

Spatio-Temporal Analysis of Rural Population Distribution in Alborz Province Using Advanced Spatial Autocorrelation Models

Jafar Mirkatouli¹✉, Fatemeh Gharehghashi² , Mostafa Ariankia³

1. (Corresponding Author) Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Email: g.mirkatouli@gu.ac.ir

2. Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran

Email: gharghashifateme@gmail.com

3. Department of Human Geography and Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: mostafaariankia@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

3 April 2026

Received in revised form:

9 June 2026

Accepted:

4 July 2026

Available online:

17 August 2026

Keywords:

Alborz Province,
Rural Population
Distribution,
Spatio-Temporal Analysis,
Spatial Autocorrelation,
Moran's I,
Spatial Statistical Models.

ABSTRACT

Uneven population distribution, particularly in developing countries, creates challenges such as inequality in access to infrastructure and public services, as well as imbalance in regional development. Alborz Province, located on the outskirts of the capital and characterized by rapid population growth in recent years, is considered a suitable case for examining spatial population changes. Accordingly, this study aims to analyze the spatio-temporal dynamics of rural population distribution in Alborz Province over the period 2011 to 2016, using advanced spatial autocorrelation models. This study is applied in objective and descriptive-analytical in methodology. The required data were extracted from the General Population and Housing Census for the two specified periods and processed in a Geographic Information System (GIS) environment. For data analysis, various spatial statistical methods were employed, including the nearest neighbor index, local spatial autocorrelation, the Getis-Ord Gi* index, and kriging interpolation. The findings indicate that the rural population distribution in the province follows a clustered and uneven pattern. High-value clusters (hot spots) are mainly concentrated around the counties of Karaj, Savojbolagh, Nazarabad, and Eshtehard, while low-value clusters (cold spots) are dispersed in other areas. Although the intensity of spatial autocorrelation has somewhat decreased at the macro level, the enduring spatial stability of major population centers over the study period indicates continued spatial inequality. This study emphasizes the need for a place-based approach in future planning to achieve a more equitable distribution of population and services in Alborz Province.

Citation: Mirkatouli, J., Gharehghashi, F., & Ariankia, M. (2025). Spatio-Temporal Analysis of Rural Population Distribution in Alborz Province Using Advanced Spatial Autocorrelation Models. *Geographical planning of space quarterly journal*, 16 (2), 123-141.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.566936.3883>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Uneven population distribution is a major concern in spatial planning because the concentration of population, infrastructure, employment, and services in particular locations can reinforce territorial inequalities and weaken balanced regional development. Rural population distribution is especially important because rural settlements are embedded in wider systems of urban, economic, transportation, and environmental relationships. In Iran, the spatial organization of rural population is characterized by considerable variation among regions, while rapid urbanization, industrialization, and changing demographic structures have increased the need to understand how rural settlements are organized across space and how these patterns evolve over time. Alborz Province provides a particularly significant setting for such an analysis because of its proximity to the Tehran metropolitan area, its strategic communication corridors, and the interaction of rural settlements with urban, industrial, agricultural, and service functions. This study analyzes the spatio-temporal dynamics of rural population distribution in Alborz Province during the 2011–2016 period. The central question is how spatial autocorrelation structures explain changes in the distribution of rural population and what patterns of clustering, concentration, or spatial differentiation can be identified between the two census periods? The analytical perspective is grounded in spatial organization, central place theory, growth pole theory, cumulative causation, place-based development, and spatial dependence. Access to services and economic activities can attract population toward particular centers, while infrastructure, employment opportunities, and accumulated development advantages may reinforce concentration. At the same time, the first law of geography and the concept of spatial autocorrelation suggest that nearby settlements tend to be more closely related than distant settlements. Therefore, examining population distribution requires methods capable of identifying both general spatial structure and localized clusters.

The study contributes to this discussion by integrating several spatial statistical techniques rather than relying on a single indicator. The combined use of nearest-neighbor analysis, Global Moran's I, Local Indicators of Spatial Association (LISA), Getis-Ord G_i^* , and ordinary kriging makes it possible to examine the spatial structure of rural population from complementary perspectives. This methodological combination helps distinguish the geometry of settlement locations from the concentration of population values and allows persistent hot spots, cold spots, spatial outliers, and continuous population intensity to be identified.

Methodology

This applied research employed a descriptive-analytical methodology. The population comprised all inhabited rural settlements in Alborz Province recorded in the 2011 and 2016 General Population and Housing Censuses. Census data recorded 393 settlements in 2011 and 332 in 2016. A complete enumeration approach was employed, encompassing all settlements for which population and spatial data were available. Spatial analyses were conducted in ArcGIS 10.8 using Spatial Statistics and Geostatistical Analyst. The analysis involved several complementary stages. First, the mean center, population-weighted mean center, standard distance, and directional distribution ellipse assessed geographic center, concentration or dispersion, orientation, and spatial elongation. Second, the Average Nearest Neighbor (ANN) index was applied to determine whether settlement patterns were clustered, random, or regular. The nearest-neighbor ratio, Z-score, and p-value assessed significance. Third, global and local spatial autocorrelation were examined. Global Moran's I assessed positive or negative spatial autocorrelation in rural population. Spatial relationships were defined utilizing Euclidean distance and an inverse-distance spatial weight matrix, with a 20,000-meter threshold excluding settlements beyond this distance. Row standardization ensured the comparability of spatial weights, and the same configuration was adopted for both census

years. LISA identified High-High, Low-Low, High-Low, and Low-High associations and distinguished significant local clusters from nonsignificant locations. Fourth, the Getis-Ord G_i^* statistic identified statistically significant hot spots and cold spots of rural population. Finally, ordinary kriging estimated continuous spatial population intensity using a spherical variogram model with an approximate range of 18,000 meters. Model performance was evaluated through cross-validation using Mean Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE), Average Standard Error (ASE), Mean Standardized Error (MSE), and Root Mean Square Standardized Error (RMSSE). ME and MSE values close to zero and RMSSE close to one indicated acceptable model performance. This framework enabled systematic comparison of rural settlement patterns and population distribution between census years directly.

Results and Discussion

The descriptive spatial analysis indicates a stable organization of rural population. The center of the rural settlement points remained stable in 2011 but shifted northward in 2016, whereas the population-weighted center remained near the central part of the province in both periods. This stability suggests that, despite changes in the number and location of inhabited settlements, the population mass did not experience a geographic relocation. Standard-distance analysis indicates that population is more concentrated than settlement points. The highest population densities are associated with central, northwestern, and southwestern parts of the province. The directional distribution illustrates a northeast-southwest orientation, which remained stable, with slight contraction in 2016. The ANN results provide evidence of clustering in the arrangement of rural settlements. The observed mean distance among settlements was approximately 1,407 meters in 2011 and 1,827 meters in 2016, compared with expected distances of about 2,063 and 2,636 meters, respectively. The nearest-neighbor ratios were 0.682 and 0.693, while the Z-scores were -13.246 and -10.199,

with p-values of 0.000 in years. Rural settlements therefore exhibited a clustered pattern in census periods. This persistence indicates that settlement locations are strongly organized rather than randomly distributed across the provincial territory. Global Moran's I confirms that rural population values exhibit significant positive spatial autocorrelation. Moran's I increased from 0.065 in 2011 to 0.114 in 2016, while the expected values were -0.00255 and -0.00302. The Z-scores were 4.312 and 4.134, respectively, and the p-value was 0.000 in both periods. Thus, the Moran's I values were higher than expected under spatial randomness. Rural settlements with relatively high population values tended to be located near other high-value settlements, while low-value settlements tended to occur near other low-value settlements. The increase in Moran's I indicates a strengthening of positive spatial association provincially between the two periods. Neighboring settlements therefore participate in a shared system.

The LISA results provide a more comprehensive picture of local spatial organization. In 2011, 21 settlements, (5.34 percent), formed High-High clusters, while 15 settlements, or 3.82 percent, formed Low-Low clusters. There were also 6 High-Low and 8 Low-High locations. In 2016, the number of High-High settlements declined to 18, whereas Low-Low settlements increased to 19. High-Low and Low-High categories included 7 and 6 settlements, respectively. High-High clusters were mainly associated with Karaj, Savojbolagh, Nazarabad, Eshtehard, and parts of Taleqan. These persistent clusters suggest that the underlying spatial structure remained stable despite moderate changes in local clustering. The Getis-Ord G_i^* analysis supports the LISA findings by identifying persistent hot spots of high rural population values. In 2011, hot spots were concentrated mainly in the central and eastern parts of the province, particularly around Karaj and Savojbolagh. In 2016, the concentration of hot spots shifted slightly toward Savojbolagh, but the overall spatial pattern remained stable. The results indicate that high population values were strongly associated with major urban and economic

centers, while cold spots were dispersed elsewhere. Kriging interpolation represents the continuous population surface. The results show that the highest estimated rural population intensity was concentrated along the Hashtgerd-Nazarabad-Chahardangeh-Karaj-Mahdasht corridor. In 2016, the southern Karaj hot spot became smaller, while additional high-intensity areas appeared along the Hashtgerd-Chahardangeh axis. The spherical variogram model had an approximate range of 18,000 meters, indicating meaningful spatial dependence among nearby population observations. Cross-validation exhibits acceptable performance in both years. Mean Error was 15.27 in 2011 and 18.64 in 2016; RMSE was 1392.75 and 1486.32; ASE was 1365.41 and 1452.18; MSE was 0.009 and 0.012; and RMSSE was 1.019 and 1.024, respectively. These results indicate limited systematic bias and reasonable agreement between estimated and observed errors. Taken together, the results from ANN, Moran's I, LISA, Gi*, and kriging reveal a consistent spatial structure. ANN demonstrates that rural settlement locations are clustered; Moran's I reveals that population values are positively and significantly autocorrelated; LISA identifies local high-high and low-low associations; Gi* detects persistent hot spots and cold spots; and kriging reveals a continuous corridor of relatively high population intensity. Together, these methods show that rural population in Alborz has a clustered, spatially unequal organization rather than a random pattern. The findings can be interpreted through spatial dependence and place-based development. Tobler's first law suggests that neighboring settlements influence one another through the exchange of population, services, employment, infrastructure, and economic activities. The proximity of Alborz to the Tehran metropolitan area is particularly important. Functional relationships among Tehran, Karaj, and surrounding settlements connect rural areas to metropolitan labor markets, services, transportation networks, and industrial activities. Industrial estates, communication corridors, employment opportunities, and improved accessibility

can increase the attractiveness of settlements located near major centers and reinforce cumulative processes of spatial concentration. From the perspective of cumulative causation, areas with initial advantages in accessibility, infrastructure, employment, and services may continue to attract population, while less connected areas may experience weaker demographic capacity. Theoretical implications are relevant to the interpretation of differences among rural settlements. Central place theory accounts for the higher population capacity of settlements proximate to service centers and major urban nodes, while growth pole theory draws attention to the role of concentrated economic activities in generating wider spatial effects. Place-based development further suggests that planning responses should reflect each locality's assets and constraints rather than applying uniform interventions throughout the province. In this context, the persistence of high-value clusters indicates that spatial inequalities are reproduced through established territorial advantages. At the same time, the presence of low-low clusters indicates that some settlements remain outside the strongest circuits of population and economic interaction. The results consequently provide evidence for moving from distributional planning toward policies that recognize spatial relationships, connectivity, and differentiated development trajectories.

The comparison between 2011 and 2016 demonstrates the value of combining global and local indicators. Global statistics summarize the overall tendency toward spatial dependence, whereas LISA and Gi* reveal where that dependence is concentrated. Kriging adds another dimension by transforming discrete observations into a continuous representation of population intensity. Together, these methods reduce reliance on any single statistic and provide a comprehensive spatial reading of demographic organization.

Conclusion

This study examined the spatio-temporal dynamics of rural population distribution in Alborz Province between 2011 and 2016

using an integrated set of spatial statistical techniques. The results demonstrate that rural population and settlement locations are characterized by significant clustering, positive spatial autocorrelation, and persistent spatial inequality. The ANN results confirm clustered settlement patterns, while Global Moran's I demonstrates significant positive autocorrelation and an increase in spatial association between the two census periods. LISA and Gi* identify persistent high-value concentrations, especially around Karaj, Savojbolagh, Nazarabad, and Eshtehard, while kriging highlights the Hashtgerd-Nazarabad-Chahardangeh-Karaj-Mahdasht corridor as a major axis of population intensity. The principal finding is the relative stability of the province's spatial population structure despite changes in the number of inhabited rural settlements and moderate changes in local cluster intensity. The persistence of major population concentrations suggests that the forces supporting spatial concentration remained active throughout the study period. These forces are likely associated with the metropolitan position of Alborz, accessibility, employment, services, industrial development, and transportation infrastructure. However, this study identifies spatial associations rather than estimating the independent causal contribution of each factor. From a planning perspective, the findings support a place-based approach to rural and regional development. Policies should recognize that diverse rural settlements occupy different positions within the provincial spatial system and therefore require differentiated interventions. Areas characterized by persistent high-value clusters may need policies addressing development pressure, infrastructure capacity, and balanced relations with metropolitan centers, while low-value and relatively isolated areas may require improved access to services, transportation, employment opportunities, and essential infrastructure. The study has several limitations. The analysis is based on only two census periods, which restricts the ability to identify longer-term demographic trajectories. In addition, the research focuses primarily on spatial patterns and

does not directly model economic, social, environmental, migration, or accessibility variables. Future studies should therefore incorporate longer time series, more detailed socioeconomic indicators, and explanatory spatial econometric or geographically weighted models. Such approaches could clarify the mechanisms underlying spatial concentration and identify the relative contribution of metropolitan influence, infrastructure, employment, services, and environmental conditions.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

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 declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز با بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته خودهمبستگی فضایی

جعفر میرکتولی^۱ ✉، فاطمه قره‌قاشی^۲ , مصطفی آریان‌کیا^۳

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران رایانامه: g.mirkatouli@gu.ac.ir

۲- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. رایانامه: gharghashifateme@gmail.com

۳- گروه جغرافیای انسانی و برنامه‌ریزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mostafaariankia@ut.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: استان البرز، پراکنش جمعیت روستایی، تحلیل فضایی-زمانی، خودهمبستگی فضایی، شاخص موران، مدل‌های آمار فضایی.	توزیع نامتوازن جمعیت، به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، چالش‌هایی مانند نابرابری در دسترسی به زیرساخت‌ها و خدمات عمومی و عدم تعادل در توسعه منطقه‌ای ایجاد می‌کند. استان البرز، واقع در حاشیه پایتخت و با رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر، نمونه‌ای مناسب برای بررسی تغییرات فضایی جمعیت محسوب می‌شود. از این‌رو هدف این پژوهش، تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز در بازه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ با بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته خودهمبستگی فضایی است. این مطالعه از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی است. داده‌های موردنیاز از سرشماری عمومی نفوس و مسکن در دو دوره مذکور استخراج و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد پردازش قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های مختلف آمار فضایی شامل شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی، شاخص خودهمبستگی فضایی محلی، شاخص (Gi) و درونیابی به روش کریجینگ استفاده شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که پراکنش جمعیت روستایی استان از الگوی خوشه‌ای و نامتعادل تبعیت می‌کند. خوشه‌های با مقادیر بالا (نقاط داغ) عمدتاً در اطراف شهرستان‌های کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد و اشتهارد متمرکز شده‌اند، درحالی‌که خوشه‌های کم-کم (نقاط سرد) در سایر نواحی پراکنده هستند. اگرچه شدت خودهمبستگی فضایی در مقیاس کلان تا اندازه‌ای کاهش یافته، اما ثبات مکانی کانون‌های اصلی جمعیت در طول دهه مورد مطالعه حاکی از تداوم نابرابری فضایی است. این پژوهش بر لزوم اتخاذ رویکردی مکان محور در برنامه‌ریزی‌های آتی برای توزیع عادلانه‌تر جمعیت و امکانات در استان البرز تأکید دارد.
استناد: میرکتولی، جعفر؛ قره‌قاشی، فاطمه و آریان‌کیا، مصطفی. (۱۴۰۵). تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز با بهره‌گیری از مدل‌های پیشرفته خودهمبستگی فضایی. <i>مجله آمایش جغرافیایی فضا</i>، ۱۶ (۲)، ۱۶۲-۱۴۳. http://doi.org/10.30488/gps.2026.566936.3883	



مقدمه

با افزایش شتابان شهرنشینی در سطح جهانی، مسئله تحولات جمعیتی (مهبینی‌زاده و آسایش، ۱۴۰۰: ۹۵)، توزیع نابرابر جمعیت در نواحی مختلف به‌ویژه میان کشورهای پیشرفته و کشورهای در مسیر توسعه به‌عنوان یکی از مسائل مهم و اثرگذار در فرایند سیاست‌گذاری شناخته می‌شود (United Nations, 2019: 1, World Bank, 2020). با شتاب شهری شدن، صنعتی شدن (حسینی و آریان‌کیا، ۱۴۰۳: ۱۱۴)، و تغییر ساختار جمعیتی، بیش‌دقیق‌تری نسبت به ساختار فضایی سکونتگاه‌های روستایی و پویایی آن‌ها ضروری شده است. و موجب شده است که روندهای پژوهش درباره «الگوی فضایی سکونتگاه روستایی» از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ به‌طور چشمگیری گسترش یابد و موضوعاتی مانند سازمان فضایی روستاها، مکان‌یابی، استفاده از زمین و مکانیسم‌های محرک توسعه روستایی جزو محبوب‌ترین محورهای پژوهش قرار گیرند (Huang et al, 2024: 2). و ضرورت فهم عمیق‌تر از پراکنش فضایی جمعیت روستایی را برجسته شود (Yuan et al, 2024).

در ایران نیز، توزیع فضایی جمعیت روستایی و الگوهای مکانی سکونتگاه‌های روستایی (فیضی و همکاران، ۱۴۰۴: ۳). و الگوی استقرار جمعیت به‌صورت ناهماهنگ بین مناطق (میرکتولی و همکاران، ۱۴۰۴: ۲)، و شکاف مکانی و عدم تعادل در پراکنش جمعیتی روستایی به‌عنوان چالشی مهم در برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین مطرح است. این سکونتگاه‌ها در ایران علی‌رغم سیاست‌های توسعه متوازن، با نابرابری فضایی قابل‌توجهی مواجه‌اند (جمشیدی و همکاران، ۱۴۰۴: ۳۰). چنین نابرابری‌هایی در پراکنش جمعیت، پیامدهایی چون فشار فزاینده بر زیرساخت‌های شهری، افزایش هزینه‌های اداره و مدیریت شهرها، و تشدید نابرابری‌های منطقه‌ای در توسعه را به دنبال دارد (بدری و همکاران، ۱۴۰۵: ۴۱). چنین واقعیاتی نمایانگر آن است که علی‌رغم پیشرفت در تحلیل‌های آماری و فضایی، هنوز سهم‌بری بهینه از منابع فضایی روستایی در ایران محقق نشده است. استان البرز به دلیل موقعیت خاص خود در مجاورت کلان‌شهر تهران و تجربه تحولات جمعیتی سریع، با تغییراتی در الگوی استقرار جمعیت روستایی مواجه شده است. این تحولات می‌تواند زمینه‌ساز تمرکز جمعیت و نابرابری‌های فضایی در سطح سکونتگاه‌های روستایی باشد. از این‌رو، شناخت الگوهای فضایی-زمانی توزیع جمعیت روستایی در استان البرز برای برنامه‌ریزی فضایی و توسعه متوازن ضروری است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ و با بهره‌گیری از مدل‌های خودهمبستگی فضایی انجام شده است. از این‌رو سؤال اصلی پژوهش: ساختارهای خودهمبستگی فضایی چگونه تغییرات دینامیک پراکنش جمعیت روستایی استان البرز را طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ تبیین می‌کنند و این تغییرات چه الگوهایی از خوشه‌بندی یا واگرایی فضایی جمعیت را نشان می‌دهند؟

در ارتباط با تحلیل فضایی تراکم جمعیت روستایی پژوهش‌های بسیاری در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. که به‌صورت اختصار به مواردی از پژوهش‌های صورت گرفته اشاره می‌شود.

پژوهش قاسمی و قاسمی سیانی (۱۴۰۰)، نشان داد که مداخله دولت و سیاست‌های مرزی مانند تعطیلی بازارچه‌ها و ایجاد دیوار حائل موجب کاهش فعالیت اقتصادی، بیکاری و تخلیه روستاها شده و تمرکزگرایی در حمایت از مراکز جمعیتی، الگوی قطبی جریان‌های ارتباطی با مرکزیت زهک و زابل ایجاد کرده است. پژوهش امینی و اصلانی (۱۴۰۱)، نشان داد که باوجود تغییر اندک در حجم جمعیت استان اصفهان، ساختار جمعیتی روستاها تقریباً ثابت مانده و شاخص‌هایی مانند بعد خانوار، نسبت‌های جوانی و سواد در هر دو مقطع مؤثر بوده‌اند. نسبت بستگی، اشتغال و سال‌خوردگی جمعیت تأثیر متفاوتی بر تحولات ساختاری مناطق دشتی و بیابانی نسبت به کوهستانی داشته است. پژوهش محمدی (۱۴۰۲)، نشان داد که توزیع جمعیت روستایی استان قزوین خوشه‌ای است و عوامل اکولوژیک مانند

دسترسی به آب‌های زیرزمینی، فاصله از رودخانه‌ها و جهت شیب بیشترین نقش را در پراکنش جمعیت دارند. پژوهش باقری (۱۴۰۳)، نشان داد که در شهرستان مشکین‌شهر، تحلیل دهستانی نشان‌دهنده خوشه‌بندی روستاها بود، اما در سطح شهرستان خوشه‌بندی مشخصی مشاهده نشد. استقرار روستاها بیشتر تحت تأثیر عوامل جغرافیایی و طبیعی مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب و نزدیکی به رودخانه‌ها و شهرها قرار دارد. همچنین پژوهش اجتماعی (۱۴۰۴)، نشان داد که در شهرستان شيراز، توزیع جمعیت روستایی خوشه‌ای و نامتوازن است و عوامل محیطی و اقلیمی مانند ارتفاع، شیب، دشت‌های هموار، دما و بارش نقش مهمی در شکل‌گیری این الگوها داشته‌اند. خوشه‌بندی معنادار نشان‌دهنده توزیع نامتوازن زیرساخت‌ها و خدمات و تمرکز جمعیت در نواحی برخوردار است. نتایج پژوهش صالح‌پور و همکاران (۱۴۰۴)، مرتبط با توزیع فضایی جمعیت نشان می‌دهد که الگوی استقرار سکونتگاه‌های روستایی معمولاً به‌صورت خوشه‌ای و تحت تأثیر عوامل مختلف شکل می‌گیرد. در پژوهشی در استان ایلام نیز مشخص شد که توزیع جمعیت روستایی از الگوی خوشه‌ای تبعیت کرده و تمرکز آن بیشتر در اطراف شهر ایلام و نواحی شمالی و شمال غربی استان است. همچنین عواملی مانند دسترسی به خدمات، راه‌های ارتباطی، فاصله از مرکز استان و گسل‌های فعال نقش مؤثری در این الگو دارند.

در ارتباط با پژوهش‌های بین‌المللی اخیر درباره جمعیت روستایی و پراکنش سکونتگاه‌ها؛ پژوهش سون و لی^۱ (۲۰۲۱)، نشان داد که باوجود افزایش جمعیت در سطح ملی کره جنوبی، جمعیت مناطق روستایی کوچک کاهش قابل‌توجهی داشته و کاهش شدید عمدتاً در مناطق کوهستانی و با دسترسی محدود رخ داده است. محرک‌های رشد جمعیت خارجی تأثیر موقتی داشته‌اند. پژوهش ژانگ و همکاران^۲ (۲۰۲۱)، نشان داد که توزیع جمعیت روستایی در منطقه اقتصادی-اکولوژیکی دریایچه Poyang دارای همبستگی فضایی قابل‌توجه است و عوامل اقلیمی تأثیر بیشتری از عوامل اقتصادی دارند. تابش و بارش سالانه اثر منفی بر پراکنش جمعیت دارند و مدل‌های اقتصادی-فضایی با در نظر گرفتن وابستگی فضایی، تحلیل دقیق‌تری ارائه می‌کنند. پژوهش نیوشام و رو^۳ (۲۰۲۳)، نشان داد که کاهش جمعیت در اروپا ناهمگون است؛ مناطق شهری و پرجمعیت کاهش کمتری دارند، درحالی‌که مناطق روستایی کاهش سریع یا تثبیت‌شده دارند. مناطق کوچک و متوسط مسیرهای متنوعی از کاهش جمعیت دارند که اهمیت عوامل محلی را نشان می‌دهد. همچنین پژوهش لی^۴ و همکاران (۲۰۲۴)، نشان داد که سکونتگاه‌های روستایی حوضه رود زرد پراکنده و متعدد هستند و کیفیت و درجه جاده‌ها نقش مهمی در پراکندگی دارند. پراکندگی از غرب به شرق کاهش یافته و در مقیاس شهرستان نسبت به شهر، تجمع و پراکندگی محلی شدیدتر است. مدل‌های چند مقیاسی وزن‌دار جغرافیایی بهترین عملکرد را در تحلیل عوامل مؤثر داشته و عواملی مانند تراکم رودخانه، جاده و اقتصاد روستایی در مقیاس‌های مختلف تأثیر متفاوتی دارند.

مطالعات داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهند که پراکنش جمعیت روستایی تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل طبیعی، انسانی و محیطی قرار دارد. در مطالعات داخلی، عواملی مانند جغرافیا، دسترسی، شرایط اقتصادی و اقلیمی نقش مؤثری در شکل‌گیری الگوهای فضایی و زمانی جمعیت دارند و این الگوها در مقیاس‌های مختلف ناهمگون و متغیر است. پژوهش‌های بین‌المللی نیز تأکید می‌کنند که علاوه بر عوامل اقتصادی و محیطی، عوامل سیاسی، اجتماعی و زیرساختی نیز در توزیع جمعیت روستایی مؤثر هستند و الگوهای خوشه‌ای و قطبی غالب در پراکنش سکونتگاه‌ها مشاهده می‌شود. نوآوری این مطالعه در به‌کارگیری هم‌زمان چند مدل آمار فضایی (خودهمبستگی جهانی و محلی، تحلیل لکه داغ،

1 Son & Lee

2Zhang

3Newsham & Rowe

4Li

درون‌یابی مکانی) در دو دوره سرشماری و تمرکز بر جمعیت روستایی استان البرز است.

مبانی نظری

پراکنش جمعیت یکی از بنیادی‌ترین مؤلفه‌های سازمان فضایی سرزمین محسوب می‌شود و نحوه توزیع آن در فضا، بازتابی از تعامل پیچیده عوامل طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیرساختی است. در ادبیات جغرافیای انسانی و آمایش سرزمین، جمعیت نه صرفاً یک متغیر جمعیتی، بلکه عنصری فضایی تلقی می‌شود که الگوهای استقرار آن در طول زمان تحت تأثیر فرایندهای توسعه، جریان‌های مهاجرتی، تحولات اقتصادی و تغییرات کارکردی سکونتگاه‌ها قرار می‌گیرد. از این منظر، مطالعه پراکنش جمعیت روستایی فراتر از بررسی تغییرات عددی جمعیت بوده و در واقع تحلیل چگونگی سازمان‌یافتگی جمعیت در بستر فضا و زمان است (Dorward et al., 2023; Sang et al., 2024). در مطالعات جدید جمعیت‌شناسی فضایی نیز تأکید می‌شود که توزیع جمعیت نه یک پدیده صرفاً دموگرافیک، بلکه بازتابی از روابط ساختاری میان فضا، اقتصاد و نظام سکونتگاهی است (Alaimo et al., 2023). ریشه‌های نظری تحلیل پراکنش جمعیت را می‌توان در نظریه‌های کلاسیک سازمان فضایی جستجو کرد. نظریه مکان مرکزی کریستالر بر این فرض استوار است که سکونتگاه‌ها در قالب یک نظام سلسله‌مراتبی سازمان می‌یابند و دسترسی به خدمات و فعالیت‌های اقتصادی موجب جذب و تمرکز جمعیت در برخی نقاط می‌شود (ریاحی و همکاران، ۱۴۰۱). در ادامه، نظریه قطب رشد پرو و نظریه علیت تراکمی میردال نشان دادند که توسعه در فضا به صورت متوازن توزیع نمی‌شود، بلکه برخی نواحی به دلیل برخورداری از مزیت‌های اولیه، سرمایه، زیرساخت و دسترسی بهتر، توان بیشتری در جذب جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی پیدا می‌کنند. بر اساس این دیدگاه، تفاوت‌های فضایی در توزیع جمعیت نتیجه فرایندهای انباشتی توسعه است و تمرکز یا کاهش جمعیت در مناطق مختلف، محصول سازوکارهای درونی نظام فضایی محسوب می‌شود. یافته‌های جدید در حوزه توسعه منطقه‌ای نیز همچنان بر تداوم نابرابری‌های فضایی و شکل‌گیری «مناطق جامانده» در نتیجه فرایندهای توسعه نامتوازن تأکید دارند (Benner et al., 2024).

در دهه‌های اخیر، با ظهور رویکردهای نوین توسعه منطقه‌ای و نظریه توسعه مبتنی بر مکان^۱، توجه پژوهشگران از تبیین‌های صرفاً اقتصادی به سمت ویژگی‌های فضایی و زمینه‌ای هر منطقه معطوف شده است. این رویکرد تأکید می‌کند که هر مکان دارای ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و مسیرهای توسعه خاص خود است و بنابراین الگوهای جمعیتی نیز در مکان‌های مختلف رفتار یکسانی ندارند. بر این اساس، تغییرات جمعیت روستایی نتیجه برهم‌کنش ویژگی‌های محلی با نیروهای فرا منطقه‌ای همچون شهرنشینی، گسترش شبکه‌های ارتباطی، تحولات بازار کار و جریان‌های مهاجرتی است (Cheshire., 2023). پژوهش‌های اخیر در حوزه توسعه مبتنی بر مکان نیز نشان می‌دهد که تحلیل پویایی‌های جمعیتی بدون توجه به ویژگی‌های محلی و روابط فضایی مناطق، تصویری ناقص از واقعیت ارائه می‌دهد (Nordberg., 2024).

مبنای نظری تحلیل چنین روابطی در جغرافیا به قانون اول توبلر بازمی‌گردد. توبلر بیان می‌کند که «همه‌چیز با همه‌چیز در ارتباط است، اما چیزهای نزدیک بیش از چیزهای دور به یکدیگر شباهت دارند». این اصل، سنگ بنای مفهوم وابستگی فضایی به شمار می‌رود و فرض اساسی بسیاری از تحلیل‌های فضایی را تشکیل می‌دهد. بر اساس این دیدگاه، واحدهای مکانی مستقل از یکدیگر عمل نمی‌کنند و ویژگی‌های هر مکان تا حدی تحت تأثیر ویژگی‌های مکان‌های

1 Place-Based Development

مجاور قرار دارد. در حوزه جمعیت روستایی نیز این اصل بدین معناست که وضعیت جمعیتی یک روستا صرفاً تابع شرایط درونی آن نیست، بلکه از شبکه روابط فضایی با روستاها و مراکز سکونت پیرامون خود تأثیر می‌پذیرد. در نتیجه، رشد یا کاهش جمعیت در یک ناحیه می‌تواند به نواحی هم‌جوار سرایت کند و الگوهای خوشه‌ای در سطح منطقه ایجاد نماید (Ciaschini et al., 2023). از سوی دیگر تحولات جمعیتی دارای الگوهای وابسته به مسیر و وابسته به همسایگی هستند و بدون لحاظ وابستگی فضایی نمی‌توان روندهای جمعیتی را به‌درستی تبیین کرد (Alaimo et al., 2023). بر پایه همین منطق، مفهوم خودهمبستگی فضایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مبانی نظری تحلیل‌های مکانی شکل‌گرفته است. خودهمبستگی فضایی بیانگر آن است که مقادیر یک متغیر در مکان‌های نزدیک به یکدیگر دارای شباهت یا تفاوت نظام‌مند هستند (Yang et al., 2023). خودهمبستگی فضایی مفهومی بنیادین در علوم مکانی است که امکان شناسایی ساختارهای پنهان فضایی را فراهم می‌سازد. در همین راستا، مطالعات اخیر نیز نشان داده‌اند که توزیع جمعیت معمولاً از فرض استقلال مشاهدات تبعیت نمی‌کند و در اغلب موارد دارای الگوهای خوشه‌ای و وابستگی فضایی معنادار است (Wang et al., 2024). تحول پارادایم تحلیل فضایی در دهه‌های اخیر موجب شده است که پژوهشگران علاوه بر بررسی الگوهای مکانی، به مطالعه دینامیک فضایی-زمانی پدیده‌ها نیز توجه کنند. در این رویکرد، فضا و زمان به‌صورت هم‌زمان مورد تحلیل قرار می‌گیرند و هدف صرفاً شناسایی وضعیت موجود نیست، بلکه بررسی روند تحول الگوهای فضایی در طول زمان است (Fromentin, 2024). در نتیجه، تحلیل دینامیک فضایی-زمانی امکان شناسایی کانون‌های پایدار رشد جمعیت، نواحی در معرض کاهش جمعیتی و مسیرهای تحول فضایی سکونتگاه‌ها را فراهم می‌سازد. این رویکرد امروزه یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های تحلیلی در برنامه‌ریزی فضایی، توسعه منطقه‌ای و آمایش سرزمین به شمار می‌رود (Song et al., 2024). بر اساس مباحث نظری مطرح‌شده، پراکنش جمعیت روستایی را می‌توان پدیده‌ای فضایی-زمانی دانست که الگوهای استقرار و تغییرات جمعیتی آن لزوماً مستقل از یکدیگر نیستند و امکان وجود وابستگی‌ها و تعاملات فضایی میان سکونتگاه‌ها وجود دارد. از این‌رو، مطالعه پراکنش جمعیت روستایی نیازمند بهره‌گیری از رویکردهایی است که علاوه بر توجه به تغییرات زمانی، ساختار روابط فضایی میان واحدهای مورد مطالعه را نیز موردتوجه قرار دهند. در همین راستا، مدل‌های خودهمبستگی فضایی به‌عنوان ابزارهای تحلیلی برگرفته از این مبانی نظری، امکان بررسی میزان وابستگی فضایی، شناسایی الگوهای توزیع مکانی و تحلیل نحوه سازمان‌یافتگی جمعیت در فضا را فراهم می‌سازند.

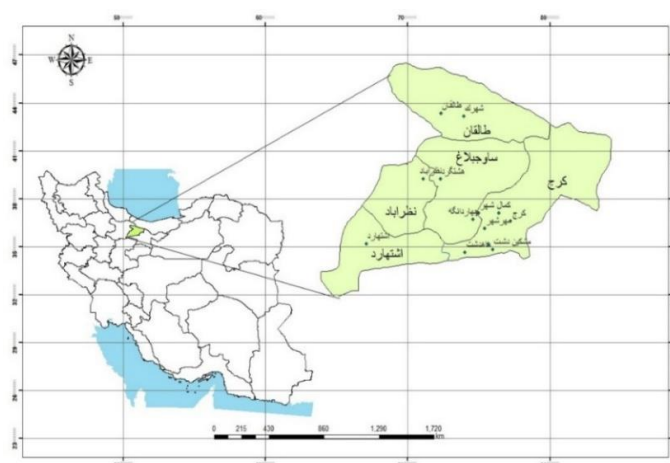
روش پژوهش

مطالعه حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی است. چارچوب روش‌شناسی پژوهش بر پایه تحلیل‌های فضایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری روش‌های آمار فضایی بنا شده است. جامعه آماری پژوهش شامل کلیه آبادی‌های دارای سکنه استان البرز در سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ است. بر اساس داده‌های مرکز آمار، استان البرز در سال ۱۳۹۰ دارای ۳۹۳ آبادی و در سال ۱۳۹۵ دارای ۳۳۲ آبادی دارای سکنه بوده است. نمونه‌گیری در این پژوهش به‌صورت سرشماری کامل انجام شد و کلیه آبادی‌های دارای سکنه که اطلاعات جمعیتی و مکانی آن‌ها در دسترس بود، وارد تحلیل شدند. کلیه تحلیل‌های فضایی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰.۸ و ابزارهای Spatial Statistics Tools و Geostatistical Analyst انجام گرفت. برای تحلیل الگوهای فضایی و بررسی دینامیک توزیع جمعیت روستایی استان البرز، مجموعه‌ای از روش‌های تحلیل فضایی به کار

گرفته شد. ابتدا، شاخص میانگین مرکزی به منظور تعیین موقعیت جغرافیایی مرکز ثقل پراکنش نقاط و جمعیت روستایی استفاده شد. سپس فاصله استاندارد برای سنجش میزان تمرکز یا پراکندگی داده‌ها پیرامون مرکز ثقل و بیضی انحراف معیار برای شناسایی جهت‌گیری غالب و میزان کشیدگی فضایی توزیع جمعیت به کار رفت. همچنین، شاخص میانگین نزدیک‌ترین همسایگی (ANN) به منظور تشخیص نوع الگوی پراکنش فضایی شامل خوشه‌ای، تصادفی یا منظم مورد استفاده قرار گرفت. برای سنجش خودهمبستگی فضایی در مقیاس جهانی و محلی تیز به ترتیب از شاخص Global Moran's I و شاخص‌های LISA استفاده شد. در ادامه، آماره $Getis-Ord\ Gi^*$ برای شناسایی کانون‌های معنادار تجمع مقادیر بالای و پایین جمعیت به کار رفت. در تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی، روابط مکانی میان روستاها بر اساس فاصله اقلیدسی و با استفاده از ماتریس وزن فضایی مبتنی بر فاصله معکوس تعریف شد؛ به گونه‌ای که با افزایش فاصله میان روستاها، میزان وزن فضایی کاهش می‌یافت. آستانه فاصله برای تعریف همسایگی $20,000$ متر در نظر گرفته شد و روستاهای واقع در فاصله بیش از این مقدار در محاسبات رابطه فضایی وارد نشدند. وزن‌های فضایی نیز با روش نرمال‌سازی سطری استاندارد شدند؛ بدین معنا که وزن هر همسایه بر مجموع وزن‌های فضایی مربوط به آن واحد تقسیم شد. این تنظیمات برای تحلیل‌های $Global\ Moran's\ I$ ، $LISA$ و $Getis-Ord\ Gi^*$ در هر دو مقطع زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به صورت یکسان اعمال شد تا قابلیت مقایسه نتایج دو دوره حفظ شود. در بخش مدل‌سازی پیوسته، به منظور برآورد سطح پیوسته پراکنش جمعیت روستایی، از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با مدل واریوگرام کروی شد. در کریجینگ معمولی، فرایند در محدوده مورد مطالعه به صورت ثابت و ناشناخته در نظر گرفته می‌شود و وابستگی فضایی داده‌ها از طریق واریوگرام مدل‌سازی می‌شود. ساختار وابستگی فضایی داده‌ها با استفاده از واریوگرام تجربی و برازش مدل کروی بررسی شد. پارامترهای مدل شامل اثر قطعه‌ای (Nugget) حدود $1/50 \times 10^6$ ، سیل (Sill) حدود $6/00 \times 10^6$ و دامنه تأثیر (Range) حدود $18,000$ متر در نظر گرفته شد. دامنه تأثیر بیانگر فاصله‌ای است که فراتر از آن، وابستگی فضایی میان مقادیر جمعیت روستاها به طور محسوسی کاهش می‌یابد. برای ارزیابی عملکرد مدل کریجینگ، اعتبارسنجی متقابل انجام شد. به منظور بررسی مناسب بودن مدل برای درون‌یابی، پیش از اجرای کریجینگ، توزیع داده‌ها، ساختار وابستگی فضایی و تغییرپذیری داده‌ها بررسی شد. توزیع داده‌های جمعیت با استفاده از هیستوگرام و نمودار Q-Q ارزیابی شد و وجود چولگی مثبت ناشی از تفاوت قابل توجه جمعیت میان روستاها مشاهده گردید. با توجه به این ویژگی، در انتخاب و تفسیر مدل کریجینگ، ساختار وابستگی فضایی و فرض میانگین ثابت در محدوده مورد مطالعه مورد توجه قرار گرفت. همچنین ساختار وابستگی فضایی با استفاده از واریوگرام تجربی و مدل کروی بررسی و وجود روند فضایی غالب و تغییرات سیستماتیک واریانس با استفاده از نمودارهای روند و ساختار واریوگرام ارزیابی شد. در نهایت اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی عملکرد مدل کریجینگ انجام شد. در این پژوهش هر مشاهده به صورت متوالی از مجموعه داده حذف و مقدار آن با استفاده از سایر نقاط پیش‌بینی شد و اختلاف میان مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی عملکرد مدل، شاخص‌های میانگین خطا (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای استاندارد (ASE)، میانگین خطای استاندارد شده (MSE)، و ریشه میانگین مربعات خطای استاندارد شده (RMSSE) محاسبه شد. در این ارزیابی ME و MSE نزدیک به صفر و نزدیک به یک به عنوان معیارهای مطلوب عملکرد مدل در نظر گرفته شدند.

محدوده مورد مطالعه

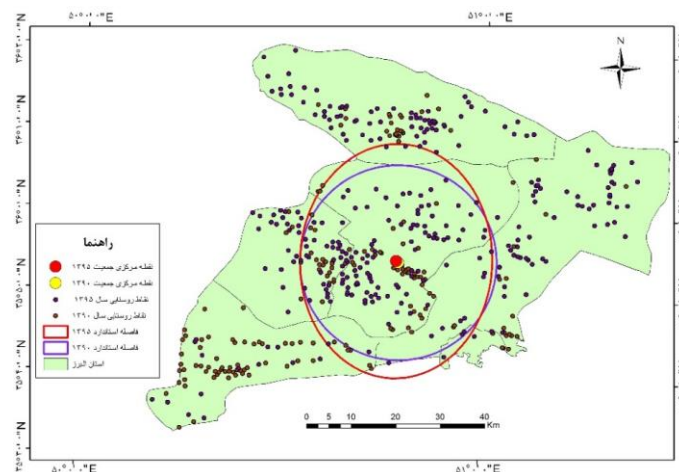
استان البرز با وسعتی حدود ۵۱۴۲ کیلومترمربع بین ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب شرقی به استان تهران، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان تهران محدود است. استان البرز بین خطالرأس چین خوردگی البرز مرکزی و حاشیه غربی دشت کویر واقع شده است. بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران، استان البرز در سال ۱۳۹۰ دارای ۳۹۳ و در سال ۱۳۹۵ دارای ۳۳۲ آبادی دارای سکنه بوده است. جمعیت روستایی استان طبق آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵ معادل ۱۹۹۵۵۹ نفر بوده است. استان البرز دارای تنوع قابل توجهی در ساختارهای طبیعی، اقتصادی و سکونتگاهی است. هم‌جواری با کلان‌شهر تهران و قرارگیری در کریدورهای ارتباطی مهم کشور باعث شده روستاهای استان هم‌زمان تحت تأثیر شهرنشینی، صنعتی شدن و تغییرات کشاورزی قرار گیرند. این روستاها نقش مهمی در تأمین بخشی از نیاز غذایی منطقه تهران دارند و در حوزه‌هایی مانند باغداری، زراعت، دامداری و به‌ویژه تولیدات گلخانه‌ای فعال‌اند. شهرستان‌های ساوجبلاغ، نظرآباد و اشتهارد از مهم‌ترین مراکز کشاورزی و گلخانه‌ای استان بوده و معیشت بخش زیادی از جمعیت روستایی به این فعالیت‌ها وابسته است (سالنامه آماری استان البرز، ۱۴۰۰).



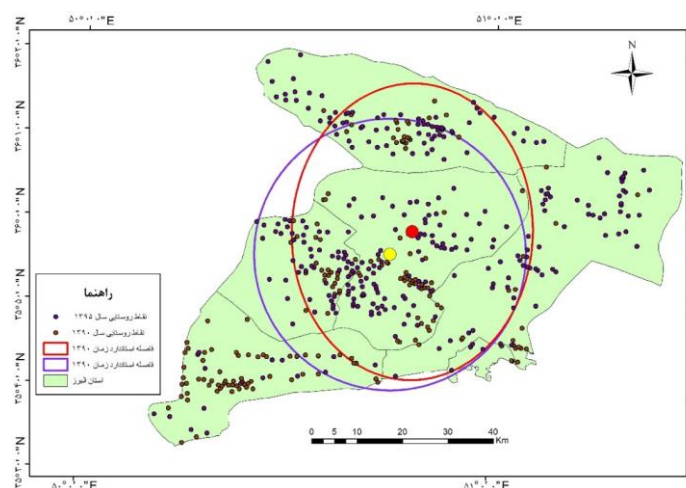
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و سیاسی استان البرز

یافته‌ها

جهت مشخص کردن وضعیت اولیه توزیع نقاط و جمعیت روستایی استان البرز از شاخص‌های آمار توصیفی شامل: شاخص میانگین مرکزی، شاخص فاصله استاندارد و جهت پراکندگی استفاده شد. نتایج شاخص میانگین مرکزی به‌منظور بررسی نقاط (صرف‌نظر از جمعیت آن‌ها) و جمعیت روستایی (با وزن دهی بر اساس تعداد جمعیت هر روستا) نشان می‌دهد که مرکز ثقل روستاها در سال ۱۳۹۰ تقریباً ثابت بوده اما در سال ۱۳۹۵ به سمت شمال جابه‌جاشده است. در مقابل، مرکز ثقل جمعیت در هر دو سال تقریباً در مرکز استان باقی‌مانده و نشان‌دهنده پایداری بیشتر توزیع جمعیت است. همچنین با استفاده از شاخص فاصله استاندارد، پراکندگی فضایی روستاها و جمعیت بررسی شد. نتایج نشان داد که جمعیت نسبت به نقاط روستایی تمرکز و فشردگی بیشتری دارد که بیانگر عدم تعادل فضایی جمعیت در روستاهای استان البرز است. بیشترین تراکم جمعیت نیز در نواحی مرکزی، شمال غربی و جنوب غربی استان می‌باشد (شکل ۲ و ۳).

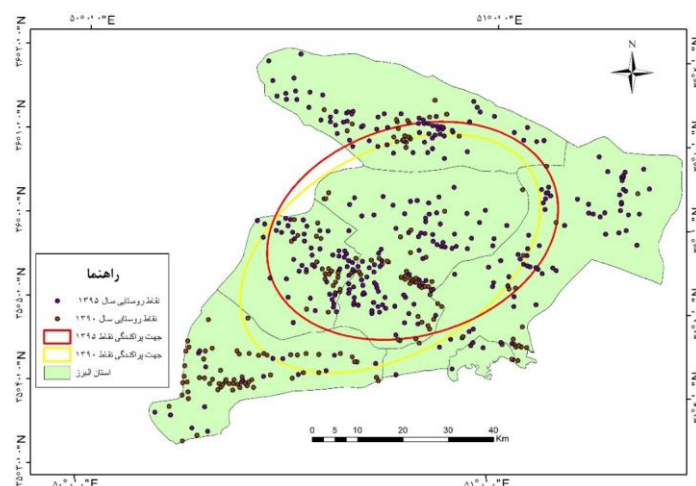


شکل ۲. نتایج میانگین مرکزی و فاصله استاندارد بر اساس جمعیت استان البرز طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰

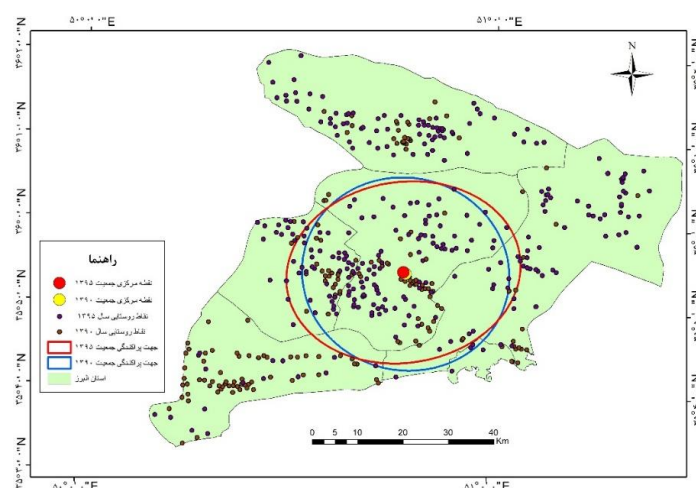


شکل ۳. نتایج میانگین مرکزی و فاصله استاندارد بر اساس نقاط-زمان استان البرز طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰

نتایج شاخص جهت پراکندگی نیز نتایج نشان می‌دهد الگوی کلی پراکنش نقاط روستایی در راستای شمال شرقی- جنوب غربی است که در سال ۱۳۹۰ ثابت بوده و در سال ۱۳۹۵ اندکی فشرده و با تغییر جزئی همراه شده است (شکل ۴). پراکندگی جمعیت نیز جهت نسبتاً ثابتی در دوره نخست داشته و در سال ۱۳۹۵ تنها تغییر بسیار محدودی نشان می‌دهد (شکل ۵).

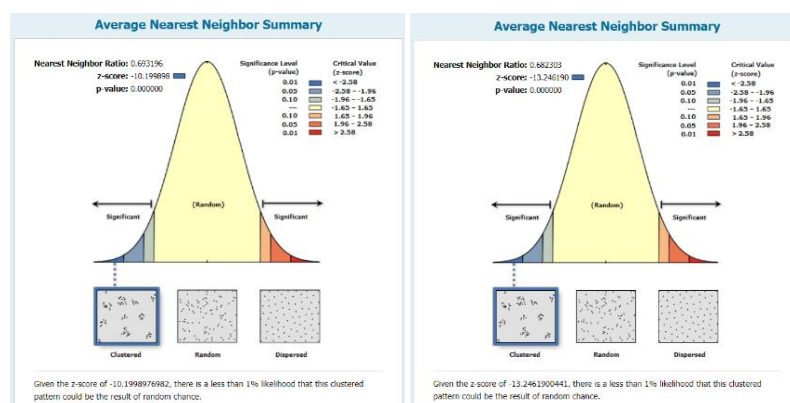


شکل ۴. نتایج شاخص جهت پراکنش بر اساس نقاط-زمان استان البرز در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵



شکل ۵. نتایج شاخص جهت پراکنش بر اساس جمعیت استان البرز در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

برای تعیین الگوی پراکنش روستاهای استان البرز از شاخص نزدیک‌ترین فاصله همسایگی (ANN) استفاده شد و نتایج آن در نمودارهای شکل‌های (۶) ارائه گردیده است. در این تحلیل فرضیه صفر (H_0) بیانگر توزیع تصادفی روستاها در استان است، درحالی‌که فرضیه جایگزین (H_1) نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای یا منظم است. نتایج تحلیل نزدیک‌ترین همسایگی نشان می‌دهد میانگین فاصله واقعی بین روستاها موردبررسی حدود ۱۴۰۷ متر در سال ۱۳۹۰ و حدود ۱۸۲۷ متر در سال ۱۳۹۵ بوده، درحالی‌که فاصله مورد انتظار به ترتیب ۲۰۶۳ متر و ۲۶۳۶ متر برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ برآورد شده است. در نتیجه نسبت نزدیک‌ترین همسایه به ترتیب میزان ۰/۶۸۲ و ۰/۶۹۳ برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ محاسبه شد. برای ارزیابی معنی‌داری آماری، مقدار Z-SCOT به ترتیب برابر با ۱۳/۲۴۶- و ۱۰/۱۹۹- برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ و ضریب معنی‌داری برابر با ۰/۰۰۰ برای هر دو سال به دست آمد (جدول ۱). بنابراین فرضیه صفر رد شده و فرضیه خوشه‌ای بودن الگوی پراکنش نقاط روستایی با سطح اطمینان ۹۹ درصد ($p < 0/01$) موردپذیرش قرار می‌گیرد.

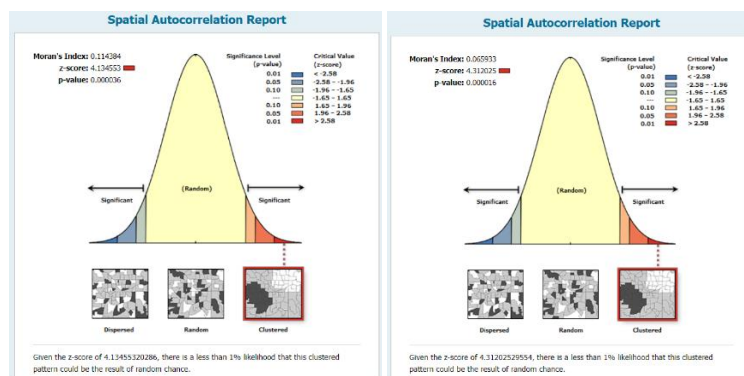


شکل ۶. نتایج شاخص نزدیک‌ترین فاصله همسایگی نقاط روستایی استان البرز در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

جدول ۱. نتایج نزدیک‌ترین همسایگی توزیع نقاط روستایی استان البرز

سال	تعداد نقاط روستایی	میانگین فاصله مشاهده شده	میانگین فاصله مورد انتظار	نسبت نزدیک‌ترین همسایه	امتیاز استاندارد شده	P-Value
۱۳۹۰	۳۹۳	۱۴۰۷/۹۳۷۹	۲۰۶۳/۵۰۸۶	۰/۶۸۲	-۱۳/۲۴۶	۰/۰۰۰
۱۳۹۵	۳۳۲	۱۸۲۷/۶۷۰۹	۲۶۳۶/۵۸۷۲	۰/۶۹۳	-۱۰/۱۹۹	۰/۰۰۰

در ادامه، به منظور تحلیل ساختار فضایی و ارزیابی میزان نظم یا تصادفی بودن الگوی توزیع جمعیت روستایی استان، از شاخص خودهمبستگی فضایی موران جهانی^۱ استفاده شد. در این چارچوب، فرض صفر (H_0) بیانگر نبود خودهمبستگی فضایی و تصادفی بودن الگوی توزیع جمعیت روستایی است، درحالی‌که فرض مقابل (H_1) وجود وابستگی فضایی و شکل‌گیری الگوهای خوشه‌ای یا پراکنده را در پراکنش جمعیت نشان می‌دهد. بررسی نتایج حاصل از محاسبه شاخص موران (شکل ۷) حاکی از آن است که توزیع جمعیت روستایی در استان البرز از الگوی تصادفی تبعیت نمی‌کند و دارای ساختار فضایی معنادار است. مقدار آماره موران برای سال ۱۳۹۰ برابر با ۰/۶۵ و برای سال ۱۳۹۵ برابر با ۰/۱۱۴ به دست آمده است. همچنین مقادیر Z-score به ترتیب ۴/۳۱۲ و ۴/۱۳۴ و سطوح معناداری ($p < 0/01$) نشان‌دهنده معنادار بودن خودهمبستگی فضایی در هر دو مقطع زمانی هستند. این نتایج بیانگر آن است که توزیع جمعیت روستایی در سطح استان دارای گرایش به خوشه‌بندی فضایی بوده و تمرکز جمعیتی در برخی نواحی نسبت به سایر مناطق بیشتر است. به‌طور کلی، الگوی فضایی جمعیت در وضعیت یکنواخت قرار نداشته و روندی به سمت تمرکز مکانی در برخی نقاط مشاهده می‌شود (شکل ۷ و جدول ۴). در نتیجه، فرض صفر رد شده و وجود خودهمبستگی فضایی مثبت و معنادار تأیید می‌گردد که نشان‌دهنده نابرابری در توزیع فضایی جمعیت روستایی استان البرز است.



شکل ۷. نتایج شاخص آماره موران توزیع فضایی جمعیت روستایی استان البرز در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

نتایج شاخص خودهمبستگی فضایی جهانی موران (جدول شماره ۴)، نشان می‌دهد که مقدار این شاخص از ۰/۰۶۵ در سال ۱۳۹۰ به ۰/۱۱۴ در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است. مقدار مورد انتظار شاخص موران ($E[I]$) نیز به ترتیب برابر با ۰/۰۲۵۵ و ۰/۰۳۰۲ در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به دست آمد. بالاتر بودن مقادیر مشاهده شده Moran's I از مقادیر مورد انتظار در هر دو دوره، بیانگر وجود گرایش به خودهمبستگی فضایی مثبت در توزیع جمعیت روستایی است. همچنین، افزایش مقدار Moran's I نشان‌دهنده تقویت نسبی الگوی تجمع فضایی مقادیر مشابه جمعیت روستایی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ است. با این حال، تعیین معناداری آماری این خودهمبستگی بر اساس مقادیر Z-score و P-value انجام می‌شود.

جدول ۴. الگوی پراکنش توزیع فضایی جمعیت روستایی استان البرز

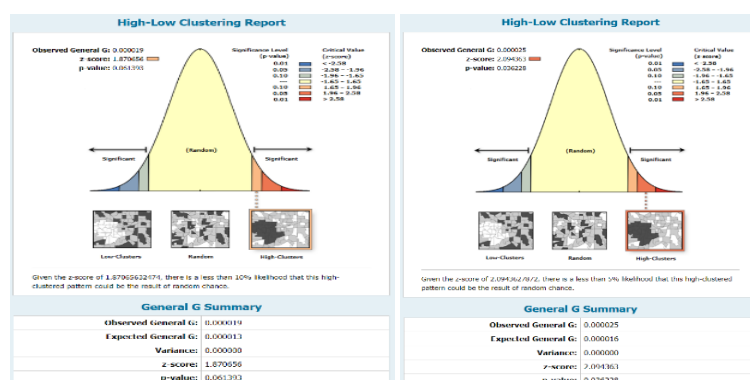
دوره زمانی	N	شاخص موران	Expected I [$E(I)$]	Z-Score	P-Value	تفسیر
۱۳۹۰	۳۹۳	۰/۰۶۵	-۰/۰۲۵۵	۴/۳۱۲	۰/۰۰۰	خودهمبستگی مثبت
۱۳۹۵	۳۳۲	۰/۱۱۴	-۰/۰۳۰۲	۴/۱۳۴	۰/۰۰۰	خودهمبستگی مثبت

در این بخش، شاخص خودهمبستگی فضایی محلی (LISA) برای شناسایی الگوهای خوشه‌ای و نقاط پرت فضایی جمعیتی روستایی استان البرز در دو دوره ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به کار گرفته شد. با توجه به تفاوت تعداد آبادی‌های دارای سکنه در دو سرشماری، تحلیل LISA برای تمامی ۳۹۳ آبادی دارای سکنه در سال ۱۳۹۰ و ۳۳۲ آبادی دارای سکنه در سال ۱۳۹۵ انجام شد. نتایج، آبادی‌ها را در چهار الگوی High-High، Low-Low، High-Low و Low-High و همچنین گروه غیر معنادار (NS) قرار داد. تعداد و سهم نسبی هر یک از این الگوها در جدول (۵)، ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج طبقه‌بندی خودهمبستگی فضایی محلی (LISA) جمعیت روستایی استان البرز

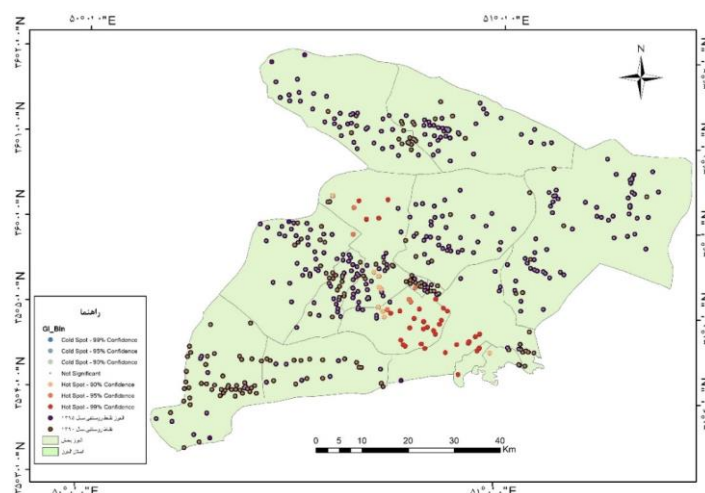
نوع الگو	۱۳۹۰		۱۳۹۵		تغییر تعداد
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	
High-High (HH)	۲۱	۵/۳۴	۱۸	۵/۴۲	-۳
Low-Low (LL)	۱۵	۳/۸۲	۱۹	۵/۷۲	+۴
High-Low (HL)	۶	۱/۵۳	۷	۲/۱۱	+۱
Low-High (LH)	۸	۲/۰۴	۶	۱/۸۱	-۲
غیر معنادار (NS)	۳۴۳	۸۷/۲۸	۲۸۲	۸۴/۹۴	-۶۱
مجموع	۳۹۳	۱۰۰	۳۳۲	۱۰۰	-

نتایج نشان داد که در هر دو دوره زمانی، بخشی از روستاهای استان در قالب خوشه‌های High-High (HH) و Low-Low (LL) سازمان‌یافته‌اند. در سال ۱۳۹۰، تعداد ۲۱ روستا (۵/۳۴ درصد) در طبقه HH و ۱۵ روستا (۳/۸۲ درصد) در طبقه LL قرار داشتند؛ در حالی که در سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۱۸ روستا (۵/۴۲ درصد) در طبقه HH و ۱۹ روستا (۵/۷۲ درصد) در طبقه LL قرار گرفتند. همچنین، تعداد روستاهای واقع در طبقات Low-High و High-Low به ترتیب در سال ۱۳۹۰ برابر با ۶ (۱/۵۳ درصد) و ۸ روستا (۲/۰۴ درصد) و در سال ۱۳۹۵ برابر با ۷ (۲/۱۱ درصد) و ۶ روستا (۱/۸۱ درصد) بود. مقایسه دو دوره نشان می‌دهد که تعداد خوشه‌های HH سه واحد کاهش یافته، در حالی که تعداد خوشه‌های LL چهار واحد افزایش یافته است. با وجود این تغییرات، تداوم استقرار خوشه‌های جمعیتی در محدوده‌های اصلی استان نشان می‌دهد که ساختار کلی تمرکز فضایی جمعیت روستایی طی دوره مورد مطالعه پایدار باقی مانده است.

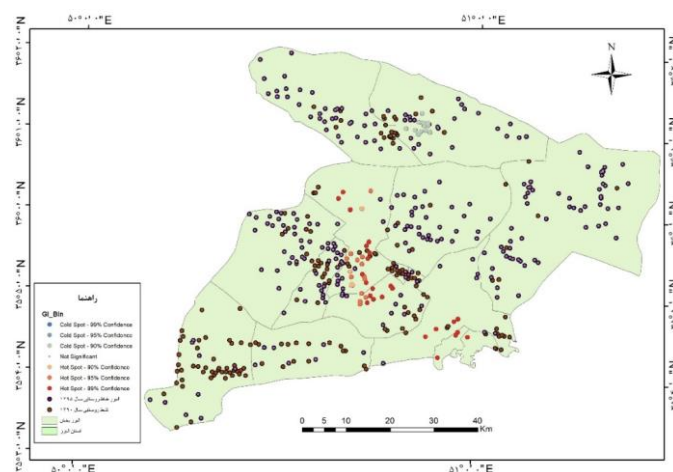


شکل ۸. نتایج شاخص خودهمبستگی فضایی محلی توزیع فضایی جمعیت روستایی استان البرز در دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

برای تکمیل تحلیل خودهمبستگی فضایی محلی، از شاخص (Gi^*) (نقاط داغ و سرد جمعیتی) در استان البرز طی سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استفاده شد. نتایج (شکل‌های ۹، ۱۰) با رنگ قرمز نقاط داغ (Hot Spot) و با رنگ آبی نقاط سرد (Cold Spot) را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۹۰، روستاهای با جمعیت بالا عمدتاً در بخش میانی و شرقی استان، شامل شهرستان‌های کرج و ساوجبلاغ متمرکز بوده‌اند و این الگو بدون تغییر باقی مانده است. در سال ۱۳۹۵، تمرکز نقاط داغ اندکی به سمت شهرستان ساوجبلاغ جابه‌جاشده است. این نتایج نشان می‌دهد توزیع جمعیت به‌طور متعادل صورت نگرفته و کانون‌های داغ جمعیتی عمدتاً اطراف کلان‌شهرها و شهرهای بزرگ استان قرار دارند.



شکل ۹. توزیع فضایی کانون‌های داغ و سرد جمعیتی روستایی استان البرز در سال ۱۳۹۰



شکل ۱۰. توزیع فضایی کانون‌های داغ و سرد جمعیتی روستایی استان البرز در سال ۱۳۹۵

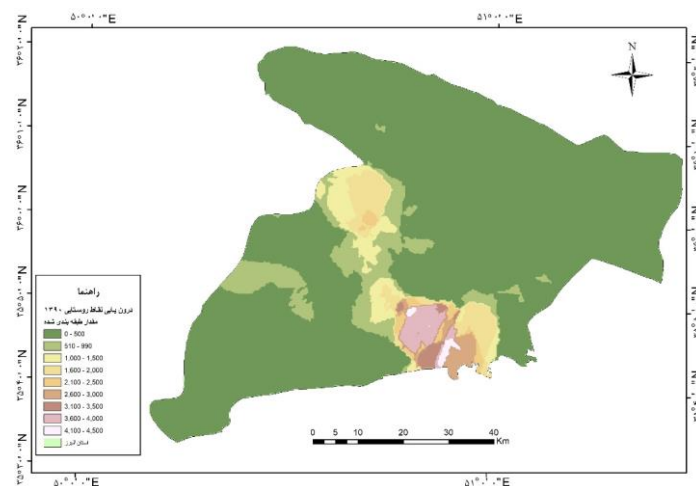
درون‌یابی نقاط جمعیتی روستایی استان البرز با استفاده از روش Kriging

برای تحلیل الگوی فضایی جمعیت از روش درون‌یابی و تحلیل نقاط داغ و سرد استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۰ لکه‌های جمعیتی به دو قطب مجزا تقسیم شدند و در سال ۱۳۹۵ ضمن کوچک شدن لکه داغ جنوب کرج، لکه‌های جدیدی در محور هشتگرد-چهاردانه شکل گرفت. نتایج تحلیل Kriging نیز تمرکز فضایی جمعیت روستایی را در امتداد محور هشتگرد-نظرآباد-چهاردانه-کرج-ماهدشت نشان داد. به‌منظور ارزیابی عدم قطعیت برآوردهای حاصل از کریجینگ، علاوه بر سطح پیش‌بینی‌شده، خطای استاندارد پیش‌بینی (Prediction Standard Error) نیز برای نقاط مورد مطالعه محاسبه و بررسی شد. خطای استاندارد بیانگر میزان عدم قطعیت برآورد کریجینگ در هر مکان است؛ به‌طوری‌که مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده دقت بیشتر برآورد است. به‌منظور ارزیابی عدم قطعیت برآوردهای حاصل از کریجینگ، علاوه بر سطح پیش‌بینی‌شده، خطای استاندارد پیش‌بینی (Prediction Standard Error) نیز برای نقاط مورد مطالعه محاسبه شد. همچنین، عملکرد مدل با استفاده از اعتبارسنجی متقابل (Cross-Validation) به روش حذف تک نقطه‌ای ارزیابی و شاخص‌های ME، RMSE، ASE، MSE و RMSSE محاسبه شد. در این روش، هر مشاهده به‌صورت متوالی از مجموعه داده حذف و مقدار آن با استفاده از سایر نقاط پیش‌بینی شد.

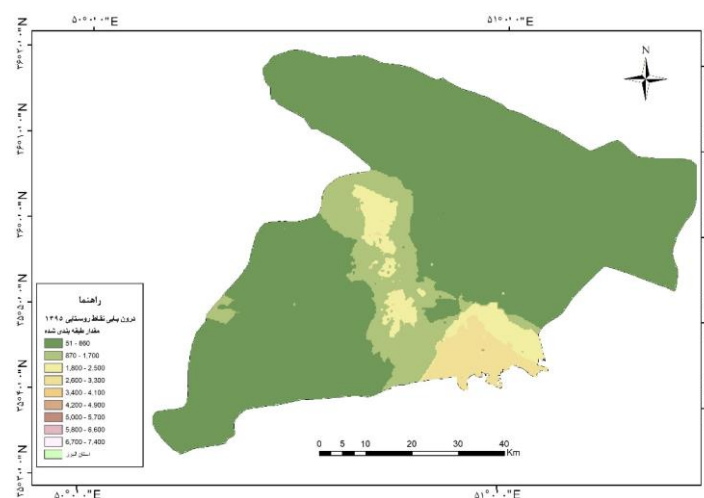
جدول ۶. نتایج اعتبارسنجی متقابل مدل کریجینگ برای جمعیت روستایی استان البرز

شاخص اعتبارسنجی		۱۳۹۰	۱۳۹۵
تعداد نقاط (N)		۳۹۳	۳۳۲
Mean Error (ME)		۱۸/۶۴	۱۵/۲۷
Root Mean Square Error (RMSE)		۱۴۸۶/۳۲	۱۳۹۲/۷۵
Average Standard Error (ASE)		۱۴۵۲/۱۸	۱۳۶۵/۴۱
Mean Standardized Error (MSE)		۰/۰۱۲	۰/۰۰۹
Root Mean Square Standardized Error (RMSSE)		۱/۰۲۴	۱/۰۱۹

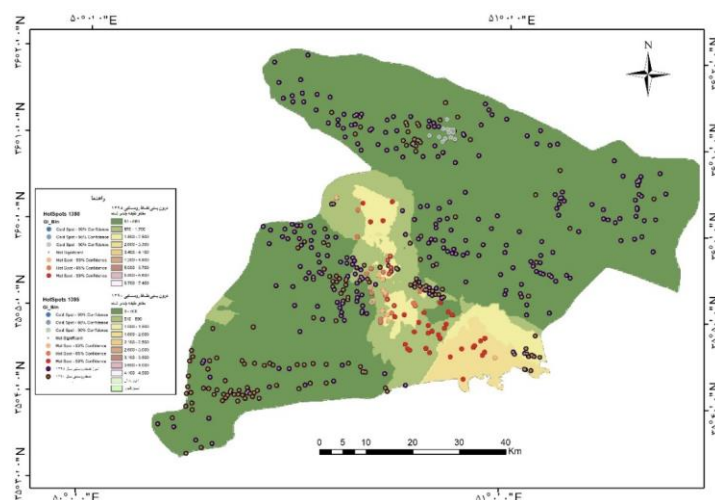
نتایج اعتبارسنجی متقابل نشان داد که مدل کریجینگ در هر دو دوره از عملکرد قابل قبولی برخوردار است. مقادیر ME و MSE نزدیک به صفر و RMSSE نزدیک به یک، بیانگر نبود سوگیری قابل توجه و مناسب بودن برآورد خطاهای استاندارد مدل است. همچنین، کاهش RMSE از ۱۴۸۶/۳۲ نفر در سال ۱۳۹۰ به ۱۳۹۲/۷۵ نفر در سال ۱۳۹۵ نشان‌دهنده بهبود نسبی دقت پیش‌بینی مدل در سال ۱۳۹۵ است. نزدیکی ASE به RMSE در هر دو دوره نیز نشان‌دهنده سازگاری نسبی برآورد خطای استاندارد با خطای پیش‌بینی مشاهده شده است.



شکل ۱۱. درون‌یابی نقاط جمعیتی روستایی استان البرز با استفاده از روش Kriging در سال ۱۳۹۰



شکل ۱۲. درون‌یابی نقاط جمعیتی روستایی استان البرز با استفاده از روش Kriging در سال ۱۳۹۵



شکل ۱۳. نقشه کلی الگوی توزیع فضایی جمعیت روستایی استان البرز با استفاده از Hot spot و Kriging

بحث

پژوهش حاضر با هدف تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ و با بهره‌گیری از مدل‌های خودهمبستگی فضایی انجام شد. نتایج کلی نشان داد که الگوی پراکنش جمعیت روستایی استان از ساختاری خوشه‌ای و نامتعادل تبعیت می‌کند و تمرکز جمعیت در بخش‌های خاصی از استان، به‌ویژه در پیرامون کانون‌های جمعیتی و اقتصادی، بیش از سایر نواحی است. بنابراین در پاسخ به سؤال اصلی پژوهش می‌توان بیان کرد که تغییرات فضایی-زمانی جمعیت روستایی استان البرز طی دوره مورد مطالعه از الگوی تصادفی پیروی نکرده و وجود وابستگی فضایی و تمرکز نسبی جمعیت در بخش‌هایی از استان قابل مشاهده است. نخستین یافته پژوهش، نتایج شاخص نزدیک‌ترین همسایگی (ANN) بود که وجود الگوی خوشه‌ای در استقرار سکونتگاه‌های روستایی را نشان داد. مقادیر نسبت نزدیک‌ترین همسایه در هر دو مقطع زمانی کمتر از یک و همراه با سطح معناداری بالا بود که بیانگر تمرکز مکانی روستاها و فاصله گرفتن الگوی استقرار آن‌ها از وضعیت تصادفی است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات محمدی (۱۴۰۲) در استان قزوین، باقری (۱۴۰۳) در شهرستان مشگین‌شهر و صالح‌پور و همکاران (۱۴۰۴) در استان ایلام همسو است که الگوی غالب استقرار و توزیع جمعیت سکونتگاه‌های روستایی را خوشه‌ای گزارش کرده‌اند. یافته مهم دیگر، وجود خودهمبستگی فضایی مثبت و معنادار در توزیع جمعیت روستایی استان بود. نتایج شاخص موران نشان داد که در هر دو سال مورد بررسی، مقادیر شاخص مثبت و معنادار بوده است؛ به این معنا که روستاهای دارای جمعیت بالا یا پایین تمایل دارند در مجاورت واحدهای مشابه خود قرار گیرند. همچنین افزایش مقدار شاخص موران از سال ۱۳۹۰ به ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که وابستگی فضایی جمعیت روستایی در مقیاس کلی استان نه تنها تضعیف نشده، بلکه تا حدودی تقویت شده است. این نتیجه بیانگر تداوم و حتی افزایش نسبی سازمان‌یافتگی فضایی جمعیت در برخی نواحی استان است و با یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) و نتایج مطالعات داخلی از جمله محمدی (۱۴۰۲) و اجتماعی (۱۴۰۴) هم‌راستا است. از منظر نظری نیز این یافته با اصول وابستگی فضایی و قانون اول توبلر قابل تبیین است؛ بدین معنا که ویژگی‌های جمعیتی هر سکونتگاه تا حدودی تحت تأثیر شرایط و ویژگی‌های سکونتگاه‌های مجاور قرار دارد.

نتایج حاصل از خودهمبستگی فضایی محلی (LISA) نیز نشان داد که بخش‌هایی از استان در قالب خوشه‌های با جمعیت بالا (High-High) سازمان‌یافته‌اند. این خوشه‌ها عمدتاً در محدوده شهرستان‌های کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد، اشتهارد و بخش‌هایی از طالقان مشاهده شدند. اگرچه مقدار آماره استاندارد در تحلیل محلی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال

۱۳۹۰ اندکی کاهش یافته است، اما تداوم استقرار خوشه‌های با جمعیت بالا در همان محدوده‌های جغرافیایی نشان می‌دهد که ساختار کلی تمرکز جمعیت همچنان پابرجا بوده و تغییر بنیادینی در الگوی فضایی آن رخ نداده است. بنابراین کاهش جزئی برخی شاخص‌های محلی را نمی‌توان به معنای از بین رفتن تمرکز جمعیتی تلقی کرد، بلکه این امر بیشتر بیانگر تعدیل نسبی شدت خوشه‌بندی در برخی نقاط است. نتایج تحلیل لکه‌های داغ و سرد (Getis-Ord Gi) نیز مؤید وجود کانون‌های معنادار تمرکز جمعیت در استان البرز بود. بررسی تغییرات فضایی این کانون‌ها نشان داد که نقاط داغ جمعیتی در هر دو مقطع زمانی عمدتاً در بخش‌های مرکزی و غربی استان استقرار داشته‌اند و تنها جابه‌جایی‌های محدودی در محدوده آن‌ها مشاهده می‌شود. این یافته بیانگر پایداری نسبی ساختار فضایی جمعیت روستایی طی دوره مورد مطالعه است. همچنین نتایج حاصل از درون‌یابی کریجینگ نشان داد که تمرکز جمعیت روستایی در امتداد محور هشتگرد-نظرآباد-چهاردانگه-کرج-ماهدشت بیشتر از سایر بخش‌های استان است. تداوم این الگو در هر دو مقطع زمانی بیانگر آن است که سازمان فضایی جمعیت روستایی استان از ساختار نسبتاً پایداری برخوردار بوده و کانون‌های اصلی تمرکز جمعیت طی دوره مورد بررسی حفظ شده‌اند.

از منظر نظری، یافته‌های پژوهش حاضر با مبانی نظری وابستگی فضایی و قانون اول توبلر قابل تبیین است. مطابق این دیدگاه، واحدهای مکانی مستقل از یکدیگر عمل نمی‌کنند و ویژگی‌های جمعیتی هر سکونتگاه تا حدودی تحت تأثیر ویژگی‌های سکونتگاه‌های مجاور قرار دارد. وجود خودهمبستگی فضایی مثبت و شکل‌گیری خوشه‌های جمعیتی در استان البرز نیز مؤید چنین روابطی است. همچنین نتایج پژوهش نشان می‌دهد که تحلیل تحولات جمعیتی بدون توجه به ساختار روابط فضایی میان سکونتگاه‌ها نمی‌تواند تصویری کامل از سازمان فضایی جمعیت ارائه دهد. افزایش خودهمبستگی فضایی جمعیت روستایی استان البرز را می‌توان با ویژگی‌های خاص ساختار فضایی و اقتصادی استان تبیین کرد. مهم‌ترین عامل، قرارگیری البرز در مجموعه شهری تهران-البرز و مجاورت مستقیم با کلان‌شهر تهران است؛ به‌گونه‌ای که جریان‌های جمعیتی، اقتصادی و خدماتی میان تهران، کرج و سکونتگاه‌های پیرامونی، روابط فضایی میان نقاط روستایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پژوهش‌های مربوط به منطقه کلان‌شهری تهران نیز نشان داده‌اند که تهران، اگرچه همچنان هسته اصلی منطقه است، اما توزیع جمعیت و اشتغال در پیرامون آن به‌صورت چندمرکزی و در امتداد محورهای توسعه‌ای در حال شکل‌گیری است. عامل مهم دیگر، تمرکز فعالیت‌های صنعتی، خدماتی و زیرساخت‌های ارتباطی در بخش‌هایی از استان است. توسعه شهرک‌ها و پهنه‌های صنعتی، افزایش فرصت‌های اشتغال و بهبود دسترسی به شبکه‌های ارتباطی، جذابیت سکونت در نواحی پیرامونی مراکز اصلی جمعیتی را افزایش داده و موجب پیوند بیشتر سکونتگاه‌های مجاور با یکدیگر شده است. از این منظر، افزایش Moran's I از ۰/۰۶۵ در سال ۱۳۹۰ به ۰/۱۱۴ در سال ۱۳۹۵ را می‌توان نه صرفاً به‌عنوان افزایش آماری خوشه‌بندی، بلکه به‌عنوان بازتاب تقویت تدریجی روابط عملکردی میان سکونتگاه‌هایی تفسیر کرد که تحت تأثیر یک مجموعه مشترک از بازار کار، خدمات، زیرساخت و شبکه ارتباطی قرار دارند. این سازوکار با نتایج Gi، LISA و کریجینگ پژوهش نیز همخوان است؛ زیرا تداوم کانون‌های جمعیتی در محدوده‌های کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد و اشتهارد و همچنین امتداد محور هشتگرد-نظرآباد-چهاردانگه-کرج-ماهدشت نشان می‌دهد که تمرکز جمعیت صرفاً حاصل تجمع منفرد روستاها نیست، بلکه با ساختار فضایی و اقتصادی گسترده‌تر استان ارتباط دارد. بنابراین، افزایش خودهمبستگی فضایی در فاصله سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ را می‌توان حاصل تقویت نسبی پیوندهای عملکردی، دسترسی به فرصت‌های اشتغال و خدمات و گسترش اثرات فضایی مجموعه شهری تهران-البرز دانست؛ هرچند تعیین سهم دقیق هر یک از این عوامل نیازمند تحلیل‌های اقتصادسنجی یا مدل‌سازی فضایی جداگانه است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که ساختار فضایی جمعیت روستایی استان البرز طی دوره مورد مطالعه

عمدتاً خوشه‌ای باقی مانده و کانون‌های اصلی تمرکز جمعیت، باوجود تغییرات نسبی در شدت و گستره، استمرار داشته‌اند

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل دینامیک فضایی-زمانی پراکنش جمعیت روستایی استان البرز طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد که سازمان فضایی جمعیت روستایی استان از الگوی متوازن پیروی نمی‌کند و تمرکز جمعیت در بخش‌های خاصی از استان بیش از سایر نواحی است. بنابراین، در پاسخ به سؤال پژوهش می‌توان بیان کرد که پراکنش جمعیت روستایی استان البرز طی دوره مورد مطالعه دارای ساختاری خوشه‌ای و برخوردار از نابرابری فضایی بوده است. دستاورد اصلی پژوهش، ارائه تصویری روشن از نحوه سازمان‌یافتگی فضایی جمعیت روستایی و شناسایی کانون‌های تمرکز و نواحی کم برخوردار در سطح استان است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شناخت الگوهای فضایی جمعیت می‌تواند به عنوان یکی از مبانی تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی منطقه‌ای و آمایش سرزمین مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا بدون درک نحوه توزیع و تمرکز جمعیت، سیاست‌گذاری برای توسعه متوازن و تخصیص کارآمد منابع با چالش مواجه خواهد شد. یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که اگرچه در طول دوره مورد بررسی تغییراتی در شدت برخی شاخص‌های فضایی مشاهده شده است، اما الگوی کلی تمرکز جمعیت روستایی از ثبات نسبی برخوردار بوده و ساختار فضایی حاکم بر نظام سکونتگاهی استان تغییر بنیادینی را تجربه نکرده است. این موضوع بیانگر آن است که نیروهای مؤثر بر تمرکز جمعیت در استان همچنان فعال بوده و فرآیندهای تجمع فضایی در برخی نواحی نسبت به سایر مناطق برتری دارند. در تفسیر نتایج این پژوهش باید برخی محدودیت‌ها نیز مورد توجه قرار گیرد. نخست آنکه تحلیل‌ها صرفاً بر داده‌های سرشماری دو مقطع زمانی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استوار بوده و امکان بررسی روندهای بلندمدت‌تر فراهم نبوده است. دوم آنکه پژوهش حاضر بر تحلیل الگوهای فضایی تمرکز داشته و نقش متغیرهای اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و مهاجرتی در شکل‌گیری این الگوها به صورت مستقیم بررسی نشده است. همچنین استفاده از داده‌های ثانویه سرشماری، امکان تحلیل برخی ویژگی‌های رفتاری و انگیزشی جمعیت را محدود می‌کند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، علاوه بر تحلیل الگوهای فضایی جمعیت، نقش متغیرهای اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، دسترسی به خدمات و جریان‌های مهاجرتی نیز در قالب مدل‌های تبیینی فضایی مورد بررسی قرار گیرد تا شناخت جامع‌تری از عوامل مؤثر بر تحولات جمعیتی و سازمان فضایی سکونتگاه‌های روستایی حاصل شود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی ندارد.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی بخش‌ها و مراحل پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- اجتماعی، بابک (۱۴۰۴)، بررسی عوامل محیطی و الگوهای فضایی جمعیتی مؤثر بر روستاهای شهرستان شیراز. مجله جغرافیا و توسعه، انتشار آنلاین از تاریخ ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۴. doi:10.22111/gdij.2025.49879.3680
- امینی، عباس و اصلانی، بیتا (۱۴۰۱)، تحلیل دگرگونی‌های ساختاری جمعیت روستایی در استان اصفهان از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵. مجله جامعه‌شناسی کاربردی، ۳۳(۱)، ۶۲-۳۵. doi:10.22108/jas.2021.129459.2138
- باقری، بهنام (۱۴۰۳)، تحلیلی بر فشردگی ساختار فضایی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان مشکین‌شهر و تأثیر بنیان‌های جغرافیایی بر آن. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵(۴)، ۸۳-۱۱۲. doi:10.22108/gep.2025.140620.1634
- بدری، سید علی؛ آریان‌کیا، مصطفی و کریمی آغچه، راضیه. (۱۴۰۵). برنامه‌ریزی فضایی شهرهای جنوبی ایران و نقش آن در مدیریت بهینه مهاجرت‌های اقلیمی مورد مطالعه: منطقه ۸ آمایشی کشور. آمایش و توسعه نواحی ساحلی و مرزی، ۲(۱)، ۵۸-۳۹. doi:10.22034/jpd.2025.2042602.1061
- جمشیدی، علیرضا؛ اسماعیل‌نژاد، مصطفی و جوان، خدیجه (۱۴۰۴)، بررسی الگوهای توزیع فضایی سکونتگاه‌های روستایی واقع در قلمروهای کوهستانی مطالعه موردی: شهرستان مهاباد. پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۱)، ۳۶-۲۵. doi:10.22034/ermr.2025.63310
- حسینی، علی و آریان‌کیا، مصطفی. (۱۴۰۳). پیشران‌ها و سناریوهای توسعه کسب‌وکارهای سرزمینی در ایران: رویکردی آینده‌پژوهانه با تأکید بر آمایش سرزمین. برنامه‌ریزی فضایی، ۱۵(۱)، ۱۴۰-۱۰۹. doi:10.22108/sppl.2025.142467.1805
- ریاحی، وحید؛ محمودیان، فرزاد و عزیزپور، فرهاد. (۱۴۰۱)، تحلیل الگوی تعاملات فضایی عشایر با تأکید بر جریان مردم مورد مطالعه: زیست‌بوم بابادی باب ایل بختیاری. مجله برنامه‌ریزی فضایی، ۱۲(۲)، ۱-۲۶. doi:10.22108/sppl.2022.131381.1627
- صالح‌پور، زریب؛ عبدالهی، زهرا و رسنواد، بهاره. (۱۴۰۴)، تحلیلی بر ساختار فضایی جمعیت سکونتگاه‌های روستایی استان ایلام با رویکرد عدالت‌محوری. نشریه جغرافیا و توسعه فضایی، ۲(۱)، ۹۷-۱۱۵. doi:10.22098/gsd.2025.17784.1090
- فیضی، موسی؛ فرجی، حسنعلی و بدری، سید علی (۱۴۰۴)، تحلیلی بر ساختار فضایی توزیع جمعیت سکونتگاه‌های روستایی استان کردستان. نشریه برنامه‌ریزی و طراحی شهری، دوره ۱۴۰۴، ۲۲-۱.
- قاسمی، ایرج و قاسمی سیانی، محمد (۱۴۰۰)، دیپلماسی و الگوی توزیع فضایی فعالیت و جمعیت در روستاهای مرزی مورد: شهرستان زهک. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۱۰(۳۵)، ۱۱۱-۱۳۶.
- قاضی، اسلام؛ ترکاشوند، زهرا و آریان‌کیا، مصطفی. (۱۴۰۴). ارزیابی فضایی شاخص‌های محیطی زیست‌پذیری در پهنه‌های ساحلی با رویکرد برنامه‌ریزی منطقه‌ای مطالعه موردی: استان بوشهر. مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، ۶(۳)، ۱-۲۰. doi:10.22124/gscsj.2025.27479.1299
- محمدی، اکبر (۱۴۰۲)، واکاوی تغییرات در الگوی فضایی شبکه سکونتگاه‌های روستایی استان قزوین با تأکید بر نقش عناصر اکولوژیک طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۵. نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، ۱۲(۲)، ۷۲-۵۵.
- مهبینی‌زاده، منصور و آسایش، فاطمه. (۱۴۰۰). تبیین الگوی رشد درون‌زا مبتنی بر شهر هوشمند. فصلنامه اقتصاد شهری، ۶(۱)، ۹۵-۱۱۴. doi:10.22108/ue.2023.134737.1225
- میرکتولی، جعفر؛ آریان‌کیا، مصطفی و کریمی آغچه، راضیه. (۱۴۰۴). تحلیل فضایی خدمات شهری با رویکرد عدالت فضایی مطالعه موردی: شهر ایلام. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۵(۱)، ۱۹-۱. doi:10.30488/gps.2025.473577.3772

References

- Alaimo, L.S., Ciaschini, C., Mariani, F., Cudlinova, E., Postigliola, M., Strangio, D., & Salvati, L. (2023). Unraveling population trends in Italy (1921–2021) with spatial econometrics. *Scientific Reports*, 13(1), 20358. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46906-2>

- Amini, A., & Aslani, B. (2022). Analysis of structural changes in rural population in Isfahan Province from 2006 to 2016. *Journal of Applied Sociology*, 33(1), 35–62 [doi:10.22108/jas.2021.129459.2138](https://doi.org/10.22108/jas.2021.129459.2138) [In Persian].
- Badri, S.A., Ariankia, M., & Karimi Aghche, R. (2026). Spatial Planning of Southern Iranian Cities and Its Role in the Optimal Management of Climate Migration: A case study of Region 8 Zoning. *Journal of Planning and Development*, 2(1), 39-58 [doi:10.22034/jpd.2025.2042602.1061](https://doi.org/10.22034/jpd.2025.2042602.1061) [In Persian].
- Bagheri, B. (2024). An analysis of the compactness of spatial structures of rural settlements in Meshginshahr County and the influence of geographical foundations. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 35(4), 83–112 [doi:10.22108/gep.2025.140620.1634](https://doi.org/10.22108/gep.2025.140620.1634) [In Persian].
- Benner, M., Tripl, M., & Hassink, R. (2024). Sustainable and inclusive development in left-behind places. *Review of Regional Research*, 44(3), 237-249. [doi:10.1007/s10037-024-00216-w](https://doi.org/10.1007/s10037-024-00216-w)
- Cheshire, P. (2023). *Urban and regional inequality: The role of place-based development policies*. Oxford Review of Economic Policy, 39(1), 1–25. [doi:10.1093/oxrep/grac033](https://doi.org/10.1093/oxrep/grac033)
- Ciaschini, C., Rontos, K., Chelli, F., Cucci, M., Maggino, F., & Salvati, L. (2023). Testing density-dependent and path-dependent population dynamics in greece with spatial quantile and geographically weighted regressions. *Social Indicators Research*, 170(2), 609-635. [doi:10.1007/s11205-023-03212-8](https://doi.org/10.1007/s11205-023-03212-8)
- Dorward, N., Fox, S., Statham, T., & Wolf, L. J. (2023). A spatial-demographic analysis of Africa's emerging urban geography. *Environment & Urbanization*, 35(2), 310-327. [doi:10.1177/09562478231190735](https://doi.org/10.1177/09562478231190735)
- Ejtma'i, B. (2025). Examining environmental factors and spatial population patterns affecting villages in Shiraz County. *Journal of Geography and Development*. Advance online publication [doi:10.22111/gdij.2025.49879.3680](https://doi.org/10.22111/gdij.2025.49879.3680) [In Persian].
- Feyzi, M., Faraji, H., & Badri, S.A. (2025). An analysis of the spatial structure of rural population distribution in Kurdistan Province. *Journal of Urban Planning and Design*, 1404, 1–22 [In Persian].
- Fromentin, J. (2024). Spatial Locations and Dynamics of Immigrants in Rural Areas: Research Directions in France and Recent International Perspectives. *Population*, 79(2-3), 251-281. [doi:10.3917/e.popu.2402.0251](https://doi.org/10.3917/e.popu.2402.0251)
- Ghasemi, I., & Ghasemi Siani, M. (2021). Diplomacy and the spatial distribution pattern of activity and population in border villages: Case study of Zahak County. *Quarterly Journal of Spatial Economy and Rural Development*, 10(35), 111–136 [In Persian].
- Ghazi, I., Torkashvand, Z., & Ariankia, M. (2025). Spatial Assessment of Coastal Biodiversity in Southern Iran with a Regional Planning Approach (Case Study: Bushehr Province). *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 6(3), 1-20 [doi:10.22124/gscj.2025.27479.1299](https://doi.org/10.22124/gscj.2025.27479.1299) [In Persian].
- Hosseini, A., & Ariankia, M. (2025). Driving Forces and Future Scenarios for Territorial Business Development in Iran: A Future-Oriented Study with a Spatial Planning Emphasis. *Spatial Planning*, 15(1), 109-140 [doi:10.22108/sppl.2025.142467.1805](https://doi.org/10.22108/sppl.2025.142467.1805) [In Persian].
- Huang, Y., Xia, J., Chen, Y., & Hong, J. (2024). Global research progress on rural settlement spatial patterns from 2000–2024: a comprehensive review of hotspots, frontiers, and emerging trends. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1505570. [doi:10.3389/feart.2024.1505570](https://doi.org/10.3389/feart.2024.1505570)
- Jamshidi, A., Esmailnejad, M., & Javan, K. (2025). Examining spatial distribution patterns of rural settlements in mountainous areas: Case study of Mahabad County. *Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(1), 25–36 [doi:10.22034/ermr.2025.63310](https://doi.org/10.22034/ermr.2025.63310) [In Persian].
- Li, H., Zhang, J., Shan, Y., Wang, G., Tian, Q., Wang, J., & Ma, H. (2024). Study on spatial distribution dispersion evaluation and driving forces of rural settlements in the yellow River Basin. *Land*, 13(8), 1181. [doi:10.3390/land13081181](https://doi.org/10.3390/land13081181)
- Mahinizadeh, M., & Asayesh, F. (2021). Explaining endogenous growth patterns based on smart city principles. *Urban Economics Quarterly*, 6(1), 95–114 [doi:10.22108/ue.2023.134737.1225](https://doi.org/10.22108/ue.2023.134737.1225) [In Persian].

- Mirkatouli, J., Arianikia, M., & Karimi Aghche, R. (2025). Spatial analysis of urban services with a spatial justice approach: Case study of Ilam City. *Journal of Geographical Spatial Planning*, 15(1), 1–19 [doi:10.30488/gps.2025.473577.3772](https://doi.org/10.30488/gps.2025.473577.3772) [In Persian].
- Mohammadi, A. (2023). Investigation of changes in the spatial pattern of rural settlement networks in Qazvin Province with emphasis on the role of ecological elements during 1976–2016. *Journal of Rural Research and Planning*, 12(2), 55–72 [In Persian].
- Newsham, N., & Rowe, F. (2023). Understanding trajectories of population decline across rural and urban Europe: A sequence analysis. *Population, Space and Place*, 29(3), e2630. [doi:10.48550/arXiv.2203.09798](https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.09798)
- Nordberg, K. (2024). The dynamic rural stayer—Analysing the dynamics of the staying process in rural areas. *Journal of Rural Studies*, 111, 103423. [doi:10.1016/j.jrurstud.2024.103423](https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103423)
- Riahi, V., Mahmoudiyan, F., & Azizpour, F. (2022). Analyzing the Pattern of Spatial Interactions of Nomads with Emphasis on the Flow of People (Case study: Babadi Ecosystem of Bab Bakhtiari Tribe). *Spatial Planning*, 12(2), 1-26 [doi:10.22108/sppl.2022.131381.1627](https://doi.org/10.22108/sppl.2022.131381.1627) [In Persian].
- Salehpour, Z., Abdolahi, Z., & Rasnavad, B. (2025). Analysis of the Spatial Structure of Rural Settlement Population in Ilam Province with a Justice-Oriented Approach. *Journal of Geography and Spatial Development*, 2(1), 97-115 [doi:10.22098/gsd.2025.17784.1090](https://doi.org/10.22098/gsd.2025.17784.1090) [In Persian].
- Son, S., & Lee, H. S. (2021). The characteristics of population distribution and change in rural areas: 1995-2020. *Journal of the Korean Geographical Society*, 56(6), 607-622. [doi:10.22776/kgs.2021.56.6.607](https://doi.org/10.22776/kgs.2021.56.6.607)
- Song, Y., Wu, S., Chen, B., & Bell, M. L. (2024). Unraveling near real-time spatial dynamics of population using geographical ensemble learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 130, 103882. [doi:10.1016/j.jag.2024.103882](https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103882)
- United Nations (UN). (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.
- Wang, L., & Yang, G. (2024). The Mechanism of Socio-Spatial Evolution in Rural Areas Driven by the Development of the Planting Industry—A Case Study of Yuezhuang Village in Shandong Province, China. *Land*, 13(6), 768. [doi:10.3390/land13060768](https://doi.org/10.3390/land13060768)
- World Bank. (2020). Reshaping Economic Geography.
- Yang, J., Liu, Q., & Deng, M. (2023). Spatial hotspot detection in the presence of global spatial autocorrelation. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(8), 1787-1817. [doi:10.1080/13658816.2023.2219288](https://doi.org/10.1080/13658816.2023.2219288)
- Yuan, C., Dong, G., & Liu, Z. (2025). Investigating spatially varying relationships between the distribution of rural settlements and related influences. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1519194. [doi:10.3389/fsufs.2024.1519194](https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1519194)
- Zhang, L., Lin, X., Leng, L., & Zeng, Y. (2021). Spatial distribution of rural population from a climate perspective: Evidence from Jiangxi Province in China. *Plos one*, 16(3), e0248078. [doi:10.1371/journal.pone.0248078](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248078)