction: Recently, the use of big data from mobile devices has received considerable attention in transportation studies. The need to do activities is the main inducement for urban trip generation. Furthermore, urban activities and their patterns vary both over space and time. Mobile phone data, as a kind of continuous spatiotemporal data, records the location of people at different times. Therefore such data is suitable for the estimation of urban activity levels and the detection of patterns. In this study, we selected Shiraz as the study area due to its cultural, religious, and tourist significance, as well as the presence of major healthcare centres in the city. The analysis of spatial and temporal patterns of urban trips using continuous spatiotemporal data, such as mobile phone records, can significantly contribute to the improvement of transportation system management, planning, and policy-making for Shiraz.

Materials and Methods: The variable under investigation in this study is the activity density within a specific time interval and a defined spatial unit. Activity is defined as the number of individuals who either enter or leave a specific area for a specific purpose. Furthermore, activity density indicates the level of activity within the area's unit of measurement. To investigate activity density across 321 traffic analysis zones (TAZ) in Shiraz, mobile phone data was collected over a one-week period (from 2021-06-24 to 2021-06-30). Following the implementation of data cleaning and preprocessing techniques, individuals' stay point and home locations were identified. The population of each TAZ was estimated by utilising the location of individuals within their respective homes. The estimated population and the real population in each spatial unit were employed to calculate the expansion factor. The activity levels within one-hour time intervals on workdays, semi-workdays, and weekends were estimated using an appropriate expansion factor. To examine the spatial dependency of the variable of interest (density of activities), global and local Moran's I indices were applied to the aggregated density of activities. The study employed exploratory analysis of urban activities time series to identify the trend of activity level, peak periods, intensity change by time, as well as other relevant temporal characteristics. Additionally, the Standardized Normal Homogeneity Test (SNHT) was employed to identify the change point of activity in time series, which indicates the commencement of the activities.

Results: The results not only demonstrated a significant positive spatial autocorrelation of the density of activities within traffic zones (P -Value < 0.001), but also identified the hotspots in the central parts of the study areas. It is notable that the central zones of the city exhibited high activity density, which was influenced by the spatial relationships within the study area. An exploratory analysis of time series revealed variations in activity patterns. These patterns exhibited higher activity levels on workdays compared to semi-workdays, and weekends. The time series observed in the latter half of the semi-workdays exhibited a striking resemblance to that of workdays, yet subsequently exhibited a trend between workdays and non-workdays as the activity level decreased. By examining the time series of activities, it can be observed that the mid-day peak period occurs at 12:00 to 14:00, while the evening peak period occurs at 20:00 to 22:00. Additionally, the lowest level of daily activity was identified between 3 and 6 a.m. The time series uniformity test was employed to ascertain the starting times of activities on workdays and semi-workdays, which were identified as 8:00 am, and on weekends, which were identified as 9:00 am. To validate the detected population and expansion factors and thus the estimated activity level, a spatial correlation between the estimated mobile phone population and the actual population within traffic analysis zones was calculated, which yielded an approximately 82% correlation coefficient. This correlation is statistically significant and therefore acceptable.

Conclusion: The results of these analyses could prove beneficial for the formulation of appropriate transportation planning and policy, as well as for the management of population density at hotspots at any time of the day. Furthermore, they could inform the analysis of urban transportation environmental impacts. With the availability of accurate mobile phone data for a range of spatial units, including traffic zones and even entire countries, it is possible to extract a diverse range of urban activity patterns, including those highlighted in this research.

Keywords: Urban Activity Pattern, Spatial Analysis, Temporal Analysis, Mobile Phone Data

Citation: Zhendeh Khatibi, H., Shariat Mohaymany, A., Shahri, M., *Identifying Spatial and Temporal Patterns of Urban Activities Using Mobile Phone Data*, Iran J Remote Sens GIS. 16(2):65-84.

* Corresponding Author: Shariat@iust.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/GISJ.2023.103097>

Received: 2022.06.12
Accepted: 2023.01.07





شناسایی الگوهای مکانی و زمانی فعالیت‌های شهری با استفاده از داده‌های تلفن همراه

هانیه زنده خطیبی^۱، افشین شریعت مهیمنی^{۲*}، متین شهری^۳

سمت

۱. دانشجوی دکتری گروه حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۲. استاد گروه حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۳. استادیار دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک، مرکزی، ایران

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر استفاده از کلان‌داده‌های تلفن همراه در مطالعات حمل‌ونقلی بسیار مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. منشأ ایجاد سفرهای شهری، نیاز افراد به انجام دادن فعالیت است. از طرفی، سطح فعالیت‌های شهری و الگوی آن نیز در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متغیر است. داده‌های تلفن همراه، به‌عنوان نوعی از داده‌های پیوسته مکانی-زمانی، حضور افراد در مکان‌ها و زمان‌های مختلف را ثبت می‌کنند و بنابراین این داده‌ها با نرخ نفوذ بالا به‌منظور شناسایی سطح فعالیت شهری و استخراج الگوی فعالیت افراد در زمان‌های مختلف، مناسب و پرکاربرد هستند. در این پژوهش، با توجه به اهمیت ساختار فرهنگی، مذهبی، گردشگری و همچنین وجود مراکز درمانی کلان‌شهر شیراز، این شهر به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده است. لذا تحلیل الگوی مکانی و زمانی سفرهای شهری با به‌کارگیری داده‌های پیوسته مکانی-زمانی همچون داده‌های تلفن همراه، می‌تواند به بهبود مدیریت سیستم حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح این شهر کمک شایان توجهی کند.

مواد و روش‌ها: متغیر مورد بررسی در این مطالعه، تراکم سطح فعالیت در یک برش زمانی و یک واحد مکانی مشخص است. فعالیت به‌معنای تعداد افرادی است که به‌منظور انجام فعالیتی با هدف معین ناحیه‌ای را ترک و یا به ناحیه‌ای وارد می‌شوند. تراکم سطح فعالیت نیز بیانگر میزان فعالیت در واحد مساحت هر ناحیه ترافیکی است. به‌منظور بررسی تراکم سطح فعالیت افراد در سطح ۳۲۱ ناحیه ترافیکی شهر شیراز، داده‌های تلفن همراه به‌مدت یک هفته (۱۴۰۰/۰۴/۰۳ تا ۱۴۰۰/۰۴/۰۹) در شهر شیراز جمع‌آوری شد. پس از پاکسازی و آماده‌سازی داده‌ها، نقاط توقف افراد و محل خانه آن‌ها شناسایی شد. ضمن به‌کارگیری ضریب تعمیم مناسب، سطح فعالیت در نواحی ترافیکی در بازه‌های زمانی یک‌ساعته در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری برآورد شد. در ادامه میزان خودهمبستگی مکانی سطح فعالیت، با استفاده از شاخص خودهمبستگی مکانی Moran's I عمومی و محلی در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری بررسی شد. سپس، با استفاده از تحلیل‌های اکتشافی سری زمانی فعالیت‌های شهری و تحلیل یکنواختی سری زمانی (SNHT)، الگوی زمانی سطح فعالیت‌ها، بازه زمانی آغاز فعالیت‌ها، بازه اوج میان‌روز، بازه اوج عصر و سایر مشخصه‌های سری زمانی بررسی شد.

نتایج: در تحلیل مکانی میزان خودهمبستگی مکانی سطح فعالیت، با استفاده از شاخص خودهمبستگی مکانی Moran's I عمومی و محلی در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری بررسی و وجود خودهمبستگی مکانی مثبت و معنادار فعالیت در واحد مساحت نواحی ترافیکی ($P\text{-Value} < 0.001$) تأیید شد. لذا سطح فعالیت نواحی، متأثر از روابط مکانی در محدوده مطالعاتی است و نواحی مهم با تراکم فعالیت بالا در مناطق مرکزی شهری شناسایی شدند. نتایج تحلیل‌های سری زمانی اکتشافی نمایانگر تغییرات ساعتی در الگوی زمانی سطح فعالیت‌هاست. همچنین در روزهای کاری فعالیت‌های بیشتری نسبت به روزهای غیرکاری و نیمه‌کاری انجام می‌شود. سری زمانی در نیمه از روز نیمه‌کاری کاملاً مشابه با روزهای کاری است و پس از ساعات اداری با کاهش سطح فعالیت روندی بین روزهای کاری و روز غیرکاری تجربه می‌کند. با بررسی سری زمانی فعالیت‌ها بازه اوج میان‌روز در ساعت ۱۲ تا ساعت ۱۴ و بازه اوج عصر در ساعت ۲۰ تا ساعت ۲۲ رخ می‌دهد. همچنین کمترین سطح فعالیت روزانه بین ساعت ۳ تا ۶ صبح تشخیص داده شد. با استفاده از آزمون یکنواختی سری زمانی نیز بازه زمانی آغاز فعالیت‌ها در روزهای کاری و نیمه‌کاری در ساعت ۸ صبح و در روزهای غیرکاری ساعت ۹ صبح شناسایی شد. شایان ذکر است به‌منظور اعتبارسنجی جمعیت ساکن شناسایی‌شده و ضرایب تعمیم، همبستگی مکانی بین جمعیت برآوردشده از داده‌های تلفن همراه و جمعیت واقعی هریک از نواحی ترافیکی بررسی شد که برابر با ۰/۸۲ است و از نظر آماری معنادار و قابل قبول است.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه می‌تواند در فرایند برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح، مدیریت تقاضا و حضور افراد در مکان‌های پرتراکم شهر و در بازه زمانی دلخواه و همچنین تحلیل‌های مرتبط با اثرات زیست‌محیطی حمل‌ونقل شهری تأثیرگذار باشد. با در دسترس بودن داده‌های تلفن همراه با دقت مناسب در سایر مراکز فعالیتی با مقیاس‌های مختلف (یک محدوده ترافیکی، محدوده شهر، استان و حتی کل کشور)، می‌توان الگوهای مختلف فعالیت شهری و از جمله نتایج این مطالعه را استخراج کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی فعالیت شهری، تحلیل مکانی، تحلیل زمانی، داده‌های تلفن همراه

استناد: زنده خطیبی، ه.، شریعت مهیمنی، ا.، شهر، م.، شناسایی الگوهای مکانی و زمانی فعالیت‌های شهری با استفاده از داده‌های تلفن همراه، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳: ۸۴-۶۵



۱- مقدمه

با گسترش شهرها و افزایش جمعیت، نیاز افراد جامعه به جابه‌جایی و استفاده از شبکه حمل‌ونقل بیش از پیش افزایش می‌یابد. هم‌زمان با افزایش جابه‌جایی در شبکه حمل‌ونقل، مشکلات ترافیکی و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی ناشی از آن در جامعه نیز بیشتر می‌شود. امروزه کلان‌شهرها با مشکلاتی همچون افزایش ازدحام مسیر، ایجاد گره ترافیکی، کاهش سطح خدمات در معابر عبوری، افزایش آلودگی هوا و آلودگی صوتی، افزایش زمان سفر و افزایش هزینه‌های ناشی از جابه‌جایی، مواجه شده‌اند؛ بنابراین مطالعات سفرها و فعالیت‌های شهری همواره یکی از چالش‌های اساسی در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری است. سفرهای شهری ناشی از نیاز افراد به انجام فعالیت در مکان‌ها و زمان‌های متفاوت است و لذا استفاده از داده‌های مکانی-زمانی پیوسته به منظور تحلیل فعالیت‌ها شهری بسیار ضروری است. در این راستا تحلیل و بررسی داده‌ها مکانی-زمانی پیوسته در سطح کلان‌شهرها از اساسی‌ترین نیازهای مطالعات مدیریت شهری است.

با پیشرفت فناوری، حجم زیادی از داده‌ها از طریق تلفن همراه کاربران در سراسر دنیا جمع‌آوری می‌شوند. این داده‌ها با استفاده از شبکه تلفن همراه، برنامه‌های نصب‌شده در گوشی کاربران، بلوتوث، سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی^۱ و داده‌های شبکه‌های اجتماعی به دست می‌آیند. داده‌های به‌دست‌آمده از تلفن همراه به‌عنوان نوعی از کلان‌داده‌ها دارای چهار مشخصه - حجم بالا، سرعت جمع‌آوری بالا، تنوع بالا، اعتبار و دقت مناسب - هستند و به‌عنوان یک منبع داده کم‌هزینه و سریع در سال‌های اخیر مورد توجه محققان در زمینه‌های مختلف قرار گرفته‌اند. برای نمونه مطالعات در حوزه علوم محیطی (Guo et al., 2020; Yu et al., 2020)، مطالعات در زمینه پزشکی (Milusheva, 2020; Wang et al., 2021)، مطالعات در زمینه مدیریت بحران (Xing et al., 2021)، مطالعات در زمینه صنعت گردشگری (Ahas et al., 2008;)

(Kubo et al., 2020) و مطالعات در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل (Alexander et al., 2015; Calabrese et al., 2011; Iqbal et al., 2014; Jiang et al., 2017; Tettamanti et al., 2012) اشاره کرد. همچنین، مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل نیز به‌کارگیری داده‌های تلفن همراه به‌عنوان داده‌های پیوسته مکانی-زمانی، امکان انجام تحلیل‌های مختلف در زمینه فعالیت‌های شهری را فراهم کرده است. مطالعات تحلیل فعالیت‌های شهری با استفاده از داده‌های تلفن همراه از واحدهای مکانی مختلف از جمله واحدهای شبکه‌ای^۲ (Louail et al., 2014)، سلول‌های ورونی^۳ (Zuo & Zhang, 2012)، بلوک‌های آماری^۴ (Li et al., 2019) و در تعداد معدودی نواحی ترافیکی^۵ (Yang et al., 2019) استفاده شده است.

چگونگی تعریف فعالیت نیز عاملی مهم و تأثیرگذار در تحلیل فعالیت‌های شهری محسوب می‌شود. جابه‌جایی افراد در جامعه به‌منظور انجام فعالیت مورد نیاز، به تردد در شهر و استفاده از شبکه حمل‌ونقل منجر می‌شود. این جابه‌جایی می‌تواند به‌معنای بررسی حضور افراد در نواحی شهری، توقف افراد در نواحی مختلف و یا سنجش تردد قبل و بعد از توقف کاربر به‌منظور هدف مشخص و انجام فعالیت در آن موقعیت مکانی باشد. تخمین این جابه‌جایی به‌منزله تخمین سطح فعالیت افراد جامعه است. مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در برخی مطالعات، از تعداد کاربران فعال به‌عنوان متغیرهای مورد استفاده در تحلیل مکانی فعالیت شهری، استفاده شده است (Chen et al., 2020; García-Palomares et al., 2015; Ghahramani et al., 2019). در برخی دیگر از مطالعات، تعداد کاربران نسبت به کل فعالیت در محدوده مطالعاتی (Moya-Gómez et al., 2021; Ratti et al., 2006)

1. Global Positioning System
2. grid
3. Voronoi cells
4. census blocks
5. Traffic Analysis Zones

فعالیت افراد علاوه بر اینکه در موقعیت‌های مکانی مختلف متفاوت است، در زمان‌های مختلف از جمله اوج صبح یا اوج عصر و یا روزهای کاری و غیرکاری نیز تفاوت‌های چشمگیری را نشان می‌دهند. بر این اساس، شناخت زمان آغاز و پایان سفرها، زمان اوج سفرها و روند سطح فعالیت افراد در زمان‌های مختلف روز، می‌تواند در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدیران حمل‌ونقل بسیار تأثیرگذار باشد. در این راستا، یکی از رایج‌ترین روش‌ها استفاده از سری‌های زمانی است که در تحلیل فعالیت‌های شهری در تحقیقات پیشین استفاده شده است (Lee et al., 2018; Louail et al., 2014; Zuo & Zhang, 2012). تحلیل شناسایی روند و تحلیل یکنواختی سری زمانی در زمینه‌های مختلفی چون مطالعات مرتبط با هواشناسی و بارندگی (Ahmed et al., 2020; Marcolini et al., 2017; Tímea et al., 2018)، استفاده شده است، اما در زمینه مطالعات مرتبط با حمل‌ونقل فقط به تعداد مقالات معدودی در این زمینه می‌توان اشاره کرد که در ادامه بررسی خواهند شد.

قائدرحمتی و دانشمندی (۱۳۹۷) با مطالعات میدانی و نقشه‌های تحلیل گردشگری و به‌کارگیری Moran's I و شاخص G، میزان همبستگی مکانی و خوشه‌بندی نقاط گرم و سرد را برای مناطق گردشگری شهر اصفهان بررسی و وجود همبستگی بالا در فضاهای گردشگری را اثبات کرد. همچنین، او در این مطالعه نتیجه گرفت که فضاهای گردشگری جدید دارای همبستگی چشمگیری هستند (Ghaed Rahmati & Daneshmandi, 2018). مازولاو فورچینیتی^۷ (۲۰۱۲)، در شهر کوزنتسای^۸ ایتالیا از Moran's I عمومی و محلی، به‌منظور بررسی خودهمبستگی مکانی سفرهای افراد از خانه به محل کار و محل‌های آموزشی استفاده و

و یا بر مبنای مساحت نواحی (Li et al., 2019) استانداردسازی می‌شوند. در هر حالت، متغیر مناسب باید نسبت به تغییر مقدار مساحت واحدهای مکانی مورد مطالعه، جمعیت نواحی و تغییرات میزان تقاضا در نواحی مختلف شهر، حساس باشد؛ بنابراین استانداردسازی سطح فعالیت نسبت به هر یک از موارد یادشده، متغیر مناسبی ایجاد خواهد کرد. در پژوهش حاضر، فعالیت به‌معنای جابه‌جایی افراد به‌منظور انجام فعالیت (آغاز یا پایان فعالیت) در بین نواحی ترافیکی است و نسبت به مساحت واحدها مکانی استانداردسازی شده است.

در بررسی داده‌های مورد استفاده در حوزه حمل‌ونقل و از جمله داده‌های به‌دست‌آمده از تلفن همراه، ویژگی‌های مشترکی دیده می‌شود که تحت عنوان اثرات خودهمبستگی مکانی^۱ شناخته می‌شوند. خودهمبستگی مکانی بیانگر همبستگی میان مقادیر متغیر در موقعیت مکانی نسبت به موقعیت‌های نزدیک به آن مکان است. در میان شاخص‌های مختلف ارزیابی خودهمبستگی مکانی، شاخص Moran's I یکی از رایج‌ترین شاخص‌هاست. مطالعات متعددی با به‌کارگیری Moran's I، وجود یا نبود خودهمبستگی مکانی متغیر مورد مطالعه در نواحی مختلف شهری و بررسی وجود ساختار خوشه‌ای در شهرها را بررسی کرده‌اند (Gao et al., 2019; Ghaed Rahmati & Daneshmandi, 2018; Ghodousi et al., 2020; Khan, 2018; Mazzulla & Forciniti, 2012; Moya-Gómez et al., 2021; Rahman & Neema, 2015). شاخص‌های سنجش خودهمبستگی مکانی و از جمله Moran's I در دو نوع شاخص‌های عمومی^۲ و محلی^۳ طبقه‌بندی می‌شوند. خروجی تحلیل‌های مکانی عمومی فقط می‌تواند وجود و یا نبود ساختار خوشه‌ای^۴، پراکنده^۵ و یا تصادفی^۶ را بررسی کنند و هیچ اطلاعاتی در ارتباط با موقعیت مکانی ساختار خوشه‌ای، شدت تمرکز آن، و تجمع مقادیر بالا و پایین در اختیار تحلیلگر قرار نمی‌دهند؛ بنابراین استفاده از تحلیل‌های مکانی محلی به‌منظور شناسایی محل خوشه‌ها و بررسی شرایط هر واحد مکانی نسبت به همسایگی آن الزامی است.

1. spatial autocorrelation
2. global
3. local
4. clustered
5. dispersed
6. random
7. Mazzulla and Forciniti
8. Cosenza

استفاده از مدل‌سازی و تخمین چگالی کرنل، مناطق مهم شهری در بازه‌های زمانی مطالعاتی را معرفی کردند (Ghahramani et al., 2019). لی^۵ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از واحدهای مکانی شبکه‌ای و داده‌های LU تلفن همراه، جمعیت فعال در زمان‌های مختلف روزهای هفته در شهرهای کشور کره بررسی کردند. همچنین، نقاط مهم شهری با فعالیتی بیشتر از یک مقدار معین را شناسایی و ساختار این شهرها را با یکدیگر مقایسه کردند. در این مطالعه، تحلیل‌های اکتشافی سری زمانی فعالیت در شهرها بررسی شد، درحالی‌که بعد مکانی فعالیت مغفول مانده است (Lee et al., 2018).

از طرفی با توجه به ماهیت داده‌های CDR، این نوع داده‌ها به شدت وابسته به شیوه حمل‌ونقلی مورد استفاده و الگوهای ارتباطی کاربران هستند (Wang et al., 2013). به طور مثال افرادی که از شیوه حمل‌ونقل شخصی استفاده می‌کنند، در حین رانندگی از تلفن همراه استفاده نمی‌کنند، ولی افرادی که با سامانه حمل‌ونقل همگانی جابه‌جا می‌شوند ممکن است بیشتر از تلفن همراه استفاده کنند. همچنین، نوع کاربران و میزان استفاده افراد از تلفن همراه متفاوت است. مثلاً میزان استفاده افراد جوان از تلفن همراه بیشتر است؛ بنابراین برای کاهش اثر خطاهای مذکور، استفاده از داده‌های LU به جای CDR مناسب‌تر به نظر می‌رسد. از طرفی، عدم استانداردسازی فعالیت در تحلیل‌هایی که مبتنی بر واحدهای مکانی سطحی نظیر نواحی ترافیکی یا بلوک‌های آماری هستند، می‌تواند به نتایج اشتباه در تحلیل‌ها منجر شود و این موضوع ضرورت استانداردسازی را نیز مشخص می‌کند. همچنین، به‌رغم اینکه تحلیل‌های سری زمانی در برخی مطالعات دیده می‌شود، از تحلیل‌های شناسایی روند و تحلیل‌های یکنواختی به‌منظور شناخت بهتر سری زمانی در هیچ یک از مطالعات مورد بررسی استفاده نشده است.

وجود خوشه‌ها میان مناطق آماری را شناسایی و بررسی کردند. واحدهای مکانی مورد استفاده در این مطالعه بلوک‌های آماری بودند و از داده‌های تقاضای سفر برای انجام تحلیل‌های مکانی استفاده شده است (Mazzulla & Forciniti, 2012). خان (۲۰۱۸) با به‌کارگیری آمار گردشگری سالانه و با استفاده از Moran's I، جریان گردشگری در کشور ترکیه را بررسی کرد و ضمن شناسایی شهرهای مهم گردشگری، وجود خودهمبستگی مکانی مثبت سطح حضور گردشگر بین مناطق را تأیید کرد. تحلیل‌های این مطالعه در بررسی خودهمبستگی بین شهرها براساس تعداد گردشگر هر شهر و بدون استانداردسازی انجام شده است (Khan, 2018). مویا گومز^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، با به‌کارگیری داده‌های تلفن همراه CDR^۲، تحلیل مکانی Moran's I عمومی و محلی و همچنین استفاده از شاخص شانون^۳، حرکت جمعیت متناسب با مشخصه‌های اقتصادی-اجتماعی افراد، در روز و شب را با یکدیگر مقایسه کردند. در این مطالعه خوشه‌های با شدت بالای فعالیت در طول روز و در تعداد نواحی بیشتر نسبت به ساعات شبانه شناسایی شد. همچنین، در این مطالعه میزان تراکم و شدت فعالیت افراد نیز بررسی شد (Moya-Gómez et al., 2021).

داده‌های CDR، موقعیت مکانی فرد را هنگام تماس و یا تبادل پیامک ثبت می‌کنند. در زمان برقرار نشدن تماس یا تبادل پیامک، به‌رغم جابه‌جایی در سطح شهر، تغییر در موقعیت مکانی فرد ثبت نمی‌شود. به‌عبارتی داده‌های CDR دارای سفرهای پنهان هستند و لذا استفاده از داده‌های تلفن همراه LU^۴ می‌تواند نتایج مطالعه را تا حد زیادی بهبود بخشد؛ چراکه داده‌های LU موقعیت مکانی فرد را هنگام تماس، تبادل پیامک و نیز جابه‌جایی در محدوده تحت پوشش آنتن‌ها ثبت می‌کنند. قهرمانی و همکاران (۲۰۱۹) در شهر ماکائوی چین، با استفاده از داده‌های CDR در مناطق شهری با محاسبه Moran's I، همبستگی سطح فعالیت در مناطق مختلف محدوده مطالعاتی را محاسبه و با

1. Moya-Gómez
2. Call Detail Records
3. Shannon index
4. Location Update
5. Lee

جامعه با ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی و گروه‌های سنی مختلف‌اند و بنابراین برای تحلیل فعالیت و رفتار سفرهای شهری داده‌های مناسبی به نظر می‌رسند. شبکه‌های تلفن همراه که به آن‌ها شبکه‌های سلولی نیز گفته می‌شود از سلول‌هایی تشکیل شده‌اند که این سلول‌ها فرکانس‌های رادیویی مناطق اطراف ایستگاه اصلی^۱ را پوشش می‌دهند. به عبارتی هر سلول در یک شبکه سلولی، محدوده جغرافیایی است که در آن سیگنال‌های رادیویی در یک فضای پیوسته نفوذ می‌کنند. شکل ۱ الف تصویری از وضعیت ایستگاه‌های اصلی و محدوده تحت پوشش آن‌ها را نمایش می‌دهد. زمانی که یک کاربر تلفن همراه در حال حرکت است و وارد یک سلول می‌شود، شبکه ایستگاه‌های اصلی حضور کاربری را که در محدوده همسایگی ایستگاه آن‌ها وجود دارد، شناسایی می‌کنند. سپس به صورت خودکار، ایستگاه اصلی بر روی تلفن همراه مورد نظر قفل می‌شود و تماس را از یک ایستگاه اصلی و سلول فعلی به ایستگاه بعدی و سلول خدمت‌رسان بعدی در شبکه انتقال می‌دهد.

داده‌های تلفن همراه مورد استفاده در این مطالعه از نوع LU خواهند بود که به مدت یک هفته (۱۴۰۰/۰۴/۰۳ تا ۱۴۰۰/۰۴/۰۹) در شهر شیراز جمع‌آوری شده است. در داده‌های LU در صورت برقراری تماس، ارسال یا دریافت پیامک و استفاده از اینترنت همراه در زمان مشخص، یک رکورد ثبت می‌شود. همچنین، در صورت تغییر موقعیت مکانی فرد و ورود به محدوده تحت پوشش آنتن دیگر، موقعیت مکانی فرد به‌روزرسانی می‌شود.

واحدهای مکانی مورد نظر، شامل ۳۲۱ ناحیه ترافیکی در محدوده کلان‌شهر شیراز خواهد بود. منبع داده مورد استفاده دارای ۳۶۲ آنتن در محدوده مطالعاتی و شامل ۲۲۲۱۰۰۳ کاربر است. کد رمز شده به شماره تلفن افراد، مختصات آنتن‌ها با دقت سه‌دهم اعشار، تاریخ و زمان ثبت رکورد، نام شهر و استان

با توجه به آنچه گفته شد، در این پژوهش، کلان‌شهر شیراز، مرکز استان فارس در کشور ایران به‌عنوان منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده است. مطابق سالنامه آماری شهر شیراز در سال ۱۳۹۵، شهر شیراز با جمعیتی بالغ بر ۱/۶ میلیون نفر در مساحتی نزدیک به ۲۱۷ کیلومتر مربع به‌عنوان پنجمین شهر پرجمعیت کشور شناخته شده است (Municipality, 2016). با توجه به اهمیت ساختار فرهنگی، مذهبی، گردشگری و همچنین وجود مراکز درمانی شهر شیراز، تحلیل سفرهای شهری می‌تواند بسیار مؤثر و در راستای بهبود کیفیت جابه‌جایی در این شهر باشد. بنابراین پس از بررسی دقت و صحت داده‌های اولیه تلفن همراه موجود و اطلاعات واحدهای مکانی مناسب، شهر شیراز به‌عنوان محدوده مطالعاتی این پژوهش انتخاب شد. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه تحلیل‌های مکانی-زمانی فعالیت‌های شهری، به‌منظور پوشش خلأ موجود در مطالعات پیشین، در مطالعه پیش رو از داده‌های تلفن همراه LU استفاده شده است. پس از آماده‌سازی داده‌ها، خودهمبستگی مکانی تراکم فعالیت‌ها (استانداردشده برحسب مساحت) بر روی نواحی ترافیکی با استفاده از Moran's I عمومی و محلی بررسی خواهد شد. در ادامه، یک تحلیل اکتشافی از سری زمانی مرتبط با فعالیت روزانه و هفتگی ارائه می‌شود. سپس تحلیل یکنواختی سری زمانی به‌منظور شناسایی زمان تغییر در سطح فعالیت شهری انجام خواهد شد. با افزایش جمعیت کلان‌شهرها و افزایش حضور افراد در جامعه، شناخت سفرهای شهری و محل تراکم حضور افراد در ساعت‌های مختلف روزهای مختلف، می‌تواند به بهبود مدیریت سیستم حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری صحیح در کلان‌شهرهای مهم شهری کمک شایان توجهی کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منبع داده و محدوده مطالعاتی

داده‌های تلفن همراه حجم بالا و دقت مناسبی دارند و حاوی اطلاعاتی در خصوص دامنه وسیعی از افراد

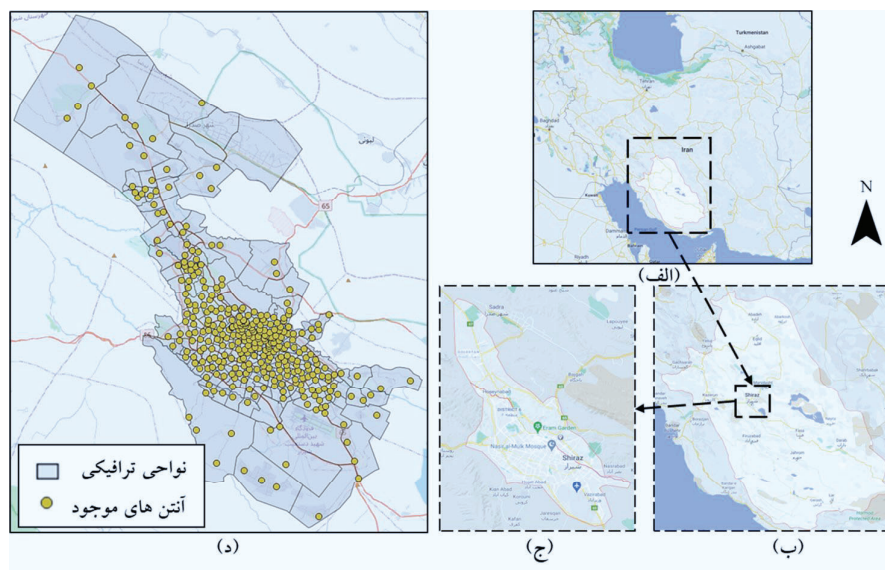
1. Base Transceiver Station

۲-۲- پیش‌پردازش^۱ داده‌ها و کار با داده‌های تلفن همراه
پیش‌پردازش اولیه داده‌ها در چهار گام شامل پاک‌سازی^۲، شناسایی داده‌های پرت^۳، شناسایی نقاط توقف^۴، تخصیص داده‌ها به واحدهای مکانی و استانداردسازی داده‌ها صورت گرفته است. پاک‌سازی اولیه شامل بررسی وجود/نبود داده‌های خالی^۵،

مربوطه در داده‌های دریافتی موجود است. همچنین به دلیل رعایت حریم خصوصی افراد، هیچ اطلاعاتی درباره کاربران، محل خانه و یا مشخصه‌های اقتصادی-اجتماعی آن‌ها در دست نیست. شکل ۲ تصویری از محدوده مطالعاتی و پراکنش آنتن‌ها و واحدهای مکانی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. تصویری از نواحی ترافیکی و محدوده تحت پوشش ایستگاه‌ها. (الف) ایستگاه‌ها اصلی و محدوده تحت پوشش هر ایستگاه؛ (ب) وضعیت نواحی ترافیکی و سلول‌های ورونوی



شکل ۲. معرفی محدوده مطالعاتی. (الف) موقعیت استان فارس در کشور ایران؛ (ب) موقعیت شهر شیراز در استان فارس؛ (ج) محدوده شهر شیراز؛ (د) واحدهای مکانی مورد مطالعه و موقعیت آنتن‌ها

1. data preprocessing
2. data cleaning
3. outliers
4. stay points
5. Not A Number

هفته انتخاب شد. پس از حذف داده‌های پرت، تعداد ۵۶۹۲۹۳ کاربر در نمونه باقی ماندند.

با توجه به ماهیت داده‌های LU، هنگام ثبت موقعیت مکانی، فرد می‌تواند به‌منظور انجام فعالیت در محل توقف کرده باشد؛ یا در حال جابه‌جایی بین محل‌های فعالیت خویش باشد. با توجه به اینکه سنجش سطح فعالیت افراد در محدوده مطالعاتی یکی از اهداف این پژوهش است، حذف داده‌های نقاط عبوری^۳ افراد می‌تواند به افزایش دقت مطالعه کمک شایان توجهی کند. در این مرحله، به‌منظور شناسایی نقاط توقف و عبوری، از روش هاریهارن و توپاما (Hariharan & Toyama, 2004) استفاده شده است. مطابق این روش چنانچه فردی بیشتر از فاصله d متر در زمان t دقیقه جابه‌جا نشده باشد، آن کاربر به‌منظور انجام فعالیت در محدوده شعاع d توقف کرده است. Medoid این نقاط (در خوشه‌بندی داده‌ها، نقطه‌ای که دارای حداقل فاصله از سایر نقطه‌های موجود در خوشه است، نام دارد) در فاصله d، به‌عنوان محل توقف فرد شناسایی می‌شود. سپس با خوشه‌بندی تجمعی نقاط توقف شناسایی شده، محل توقف و فعالیت افراد تعیین می‌شود. سایر نقاط به‌عنوان نقطه عبوری از منبع داده کنار گذاشته می‌شوند. بازه زمانی مورد استفاده در پژوهش حاضر برای نیل به هدف یادشده، برابر با ۱۰ دقیقه و در فاصله ۷۰۰ متر (متوسط فاصله بین آنتن‌ها) در نظر گرفته شده است.

برای برآورد جمعیت ساکن هر یک از نواحی ترافیکی و سپس تعمیم نمونه به کل جامعه، محل فعالیت مهم افراد (محل خانه، محل کار و سایر) شناسایی شدند. خانه، واحد مکانی است که فرد در روز غیر جمعه بین ساعات ۰۰:۰۰ تا ۰۶:۰۰ و حداقل ۴ بار در هفته طولانی‌ترین توقف و بیشترین حضور را در آن محل داشته باشد. محل کار، هر واحد مکانی غیر از

خطا در مختصات آنتن اتصال و وجود داده‌های نامناسب است. در گام بعدی، داده‌های پرت شامل داده‌های پرت مکانی^۱ (داده‌های خارج از محدوده مطالعاتی) و داده‌های پرت نقطه‌ای^۲ (کاربران با ویژگی‌های نامتعارف) متناسب با واحدهای مکانی و ناحیه مطالعاتی شناسایی شدند. برخی از آنتن‌های فعال موجود در منبع داده به‌عنوان نقاط پرت مکانی شناخته شده و از منبع داده کنار گذاشته شدند. داده‌های پرت نقطه‌ای تلفن همراه شامل افراد با حجم رکوردهای بسیار بالا، کاربران با تعداد رکوردهای ثبت‌شده بسیار کم، کاربران با متوسط بازه زمانی بین رکوردهای ثبت‌شده بسیار طولانی یا کاربرهایی با متوسط فاصله زمانی بسیار کوتاه‌اند. این گروه داده‌ها نمی‌توانند نماینده مناسبی از جامعه مطالعاتی باشند و حضور آن‌ها در منبع داده به کاهش دقت و اعتبار نتایج تحلیل منجر می‌شود. به این منظور، در ابتدا پس از پاک‌سازی و استانداردسازی داده‌ها، مشابه روش استفاده‌شده در مطالعه پرویز و همکاران (۲۰۱۷) (Parwez et al., 2017)، با به‌کارگیری روش خوشه‌بندی k-means، با توجه به تعداد رکورد ثبت‌شده و متوسط فاصله زمانی رکورد افراد، کاربران در هفت خوشه یا کلاس مشخص طبقه‌بندی شدند. خوشه‌ای که به‌صورت پرت از سایر خوشه‌ها قرار داشت و هم‌مین‌طور خوشه‌های با تعداد عضو پایین، به‌عنوان خوشه‌ها با داده‌های نامناسب غربال شدند. سپس با استفاده از نمودار جعبه‌ای و همچنین روابط آماری ارائه‌شده در (Hawkes & Webb, 1962) بازه مجاز برای هر یک از مشخصه‌های تعداد رکورد و متوسط فاصله زمانی، با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده شد.

رابطه (۱) انحراف معیار $3 \times \pm$ میانگین = بازه مجاز در نهایت با استفاده از اطلاعات بالا، قضاوت مهندسی و شناخت ماهیت داده‌ها، بازه مجاز متوسط زمان بین رکورد افراد (۰ تا ۲۰۰) دقیقه و تعداد رکورد ثبت‌شده کاربران (۳۰۰ تا ۳۸۰۰) رکورد در طول یک

1. spatial outlier
2. point outlier
3. pass-by points

است. از نظر واحد زمانی، بازه‌های زمانی یک‌ساعته در هریک از روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری در نظر گرفته شد. از نظر مکانی، با توجه به اینکه تحلیل‌های مرتبط با مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمدتاً در مقیاس نواحی ترافیکی اعمال انجام می‌شوند، در این پژوهش نیز مینا، نواحی ترافیکی در گرفته شده است. لذا سطح فعالیت ثبت‌شده در آنتن‌های مخابراتی باید به نواحی ترافیکی تخصیص داده شوند. با بررسی پراکنش آنتن‌ها بر روی نواحی ترافیکی مطابق شکل ۱.ب، ممکن است محدوده تحت پوشش هر آنتن چندین ناحیه ترافیکی را شامل شود. همین‌طور ممکن است در برخی نواحی ترافیکی، هیچ آنتنی وجود نداشته باشد؛ بنابراین در مرحله بعد باید سهم هر یک از واحدهای مکانی از محدوده تحت پوشش آنتن‌های مطالعاتی مشخص شد. با رسم سلول‌های ورنوی برای آنتن‌ها، سهم هر ناحیه ترافیکی از مساحت سلول ورنوی هر آنتن برآورد شد. سپس متناسب با سهم هر ناحیه از مساحت تحت پوشش هر آنتن، فعالیت نواحی ترافیکی در واحدهای زمانی به نواحی ترافیکی تخصیص داده شد.

۲-۳- تحلیل مکانی

نواحی جغرافیایی نمایانگر الگوهای مکانی مشخصی هستند. الگوهای موجود در نواحی جغرافیایی، تابعی از مشخصه‌های ناحیه جغرافیایی و نواحی اطراف آن هستند. مطابق قانون اول توبلر^۱ «تمام رویدادها با یکدیگر در ارتباطند، ولی رویدادهای واقع شده در موقعیت‌های مکانی نزدیک‌تر نسبت به مکان‌های دورتر ارتباط بیشتری با یکدیگر دارند» (Tobler, 1970). Moran's I، یکی از رایج‌ترین شاخص‌های آمار مکانی است که به منظور بررسی خودهمبستگی و ارتباطات مکانی رویدادها بکار می‌رود. رابطه (۲) نشان‌دهنده رابطه Moran's I عمومی (Anselin, 2010) است:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

1. Tobler

خانه است که فرد در روزهای کاری (غیر جمعه)، در ساعات بین ۷:۰۰ تا ۲۰:۰۰ و حداقل ۴ بار در هفته در آن محل حضور داشته باشد (Alexander et al., 2015; Jiang et al., 2017). در نهایت، موقعیت مکانی محل خانه و کار افراد موجود در نمونه به دست آمد. به منظور تبدیل جمعیت نمونه به جمعیت واقعی نواحی ترافیکی از ضریب تعمیم استفاده شد. بدین‌منظور، نسبت جمعیت واقعی بزرگ‌نواحی ترافیکی (مطابق با برآورد طرح جامع شهر شیراز) به جمعیت ساکن نمونه در آن نواحی محاسبه و سپس ضریب تعمیم ناحیه محل سکونت افراد در زنجیره فعالیت آن‌ها لحاظ شد و لذا سطح فعالیت شهری برای جمعیت واقعی شهر برآورد شد.

پس از آماده‌سازی اولیه، داده‌ها در بازه‌های زمانی یک‌ساعته و به تفکیک روزهای هفته تجمیع شدند. میزان همبستگی سطح فعالیت در روزهای هفته محاسبه شد. همبستگی سطح فعالیت در روزهای شنبه تا چهارشنبه بیشتر از ۰/۹۹ به دست آمد و لذا در انتخاب بازه زمانی مناسب برای تحلیل روزهای کاری، برای بهبود دقت از یک روز میانگین کاری برای تحلیل‌ها استفاده شد. از طرفی، مطالعات پیشین نشان داده‌اند که عملکرد جمعیت شهری در طی روزهای کاری مشابه بوده و این عملکرد در روزهای غیرکاری و تعطیل مشابه یکدیگر است (Feng et al., 2019). با توجه به اینکه در روز پنج‌شنبه معمولاً فعالیت کاری افراد به ساعات کمتری محدود می‌شود، به منظور بررسی تفاوت الگوی فعالیت روز پنج‌شنبه به صورت جداگانه تحلیل شد؛ بنابراین میانگین روزهای کاری هفته (شنبه تا چهارشنبه) به‌عنوان روز کاری، روز پنج‌شنبه به‌عنوان روز نیمه‌کاری و روز جمعه به‌عنوان روز غیرکاری بررسی شد.

در این مطالعه، فعالیت به‌معنای جابه‌جایی افراد به‌منظور انجام فعالیت (آغاز یا پایان فعالیت) در بین نواحی ترافیکی است. به‌عبارتی، فعالیت به‌معنای تعداد افرادی است که ناحیه‌ای را ترک و یا به ناحیه‌ای وارد می‌شوند. سطح فعالیت نشان‌دهنده میزان فعالیت در یک برش زمانی مشخص و یک واحد مکانی مشخص

فراهم می‌کند. این نواحی معرف موقعیت‌هایی با خودهمبستگی مکانی مثبت (High-High و Low-Low) و منفی (High-Low و Low-High) هستند. برخی از این نواحی تحت عنوان نواحی پرت برچسب‌گذاری می‌شوند که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

۲-۴- تحلیل سری زمانی

تحلیل‌های اکتشافی، بصری‌سازی داده‌ها و رسم نمودار، یکی از روش‌های اساسی و مهم در تحلیل سری‌های زمانی است. با توجه به ماهیت داده‌های مرتبط با فعالیت‌های شهری، انتظار می‌رود زمان شروع و پایان فعالیت در محدوده ساعت مشخصی اتفاق بیفتد و اوج صبحگاهی و اوج عصر مشاهده شود. بازه زمان اوج و سایر اطلاعات با رسم نمودار سری زمانی حاصل می‌شود. این نمودار همچنین، امکان مقایسه فعالیت افراد در روزها و ساعات مختلف را فراهم می‌کند. در نهایت، وجود روند منطقی فعالیت در ساعات مختلف روزهای عادی (روزهای فاقد پیامدی که به تغییرات در روند سری زمانی منجر شود) نیز باید تأیید شود. متغیر مورد بررسی در تحلیل‌های سری زمانی، سطح فعالیت شهری در بازه زمانی یک‌ساعته در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری در نظر گرفته شده است.

تحلیل‌های یکنواختی^۱ از تحلیل‌های زمانی پرکاربردند. در تحلیل یکنواختی، تغییر روند در یک زمان معین مانند t از سری زمانی بررسی می‌شود. در برخی روش‌های موجود، زمان وقوع این تغییر نیز قابل محاسبه است. شناسایی زمان تغییر روند در سطح فعالیت شهری، در شناسایی بازه زمانی اوج‌گیری فعالیت شهری و بازه زمانی که افراد زیادی شروع به جابه‌جایی در شهر می‌کنند، مؤثر است و می‌تواند در انواع سیاست‌گذاری حمل‌ونقل مرتبط با زمان سفر استفاده شود. روش‌های مختلفی برای انجام این نوع تحلیل وجود دارد که گزینه‌های مختلف از جمله تغییر

که در آن N تعداد واحدهای مکانی (۳۲۱)، x متغیر مورد مطالعه، \bar{x} میانگین x ، ماتریس وزنی همسایگی واحدهای مکانی i و j و W مجموع تمام درایه‌های ماتریس وزنی است. در این مطالعه ماتریس وزنی با استفاده از معکوس فاصله اقلیدسی و استانداردسازی سطری برآورد شد و لذا مقدار $\frac{N}{W}$ برابر با یک است. متغیر مورد بررسی، سطح فعالیت در واحد مساحت نواحی ترافیکی در نظر گرفته شده است.

Moran's I می‌تواند نمایانگر سه نوع همبستگی مثبت، منفی و یا نشان‌دهنده عدم همبستگی مکانی باشد. همبستگی مثبت زمانی اتفاق می‌افتد که مقادیر مشابه در فضای دوبعدی به صورت خوشه‌ای قرار گرفته باشند. در این صورت مقدار محاسبه‌شده برای Moran's I ، تقریباً $+1$ خواهد شد. در همبستگی منفی مقادیر غیرمشابه با یکدیگر تشکیل خوشه می‌دهند و مقدار Moran's I تقریباً -1 می‌شود. در صورت نبود همبستگی بین مقادیر، Moran's I تقریباً برابر با صفر می‌شود. نتایج آزمون‌های خودهمبستگی مکانی و از جمله Moran's I با تکیه بر یک فرض مبتنی بر وجود الگوی تصادفی در رویدادهای مشاهده‌شده قابل تفسیر است. به این ترتیب که اگر نتایج آزمون‌های آماری فرض صفر مبنی بر نبود ساختار خوشه‌ای را رد کند، خودهمبستگی مکانی معنادار خواهد بود.

همان‌گونه که در مقدمه بیان شد، به منظور دریافت اطلاعات در خصوص موقعیت قرارگیری خوشه‌ها، Moran's I محلی استفاده خواهد شد که برای هر واحد مکانی i با رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Anselin, 2010).

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j \quad (3) \text{ رابطه (۳)}$$

که در آن z_i و z_j انحراف مقدار مشاهده‌شده از میانگین مشاهدات در واحد مکانی i و j هستند. در این رابطه نیز ممکن است ماتریس وزنی نیاز به استانداردسازی داشته باشد. خروجی تحلیل Moran's I محلی، نقشه‌ای است که امکان تقسیم منطقه مطالعاتی به چهار ناحیه مشخص را

1. Homogeneity test

با استفاده از Moran's I عمومی و محلی در منطقه مطالعاتی بررسی شد. در ادامه تحلیل‌های زمانی با استفاده از داده‌های تجمیع شده سطح فعالیت در برش‌های زمانی یک‌ساعته در کل منطقه مطالعاتی انجام شد. سپس، تحلیل اکتشافی از سری زمانی فعالیت ارائه شد. همچنین، تحلیل یکنواختی سری زمانی SNHT به منظور شناسایی زمان تغییر در سطح فعالیت شهری و در بازه زمانی یک‌ساعته به ازای روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری بررسی شد. به منظور اعتبارسنجی نتایج مطالعه، نتایج تحلیل‌ها را مطالعات قبلی مطابقت داده و همچنین همبستگی مکانی جمعیت ساکن برآورد شده با استفاده از داده‌های تلفن همراه در هر ناحیه ترافیکی در سال ۱۴۰۰ و جمعیت برآورد شده تقاضا در سال ۱۴۰۰ در طرح جامع حمل‌ونقل براساس جمعیت سال پایه ۱۳۹۴ محاسبه شد.

۳- نتایج

همان‌گونه که اشاره شد، پس از پاک‌سازی و آماده‌سازی داده‌ها، نقاط توقف افراد و محل خانه آن‌ها شناسایی شد. ضمن به کارگیری ضریب تعمیم مناسب، سطح فعالیت در نواحی ترافیکی در بازه‌های زمانی یک‌ساعته در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری برآورد شد. در این بخش، در ابتدا نتایج تحلیل‌های مکانی براساس ارزیابی آزمون‌های آماری به منظور تعیین خودهمبستگی سطح فعالیت در نواحی ترافیکی ارائه شده است. در گام بعدی نتایج تحلیل‌های زمانی به منظور شناسایی ساعات اوج فعالیت شهری، الگوی سطح فعالیت و زمان بروز تغییرات در فعالیت افراد نمایش داده شده است. در آخر نتایج ارزیابی جمعیت برآورد شده برای نواحی ترافیکی تشریح شده است.

در میانگین، تغییر در توزیع و یا وجود الگوی به‌خصوص را شناسایی می‌کنند. آزمون یکنواختی نرمال استاندارد^۱ (SNHT) را نخستین بار الکساندرسون^۲ (۱۹۸۶) برای شناسایی تغییر در داده‌های بارندگی به کار برد (Alexandersson, 1986). این آزمون در مجموعه‌ای از نرخ‌ها که نشان‌دهنده مشاهدات محل ایستگاه نسبت به متوسط تمام ایستگاه‌ها بودند، اعمال شد و سپس نرخ‌ها استانداردسازی شدند. متغیر X_t در این رابطه مربوط به نرخ‌های استاندارد شده است. اگر T تعداد بازه‌های زمانی و X_t متغیر مشاهده شده معادل بازه زمانی t باشد، در این صورت، فرض صفر مبین آن است که تمام T متغیر X_t دارای توزیع یکسان از ۰ تا ۱ هستند. فرض جایگزین نیز به این صورت است که در بازه زمانی (U) و $(1+U)$ متغیرها دارای توزیع $N(\mu_1, 1)$ و در بازه زمانی (T) متغیرها دارای توزیع $N(\mu_2, 1)$ هستند. بنابراین آماره SNHT (T_0) به واسطه رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{v} \sum_{t=1}^v X_t \quad \text{رابطه (۴)}$$

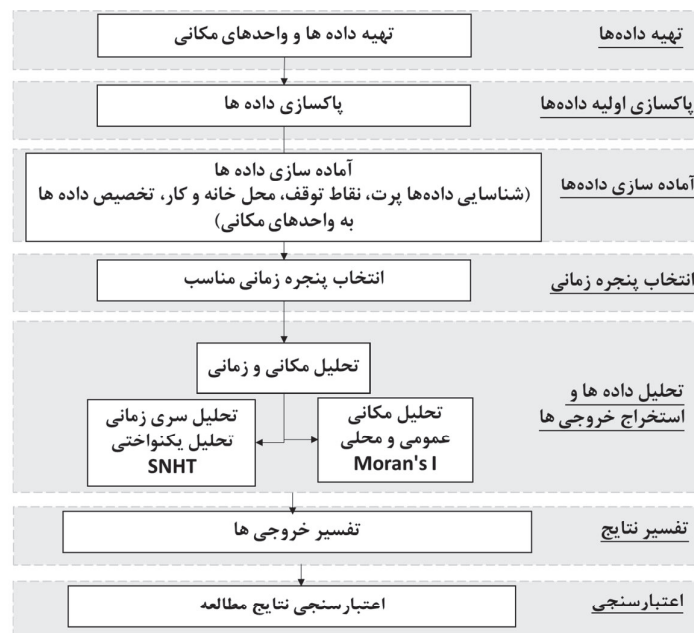
$$\bar{z}_2 = \frac{1}{T-v} \sum_{t=v+1}^T X_t$$

$$T_0 = \max_{1 \leq t < T} [v\bar{z}_1^2 + (T-v)\bar{z}_2^2]$$

که در این رابطه \bar{z}_1 و \bar{z}_2 به ترتیب میانگین مقادیر مشاهده شده در بازه زمانی (U) و $(1+U)$ هستند. با وقوع T_0 در زمان t ، چنانچه فرض صفر با P -Value متناسب رد شود، می‌توان نتیجه گرفت روند توزیع سری زمانی تغییر می‌کند و محل این تغییر در مقدار U رخ خواهد داد و آن نقطه به عنوان نقطه تغییر روند پذیرفته می‌شود.

شکل ۳ فرایند انجام پژوهش را در قالب یک روندنا ارائه می‌دهد. در مطالعه پیش رو پس از آماده‌سازی اولیه، سطح فعالیت نواحی ترافیکی شهر شیراز در بازه‌های زمانی یک‌ساعته و به تفکیک روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری برآورد شد. خودهمبستگی مکانی میزان فعالیت در واحد مساحت نواحی ترافیکی

1. Standard Normal Homogeneity Test
2. Alexandersson



شکل ۳. روندنمای فرایند انجام مطالعه

۳-۱- نتایج تحلیل‌های مکانی

به‌منظور تعیین فاصله همسایگی در ماتریس وزنی مکانی، Moran's I به‌ازای مقادیر شعاع همسایگی‌های مختلف محاسبه شد. فاصله‌ای که به‌ازای آن بالاترین مقدار Z و به‌عبارتی شدیدترین خودهمبستگی مکانی مشاهده شد، به‌عنوان فاصله مناسب برای محاسبه Moran's I نهایی به کار گرفته شد. بر این اساس، به‌ازای متغیر تعداد افراد حاضر در واحد مساحت، فاصله مناسب ۵۲۸۳ متر به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های مبتنی بر Moran's I به‌تفکیک، براساس روز و متغیر مورد بررسی در جدول ۱ جمع‌بندی شده است. با توجه به اینکه مقدار P-Value برای هر سه حالت کمتر از ۰/۰۰۰۱ بوده و مقدار Z-Score، عددهای بیشتر از ۲/۵۸ نشان می‌دهد، وجود خودهمبستگی مکانی مثبت و ساختار خوشه‌ای با شدت بالا در نواحی ترافیکی اثبات می‌شود. با توجه به این موضوع می‌توان انتظار داشت که سطح فعالیت، متأثر از روابط مکانی در محدوده مطالعاتی باشد.

نتایج حاصل از Moran's I محلی براساس فعالیت در واحد مساحت به‌ازای روزهای مختلف در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌گونه که عنوان شد خروجی تحلیل‌های Moran's I محلی امکان تقسیم منطقه مطالعاتی به نواحی با مقادیر همبستگی مکانی بالا و پایین را فراهم می‌آورد. همان‌گونه که در خروجی‌های مبتنی بر فعالیت در واحد مساحت دیده می‌شود (شکل ۴)، نواحی مرکزی شهر با برچسب High-High مشخص شده‌اند، این نواحی معرف مناطقی با تراکم فعالیت بالا هستند و توسط نواحی با تراکم فعالیت بالا نیز احاطه شده‌اند. این نواحی عمدتاً محل تجمع کاربری‌های اداری، تجاری، درمانی و آموزش عالی هستند. همچنین، برخی نواحی که با برچسب High-High در نواحی شرقی شهر عمدتاً دارای کاربری مسکونی و فضای سبز هستند. با دور شدن از مرکز شهر نواحی با برچسب High-Low و Low-High نیز مشاهده می‌شوند. این نواحی به‌ترتیب معرف مناطقی هستند که سطح بالا/پایین فعالیت را دارند و با نواحی که سطح پایین/بالای فعالیت را دارند، احاطه شده‌اند.

جدول ۱. نتایج تحلیل Moran's I عمومی به‌ازای روزها و متغیرهای مورد بررسی

روز مورد بررسی	متغیر مورد بررسی	Moran's I	Z-Score	P-Value
روز کاری (میانگین شنبه تا چهارشنبه)	فعالیت در واحد مساحت (نفر/هکتار)	۰/۲۸۶۷	۲۱/۸۷۷	۰/۰۰۰۰
روز پنج‌شنبه	فعالیت در واحد مساحت (نفر/هکتار)	۰/۲۸۱۷	۲۱/۳۶۳	۰/۰۰۰۰
روز غیرکاری (جمعه)	فعالیت در واحد مساحت (نفر/هکتار)	۰/۲۲۴۰	۱۷/۰۱۷	۰/۰۰۰۰

۲-۳- نتایج تحلیل نمودار سری زمانی

نتایج مرتبط با سطح فعالیت ثبت شده در هر واحد زمانی در شکل ۵ نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۵ نمودار سری زمانی روزهای کاری تقریباً بر هم منطبق اند. جهش کوچکی در اوج عصر روز چهارشنبه مشاهده می‌شود. علت این افزایش نسبی می‌تواند به دلیل اخبار منتشر شده باشد که در این روز به دلیل تشدید ویروس کووید-۱۹، محل‌های تفریحی و گردشگری از ۱۴۰۰/۴/۱۰ تعطیل اعلام شد. بنابراین ممکن است افراد فعالیت نسبی بیشتری در آخرین روز تفریحی انجام داده باشند. سطح فعالیت در روز جمعه کمتر است. سری زمانی در روز پنج‌شنبه درخور تأمل است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روز پنج‌شنبه در ساعات اداری الگویی کاملاً مشابه با روزهای کاری دارد و پس از ساعات اداری با کاهش سطح فعالیت روندی مابین روزهای کاری و روز غیرکاری تجربه می‌کند، که تأییدی است بر فرض روز پنج‌شنبه به‌عنوان یک روز نیمه‌کاری. برای شناسایی الگوی فعالیت به‌صورت ساعتی، انتظار می‌رفت که فعالیت‌های اندکی در شب و سپس افزایش این فعالیت در ساعات ابتدایی روز و نیز افزایش فعالیت در ساعات میانه روز برای سفرهای کاری باشد. همچنین هنگام عصر حجم بالایی از سفرهای خانه‌مبنا و سفرهای خرید مشاهده می‌شود و نهایتاً فعالیت در هنگام شب کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که فعالیت‌های بیشتری در طول هفته و روزهای کاری انجام می‌پذیرد. این در حالی است که در روزهای آخر هفته بسیاری از افراد ترجیح می‌دهند در یک

تمرکز این نواحی عمدتاً در حاشیه جنوب و جنوب شرقی و همچنین، شمال و شمال شرقی نواحی High-High مشاهده می‌شوند. گروهی دیگر از نواحی با برچسب Low-Low شناسایی شده اند که این نواحی معرف مناطقی با تراکم فعالیت پایین هستند و توسط نواحی با تراکم فعالیت پایین نیز احاطه شده‌اند. این نواحی نواحی پرتاند و از نظر این مطالعه فاقد اهمیت‌اند. براساس مطالعه ستاوند و همکاران (۱۳۹۸)، مناطق یک، دو و چهار شهر شیراز به‌عنوان مناطق برخوردار خدمات شهری شناسایی شدند (Setavand et al., 2019). نواحی High-High شناسایی شده در شکل ۴ بخش عظیمی از این مناطق را پوشش می‌دهند. به این معنا که افراد زیادی برای برخورداری از خدمات شهری به این مناطق سفر می‌کنند. در مطالعه داداش‌پور و همکاران (۲۰۱۸)، ضمن بررسی الگوی مکانی شهر شیراز، ساختار این شهر دارای الگوی تک‌مرکزه با پیرامون متمرکز شناسایی شده است (Dadashpoor & Salarian, 2018). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های این پژوهش نیز همخوانی دارد. واضح است که نواحی High-High، نواحی ترافیکی با سطح فعالیت و جابه‌جایی بالا هستند و به‌منظور تصمیم‌گیری در حوزه مدیریت حمل‌ونقل شهری، مدیریت تقاضا و عرضه خدمات شهری مورد توجه تصمیم‌گیران حمل‌ونقل واقع می‌شوند. همچنین مقایسه الگوی پراکندگی این نواحی در روزهای مختلف به شناخت بهتر تفاوت الگوی فعالیت افراد جامعه در روزهای مختلف و به تبع آن برنامه‌ریزی مناسب و بهینه منجر می‌شود.

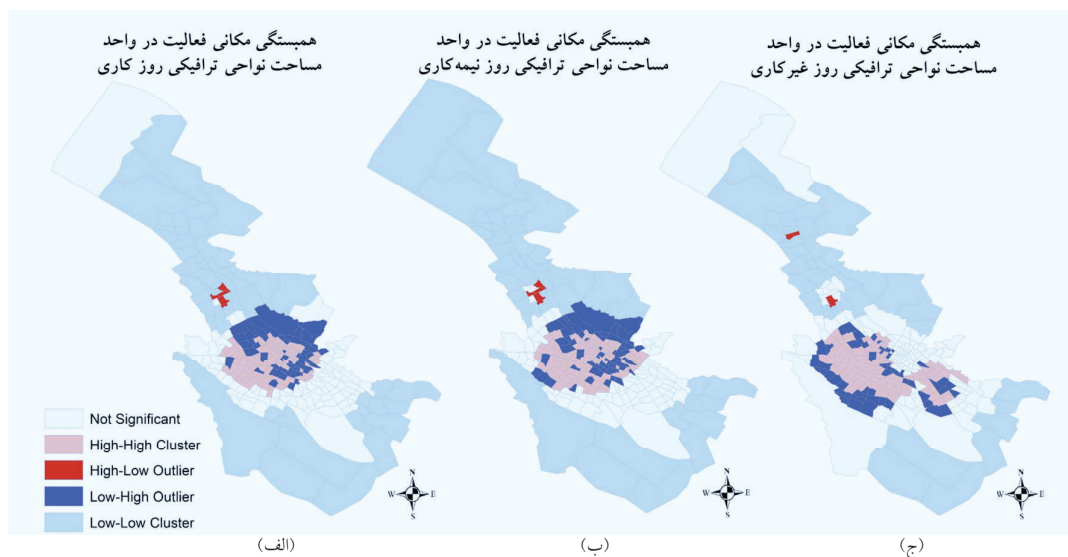
الگوی سری زمانی در طول یک هفته در شکل ۶ ارائه شده است. باید توجه کرد که اولین روز از داده‌های موجود در روز پنج‌شنبه است که با روز جمعه و سایر روزهای هفته ادامه می‌یابد. سطح فعالیت در روز جمعه کمتر از سایر روزهای هفته است. روزهای شنبه تا چهارشنبه الگوی مشابهی دارند. فقط جهش کوچک روز چهارشنبه، به دلایل توضیح داده شده وابسته است.

۳-۳- نتایج تحلیل یکنواختی سری زمانی

از تحلیل یکنواختی SNHT برای روزهای کاری، غیرکاری و نیمه‌کاری به منظور بررسی وجود یا نبود تغییر در الگو و شناسایی محل وقوع این تحلیل استفاده شد. خروجی‌های تحلیل SNHT را در جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد. براساس جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد که در تمام حالت‌ها فرض صفر مبنی بر نبود تغییر در الگوی سری زمانی رد می‌شود و آزمون معنادار است که به معنای وقوع تغییر در الگوی فعالیت‌هاست. این محل تغییر در روزهای کاری و پنج‌شنبه ساعت ۸ تا ۹ صبح شناسایی شده است که با توجه به آغاز سفرهای کاری

موقعیت ثابت همچون خانه باقی بمانند و برخی دیگر سفرهای تفریحی انجام می‌دهند.

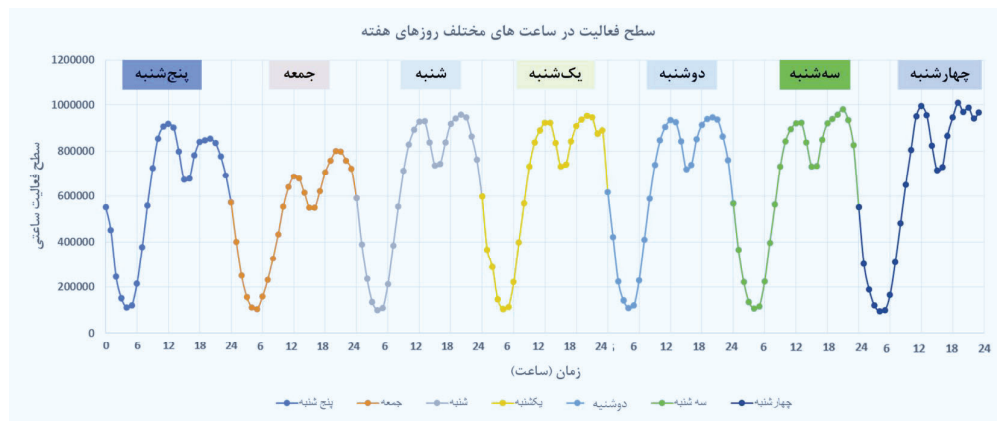
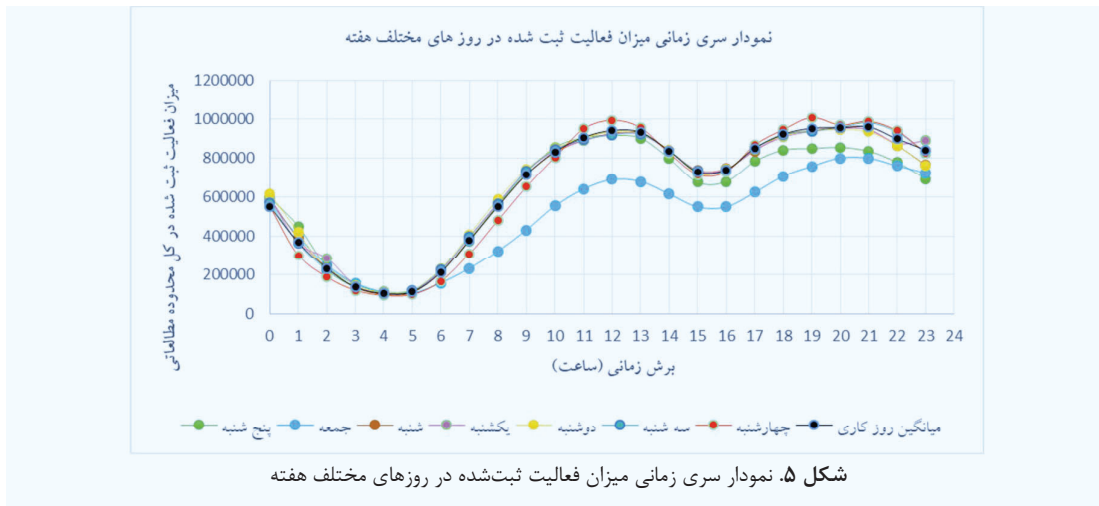
به منظور بررسی ساعت اوج میان‌روز در روزهای کاری، با توجه به اختلاف سطح فعالیت کمتر از ۱ درصد در دو بازه زمانی متوالی ۱۲-۱۳ و ۱۳-۱۴، بازه اوج میان‌روز از ساعت ۱۲-۱۴ شناسایی شد. حال آنکه می‌توان آغاز اوج میان‌روز را از ساعت ۱۱ متصور شد. به منظور بررسی ساعت اوج عصر در روزهای کاری، با توجه به اختلاف سطح فعالیت کمتر از ۲ درصد در دو بازه زمانی متوالی ۲۰-۲۱ و ۲۱-۲۲، بازه اوج عصر در روزهای کاری از ساعت ۲۰-۲۲ شناسایی شد. ساعات اوج روزهای جمعه و پنج‌شنبه نیز به همین صورت است؛ با این تفاوت که این روزها سطح فعالیت کمتری تجربه می‌کند. در تمام روزها کمترین سطح فعالیت بین ساعت ۳ تا ۶ صبح است. ساعات اوج شناسایی شده با ساعات اوج میان‌روز و عصرگاهی مورد مطالعه در طرح جامع شهر شیراز و مطالعات برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت و کنترل ترافیک شهر شیراز منطبق است (Pirali & Seyadat, 2014).



شکل ۴. فعالیت در واحد مساحت نواحی ترافیکی. (الف) روز کاری؛ (ب) روز نیمه‌کاری؛ (ج) روز غیر کاری

شناسایی ساعت وقوع تغییر در الگوی فعالیت می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مربوط به مدیریت تقاضا مانند اعمال ساعات شناور، تغییر در زمان آغاز فعالیت در کاربری‌های ایجادکننده سفر، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل همگانی و ... مؤثر باشد.

مسافران دائمی در این روزها، افزایش شیب نمودار سری زمانی در این جدول ساعات کاملاً منطقی و مطابق واقعیت است. زمان آغاز اوج‌گیری فعالیت‌ها در روز جمعه نیز در ساعت ۹ تا ۱۰ صبح است که با توجه به اینکه افراد ساعات‌های دیرتری را برای انجام فعالیت در روزهای تعطیل انتخاب می‌کنند، کاملاً منطقی است.



جدول ۲. نتایج تحلیل SNHT

	T0	t	P-value	alpha
روز کاری	۱۹/۳۱۶	۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵
روز پنجشنبه	۱۸/۱۴۵	۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵
روز جمعه	۱۷/۱۶۱	۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵

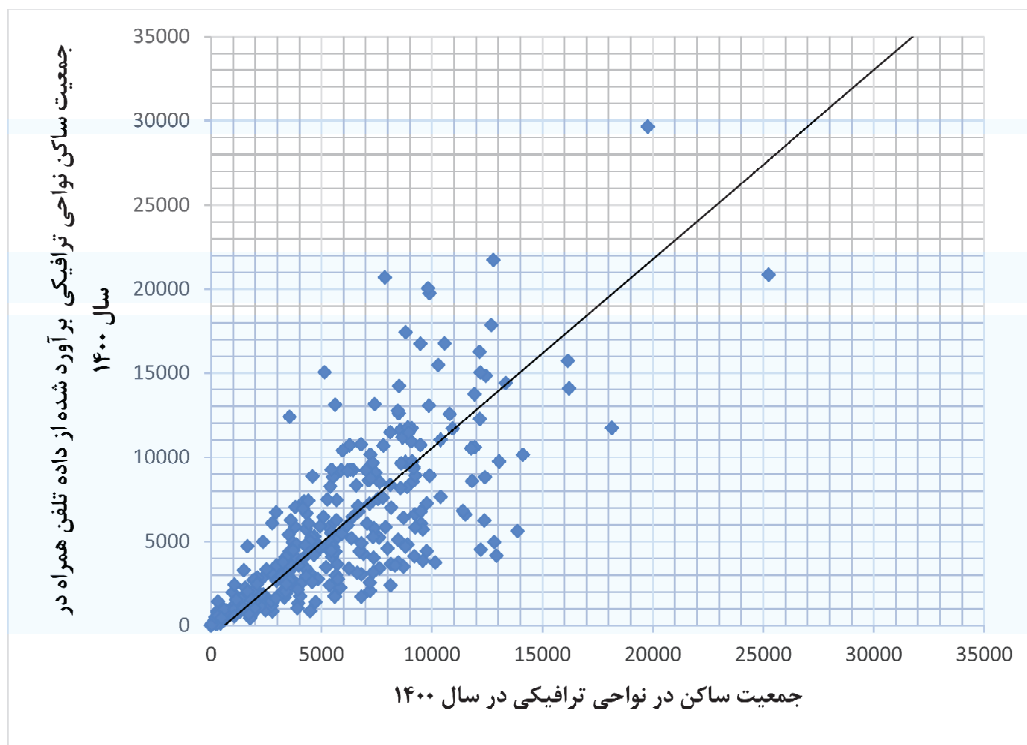
۴-۳- اعتبارسنجی

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج مطالعه، در بخش‌های قبل مطابقت نتایج تحلیل‌ها با سایر مطالعات موجود و مشاهدات افراد ساکن در شهر شیراز بررسی شد. علاوه بر این، همبستگی مکانی جمعیت ساکن برآوردشده با استفاده از داده‌های تلفن همراه در ناحیه ترافیکی در سال ۱۴۰۰ و جمعیت برآوردشده تقاضا در سال ۱۴۰۰ در طرح جامع حمل‌ونقل براساس جمعیت سال پایه ۱۳۹۴ محاسبه شد. شکل ۷، همبستگی مکانی بین جمعیت داده‌های تلفن همراه و جمعیت واقعی هریک از نواحی ترافیکی را نشان می‌دهد. همبستگی مکانی برابر با ۰/۸۲ است و از نظر آماری معنادار و قابل قبول است. خطای برآورد جمعیت و همبستگی در سطح نواحی ترافیکی می‌تواند علل مختلفی نظیر ایستگاه‌مبنا بودن داده‌های تلفن همراه، خطا در تخصیص جمعیت از آنتن‌های اصلی به نواحی ترافیکی، خطا در داده‌های جمعیت ساکن به‌دست‌آمده از سرشماری ۱۴۰۰ و امثال آن باشد. در نهایت با توجه به تطابق نتایج مطالعه با سایر مطالعات و همچنین همبستگی جمعیت برآوردشده و جمعیت واقعی، نتایج این مطالعه معتبرند.

۴- نتیجه‌گیری

کلان‌داده‌های تلفن همراه، تعداد زیادی افراد جامعه با تنوع بالا در مشخصات اقتصادی-اجتماعی با ویژگی‌های سفر متفاوت را تحت پوشش قرار می‌دهند. به‌واسطه آشنایی با علم داده و آماده‌سازی داده‌ها، می‌توان از این داده‌ها به‌عنوان منبع داده مناسب در مطالعات حمل‌ونقل استفاده کرد. با توجه به اینکه داده‌های تلفن همراه داده‌های مکانی و زمانی پیوسته هستند، در این مطالعه از داده‌های تلفن همراه LU به‌منظور انجام تحلیل‌های مکانی و تحلیل‌های زمانی فعالیت در شهر شیراز استفاده شد. نواحی ترافیکی به‌عنوان واحدهای مکانی مناسب تحلیل‌های مکانی انتخاب شدند. تحلیل مکانی Moran's I عمومی و محلی به‌منظور بررسی خودهمبستگی فعالیت در واحد مساحت نواحی انجام شد. این تحلیل‌ها به‌ازای روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری تکرار شدند.

همچنین تحلیل اکتشافی سری زمانی فعالیت‌های شهری و تحلیل یکنواختی در روزهای کاری، نیمه‌کاری و غیرکاری انجام شد. نتایج وجود خودهمبستگی مکانی مثبت به‌ازای تمام حالت‌های بررسی‌شده را تأیید کرد. نواحی ترافیکی با سطح فعالیت بالا در شهر شناسایی شدند. زمان شروع فعالیت، ساعت اوج و سایر مشخصه‌های سری زمانی بررسی شد. زمان افزایش شیب سطح فعالیت در سری زمانی روزهای کاری و نیمه‌کاری، ساعت ۸ تا ۹ صبح و برای روزهای غیرکاری ساعت ۹ تا ۱۰ صبح شناسایی شد. در ادامه پژوهش حاضر، تحلیل‌های مکانی-زمانی، خوشه‌بندی نواحی بر مبنای سری زمانی آن‌ها و همچنین شناسایی نقاط مهم شهری نیز قابل بررسی است. همچنین افزایش بازه زمانی مطالعاتی می‌تواند در بهبود دقت نتایج مؤثر باشد. نتایج این مطالعه، به شناخت بیشتر مدیران و برنامه‌ریزان شهری از سطح فعالیت در نواحی ترافیکی و در بازه زمانی مختلف، بهبود سیاست‌گذاری حمل‌ونقل، بازنگری در محدوده‌های ترافیکی، مدیریت عرضه و تقاضا و مطالعات مرتبط با اثرات زیست‌محیطی حمل‌ونقل در شهر کمک خواهد کرد. با در دسترس بودن داده‌های تلفن همراه با دقت مناسب در سایر مراکز فعالیتی با مقیاس‌های مختلف (یک محدوده ترافیکی، محدوده شهر، استان و حتی کل کشور)، می‌توان الگوهای مختلف فعالیت شهری و از جمله نتایج این مطالعه را استخراج کرد. همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد، در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی با به‌کارگیری روش‌های علم داده، داده‌کاوی و ابزارهای کار با کلان‌داده‌ها از داده‌های تلفن همراه استفاده می‌شود. تحلیل مکانی Moran's I از رایج‌ترین روش‌های کاربردی در اهداف مختلف مطالعات مکانی هستند. تحلیل‌های زمانی استفاده‌شده در این مطالعه، کمتر در مطالعات حمل‌ونقلی استفاده شده‌اند، اما مطالعاتی در زمینه‌های هواشناسی و جغرافیا از این روش بهره برده‌اند. در مجموع می‌توان اظهار کرد که این نتایج در هر مقیاس مکانی با داده‌های تلفن همراه قابل دستیابی‌اند و ممکن است نتایج متناسب با کاربری محدوده مطالعاتی و رفتار ترافیکی کاربران آن منطقه متفاوت باشند.



شکل ۷. همبستگی مکانی جمعیت برآورد شده از داده‌های تلفن همراه و جمعیت واقعی در سال ۱۴۰۰

سپاسگزاری

داده‌های این مطالعه با همکاری شرکت آوند طرح و اندیشه جمع‌آوری شده است. از این رو از مساعدت آقای دکتر علی نادران در تهیه و جمع‌آوری داده‌ها قدردانی می‌شود. همچنین از راهنمایی و مشارکت آقای مهندس سعید رحمانی و مهندس مهدیار درویش‌زاده کمال تشکر را داریم.

منابع

- assessment of precipitation time series in an arid region of Pakistan. *Atmósfera*, 31, 301-316. <https://doi.org/10.20937/ATM.2018.31.03.06>
- Alexander, L., Jiang, S., Murga, M & ,González, M. C. (2015). Origin–destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 240-250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.018>
- Alexandersson, H. (۱۹۸۶). A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 6, 661-675. <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Anselin, L. (2010). Local Indicators of Spatial Association—ISA. *Geographical Analysis*, 27, 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Ahas, R., Aasa, A., Roose, A., Mark, Ü., & Silm, S. (2008). Evaluating passive mobile positioning data for tourism surveys: An Estonian case study. *Tourism Management*, 29(3), 469-486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.05.014>
- Ahmed, K., Shahid, S., Ismail, T., Nawaz, N., & Wang, X. (2018). Absolute homogeneity

- Calabrese, F., Lorenzo, G., Liu, L., & Ratti, C. (2011). Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data. *Pervasive Computing, IEEE, 10*, 36-44. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2011.41>
- Chen, Y., Song, Y., & Li, C. (2020). Where do people tweet? The relationship of the built environment to tweeting in Chicago. *Sustainable Cities and Society, 52*, 101817. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101817>
- Dadashpoor, H., & Salarian, F. (2018). Spatial patterns analysis of urban growth in Iran metropolitan regions (Case study: Tehran, Mashhad, Isfahan, and Shiraz metropolitan regions). *Town and Country Planning, 10(1)*, 117-138. <https://doi.org/10.22059/jtcp.2018.251143.669841>
- Feng, D., Tu, L., & Sun, Z. (2019). Research on Population Spatiotemporal Aggregation Characteristics of a Small City: A Case Study on Shehong County Based on Baidu Heat Maps. *Sustainability, 11(22)*. <https://doi.org/10.3390/su11226276>
- Gao, Y., Cheng, J., Meng, H & Liu, Y. (2019). Measuring spatio-temporal autocorrelation in time series data of collective human mobility. *Geo-spatial Information Science, 22(3)*, 166-173. <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1643609>
- García-Palomares, J., Gutiérrez, J., & Mínguez, C. (2015). Identification of tourist hot spots based on social networks: A comparative analysis of European metropolises using photo-sharing services and GIS. *Applied Geography, 63*, 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.08.002>
- Ghaed Rahmati, S & Daneshmandi, N. (2018). Analysis of Urban Tourism Spatial Pattern (Case Study: Urban Tourism Space of Isfahan City) [Article]. *Human Geography Research, 50(4 #b00873)*, 945-961. <https://doi.org/20.1001.1.20086296.1397.50.4.10.9>
- Ghahramani, M., Zhou, M & Hon, C. T. (2019). Mobile Phone Data Analysis: A Spatial Exploration Toward Hotspot Detection. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 16(1)*, 351-362. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2795241>
- Ghodousi, M., Sadeghi-Niaraki, A., Rabiee, F., & Choi, S.-M. (2020). Spatial-Temporal Analysis of Point Distribution Pattern of Schools Using Spatial Autocorrelation Indices in Bojnourd City. *Sustainability, 12*, 7755. <https://doi.org/10.3390/su12187755>
- Guo, H., Li, W., Yao, F., Wu, J., Zhou, X., Yue, Y., & Yeh, A. G. O. (2020). Who are more exposed to PM2.5 pollution: A mobile phone data approach. *Environment International, 143*, 105821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105821>
- Hariharan, R., & Toyama, K. (2004). *Project Lachesis: Parsing and Modeling Location Histories* (Vol. 3234). https://doi.org/10.1007/978-3-540-30231-5_8
- Hawkes, H. E., & Webb, J. (1962). *Geochemistry in Mineral Exploration*.
- Iqbal, M. S., Choudhury, C. F., Wang, P., & González, M. C. (2014). Development of origin-destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40*, 63-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.002>
- Jiang, S., Ferreira, J., & Gonzalez, M. C. (2017). Activity-Based Human Mobility Patterns Inferred from Mobile Phone Data: A Case Study of Singapore. *IEEE Transactions on Big Data, 3(2)*, 208-219. <https://doi.org/10.1109/TBDDATA.2016.2631141>
- Khan, A. (2018). The spatial distribution and relationship of tourist flow in Turkey. *European Journal of Tourism Research, 19*, 40-55. <https://doi.org/10.54055/ejtr.v19i.324>
- Kubo, T., Uryu, S., Yamano, H., Tsuge, T., Yamakita, T., & Shirayama, Y. (2020). Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management, 77*, 104010.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.104010>
- Lee, K.-S., You, S. Y., Eom, J. K., Song, J., & Min, J. H. (2018). Urban spatiotemporal analysis using mobile phone data: Case study of medium- and large-sized Korean cities. *Habitat International*, 73, 6-15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.12.010>
- Li, J., Li, J., Yuan, Y., & Li, G. (2019). Spatiotemporal distribution characteristics and mechanism analysis of urban population density: A case of Xi'an, Shaanxi, China. *Cities*, 86, 62-70.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.12.008>
- Louail, T., Lenormand, M., Garcia Cantu Ros, O., Picornell, M., Herranz, R., Frias-Martinez, E., Ramasco, J. J., & Barthelemy, M. (2014). From mobile phone data to the spatial structure of cities. *Scientific reports*, 4.
<https://doi.org/10.1038/srep05276>
- 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>
- Mazzulla, G., & Forciniti, C. (2012). Spatial association techniques for analysing trip distribution in an urban area. *European Transport Research Review*, 4.
<https://doi.org/10.1007/s12544-012-0082-9>
- Milusheva, S. (2020). Managing the spread of disease with mobile phone data. *Journal of Development Economics*, 147, 102559.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102559>
- Moya-Gómez, B., Stepniak, M., García-Palomares, J. C., Frías-Martínez, E., & Gutiérrez, J. (2021). Exploring night and day socio-spatial segregation based on mobile phone data: The case of Medellin (Colombia). *Computers, Environment and Urban Systems*, 89, 101675.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101675>
- Municipality, S. (2016). *Shiraz Statistical Yearbook* (Deputy Office for Planning and Human Capital Development at Shiraz Municipality ,Issue .
- Parwez, M., Rawat, D. B., & Garuba, M. (2017). Big Data Analytics for User Activity Analysis and User Anomaly Detection in Mobile Wireless Network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, PP, 1-1.
<https://doi.org/10.1109/TII.2017.2650206>
- Pirali, A., & Seyadat, S. (2014). Strategic Planning for the Shiraz City Traffic Management (Using SWOT model). *Traffic Management Studies*, 1393(32), 41-66.
<https://doi.org/magiran.com/p1336817>
- Rahman, M., & Neema, M. N. (2015). A GIS Based Integrated Approach to Measure the Spatial Equity of Community Facilities of Bangladesh. *AIMS Geosciences*, 1, 21-40.
<https://doi.org/10.3934/geosci.2015.1.21>
- Ratti, C., Pulselli, R., Williams, S., & Frenchman, D. (2006). Mobile Landscapes: Using Location Data from Cell Phones for Urban Analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33, 727-748.
<https://doi.org/10.1068/b32047>
- Setavand, H., Hajizadeh, F., & Yaghfoori, H. (2019). Spatial analysis of Shiraz urban areas in terms of social justice with an emphasis on public services [Article]. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(52 #g00412), 171-192.
<https://doi.org/10.29252/jgs.19.52.171>
- Tettamanti, T., Demeter, H., & Varga, I. (2012). Route Choice Estimation Based on Cellular Signaling Data. *Acta Polytechnica Hungarica*, 9.
- Tímea, 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>
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit

- Region. *Economic Geography*, 46, 234-240.
<https://doi.org/10.2307/143141>
- Wang, J., Cai, J., Yue, X., & Suresh, N. C. (2021). Pre-positioning and real-time disaster response operations: Optimization with mobile phone location data. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 150, 102344.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102344>
- Wang, M.-H., Schrock, S., Broek, N., & Mulinazzi, T. (2013). Estimating Dynamic Origin-Destination Data and Travel Demand Using Cell Phone Network Data. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 11.
<https://doi.org/10.1007/s13177-013-0058-8>
- Xing, Z., Zhang, X., Zan, X., Xiao, C., Li, B., Han, K., Liu, Z., & Liu, J. (2021). Crowdsourced social media and mobile phone signaling data for disaster impact assessment: A case study of the 8.8 Jiuzhaigou earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, 102200.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102200>
- Yang, X., Fang, Z., Xu, Y., Yin, L., Li, J., & Lu, S. (2019). Spatial heterogeneity in spatial interaction of human movements—Insights from large-scale mobile positioning data. *Journal of Transport Geography*, 78, 29-40.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010>
- Yu, X., Ivey, C., Huang, Z., Gurrarn, S., Sivaraman, V., Shen, H., Eluru, N., Hasan, S., Henneman, L., Shi, G., Zhang, H., Yu, H., & Zheng, J. (۲۰۲۰). Quantifying the impact of daily mobility on errors in air pollution exposure estimation using mobile phone location data. *Environment International*, 141, 105772.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105772>
- Zuo, X., & Zhang, Y. (2۰۱۲). Detection and Analysis of Urban Area Hotspots Based on Cell Phone Traffic. *J. Comput.*, 7, 1753-1760.
<https://doi.org/10.4304/jcp.7.7.1753-1760>