

Recognition and Zonation of Diurnal Rhythms of Urban Activity Based on Multi-Source Spatial Scenario Data: A Case Study of Tehran

Asma Noormohammadi¹ , Rezvan Ghorbani Salkhord² 

1. (Corresponding Author) *Department of Architecture and Urban Planning, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran*
Email: asnoormohammadi@tvu.ac.ir

2. *Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran*
Email: rzghorbani@tvu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

4 April 2026

Received in revised form:

10 June 2026

Accepted:

5 July 2026

Available online:

18 August 2026

Keywords:

*Spatiotemporal Analysis,
Chronological Equity,
Rhythmic Clustering,
Urban Activity Rhythm,
Chronological Service
Gap.*

ABSTRACT

The rhythm of urban activity varies throughout the day and across different types of days, and the mismatch between the temporal presence of the population and the temporal supply of services can affect temporal accessibility and the efficiency of urban spaces. The present study was conducted with the aim of testing a quantitative framework for identifying and comparing diurnal activity rhythms, examining their differences across day types, and prioritizing temporal-spatial interventions in three selected zones of Tehran, namely Tajrish, Enqelab-Valiasr, and Naziabad. To evaluate the framework, a simulated scenario dataset with the status `SIMULATED_TRAINING` was employed. The data structure comprised 12 nodes, three day types, and six time periods, and in total, 216 primary observations and 108 supplementary observations related to reference stations, equivalent to 324 fifteen-minute observations, were analyzed. Indicators of urban activity intensity, temporal balance, and the share of evening-night activity were utilized, along with Friedman and Wilcoxon tests, Spearman correlation, hierarchical clustering, temporal service gap analysis, and an intervention priority model. The results of the simulated data indicated that the mean activity intensity in the Enqelab-Valiasr zone was higher than in Tajrish and Naziabad. Day type did not have a significant effect on overall activity intensity; however, temporal balance and the share of evening-night activity differed between weekdays and Friday. The three-cluster solution distinguished three types: evening commercial-leisure, residential-night, and bimodal transportation. Sensitivity analysis revealed that some intervention rankings are dependent on policy orientation. This framework enables the integration of activity rhythm, temporal supply of services, and intervention priority; nevertheless, generalizing the results to Tehran requires replacing simulated data with actual observations and reliable spatial sources.

Citation: Noormohammadi, A., & Ghorbani Salkhord, R. (2025). Recognition and Zonation of Diurnal Rhythms of Urban Activity Based on Multi-Source Spatial Scenario Data: A Case Study of Tehran. *Geographical planning of space quarterly journal*, 16 (2), 163-184.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.595618.3926>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Cities are chronological systems, and population presence, mobility, and activity within them vary throughout the day-night cycle and across different types of days. Accordingly, the functioning of urban space cannot be explained solely by official land use or static spatial characteristics; it also depends on the timing, intensity, and duration of use. Neglecting this dimension can create a mismatch between the timing of population presence and the accessibility of services. The concept of urban activity rhythm examines these variations across different periods of the day. The theoretical foundations of this approach are linked to time geography and rhythm-analysis. Time geography emphasizes the interaction of space, time, and the constraints of daily activity, while rhythm-analysis considers urban life to be the product of the interplay between cyclical rhythms and linear rhythms arising from employment, transportation, and institutional activity. From this perspective, spaces with similar land uses can also exhibit different temporal signatures. Empirical studies have indicated that functional characteristics, accessibility, and land-use diversity play a role in shaping different chronological patterns. The expansion of spatial and chronological data has enhanced the capacity to examine urban dynamics. Mobile phone data, GPS, smart cards, transit transactions, sensors, and pedestrian counts have been employed to identify mobility patterns and the chronological structure of activity. However, these data face limitations such as difficulty of access, sampling ambiguity, privacy concerns, socio-spatial bias, and weak reproducibility. Therefore, temporally referenced pedestrian observations, combined with spatial characteristics and the chronological supply of services, can provide a complementary approach. Despite the growth of international studies, spatiotemporal research on urban activity in Iran remains inadequate and has focused primarily on mobility and travel demand. The simultaneous analysis of activity intensity, chronological distribution, differences between working and non-working days,

and the chronological accessibility of services has received less attention. This gap is particularly significant in Tehran, given its functional diversity and the uneven distribution of opportunities. Accordingly, this study compares daily activity rhythms at selected nodes in Tehran, measures the differences among working days, Thursdays, and Fridays, examines the relationships between spatial-functional characteristics and rhythm indicators, and identifies priority nodes for spatiotemporal intervention based on the mismatch between activity intensity and the temporal supply of services. Activity rhythm is evaluated using indicators of activity intensity, chronological balance, peak time, and the share of evening-night activity. The novelty of the research lies in integrating activity rhythm analysis, measurement of the chronological service gap, and prioritization of interventions within a spatiotemporal planning framework.

Methodology

This applied study adopted a quantitative and comparative approach, considering the urban activity node as the primary unit of analysis. The research focused on three selected zones in Tehran - Tajrish, Enghelab-Valiasr, and Naziabad - which represent parts of northern, central, and southern Tehran, respectively. Four nodes were selected from each zone, resulting in a total of 12 nodes encompassing residential, commercial-administrative-service, transportation, and mixed-public-leisure functions. Node selection was based on dominant function, density and diversity of destinations, access to public transportation, and the node's role in the street network. To extract spatial and service-related contextual variables, a 500-meter radius buffer was defined around each node. Pedestrian flow and stationary presence were examined through standardized 15-minute observations. Each node was evaluated across six daily periods - early morning (06:00–09:00), mid-morning (09:00–12:00), noon (12:00–15:00), afternoon (15:00–18:00), early evening (18:00–21:00), and night (21:00–24:00) - and across three types of days: working

days, Thursdays, and Fridays. The dataset comprised 324 observations, of which 216 were allocated to the 12 main nodes and 108 supplementary observations to three reference stations. The reference stations were utilized to construct 24-hour activity profiles.

The urban activity intensity index was calculated from normalized pedestrian flow and normalized stationary presence with equal weighting. Chronological signatures, chronological balance, peak time, and the share of evening-night activity were also extracted. The Friedman test and Wilcoxon pairwise comparisons were employed to examine differences among day types. Spearman correlation examined exploratory and non-causal relationships between activity rhythm indicators and spatial characteristics. Hierarchical clustering with Ward's method and Euclidean distance was used to identify rhythm typologies, and cluster quality was assessed using the Silhouette index and cophenetic correlation. Subsequently, the chronological service gap and a composite intervention priority score were calculated, and sensitivity analysis examined the stability of rankings across different policy weighting scenarios.

Results and Discussion

The results revealed clear spatial and functional differences in the activity rhythms of the selected nodes. Based on the urban activity intensity index, the Enghelab–Valiasr zone had the highest activity intensity with a mean of 0.385, followed by Tajrish with 0.298 and Naziabad with 0.203. At the node level, Valiasr Intersection–City Theater recorded the highest activity intensity with an index of 0.634, followed by Tajrish Bazaar–Imamzadeh Saleh with 0.448 and Enghelab Square–Metro Entrance with 0.427. The high activity intensity in the central zone was associated with the concentration of commercial, educational, cultural, transportation, and service functions, along with greater accessibility and destination diversity. Although chronological balance was relatively high across all three zones, chronological profiles revealed differences in activity timing. The share of evening-night activity was 43.1% in Tajrish and

42.4% in Naziabad, whereas this value reached 39.6% in Enghelab–Valiasr. Thus, despite having the highest overall activity intensity, the central zone exhibited a smaller share of activity in the later periods of the day, while in Tajrish and Naziabad, activity continued more prominently into the evening and night. The 24-hour profiles of the reference stations also indicated that peak activity time varies according to the type of day. In Tajrish, peak activity on working days and Fridays occurred around 19:00. In Enghelab–Valiasr, the working-day peak was around 19:00, but on Fridays it shifted to approximately 17:00. In Naziabad, peak activity was observed around 18:00 on working days and around 19:00 on Fridays. These shifts demonstrate that the type of day can alter the timing of peak activity within a fixed spatial context. Transportation nodes generally exhibited a bimodal pattern, with one peak in the morning and another in the afternoon or early evening. Commercial and mixed-use nodes typically exhibited increasing activity from noon toward the afternoon and early evening, whereas residential nodes displayed lower morning activity and a greater concentration of activity in the later hours of the day.

Hierarchical clustering identified three main activity rhythm types: an evening commercial-leisure cluster comprising six nodes, a residential-night cluster comprising three nodes, and a bimodal transportation cluster comprising three nodes. The three-cluster solution had a Silhouette coefficient of 0.523 and a cophenetic correlation of 0.835, indicating acceptable separation and structural coherence. The placement of transportation and residential nodes from different geographical zones within similar rhythm types demonstrated that functional characteristics can explain chronological similarity more effectively than a simple north-central-south distinction. The comparison among day types indicated that overall activity intensity did not differ significantly, but the chronological organization of activity did. The Friedman test revealed significant differences for chronological balance and the share of evening-night activity, while the mean

activity intensity remained statistically similar across day types. Wilcoxon pairwise comparisons indicated that working days exhibited a more balanced chronological distribution than Fridays, whereas the share of evening-night activity was higher on Fridays. Thus, the main difference between working and non-working days pertained more to the timing and concentration of activity than to its overall volume.

Spearman exploratory analysis revealed strong positive relationships between activity intensity and destination diversity, built-up density, access to public transportation, surrounding services, and network centrality. In contrast, the share of evening-night activity had a negative relationship with network centrality. This pattern indicates that central nodes can exhibit higher overall activity intensity without necessarily displaying the greatest activity during the later hours of the day. Given that these relationships were examined across 12 nodes, they should be interpreted as exploratory associations rather than causal effects.

The service gap analysis demonstrated a mean absolute gap of 0.073 across all nodes. The mean gap was 0.098 in Enghelab–Valiasr, followed by Tajrish with 0.071 and Naziabad with 0.050. The largest individual gaps were observed at Valiasr Intersection–City Theater with 0.149, Enghelab Square–Metro Entrance with 0.119, Tajrish Bazaar–Imamzadeh Saleh with 0.099, and Tajrish Square–Metro Entrance with 0.089. Larger gaps were primarily concentrated in central and high-density nodes, whereas several residential and mixed-use nodes exhibited a greater need for evening-night services. Accordingly, central and transportation nodes were more associated with pressure on service capacity, while residential and mixed-use nodes were more sensitive to the chronological accessibility of neighborhood services. The intervention priority model placed Valiasr Intersection–City Theater, Enghelab Square–Metro Entrance, and Tajrish Square–Metro Entrance among the highest-priority nodes in the baseline model. However, sensitivity analysis showed that rankings change under different policy weighting scenarios. When

greater emphasis was placed on service equity, the residential node Vesal rose from seventh to first rank, and the residential node Akbar Mashhadi rose from eleventh to third rank. This result indicates that efficiency-based and chronological equity-based approaches do not necessarily identify identical priorities, and the final ranking of nodes depends to some extent on the selected policy objective.

Conclusion

The findings indicated that the selected urban nodes possess distinct spatial and chronological rhythms that cannot be explained solely by static land-use classifications. The three study zones differed in terms of overall activity intensity, evening-night activity, and chronological organization, and functional differences led to the emergence of recognizable rhythm types: evening commercial-leisure, residential-night, and bimodal transportation. The type of day influenced the timing and distribution of activity more than its overall volume. The service gap analysis also exhibited that high activity intensity is not necessarily accompanied by an appropriate chronological supply of services, and that when chronological equity is emphasized, residential nodes may attain higher priority for intervention. These results support a spatiotemporal planning approach in which interventions are differentiated based on node function, chronological demand, and service accessibility. Transportation nodes require greater coordination during peak periods; central commercial nodes may require increased service capacity and alignment of operating hours with demand peaks; and residential areas can benefit from strengthened evening and night neighborhood services, lighting, and local support. This framework does not imply continuous activity across all urban areas; rather, it emphasizes better coordination among activity timing, service supply, transportation, safety, and public space management. This framework introduces time alongside place and function as an operational dimension in urban planning. Given the inadequate number of selected nodes and the study's focus on three zones

of Tehran, broader generalization of the results requires the examination of more locations, different seasons, and more diverse chronological conditions.

Funding

This research received no specific financial support from governmental, commercial, or non-profit organizations.

Authors' Contribution

Asma Nourmohammadi contributed to the research design, the development of the theoretical and methodological framework, data analysis, and the writing of the manuscript. Rezvan Ghorbani Salekhord

contributed to the development of the theoretical foundations, interpretation of the results, scientific review, and final revision of the manuscript.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest concerning the preparation, writing, or publication of this article.

Acknowledgments

The authors express their sincere gratitude to all individuals who provided scientific or administrative cooperation at various stages of the research and manuscript preparation.



بازشناسی و پهنه‌بندی ریتم‌های شبانه‌روزی فعالیت شهری با اتکا به داده‌های سناریویی مکانی چند منبعی؛ مطالعه موردی شهر تهران

اسماء نورمحمدی^۱ ✉، رضوان قربانی سالخورد^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. رایانامه: asnoormohammadi@tvu.ac.ir

۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. رایانامه: rzghorbani@tvu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۴ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷ واژگان کلیدی: تحلیل زمانی-فضایی، عدالت زمانی، خوشه‌بندی ریتمی، ریتم فعالیت شهری، شکاف زمانی خدمات.	ریتم فعالیت شهری در طول شبانه‌روز و میان انواع روز تغییر می‌کند و ناهمبستگی میان زمان حضور جمعیت و عرضه زمانی خدمات می‌تواند دسترسی زمانی و کارایی فضاهای شهری را تحت تأثیر قرار دهد. پژوهش حاضر با هدف آزمون یک چارچوب کمی برای شناسایی و مقایسه ریتم‌های شبانه‌روزی فعالیت، بررسی تفاوت آن‌ها میان انواع روز و اولویت‌بندی مداخلات زمانی-فضایی در سه پهنه منتخب تهران شامل تجریش، انقلاب-ولیعصر و نازی‌آباد انجام شد. برای ارزیابی چارچوب، از مجموعه داده سناریویی شبیه‌سازی‌شده با وضعیت Simulated Training استفاده شد. ساختار داده شامل ۱۲ گره، سه نوع روز و شش دوره زمانی بود و در مجموع ۲۱۶ مشاهده اصلی و ۱۰۸ مشاهده تکمیلی مربوط به ایستگاه‌های مرجع، معادل ۳۲۴ مشاهده ۱۵ دقیقه‌ای، تحلیل شد. شاخص‌های شدت فعالیت شهری، تعادل زمانی و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه، همراه با آزمون‌های فریدمن و ویلکاکسون، همبستگی اسپیرمن، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، تحلیل شکاف زمانی خدمات و مدل اولویت مداخله به کار رفت. نتایج داده‌های شبیه‌سازی‌شده نشان داد میانگین شدت فعالیت در پهنه انقلاب-ولیعصر از تجریش و نازی‌آباد بیشتر بود. نوع روز بر شدت کلی فعالیت اثر معناداری نداشت، اما تعادل زمانی و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه میان روز کاری و جمعه متفاوت بود. راه‌حل سه خوشه‌ای، سه تیپ تجاری-فراغت عصرگاهی، مسکونی-شبانه و دو اوجی حمل‌ونقلی را تفکیک کرد و تحلیل حساسیت نشان داد برخی رتبه‌های مداخله به جهت‌گیری سیاستی وابسته‌اند. این چارچوب امکان تلفیق ریتم فعالیت، عرضه زمانی خدمات و اولویت مداخله را فراهم می‌کند؛ با این حال، تعمیم نتایج به تهران مستلزم جایگزینی داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مشاهدات واقعی و منابع مکانی معتبر است.
استناد: نورمحمدی، اسماء و قربانی سالخورد، رضوان. (۱۴۰۵). بازشناسی و پهنه‌بندی ریتم‌های شبانه‌روزی فعالیت شهری با اتکا به داده‌های سناریویی مکانی چند منبعی؛ مطالعه موردی شهر تهران. <i>مجله آمایش جغرافیایی فضا</i>، ۱۶ (۲)، ۱۸۴-۱۶۳. http://doi.org/10.30488/gps.2026.595618.3926	



مقدمه

شهرها سامانه‌هایی زمان‌مند هستند و شدت حضور جمعیت، جابه‌جایی و فعالیت در آن‌ها طی شبانه‌روز تغییر می‌کند؛ از این‌رو، کارکرد فضا افزون بر نوع کاربری، به زمان و شدت استفاده نیز وابسته است (Halás & Klapka, 2023: 12). بی‌توجهی به این پویایی می‌تواند فشار بر حمل‌ونقل و خدمات شهری را در برخی ساعات افزایش دهد؛ بنابراین، آمایش شهری باید زمان حضور، جابه‌جایی و استفاده از فضا را نیز در کنار مکان فعالیت در نظر گیرد (Hägerstrand, 1970: 6). در این پژوهش، «ریتم فعالیت شهری» به الگوی تغییر شدت فعالیت در دوره‌های مختلف شبانه‌روز اشاره دارد و با شاخص‌های شدت فعالیت، توزیع زمانی، زمان اوج و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه سنجیده می‌شود؛ «ناهمانگی زمانی خدمات» نیز بیانگر عدم تناسب میان شدت فعالیت و عرضه خدمات فعال در یک دوره زمانی است. مبانی نظری این رویکرد در جغرافیای زمان و ریتم کاوی شهری قرار دارد. در جغرافیای زمان، فعالیت‌های روزمره تحت تأثیر محدودیت‌های توانایی، پیوندی و اقتداری شکل می‌گیرند که زمان، مسیر و دسترسی به مکان‌های فعالیت را تعیین می‌کنند (Hägerstrand, 1970: 6). در ریتم کاوی نیز زندگی شهری حاصل برهم‌کنش ریتم‌های چرخه‌ای شبانه‌روزی و هفتگی با ریتم‌های ناشی از کار، حمل‌ونقل و فعالیت‌های نهادی است (Lefebvre, 2004: 21).

بر این اساس، «شدت فعالیت» از جریان عابران و افراد حاضر یا متوقف، «تعادل زمانی» از توزیع فعالیت میان دوره‌ها و «سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه» از نسبت فعالیت ساعات پایانی روز به کل فعالیت استخراج می‌شود؛ بنابراین، مفاهیم نظری به شاخص‌های قابل‌سنجش و مقایسه میان گره‌های شهری تبدیل می‌شوند. پیشرفت فناوری‌های مکانی، مطالعه پویایی شهر را با داده‌های تلفن همراه، GPS، کارت‌های هوشمند، تراکنش‌های حمل‌ونقل و حسگرهای شهری تسهیل کرده و مفهوم «نبض شهری» را برای شناسایی کانون‌ها و دوره‌های برجسته فعالیت توسعه داده است (Miranda et al., 2017: 12). با این حال، این داده‌ها با محدودیت‌هایی مانند دشواری دسترسی، ابهام در جامعه نمونه، سوگیری فضایی-اجتماعی، حریم خصوصی و ضعف بازتولیدپذیری مواجه‌اند (Kong et al., 2020: 8; Yuan & Xu, 2022: 15) و احتمال سوگیری در نمایندگی گروه‌ها و نواحی، ضرورت اعتبارسنجی آن‌ها را افزایش می‌دهد (Li et al., 2024: 12).

مطالعات تجربی در توکیو، پراگ، پکن و آنکارا نیز تفاوت ریتم‌های روزانه و هفتگی، مکمل بودن کارکردی، طبقه‌بندی پهنه‌ها بر اساس الگوی فعالیت و تأثیر اختلاط کاربری، دسترسی و شرایط اجتماعی-اقتصادی را نشان داده‌اند (Liu et al., 2021; Halás & Klapka, 2023: 4; Du et al., 2024: 5; Güller & Varol, 2024: 6).

با این حال، بسیاری از مطالعات میان کارکرد گره، شدت و زمان فعالیت تمایز روشنی ایجاد نکرده‌اند و وابستگی به داده‌های تجاری و سازمانی نیز تکرارپذیری و کاربرد اجرایی نتایج را محدود کرده است. در مقابل، شمارش مستقیم و پایش زمان‌مند، همراه با اطلاعات فضایی و محیطی، می‌تواند زمینه مناسب‌تری برای تحلیل جریان فعالیت فراهم کند. سوتسوک و همکاران (Sevtsuk et al., 2021) نشان دادند که شمارش‌های ساعتی را می‌توان برای کالیبراسیون مدل‌های مکانی جریان عابر و برآورد فعالیت به کار گرفت. همچنین، گروه‌بندی نقاط بر اساس الگوی زمانی و ویژگی‌های کاربری می‌تواند قابلیت تعمیم مشاهدات کوتاه‌مدت به برآوردهای روزانه و هفتگی را افزایش دهد (Griswold et al., 2018: 12). اما، به دلیل محدودیت نمایندگی زمانی، در پژوهش حاضر مشاهدات ۱۵ دقیقه‌ای صرفاً به‌عنوان واحدی استاندارد برای مقایسه شدت فعالیت در زمان‌های ثابت به کار گرفته می‌شوند و برای برآورد کل فعالیت یک ساعت یا شبانه‌روز استفاده نمی‌شوند.

با وجود مطالعات خارجی، پژوهش‌های مکانی-زمانی در ایران هنوز محدود و عمدتاً بر تحرک و تقاضای سفر متمرکز بوده‌اند. مطالعات داخلی نیز نشان داده‌اند که تحلیل ساختار شهری بدون توجه به تفاوت‌های فضایی، ظرفیت‌های کاربری و عدم تعادل میان پهنه‌ها می‌تواند تصویری ناقص از سازمان فضایی ارائه کند؛ چنان‌که دانه‌کار و سبحانی در بررسی مجموعه شهری تهران-البرز، بر ضرورت استفاده از شاخص‌های فضایی برای شناسایی ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و عدم تعادل‌های موجود در توسعه کاربری‌ها تأکید کرده‌اند (دانه‌کار و سبحانی، ۱۴۰۳: ۳۷).

زاهدی و شفاهی^۱ (۲۰۱۸) با تحلیل داده‌های تلفن همراه در شیراز، ظرفیت این داده‌ها را برای شناسایی توقف‌ها، سفرها و زنجیره‌های فعالیت نشان دادند، اما تبدیل این الگوها به پهنه‌بندی زمانی-فضایی و راهبردهای مدیریت فعالیت‌های روزانه و شبانه کمتر بررسی شده است. همچنین، تفاوت ساعات روز، روزهای کاری و تعطیل، جمعیت حاضر و تداوم فعالیت شبانه کمتر در چارچوبی یکپارچه بررسی شده‌اند. در مقیاس محله‌ای نیز تفاوت ویژگی‌های کالبدی، محیطی و اجتماعی می‌تواند به الگوهای متفاوت استفاده از محیط شهری منجر شود (حسینی و همکاران، ۱۴۰۵: ۱).

پژوهش حاضر چهار گروه کارکردی مسکونی، تجاری-خدماتی، حمل‌ونقلی و مختلط/عمومی را در گره‌های منتخب تهران بررسی می‌کند و بر سنجش شدت و زمان‌بندی فعالیت، انطباق آن با ویژگی‌های فضایی-کارکردی و شکاف زمانی خدمات تمرکز دارد. شاخص‌های اصلی شامل شدت فعالیت، تعادل زمانی و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه هستند. پژوهش تفاوت ریتم میان روز کاری، پنجشنبه و جمعه، ارتباط ویژگی‌های فضایی با شاخص‌های ریتم و اولویت مداخله در گره‌ها را بررسی می‌کند. نوآوری مطالعه در پیوند شاخص‌های ریتم فعالیت با سنجش شکاف خدمات و اولویت‌بندی مداخلات شکل می‌گیرد.

مبانی نظری

ریتم شبانه‌روزی فعالیت شهری

ریتم شهری به الگوی تکرارشونده حضور، حرکت و فعالیت در فضاهای شهری اشاره دارد و هر پهنه بر اساس زمان شروع، اوج، تداوم و کاهش فعالیت، امضای زمانی خاصی پیدا می‌کند؛ از این رو، محدوده‌های دارای کاربری مشابه نیز می‌توانند ریتم‌های متفاوتی داشته باشند (Halás & Klapka, 2023:12). سترازووتس و دانیل^۲ (۲۰۲۵) نیز نشان دادند که ریتم جابه‌جایی میان روزهای کاری و تعطیل و متناسب با کارکرد فضایی تفاوت می‌کند. در این پژوهش، ریتم فعالیت با شاخص‌های شدت فعالیت، زمان اوج، تداوم، تعادل زمانی و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه سنجیده می‌شود و از این طریق، تفاوت میان کاربری رسمی و الگوی واقعی استفاده زمانی از فضا مشخص می‌شود.

جغرافیای زمان

جغرافیای زمان، فعالیت‌های انسانی را حاصل پیوند مکان، زمان و محدودیت‌های زندگی روزمره می‌داند. هگرستراند^۳ (۱۹۷۰) این محدودیت‌ها را در سه گروه توانایی، پیوندی و اقتداری دسته‌بندی می‌کند که جابه‌جایی فرد، ضرورت حضور هم‌زمان و ساعات و مقررات استفاده از فضا را تعیین می‌کنند (Hägerstrand, 1970:6). از این رو، نزدیکی مکانی یک خدمت لزوماً دسترسی واقعی را تضمین نمی‌کند و عواملی مانند بسته بودن خدمت، نبود حمل‌ونقل یا ناسازگاری زمانی

1 Zahedi and Shafahi

2 Stražovec and Daniel

3 Hägerstrand

می‌توانند دسترسی را محدود کنند. دوج و نلسون^۱ (۲۰۲۳) نیز نشان می‌دهند که دسترسی علاوه بر فاصله و زمان سفر، از محدودیت‌های فردی، بیرونی و ساختاری تأثیر می‌پذیرد (Dodge & Nelson, 2023:14). ر این اساس، پژوهش حاضر زمان حضور جمعیت و زمان فعالیت خدمات را به صورت هم‌زمان بررسی می‌کند و شکاف زمانی خدمات را به عنوان عدم انطباق میان زمان فعالیت جمعیت و عرضه خدمات می‌سنجد.

ریتیم کاوی شهری

از منظر ریتیم کاوی، لفور^۲ (۲۰۰۴) فضا را حاصل برهم‌کنش مکان، زمان و فعالیت می‌داند و نشان می‌دهد که ریتیم‌های چرخه‌ای شب و روز با ریتیم‌های خطی ناشی از کار، حمل‌ونقل و نظم‌نهادی درهم می‌آمیزند (Lefebvre, 2004:21). همچنین، دروون و همکاران^۳ (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که برنامه زمانی رویدادها، فعالیت‌های فراغتی و جریان جمعیت می‌توانند دوره‌های متفاوت شدت فعالیت را شکل دهند (Drevon et al., 2020:18). بر این اساس، در این پژوهش، ریتیم کاوی برای مقایسه الگوهای زمانی گره‌های مسکونی، تجاری-خدماتی، حمل‌ونقلی و مختلط در دوره‌ها و انواع روز به کار می‌رود. بنابراین، گره‌ها نه تنها بر اساس شدت، بلکه بر مبنای زمان‌بندی و توزیع فعالیت مقایسه می‌شوند. هماهنگی ریتیمیک زمانی شکل می‌گیرد که زمان فعالیت، خدمات، حمل‌ونقل و حضور جمعیت با یکدیگر تناسب داشته باشند و عدم تناسب آن‌ها ناهماهنگی ریتیمیک را ایجاد می‌کند. از این رو، ریتیم کاوی در این پژوهش برای شناسایی هماهنگی یا گسست میان فعالیت و ظرفیت‌های فضایی شهر به کار گرفته می‌شود.

نبض و پهنه‌های ریتیمی شهر

در ادبیات نظری، «نبض شهری» به تغییرات شدت فعالیت در کانون‌های مختلف شهر و در دوره‌های زمانی گوناگون اشاره دارد (Miranda et al., 2017:12). مطالعات تجربی نیز نشان داده‌اند که می‌توان پهنه‌های شهری را بر اساس منحنی فعالیت در گروه‌هایی مانند روزانه، صبحگاهی، عصرگاهی، شبانه و متعادل طبقه‌بندی کرد (Liu et al., 2021; 8). Du et al., 2024 (11). این رویکرد با کاربری رسمی زمین متفاوت است؛ زیرا کاربری نوع فعالیت تعریف شده برای مکان را نشان می‌دهد، در حالی که پهنه ریتیمی زمان و شدت استفاده واقعی از آن مکان را مشخص می‌کند. در همین راستا، تیکه‌بایاشی و هایاکاوا^۴ (۲۰۲۵) با تحلیل شمارش ساعتی عابران در بیش از یک‌صد نقطه، الگوهای زمانی روزهای کاری و تعطیل را بر اساس ساعات اوج طبقه‌بندی کردند و نقش فاصله از ایستگاه، محدوده اداری و مرکز تجاری را در شکل‌گیری این الگوها نشان دادند (Takebayashi & Hayakawa, 2025:18). همچنین، لیدل و همکاران^۵ (۲۰۲۵) با تحلیل داده‌های ساعتی ملیبورن، ریتیم‌های غالب سفر کاری و فراغتی پایان هفته و هم‌زمانی چند الگوی فعالیت در یک مکان را شناسایی کردند (Liddle et al., 2025:24). در پژوهش حاضر، «پهنه ریتیمی» به معنای محدوده‌ای است که گره‌ها یا واحدهای فضایی آن از نظر شکل توزیع فعالیت در طول زمان شباهت نسبی دارند، نه لزوماً اینکه از نظر کاربری زمین یکسان باشند. بنابراین، مبنای تشکیل تیپ‌های ریتیمی، امضای زمانی فعالیت در دوره‌های مشاهده شده است و کاربری رسمی تنها برای تفسیر تفاوت میان تیپ‌ها به کار می‌رود. این تفکیک امکان بررسی این پرسش را فراهم می‌کند که آیا شباهت ریتیمی بیشتر با موقعیت جغرافیایی مرتبط است یا با کارکرد غالب گره.

1 Dodge & Nelson

2 Lefebvre

3 Drevon

4 Takebayashi & Hayakawa

5 Liddle

دسترسی زمانی و آمایش زمانی-فضایی

دسترسی شهری تنها به فاصله مکانی وابسته نیست و ساعات فعالیت خدمات و زمان در دسترس افراد نیز بر آن اثر می‌گذارد. تغییر ساعات ارائه خدمات می‌تواند سطح دسترسی و عدالت میان گروه‌های جمعیتی را تغییر دهد (Neutens et al., 2010: 10). همچنین، تغییرات درون روزی خدمات و هماهنگی میان عرضه حمل‌ونقل و تقاضا در شناسایی نواحی دارای عدم انطباق اهمیت دارند (Zochowska et al., 2022: 14; Willberg et al., 2023: 18). آمایش زمانی-فضایی بر هماهنگی زمان فعالیت‌ها، خدمات و زیرساخت‌ها با نقش فضایی، نیاز جمعیت و ظرفیت حمل‌ونقل تأکید می‌کند و هدف آن شبانه‌روزی کردن همه پهنه‌ها نیست (Henckel et al., 2013: 18). در این پژوهش، این رویکرد از طریق مقایسه شدت فعالیت با وضعیت فعال بودن خدمات در دوره‌های زمانی و سنجش شکاف زمانی خدمات بررسی می‌شود.

ریتم شبانه‌روزی فعالیت شهری از تعامل ساختار فضایی-کارکردی، سازمان زمانی فعالیت و محدودیت‌های دسترسی شکل می‌گیرد. این مؤلفه‌ها از طریق نوع کارکرد گره، ویژگی‌های محیط پیرامونی، شدت و توزیع زمانی فعالیت، زمان اوج، سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه، دسترسی حمل‌ونقل و میزان فعالیت خدمات سنجیده می‌شوند. تعامل آن‌ها «امضای زمانی فعالیت» را شکل می‌دهد و امکان شناسایی تیپ‌های ریتمی و عدم انطباق زمانی-فضایی را فراهم می‌کند. تفاوت ریتم میان روز کاری، پنجشنبه و جمعه با مقایسه شدت فعالیت، تعادل زمانی و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه بررسی می‌شود. واحد تحلیل، گره فعالیت شهری است و ویژگی‌های محدوده ۵۰۰ متری پیرامون هر گره به‌عنوان متغیرهای زمینه‌ای استفاده می‌شوند؛ بنابراین، روابط آماری در سطح گره تفسیر می‌شوند و دلالت علی برای کل شهر ندارند. روابط میان مؤلفه‌های پژوهش در شکل ۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۱. مدل مفهومی بازشناسی و پهنه‌بندی ریتم‌های شبانه‌روزی فعالیت شهری در چارچوب آمایش زمانی-فضایی تهران

همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، مدل پژوهش از شناسایی عوامل شکل‌دهنده ریتم‌های شهری آغاز شده و پس از سنجش، پهنه‌بندی و ارزیابی عدم انطباق‌ها، به تعیین اولویت‌های مداخله و تولید خروجی‌های کاربردی برای آمایش زمانی-فضایی منتهی می‌شود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی-روش‌شناختی و از نظر روش، کمی و مبتنی بر تحلیل مقایسه‌ای فضایی-زمانی است. واحد اصلی تحلیل «گره فعالیت شهری» در نظر گرفته شد و تحلیل‌ها بر داده‌های سناریویی شبیه‌سازی شده با وضعیت SIMULATED_TRAINING انجام شدند؛ بنابراین، هدف پژوهش ارزیابی قابلیت اجرا، بازتولیدپذیری و حساسیت چارچوب تحلیلی بود و نتایج به‌عنوان برآورد تجربی ریتم واقعی کل تهران تفسیر نشدند. هر گره در سه نوع روز و شش دوره زمانی بررسی شد و متغیرهای کاربری، خدمات، مقصدها و دسترسی از محدوده ۵۰۰ متری پیرامون آن استخراج شدند. سه پهنه تجزیش، انقلاب-ولیعصر و نازی‌آباد به‌صورت هدفمند انتخاب شدند و از هر پهنه چهار گره، در مجموع ۱۲ گره، در چهار گروه مسکونی، تجاری-اداری-خدماتی، حمل‌ونقلی و مختلط-عمومی-فراغتی بررسی شدند. معیارهای انتخاب شامل کارکرد غالب، تراکم و تنوع مقصدها، دسترسی حمل‌ونقل، نقش گره در شبکه معابر و امکان مشاهده تکرار شونده بود و نتایج به‌کل تهران تعمیم داده نشدند. متغیرهای کالبدی، خدماتی و دسترسی با رویه‌ای یکسان پردازش و در صورت نیاز استانداردسازی یا نرمال‌سازی شدند. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که شمارش نظام‌مند در نقاط منتخب می‌تواند تفاوت ریتم فعالیت ناشی از کاربری زمین و ویژگی‌های محله را آشکار کند (Lee, 2020: 16). بر این اساس، تعداد عابران عبوری و افراد حاضر یا متوقف در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای ثبت شد و تبدیل آن‌ها به نرخ ساعتی صرفاً برای استانداردسازی و مقایسه انجام گرفت. برای پوشش تغییرات فعالیت از صبح تا پایان شب، شش دوره زمانی شامل پنج دوره سه‌ساعته و یک دوره دوساعته تعریف شد و امکان مقایسه ۱۲ گره در سه نوع روز فراهم شد. دوره‌های زمانی پایش فعالیت شهری در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. دوره‌های زمانی پایش فعالیت شهری

دوره فعالیت	دامنه زمانی	زمان استاندارد شمارش
صبح زود	۶ تا ۹	۷:۳۰ تا ۷:۴۵
اواسط صبح	۹ تا ۱۲	۱۰:۳۰ تا ۱۰:۴۵
ظهر	۱۲ تا ۱۵	۱۳:۳۰ تا ۱۳:۴۵
عصر	۱۵ تا ۱۸	۱۶:۳۰ تا ۱۶:۴۵
اوایل شب	۱۸ تا ۲۱	۱۹:۳۰ تا ۱۹:۴۵
شب	۲۱ تا ۲۴	۲۰:۳۰ تا ۲۲:۴۵

زمان‌های مشاهده در میانه هر دوره تعیین شدند تا اثر مرزهای زمانی کاهش یابد و مقایسه گره‌ها و انواع روز امکان‌پذیر شود. هر گره در یک روز کاری، پنجشنبه و جمعه و تا حد امکان در شرایط جوی مشابه بررسی شد. روزهای دارای بارندگی شدید، تعطیلات مناسبتی، تجمعات گسترده، اختلال حمل‌ونقل یا رویدادهای غیرعادی حذف شدند و وضعیت هوا، فعالیت‌های موقت و تعداد واحدهای باز ثبت شد. تعداد مشاهدات اصلی بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد.

$$N_{main} = 12 \times 6 \times 3 = 216$$

(رابطه ۱)

بنابراین، ۲۱۶ نوبت شمارش ۱۵ دقیقه‌ای در گره‌های اصلی انجام شد. برای کنترل عوامل مزاحم، روزهای دارای بارندگی شدید، تعطیلات مناسبتی، تجمعات گسترده، اختلال حمل‌ونقل یا رویدادهای غیرعادی حذف شدند و وضعیت هوا، نوع روز، فعالیت‌های موقت و تعداد واحدهای باز ثبت شد.

از میان ۱۲ گره، سه گره، هر کدام در یکی از پهنه‌ها، به‌عنوان ایستگاه مرجع انتخاب شدند تا ریتم روزانه پهنه‌ها را به‌صورت پیوسته‌تر نشان دهند. معیار انتخاب آن‌ها شامل نمایندگی نسبی پهنه، تنوع کارکردی، شدت و تداوم فعالیت، امنیت و امکان پایش پیوسته بود. این ایستگاه‌ها برای تعمیم آماری به سایر گره‌ها به کار نرفتند. در هر ایستگاه مرجع، طی یک روز کاری و یک جمعه، در هر ساعت یک شمارش ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد و در نتیجه، هر ایستگاه ۴۸ نوبت مشاهده داشت. با توجه به هم‌پوشانی ۱۲ نوبت با برنامه عمومی شمارش‌ها، تعداد مشاهدات افزوده بر اساس روابط ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$N_{extra \text{ per station}} = 48 - 12 = 36 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$N_{extra} = 3 \times 36 = 108 \quad \text{رابطه ۳}$$

لذا حجم نهایی داده‌های میدانی برابر است با رابطه ۴:

$$N_{total} = 216 + 108 = 324 \quad \text{رابطه ۴}$$

زمان خالص مشاهده نیز از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$T = \frac{(324 \times 15)}{60} = 81 \text{ hours} \quad \text{رابطه ۵}$$

ایستگاه‌های مرجع برای نمایش و مقایسه منحنی کامل ۲۴ ساعته سه پهنه به کار می‌روند. به دلیل تفاوت کارکرد گره‌ها، داده یک ایستگاه مرجع برای برآورد ساعات مشاهده نشده سایر گره‌ها استفاده نخواهد شد. تحلیل عمومی دوازده گره بر مبنای شش دوره مشاهده‌شده انجام می‌شود. از این‌رو ابتدا هر شمارش ۱۵ دقیقه‌ای برای مقایسه، به نرخ ساعتی معادل تبدیل می‌شود (رابطه ۶):

$$V_{it} = 4 \times C_{it} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه، C_{it} تعداد ثبت‌شده طی ۱۵ دقیقه و V_{it} نرخ ساعتی معادل در گره i و دوره t است. این تبدیل صرفاً برای ایجاد مقیاس مشترک و مقایسه‌پذیری میان مشاهدات انجام شد و به‌عنوان شمارش واقعی کل یک ساعت تفسیر نمی‌شود. برای ترکیب جریان عابران و افراد حاضر، هر متغیر جداگانه در دامنه صفر تا یک به‌صورت رابطه ۷ و ۸ نرمال می‌شود:

$$F_{*it} = \frac{(F_{it} - F_{min})}{(F_{max} - F_{min})} \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\frac{(S_{it} - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} \quad \text{رابطه ۸}$$

شاخص شدت فعالیت شهری از میانگین دو مؤلفه جریان عابران و حضور ثابت محاسبه شد. با توجه به نقش مکمل این دو مؤلفه و نبود مبنای نظری یا داده‌ای برای ترجیح یکی بر دیگری، وزن برابر برای آن‌ها در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه و تغییر رتبه گره‌ها بر اساس این شاخص در نسخه نهایی گزارش می‌شود (رابطه ۹).

$$UAI_{it} = 0.5F_{it} + 0.5S_{it} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این روابط، F_{it} جریان عابر نرمال شده، S_{it} حضور ثابت نرمال شده و UAI_{it} شاخص شدت فعالیت شهری است. وزن‌های برابر به دلیل شفافیت و امکان تکرار انتخاب شدند و پایداری نتایج نیز در تحلیل حساسیت بررسی شد. برای استخراج امضای زمانی هر گره، سهم نسبی فعالیت در هر یک از شش دوره زمانی محاسبه شد. این امضا نشان می‌دهد

فعالیت مشاهده شده در هر گره چگونه میان دوره های مختلف شبانه روز توزیع شده است و مبنای محاسبه شاخص های ریتم و خوشه بندی تیپ های زمانی قرار گرفت (رابطه ۱۰):

$$p_{ik} = \frac{UAI_{ik}}{\sum_{k=1 \text{ to } 6} UAI_{ik}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در این رابطه UAI_{it} شدت فعالیت گره i در دوره t و $\sum_{t=1}^6 UAI_{it}$ مجموع شدت فعالیت در شش دوره زمانی روز است. مقادیر حاصل برای هر گره به گونه ای استاندارد می شوند که مجموع سهم های شش دوره برابر با یک باشد؛ بنابراین، این شاخص بیانگر شکل توزیع زمانی فعالیت است و مستقل از سطح مطلق شدت فعالیت تفسیر می شود. بر اساس امضای زمانی، شاخص های زمان اوج، سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه و تعادل زمانی استخراج شدند. شاخص تعادل زمانی برای سنجش میزان یکنواختی توزیع فعالیت میان دوره های مشاهده شده به کار رفت. مقدار این شاخص در دامنه صفر تا یک قرار دارد؛ مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده توزیع متعادل تر فعالیت میان دوره ها و مقادیر پایین تر نشان دهنده تمرکز بیشتر فعالیت در یک یا چند دوره زمانی است (رابطه ۱۱).

$$H_i = - \frac{\sum_{k=1 \text{ to } 6} (p_{ik} \times \ln p_{ik})}{\ln(6)} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

مقدار H_i بین صفر و یک قرار دارد. مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده توزیع متعادل فعالیت میان دوره ها و مقادیر پایین بیانگر تمرکز فعالیت در یک یا چند دوره محدود است. سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه به صورت نسبت مجموع فعالیت مشاهده شده در دوره های عصر، اوایل شب و شب به کل فعالیت شش دوره زمانی محاسبه شد. این شاخص نشان می دهد چه سهمی از فعالیت روزانه گره در ساعات پایانی روز متمرکز بوده است (رابطه ۱۲):

$$NS_i = \frac{(UAI_{i,5} + UAI_{i,6})}{\sum_{k=1 \text{ to } 6} UAI_{ik}} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

برای سه ایستگاه مرجع، سهم فعالیت شبانه در بازه ۲۱ تا ۶ نیز به صورت جداگانه و بر اساس داده های ۲۴ ساعته محاسبه شد. برای سنجش تفاوت ریتم روز کاری و جمعه، فاصله میان امضاهای زمانی متناظر دو روز محاسبه شد. مقدار بیشتر این شاخص نشان دهنده تفاوت شدیدتر میان الگوی توزیع زمانی فعالیت در روز کاری و جمعه است. وضعیت پنجشنبه نیز به صورت جداگانه با روز کاری و جمعه مقایسه شد (رابطه ۱۳):

$$WD_i = 0.5 \times \sum_{k=1 \text{ to } 6} |p_{i,k,work} - p_{i,k,Friday}| \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در این رابطه، مقدار بیشتر WD_i نشان دهنده تفاوت شدیدتر میان الگوی روز کاری و جمعه است. وضعیت پنجشنبه نیز به صورت جداگانه با دو روز دیگر مقایسه می شود. در این تحلیل، تفاوت انواع روز در سطح گره بررسی می شود؛ به این معنا که هر گره یک واحد تکرار شونده است و شاخص های آن در سه نوع روز با یکدیگر مقایسه می شوند. بنابراین، آزمون فریدمن برای مقایسه سه وضعیت وابسته در سطح ۱۲ گره به کار می رود و مقایسه های زوجی و پلکاکسون نیز بر همین واحدهای تکرار شونده انجام می شوند. برای گزارش کامل نتایج، علاوه بر آماره آزمون و مقدار p ، مقدار Z و اندازه اثر برای هر مقایسه زوجی گزارش شد. با توجه به حجم محدود نمونه، تفسیر معناداری آماری با توجه به اندازه اثر و الگوی داده ها انجام می شود و صرفاً بر مقدار p اتکا نخواهد شد.

ارتباط اکتشافی شاخص های ریتم با تراکم کاربری، تنوع مقصدها، فاصله از مترو و سایر ویژگی های فضایی با ضریب همبستگی اسپیرمن بررسی شد. واحد تحلیل، ۱۲ گره بود و متغیرهای فضایی از محدوده ۵۰۰ متری پیرامون هر گره استخراج شدند. با توجه به حجم محدود نمونه، ضرایب همبستگی همراه با مقدار p گزارش و صرفاً به عنوان روابط آماری اکتشافی تفسیر شدند؛ برای متغیرهای اصلی نیز نمودارهای پراکنش به منظور بررسی شکل رابطه و نقاط دور افتاده ارائه شد و از هرگونه استنباط علی پرهیز گردید. پهنه بندی ریتمی بر اساس امضاهای شش دوره ای گره ها و با خوشه بندی

سلسله‌مراتبی Ward و فاصله اقلیدسی انجام شد. پایداری خوشه‌ها با مقایسه راه‌حل‌های دو، سه و چهار خوشه‌ای و استفاده از شاخص Silhouette، همبستگی کوفنتیک و تفسیرپذیری عملکردی ارزیابی و راه‌حل نهایی بر اساس مجموع این معیارها انتخاب شد. پژوهش‌های مبتنی بر شمارش‌های ساعتی نیز کارآمدی طبقه‌بندی نقاط بر پایه زمان اوج و تفاوت روزهای کاری و تعطیل را تأیید کرده‌اند. (Takebayashi & Hayakawa, 2025: 18) برای سنجش شکاف خدمات، واحدها و مقصدهای خدماتی قابل‌استفاده برای کاربران در محدوده ۵۰۰ متری هر گره شناسایی و وضعیت فعالیت آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف تعیین شد. سپس، برای هر گره و دوره زمانی، نسبت خدمات فعال به کل خدمات شناسایی‌شده به‌عنوان سهم عرضه زمانی خدمات محاسبه شد (رابطه ۱۴).

$$SA_{it} = Open \frac{services_{it}}{Total\ services_i} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

سپس، پس از نرمال‌سازی، تفاوت میان شدت فعالیت و عرضه زمانی خدمات به‌عنوان شکاف خدمات در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱۵):

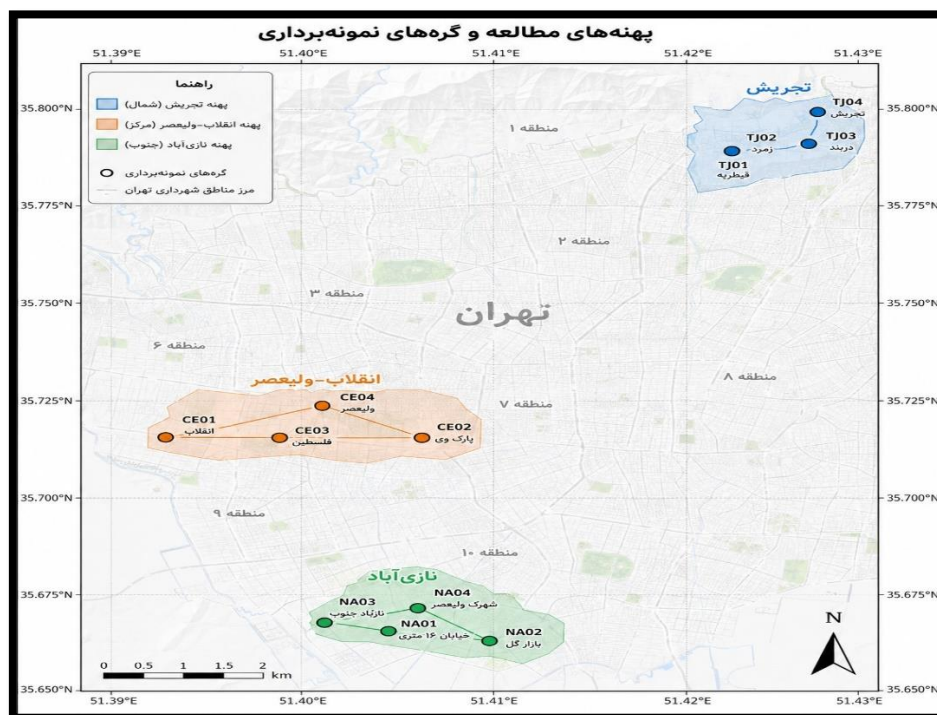
$$_{it} = UAI * _{it} - SA_i \quad \text{رابطه ۱۵}$$

مقدار مثبت شکاف خدمات نشان می‌دهد شدت فعالیت از سهم خدمات فعال بیشتر است و احتمال نیاز به مداخله زمانی یا خدماتی وجود دارد. عدم انطباق کاربری نیز از مقایسه کاربری رسمی غالب با پهنه ریتمی مشاهده‌شده بررسی شد. خروجی‌های فضایی شامل نقشه شدت فعالیت، پهنه‌های ریتمی، تفاوت روز کاری و جمعه، فعالیت شبانه، عدم انطباق کاربری، شکاف خدمات و اولویت مداخله در سه پهنه منتخب و محدوده ۵۰۰ متری پیرامون ۱۲ گره تهیه شدند و به کل تهران تعمیم داده نشدند. پیشنهادهای مداخله‌ای نیز صرفاً بر اساس الگوهای مشاهده‌شده و شاخص‌های محاسبه‌شده برای گره‌های مورد مطالعه ارائه شدند. پیش از اجرای اصلی، ابزار مشاهده در دو گره به‌صورت آزمایشی بررسی و اصلاح شد. برای ارزیابی پایایی، حداقل ۱۰ درصد مشاهدات به‌طور هم‌زمان توسط دو مشاهده‌گر مستقل ثبت شد و میزان توافق برای «عابران عبوری» و «افراد حاضر یا متوقف» به‌صورت جداگانه محاسبه شد. نتایج این ارزیابی در بخش یافته‌ها گزارش شدند.

یافته‌ها

شدت و الگوی زمانی فعالیت شهری

پوشش مشاهدات و ساختار داده‌ها: تحلیل ریتم فعالیت شهری بر پایه ۳۲۴ مشاهده ۱۵ دقیقه‌ای انجام شد؛ شامل ۲۱۶ مشاهده از ۱۲ گره در شش دوره زمانی و سه نوع روز و ۱۰۸ مشاهده تکمیلی برای بازسازی منحنی ۲۴ ساعته سه ایستگاه مرجع. این ساختار امکان مقایسه تفاوت‌های مکانی، زمانی و کارکردی در سه پهنه تجریش، انقلاب-ولیعصر و نازی‌آباد را فراهم کرد. شکل ۲ موقعیت پهنه‌ها و پراکنش گره‌های مسکونی، حمل‌ونقلی، تجاری-خدماتی و مختلط را نشان می‌دهد.



شکل ۲. پهنه‌های مطالعه و گره‌های نمونه‌برداری

بر اساس شکل ۲ توزیع هدفمند گره‌ها در این پهنه‌ها سبب شد الگوهای متفاوت فعالیت شهری، بدون تعمیم نتایج به کل تهران، در یک چارچوب مقایسه‌ای بررسی شوند. تفاوت شدت فعالیت در سه پهنه: نتایج حاصل از بررسی‌ها از منظر شاخص شدت فعالیت شهری نشان داد پهنه انقلاب-ولیعصر با میانگین $UAI=0.385$ فعال‌ترین پهنه مطالعه است. پس‌از آن، تجریش با میانگین 0.298 و نازی‌آباد با میانگین 0.203 قرار گرفتند. برتری پهنه مرکزی را می‌توان در تمرکز هم‌زمان فعالیت‌های حمل‌ونقلی، تجاری، آموزشی، فرهنگی و خدماتی آن مشاهده کرد؛ به‌گونه‌ای که جریان عابر و حضور افراد در بخش بزرگی از ساعات روز تداوم داشت.

در سطح گره‌ها نیز چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر با مقدار $UAI=0.634$ بیشترین شدت فعالیت را ثبت کرد. بازار تجریش-امامزاده صالح با مقدار 0.448 و میدان انقلاب-ورودی مترو با مقدار 0.427 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این یافته نشان می‌دهد شدت فعالیت صرفاً تابع جایگاه جغرافیایی پهنه نیست، بلکه از ترکیب کاربری‌ها، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی، تنوع مقصدها و قابلیت جذب و توقف جمعیت نیز تأثیر می‌پذیرد. برای مقایسه میزان و الگوی پراکندگی شاخص‌های فعالیت در سه پهنه، علاوه بر مقدار میانگین هر شاخص، انحراف معیار نیز در سطح گره‌های هر پهنه محاسبه شد. از آنجاکه هر پهنه شامل چهار گره است، انحراف معیار هر شاخص بر اساس مقادیر چهار گره همان پهنه محاسبه شده و به‌صورت «میانگین $\pm$ انحراف معیار» گزارش می‌شود. این نحوه گزارش، ضمن نشان دادن تفاوت میانگین شاخص‌ها، میزان پراکندگی آن‌ها درون هر پهنه را نیز مشخص می‌کند؛ نتایج این مقایسه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقایسه شاخص‌های شدت و ریتم فعالیت شهری در پهنه‌های منتخب

پهنه	شدت فعالیت شهری (UAI)	تبادل زمانی	سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه
انقلاب-ولیعصر	$385 \pm 0.06/0$	$979 \pm 0.01/0$	$6 \pm 5.0/39$
تجریش	$298 \pm 0.05/0$	$970 \pm 0.01/0$	$1 \pm 5.5/43$
نازی‌آباد	$203 \pm 0.04/0$	$971 \pm 0.01/0$	$4 \pm 6.0/42$

توزیع فعالیت در دوره‌های مختلف روز

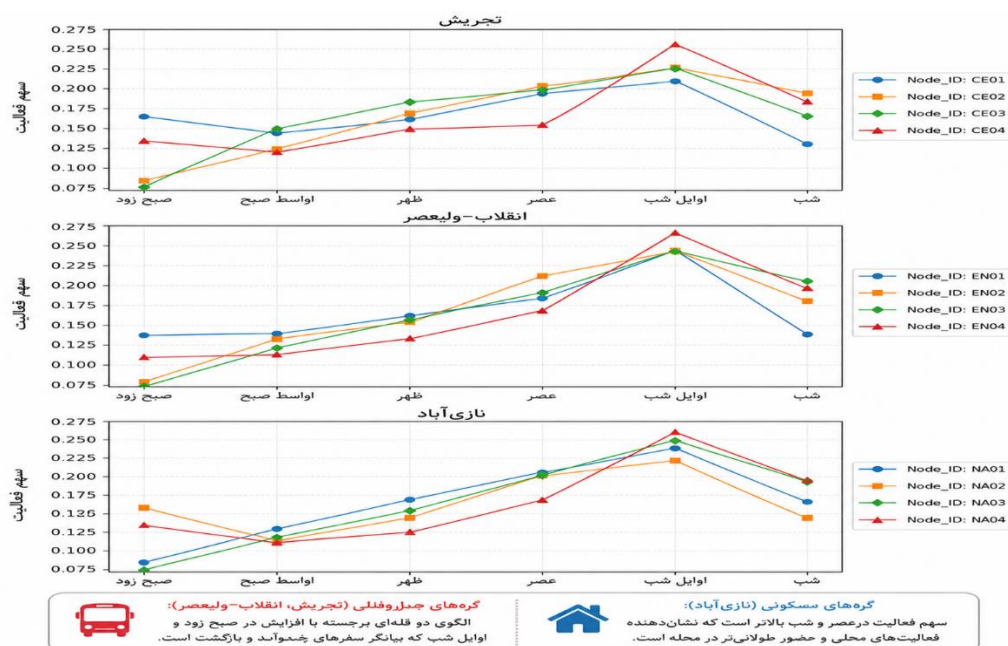
مقادیر بالای شاخص تبادل زمانی نشان داد که فعالیت در هر سه پهنه نسبتاً گسترده توزیع شده است، اما الگوی زمانی گره‌ها یکسان نبوده است. گره‌های حمل‌ونقلی در آغاز روز و عصر، گره‌های تجاری و مختلط در بعدازظهر و اوایل شب و گره‌های مسکونی در عصر و شب فعالیت بیشتری نشان دادند. از این رو، شاخص تبادل زمانی همراه با سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه و منحنی زمانی برای تفسیر ریتم فعالیت به کار گرفته شد. سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه در تجریش ۱/۴۳ درصد و در نازی‌آباد ۴/۴۲ درصد بود و از مقدار ۶/۳۹ درصدی انقلاب-ولیعصر بیشتر گزارش شد. این یافته نشان داد که با وجود شدت فعالیت بیشتر در پهنه مرکزی، سهم فعالیت ساعات پایانی روز در تجریش و نازی‌آباد بیشتر بوده است.

الگوی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مرجع

منحنی‌های ایستگاه‌های مرجع تفاوت ریتم پهنه‌ها را نشان دادند. اوج فعالیت تجریش در روز کاری و جمعه حدود ساعت ۱۹ رخ داد. در انقلاب-ولیعصر، اوج روز کاری در ساعت ۱۹ و اوج جمعه در حدود ساعت ۱۷ مشاهده شد. در نازی‌آباد نیز بیشترین فعالیت در روز کاری ساعت ۱۸ و در جمعه ساعت ۱۹ ثبت شد. این جابه‌جایی‌ها نشان دادند که نوع روز، در کنار ویژگی مکانی، زمان اوج فعالیت را تغییر می‌دهد. معناداری آماری این تفاوت‌ها در بخش بعدی یافته‌ها بررسی شد.

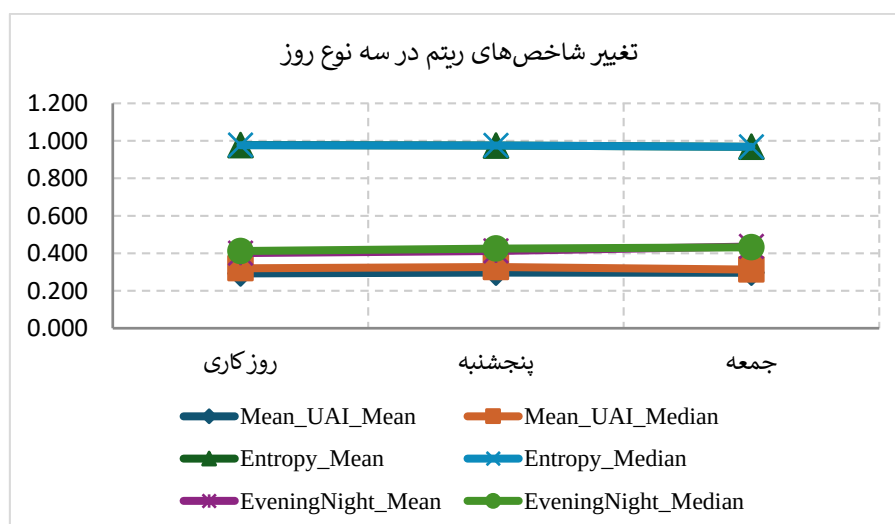
تفاوت ریتم برحسب کارکرد گره‌ها

منحنی‌های زمانی نشان دادند که گره‌های حمل‌ونقلی، به‌ویژه ورودی‌های مترو و گره‌های اصلی جابه‌جایی، معمولاً الگوی دو اوجی با افزایش فعالیت در آغاز روز و عصر نشان می‌دهند. گره‌های تجاری و مختلط از ظهر تا اوایل شب روند افزایشی داشتند و گره‌های مسکونی نیز فعالیت بیشتری در عصر و شب نشان دادند. بنابراین، کارکرد غالب گره‌ها با تفاوت در سطح و زمان اوج فعالیت همراه بود. شکل ۳ تفاوت منحنی چهار گره هر پهنه را در شش دوره زمانی نشان می‌دهد.



شکل ۳. پروفایل زمانی فعالیت در سه پهنه

بر اساس شکل ۳، گره های حمل و نقلی الگوی دو اوجی، گره های تجاری افزایش فعالیت تا اوایل شب و گره های مسکونی تمرکز دیر هنگام تری از فعالیت را نشان دادند. در مجموع، انقلاب-ولیعصر بیشترین حجم فعالیت را داشت، در حالی که سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه در تجاری و نازی آباد بیشتر بود. این تفاوت ها نشان دادند که کارکرد گره بر زمان بندی فعالیت اثر می گذارد و گره های مورد مطالعه الگوهای زمانی یکسانی ندارند. پیامدهای این تفاوت ها بر اساس شکاف خدمات و اولویت مداخله در بخش بحث بررسی می شوند. شکل ۴ نیز تغییرات شدت فعالیت، تعادل زمانی و سهم عصرگاهی-شبانه را در سه نوع روز نشان می دهد.



شکل ۴. نمودار تغییر شاخص شدت، تعادل زمانی و سهم عصرگاهی-شبانه در سه نوع روز

نتایج مربوط به مقایسه های زوجی ویلکاکسون نشان داد فعالیت در روز کاری نسبت به جمعه توزیع متعادل تری در دوره های زمانی داشت ($p = 0.001$). در مقابل، سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه در جمعه به طور معناداری بیشتر

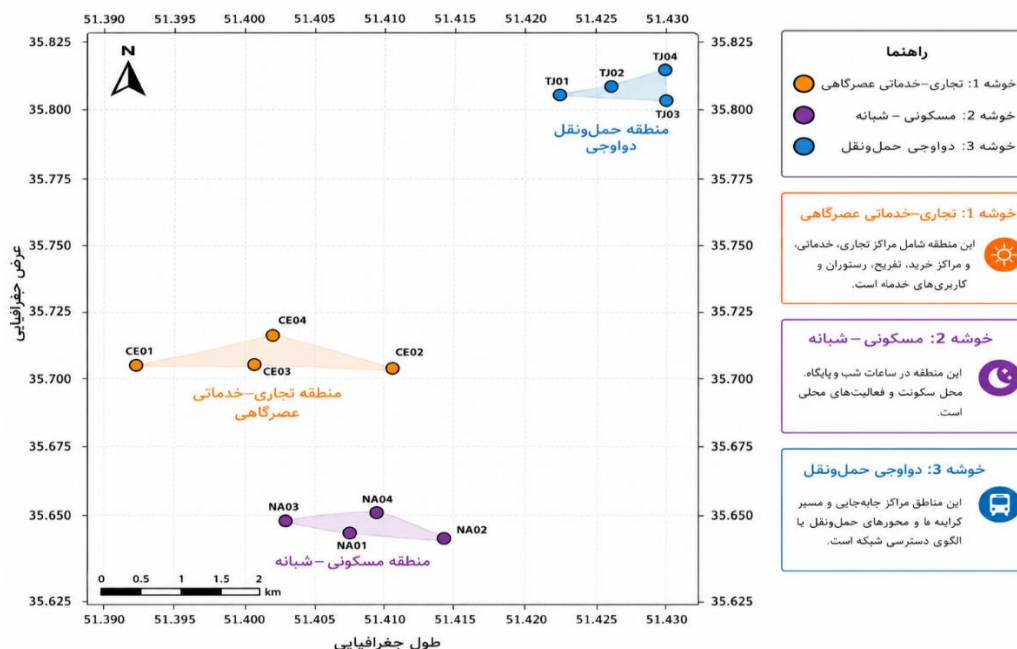
بود (p تعدیل شده=۰/۰۰۷). برای تکمیل گزارش آماری، آماره Z و اندازه اثر هر مقایسه زوجی نیز گزارش شد تا علاوه بر معناداری آماری، شدت تفاوت میان انواع روز قابل ارزیابی باشد (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد تفاوت اصلی روز کاری و تعطیل، بیشتر در زمان وقوع فعالیت‌ها دیده می‌شود تا در حجم کلی آن‌ها؛ فعالیت جمعه دیرتر آغاز می‌شود و تمرکز بیشتری در عصر و شب پیدا می‌کند.

جدول ۳. نتایج آزمون تفاوت شاخص‌های ریتم فعالیت میان روز کاری، پنجشنبه و جمعه

شاخص	تعداد گره	فریدمن χ^2	p-value	نتیجه	تفسیر
میانگین شدت فعالیت	۱۲	۱/۵	۰/۴۷۲	غیر معنادار	تفاوت معناداری مشاهده نشد
تبادل زمانی	۱۲	۱۴	۰/۰۰۱	معنادار	نوع روز بر شاخص اثر دارد
سهم عصرگاهی-شبانه	۱۲	۸/۱۶۷	۰/۰۱۷	معنادار	نوع روز بر شاخص اثر دارد

شناسایی تیپ‌های اصلی ریتم شهری

نتایج بررسی خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی Ward بر اساس سهم فعالیت در شش دوره زمانی، سه الگوی متمایز را آشکار ساخت. راه‌حل سه خوشه‌ای با ضریب Silhouette برابر ۰/۵۲۳ و همبستگی کوفتیک ۰/۸۳۵، از انسجام و تفکیک قابل قبولی برخوردار بود. خوشه نخست با شش گره، الگوی تجاری-فراغتی عصرگاهی را نشان داد؛ در این گره‌ها فعالیت از میانه روز افزایش یافت و در عصر یا اوایل شب به اوج رسید. خوشه دوم شامل سه گره مسکونی با الگوی مسکونی-شبانه بود که سهم بیشتری از فعالیت آن‌ها در ساعات پایانی روز شکل گرفت. خوشه سوم نیز سه گره حمل‌ونقلی را با الگوی دو اوجی دربر گرفت؛ به‌طوری‌که یک اوج در صبح و اوج دیگر در عصر مشاهده شد. در شکل ۵ تیپ‌شناسی ریتم‌های فعالیت شهری ارائه شده است.

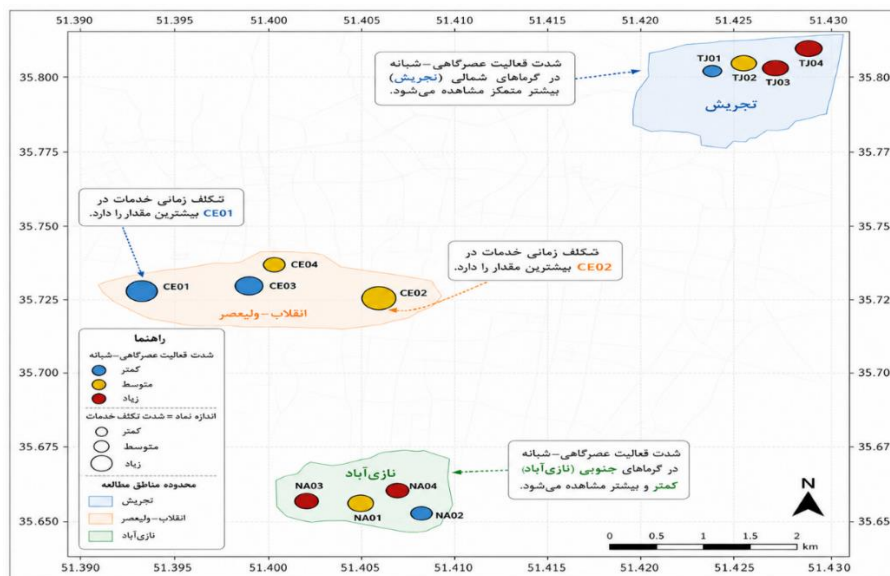


شکل ۵. تیپ‌شناسی ریتم‌های فعالیت شهری

شکل ۵، توزیع فضایی خوشه‌ها را روشن‌تر می‌سازد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که گره‌های حمل‌ونقلی سه پهنه، با وجود فاصله جغرافیایی، در یک تیپ ریتمی قرار گرفته‌اند؛ همین وضعیت درباره گره‌های مسکونی نیز مشاهده می‌شود. بنابراین، شباهت ریتم فعالیت بیش از آنکه فقط تابع شمال، مرکز یا جنوب شهر باشد، با کارکرد واقعی گره ارتباط دارد. ارتباط ریتم فعالیت با ویژگی‌های فضایی: تحلیل اکتشافی اسپیرمن نشان داد شدت فعالیت با تنوع مقصدها رابطه بسیار قوی دارد ($p=0.972$). همچنین، روابط مثبت معناداری میان شدت فعالیت و تراکم ساخت‌وساز ($p=0.928$)، دسترسی حمل‌ونقل عمومی ($p=0.883$)، تعداد خدمات پیرامونی ($p=0.881$) و مرکزیت شبکه ($p=0.825$) مشاهده می‌شود. در مقابل، سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه با مرکزیت شبکه رابطه منفی دارد ($p=-0.797, p=0.002$). به بیان دیگر، گره‌های مرکزی‌تر اگرچه از شدت فعالیت بیشتری برخوردار بودند، الزاماً شبانه‌ترین ریتم را نداشتند؛ بخشی از فعالیت دیر هنگام در گره‌های مسکونی و مختلط خارج از هسته مرکزی شکل می‌گرفتند. البته این روابط به دلیل محدود بودن نمونه به دوازده گره، اکتشافی هستند و نباید به‌صورت روابط علی تفسیر شوند. لذا جمع‌بندی این بخش از یافته‌ها نشان می‌دهد که نوع روز، بیش از حجم کلی فعالیت، زمان‌بندی آن را تغییر می‌دهد. جمعه‌ها فعالیت متمرکزتر و عصرگاهی‌تر بود، درحالی‌که روزهای کاری توزیع زمانی متعادل‌تری داشتند. همچنین، سه تیپ تجاری-فراغتی عصرگاهی، مسکونی-شبانه و دو اوجی حمل‌ونقلی نشان دادند که ریتم شهری هر گره با کارکرد و ویژگی‌های فضایی آن پیوند مشخصی دارد.

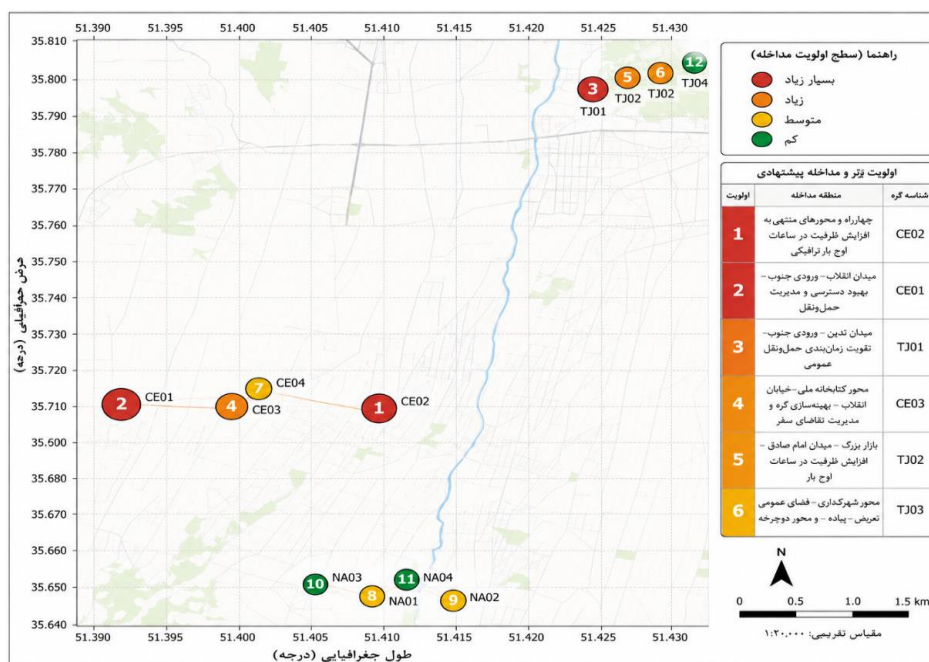
شکاف میان فعالیت شهری و عرضه زمانی خدمات

بررسی‌ها نشان داد که میانگین شکاف مطلق خدمات در کل گره‌ها ۰/۰۷۳ می‌باشد. این مقدار در انقلاب-ولیعصر ۰/۰۹۸، تجریش ۰/۰۷۱ و نازی‌آباد ۰/۰۵۰ به دست آمد. بیشترین شکاف خدمات به ترتیب در چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر با ۰/۱۴۹، میدان انقلاب-ورودی مترو با ۰/۱۱۹، بازار تجریش-امامزاده صالح با ۰/۰۹۹ و میدان تجریش-ورودی مترو با ۰/۰۸۹ مشاهده شد. در تفسیر این شاخص، مقدار مثبت شکاف به معنای آن است که شدت فعالیت مشاهده‌شده در گره و دوره زمانی موردنظر از سهم نسبی خدمات فعال بیشتر بوده است. بنابراین، مقدار بالاتر شکاف نشان‌دهنده عدم انطباق بیشتر میان سطح فعالیت و عرضه زمانی خدمات است؛ با این حال، این شاخص به‌تنهایی بیانگر کمبود مطلق خدمات یا نارضایتی کاربران نیست و صرفاً میزان عدم انطباق زمانی میان فعالیت مشاهده‌شده و عرضه خدمات فعال را در گره‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۶).



شکل ۶. شکاف زمانی خدمات و شدت فعالیت عصر گاهی-شبانه

شکل ۶ نشان می‌دهد شکاف خدمات در گره‌های مرکزی، تجاری و پرتراکم بیشتر است؛ درحالی‌که سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه در گره‌های مسکونی و مختلط، از جمله TJ04، NA04، TJ03 و NA03 برجسته‌تر می‌باشد. بررسی‌های تکمیلی نشان داد که مدل ترکیبی اولویت مداخله، پهنه انقلاب-ولیعصر را با میانگین امتیاز ۰/۵۲۷ در رتبه نخست قرار می‌دهد. تجریش با ۰/۳۸۰ و نازی‌آباد با ۰/۲۹۰ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. شش گره در طبقات اولویت «زیاد» و «بسیار زیاد» جای گرفتند. در شکل ۷، اندازه نمادها بیانگر شدت شکاف خدمات و رنگ آن‌ها نشان‌دهنده سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه است.



شکل ۷. اولویت مداخله فضایی-زمانی و کانون‌های اقدام

بر اساس شکل ۷، این نمایش دومتغیره آشکار می‌کند که گره‌های دارای بیشترین شکاف لزوماً شبانه‌ترین گره‌ها نیستند. برای نمونه، شکاف بالای CE02 و CE01 بیشتر از شدت زیاد فعالیت و فشار جمعیتی ناشی می‌شود؛ درحالی‌که سهم فعالیت دیر هنگام در برخی گره‌های مسکونی و مختلط، از جمله TJ04، NA04، TJ03 و NA03 برجسته‌تر است. بنابراین، دو مسئله متفاوت قابل تشخیص است که به ترتیب کمبود ظرفیت خدمات در گره‌های پرتراکم و محدود بودن ساعات خدمات محله‌ای در گره‌های عصرگاهی و شبانه می‌باشد.

تفاوت فضایی شکاف خدمات

انقلاب-ولیعصر بیشترین میانگین شکاف خدمات را نشان داد و پس‌از آن تجریش و نازی‌آباد قرار گرفتند. این وضعیت در پهنه مرکزی با تمرکز مقصدها، دسترسی گسترده حمل‌ونقل عمومی و حضور هم‌زمان گروه‌های مختلف مرتبط بود. در تجریش، شکاف بیشتر در گره‌های تجاری و ورودی مترو مشاهده شد و در نازی‌آباد، با وجود شکاف کلی کمتر، نیاز به خدمات فعال‌تر در ساعات عصر و شب دیده شد. این تفاوت‌ها نشان دادند که کاهش شکاف خدمات به سیاست‌های متناسب با نوع گره نیاز دارد؛ به‌گونه‌ای که در گره‌های مرکزی افزایش ظرفیت و هماهنگی عملیاتی و در گره‌های مسکونی تمدید ساعات خدمات و تقویت پشتیبانی محله‌ای اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

اولویت‌بندی گره‌های مداخله

امتیاز اولویت مداخله با تلفیق شکاف مطلق و نسبی خدمات، شدت فعالیت، واگرایی کارکردی، تفاوت ریتم روز کاری و جمعه و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه محاسبه شد و شش گره در طبقات «زیاد» و «بسیار زیاد» قرار گرفتند. برای محاسبه امتیاز نهایی، همه مؤلفه‌ها ابتدا در مقیاس صفر تا یک استاندارد شدند و سپس بر اساس وزن تعیین‌شده در مدل ترکیبی وارد محاسبه شدند. نتایج رتبه‌بندی گره‌ها بر اساس امتیاز ترکیبی اولویت مداخله، همراه با اقدام اصلی پیشنهادی برای هر گره، در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۴. رتبه‌بندی گره‌های شهری بر اساس امتیاز ترکیبی اولویت مداخله فضایی-زمانی

رتبه	گره	امتیاز	اقدام اصلی
۱	چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر	۰/۶۵۷	افزایش ظرفیت و ساعات خدمات در اوج
۲	میدان انقلاب-ورودی مترو	۰/۶۲۹	مدیریت ازدحام و هماهنگی حمل‌ونقل
۳	میدان تجریش-ورودی مترو	۰/۵۲۶	مدیریت ازدحام و هماهنگی حمل‌ونقل
۴	محور کتاب‌فروشی‌های انقلاب	۰/۴۷۵	مدیریت انعطاف‌پذیر کارکرد و فضا
۵	بازار تجریش-امامزاده صالح	۰/۴۰۹	افزایش ظرفیت خدمات در اوج
۶	محور شهرداری-فضای عمومی تجریش	۰/۳۶۶	پایش و بهبود موضعی

برتری چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر از هم‌زمانی شدت بالای فعالیت، شکاف خدمات و تنوع استفاده‌کنندگان ناشی شد. میدان‌های انقلاب و تجریش نیز به دلیل نقش حمل‌ونقلی و حجم بالای جابه‌جایی در میان سه اولویت نخست قرار گرفتند. در محور کتاب‌فروشی‌های انقلاب نیز ضرورت هماهنگی بیشتر میان کارکرد رسمی فضا و ریتم حضور جمعیت مشاهده شد.

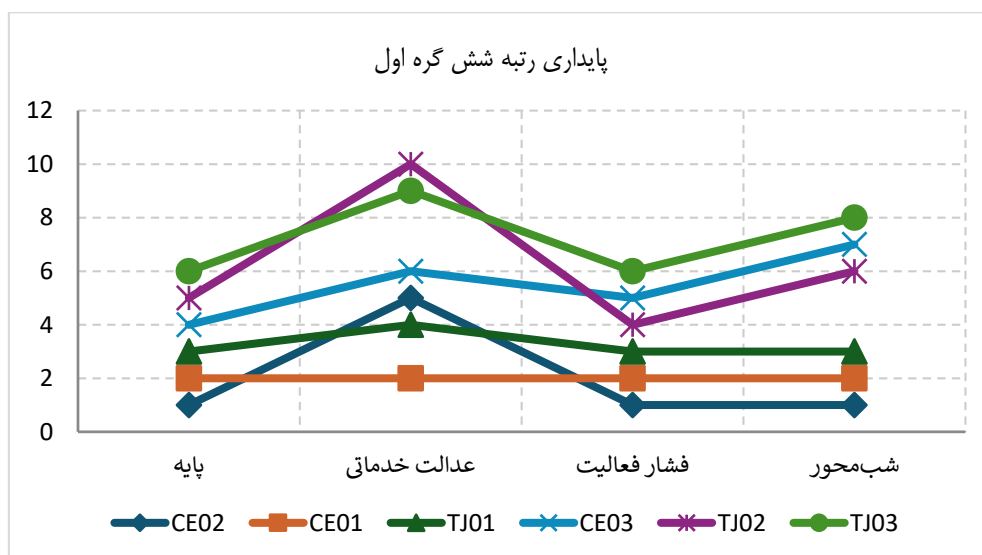
پایداری اولویت‌ها در سناریوهای مختلف

تحلیل حساسیت نشان داد که رتبه‌بندی گره‌ها با تغییر جهت‌گیری سیاستی ثابت نمی‌ماند. سناریوی «فشار فعالیت» بیشترین همبستگی را با مدل پایه نشان داد ($p=0.958$)، درحالی‌که همبستگی سناریوی «عدالت خدماتی» با مدل پایه کمتر بود ($p=0.308$). امتیاز اولیه پهنه‌ها و گره‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. امتیازبندی اولیه پهنه‌ها و گره‌ها

رتبه	Node_ID	پهنه	نام گره	Base_Score
۱	CE02	انقلاب-ولیعصر	چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر	۰/۶۵۷
۲	CE01	انقلاب-ولیعصر	میدان انقلاب-ورودی مترو	۰/۶۲۹
۳	TJ01	تجریش	میدان تجریش-ورودی مترو	۰/۵۲۶
۴	CE03	انقلاب-ولیعصر	محور کتاب‌فروشی‌های خیابان انقلاب	۰/۴۷۵
۵	TJ02	تجریش	بازار تجریش-امامزاده صالح	۰/۴۰۹
۶	TJ03	تجریش	محور شهرداری-فضای عمومی تجریش	۰/۳۶۶
۷	CE04	انقلاب-ولیعصر	بافت مسکونی اطراف خیابان وصال	۰/۳۴۸
۸	NA01	نازی‌آباد	بازار دوم نازی‌آباد	۰/۳۱۵
۹	NA02	نازی‌آباد	گره حمل‌ونقلی محور رجایی-نازی‌آباد	۰/۳۰۶
۱۰	NA03	نازی‌آباد	فضای عمومی و محور مختلط محله	۰/۲۷۹
۱۱	NA04	نازی‌آباد	بافت مسکونی خیابان اکبر مشهدی	۰/۲۶۱
۱۲	TJ04	تجریش	بافت مسکونی دزاشیب نزدیک تجریش	۰/۲۲۱

در سناریوی عدالت خدماتی، رتبه گره مسکونی وصال از هفتم به نخست و گره مسکونی اکبر مشهدی از یازدهم به سوم ارتقا یافت. این تغییر نشان داد که گره‌های دارای اولویت پایین‌تر در مدل کارایی‌محور، با تأکید بر دسترسی برابر، خدمات محله‌ای و نیازهای شبانه می‌توانند به اولویت‌های اصلی مداخله تبدیل شوند. شکل ۸ پایداری رتبه شش گره نخست را در چهار سناریوی وزن دهی نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار پایداری رتبه شش گره اول در چهار سناریوی وزن دهی

تحلیل پایداری رتبه‌ها: شکل ۸ نشان می‌دهد که میدان انقلاب و میدان تجریش در اغلب سناریوها جایگاه نسبتاً پایداری دارند، درحالی‌که رتبه برخی گره‌های مسکونی و تجاری به وزن دهی حساس‌تر است. بنابراین، اولویت نهایی باید متناسب با هدف سیاست شهری تعیین شود؛ زیرا اولویت‌های مبتنی بر کاهش ازدحام و عدالت زمانی خدمات الزاماً یکسان نیستند.

نتایج چهار جهت اصلی مداخله را مشخص کردند. در گره‌های حمل‌ونقلی، مدیریت صف و هماهنگی حمل‌ونقل در ساعات اوج ضرورت دارد. در گره‌های تجاری پرتراکم، ظرفیت و ساعات خدمات باید با زمان اوج فعالیت هماهنگ شوند. در گره‌های مسکونی، تقویت خدمات ضروری، روشنایی و پشتیبانی عصرگاهی-شبانه اهمیت دارد و در فضاهای مختلط، مدیریت فضا باید متناسب با تغییر ریتم روزهای کاری و تعطیل تنظیم شود. در مجموع، شکاف خدمات در گره‌های مرکزی و پرتراکم بیشتر بود، درحالی‌که نیاز به خدمات دیر هنگام در برخی گره‌های مسکونی و مختلط برجسته‌تر شد. چهارراه ولیعصر-تئاتر شهر، میدان انقلاب و میدان تجریش در مدل پایه بیشترین اولویت را داشتند، اما تحلیل حساسیت نشان داد که تأکید بر عدالت خدماتی می‌تواند گره‌های مسکونی کم برخوردار را به اولویت‌های اصلی تبدیل کند. از این رو، برنامه‌ریزی ریتم محور باید میان کارایی فضایی، مدیریت فشار فعالیت و عدالت زمانی خدمات تعادل برقرار کند.

بحث

یافته‌ها نشان دادند که فعالیت شهری صرفاً پدیده‌ای مکانی نیست و از تعامل زمان، کارکرد فضا، دسترسی و ساعات عرضه خدمات شکل می‌گیرد. نتایج نشان دادند که نوع روز بیش از حجم کلی فعالیت، زمان‌بندی آن را تغییر می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که فعالیت جمعه بیشتر در عصر و شب متمرکز شد، درحالی‌که روز کاری توزیع زمانی متعادل‌تری نشان داد. این نتیجه با دیدگاه هالاش و کلاپکا (۲۰۲۳) درباره تفاوت ساختار زمانی شهر در روزهای کاری و پایان هفته و یافته‌های سترائووتس و دانیل (۲۰۲۵) درباره وابستگی ریتم جابه‌جایی به نوع روز و کارکرد محدوده همسو است. با این حال، یافته‌های حاضر نشان دادند که تغییر ریتم روز تعطیل لزوماً شدت فعالیت را کاهش نمی‌دهد و می‌تواند بیشتر به‌صورت جابه‌جایی ساعت اوج بروز کند. شناسایی سه تیپ تجاری-فراغتی عصرگاهی، مسکونی-شبانه و دو اوجی حمل‌ونقلی نیز نقش کارکرد گره‌ها را در شکل‌گیری ریتم فعالیت تأیید کرد. قرار گرفتن گره‌های حمل‌ونقلی سه پهنه در یک خوشه، با وجود فاصله جغرافیایی، نشان داد که شباهت زمانی الزاماً از مجاورت فضایی ناشی نمی‌شود. این یافته با نتایج دو و همکاران (۲۰۲۴) درباره نقش ترکیب کارکردهای شهری و گولر و وارول (۲۰۲۴) درباره اثر اختلاط کاربری و دسترسی بر ریتم فعالیت همسو است. تیکه‌بایشی و هایاکاوا (۲۰۲۵) نیز نقش مجاورت ایستگاه و کارکردهای تجاری و اداری را در شکل‌گیری خوشه‌های زمانی نشان داده‌اند.

روابط مثبت شدت فعالیت با تنوع مقصد، تراکم ساخت‌وساز، دسترسی حمل‌ونقل، تعداد خدمات و مرکزیت شبکه نشان دادند که پویایی شهری از تراکم و تنوع فرصت‌ها تأثیر می‌پذیرد و با یافته‌های سوتسوک و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد. در مقابل، رابطه منفی مرکزیت شبکه با سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه نشان داد که مرکزیت بیشتر الزاماً به فعالیت شبانه بیشتر منجر نمی‌شود و بخشی از فعالیت دیر هنگام در گره‌های مسکونی و مختلط خارج از هسته مرکزی شکل می‌گیرد. یافته‌های شکاف خدمات نیز تفاوت میان «وجود مکانی خدمت» و «دسترسی زمانی به خدمت» را آشکار کردند. تمرکز شکاف در گره‌های مرکزی، تجاری و حمل‌ونقلی نشان داد که تداوم حضور جمعیت بدون استمرار متناسب خدمات می‌تواند ناهماهنگی زمانی ایجاد کند. این نتیجه با چارچوب نویتنز و همکاران (۲۰۱۰)، ویلبرگ و همکاران (۲۰۲۳) و

ژوخوفسکا و همکاران (۲۰۲۲) درباره اهمیت ساعات فعالیت خدمات در سنجش دسترسی همسو است. بنابراین، در گره‌های مرکزی افزایش ظرفیت، مدیریت ازدحام و هماهنگی حمل‌ونقل اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، درحالی‌که در گره‌های مسکونی تمديد ساعات خدمات ضروری، تقویت روشنایی و پشتیبانی محله‌ای اهمیت بیشتری می‌یابد. جابه‌جایی رتبه گره‌های مسکونی در سناریوی عدالت خدماتی نیز نشان داد که اولویت‌بندی به جهت‌گیری سیاستی وابسته است و رویکردهای صرفاً کارایی‌محور ممکن است نیاز گره‌های کم برخورد را کمتر منعکس کنند. ارزش‌افزوده پژوهش در پیوند تحلیل ریتم شهری با سنجش شکاف خدمات، اولویت‌بندی مکانی و پیشنهاد مداخله شکل می‌گیرد و از این طریق، تحلیل را از مرحله صرف طبقه‌بندی الگوها فراتر می‌برد. با این حال، محدود بودن نمونه به ۱۲ گره و انتخاب هدفمند سه پهنه، تعمیم آماری نتایج به کل تهران و تفسیر علی روابط را محدود می‌کند.

برای افزایش قابلیت اجرایی پیشنهادهای پژوهش، مداخلات پیشنهادی بر اساس نوع گره، نهاد متولی، افق زمانی اجرا و منابع موردنیاز تفکیک شده‌اند. این تفکیک با توجه به تفاوت ریتم فعالیت و نوع نیاز خدماتی در گره‌های مورد مطالعه انجام شده است. چارچوب اجرایی مداخلات پیشنهادی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. چارچوب اجرایی مداخلات پیشنهادی بر اساس نوع گره، نهاد متولی، افق زمانی و منابع موردنیاز

نوع گره	مداخله اصلی	نهاد متولی	کوتاه‌مدت	میان‌مدت	بلندمدت	منابع اصلی
حمل‌ونقلی	مدیریت ازدحام و هماهنگی حمل‌ونقل	شهرداری، مترو و نهادهای حمل‌ونقل ترافیک	مدیریت صف و جریان، تابلو و هدایت	اصلاح دسترسی و هماهنگی مدها	باز تنظیم شبکه و برنامه زمانی	نیروی انسانی، تجهیزات، بودجه عملیاتی و عمرانی
تجاری-پرتراکم	افزایش ظرفیت و ساعات خدمات	شهرداری، مدیریت بازار و شکل‌های صنفی	تنظیم ساعات و افزایش ظرفیت در اوج	اصلاح سازمان فضایی خدمات	باز تنظیم الگوی خدمات	نیروی انسانی، تجهیزات خدماتی و منابع عملیاتی
مسکونی-شبانه	تقویت خدمات عصرگاهی-شبانه	شهرداری منطقه، خدمات شهری و ارائه‌دهندگان خدمات	روشنایی، نظافت و خدمات ضروری	تقویت شبکه خدمات محله‌ای	باز تنظیم خدمات بر اساس ریتم زمانی	بودجه نگهداشت، نیروی انسانی و تجهیزات
مختلط	مدیریت انعطاف‌پذیر فضا	شهرداری منطقه و مدیریت فضای عمومی	تنظیم فعالیت و بهره‌برداری	اصلاح مدیریت فضا	ادغام در برنامه‌ریزی زمان‌حساس	منابع مدیریتی، داده و پایش

همان‌گونه که در جدول ۶ نشان داده شده است، مداخلات کوتاه‌مدت بر اقدامات مدیریتی و اجرایی سریع تمرکز دارند، درحالی‌که مداخلات میان‌مدت و بلندمدت به اصلاح سازمان فضایی، هماهنگی خدمات و حمل‌ونقل و توسعه زیرساخت‌های پایش نیاز دارند. بنابراین، نوع مداخله، مسئولیت اجرایی و افق زمانی باید متناسب با کارکرد و ریتم هر گره تعیین شوند و نمی‌توان الگوی یکسانی را برای همه گره‌ها به کار گرفت.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که ریتم فعالیت شهری تنها از ساختار کالبدی و کاربری رسمی تبعیت نمی‌کند، بلکه از تعامل کارکرد مکان، نوع روز، دسترسی، ساعات فعالیت خدمات و الگوی حضور جمعیت شکل می‌گیرد. شناسایی تیپ‌های عصرگاهی، شبانه و دو اوجی و تفاوت میان روز کاری و جمعه نیز نشان داد که گره‌های دارای کاربری مشابه می‌توانند از نظر زمان اوج، تداوم فعالیت و سهم فعالیت عصرگاهی-شبانه رفتارهای متفاوتی نشان دهند. همچنین، تفاوت شدت

فعالیت و شکاف زمانی خدمات میان گرہ‌ها نشان داد که برنامه‌ریزی شهری باید علاوه بر مکان، زمان فعالیت و عرضه خدمات را نیز در نظر بگیرد.

یافته‌ها نشان دادند که نوع مداخله باید با کارکرد و ریتم هر گرہ متناسب شود؛ به‌گونه‌ای که در گرہ‌های حمل‌ونقلی مدیریت ازدحام و هماهنگی حمل‌ونقل، در مراکز تجاری افزایش ظرفیت و تنظیم ساعات خدمات و در محدوده‌های مسکونی تقویت خدمات ضروری، روشنایی و پشتیبانی عصرگاهی-شبانه موردتوجه قرار گیرد. همچنین، زمان‌بندی خدمات در روزهای کاری و تعطیل باید با جابه‌جایی ساعات اوج فعالیت هماهنگ شود و عدالت زمانی دسترسی نیز در کنار شدت فعالیت و کارایی فضایی در اولویت‌بندی مداخلات لحاظ شود. با توجه به محدود بودن تعداد گرہ‌ها و تمرکز مطالعه بر پهنه‌های منتخب، تعمیم نتایج به کل تهران به بررسی تعداد بیشتری از گرہ‌ها و شرایط زمانی و فصلی متفاوت نیاز دارد. تلفیق داده‌های شمارش مستقیم با اطلاعات حمل‌ونقل، تلفن همراه، حسگرهای شهری و ساعات واقعی فعالیت خدمات می‌تواند اعتبار نتایج را افزایش دهد و ارزیابی پیش و پس از اجرای مداخلات نیز می‌تواند اثربخشی سیاست‌ها را مشخص کند. درمجموع، چارچوب پژوهش زمینه حرکت از برنامه‌ریزی ایستا به برنامه‌ریزی زمان‌حساس، مکان‌ویژه و عدالت محور را فراهم می‌کند و بر ایجاد تناسب میان زمان فعالیت، ظرفیت خدمات، نقش فضایی و نیاز کاربران تأکید می‌کند.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی اختصاصی از سازمان‌های دولتی، تجاری یا مؤسسات غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سهم نویسندگان در پژوهش

اسماء نورمحمدی در طراحی پژوهش، تدوین چارچوب نظری و روش‌شناختی، تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله مشارکت داشته است؛ رضوان قربانی سالخورده در تدوین مبانی نظری، تفسیر نتایج، بازبینی علمی و اصلاح نهایی مقاله مشارکت داشته است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با تدوین، نگارش و انتشار این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از تمامی افرادی که در مراحل مختلف انجام پژوهش و آماده‌سازی مقاله همکاری علمی یا اجرایی داشته‌اند، اعلام می‌دارند.

منابع

- حسینی، سید هادی؛ تاتار، سلمان و سلمانی‌مقدم، محمد. (۱۴۰۵). تحلیل تطبیقی رضایتمندی سکونتی در محله‌های توحید شهر سبزوار (بلوک ۲، بلوک ۷ و مسکن مهر). *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۶(۱)، ۱-۱۹. doi: 10.30488/gps.2026.499921.3815
- دانه‌کار، افشین و سبحانی، پروانه. (۱۴۰۳). ارزیابی توان اکولوژیک و تعادل سنجی توسعه کلان کاربری‌ها در مجموعه شهری تهران-البرز. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۴(۴)، ۳۷-۵۷. doi: 10.30488/gps.2024.466071.3759

References

- Danehkar, A., & Sobhani, P. (2024). Ecological potential evaluation and balance assessment of major land-use development in the Tehran-Alborz urban complex. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 14(4), 37-57. <https://doi.org/10.30488/gps.2024.466071.3759> [in Persian]

- Dodge, S., & Nelson, T. A. (2023). A framework for modern time geography: Emphasizing diverse constraints on accessibility. *Journal of Geographical Systems*, 25, 357-375. <https://doi.org/10.1007/s10109-023-00404-1>
- Drevon, G., Pattaroni, L., Delley, L., Jacot-Descombes, F., & Hamel, N. (2020). Rhythmanalysis of urban events: Empirical elements from the Montreux Jazz Festival. *Urban Planning*, 5(2), 280-295. <https://doi.org/10.17645/up.v5i2.2940>
- Du, F., Wang, J., Mao, L., & Kang, J. (2024). Daily rhythm of urban space usage: Insights from the nexus of urban functions and human mobility. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 49. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02577-y>
- Griswold, J., Medury, A., Schneider, R. J., & Grembek, O. (2018). Comparison of pedestrian count expansion methods: Land use groups versus empirical clusters. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(43), 87-97. <https://doi.org/10.1177/0361198118793006>
- Güller, C., & Varol, Ç. (2024). Unveiling the daily rhythm of urban space: Exploring the influence of built environment on spatiotemporal mobility patterns. *Applied Geography*, 170, 103366. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103366>
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science? *Papers of the Regional Science Association*, 24(1), 7-21. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1970.tb01464.x>
- Halás, M., & Klapka, P. (2023). The timescape of the city: Example of spatial interactions based on big data. *Habitat International*, 131, 102736. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102736>
- Henckel, D., Thomaier, S., Könecke, B., Zedda, R., & Stabilini, S. (Eds.). (2013). *Space-time design of the public city*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6425-5>
- Hosseini, S. H., Tatar, S., & Salmani-Moghadam, M. (2026). Comparative analysis of residential satisfaction in the Tawhid neighborhoods of Sabzevar City (Block 2, Block 7, and Mehr Housing). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 16(1), 1-19. <https://doi.org/10.30488/gps.2026.499921.3815> [in Persian]
- Kong, L., Liu, Z., & Wu, J. (2020). A systematic review of big data-based urban sustainability research: State-of-the-science and future directions. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123142>
- Lee, J. M. (2020). Exploring walking behavior in the streets of New York City using hourly pedestrian count data. *Sustainability*, 12(19), 7863. <https://doi.org/10.3390/su12197863>
- Lefebvre, H. (2004). *Rhythmanalysis: Space, time and everyday life* (S. Elden & G. Moore, Trans.). Continuum. (Original work published 1992)
- Li, Z., Ning, H., Jing, F., & Lessani, M. N. (2024). Understanding the bias of mobile location data across spatial scales and over time: A comprehensive analysis of SafeGraph data in the United States. *PLOS ONE*, 19(1), e0294430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294430>
- Liddle, J., Jiang, W., & Malleson, N. (2025). Leveraging principal component analysis to uncover urban pedestrian dynamics. *Journal of Geographical Systems*, 27(3), 425-453. <https://doi.org/10.1007/s10109-025-00469-0>
- Liu, K., Murayama, Y., & Ichinose, T. (2021). A multi-view of the daily urban rhythms of human mobility in the Tokyo metropolitan area. *Journal of Transport Geography*, 91, 102985. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.102985>
- Miranda, F., Doraiswamy, H., Lage, M., Zhao, K., Gonçalves, B., Wilson, L., Hsieh, M., & Silva, C. T. (2017). Urban Pulse: Capturing the rhythm of cities. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(1), 791-800. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2598585>
- Neutens, T., Schwanen, T., Witlox, F., & De Maeyer, P. (2010). Evaluating the temporal organization of public service provision using space-time accessibility analysis. *Urban Geography*, 31(8), 1039-1064. <https://doi.org/10.2747/0272-3638.31.8.1039>
- Sevtsuk, A., Basu, R., & Chancey, B. (2021). We shape our buildings, but do they then shape us? A longitudinal analysis of pedestrian flows and development activity in Melbourne. *PLOS ONE*, 16(9), e0257534. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257534>
- Stražovec, A., & Daniel, J. (2025). Daily rhythm of the population mobility: The importance of public transport in functionally specific parts of the city. *Applied Mobilities*, 10(4), 417-436. <https://doi.org/10.1080/23800127.2025.2499990>

- Takebayashi, H., & Hayakawa, T. (2025). Temporal and spatial analysis of pedestrian count data for thermal environmental planning in street canyons. *Atmosphere*, 16(5), 504. <https://doi.org/10.3390/atmos16050504>
- Willberg, E., Fink, C., & Toivonen, T. (2023). The 15-minute city for all? Measuring individual and temporal variations in walking accessibility. *Journal of Transport Geography*, 106, 103521. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103521>
- Yuan, Y., & Xu, Y. (2022). Modeling activity spaces using big geo-data: Progress and challenges. *Geography Compass*, 16(12), e12663. <https://doi.org/10.1111/gec3.12663>
- Zahedi, S., & Shafahi, Y. (2018). Estimating activity patterns using spatio-temporal data of cell phone networks. *International Journal of Urban Sciences*, 22(2), 162-179. <https://doi.org/10.1080/12265934.2017.1331139>
- Żochowska, R., Kłos, M. J., Soczówka, P., & Pilch, M. (2022). Assessment of accessibility of public transport by using temporal and spatial analysis. *Sustainability*, 14(23), 16127. <https://doi.org/10.3390/su142316127>