



Research Paper

Assessing Morphological Polycentricity at the Supra-Regional Scale (Tehran, Alborz, and Qazvin Provinces) Using LandScan Big Data

Mojtaba Shahabi Shahmiri^{*1} , Ali Khodabandeh² 

¹ Assistant Professor, Department of Regional Planning, School of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

² MSc Student of Regional Planning, School of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran



[10.22080/usfs.2025.28492.2498](https://doi.org/10.22080/usfs.2025.28492.2498)

Received:

January 26, 2025

Accepted:

June 3, 2025

Available online:

October 22, 2025

Keywords:

Polycentricity, morphological, Supra-regional, LandScan

Abstract

Polycentricity, as a morphological concept, refers to the balanced distribution of population and employment across space in such a way that no single center dominates over others. However, determining the boundaries and defining and operationalizing the concept of "center" remains a significant methodological challenge in measuring polycentricity. Bottom-up methods and big data-based approaches can avoid biases arising from defining study boundaries based on administrative and statistical units and prevent the forced selection of secondary centers within such boundaries. Accordingly, the present study seeks to assess the morphological polycentricity of the Tehran-Karaj-Qazvin mega-region over a 13-year period. This is done by employing LandScan data as an open-source big data repository and using spatial exploratory data analysis (ESDA), Local Moran's analysis, hotspot analysis, the entropy index, and the relative polycentricity index. The study's findings indicate that while Tehran continues to play a dominant role in the region, the gradual emergence and strengthening of secondary centers in peri-urban areas, such as Eslamshahr, Rey, and Pakdasht, are challenging its dominance. Furthermore, the sustained presence of cities like Malard, Varamin, and Robat Karim in the list of potential centers signifies the formation of a polycentric pattern in the peri-urban areas of the Tehran and Alborz metropolitan regions. An examination of the distribution of population and employment densities during the COVID-19 pandemic, as well as before and after it, reveals that the region's functional polycentricity surpasses its morphological polycentricity.

Copyright © 2024 The Authors. Published by University of Mazandaran. This work is published as an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

*Corresponding Author: Mojtaba Shahabi Shahmiri

Address: Regional Planning Department, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

Tel: +98911175714

Email: sam.shahabi@ut.ac.ir

1. Introduction

Polycentricity, as a key concept in urban and regional planning, with its emphasis on the balanced distribution of population and resources, plays a significant role in enhancing economic efficiency and achieving balanced development. However, measuring polycentricity remains a major challenge due to differences in the definition and operationalization. In fact, no region is entirely monocentric or polycentric; rather, these concepts encompass a spectrum of different structures that vary depending on the geographical scale and different analytical perspectives. In recent years, polycentricity studies have been primarily cross-sectional, and the limitations of big data have made the use of data integration methods to study spatial evolution a rare technique.

In Iran, although numerous studies have been conducted at various regional scales and metropolitan and national levels, less attention has been paid to the supra-regional scale and levels beyond provinces, longitudinally, and using big data. The level of polycentricity of the Tehran metropolitan area has often been measured by domestic researchers based on the two provinces of Tehran and Alborz. While these studies do not seem to conform to the country's administrative boundaries at first glance, they still follow the country's political divisions before 2010 - the formation of Alborz province - and ignore Qazvin province in this area. Based on this, the present study, using LandScan data and statistical approaches, measures the morphological polycentricity of the Tehran-Karaj-Qazvin super-region over 13 years.

2. Research Methodology

This study selected 29 counties in the three provinces of Tehran, Alborz, and Qazvin due to their geographical proximity and strategic importance in transportation and economic networks. The data used were extracted from the LandScan database, which records the average population distribution over 24 hours with a spatial resolution of approximately 1 kilometer, enabling longitudinal studies regardless of political and administrative boundaries. The local Moran's I statistic (Moran, 1950) was used to identify potential centers where population grids were identified as high-density clusters with high-density neighbors (HH) based on a fixed distance criterion.

$$I_i = \left(\frac{z_i - \bar{z}}{\sigma^2} \right) \sum_{j \neq i} [W_{ij}(z_j - \bar{z})]$$

Subsequently, these centers were validated using hotspot analysis. In this analysis, the G_i^* statistic was employed to study spatial autocorrelation, and areas surrounded by high population density at a 5% significance level ($Z(G_i^*) > 1.96$) were identified as sub-centers.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} \times x_i - \bar{X} \sum_{j=1}^n W_{ij}}{\sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (j \neq i)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n x_j^2 \right) / n - \bar{X}^2}$$

Finally, the degree of relative supra-regional polycentricity was calculated using three dimensions: the number of urban centers (N), the degree of density

(R), and the degree of center balance (HI), which is calculated based on the entropy index. In this calculation, the ratio of the standardized score of the local Moran's I analysis to the total standardized score of Moran's I in all centers of the region was used.

$$HI = - \sum_{i=1}^N \frac{P_i \ln(P_i)}{\ln(N)}$$

$$PC = N \times R \times HI$$

3. Research Findings

Findings indicated that between 2010 and 2022, the spatial structure of the region was in a transition phase from monocentricity to polycentricity. The changing hotspots evidenced positive growth in population density and employment of secondary urban centers relative to the negative growth of Karaj and Qazvin. The research results suggest that although the dominant role of Tehran city in the region continues, the emergence and gradual strengthening of secondary centers in peri-urban areas such as Islamshahr, Rey, and Pakdasht have challenged its dominance. Moreover, the continued presence of cities such as Malard, Varamin, and Robat Karim on the list of potential centers indicates the formation of a polycentric pattern in the peri-urban areas of the two metropolitan regions of Tehran and Alborz. However, the urban system of Qazvin province still follows a relatively centralized hierarchical structure and a territorial logic within the province. Therefore, it plays a small role and has a limited contribution compared to Tehran and Alborz in the overall process of polycentricity in this super-region.

4. Discussion and Conclusion

This research employed a combination of analytical methods and big data to assess

the morphological polycentricity of urban agglomerations (Tehran-Alborz-Ghazvin). Studies have shown that the spatial structure of this mega-region is transitioning from monocentric to polycentric over time. While the development and consolidation of this spatial structure, especially in peri-urban areas, can, on the one hand, lead to specialization, the use of agglomeration economies, and synergistic relationships such as access to job opportunities and labor productivity, on the other hand, it may lead to some areas experiencing agglomeration shadow effects such as a lack of urban amenities and facilities due to commuting to central areas. Nevertheless, the findings support, to some extent, the hypotheses raised about the resilience of polycentric structures in Spain and Poland in a way that economic interactions and spatial relationships in the region, after the shock of the COVID-19 pandemic, returned from a centralized pattern during that time to a decentralized structure prior to 2020.

Furthermore, Landsat data is based on population and employment densities. During the pandemic, a significant portion of the workforce spent most of their day at home due to remote work. Thus, the polycentric trend shifted towards centralization. In other words, a significant portion of the workforce of the main centers is active in the peripheral sub-centers. Therefore, it can be concluded that the functional polycentricity of the Tehran metropolitan region is much higher than its morphological polycentricity.

This research is limited by the lack of reliable flow data, a focus solely on morphological variables, and the inability to measure performance and connectivity indicators. For future studies, it is

suggested to assess agglomeration economies and shadow effects, examine the resilience of small and medium-sized centers in peripheral areas, study connectivity and flow indicators on a larger spatial and functional scale, utilize diverse flow data such as capital and information, and conduct a deeper investigation into the forces and drivers shaping this spatial phenomenon.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.





علمی پژوهشی

سنجش چندمرکزیتی مورفولوژیک در مقیاس فرامنطقه‌ای (استان‌های تهران، البرز و قزوین) با استفاده از کلان‌داده‌ی لنداسکن

مجتبی شهابی شه‌میری^{*۱} ID، علی خدابنده^۲ ID

^۱ استادیار، گروه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده‌ی شهرسازی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده‌ی شهرسازی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران



[10.22080/usfs.2025.28492.2498](https://doi.org/10.22080/usfs.2025.28492.2498)

چکیده

چندمرکزیتی به‌عنوان یک مفهوم «مورفولوژیک»، به توزیع متوازن جمعیت و اشتغال در فضا اشاره دارد، به گونه‌ای که هیچ‌یک از مراکز بر سایرین تسلط نداشته باشد. با وجود این، تعیین محدوده و تعریف و عملیاتی‌سازی مفهوم «مرکز» همچنان به‌عنوان یک چالش مهم روش‌شناختی در اندازه‌گیری چندمرکزیتی باقی مانده است. روش‌های پایین به بالا و مبتنی بر کلان‌داده‌ها می‌تواند با جلوگیری از سوگیری در تعریف محدوده‌ی مطالعه براساس واحدهای آماری اداری، از انتخاب اجباری مراکز فرعی در چنین محدوده‌هایی اجتناب نماید. بر اساس این، مطالعه‌ی حاضر در پی آن است تا با استفاده از داده‌های لنداسکن به‌عنوان یک پایگاه کلان‌داده منبع باز و با تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی (ESDA)، تحلیل محلی موران، تحلیل نقاط داغ، شاخص آنتروپی و استفاده از شاخص چندمرکزیت نسبی، به سنجش چندمرکزیتی مورفولوژیک ابر منطقه‌ی تهران- کرج - قزوین در یک بازه‌ی ۱۳ ساله بپردازد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد اگرچه نقش غالب شهر تهران در منطقه ادامه دارد، اما ظهور و تقویت تدریجی مراکز ثانویه در نقاط پیراشهری مانند اسلامشهر، ری و پاکدشت، تسلط آن را به چالش کشیده است. به‌علاوه، تداوم حضور شهرهایی مانند ملارد، ورامین و رباط کریم در فهرست مراکز بالقوه بیان‌گر شکل‌گیری الگوی چند مرکزیتی در نواحی پیراشهری دو منطقه کلان‌شهری تهران و البرز است. بررسی توزیع تراکم‌های جمعیت و اشتغال در دوران همه‌گیری کرونا و پیش و پس از آن، مشخص می‌کند که چندمرکزیتی عملکردی منطقه بیش از چندمرکزیتی مورفولوژیک آن است.

تاریخ دریافت:

۷ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۱۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ انتشار:

۳۰ مهر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

چندمرکزیتی؛ مورفولوژیک؛ فرامنطقه‌ای؛ لنداسکن

* نویسنده مسئول: مجتبی شهابی شه‌میری

آدرس: گروه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشکده‌ی شهرسازی، دانشکده‌گان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تلفن: ۰۹۱۱۱۱۷۵۷۱۴

ایمیل: sam.shahabi@ut.ac.ir



۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، چندمرکزیتی به‌عنوان یک مفهوم کلیدی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است. این ایده بر توزیع یکنواخت جمعیت و منابع، ارتقاء بهره‌وری و عملکرد اقتصادی (Li & Liu, 2018; Wang et al., 2019; Li et al., 2022) و دستیابی به توسعه متوازن (Malý, 2019; Meijers & Sandberg, 2021; Gurria-Gascón et al., 2024) تأکید دارد و نقشی مهم در ارتقاء رقابت‌پذیری ملی و حتی جهانی، همراه با حفظ انسجام منطقه‌ای ایفا می‌کند (Li et al., 2024). مناطق شهری چندمرکزیتی، با تمرکززدایی جمعیتی و توزیع فعالیت‌های اقتصادی، به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی برای کاهش نابرابری‌های منطقه‌ای و رسیدن به توسعه پایدار معرفی شده‌اند (Guadeloupe et al., 2020). در این ساختارها، چندین مرکز شهری با اندازه‌ها و کارکردهای مشابه، بدون وجود یک مرکز غالب، به تعامل و همکاری پرداخته و از هم‌افزایی‌های حاصل از این تعاملات بهره‌مند می‌شوند (Brezzi & Veneri, 2015).

در اروپا، بیش از نیمی از جمعیت شهری در مناطقی زندگی می‌کنند که به‌عنوان مناطق چندمرکزیتی شناخته می‌شوند (Meijers et al., 2012). با این حال، پیچیدگی‌های مرتبط با مقیاس فضایی و تعاملات میان مراکز، چالش‌های قابل توجهی را در تحلیل و سنجش این مناطق ایجاد کرده است (Doorudinia et al., 2025). به‌عنوان مثال، درحالی‌که اتصال شبکه‌ای در مقیاس بین‌المللی و ملی می‌تواند به بهبود عملکرد کلان‌شهری منجر شود، این رابطه در مقیاس منطقه‌ای لزوماً برقرار نیست (Meijers et al., 2016). از این رو، انتخاب مقیاس جغرافیایی مناسب برای تحلیل توسعه شهری چندمرکزیتی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا این انتخاب می‌تواند تأثیرات متنوعی بر عملکرد اقتصادی و جهت‌گیری‌های سیاست‌گذاری داشته باشد (Rauhut, 2017; Zhang et al., 2017).

چندمرکزیتی به‌عنوان یک مفهوم «مورفولوژیکی»، به توزیع متوازن جمعیت و اشتغال در فضا اشاره دارد و زمانی محقق می‌شود که هیچ‌یک از مراکز بر دیگران تسلط نداشته باشد (Wu et al., 2023). علاوه‌براین، این ساختارها باید با روندهای شهرنشینی سازگار شوند تا بتوانند پراکندگی غیرضروری فعالیت‌ها را در فضا محدود کرده و از گسترش بی‌رویه شهری جلوگیری کنند. با این حال، اندازه‌گیری چندمرکزیتی، به دلیل تفاوت‌ها در تعریف و عملیاتی‌سازی مراکز، همچنان به‌عنوان یک چالش بزرگ باقی مانده است (Zhang et al., 2022). درواقع، هیچ منطقه‌ای به‌طور کامل تک‌مرکزی یا چندمرکزیتی نیست؛ بلکه این مفاهیم طیفی از ساختارهای مختلف را در برمی‌گیرند که بسته به مقیاس جغرافیایی و دیدگاه‌های تحلیلی مختلف، تغییر می‌کنند (Li & Phelps, 2017).

در سال‌های اخیر، همپوشانی داده‌ها برای سنجش و تحلیل ساختارهای چندمرکزیتی اساساً ماهیتی مقطعی داشتند (Wu et al., 2023; Hennig, 2019; He et al., 2022)؛ زیرا تنها پس از سال ۲۰۱۶ بود که کاربرد کلان‌داده‌ها مورد تأکید قرار گرفت. این موضوع، عمدتاً به دلیل روش گردآوری داده‌ها و به‌هنگام بودن ذخیره‌سازی داده‌ها بود که منجر به مقیاس زمانی کوتاه‌مدت برای مطالعه کلان‌داده‌ها می‌شد (Wang & Yin, 2023). بنابراین، در حال حاضر، اکثر مطالعات مشابه روی کلان‌داده‌ها، بیشتر بر کاوش ویژگی‌های فضایی در مقیاس‌های مختلف از شهر تا تجمعات شهری بزرگ تمرکز می‌کنند (He et al., 2021) و محدودیت‌های کلان‌داده‌ها، استفاده از روش‌های ادغام داده‌ها برای مطالعه تکامل فضایی یک تجمع شهری را به یک تکنیک نادر تبدیل می‌کند (Priyashani et al., 2023; Zhang et al., 2023).

تاکنون در کشور، طیفی از مطالعات به بررسی چندمرکزیتی در مقیاس‌های مختلف با تمرکز بر سطوح منطقه‌ای میانی (Zebardast & Shahabi, 2014, 2015; Moshfeqi & Rafieian, 2015) انجام شده است.



قزوین در یک بازه ۱۳ ساله پردازد. بر اساس این، پژوهش حاضر به سه سؤال زیر پاسخ می‌دهد:

۱- چطور می‌توان از کلان‌داده‌های لنداسکن برای سنجش چندمرکزی‌مورفولوژیک در مقیاس‌های مختلف و فراتر از مرزهای اداری و در سری‌های زمانی استفاده کرد؟

۲- از چه روش ثابتی می‌توان مراکز بالقوه را شناسایی و از آن برای سنجش چندمرکزی‌مورفولوژیک در مقیاس‌های مختلف بهره گرفت؟

۳- آیا ابرمنطقه تهران- کرج- قزوین به لحاظ مورفولوژیک در مقیاس فرامنطقه‌ای، منطقه‌ای و پیراشهری چندمرکزی‌است؟

۲ مبانی نظری

۲.۱ مرور بر مفهوم مناطق ابرشهری

در سال‌های اخیر، با تداوم فرآیندهای جهانی‌شدن، مناطق ابرشهری^۲ در سرتاسر دنیا پدید آمدند (Hall, 2010; Xu & Yeh, 2009). خاستگاه اصطلاح منطقه ابرشهری در شرق آسیا به مناطق دلتای رودخانه پرل و دلتای رود یانگ تسه در چین، کریدور توکیو (توکیو- اوزاکا) در ژاپن و جاکارتای بزرگ در اندونزی بازمی‌گردد (Hui, et al. 2020: 105). اسکات (۲۰۰۱) اصطلاح «شهر- منطقه‌های جهانی» را برای اشاره به واحدهای فضایی مناطق شهری بزرگ که نقشی حیاتی در اقتصاد جهانی ایفا می‌کنند، مطرح کرد. در ادبیات برنامه‌ریزی، طیف وسیعی از مفاهیم مرتبط با اصطلاح «منطقه ابرشهری» (Hall & Pain, 2006) ارائه شده است. این مفهوم، به‌عنوان شکل جدیدی از فضای شهری، یک منطقه شهری بسیار متراکم، متشکل از شبکه‌ای عملکردی از شهرهای هم‌جوار با مقیاس‌ها و اندازه‌های متفاوت است که پیرامون یک یا دو شهر بزرگ تمرکز یافتند و قدرت اقتصادی خود را از تقسیم عملکردی جدید نیروی کار به دست می‌آورند (Hall, 2009). شبکه از طریق جریان‌های متراکم

Lotfi, Haghani, 2015; Anamoradnejad و Alidadi (2021)، منطقه کلان‌شهری (Alidadi & Dadashpoor, 2017) و ملی (Saeidi Shirvan, 2019 & Dadashpoor) انجام شدند، با این همه کمتر به مقیاس فرامنطقه‌ای و در سطحی فراتر از استان‌ها، به‌صورت طولی و با استفاده از کلان‌داده‌ها توجه شده است. میزان چندمرکزی‌منطقه کلان-شهری تهران، غالباً توسط محققان داخلی مبتنی بر دو استان تهران و البرز مورد سنجش قرار گرفته است (Alidadi & Pourjafar, 2018; Homaafar و Alidadi & Dadashpoor, 2017; Doorudinia et al., 2025). درحالی‌که در نگاه اول به نظر می‌رسد این تحقیقات بر مرزهای اداری کشور منطبق نیستند، اما همچنان از تقسیمات سیاسی کشور پیش از سال ۸۹ - تشکیل استان البرز- پیروی می‌کنند و استان قزوین را در این محدوده نادیده می‌گیرند. با وجود این، همان‌طورکه ماتسومورو و گوا^۱ (۲۰۲۴) در پژوهش خود در انگلستان و ولز نشان دادند، تحول و پیشرفت زیرساخت‌های حمل‌ونقل و تأثیر آن بر فواصل سفر، این مرزها را کم‌رنگ‌تر کرده و بر محدوده عملکردی آن نیز می‌افزاید (Mazzamurro & Guo, 2024). توماس و همکارانش (۲۰۲۲) نیز با استفاده از رویکردهای مختلف در تعیین محدوده منطقه و شناسایی مراکز در سنجش چندمرکزی‌منطقه‌ای در آلمان دریافتند، روش‌های پایین به بالا و مبتنی بر کلان‌داده‌ها می‌تواند از سوگیری‌هایی که در تعریف محدوده مطالعه براساس واحدهای آماری اداری وجود دارد، جلوگیری کند. به‌علاوه، رویکردهای آماری برای شناسایی مراکز فرعی می‌تواند از انتخاب اجباری مراکز فرعی در چنین محدوده‌هایی، اجتناب نماید (Thomas et al., 2022: 1597). بر اساس این، مطالعه حاضر در پی آن است تا با استفاده از داده‌های لنداسکن به‌عنوان یک پایگاه کلان‌داده‌ای باز و رویکردهای آماری برای تعیین مراکز، به سنجش چندمرکزی‌مورفولوژیک ابرمنطقه تهران- کرج -

² Megacity region

¹ Mazzamurro & Guo



۲،۲ توسعه شهری چندمرکزی

ادبیات پژوهشی که پیرامون مفهوم توسعه شهری چندمرکزی شکل گرفته، کماکان به دلیل تنوع مفاهیم، رویکردها و کانون‌های تحقیقاتی، منسجم و یکپارچه نیست (Van Meeteren et al., 2016; Liu et al., 2018). یکی از عناصر اصلی در مباحث، مقیاسی است که چندمرکزی در آن مطرح می‌شود. مفهوم توسعه شهری چندمرکزی، در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف، از مقیاس درون شهری که به مراکز اشتغال و جمعیت در درون یک شهر اشاره دارد (Liu & Wang, 2016) تا مقیاس بین شهری که مناطق شهری رانشات و روهر را به‌عنوان نمونه‌های کلاسیک آن معرفی می‌کند (Nadin & Zonneveld, 2020; Münter & Volgmann, 2021)، تا مقیاس ملی و فراملی که چند قطب رشد در طرح‌های توسعه فضایی اروپا در نظر گرفته شدند (Meijers & Sandberg, 2021)، تا مقیاس جهانی - یا به عبارتی شبکه شهری جهانی که با تعدادی از شهرهای جهانی شناخته می‌شود (Derudder & Taylor, 2016; Taylor & Derudder, 2015) - مفهوم‌سازی و دنبال شده است (Liu et al., 2016).

توسعه شهری چندمرکزی ممکن است اثرات متفاوتی بر توسعه اجتماعی-اقتصادی و فرآیندهای زیست‌محیطی در مقیاس‌های مختلف داشته باشد. علاوه‌براین، مقیاسی که در آن توسعه شهری چندمرکزی رخ می‌دهد، به‌وضوح اهمیت دارد؛ زیرا مقیاس‌های فضایی مختلف حاکی از تمرکز بر موضوعات مختلف سیاستی است (Brezzi & Veneri, 2015). به‌عنوان مثال، چندمرکزی در مقیاس درون شهری معمولاً با تعادل شغل-مسکن و ارائه خدمات عمومی مرتبط است، درحالی‌که چندمرکزی بین شهری معمولاً با تجمع «منطقه-ای»، «اندازه قرضی» و «تخصصی‌شدن صنعتی» ارتباط دارد (Meijers and Burger, 2015; Modarres, 2011). از آنجایی‌که مطالعات تجربی

مردم و اطلاعات در امتداد بزرگراه‌ها، خطوط ریلی پرسرعت و کابل‌های مخابراتی، به‌عنوان یک عنصر کلیدی در منطقه ابرشهری عمل می‌کند (Hall & Pain, 2006) که بر تکامل ساختار شبکه منطقه ابرشهری تأثیر می‌گذارد (Hui, et al, 2020).

تکامل ساختار شبکه منطقه ابرشهری در حال تغییر شکل خود در سراسر جهان است (Hall & Pain, 2006; Lang et al., 2019; Zhan, 2017). منطقه ابرشهری، با سه بعد مهم شکل، عملکرد و حکمرانی، به شکل مهمی از سازمان فضایی منطقه-ای تبدیل شده است (Cowell, 2010; Hall & Pain, 2006). از نظر فضای جریان و شبکه شهری، جریان ترافیک ریلی منطقه‌ای، یکی از مهم‌ترین عوامل منطقه عملکردی شامل رفتار تجاری، کارمندان و کارگران مهاجر است (Hull, 2010) که می‌تواند به‌صورت کمی، توسط سیستم شبکه فضایی اندازه‌گیری شود (Taylor et al., 2008).

درحالی‌که برخی از مطالعات نشان می‌دهند که تمرکز جریان‌های اطلاعاتی «تولید انتزاعی» کارگران و شرکت‌ها، از تشکیل یک منطقه ابرشهری بزرگ جلوگیری می‌کند (Halbert, 2008) هنسنز، درودر، آئلست و ویتلوکس^۱ (۲۰۱۴) چندمرکزی عملکردی منطقه ابرشهری بلژیک مرکزی را براساس پیوندهای تراکنش خدمات تولیدکننده پیشرفته ارزیابی کردند. تیلور^۲ و همکاران (۲۰۰۸) چندمرکزی و روابط بین شهرها را در داخل و خارج از مناطق ابرشهری با استفاده از مدل شبکه به هم پیوسته مورد سنجش قرار دادند. بااین‌همه، از منظر رویکردهای شبکه‌ای یا چندمرکزی عملکردی، مناطق کلان‌شهری با مجموعه‌ای از گره‌های گسسته و اتصالات بین آن‌ها تعریف می‌شوند و فضاهای میانی بین شهرها یا مراکز، غالباً به پس‌زمینه تقلیل می‌یابند. ازاین‌رو، برای درک فرآیند کلان‌شهری شدن، رویکردهای مورفولوژیک می‌توانند همچنان سودمند باشند (Cardoso & Meijers, 2021).

² Taylor

¹ Hanssens, Derudder, Aelst, and Witlox



منظر مورفولوژیکی بیش از بعد عملکردی، چندمرکزیتی هستند. به نظر می رسد، تفاوت با اندازه، اتصال خارجی و درجه خودکفایی مرکز اصلی یک منطقه توضیح داده می شود. مسلماً درک هویت سلسله مراتبی پویای چندمرکزیتی زیربنای مناطق شهری چندمرکزیتی، یکی از مسائل کلیدی است (Lunardon & Caporali, 2024).

در کنار مزایا و ناکارآمدی های تجمع، سیاست های عمومی مسلماً به الگوی جغرافیایی شاغلین و ساکنین شکل می دهند. از دهه ۱۹۹۰، بسیاری از مناطق کلان شهری در آمریکای شمالی، آسیا و اروپا سیاست های مدیریت رشد را اجرا کردند که هدف آن کنترل رشد شهری و هدایت توسعه به مکان هایی مشخص است (Landis, 2006; Siedentop et al., 2016). در مقابل این پس زمینه، پیکربندی های چندمرکزیتی می تواند یک هدف صریح از برنامه ریزی فضایی باشد (گاهی اوقات به عنوان تمرکززدایی متمرکز شناخته می شود؛ Smith, 2011). پژوهش های اخیر بر اهمیت وابستگی به مسیر ساختارهای کالبدی تأکید دارد (Kloosterman & Lambregts, 2007; Redfearn, 2009; Turok & Mykhnenko, 2007). در نهایت، کرهل و همکارانش (۲۰۱۶) مطرح می کنند که فعالیت و تراکم های کالبدی متفاوت می تواند نتیجه فرآیندهای شهرنشینی و سرمایه گذاری های حمل و نقلی متفاوت در زمان های مختلف باشد (Taubenböck et al., 2017: 43).

بنابراین، این موضوع در مورد چندمرکزیتی چه معنایی دارد؟ کمترین مخرج مشترک می تواند این باشد که چند مرکزیت عبارت است از:

- آرایشی فضایی بین دو سر طیف تک مرکزیتی و پراکنده رویی شهری که نه تنها نتیجه نیروهای اقتصادی تجمع، بلکه تجلی کالبدی و فیزیکی برنامه ریزی فضایی است که هر دو میراث تاریخی تصمیمات پیشین برنامه ریزی و تجلی وابستگی به مسیر با

بیشتر بر یکی از این مقیاس ها متمرکز شده اند، به طور کلی در ادبیات، ارزیابی یکپارچه ای از توسعه شهری چندمرکزیتی در مقیاس های مختلف و برهمکنش وجود ندارد. با وجود این، برتری و ونری (۲۰۱۵) به ارزیابی چندمرکزیتی در سطوح مختلف کشورهای منتخب سازمان همکاری اقتصادی و توسعه پرداختند (Liu et al., 2018).

برخلاف یک تعریف مشترک از مناطق شهری چندمرکزیتی، اجرای عملی این مفهوم برای اهداف تحلیلی همچنان روشن نیست (Lunardon & Caporali, 2024: 101). تلاش های زیادی برای ترسیم و درک ماهیت شهری و اقتصادی مناطق شهری چندمرکزیتی، برای استفاده از آن به عنوان یک مفهوم سرزمینی برای تدوین سیاست ها صورت گرفته است. یکی از چالش های مهم پیرامون کاربرد مفهوم مناطق شهری چندمرکزیتی، روایی خارجی آن، به ویژه در مورد تعمیم پذیری، تکرارپذیری، تکثیر و نسخه برداری از آن است (Caset et al., 2022). این امر عمدتاً به دلیل ماهیت ذاتی مبتنی بر مکان این مفهوم است. علاوه بر این، چنین کمبودی را می توان به تداوم وجود دو رویکرد تحلیلی مجزا در درک و کمی سازی چندمرکزیتی نسبت داد: درحالی که رویکرد مورفولوژیک بر ویژگی های گروهی متمرکز است، رویکرد عملکردی بر تعاملات بین مراکز تأکید دارد.

همان طور که توسط ونری و بورگالاسی (۲۰۱۲) به وضوح مشخص شد، تفاوت اصلی در تفسیر اصطلاح «مرکز» نهفته است. از نظر ریخت شناسی، یک مرکز شهری را می توان به طور مستقیم به عنوان تمرکز اشتغال و جمعیت مشخص کرد. در مقابل، از منظر عملکردی، یک مرکز شهری مکانی است که بر قلمرو اطراف تأثیر می گذارد. در این راستا، برگر و میرز (۲۰۱۲) یک چارچوب نظری کلی ارائه می کنند که هر دو رویکرد را به هم مرتبط می کند و روشی را که می توان هر دو را به طور منسجم اندازه گیری و مقایسه کرد، مورد بحث قرار می دهد. با پرداختن به مورد هلند، آن ها نشان دادند که بیشتر مناطق از



اشاره به محیط طبیعی و توپوگرافیک هستند (Taubenböck et al. 2017: 43).

مکمل توضیح نظری چندمرکزیتی، بخش بزرگی از ادبیات به مسائل سنجهای و اندازه گیری آن می پردازد. تکنیک‌های نسبتاً ساده و تثبیت شده برای تحلیل توزیع شاغلین عبارت‌اند از مقادیر تراکم حداکثر (McDonald & McMillen, 2003)، یا روش‌های مقطعی یا آستانه‌ها که مقادیر تراکم حداقل و مقادیر مطلق حداقل (Giuliano & Small, 1991) را ترکیب می‌کند. رویکردهای پیچیده‌تر برای شناسایی مراکز فرعی شهری به رویکردهای اکتشافی (Arribas-Bel et al., 2015; Krehl, 2016; Redfearn, 2007) اشاره دارد. برخلاف هدف مشترک آن‌ها برای شناسایی تراکم‌های فضایی، این روش‌ها با توجه به استدالات نظری‌شان، با یکدیگر تفاوت دارند. به همین دلیل و به واسطه ابهام نظری، نتایج تحلیلی تقریباً غیرقابل قیاس و حتی در منطقه‌ای مشترک، تعداد، اندازه و مکان مراکز فرعی شناسایی شده تا حد زیادی متفاوت است. این اختلاف را می‌توان با رویکرد تراکم حداکثر توضیح داد.

رویکرد اوج تراکم بر این فرض استوار است که یک منطقه شهری اساساً تک مرکزی است، اما به دلیل تحولات اقتصادی و اجرای قوانین برنامه‌ریزی چندمرکزیتی‌تر شده است. میزانی که مراکز فرعی نوظهور درواقع تابع، برابر یا مکمل مرکز اصلی هستند، به‌صراحت در رویکردهای تراکم استاندارد مورد بحث قرار نمی‌گیرند: هنگامی که یک پهنه به یک آستانه مشخص دست یافت، موجودیت فضایی به‌عنوان یک مرکز در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که هیچ آستانه مورد توافق یا مفهوم‌سازی از آستانه حداقل وجود ندارد، نتایج به‌دست‌آمده با این روش در بین مناطق قابل مقایسه نیست. با درنظرگرفتن این جنبه و بررسی مجدد ابهام تحلیلی چندمرکزیتی،

برخی فراتحلیلی از منطقه کلان‌شهری لس‌آنجلس انجام دادند (Agarwal et al., 2012). این نویسندگان چندین مطالعه را در آن منطقه تجزیه‌وتحلیل کردند و دامنه قابل توجهی در تعداد مراکز اصلی و فرعی شناسایی شده یافتند: این محدوده از ۱۳ مورد شناسایی شده توسط جولیانو و همکاران (۲۰۰۷) تا ۱۲۰ مورد توسط فورستال و گرین (۱۹۹۷) برای سال ۱۹۹۰ شناسایی شده است. سال‌های بعد و سایر مطالعات بین این مقادیر امتیاز می‌گیرند (Agarwal et al., 2012: 441). با درنظرگرفتن این موضوع، چندمرکزیتی و شکل‌گیری مرکز فرعی باید به‌عنوان مفاهیم نسبی در نظر گرفته شوند. دورانتون و پوجا (۲۰۱۵: ۵۴۵) مطرح می‌کنند که «شکل‌گیری مرکز فرعی و تمرکززدایی پراکنده اشتغال نباید به‌عنوان دوگانگی صفر و یکی دیده شوند. واقعیت در مورد طیف پیوسته‌ای از تسهیلات مجزای کوچک، تا گروهی از ادارات در بازارهای خطی، تا پارک‌های صنعتی کوچک با چند صد کارگر، تا مراکز فرعی تجاری تمام عیار با ده‌ها هزار کارمند است». به عبارت دیگر، تعداد مراکز فرعی در یک منطقه کلان‌شهری را نمی‌توان به‌طور واقعی سنجید (Taubenböck et al. 2017: 43).

۲/۳ مسائل روش‌شناختی در عملیاتی کردن چندمرکزیتی

پس از تدوین چارچوب مفهومی یک مطالعه از چندمرکزیتی مورفولوژیک یا عملکردی و انتخاب متغیرهای مورد نظر (به‌عنوان مثال، اشتغال، جمعیت مسکونی، یا منطقه ساخته‌شده)، نوبت به تعیین و ترسیم مناسب مرزهای منطقه متناسب با فرآیند شهرنشینی و شهری‌شدن در موردپژوهی است (Thomas et al., 2022: 1598-1599).

منطقه در مطالعات چندمرکزیتی شهری از نظر مفهومی با مقیاسی که در آن می‌توان اثرات بیرونی تجمع را مورد سنجش قرار داد، مرتبط است (Van Meeteren et al., 2016). تحقیقات در زمینه‌های مختلف جغرافیای شهری ممکن است اثرات بیرونی متفاوتی را شناسایی کنند. به‌عنوان مثال، جغرافی-



می کنند، حل کرد. این امر ممکن است با استفاده از واحدهای نسبتاً کوچک و شمارش شده انجام شود. برای چند مرکزی عملکردی، تحقیقات اخیر از الگوریتم‌های خوشه‌بندی و روش‌های تحلیل شبکه‌های اجتماعی استفاده کرده‌اند (Nelson & Rae, 2016). این الگوریتم‌ها نسبت اتصالات درون جامعه را به اتصالات خارج از جامعه، یا مدولار بودن مناطق را به حداقل می‌رسانند (Wasserman & Faust, 1994) و رویکردهای کمی را برای مفهوم‌سازی مناطق به صورت گسسته و متخلخل باز می‌کنند (Nelson, 2021). روش‌های پایین به بالا می‌توانند از نظر محاسباتی فشرده و زمان‌بر باشند، اما با استفاده از کلان‌داده‌ها و الگوریتم‌های منبع باز، برای تحلیل‌گران قابل دسترس‌تر هستند (Thomas et al., 2022: 1599).

برخی معتقدند، دو نقطه ضعف مهم در معیارهای چندمرکزی: تعیین محدوده منطقه و تعداد واحدهای مورد مطالعه در درون آن است. هر دو کاستی در خطر ایجاد چندمرکزی پیش از سنجش آن هستند. نخست، با قراردادن مرز بین مناطق و دوم، با تمایز بین نقاط مرکزی و پیرامونی (Möck & Küpper, 2020).

از منظر اداری، پایین‌ترین سطح سازمانی دولتی ممکن است مجموعه‌ای مناسب از واحدها را تشکیل دهد که شهرداری را به واحد اساسی چندمرکزی تبدیل کند. درعین حال، سطح بسیار پایین‌تری را می‌توان برای ارائه واحدهای تحلیل مناسب در نظر گرفت. خانوارها نمونه بارز آن هستند (Musterd & van Zelm, 2001). سلول‌های شبکه‌ای می‌توانند به عنوان آلترناتیو هندسی برای سازمان‌دهی واحدهای فضایی برای ارزیابی چندمرکزی باشند (Krehl, 2015). نکته مهم در ارتباط با تعریف واحدها، تعریف مراکز فرعی است. درحالی‌که هدف چندمرکزی، درک ساختار فضایی ناشی از مراکز درون یک منطقه است، مکان‌یابی چنین مراکزی، وظیفه اصلی یک بحث روش‌شناختی را تشکیل می‌دهد که نه تنها معیارها، بلکه راهبردهای سنجش آن-

دانان اقتصاد شهری ممکن است شاخص‌های اقتصادی مانند، قیمت زمین، تراکم اشتغال و سرریز اطلاعات و غیره را در نظر بگیرند. در مطالعات ساختار فضایی شهری، دو نوع تقسیم‌بندی منطقه‌ای گسترده وجود دارد: رویکرد بالا به پایین یا مرزبندی اداری و رویکرد پایین به بالا یا مبتنی بر داده. مرزهای اداری مزایای متعددی دارند.

از منظر عملی، داده‌ها اغلب براساس مناطق اداری یا واحدهای کوچک‌تر آن منتشر می‌شوند. علاوه بر این، مقررات استفاده از زمین در این مناطق ممکن است ساختار فضایی را منعکس کند یا بر آن تأثیر بگذارد. نتایج مطالعاتی که از مناطق اداری استفاده می‌کنند، ممکن است به ارزیابی نتایج سیاست‌ها کمک کند و آن‌ها را با زمینه اقتصاد سیاسی منطقه مورد مطالعه، ارتباط دهد. در نهایت، مناطق اداری برای مقایسه تغییرات منطقه در طول زمان مناسب‌ترند؛ زیرا اطلاعات بر مبنای روش‌های از پیش تعریف شده‌ای، ارائه می‌شوند.

علی‌رغم این مزایای عملی و مفهومی، مناطق شهری تعریف‌شده اداری نیز چالش‌های تحلیلی را برای تحقیقات تطبیقی چند مرکزی شهری ارائه می‌کنند. طبقه‌بندی مناطق شهری بسته به کشور و مناطق متفاوت است (UN-DESA, ۲۰۱۴). در نتیجه، اگرچه واحدهای استاندارد شده برای اتحادیه اروپا وجود دارد (Dijkstra et al., ۲۰۱۹) اما مطالعات تطبیقی بین کشورها و مناطق را به چالش می‌کشد. در هر سیستم طبقه‌بندی، تحلیل‌گران باید بین مقیاس‌های چندگانه انتخاب کنند (Derudder et al., ۲۰۲۱) که ممکن است نتایج را تغییر دهد. به طور کلی، مناطق اداری ممکن است با فرآیندهای شهری هماهنگ نباشند (Thomas et al., ۲۰۲۲: ۱۵۹۹).

برخی از این مشکلات تعیین محدوده مناطق را می‌توان با استفاده از روش‌های پایین به بالا که واحدهای کوچک‌تر یا سطوح پیوسته را براساس مجاورت و شدت فعالیت‌های شهری (برای چند مرکزی مورفولوژیکی) یا پیوندهای عملکردی تجمیع



ها را نیز مورد بحث قرار می دهد (Möck & Küpper, 2020: 5).

۳ روش تحقیق

۳/۱ معرفی مورد پژوهی

در این مطالعه، ۲۹ شهرستان در ۳ استان تهران، البرز و قزوین برای تجزیه و تحلیل چندمرکزی فرامنطقه‌ای براساس دو دلیل اصلی زیر انتخاب شدند. اول، استان‌های قزوین، البرز و تهران به دلیل نزدیکی جغرافیایی و اهمیت استراتژیک در شبکه‌های ارتباطی و اقتصادی، نمونه‌های مناسبی برای بررسی ساختارهای چندمرکزی در سطوح مختلف هستند. تهران، به عنوان پایتخت و بزرگ‌ترین مرکز اقتصادی کشور، نقش کلیدی در جذب نیروی کار از استان‌های مجاور نظیر قزوین و البرز ایفا می‌کند. انتخاب محدوده تهران-کرج-قزوین براساس پیوستگی عملکردی با مبنای سفرهای روزانه، یکپارچگی فیزیکی کریدور شهری متصل با زیرساخت‌های حمل و نقل، تمرکز بر سنجش چندمرکزی مورفولوژیک در یک محور توسعه مشخص صورت گرفته است.

دوم، تاکنون ساختار چندمرکزی این سه استان به طور جامع مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار نگرفته است. بررسی ساختار فضایی در این استان‌ها می‌تواند به فهم بهتر از پویایی‌ها و چالش‌های پیش رو در راستای دستیابی به توسعه پایدار و هماهنگ منطقه‌ای کمک کند.

۳/۲ منبع و شیوه گردآوری داده‌ها

برای محاسبه چندمرکزی ساختار فضایی فرامنطقه‌ای از داده‌های جمعیت جهانی با تفکیک مکانی لنداسکن که توسط آزمایشگاه ملی اوک ریج وزارت انرژی ایالات متحده^۱ تهیه شده، استفاده شده است (McKee et al., 2020) که دو مزیت عمده دارد: نخست، لنداسکن توزیع جمعیت را با تفکیک مکانی دقیق مشخص می‌کند، درحالی‌که داده‌های

سرشماری رسمی معمولاً در سطح شهر جمع‌آوری می‌شوند و توزیع جمعیت درون شهری را منعکس نمی‌کنند. دوم، داده‌های سرشماری تجمعی تحت تأثیر تغییرات مرزهای سیاسی/اداری قرار می‌گیرد و بنابراین برای تجزیه و تحلیل‌های طولی سودمندی لازم را ندارند، اما داده‌های لنداسکن توزیع متوسط جمعیت را در طول ۲۴ ساعت با تفکیک شبکه تقریباً ۱ کیلومتر (۳۰ ثانیه در ۳۰ ثانیه) ثبت می‌کند و تا حدی رفت و آمد و مهاجرت جمعیت را در نظر می‌گیرد. بنابراین، امکان مطالعات طولی را فارغ از مرزهای سیاسی و اداری فراهم می‌کند.

۳/۳ سنجش چندمرکزی مورفولوژیک

همان‌طور که در بالا به آن اشاره شده است، ما از داده‌های لنداسکن برای کمیت‌سازی چندمرکزی فرامنطقه‌ای و از یافته‌های حاصل از تحلیل نقاط داغ، درجه تعادل مرکز با استفاده از شاخص آنتروپی (Limtanakool et al., 2009) استفاده خواهیم کرد.

چندمرکزی به طور معمول نشان‌دهنده میزان تمرکز مشاغل در یک منطقه کلان‌شهری در چندین مرکز به جای یک مرکز واحد است. کمیت‌سازی چندمرکزی چالش‌برانگیز است؛ زیرا تعریف مرکز می‌تواند مبهم باشد و تعداد مراکز لزوماً معیار کافی برای یک ساختار شهری چندمرکزی نیست. مراکز می‌توانند مرزهای مبهمی داشته باشند و چندمرکزی می‌تواند هم نسبت به اندازه شهر و هم نسبت به وضوح لنزی که با آن یک منظر شهری را بررسی می‌کنیم، نسبی باشد. یک منطقه می‌تواند به صورت محلی مرکز باشد، اما به اندازه کافی برای اینکه در مقیاس شهر یا در مقایسه با سایر شهرها به عنوان مرکز شناخته شود، بزرگ نباشد (Sevtuk & Amindarbari, 2021).

برای اندازه‌گیری چندمرکزی بودن، شاخص چندمرکزی نسبتی (Sevtuk & Amindarbari, 2021) به کار گرفته شده است که در آن شناسایی

¹ Oak Ridge National Laboratory



محلی ارقام (تراکم جمعیت و تراکم جمعیت همه مناطق همسایه) بسیار بیشتر از جمع محلی مورد انتظار باشد و این تفاوت بسیار بیشتر از آن باشد که بتوان آن را به عنوان نتیجه یک امر تصادفی تلقی کرد، به لحاظ آماری فرصت مناسبی است که آن را به عنوان یک نقطه داغ (در اینجا مرکز) در نظر گرفت (Hajrasouliha & Hamidi, 2017).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} \times x_i - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{\sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (j \neq i) \quad (1)$$

$$X = (\sum_{j=1}^n x_j) / n \quad (2)$$

$$S = \sqrt{(\sum_{j=1}^n x_j^2) / n - X^2} \quad (3)$$

جایی که X_i جمعیت واحد فضایی i ، n تعداد کل عناصر، و W_{ij} ماتریس وزنی فضایی در آستانه فاصله d است. زمانی که i و j نزدیک به یکدیگر هستند، W_{ij} برابر با یک است و بالعکس. آماره G_i^* برای هر یک از عناصر استاندارد می‌شود. اگر امتیاز استاندارد G_i^* بزرگتر از صفر باشد، واحد فضایی i از تجمع فضایی بالایی برخوردار است و بنابراین یک نقطه داغ به شمار می‌آید. زمانی که امتیاز استاندارد G_i^* کوچکتر از صفر باشد، یعنی منطقه i ، نتوانسته تجمع فضایی بزرگی ایجاد کند. به عبارتی یک نقطه سرد محسوب می‌شود. در سطح معناداری ۵٪ ($Z(G_i^*) > 1.96$)، منطقه‌ای که در اطراف خود با تراکم جمعیتی زیادی احاطه شده، به عنوان یک ناحیه فرعی از مرکز شهری انتخاب شده است (Wang et al., 2023: 5).

مراکز شهری ضروری است. در این مطالعه، برای شناسایی مراکز از تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی (ESDA) با استفاده از داده‌های جمعیت شبکه‌ای لنداسکن استفاده شده است.

مراحل کار به شرح زیر است:

۱- شناسایی مراکز بالقوه: داداش پور و علیدادی (۲۰۱۷) در مطالعه خود، شش روش را برای شناسایی و تعیین مراکز فرعی از یکدیگر بازشناختند. در این بین، روش‌هایی که ذیل عنوان آماره‌های فضایی گروه‌بندی شدند، سعی دارند تا با در نظر گرفتن فاصله یا همسایگی و خوشه‌بندی عناصر، خلأها و اشکالات روش‌های دیگر را برطرف کنند. در این بین، شاخص محلی موران، مهم‌ترین روش در بین آماره‌های فضایی محسوب می‌شود. شاخص محلی موران (Moran, 1950) براساس داده‌های جمعیتی لنداسکن^۱ محاسبه شدند. در این رویکرد، شبکه‌های جمعیتی که براساس معیار فاصله ثابت^۲ به عنوان خوشه‌های پرتراکمی که با سایر خوشه‌های پرتراکم همسایه احاطه شدند (HH)، به عنوان مراکز بالقوه شناخته می‌شوند.

$$I_i = \left(\frac{z_i - \bar{z}}{\sigma^2} \right) \sum_{j \neq i} [W_{ij} (z_j - \bar{z})]$$

۲- تعیین مراکز فرعی: با استفاده از تحلیل نقاط داغ^۳، مراکز بالقوه مورد صحت سنجی قرار گرفتند. در بسیاری از تحقیقات شهری و منطقه‌ای، از آماره G_i^* برای مطالعه خود-همبستگی فضایی مانند تحلیل چندمرکزی استفاده می‌شود (Hajrasouliha and Hamidi, 2017; Yue et al., 2019). این آماره مشخص می‌کند که آیا تراکم جمعیت و اشتغال در یک نقطه بالاست یا جمعیت و اشتغال با تراکم پایین تمایل دارند در یک نقطه خاص خوشه شوند. این تحلیل ارزش مجموع همسایه‌ها را در یک نقطه معین با ارزش مجموع کل منطقه مورد مطالعه مقایسه می‌کند. زمانی که جمع

³ Hot Spot Analysis

¹ LandScan

² Fixed Distance Band



۴ محاسبه درجه چندمرکزیتی

نسبی

درجه چندمرکزیتی نسبی فرامنطقه‌ای شامل ۳ بعد است: تعداد مراکز شهری (N)، درجه تراکم (R)، درجه تعادل مراکز (HI). سه بعد به شرح زیر مشخص می‌شوند:

هرچه عناصر شهری بیشتری در مراکز متمرکز شوند، سطح چندمرکزیتی بودن بالاتر است، جایی که تعداد عناصر شهری در این مطالعه با شدت تمرکز جمعیت اندازه‌گیری می‌شود.

هرچه قدرت بین مراکز متعادل‌تر باشد، سطح چندمرکزیتی بودن بالاتر است، جایی که درجه چندمرکزیتی براساس شاخص آنتروپی محاسبه می‌شود. میزان چندمرکزیتی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$HI = - \sum_{i=1}^N \frac{P_i \ln(P_i)}{\ln(N)}$$

که در آن (P_i) نسبت امتیاز استاندارد تحلیل محلی موران (i) به کل امتیاز استاندارد موران را در تمام (N) مراکز منطقه نشان می‌دهد؛ (N) تعداد مراکز شناسایی شده را تعریف می‌کند و (R) نسبت امتیاز استاندارد موران در مراکز به کل امتیاز استاندارد موران منطقه است. از آنجایی که این فرمول برای مناطق چندمرکزیتی معتبر است، تحلیل‌ها به دلخواه مقدار (PC) برای شهرهای تک‌مرکزی روی صفر تنظیم شده است (منظور استاندارد کردن بین صفر و یک) (Sevtuk & Amindarbari, 2021).

$$PC = N \times R \times HI$$

۵ یافته‌ها و بحث

۵/۱ شناسایی مراکز اولیه با استفاده از

تحلیل محلی موران

در گام نخست از محاسبه‌ی چندمرکزیتی فرامنطقه‌ای با استفاده از تحلیل محلی موران بر داده‌های جمعیتی لنداسکن در نرم افزار ArcGIS، خوشه‌های پرتراکم-که با نواحی پرتراکم احاطه گردیدند (HH)، شناسایی و به عنوان مراکز اولیه انتخاب شدند و روند توزیع فضایی و خودهمبستگی فضایی این ۳ استان طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفته اند. (تصویر ۱)

استان تهران به‌عنوان پایتخت و بزرگترین مرکز اقتصادی کشور، طی دوره مورد مطالعه بیشترین تمرکز فضایی و خوشه‌بندی معنادار را نشان می‌دهد. در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴، شاخص محلی موران ۱ برای تهران روند نسبتاً ثابتی داشت و نشان می‌داد که مناطق تهران به تدریج به سمت خودهمبستگی فضایی بالاتر حرکت می‌کنند. امتیاز استاندارد موران ۲ نیز در این سال‌ها در بازه ۱٫۵ تا ۲٫۵ نوسان داشته که نشان‌دهنده خوشه‌بندی متوسط و معنادار در برخی مناطق بوده است. آماره χ^2 در اغلب شهرستان‌های تهران پایین‌تر از ۰٫۰۵ بوده که معناداری آماری خوشه‌بندی‌ها را تأیید می‌کند. از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، شاخص محلی موران به‌ویژه در شهرستان‌های مرکزی و جنوبی تهران مانند شهریار، اسلامشهر و ری افزایش یافته است. این روند صعودی بیان‌گر تجمع فعالیت‌های اقتصادی و جمعیتی در این مناطق است. امتیاز استاندارد بیش از ۲٫۵ در این دوره زمانی حاکی از خوشه‌بندی فضایی معنادار آن است. سطح معناداری کمتر از ۰٫۰۱ در بیشتر مناطق تهران، به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، وجود خوشه‌های فضایی قوی و معنادار را تأیید می‌کند. مقایسه شهرستان‌های تهران نشان می‌دهد که تهران (مرکز) و ری بیشترین

^۳ منظور در اینجا همان P-Value است که سطح معناداری را نشان می‌دهد.

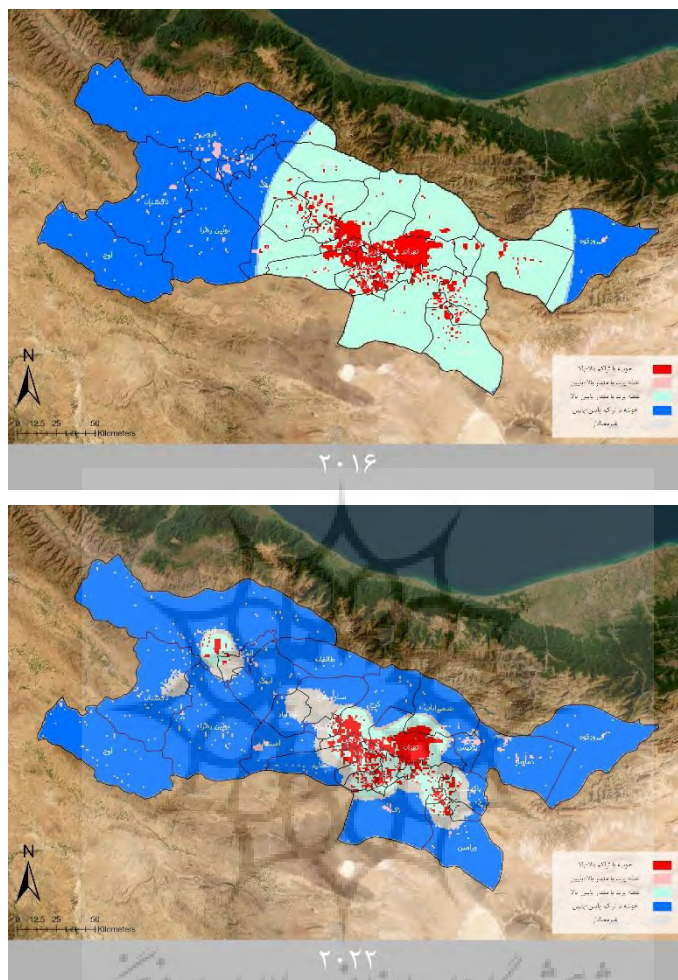
^۱ Local Moran's Score

^۲ Z-Score



مشابهی را طی کردند، اما با مقادیر نسبتاً پایین‌تر که نشان از پراکندگی کمتر خوشه‌ها در این مناطق دارد.

مقدار شاخص محلی موران و امتیاز استاندارد را دارند که ناشی از تمرکز بالای جمعیت و توسعه سریع شهری است. اسلامشهر و شهریار نیز روند



شکل ۱. نقشه تعیین مراکز بالقوه در استان‌های تهران، البرز و قزوین با استفاده از تحلیل محلی موران در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲

زمانی بوده است. اما از سال ۲۰۱۵ به بعد، شاخص محلی موران در کرج و نظرآباد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت و به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، کرج به دلیل رشد جمعیت و توسعه زیرساخت‌های صنعتی به یکی از خوشه‌های اصلی فضایی تبدیل شد. امتیاز استاندارد در این دوره به بالای ۲٫۰ رسید و آماره p کمتر از ۰٫۰۵ شد که نشان از معناداری آماری در خوشه‌بندی‌های فضایی داشت. مقایسه شهرستان‌های البرز نشان می‌دهد که کرج بالاترین مقدار شاخص محلی موران و امتیاز استاندارد را دارد

استان البرز به‌عنوان یکی از استان‌های تازه تأسیس و رو به رشد، روند صعودی را در شاخص‌های خودهمبستگی فضایی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴، شاخص محلی موران در شهرستان کرج و نظرآباد پایین‌تر بود و خوشه‌بندی فضایی نسبتاً ضعیفی مشاهده شد. امتیاز استاندارد نیز در این دوره زیر ۱٫۵ بوده که نشان از نبود خودهمبستگی فضایی معنادار است. آماره p بالاتر از ۰٫۰۵ نیز نشان‌دهنده نبود معناداری آماری در خوشه‌بندی فضایی استان البرز در این بازه



نتایج نشان می‌دهد که شهرستان‌های مرکزی و جنوبی تهران مانند تهران (مرکز) و ری بیشترین مقدار شاخص محلی موران و امتیاز استاندارد را دارند که نشان‌دهنده تجمع اقتصادی و جمعیتی قابل توجه است. این مناطق از سال ۲۰۱۵ به بعد خوشه‌های فضایی قوی و معناداری را تجربه کرده‌اند. کرج به‌عنوان مرکز استان البرز به دلیل توسعه سریع شهری و رشد جمعیت، در دهه اخیر به یکی از خوشه‌های فضایی معنادار تبدیل شده است. از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، شاخص محلی موران و امتیاز استاندارد در این شهرستان به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و نشان‌دهنده خودهمبستگی فضایی قوی است. نتایج این بخش، از یافته‌های ضرغامی و همکاران (۱۴۰۱) در مورد تغییرات ساختار فضایی مورفولوژیک منطقه کلان‌شهری تهران در چهار مقطع زمانی سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ و مبنی بر افزایش اهمیت شهرهای میانی مانند اسلامشهر، قدس، ملارد و گلستان در منطقه و گذار از ساختار تک مرکزی به سوی ساختار مورفولوژیک چندمرکزی پشیمانی می‌کند. در مقایسه با تهران و البرز، استان قزوین روند رشد کندتری در خودهمبستگی فضایی دارد.

۵٫۲ انتخاب مراکز بالقوه با استفاده از تحلیل نقاط داغ

در گام دوم از محاسبات، با استفاده از تحلیل نقاط داغ بر داده‌های جمعیتی لنداسکن در نرم‌افزار ArcGIS، خوشه‌های پر-پر (HH) شناسایی شده در مرحله قبل را با تحلیل نقاط داغ مورد واکاوی قرار داده و نقاط داغ و سرد و روند آن به جهت انتخاب مراکز بالقوه طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ بررسی شده است.

استان تهران به‌عنوان پایتخت ایران و مرکز اصلی فعالیت‌های اقتصادی، همواره یکی از داغ‌ترین مناطق کشور از نظر تراکم جمعیتی بوده است. داده‌های موجود نشان می‌دهد که این استان در طول دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ روند افزایشی در تراکم جمعیتی و توسعه اقتصادی داشته است. در

که بیان‌گر تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و جمعیتی در این شهرستان است. نظرآباد و ساوجبلاغ نیز دارای خوشه‌های فضایی قابل ملاحظه‌ای هستند، اما به اندازه کرج معنادار نیستند.

استان قزوین به دلیل موقعیت جغرافیایی و تاریخی خود به‌عنوان یکی از مراکز مهم اقتصادی، از الگوهای فضایی متنوعی برخوردار است. در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴، شاخص محلی موران در شهرستان‌های قزوین و البرز (قزوین) خودهمبستگی فضایی کمتری را نسبت به تهران و البرز نشان داد که این امر به دلیل پراکندگی بیشتر فعالیت‌های اقتصادی و تراکم کمتر جمعیتی در این شهرستان‌ها بود. امتیاز استاندارد نیز در شهرستان‌های این استان معمولاً زیر ۱٫۰ بود که نشان‌دهنده نبود خوشه‌های معنادار در بسیاری از این سال‌ها بود. آماره p نیز معمولاً بالاتر از ۰٫۰۵ بود که نشان از نبود معناداری آماری در خوشه‌بندی فضایی داشت. از سال ۲۰۱۵ به بعد، برخی شهرستان‌ها مانند قزوین و البرز (قزوین) شاهد افزایش مقادیر شاخص محلی موران بودند. به‌ویژه در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲، شهرستان قزوین به دلیل توسعه اقتصادی و صنعتی، خوشه‌های فضایی معناداری را تجربه کرد. امتیاز استاندارد نیز در این سال‌ها به بالای ۱٫۵ رسید که نشان‌دهنده ظهور خوشه‌های فضایی معنادار است. آماره p در سال‌های اخیر در شهرستان قزوین به زیر ۰٫۰۵ رسید که معناداری آماری در برخی خوشه‌های فضایی را نشان می‌داد. مقایسه شهرستان‌های قزوین نشان می‌دهد که قزوین و البرز (قزوین) بالاترین مقدار شاخص محلی موران را در استان دارند که نشان‌دهنده تمرکز نسبی فعالیت‌های اقتصادی و جمعیتی است، اما همچنان این مقادیر کمتر از شهرستان‌های مرکزی تهران و البرز است. شهرستان‌های دیگر مانند بوئین‌زهره و آبیگ خودهمبستگی فضایی پایین‌تری را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر جمعیتی و نبود تمرکز اقتصادی قوی در این مناطق است.



توسعه سریع مناطق مسکونی و زیرساخت‌های خدماتی، به یکی از نقاط داغ تبدیل شده است. امتیاز استاندارد Gi اسلامشهر از ۱۰۰/۴۸ در سال ۲۰۱۰ به ۱۱۲/۳ در سال ۲۰۲۲ رسیده است. این رشد قابل توجه نشان‌دهنده جاذبه این شهرستان برای مهاجران و توسعه مناطق مسکونی جدید است. همچنین شهرستان ری که از نظر جغرافیایی در نزدیکی تهران قرار دارد، همواره به‌عنوان یکی از نقاط داغ شناخته شده است. رشد جمعیتی و توسعه فعالیت‌های اقتصادی در این شهرستان نیز کاملاً مشهود است؛ به‌طوری‌که امتیاز استاندارد Gi آن از ۸۵/۷۲ در سال ۲۰۱۰ به ۹۳/۱۲ در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است.

سال‌های اولیه، تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و جمعیتی بیشتر در نواحی مرکزی شهرستان تهران مشهود بود. شهرستان تهران به‌عنوان پایتخت، همواره یکی از نقاط داغ و پرتراکم جمعیتی بوده و شاخص امتیاز استاندارد Gi آن در تمامی سال‌ها در بالاترین سطح ممکن قرار داشته است. در این دوره، امتیاز استاندارد Gi تهران از ۸۷/۶۰ در سال ۲۰۱۰ به ۹۱/۲۱ در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش تراکم جمعیتی و توسعه زیرساخت‌ها در این منطقه است.

شهرستان‌های اطراف تهران، به‌ویژه اسلامشهر و ری نیز در این بازه زمانی رشد قابل‌توجهی را تجربه کرده‌اند. اسلامشهر به دلیل مجاورت با تهران و

جدول ۱. روند تغییرات در شهرستان‌های اصلی

شهرستان	۲۰۱۰	۲۰۱۴	۲۰۱۶	۲۰۲۲	تغییر کل	الگوی تغییر
تهران	۸۸/۱۱	۸۷/۸۵	۸۸/۶۶	۹۰/۶۲	۲/۵۱	رشد تدریجی با ثبات نسبی
اسلامشهر	۱۰۰/۴۷	۱۰۶/۰۹	۱۰۷/۰۱	۱۰۹/۴۸	۹/۰۱	رشد سریع و مستمر
ری	۸۵/۷۲	۹۱/۲۱	۹۲/۰۲	۹۳/۳	۷/۵۸	رشد قابل توجه
شهریار	۸۵/۵	۹۰/۷	۹۱/۵۷	۹۳/۸۶	۸/۳۶	رشد پیوسته
بهارستان	۱۰۰/۵	۱۰۶/۲۸	۱۰۷/۱۹	۱۰۹/۵۵	۹/۰۵	رشد سریع و پایدار
ملارد	۵۰/۹۷	۵۶/۲۹	۵۶/۸۴	۵۸/۸۳	۷/۸۶	رشد متوسط و تدریجی
کرج	۸/۹۱-	۹/۲۸-	۹/۰۷-	۹/۰۵-	۰/۱۴-	نوسان منفی با ثبات نسبی
فردیس	۶۲/۱۹	۶۶/۹۲	۶۷/۵۵	۶۹/۵۷	۷/۳۸	رشد مداوم
قزوین	۶/۲۱-	۶/۴۸-	۶/۵۴-	۶/۶۸-	۰/۴۷-	کاهش تدریجی
ساوجبلاغ	۸/۲۷	۷/۳۲	۷/۳۵	۸/۲۸	۰/۰۱	نوسان جزئی با بازگشت به سطح اولیه

تهران، روند افزایشی را در تراکم جمعیتی تجربه کرده‌اند.

استان البرز که از سال ۲۰۱۰ به‌عنوان یکی از استان‌های تازه‌تأسیس شناخته می‌شود، روندی متفاوت از تهران در رشد جمعیتی و نقاط داغ و سرد خود تجربه کرده است. کرج، به‌عنوان مرکز این استان، با وجود رشد سریع در دهه‌های گذشته، در برخی سال‌ها به‌عنوان نقطه سرد شناخته شده است. شاخص امتیاز استاندارد Gi کرج از ۸/۹۱- در سال ۲۰۱۰ به ۹/۵- در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته

در مناطق حاشیه‌ای‌تر مانند شهرستان‌های شهریار، بهارستان و ملارد نیز روند افزایشی تراکم جمعیتی مشاهده می‌شود. شهرستان ملارد، به‌عنوان یکی از مناطق مهم مسکونی در اطراف تهران، رشد سریعی داشته و امتیاز استاندارد Gi آن از ۵۰/۹۷ در سال ۲۰۱۰ به ۵۹/۲۳ در سال ۲۰۲۲ رسیده است. این رشد نشان‌دهنده توسعه سریع مناطق مسکونی و مهاجرت جمعیت به این شهرستان‌ها است. همچنین شهرستان‌های قرچک، ورامین و پیشوا نیز نقاط داغی را نشان داده‌اند که با توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل و افزایش ارتباطات با



است. این موضوع نشان می‌دهد که رشد جمعیتی کرج به نسبت متوقف شده و یا با کاهش همراه بوده است که احتمالاً به دلیل مشکلات زیرساختی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در تهران و عدم مهاجرت گسترده به این منطقه است.

در مقابل، شهرستان ساوجبلاغ یکی از مناطق داغ استان البرز است که رشد جمعیتی قابل توجهی را تجربه کرده است. امتیاز استاندارد Gi این شهرستان از ۸٫۲۷ در سال ۲۰۱۰ به ۹٫۱۲ در سال ۲۰۲۲ رسیده است. ساوجبلاغ به دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب و نزدیکی به تهران، به یکی از مقاصد مهم برای مهاجرت تبدیل شده است. همچنین شهرستان فردیس که یکی از نقاط پرجمعیت و مهاجرپذیر البرز است، به‌عنوان یک نقطه داغ دیگر شناخته می‌شود. امتیاز استاندارد Gi فردیس از ۶۲٫۱۹ در سال ۲۰۱۰ به ۷۱٫۴۵ در سال ۲۰۲۲ رسیده است که نشان‌دهنده توسعه سریع مناطق مسکونی و مهاجرت به این شهرستان است.

در سایر مناطق البرز مانند شهرستان‌های طالقان و اشتهارد، روند متفاوتی مشاهده می‌شود. این مناطق به دلیل دوری از مراکز شهری و کمبود زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی، همواره به‌عنوان نقاط سرد شناخته شده‌اند. امتیاز استاندارد Gi این دو شهرستان به مرور زمان کاهش یافته و نشان‌دهنده کاهش جمعیت یا عدم توسعه مناسب در این مناطق است. شاخص امتیاز استاندارد Gi طالقان از ۷٫۴۲ در سال ۲۰۱۰ به ۷٫۹ در سال ۲۰۲۲ و اشتهارد از ۴٫۸۹ به ۵٫۲۱ کاهش یافته است.

استان قزوین که به دلیل موقعیت استراتژیک و صنعتی خود یکی از مناطق مهم کشور به‌شمار می‌رود، تغییرات متنوعی در نقاط داغ و سرد شهرستان‌های خود تجربه کرده است. شهرستان قزوین به‌عنوان مرکز این استان، برخلاف انتظار، در این بازه زمانی به‌عنوان یک نقطه سرد شناخته شده است. شاخص امتیاز استاندارد Gi قزوین از ۶٫۲۱ در سال ۲۰۱۰ به ۶٫۹۳ در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته

است. این موضوع نشان می‌دهد که تراکم جمعیتی در این شهرستان به مرور کاهش یافته و احتمالاً مهاجرت به شهرهای بزرگ‌تر مانند تهران یا عدم توسعه زیرساخت‌های مناسب عامل اصلی این روند است.

در شهرستان‌های دیگر این استان مانند بوئین‌زهرا و تاکستان نیز روند مشابهی مشاهده می‌شود. بوئین‌زهرا با شاخص امتیاز استاندارد Gi نسبتاً ثابت در حدود ۱٫۴۳- تا ۱٫۲۸- در طول دوره بررسی‌شده، تغییرات چندانی در تراکم جمعیتی تجربه نکرده است. این شهرستان با وجود موقعیت صنعتی و کشاورزی خود، نیاز به توسعه زیرساخت‌های بیشتر برای جذب جمعیت دارد. همچنین تاکستان به‌طور مداوم به‌عنوان یک نقطه سرد باقی مانده و امتیاز استاندارد Gi آن از ۶٫۴۱- در سال ۲۰۱۰ به ۶٫۸۳- در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. این کاهش نشان‌دهنده پراکندگی جمعیت و عدم تمرکز فعالیت‌های اقتصادی در این منطقه است.

شهرستان آوج نیز به‌عنوان یکی دیگر از نقاط سرد استان قزوین، در تمام این سال‌ها با کاهش جمعیتی و تراکم پایین مواجه بوده است. امتیاز استاندارد Gi این شهرستان از ۶٫۲۰- در سال ۲۰۱۰ به ۶٫۴۷- در سال ۲۰۲۲ رسیده است. دوری از مراکز اقتصادی و فقدان زیرساخت‌های حمل‌ونقل و صنعتی در این منطقه از دلایل اصلی کاهش جمعیتی آن است.

۵٫۳ واکاوی درجه تعادل مراکز (آنتروپی)

در گام سوم، درجه تعادل مراکز از طریق شاخص آنتروپی پس از شناسایی مراکز بالقوه با تحلیل نقاط داغ، اندازه‌گیری شده است. بررسی آنتروپی در ساختار شهری استان‌های تهران، البرز و قزوین طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۱ نشان‌دهنده الگوهای جالب توجهی در توزیع فعالیت‌ها و جمعیت در این منطقه است. آنتروپی، به‌عنوان معیاری برای سنجش میزان



همچنان در سطح بالایی (۰.۹۷۹) باقی مانده است که نشان از مقاومت و پایداری ساختار شهری منطقه در برابر شوک‌های خارجی دارد. این الگوی آنتروپی بالا و پایدار می‌تواند نشان‌دهنده چندین ویژگی مهم در ساختار شهری منطقه باشد:

۱. توزیع متعادل جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی
۲. عدم تمرکز شدید در یک یا چند نقطه خاص
۳. توسعه متوازن زیرساخت‌ها
۴. انعطاف‌پذیری سیستم شهری
۵. سیاست‌های موفق در زمینه تمرکززدایی^۱

با این حال، باید توجه داشت که آنتروپی بالا لزوماً به معنای عدم وجود چالش‌ها نیست. برای مثال، ممکن است این توزیع متعادل ناشی از گسترش بی‌رویه شهری و یا مهاجرت‌های درون منطقه‌ای باشد که خود می‌تواند چالش‌هایی را در زمینه مدیریت شهری و ارائه خدمات ایجاد کند.

۵.۴ سنجش چندمرکزی‌تای فرامنطقه‌ای

بررسی روند توسعه چندمرکزی‌تای در استان‌های تهران، البرز و قزوین طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ نشان‌دهنده تحولات پیچیده و چندبعدی در ساختار فضایی این منطقه است. شاخص چندمرکزی‌تای در این دوره، نوسانات قابل توجهی را نشان می‌دهد، از چندمرکزی‌تای کامل در سال ۲۰۱۰ (با مقدار ۱/۰) تا کاهش شدید به سمت تک‌مرکزی‌تای در سال ۲۰۱۱ (با مقدار ۰/۰) و سپس بین سطوح متوسط چندمرکزی‌تای در سال‌های بعد نوسان دارد. این تغییرات می‌تواند نشان‌دهنده پویایی ساختار چندمرکزی‌تای در منطقه باشد که به عوامل مختلف اجتماعی-اقتصادی، سیاسی و جمعیتی واکنش نشان می‌دهد.

در استان تهران، روند چندمرکزی‌تای با پیچیدگی‌های خاصی همراه بوده است. شهر تهران

تعادل و یکنواختی در توزیع فعالیت‌ها میان مراکز شهری، اطلاعات ارزشمندی درباره پویایی‌های شهری و منطقه‌ای ارائه می‌دهد.

در طول دوره مورد مطالعه، مقادیر آنتروپی عموماً بالا و نسبتاً پایدار بوده است. میانگین آنتروپی در این دوره حدود ۰.۹۷ است که نشان‌دهنده توزیع بسیار متعادل فعالیت‌ها در میان مراکز شهری منطقه است. این مقدار بالای آنتروپی حاکی از آن است که فعالیت‌های اقتصادی، جمعیتی و خدماتی به‌طور نسبتاً یکنواختی در سراسر منطقه پراکنده شده‌اند و تمرکز شدیدی در یک یا چند نقطه خاص وجود ندارد.

روند تغییرات آنتروپی در طول این دوره نیز قابل توجه است. در سال ۱۳۸۹، آنتروپی ۰.۹۶۱ بوده که نشان‌دهنده توزیع نسبتاً متعادل فعالیت‌ها در آغاز دوره است. در سال ۱۳۹۰، کاهش قابل توجهی در آنتروپی به ۰.۸۹۹ مشاهده می‌شود که پایین‌ترین مقدار در کل دوره است. این کاهش می‌تواند نشان‌دهنده یک تغییر موقت در الگوی توزیع فعالیت‌ها، احتمالاً به سمت تمرکز بیشتر در برخی مراکز خاص باشد.

پس از این کاهش، از سال ۱۳۹۱ به بعد، روندی صعودی و نسبتاً پایدار در مقادیر آنتروپی مشاهده می‌شود. آنتروپی از ۰.۹۶۳ در سال ۱۳۹۱ به تدریج افزایش یافته و در سال ۱۳۹۴ به ۰.۹۸۲ می‌رسد که بالاترین مقدار در کل دوره است. این افزایش تدریجی نشان‌دهنده بهبود مستمر در توزیع متعادل فعالیت‌ها در سطح منطقه است.

از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱، مقادیر آنتروپی در سطح بسیار بالایی (بالای ۰.۹۷۹) باقی می‌ماند، با نوسانات بسیار جزئی. این ثبات در مقادیر بالای آنتروپی نشان‌دهنده تداوم الگوی توزیع متعادل فعالیت‌ها در منطقه است. حتی در سال ۱۳۹۹ که احتمالاً تحت تأثیر همه‌گیری کووید-۱۹ بوده، آنتروپی

^۱ توسعه شهرک‌ها و مناطق ویژه اقتصادی در استان‌های هم-جوار بوده است (یاسوری و همکاران، ۱۳۹۳).

^۱ این سیاست‌ها شامل انتقال صنایع و کاربری‌های فراشهری از تهران، ممنوعیت استقرار صنایع جدید در محدوده پایتخت و



علاوه، تا اندازه‌ای با یافته‌های ضرغامی و همکاران (۱۴۰۱) مبنی بر قابلیت شکل‌گیری روابط مکمل و هم‌افزا میان شهرهای میانی و کوچک استان البرز مانند نظرآباد، طالقان و اشتهارد نیز انطباق دارد.

استان قزوین الگوی متمایزی را در توسعه چندمرکزی نشان می‌دهد. برخلاف انتظار، شهر قزوین به‌عنوان مرکز استان، حضور کم‌رنگی در لیست مراکز بالقوه دارد و تنها در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ در این لیست ظاهر شده است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده چالش‌های این شهر در ایفای نقش یک مرکز قوی در ساختار چندمرکزی منطقه باشد. حضور محدود بوئین زهرا در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ نیز نشان از عدم شکل‌گیری یک ساختار چندمرکزی قوی درون استان قزوین دارد. این الگو حاکی از آن است که استان قزوین، در مقایسه با تهران و البرز، کمتر در روند کلی چندمرکزی شدن منطقه مشارکت داشته است.

روند زمانی توسعه چندمرکزی در این سه استان نکات جالب توجهی را آشکار می‌کند. دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۴ با تغییرات سریع در ساختار چندمرکزی مشخص می‌شود. تغییر از چندمرکزی کامل در سال ۲۰۱۰ (۱/۰) به تک‌مرکزی در سال ۲۰۱۱ (۰/۰) و سپس افزایش تدریجی به ۰/۷۲ در سال ۲۰۱۴، نشان‌دهنده یک دوره پرتلاطم در ساختار فضایی منطقه است. این تغییرات می‌تواند بازتابی از تأثیرات تأسیس استان البرز در سال ۲۰۱۰ و تنظیمات متعاقب آن در ساختار اداری و اقتصادی منطقه باشد.

دوره ۲۰۱۵-۲۰۱۹ نسبتاً ثبات بیشتری را در چندمرکزی متوسط نشان می‌دهد، با مقادیر بین ۰/۴۸ تا ۰/۵۸. این ثبات نسبی می‌تواند نشان‌دهنده تثبیت الگوهای فضایی جدید و سازگاری سیستم شهری با تغییرات ساختاری باشد. در این دوره، ما شاهد حضور مداوم‌تر برخی شهرستان‌ها مانند ملارد، ورامین، ری، اسلامشهر در استان تهران و کرج در استان البرز به‌عنوان مراکز بالقوه هستیم که

به‌عنوان هسته مرکزی، همواره نقش غالب خود را حفظ کرده، اما به تدریج شاهد ظهور و تقویت مراکز ثانویه در اطراف آن هستیم. این روند در جنوب و جنوب غربی استان بارزتر است، جایی که شهرستان‌هایی مانند اسلامشهر، ری و پاکدشت به تدریج به‌عنوان مراکز بالقوه اهمیت بیشتری یافته‌اند. به‌عنوان مثال، حضور مداوم اسلامشهر در لیست مراکز بالقوه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ نشان‌دهنده تثبیت نقش آن در ساختار چندمرکزی منطقه است. همچنین، ظهور و تداوم حضور شهرستان‌هایی مانند ملارد، ورامین و رباط کریم در لیست مراکز بالقوه نشان از گسترش الگوی چندمرکزی به سمت حاشیه‌های استان دارد. این روند به سمت توزیع متعادل‌تر فعالیت‌ها و جمعیت در سطح استان حرکت می‌کند، اگرچه همچنان تهران به‌عنوان مرکز اصلی باقی مانده است.

استان البرز، به‌عنوان استانی جدید، الگوی متفاوتی از توسعه چندمرکزی را نشان می‌دهد. کرج، به‌عنوان مرکز استان، نقشی دوگانه در این ساختار ایفا می‌کند. از یک سو، کرج در اکثر سال‌های مورد مطالعه به‌عنوان یکی از مراکز بالقوه شناسایی شده است که نشان از اهمیت آن در ساختار چندمرکزی منطقه دارد. از سوی دیگر، عدم حضور مداوم آن در لیست مراکز بالقوه (مانند سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۲۰) نشان‌دهنده پویایی و تغییرپذیری نقش این شهر در ساختار چندمرکزی است. این امر می‌تواند ناشی از ارتباط پیچیده کرج با تهران و تأثیرپذیری آن از تحولات اقتصادی و جمعیتی منطقه باشد. علاوه بر کرج، حضور شهرستان‌هایی مانند نظرآباد و چهارباغ در برخی سال‌ها به‌عنوان مراکز بالقوه، نشان از شکل‌گیری تدریجی یک ساختار چندمرکزی درون استانی در البرز دارد، هرچند این ساختار هنوز به ثبات کامل نرسیده است. این ساختار فضایی بلوغ نیافته را می‌توان در نتایج مطالعه داداش‌پور و تدین (۱۳۹۴) مبنی بر الگوی سفر ضربدری و متمرکز بین شهرهای اقماری و میانی در منطقه کلان‌شهری تهران نیز یافت. به-



۵/۵ بحث

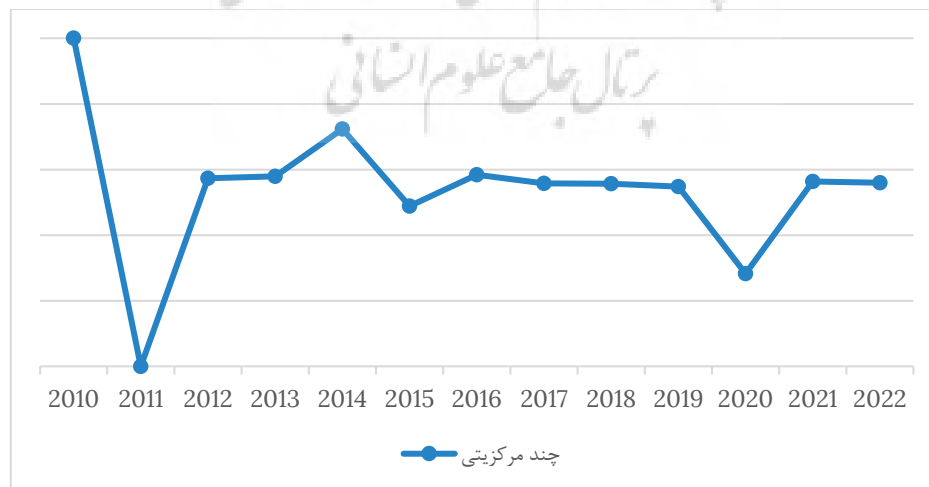
یافته‌های مقاله پیش رو، نتایج پژوهش علی‌دادی و داداش‌پور (۲۰۱۷) و داداش‌پور و علی‌دادی (۱۳۹۵) را مبنی بر گرایش ساختار فضایی منطقه کلان‌شهری تهران از تک‌مرکزی به سوی ساختارهای چندمرکزی تأیید می‌کند. با وجود این، تمایز پژوهش حاضر علاوه بر کاربرد تحلیل نقاط داغ و سنجش چندمرکزی نسبی، گسترش منطقه کلان-شهری تهران به مقیاسی فراتر و نقش هریک از استان‌ها یا شهرهای مرکزی مانند کرج و قزوین در این محدوده بوده است.

به‌علاوه، در پژوهش‌های صورت‌گرفته نظیر مطالعه ضرغامی و همکاران (۱۴۰۱)، داداش‌پور و تدین (۱۳۹۴) و عباسی فلاح (۱۴۰۳)، از داده‌ها و آمارهای رسمی در مقاطع زمانی پنج یا ده ساله استفاده شده است. این محدودیت سبب می‌شود نتوان تغییرات جمعیتی را در بازه‌های کوتاه‌تر مشاهده و دنبال کرد. مطالعه پیش رو با استفاده از کلان‌داده‌های جمعیت شبکه‌ای لنداسکن بر این محدودیت فائق آمد. به‌طوری‌که نتایج نشان داد، تراکم جمعیت و اشتغال در منطقه کلان‌شهری تهران در دوران همه‌گیری متمرکز و در دوران پیش و پس از آن غیرمتمرکزتر بوده است. این امر می‌تواند ناشی از سیاست‌های قرنطینه و دورکاری و در نتیجه کاهش حجم تبادلات بین شهرها در این بازه باشد.

نشان از شکل‌گیری یک الگوی چندمرکزی پدیدارتر دارد.

سال ۲۰۲۰ با کاهش شدید چندمرکزی (به ۰٫۲۸۳) مشخص می‌شود که احتمالاً به دلیل تأثیر پاندمی کووید-۱۹ بر تعاملات فضایی و فعالیت‌های اقتصادی است. این کاهش نشان می‌دهد که ساختار چندمرکزی منطقه در مواجهه با شوک‌های بزرگ می‌تواند به سمت تمرکزگرایی بیشتر حرکت کند. با این حال، بازگشت سریع به سطوح چندمرکزی قبل از ۲۰۲۰ در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (با مقادیر ۰٫۵۶۳ و ۰٫۵۵۹) نشان‌دهنده انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری ساختار چندمرکزی در این منطقه است.

در مجموع، این تحلیل نشان می‌دهد که اگرچه در طول زمان، نوسانات قابل توجهی در ساختار فضایی تجمع شهری تهران-کرج-قزوین رخ داده اما منطقه مورد مطالعه در حال حرکت به سمت یک ساختار چندمرکزی پیچیده‌تر است. استان تهران، با حضور پایتخت کشور به‌عنوان مرکز مسلط و ظهور تدریجی مراکز ثانویه در اطراف آن، نقش محوری در این ساختار دارد. استان البرز با نقش متغیر کرج و ظهور مراکز جدید، در حال شکل‌گیری یک ساختار چندمرکزی درونی است و استان قزوین کمترین مشارکت را در الگوی کلی چندمرکزی منطقه داشته است.



شکل ۲. چندمرکزی نسبی در ابر منطقه تهران- البرز- قزوین



۶ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر در پی آن بوده تا با استفاده از داده‌های ترکیبی و کلان‌داده‌ها، چندمرکزیتی مورفولوژیک بزرگ‌ترین تجمع شهری کشور را مورد سنجش قرار دهد. برای این امر، سه مرحله طراحی شده است: نخست با کاربرد شاخص محلی موران، مراکز بالقوه شناسایی شدند. سپس با استفاده از تحلیل نقاط داغ، مراکز اولیه صحت‌سنجی و درنهایت با کاربری شاخص آنتروپی و چندمرکزیتی نسبی ارائه‌شده توسط سیوسوک و امین درباری (۲۰۲۳)، ساختار فضایی منطقه در بازه سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۲ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها نشان دادند در بازه سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، ساختار فضایی منطقه در مرحله گذار از تک-مرکزیتی به چندمرکزیتی است و تغییر نقاط داغ مؤید رشد مثبت تراکم جمعیت و اشتغال مراکز شهری فرعی نسبت به رشد منفی کرج و قزوین است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که اگرچه نقش غالب شهر تهران در منطقه ادامه دارد اما ظهور و تقویت تدریجی مراکز ثانویه در نقاط پیراشهری مانند اسلامشهر، ری و پاکدشت، تسلط آن را به چالش کشیده است. همچنین، تداوم حضور شهرهایی مانند ملارد، ورامین، و رباط کریم در فهرست مراکز بالقوه بیان‌گر شکل‌گیری الگوی چند-مرکزیتی در نواحی پیراشهری دو منطقه کلان‌شهری تهران و البرز است. با وجود این، همچنان سیستم شهری استان قزوین از یک ساختار نسبتاً متمرکز-سلسله مراتبی و از منطق قلمرویی در درون استان پیروی می‌کند. ازاین‌رو، نقش و مشارکت کمی در مقایسه با تهران و البرز، در روند کلی چندمرکزیتی شدن این ابرمنطقه ایفا می‌کند.

درحالی‌که توسعه و تثبیت این ساختار فضایی به‌ویژه در مناطق پیرامونی، از یک سو می‌تواند منجر به تخصیص‌شدن، استفاده از اثرات اندازه قرضی و روابط هم‌افزا مانند دسترسی به فرصت‌های شغلی و بهره‌وری نیروی کار باشد، اما از سوی دیگر ممکن

است به دلیل سفرهای آونگی به سوی نقاط مرکزی، برخی از نقاط دچار اثرات سایه تجمع (Meijers & Burger, 2017) مانند کمبود امکانات و تسهیلات شهری شوند. بااین‌همه، یافته‌ها، تا حدودی از فرضیاتی که درباره تاب‌آوری ساختارهای چندمرکزیتی در اسپانیا (Gurría-Gascón et al., 2024) و لهستان (Lorens & Gołędzinowska, 2023) مطرح شده، پشتیبانی می‌کند. به‌طوری‌که تعاملات اقتصادی و روابط فضایی در منطقه، پس از شوک ناشی از همه‌گیری کووید-۱۹، از الگویی متمرکزگرا در حین آن، به ساختار غیرمتمرکز پیش از سال ۲۰۲۰ بازگشت. ازاین‌رو، سنجش اثرات اندازه قرضی و سایه‌های تجمع و همچنین تاب‌آوری این مراکز کوچک و متوسط در مناطق پیراشهری در ابرمنطقه تهران-کرج-قزوین می‌تواند نتایج پژوهش حاضر را تکمیل کند.

علاوه‌براین، داده‌های لنداسکن مبتنی بر تراکم-های جمعیت و اشتغال هستند. در دوران همه‌گیری، بخش قابل توجهی از شاغلین به واسطه دورکاری، بیشترین ساعات روز را در منازل خود سپری می‌کردند. بدین ترتیب، روند چندمرکزیتی رو به تمرکز پیش رفت. به عبارتی، بخش قابل توجهی از نیروی کار مراکز اصلی در مراکز فرعی پیراشهری فعالیت دارند. ازاین‌رو می‌توان این طور نتیجه گرفت که چندمرکزیتی عملکردی منطقه کلان‌شهری تهران به-مراتب بیشتر از چندمرکزیتی مورفولوژیک آن است.

به‌علاوه، به نظر می‌رسد مشابه یافته‌های وانگ و همکارانش (۲۰۲۳) در چین، اثرات خوشه‌ای شدن، نیروی محرک رشد شهری و عامل مهمی در شکل‌گیری چندمرکزیتی در این منطقه است. در طول دوره‌های سریع شهرنشینی و صنعتی‌شدن در منطقه کلان‌شهری تهران، ساخت مراکز و شهرک-های صنعتی به‌عنوان عاملی مؤثر برای تسهیل دوره گذار به سوی ساختار فضایی منطقه‌ای چندمرکزیتی عمل کرده است. با وجود این، در دوره‌هایی که شهرنشینی و صنعتی‌شدن کاهش یافته، تغییرات اندازه جمعیت شهری و توسعه متعادل مراکز شهری



پور و تدین، ۱۳۹۴) صرفاً از داده‌های جابه‌جایی مسافران و شاغلین برای تحلیل ساختار فضایی منطقه کلان‌شهری تهران استفاده کردند. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی، به سنجش شاخص‌های ارتباطی و جریانی در یک مقیاس فضایی و عملکردی بزرگ‌تر و با استفاده از داده‌های جریانی دیگر مانند سرمایه و اطلاعات که ویژه مناطقی در چنین سطحی است، پردازند. یافته‌های این پژوهش‌ها می‌تواند وجوه دیگری از ساختار منطقه را به خصوص در زمینه توسعه زیرساخت-های فناورانه به سیاست‌گذاران نشان دهد.

جدید بیشتر تحت تأثیر محرک‌های سکونت، خدماتی و مصرفی بوده است. با وجود این، در پژوهش کنونی، تأکید بر سنجش چندمرکزی یک ابرمنطقه چندمیلیونی با استفاده از کلان‌داده-هاست، بنابراین درک عمیق‌تر نیروها و محرک‌هایی که موجب شکل‌گیری چنین پدیده فضایی شده‌اند، در پیشبرد سیاست‌های فضایی در این منطقه راه-گشاست. همچنین، مطالعه پیش رو به دلیل عدم دسترسی به داده‌های جریانی موثق، تنها بر متغیرهای مورفولوژیک متمرکز شده و بنابراین از سنجش شاخص‌های عملکردی و ارتباطی صرف نظر کرده است. افزون بر این، مطالعات مشابه (داداش





منابع

- Abbasifallah, V., Rajaei, S. A., Ziari, K., & Mansourian, H. (2024). Explain of spatial structure changes of Tehran metropolitan region with emphasis on housing prices. *Safe City*, 7(2), 73-100.
[10.22034/isp-drc.2024.2019606.1075](https://doi.org/10.22034/isp-drc.2024.2019606.1075)
- Agarwal, A., Giuliano, G., & Redfearn, C. L. (2012). Strangers in our midst: the usefulness of exploring polycentricity. *The Annals of Regional Science*, 48, 433-450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00168-012-0497-1>
- Alidadi, M., & Dadashpoor, H. (2017). Beyond monocentricity: examining the spatial distribution of employment in Tehran metropolitan region, Iran. *International Journal of Urban Sciences*, 22(1), 38-58. DOI: <https://doi.org/10.1080/12265934.2017.1329024>
- Arribas-Bel, D., Ramos, A., & Sanz-Gracia, F. (2015). The size distribution of employment centers within the US Metropolitan Areas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 42(1), 23-39. DOI: <https://doi.org/10.1068/b39038>
- Brezzi, M., & Veneri, P. (2015). Assessing Polycentric Urban Systems in the OECD: Country, Regional and Metropolitan Perspectives. *European Planning Studies*, 23(6), 1128-1145.
- DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2014.905005>
- Cardoso, R. V., & Meijers, E. (2021). Metropolisation: The winding road toward the citification of the region. *Urban Geography*, 42(1), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723638.2020.1828558>
- Caset, F., Derudder, B., Van Migerode, C., & De Wit, B. (2022). Mapping the spatial conditions of polycentric urban development in Europe: An open-source software tool. *Geographical Analysis*, 54(3), 583-598. DOI: <https://doi.org/10.1111/gean.12313>
- Cowell, M. (2010). Polycentric regions: comparing complementarity and institutional governance in the San Francisco Bay area, the Randstad and Emilia-Romagna. *Urban Studies*, 47(5), 945-965. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098009353074>
- Dadashpoor, H., & Tadayon, S. (2015). Identification of the homogeneous flow Zones based on Spatial Motilities and Trip Patterns in Tehran Metropolitan region. *Motaleate Shahri*, 4(14), 61-76. (In Persian)
https://urbstudies.uok.ac.ir/article_13013.html?lang=fa
- Dadashpoor, H., & Alidadi, M. (2018). Morphological Analysis of Population Distribution in Tehran



- Metropolitan Region (TMR). *Human Geography Research*, 50(1), 109-125.
DOI: [10.22059/jhgr.2016.59086](https://doi.org/10.22059/jhgr.2016.59086)
- Dadashpoor, H., & Saeidi Shirvan, S. (2019). Measuring functional polycentricity developments using the flow of goods in Iran: a novel method at a regional scale. *International Journal of Urban Sciences*, 23(4), 551-567. DOI: <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1556114>
- Derudder, B., & Taylor, P. (2016). Change in the world city network, 2000-2012. *The Professional Geographer*, 68(4), 624-637. DOI: <https://doi.org/10.1080/00330124.2016.1157500>
- Derudder, B., Liu, X., Wang, M., Zhang, W., Wu, K., & Caset, F. (2021). Measuring polycentric urban development: The importance of accurately determining the 'balance' between 'centers'. *Cities*, 111, 103009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103009>
- Dijkstra, L., Poelman, H., & Veneri, P. (2019). The EU-OECD definition of a functional urban area. DOI: <https://doi.org/10.1787/d58cb34d-en>
- Doorudinia, A., Dadashpoor, H., & Meshkini, A. (2025). Wrong polycentricity-right polycentricity?: Insights from an empirical study in Tehran metropolitan region, Iran. *Papers in Regional Science*, 104(1), 100075. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pirs.2024.100075>
- Duranton, G., & Puga, D. (2015). Urban land use. In *Handbook of regional and urban economics* (Vol. 5, pp. 467-560). Elsevier.
<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:reghes:5>
- Forstall, R. L., & Greene, R. P. (1997). Defining job concentrations: the Los Angeles case. *Urban Geography*, 18(8), 705-739. DOI: <https://doi.org/10.2747/0272-3638.18.8.705>
- Ginsburg, N. S., Koppel, B., & McGee, T. G. (1991). *The extended metropolis: Settlement transition in Asia*. University of Hawaii Press.
- Giuliano, G., & Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles region. *Regional science and urban economics*, 21(2), 163-182. DOI: [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(91\)90032-I](https://doi.org/10.1016/0166-0462(91)90032-I)
- Giuliano, G., Redfearn, C., Agarwal, A., Li, C., & Zhuang, D. (2007). Employment concentrations in Los Angeles, 1980-2000. *Environment and planning A*, 39(12), 2935-2957.
- Guadeloupe, C., Martinique, G., & Madeira, A. (2020). Polycentric Territorial Structures and Territorial Cooperation.



- Gurriá-Gascón, J. L., Sánchez-Martín, J. M., Ruiz-Labrador, E. E., & Hernández-Carretero, A. M. (2024). Polycentric urban system, territorial development and resilience of the rural population (Extremadura, Spain). *Urban Science*, 8(3), 144. DOI: <https://doi.org/10.3390/urbansci8030144>
- Haghani, S., Lotfi, S. and Anamoradnejad, R. (2020). Analyzing the Spatial Structure of Urban Region of Central Mazandaran with Emphasis on Social Network. *Geography and Urban Space Development*, 7(1), 77-55. (In Persian) DOI: 10.22067/gusd.v7i1.84164
- Hajrasouliha, A. H., & Hamidi, S. (2017). The typology of the American metropolis: monocentricity, polycentricity, or generalized dispersion?. *Urban geography*, 38(3), 420-444. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723638.2016.1165386>
- Hall, P. (2009). Looking Backward, Looking Forward: The City Region of the Mid-21st Century. *Regional Studies*, 43(6), 803-817. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315874968>
- Hall, P. G., & Pain, K. (Eds.). (2006). *The polycentric metropolis: learning from mega-city regions in Europe*. Routledge.
- He, X., Cao, Y., & Zhou, C. (2021). Evaluation of polycentric spatial structure in the urban agglomeration of the pearl river delta (PRD) based on multi-source big data fusion. *Remote Sensing*, 13(18), 3639. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13183639>
- He, X., Zhu, Y., Chang, P., & Zhou, C. (2022). Using tencent user location data to modify night-time light data for delineating urban agglomeration boundaries. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 860365. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.860365>
- Hennig, B. D. (2019). The growth and decline of urban agglomerations in Germany. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 51(6), 1209-1212. DOI: <https://doi.org/10.1177/0308518X18798835>
- Hui, E. C., Li, X., Chen, T., & Lang, W. (2020). Deciphering the spatial structure of China's megacity region: A new bay area—The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in the making. *Cities*, 105, 102168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.10.011>
- Huo, Z., Shang, Y., Zhou, S., Meng, M., Balsalobre Lorente, D., & Ma, X. (2024). Monocentricity or polycentricity? The study on the enterprise environmental performance of urban spatial structure. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 1-31. DOI:



- <https://doi.org/10.1080/13547860.2024.2370152>
- Kloosterman, R. C., & Lambregts, B. (2007). Between accumulation and concentration of capital: Toward a framework for comparing long-term trajectories of urban systems. *Urban Geography*, 28(1), 54-73. DOI: <https://doi.org/10.2747/0272-3638.28.1.54>
- Krehl, A. (2015). Urban spatial structure: An interaction between employment and built-up volumes. *Regional Studies, Regional Science*, 2(1), 290-308. DOI: <https://doi.org/10.1080/21681376.2015.1034293>
- Krehl, A. (2018). Urban subcentres in German city regions: Identification, understanding, comparison. *Papers in Regional Science*, 97, S79-S105. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12235>
- Lang, W., Chen, T., Chan, E. H., Yung, E. H., & Lee, T. C. (2019). Understanding livable dense urban form for shaping the landscape of community facilities in Hong Kong using fine-scale measurements. *Cities*, 84, 34-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.07.003>
- Li, K., Liu, Z., Shi, S., Di, K., Gong, W., & Li, H. (2024). The driving effect of polycentric city network on the coordinated development of regional economy in Bohai Rim region of China. *Heliyon*, 10(23). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40173>
- Li, W., Schmidt, S., & Siedentop, S. (2024). Can polycentric urban development simultaneously achieve both economic growth and regional equity? A multi-scale analysis of German regions. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 56(2), 525-545. DOI: <https://doi.org/10.1177/0308518X231191943>
- Li, W., Sun, B., Zhang, T., & Zhang, Z. (2022). Polycentric spatial structure and its economic performance: Evidence from meta-analysis. *Regional Studies*, 56(11), 1888-1902. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.2012142>
- Li, Y., & Phelps, N. A. (2017). Knowledge polycentricity and the evolving Yangtze River Delta megalopolis. *Regional Studies*, 51(7), 1035-104. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1240868>
- Limtanakool, N., Schwanen, T., & Dijst, M. (2009). Developments in the Dutch Urban System on the Basis of Flows. *Regional Studies*, 43(2), 179-196. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400701808832>
- Liu, X., & Wang, M. (2016). How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities. *Landscape and*



- urban planning, 151, 10-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.007>
- Liu, X., Derudder, B., & Wang, M. (2018). Polycentric urban development in China: A multi-scale analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 953-972. DOI: <https://doi.org/10.1177/2399808317690155>
- Liu, X., Derudder, B., & Wu, K. (2016). Measuring polycentric urban development in China: An intercity transportation network perspective. *Regional Studies*, 50(8), 1302-1315. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2015.1004535>
- Lorens, P., & Gołędzinowska, A. (2022). Developing Polycentricity to Shape Resilient Metropolitan Structures: The Case of the Gdansk-Gdynia-Sopot Metropolitan Area. *Urban Planning*, 7(3), 159-171. DOI: <https://doi.org/10.17645/up.v7i3.5502>
- Lunardon, D., & Caporali, C. (2024). Polycentric Urban Regions in Italy. A Novel Assessment. *CONFLICT SCENARIOS AND TRANSITIONS*.
- Malý, J. (2019). Polycentric urban systems and territorial cohesion. *Territorial cohesion: The urban dimension*, 69-89. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03386-6_4
- Mazzamurro, M., & Guo, W. (2024). Network-entropy-based morphological polycentricity in 1851-1881 England and Wales. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 23998083241237308. DOI: <https://doi.org/10.1177/23998083241237308>
- McDonald, J. F., & Prather, P. J. (1994). Suburban employment centres: The case of Chicago. *Urban studies*, 31(2), 201-218. DOI: <https://doi.org/10.1080/00420989420080201>
- McKee, J., Weber, E., Laverdiere, M., Moehl, J., Swan, B., Yang, H., Reith, A., Urban, M., Hauser, T., Rose, A., Roddy, D., Pyle, J., & O'Shell, M. A. (2020). *LandScan HD Iran v1.0 Version v1.0* [raster digital data]. Oak Ridge National Laboratory. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.48690/1524217>
- McMillen, D. P., & Smith, S. C. (2003). The number of subcenters in large urban areas. *Journal of urban economics*, 53(3), 321-338. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0094-1190\(03\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0094-1190(03)00026-3)
- Meijers, E. J., Burger, M. J., & Hoogerbrugge, M. M. (2016). Borrowing size in networks of cities: City size, network connectivity and metropolitan functions in Europe. *Papers*



- in regional science, 95(1), 181-199. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12181>
- Meijers, E., & Sandberg, K. (2021). Territorial cohesion, polycentrism and regional disparities: Revisiting an unsolved debate. In *EU Cohesion Policy and Spatial Governance* (pp. 127-141). Edward Elgar Publishing. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781839103582.00020>
- Meijers, EJ., Hoogerbrugge, MM., & Hollander, K. (2012). A strategic knowledge and research agenda on polycentric metropolitan areas. European Metropolitan network Institute. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:8e7a5df1-311b-408a-bf5b-834d48ce7e7f>
- Möck, M., & Küpper, P. (2020). Polycentricity at its boundaries: consistent or ambiguous?. *European Planning Studies*, 28(4), 830-849. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1666802>
- Modarres, A. (2011). Polycentricity, commuting pattern, urban form: The case of Southern California. *International Journal of Urban and Regional Research*, 35(6), 1193-1211. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2010.00994.x>
- Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23.
- Moshfeghi, V., & Rafiyan, M. (2016). Evaluating functional Polycentricity, Case Study; Mazandaran City Network. *Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 20(1):207-234 (In Persian). <http://hmsmp.modares.ac.ir/article-21-11757-fa.html>
- Münter, A., & Volgmann, K. (2021). Polycentric regions: Proposals for a new typology and terminology. *Urban Studies*, 58(4), 677-695. <https://doi.org/10.1177/0042098020931695>
- Musterd, S., & van Zelm, I. (2001). Polycentricity, households and the identity of places. *Urban Studies*, 38(4), 679-696. DOI: <https://doi.org/10.1080/00420980120035286>
- Nadin, V., & Zonneveld, W. (2020). Introducing the Randstad: A polycentric metropolis. In *The Randstad* (pp. 3-25). Routledge. DOI: https://doi.org/10.4324/9780203383346-2_chapterpdf
- Nelson, G. D. (2021). Communities, complexity, and the 'conchoration': Network analysis and the ontology of geographic units. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 112(4), 351-369. DOI: <https://doi.org/10.1111/tesg.12400>
- Nelson, G. D., & Rae, A. (2016). An economic geography of the United States:



- From commutes to megaregions. *PloS one*, 11(11), e0166083. DOI: [10.1371/journal.pone.0166083](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166083)
- Pan, H., Yao, Y., Ming, Y., Hong, Z., & Hewings, G. (2024). Whither less is more? Understanding the contextual and configurational conditions of polycentricity to improve urban agglomeration efficiency. *Cities*, 149, 104884. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104884>
- Priyashani, N., Kankanamge, N., & Yigitcanlar, T. (2023). Multisource open geospatial big data fusion: application of the method to demarcate urban agglomeration footprints. *Land*, 12(2), 407. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12020407>
- Rauhut, D. (2017). Polycentricity – one concept or many? *European Planning Studies*, 25(2), 332–348. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2016.1276157>
- Redfearn, C. L. (2007). The topography of metropolitan employment: Identifying centers of employment in a polycentric urban area. *Journal of urban economics*, 61(3), 519–541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jue.2006.08.009>
- Redfearn, C. L. (2009). Persistence in urban form: The long-run durability of employment centers in metropolitan areas. *Regional Science and Urban Economics*, 39(2), 224–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.regsci-urbeco.2008.09.002>
- Roca Cladera, J., Marmolejo Duarte, C. R., & Moix, M. (2009). Urban structure and polycentrism: Towards a re-definition of the sub-centre concept. *Urban Studies*, 46(13), 2841–2868. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098009346329>
- Sevtuk, A., & Amindarbari, R. (2021). Does metropolitan form affect transportation sustainability? Evidence from US metropolitan areas. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(8), 2385–2401. DOI: <https://doi.org/10.1177/2399808320971310>
- Siedentop, S., Fina, S., & Krehl, A. (2016). Greenbelts in Germany's regional plans—An effective growth management policy?. *Landscape and Urban Planning*, 145, 71–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.09.002>
- Taubenböck, H., Standfuß, I., Wurm, M., Krehl, A., & Siedentop, S. (2017). Measuring morphological polycentricity—A comparative analysis of urban mass concentrations using remote sensing data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 42–56. DOI:



- <https://doi.org/10.1016/j.com-penvurbsys.2017.01.005>
- Taylor, P., & Derudder, B. (2015). *World city network: a global urban analysis*. Routledge.
- Thomas, R., Schmidt, S., & Siedentop, S. (2022). Toward comparative polycentricity scores: Assessing variations in regional delineation and subcenter identification. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(6), 1597-1611. DOI: <https://doi.org/10.1177/23998083211065765>
- Turok, I., & Mykhnenko, V. (2007). The trajectories of European cities, 1960-2005. *Cities*, 24(3), 165-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2007.01.007>
- Veneri, P., & Burgalassi, D. (2012). Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. *European Planning Studies*, 20(6), 1017-1037. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654313.2012.673566>
- Wang, M., Derudder, B., & Liu, X. (2019). Polycentric urban development and economic productivity in China: A multiscalar analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 51(8), 1622-1643. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.2012142>
- Wasserman S and Faust K (1994) *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Structural analysis in the social sciences. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 8.
- Waterhout, B. A. S., Zonneveld, W., & Meijers, E. (2005). Polycentric development policies in Europe: Overview and debate. *Built Environment* (1978-), 163-173. <https://www.jstor.org/stable/i23289405>
- Wu, C., Smith, D., & Wang, M. (2021). Simulating the urban spatial structure with spatial interaction: A case study of urban polycentricity under different scenarios. *Computers, Environment and Urban Systems*, 89, 101677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.com-penvurbsys.2021.101677>
- Wu, Y., Shi, K., Cui, Y., Liu, S., & Liu, L. (2023). Differentiated effects of morphological and functional polycentric urban spatial structure on carbon emissions in China: An empirical analysis from remotely sensed nighttime light approach. *International Journal of Digital Earth*, 16(1), 532-551. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2023.2176558>
- Xu, J., & Yeh, A. (2011). Governance and planning of mega-City regions. *An International Comparative*



- Perspective; Routledge Studies in Human Geography: Devon, UK.
- Yue, W., Wang, T., Liu, Y., Zhang, Q., & Ye, X. (2019). Mismatch of morphological and functional polycentricity in Chinese cities: An evidence from land development and functional linkage. *Land Use Policy*, 88, 104176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104176>
- Zebardast, S. & Shahabi Shahmiri., M. (2013). Measuring Polycentricity of conurbation in Iran; Case Study of Amol-Babol-Ghaemshahr-Sari in Mazandaran. *Motaleate Shahri*, 2(8), 47-58. (In Persian)
- Zebardast, S. & Shahabi Shahmiri., M. (2013). Analyzing the capability of synergic development in polycentric urban regions case study: Metropolitan area, The Central Mazandaran (Amol, Babol, Ghaemshahr, Sari). *Regional Planning*, 4(16), 33-48. (In Persian)
- Zhang, T., Sun, B., & Li, W. (2017). The economic performance of urban structure: From the perspective of Polycentricity and Monocentricity. *Cities*, 68, 18-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.05.002>
- Zhang, W., Derudder, B., Liu, X., Sun, B., & Wang, Y. (2022). Defining 'centres' in analyses of polycentric urban regions: the case of the Yangtze River Delta. *Regional Studies*, 56(1), 87-98. <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1912725>
- Zhang, X. (2018). Multiple creators of knowledge-intensive service networks: A case study of the Pearl River Delta city-region. *Urban Studies*, 55(9), 2000-2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/00420980177008>
- Zarghami, S., Tavakolinia, J., & Sarafi, M. (2022). Measuring the Spatial Structure of Metropolitan Regions from the Perspective of Economic Synergy Potentials, case study: Tehran Metropolitan Region. *Human Geography Research*, 54(3), 1059-1081. DOI: [10.22059/jhgr.2021.323180.1008292](https://doi.org/10.22059/jhgr.2021.323180.1008292)