



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 36, Issue 2, No.98, 2025, pp. 57- 88

Received: 26/04/2025 Accepted: 12/08/2025

Balancing the Population in the Spatial Structure of Yazd Metropolitan Area

Ali Reza Rivaz

Ph.D. student of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
alireza77rz@gmail.com

Mohsen Rafieian  *

Associate professor, Faculty of Art and Architecture, University of Yazd, Yazd, Iran
mrafian@yazd.ac.ir

Abstract

In recent decades, Yazd, one of Iran's major cities, has encountered spatial and demographic imbalances. This trend has led to challenges, such as uneven and horizontal urban expansion. The aim of this study was to identify the key components and driving forces behind the spatial imbalance in population distribution and explore their relationship with the spatial structure of Yazd. The ultimate goal was to foster a balanced spatial distribution of the population and an integrated urban-rural system within Yazd territory. Methodologically, this research was applied in nature and utilized a mixed-methods approach, combining both qualitative and quantitative techniques. Foresight methods were employed to identify the driving forces affecting population balance, while genetic algorithms were used to model and optimize population distribution. The findings indicated that the spatial distribution of service and functional centers, employment and activity hubs, and the overall spatial structural pattern—particularly at the functional scale of urban areas—were the primary determinants influencing population attraction and the patterns of spatial and demographic distribution in Yazd. The results revealed: 1) an inverse relationship between the spatial distribution of barren lands and that of service-functional centers and activity hubs; areas with fewer such centers tended to have a higher proportion of barren land; 2) underutilization of land and diminished spatial dynamism in certain urban zones (specifically Zones B and C); 3) uneven spatial distribution of service-functional centers and activity hubs combined with horizontal urban growth had contributed to the spatial imbalance in the population distribution of Yazd.

Keywords: Balancing, Population Density, Spatial Structure, Genetic Algorithm, Spatial Distribution, Yazd.

*Corresponding Author

Rivaz, A. and Rafian, M. (2025). Balancing the population in the spatial structure of yazd metropolitan area . *Geography and Environmental Planning*, 36 (2), 57 - 88 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2025.144542.1709

Introduction

Over the past two decades, urban growth in developed countries has been characterized by the emergence of diverse suburban activity centers. These centers have directly competed with traditional urban areas by decentralizing populations and activities, thereby transforming the spatial structure of contemporary urban environments and fostering more dispersed, polycentric spatial patterns. Research on population spatial structures indicates that the distribution of metropolitan populations is less balanced in developing countries compared to their developed counterparts. This imbalance is particularly evident in the population distribution systems of developing nations, such as Iran, over recent decades. Such imbalances have intensified rural-to-urban migration and further entrenched centralization rather than promoting equilibrium. The extreme concentration of job opportunities driven by centralized economic development has led to resource and capacity accumulation in certain areas while leaving others with low population and development levels. To achieve a more balanced spatial distribution of population within the rural and urban systems of Yazd Metropolis, it is crucial to identify the driving factors that have contributed to these disparities. This involves examining the relationships between these drivers and the city's spatial structure, as well as assessing the potential for equitable access to services, facilities, and social and economic infrastructure. Consequently, this study first investigated the factors influencing changes in the spatial structure of population to understand the reasons behind the imbalanced population density in both rural and urban areas of the metropolitan region of Yazd. This analysis employed foresight methods. Following this, artificial intelligence was utilized to develop optimal strategies for the redistribution and resettlement of the population in the identified suitable areas.

Materials & Methods

This study was applied in nature and employed a mixed-methods approach, incorporating both qualitative and quantitative data. The research was conducted in two stages. In the first stage, a futuristic approach was adopted. After reviewing the relevant theoretical foundations and upstream documents, an initial conceptual model was developed. In-depth structured interviews were then conducted with a sample of selected individuals to assess the validity of the proposed model and identify the driving forces influencing the spatial structure of the population in the metropolitan area of Yazd. In the second stage, the factors with the most significant impact on population changes within the spatial structure of Yazd were identified. The most likely scenario for optimal conditions was modeled using genetic algorithms. This modeling aimed to determine the ideal balanced population density for each neighborhood, district, and area of the city by redistributing activity and service centers within these confines. The study area was the city of Yazd, Iran, which has a population of over 656,474 people according to the 2016 general census. As the most populous city in Yazd Province, Yazd is considered one of the largest cities in Iran with 611,466 residents in urban areas and 45,007 in rural areas. Yazd City comprises two central districts (Yazd City-Hamidia and Shahidieh) and Zarch District, which includes two rural districts: Fajr and Fahraj, while Zarch District encompasses Allahabad and Mohammadabad.

Research Findings

The interviews conducted in this study were analyzed to identify the factors influencing changes in the spatial structure of the population in the metropolitan area of Yazd. This analysis involved coding the responses using key words and phrases in MAXQDA software. Due to the inadequate per capita value for each service and activity center, the employed genetic algorithm was able to reduce the discrepancies in these values, thereby balancing the distribution of these centers. To address the per capita shortages, barren and brownfield lands in each area were utilized. At this stage of the research, the most optimal scenario (Scenario 3) was modeled by focusing on the key factors of "spatial distribution of service and activity centers" and "spatial distribution of workplaces". This modeling involved revising the per capita distribution of these centers at the neighborhood, district, and area scales within the studied urban region. The genetic algorithm was employed to enhance population balance with the optimization process following a bottom-up approach, starting from neighborhoods and progressing to broader areas of the city. Overall, the genetic algorithm effectively minimized the differences in per capita values, contributing to a more equitable distribution of service and activity centers.

Discussion of Results & Conclusion

The findings revealed that the primary drivers of population attraction and the determinants of spatial and demographic distribution patterns in Yazd were: (1) spatial distribution of service and functional centers, (2) distribution of employment and activity hubs, and (3) overall spatial structure, particularly at the functional scale of urban regions and the city as a whole. As of 1996 (1375 in the Iranian calendar), most of these centers were concentrated in a single nucleus within Zones A2 (currently 136.5 hectares) and A1 (currently 109.88 hectares), reflecting the mono-centric and insular spatial structure of Yazd. Between 1996 and 2016 (1375 to 1395), some centers relocated to Zone A3 (currently 84.61 hectares) and new centers also showed a tendency to concentrate in this area. The polarity of Yazd City across the three regions (A1, A2, A3) was significantly higher compared to Areas B and C, resulting in the formation of the spatial structure of a single-core island. In the land use distribution pattern proposed by the genetic algorithm at the regional level, the highest concentration of land uses was observed in Areas A2 and A3 (specifically A32, A21, A23, and A24), while Area B (notably B11) exhibited the lowest share. This suggested a shortage of population attraction centers per capita in Areas A1 and A2, alongside a more favorable per capita distribution of these centers in Area B under the current conditions.

In the proposed land-use distribution model utilizing the genetic algorithm at the district level, the highest concentration of land uses was found in Zones A2 and A3, while Zone C (C1) had the lowest share. This indicated that enhancing the role of regional population-attracting centers in A2 and A3 could promote a more balanced spatial distribution of the population. Overall, the findings illustrated an inverse relationship between the spatial distribution of barren lands and the presence of service-functional centers and activity hubs: areas with fewer such centers tended to have a higher proportion of barren land. Furthermore, the underutilization of land and diminished spatial dynamism in specific urban zones (particularly Zones B and C) significantly contributed to spatial imbalances in population distribution. However, the untapped potential of barren and brownfield lands presented a valuable opportunity to allocate space for service-oriented and activity-based land uses. The uneven distribution of service-functional centers and activity hubs coupled with unchecked horizontal expansion further intensified spatial imbalance. Consequently, implementing restrictions on uncontrolled urban sprawl—especially in the southern, southeastern, and western peripheries of Yazd—and advocating for an endogenous development approach were crucial steps toward addressing spatial disproportionality. The results of this study underscored the necessity of adopting a comprehensive strategy for urban land management and spatial planning to effectively utilize existing resources and establish a balanced spatial structure for Yazd. This approach may also be applicable to other cities with significant areas of barren and brownfield lands.

مقاله پژوهشی

تعادل بخشی جمعیت در ساختار فضایی شهر یزد

علیرضا ریواز، دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

alireza77rz@gmail.com

محسن رفیعیان* , دانشیار شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

mrafian@yazd.ac.ir

چکیده

شهر یزد به‌عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران در دهه‌های اخیر به عدم تعادل در نظام فضایی و جمعیتی خود مبتلا گشته است و محصول این روند در دهه‌های اخیر تا به امروز موجب مشکلاتی همچون توسعه افقی و نامتوازن شهر یزد شده است. هدف این پژوهش شناسایی مؤلفه‌ها و پیشران‌های مؤثر بر نامتعادل شدن توزیع فضایی جمعیت و بررسی ارتباط آن با ساختار فضایی شهر یزد برای ایجاد تعادل فضایی جمعیت و نظام شهری و روستایی در پهنه سرزمینی شهر یزد است. روش پژوهش از نظر هدف کاربردی و به دلیل به‌کارگیری روش‌های کیفی و کمی در زمره پژوهش‌های ترکیبی قرار دارد. در این پژوهش از روش آینده‌پژوهی برای شناسایی پیشران‌های مؤثر بر تعادل جمعیت و از الگوریتم ژنتیک برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی توزیع جمعیت استفاده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که پیشران‌های توزیع فضایی کانون‌های خدماتی و عملکردی، توزیع فضایی مراکز کار و فعالیت و الگوی ساختار فضایی با تأکید بر مقیاس عملکردی مناطق و شهر به ترتیب عامل اصلی جذب جمعیت و مؤثر بر الگوی توزیع فضایی و جمعیتی در شهر یزد هستند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که ۱. توزیع فضایی اراضی بایر رابطه معکوسی با توزیع فضایی مراکز خدماتی-عملکردی و کانون‌های فعالیتی دارد و هرچا تمرکز کمتری از مراکز مذکور وجود داشته باشد، نسبت سهم اراضی بایر به مساحت محدوده مدنظر بیشتر است؛ ۲. بدون استفاده ماندن زمین‌ها و کاهش پویایی فضایی در برخی مناطق شهری (منطقه C و B) و ۳. پراکنش ناموزون فضایی مراکز خدماتی-عملکردی و کانون‌های فعالیتی و توسعه افقی سبب عدم تعادل در توزیع فضایی جمعیت شهر یزد شده است.

واژه‌های کلیدی: تعادل بخشی، تراکم جمعیت، ساختار فضایی، الگوریتم ژنتیک، توزیع فضایی، یزد

*نویسنده مسؤول

ریواز، علیرضا و رفیعیان، محسن. (۱۴۰۴). تعادل بخشی جمعیت در ساختار فضایی شهر یزد، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۶ (۲)، ۵۷-۸۸.



مقدمه

رشد سریع جمعیت شهری و حرکات جمعیتی ناشی از مهاجرت به شهرها از یک سو (Nam, 2017) و توجه نکردن به برنامه‌ریزی فضایی از سوی دیگر (Claassens et al., 2020; Dydkowski, 2019) ساختار فضایی شهرها را از طریق تغییرات تراکم جمعیتی مناطق شهری دگرگون کرده است (Veneri, 2018) و توسعه مهارشدنی شهرها را به دنبال داشته است. مطالعات الگوی ساختار فضایی جمعیت در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه و مقایسه آن‌ها حاکی از آن است که توزیع فضایی جمعیت در مناطق کلان‌شهری کشورهای در حال توسعه نامتعادل‌تر از کشورهای توسعه‌یافته است (Lupala, 2021). الگوهای رشد شهری در کشورهای توسعه‌یافته طی دو دهه گذشته با ظهور فزاینده و متنوع، مراکز اشتغال حومه‌ای شناخته می‌شوند که در رقابتی مستقیم با مراکز شهری قدیمی از طریق تمرکززدایی جمعیت و فعالیت است و ساختار فضایی مناطق کلان‌شهری معاصر را تغییر داده و این فرایند به الگوهای فضایی پراکنده‌تر و چندهسته‌ای منجر شده است (Xiong et al., 2020; Subasinghe et al., 2022).

سیمای نامتعادل نظام پخشایش جمعیت در کلان‌شهرهای ایران همانند دیگر کشورهای در حال توسعه در دهه‌های اخیر، مثالی برای این موضوع است (Pilehvar, 2021; Meshkini et al., 2022; Razavivandfard, 2018). این موضوع موجب افزایش مهاجرت از روستاها به شهرها و تمرکزگرایی به جای تعادل شده است (Pilehvar, 2022؛ شهبازین و ساسانی‌پور، ۱۴۰۲). این مسئله ناشی از تمرکز بی‌حد و اندازه فرصت‌های شغلی متأثر از توسعه متمرکز اقتصادی در منطقه است که باعث شده است تا استفاده از منابع و ظرفیت‌های یک منطقه به حالت اشباع برسد و مناطق دیگر خالی از سکنه و توسعه شود و به عدم تعادل فضایی در نظام سکونتگاهی منتج شود (Saghaei et al., 2020; Pilehvar, 2021).

شهر یزد به عنوان یکی از شهرهای بزرگ ایران در دهه‌های اخیر به عدم تعادل در نظام فضایی و جمعیتی خود مبتلا گشته است (Saraei & Iraji, 2016) و محصول این روند در دهه‌های اخیر تا به امروز مشکلاتی از قبیل توسعه افقی و نامتوازن شهر یزد، نرخ بالای مهاجرت فرستی و خالی شدن روستاها از سکنه (Jafari et al., 2018; Rastegari & Saraei, 2016)، فرسودگی بافت مرکزی یزد و مسائلی دیگر بوده است که در صورت ادامه این روند و عدم تعادل در توزیع فضایی جمعیت و اصلاح الگوی استقرار جمعیت در شهر یزد، عدم تعادل در ساختار فضایی تشدید می‌شود و علاوه بر مشکلات و وضعیت فعلی مشکلات جدیدی را در آینده به این منطقه تحمیل خواهد کرد (متظری و همکاران، ۱۳۹۶؛ ضرابی و موسوی، ۱۳۸۹). شناسایی مؤلفه‌ها و پیشران‌های مؤثر بر نامتعادل شدن توزیع فضایی جمعیت و بررسی ارتباط آن با ساختار فضایی شهر یزد برای ایجاد تعادل فضایی جمعیت و نظام شهری و روستایی در پهنه سرزمینی شهر یزد از اهمیت و ضرورت بسیاری برخوردار است و می‌تواند امکان دسترسی متعادل به خدمات و امکانات و زیرساخت‌های اجتماعی، اقتصادی و رفاهی را محقق سازد؛ از این رو با مشخص شدن مسئله، این پژوهش سعی دارد تا در مرحله اول پیشران‌های مؤثر بر تغییرات ساختار فضایی جمعیت را بررسی و علل عدم تعادل تراکم جمعیتی در نقاط شهری و روستایی یزد را با استفاده از رویکرد آینده‌پژوهی مشخص کند و در مرحله بعدی با استفاده از تکنیک هوش مصنوعی به حل مسئله از طریق پیشنهادهای بهینه برای اسکان و پخشایش مجدد جمعیت در اراضی مستعد شناسایی شده بپردازد.

مبانی نظری

توزیع فضایی جمعیت و توازن و تعادل آن

تغییرات و جابه‌جایی جمعیت در فضا در سه مقیاس مختلف فضایی رخ می‌دهد. در مقیاس جهانی، جریان جابه‌جایی جمعیت بین کشورها به شکل نامتوازی توسط جریان جهانی سرمایه، اطلاعات و فناوری، فرصت‌های شغلی و نیاز به متخصصان رخ می‌دهد (Lu et al., 2023; Shao & Wang, 2022). در مقیاس فضای میانی، جابه‌جایی جمعیت و مهاجرت در داخل کشورها و به علل اقتصادی و اجتماعی بین مناطق مختلف رخ می‌دهد (آروین و کیانی، ۱۳۹۹). در مقیاس فضایی خرد نیز این تغییرات عموماً در مقیاس داخل شهرها اتفاق می‌افتد (Irekponor et al., 2022). تمایزات فضایی در شهرها به علت توزیع متفاوت عوامل اجتماعی و اقتصادی در فضای شهرهاست و سبب توزیع فضایی نابرابر جمعیت شهری در مناطق مختلف شهری می‌شود (Sun et al., 2017; Xu et al., 2014)؛ بنابراین، فرایند پراکندگی جمعیت در درجه اول به مشکلات اتصال ضعیف در انتقال صنعتی، ادغام مجدد جمعیت‌ها، کمبود نیروی کار، روابط پیچیده بین چند سهام‌دار و تشدید خطرات برای ثبات اجتماعی مربوط می‌شود (رحیمی و رحیمی، ۱۴۰۱؛ اسمعیل‌پور و شکیبامنش، ۱۳۹۸). الگوی‌های متفاوت تجمع و اسکان جمعیت ناشی از توزیع منابع و تمایز توزیع آن‌ها در سطح شهرها، سبب شکل‌گیری شهر چندمرکزی، شهر حاشیه‌ای و فضای حاشیه‌نشینی و حومه‌نشینی شده است (Caldeira, 2016; Fujii, 2007). برای حل این مسئله بسیاری از نویسندگان درباره مفهوم گسترش متوازن شهری بحث کرده‌اند. آنها استدلال می‌کنند در حالی که این مفهوم نماد ایده‌های رؤیایی بزرگ برای برنامه‌ریزی شهری و توسعه متوازن است، اجرای آن می‌تواند با انبوهی از تضادها به دلیل طیف وسیعی از منافع و ذی‌نفعان درگیر مواجه شود (مودت و همکاران، ۱۳۹۶؛ دهقانپورفرشاه، ۱۳۹۹). هنگامی که از عدم تعادل فضایی و جمعیتی صحبت به میان می‌آید، شناسایی پیشران‌های مؤثر بر عدم تعادل اهمیت پیدا می‌کند. به‌طور کلی مطالعات پیشین عوامل و پیشران‌های کلیدی مؤثر در عدم تعادل فضایی کلان‌شهرها را شامل مواردی دانسته‌اند که در جدول (۱) آورده شده است:

جدول (۱): پیشران‌ها و عوامل مؤثر بر عدم تعادل در ساختار فضایی و جمعیتی کلان‌شهرها

Table 1. The factors affecting the imbalance in the spatial structure and population of metropolises

شماره	پیشران‌ها و عوامل	توضیحات
۱	نیروهای بازار و مقررات	ساختارهای فضایی شهری توسط نیروهای بازار در تعامل با مقررات، سرمایه‌گذاری‌های اولیه زیرساخت‌ها و مالیات‌ها شکل می‌گیرند. پیامدهای ناخواسته سیاست‌ها و مقررات تدوین شده بدون در نظر گرفتن تعادل فضایی می‌تواند به عدم تعادل در ساختارهای شهری منجر شود (Reia et al., 2022).
۲	شهرنشینی	اثرات شهرنشینی به تغییر پارادایم در ساختار فضایی کلان‌شهرها از لایه‌بندی تک‌مرکزی به چندمرکزی منجر شده است. تحول سریع شهری ناشی از رشد جمعیت شهری می‌تواند به توسعه نامتوازن فضایی در شهرها منجر شود، به‌ویژه زمانی که بدون برنامه‌ریزی مناسب رخ دهد (Rashid et al., 2023).
۳	تشکیل مراکز جدید شهری	افزایش مراکز شهری جدید و تحولات درون کلان‌شهرها می‌تواند به‌طور درخور توجهی بر تعادل فضایی تأثیر بگذارد. شکل‌گیری مراکز شهری جدید به‌عنوان عاملی برای توسعه نامتوازن فضایی در ساختار شهری شناخته شده است (Dadashpoor & Malekzadeh, 2020; Hu et al., 2022).

شماره	پیشران‌ها و عوامل	توضیحات
۴	تکامل ساختار فضایی چندمرکزی	تکامل به سمت ساختار فضایی چندمرکزی می‌تواند بر توزیع متعادل کلی عوامل اقتصادی در توده‌های شهری تأثیر بگذارد (Rashid et al., 2023; Zhang et al., 2023).
۵	دسترسی	شامل: میزان دسترسی به امکانات، در دسترس بودن خدمات و امکانات شهری، میزان پایداری و تراکم (Lupala, 2021).
۶	جمعیت	سه روند که از رشد جمعیت ناشی می‌شود و شهرها را به سوی عدم تعادل جمعیت سوق می‌دهد؛ شامل: ۱- تغییر در مرکز گرانش جمعیت (Peng et al., 2021; Salvati, 2020)، ۲- تشکیل شهرهای مرکزی (Lyu & Jiang, 2022; Gao et al., 2019) و ۳- تأثیر بر تراکم شهری (Kvasko, 2023, Mei-Lin et al., 2023).
۷	توزیع مراکز اشتغال و خدماتی	توزیع مراکز اشتغال و خدماتی عامل اصلی جاذب جمعیت هستند (Angel et al., 2016; Lv et al., 2021).

این موارد نشان می‌دهد که چگونه تغییرات در پیشران‌های ذکر شده می‌تواند سبب عدم تعادل فضایی و جمعیتی در شهرها شود. به‌طورکلی می‌توان گفت که ساختار فضایی نتیجه‌های مختلف نیروهای داخلی و خارجی است (García-López et al., 2016) و از تعامل فضایی این نیروها ساختار فضایی، مدل‌های فضایی مختلفی می‌گیرد؛ بنابراین، برآیند تغییرات در ساختار جمعیت و فعالیت می‌تواند تأثیر چشمگیری در ساختار فضایی کلان‌شهرها داشته باشد (Dadashpoor et al., 2023).

تجارب تعادل‌بخشی جمعیت در ساختار فضایی

کلان‌شهرها برای کنترل اندازه و توزیع جمعیت عمدتاً از ابزاری مانند بهینه‌سازی منطقه‌بندی عملکردی شهر، بهینه‌سازی طرح ساختار جمعیت صنعتی و بهینه‌سازی سیستم مدیریت و توزیع خدمات و امکانات عمومی استفاده می‌کنند (Liang & Wang, 2017; Dong et al., 2021)؛ اما تاکنون بسیاری از برنامه‌ریزی‌های فضایی کنترل و توزیع متعادل جمعیت در کشورهای در حال توسعه به دلایل مختلفی همچون: برنامه‌ریزی‌های غیرسیستماتیک و اجرانشدنی یا اجرای ضعیف برنامه‌ها توسط دولت در کنار توسعه سریع شهرنشینی و برنامه‌های اقتصادی با شکست روبه‌رو شده است (Eckert & Köhler, 2014; Hussnain et al., 2020). کلان‌شهرهایی که با مشکل عدم تعادل فضایی جمعیت روبه‌رو هستند، سیاست‌ها و اقدامات مختلفی را برای کنترل جمعیت و بازتوزیع آن به کار گرفته‌اند که در **جدول (۲)** به برخی از آن تجارب اشاره شده است.

جدول (۲): سیاست‌ها و اقدامات در پاسخ به عدم تعادل جمعیت کلان‌شهرها

Table 2. The policies and measures to cope with the population imbalance in metropolises

نام کلان‌شهر	سیاست و برنامه‌ریزی فضایی
پکن	کنترل صنعت، کنترل منابع، پراکندگی و ممنوعیت ورود جمعیت و مشاوره اداری. به این ترتیب، مناسب‌ترین روش کنترل جمعیت در پکن، ایجاد سیستم جامع کنترل جمعیتی است که شامل بخش‌های برنامه ریزی صنعتی، برنامه‌ریزی ساخت‌وساز، مدیریت جمعیت و ارتقای دولت است (Long et al., 2011; Gu et al., 2023).
توکیو	در سال ۱۹۵۸، توکیو با تغییر ساختار فضاهای شهری و ساختن شهرهای جدید، تعداد زیادی از مردم را از مراکز شهری خارج کرد. در سال ۱۹۸۶، توکیو شکل‌گیری الگوی چندقطبی و پراکنده توسعه زمین را ترویج کرد (Hein, 2010, Ohashi et al., 2022).
نیویورک	در سال ۱۹۶۸، شهر هدایت مراکز شهرهای جدید را ایجاد کرد. در همان زمان، توسعه سریع منطقه شهری جدید را از طریق برنامه‌ریزی منطقی گراند نیویورک ارتقا داد (Birch, 1996). در سال ۱۹۹۶، در سومین طرح کلان‌شهر، این شهر پنج پویش بزرگ را با تمرکز بر «پوشش گیاهی، تمرکز، تحرک، کار و مدیریت» اجرا کرد تا اقتصاد را یکپارچه کند، عدالت را ارتقا بخشد و محیط‌زیستی پاک را برای بهبود کیفیت زندگی ایجاد کند (McPhearson, 2011).
پاریس	در سال ۱۹۶۵ مفاهیم محور توسعه شهری و شهر جدید مطرح شد و تحول استراتژیک (شیوه جدید توسعه فضایی) از محدوده شهر به منطقه ساخته‌شده شهری تحقق یافت. در امتداد شریان‌های مهم ترافیکی، ۸ شهر جدید با جمعیتی بین ۳۰۰ هزار تا یک میلیون نفر ساخته شد. مفهوم فضاهای چندمرکزی از منطقه ساخته‌شده شهری پاریس به کل مناطق تعمیم داده شد (Desponds & Auclair, 2016). توسعه شهری مدارهای متحدالمرکز در برنامه‌ریزی کنار گذاشته شد و به جای آن توسعه کمربند محوری اعمال شد. به طوری که حداقل ۱۵ درصد از جمعیت خود را پوشش بدهد و بدین ترتیب دفتر منطقه شهری برای تنظیم طرح هر ۸ تا ۱۰ سال تأسیس شد (Desponds & Auclair, 2016).
لندن	در سال‌های ۱۹۴۵ و ۱۹۴۷، دولت بریتانیا قانون اسکان مجدد صنعتی و قانون برنامه‌ریزی روستایی و شهری را برای بازسازی کارخانه‌ها و گسترش مناطق در لندن تدوین کرد. همچنین کمک‌هزینه‌هایی را برای جابجایی کارخانه‌ها در نظر گرفت (Flinn, 2011). این شهر نوعی برنامه‌ریزی برای «کنترل منطقه مرکزی شهر و توسعه شهرهای جدید» ارائه کرد. در دهه ۱۹۶۰، مدل چینش دایره‌ای متحدالمرکز و بسته طرح لندن بزرگ برای گسترش شهر در امتداد سه شریان اصلی ترافیک سریع تغییر یافت و سه محور را تشکیل داد. جمعیت در جنوب شرقی به مجموعه‌های شهری تقسیم شد تا مدل ساختار چندمرکزی شکل بگیرد (Rode, 2017).

بررسی سیاست‌ها و تجربیات کلان‌شهرها در دوره‌های مختلف برای برنامه‌ریزی فضایی برای ایجاد تعادل در توزیع جمعیت نشان می‌دهد که در هر دوره بنا به نوع مسئله، راهکارهای متفاوتی در جهت کنترل و تعادل جمعیت اتخاذ شده است. سیاست‌ها و اقدامات دولت‌ها و برنامه‌ریزان شهری در دوره‌های مختلف تا به امروز را می‌توان به شش دسته کلی تقسیم کرد که در جدول (۳) آورده شده است:

جدول (۳): راهکارها و سیاست‌های کلی برنامه‌ریزان برای تعادل بخشی جمعیت

Table 3. General methods and policies adopted for the balancing of population

شماره	راهکارها و سیاست‌ها
۱	تدوین فعال اسناد برنامه‌ریزی شهری برای کنترل جمعیت و اجرای طرح هماهنگ‌سازی فضایی و جمعیتی (Liu et al., 2022; Immel, 2020).
۲	ایجاد مناطق شهری جدید برای منحرف کردن جمعیت شهری و ساخت شهرک‌های اقماری برای تشکیل ساختاری چندمرکزی که به جذب جمعیت و کاهش تراکم جمعیت کمک می‌کند (Xie et al., 2023).
۳	تغییر جهت توسعه صنعتی برای هدایت جریان جمعیت از طریق اجرای شرایط اخذ مالیاتی و انتقال صنایع نیازمند به نیروی انسانی به خارج از محدوده مرکزی شهر (Chen et al., 2021).
۴	افزایش استانداردهای زندگی و تشویق به مهاجرت جمعیت و حل مشکل سکونت از طریق بهبود امکانات عمومی و دسترسی (Wu & Mei, 2022).
۵	کنترل منابع و تعادل در توزیع آن‌ها (Wu & Mei, 2022; Rastegari & Saraei, 2016).
۶	اتخاذ سیاست‌هایی برای ایجاد محدودیت و ممنوعیت ورود جمعیت جدید به شهرهای اشباع‌شده از لحاظ جمعیت (Immel, 2020; Ma et al., 2018); (Gao et al., 2019; Zhang et al., 2021).

این استراتژی‌ها رویکردهای برنامه‌ریزی شهری و اقدامات کنترل جمعیت را نشان می‌دهد که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری در طول زمان برای مقابله با چالش‌های روبه‌رشد مربوط به عدم تعادل در توزیع جمعیت و برنامه‌ریزی فضایی در شهرهای بزرگ در نظر گرفته‌اند. با استفاده از این رویکردهای متنوع، برنامه‌ریزان سعی در ایجاد محیط‌های شهری متعادل‌تر، پایدارتر و قابل‌زندگی‌تر دارند که به نیازهای جمعیت به‌طور مؤثر پاسخ می‌دهد.

پیشینه پژوهش

در این قسمت پژوهش‌های گذشته بررسی و کنکاش شده‌اند که بر موضوع جمعیت و ساختار فضایی مناطق کلان‌شهری و شهری تمرکز داشته‌اند. در **جدول (۴)** برخی از پژوهش‌های مرتبط با موضوع پژوهش فعلی آورده شده است.

جدول (۴): پیشینه پژوهش

Table 4. A review of the literature

ردیف	نویسندگان	عنوان پژوهش	نمونه موردی	نتیجه‌گیری
۱	Lee & Guldman, 2023	تخصیص بهینه جمعیت و شغل در مناطق شهری باتوجه به محدودیت‌های مرز شهری و تراکم: رویکرد مدل‌سازی تعامل فضایی.	شهر فردریکسبورگ، آمریکا	میزان تراکم ساخت‌وساز بهینه به نحوه توزیع ترافیک و ازدحام بستگی دارد. محدودکردن گسترش شهری می‌تواند مسافت طی‌شده وسایل نقلیه و ترافیک را کاهش دهد.
۲	Lai et al., 2023	شبیه‌سازی دقیق توزیع فضایی جمعیت با ترکیب مدل مبتنی بر عامل-الگوریتم ژنتیک و کلان‌داده.	دونگوان، چین	مدل GA-ABM ابزاری کارآمد برای درک و پیش‌بینی توزیع جمعیت در شهرهای صنعتی است و می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری در تصمیم‌گیری‌های آگاهانه کمک کند.
۳	Wang & Homma, 2023	پیش‌بینی ظرفیت بهینه جمعیت تعیین‌شده منطبق بر خدمات و امکانات.	کوماموتو، ژاپن	در آینده، جمعیت از حداکثر ظرفیت قابل تحمل منطقه بیشتر نخواهد شد.
۵	Reia et al., 2022	نحوه پراکندگی و الگوی رشد جمعیت در سطح شهر.	کلان‌شهرهای آمریکا	رشد جمعیت از لحاظ فضایی در مناطق کلان‌شهری ایالات متحده ناهمگن است و مهاجرت داخلی عامل اصلی رشد جمعیت است.
۶	Liu et al., 2022	شبیه‌سازی فضایی‌سازی جمعیتی با سیاست فعال تمرکززدایی ارگانیک جمعیت.	پکن، چین	مردم به‌شدت به امکانات شهری وابسته هستند. برای توسعه باید امکانات و جمعیت از مراکز اصلی به مناطق دیگر پخش شوند.
۷	Bao et al., 2022	فضایی‌سازی جمعیتی با دقت زیاد در کلان‌شهرها براساس یادگیری جمعی.	پکن، چین	ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی در توزیع جمعیت در مقایسه با ویژگی‌های محیط‌زیستی مؤثرتر هستند.
۸	Potapenko, 2022	ناهمگونی‌های ساختار فضایی شهر به‌عنوان ذخیره‌ای برای توسعه چارچوب شهر: مدل‌های منطقه‌ای و ارتباطی و تحلیل داده‌های تلفن همراه.	ولادی وستوک، روسیه	ساختار فضایی شهر ولادی وستوک نامتوازن و تک‌مرکزی است و برای توزیع بهینه جمعیت باید در مناطق مختلف شهر، مراکز محلی ایجاد شود.

ردیف	نویسندگان	عنوان پژوهش	نمونه موردی	نتیجه گیری
۹	Shao & Wang, 2022	مکانیسم فضایی توزیع تراکم جمعیت براساس عدم تعادل جمعیت-فضا.	چانگژو، چین	توزیع تراکم جمعیت زمانی نامتعادل می شود که تراکم فضایی از یک مقدار بحرانی فراتر رود.
۱۳	Huang et al., 2020	داستان دو شهر: تعادل شغل-مسکن و ساختارهای فضایی شهری از منظر مسافران حمل و نقل عمومی.	پکن و شانگهای چین	تعادل شغل-مسکن بر ساختار فضایی شهری و الگوهای رفت و آمد تأثیر می گذارد.
۱۶	Wang & Chen, 2018	عوامل مؤثر بر توزیع فضایی جمعیت در کلان شهر جینگ-جین-جی.	جینگ-جین-جی، چین	توسعه نامتوازن، تأثیر منفی بر توزیع جمعیت در منطقه جینگ-جین-جی دارد.

سیر مطالعات نشان می دهد که عدم تعادل فضایی و جمعیتی در شهرها به مسئله انکارناپذیری تبدیل شده است و اخیراً پژوهشگران بیشتری به مطالعه و پژوهش در این حوزه روی آورده اند؛ با این حال این مسئله در کلان شهرها با جمعیت های میلیونی برجسته تر است و در کشورهایی مثل چین بیشتر با این مسئله روبه رو بوده اند. در مطالعات گذشته بر واکاوی علل عدم تعادل جمعیتی و فضایی شهرها تمرکز داشته اند، در حالی که در پژوهش های اخیر با استفاده از مدل سازی های فضایی تمرکز خود را بر راهبردها و سیاست های مؤثر بر توزیع متعادل جمعیت در کلان شهرها گذاشته اند. پژوهش ها غالباً بر رابطه بین توزیع شغل و جمعیت تأکید داشته اند و شرط تعادل جمعیت را توزیع متناسب شغل به عنوان یکی از عوامل اصلی جاذب جمعیت دانسته اند. پژوهش های قدیمی تر متناسب با مسئله، گرایش به روش های توصیفی و تحلیلی داشته اند؛ اما پژوهش های اخیر به سمت روش های ترکیبی و نوین مثل مدل سازی با استفاده از الگوریتم های مختلف در روش پژوهش خود روی آورده اند؛ با این حال بررسی مطالعات در کشور ایران نشان می دهد که پژوهش های کمتری در این زمینه انجام گرفته است و نیازمند مطالعات بیشتر در باب تعادل بخشی فضایی و جمعیتی است.

محدوده و روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف کاربردی و به لحاظ به کارگیری انواع داده ها در زمره پژوهش های ترکیبی قرار دارد. روش پژوهش دارای دو مرحله است: در مرحله اول پژوهش با رویکرد آینده پژوهی، پس از مطالعه مبانی نظری و اسناد فرادست و ارائه مدل مفهومی اولیه، برای تدقیق آن و استخراج پیشران های تأثیرگذار بر ساختار فضایی جمعیت شهر یزد مصاحبه های عمیق و ساختاریافته ای با خبرگان انجام گرفت و در ادامه مصاحبه های انجام گرفته به کمک نرم افزار مکس کیودا و روش جزء به کل، کدگذاری شد و در نهایت پیشران هایی که بیشترین امتیاز را به دست آوردند به عنوان پیشران های کلیدی مؤثر بر ساختار فضایی جمعیتی شهر یزد انتخاب شدند. تعداد مشارکت کنندگان به روش گلوله برفی از بین مدیران شهری، اساتید و خبرگان فعال و باتجربه در زمینه ساختار فضایی و آشنا به شهر یزد از رشته های برنامه ریزی شهری، اقتصاد، جمعیت شناسی و علوم جغرافیا و برنامه ریزی شهری انتخاب شدند که مجموعاً

۲۶ نفر بودند. مصاحبه‌های انجام‌گرفته، به دو صورت حضوری و تلفنی انجام گرفت و در قالب سؤالات ازپیش‌تعیین شده بود. این کار تا جایی ادامه یافت که اشباع نظری به دست آمد. در ادامه پس از مشخص شدن پیشران‌ها و مشخص شدن دوگانه‌های مربوط به هر پیشران، سه پرسش‌نامه ازطریق مراجعه حضوری و ارسال به پست الکترونیک، در اختیار خبرگانی قرار گرفت که قبلاً با آن‌ها مصاحبه شده بود؛ درنهایت پس از گذشت ۱۰ روز پرسش‌نامه‌ها تکمیل شد.

هدف توزیع پرسش‌نامه اول، تعیین میزان تأثیرپذیری و تأثیرگذاری پیشران‌ها بر یکدیگر بود و به‌صورت یک ماتریس ۲۲*۲۲ تشکیل و توسط خبرگان تکمیل شده است. هدف از توزیع پرسش‌نامه دوم، تعیین میزان اهمیت هریک از پیشران‌ها بوده است. هدف از توزیع پرسش‌نامه سوم، تعیین میزان عدم قطعیت و به دست آوردن شاخص اجماع مربوط به هریک از پیشران‌ها بوده است. در این پرسش‌نامه برای هر پیشران دو پیش‌فرض یا دوگانه مثبت و منفی محتمل‌تر تعریف شد و درنهایت جمع امتیازات ملاک تعیین عدم قطعیت‌ها قرار گرفت (بازه -۲ تا +۲ برای امتیازدهی به پرسش‌نامه سوم درنظر گرفته شد). شاخص اجماع از فرمول (۱) به دست آمد:

$$\text{شاخص اجماع} = \frac{(\dots \times 2) + (\dots \times 1) + (\dots \times 0) + (\dots \times -1) + (\dots \times -2)}{\text{تعداد کل پاسخ دهندگان}} \times 2 \dots$$

در مرحله دوم نمودار شاخص اجماع با استفاده از میزان اهمیت و عدم قطعیت هریک از پیشران‌ها ترسیم شد و مهم‌ترین پیشران‌ها که دارای بیشترین میزان قطعیت و اهمیت بودند به عنوان پیشران‌های کلیدی انتخاب شدند. در بخش بعدی برای بررسی ارتباطات بین پیشران‌ها و تدوین منطق سناریو از نرم‌افزار میک‌مک و برای تدوین سناریوها از نرم‌افزار سناریو ویزارد استفاده شد و سه سناریوی محتمل‌تر انتخاب شد که بهترین حالت ممکن سناریوی سوم بود. پس از مشخص شدن پیشران‌های کلیدی مؤثر بر تغییرات جمعیت در ساختار فضایی یزد، خوش‌بینانه‌ترین سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی شد، تا با بازتوزیع مراکز کار و فعالیت و کانون‌های خدماتی و عملکردی در سه سطح محلات، نواحی و مناطق شهر یزد، حالت بهینه تراکم جمعیت برای هر محدوده مشخص شود. الگوریتم استفاده‌شده در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه بوده است که از الگوی مدل جزیره تعمیم‌یافته برای موازی‌سازی درشت دانه الگوریتم‌های بهینه‌سازی استفاده می‌کند (Kurennov et al., 2022) و به کاربران اجازه می‌دهد تا الگوریتم‌های غیرهم‌جنس و توزیع‌شده را توسعه دهند. این الگوریتم چارچوب بهینه‌سازی تک‌هدفه‌ای است که الگوریتم‌های پیشرفته را پیاده‌سازی می‌کند و به کاربران امکان می‌دهد با الگوریتم‌های مختلف آزمایشی ایجاد کنند (Rathomi & Pulungan, 2018) و روش‌های تجزیه و تحلیل را براساس معیارها و شاخص‌ها انتخاب کنند. بهینه‌سازی تک‌هدفه دارای یک تابع هدف با شرط نابرابری و محدودیت برای بهینه‌سازی است (Li et al., 2022). افق در نظر گرفته‌شده برای بهینه‌سازی توزیع جمعیت، سال ۱۴۱۵ است. الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه با به‌کارگیری ظرفیت اراضی مستعد در پی تعادل‌بخشی جمعیت با الگوی حداکثر مرکزیت در ساختار فضایی محدوده مطالعه‌شده ازطریق بازتوزیع مراکز و کانون‌های خدماتی و فعالیتی بوده است. در این مدل ابتدا داده‌های لازم شامل نحوه توزیع تراکم جمعیت (جمعیت براساس سرشماری عمومی و نفوس مسکن ۱۳۹۵)،

نحوه توزیع مراکز کار و فعالیت (مساحت به هکتار)، نحوه توزیع کانون‌های خدماتی و عملکردی (مساحت به هکتار) و سرانه اراضی بایر از طرح تفصیلی و طرح جامع، سرشماری عمومی و نفوس مسکن در ایران استخراج شده است و در ادامه روند تغییرات آنها در شکل (۱) آورده شده است.



شکل (۱): روند تغییرات تراکم جمعیت، سرانه اراضی بایر، مراکز کار و فعالیت و مراکز خدماتی و رفاهی در شهر یزد (منبع: مهندسین مشاور معمار و شهرساز آرمانشهر، ۱۳۹۶ و مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶).

Figure 1. The trend of change in the population density, per capita barren land, activity centers, and service and welfare centers in the metropolitan area of Yazd (Source: ArmanShahr Consulting Engineers in Architecture and Urban Planning, 2017; National Population and Housing Census, 2017)

در گام بعدی مطابق فرمول (۲) با استفاده از تابع نمایی و در اختیار داشتن تعداد جمعیت و نرخ رشد جمعیت جزایر جمعیتی در محدوده‌های شهری، جمعیت نقاط شهری شامل شهر یزد، شاهده و حمیدیا در افق ۱۴۱۵ مشخص شد.

$$P_n = P_0(1 + r)^n$$

که P_0 جمعیت سال پایه و P_n جمعیت سال افق است و r رشد سالیانه جمعیت و n فاصله زمانی بین سال پایه و سال افق بوده است و در نهایت جمعیت سال افق در محدوده‌های مذکور ۹۲۰۵۸۹ نفر تعداد جمعیت پیش‌بینی شد. مطابق فرمول (۳) با تقسیم جمعیت بر مساحت محدوده شهری مذکور (۹۹۷۶ هکتار)، تراکم جمعیت متعادل محاسبه می‌شود.

$$T_n = \frac{P_n}{H}$$

که P_n مساحت سال افق و H مساحت محدوده بوده است و ۷۰,۳۳ تراکم جمعیت متعادل در سال افق به دست آمده است. در گام بعدی با تقسیم مساحت هر کاربری در سطوح مختلف بر مساحت محدوده و تبدیل آن به درصد، سهم اشغال هر کاربری از مساحت محدوده در سال افق مطابق فرمول (۴) مشخص می‌شود.

$$\frac{H_1}{H} * 100$$

که در آن H_1 مساحت کاربری مدنظر و H مساحت محدوده مدنظر بوده است. در ادامه با استفاده از فرمول (۵) و (۶) و سرانه‌های متعادل برای هر کاربری در سطوح مختلف محلات، ناحیه و مناطق^۱ حد متعادل سهم اشغال هر کاربری از مساحت محدوده خود مشخص شد و با استفاده از درصد نمایش داده شد (M) و با محاسبه انحراف معیار درصد مساحت اشغال شده توسط کاربری‌ها در سطوح مختلف طبق فرمول (۷) در بردار V در سال افق پژوهش به دست آمد.

$$= \sum_{i=1}^{X*Y} (g_i - v_i)^2$$

$$Fitness = \frac{1}{F}$$

$$V = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, \dots]$$

که در فرمول (۵) g_i زن‌ها و v_i ها بردار حد میانگین سرانه به ازای هر نفر در ویژگی‌های مختلف در سال افق پژوهش بوده است و در فرمول (۷) X ها ویژگی‌های متعادل و بهینه کرموزوم‌ها در سال افق هستند. با استفاده از ضرب تراکم جمعیت متعادل در سال افق در سرانه به ازای هر نفر در سال افق ضرب در ۱۰۰ درصد مساحت معقول اشغال شده توسط هر کاربری و حد بهینه هر ویژگی در کرموزوم‌ها مطابق فرمول (۸) مشخص شد و طبق آن ویژگی‌های کرموزوم در بردار V تکمیل شد.

$$g_n = (T_n) * (M)$$

شروطی نیز در نظر گرفته شده است؛ شامل عدم تغییر مساحت محدوده‌های محلات، نواحی، مناطق و شهرها در سال پایه و افق و برابری آن‌ها، جبران کمبودهای سطح هر کاربری در مقیاس‌های مختلف از اراضی بایر در سطح محلات و نواحی و استفاده از اراضی قهوه‌ای حاصل انتقال کاربری‌های صنعتی و تولیدی مزاحم به خارج از محدوده شهری (انتقال به محدوده شهرک صنعتی) تا رسیدن به حد متعادل و عدم تغییر یا کاهش سطح کاربری‌هایی که از حد میانگین، سهم بیشتری دارند. بدین منظور مساحت هریک از محدوده‌ها و مساحت اراضی بایر و اراضی قهوه‌ای وضع موجود در **جدول (۵)** آورده شده است.

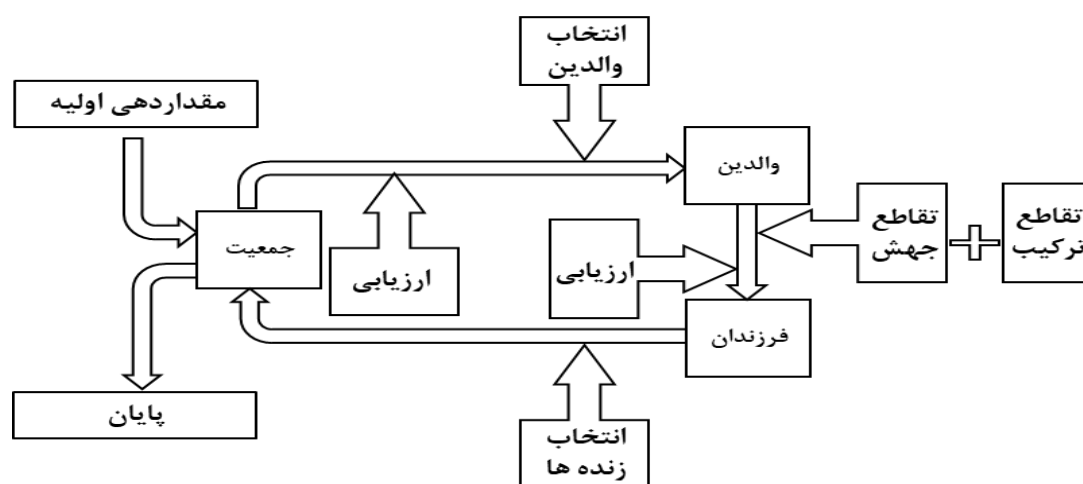
^۱ براساس سرانه‌های استاندارد ایران و طرح جامع و تفصیلی شهر یزد

جدول (۵): مساحت اراضی بایر و قهوه‌ای مناطق شهری یزد (منبع: مهندسين مشاور معمار و شهرساز آرمانشهر، ۱۳۹۶).

Table 5. The surface areas of the barren lands and brown lands in the districts of Yazd City (Source: [Armanshahr Consulting Engineers in Architecture and Urban Planning, 2017](#))

محدوده/مساحت (به هکتار)	مساحت محدوده	اراضی بایر	اراضی قهوه‌ای
منطقه یک (A1)	۲۰۳۹	۹۷۳,۵۳	۹۶,۶۴
منطقه دو (A2)	۴۲۰۰,۳	۲۲۱۲,۳۶	۶۹,۷۹
منطقه سه (A3)	۳۴۱۳,۴	۶۳۵,۸۶	۴۷,۳۳
شاهدیه (B)	۲۰۲۲	۶۳۷,۹۳	۱۰۹,۰۱
حمیدیا (C)	۶۸۵,۳۰	۲۰۰,۱۵	۲۳,۳۱
کل شهر یزد	۹۹۷۶	۴۶۵۹,۸۳	۳۴۶,۰۸

در ادامه، در شکل (۲) فلوچارت فرایند الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه استفاده شده در پژوهش نشان داده شده است:



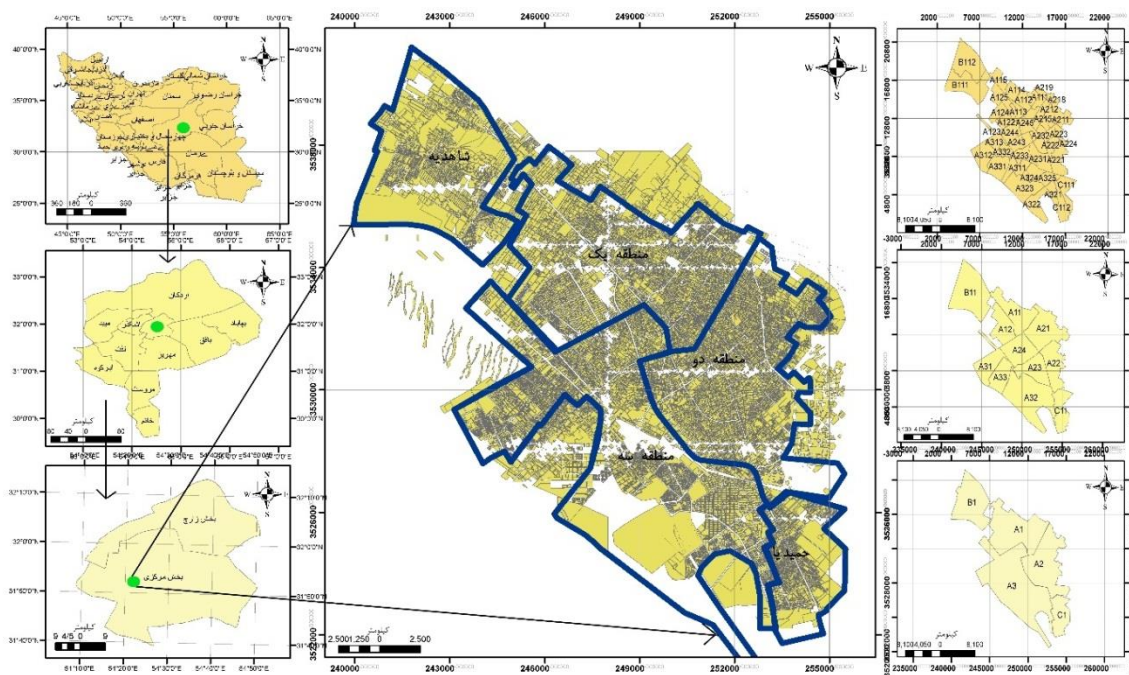
شکل (۲): فرایند الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه

Figure 2. The process of implementing the single-objective genetic algorithm

در بازنمایی این پژوهش، از تقاطع یک نقطه‌ای و جهش یکنواخت برای ژن‌ها استفاده شده است. محلات، نواحی و مناطق به صورت جدا در هر بخش و درصد اشغال کاربری‌ها در محدوده خود با مقیاس عملکردهای مختلف به عنوان ژن در هر کروموزوم در نظر گرفته شده است. در قسمت جفت‌گیری والدین و تولید فرزندان از نوع خاصی از تقاطع یعنی تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شد. نکته حائز اهمیت در تقاطع و جهش این است که در هر دو باید مقدار جمع تمامی ویژگی‌های هر محله قبل و بعد، یعنی در والدین و فرزندان تغییر نکند (در واقعیت زمین شهری از بین نرود و خلق نشود). در این قسمت عملگر انتخاب به کمک آمد و به روش‌های مختلفی از جمله انتخاب بهترین‌ها عملگر انتخاب استفاده شد. پس تابع فیتنس مقدار فیتنس کروموزوم‌ها را محاسبه می‌کند و با مرتب‌کردن کروموزوم‌ها براساس بهترین فینس‌ها و انتخاب بهترین‌ها عمل انتخاب انجام شد. در مرحله بعد به وسیله تابع فیتنس، کروموزوم‌ها بهتر مرتب شدند و باتوجه به نرخ جهش تعدادی از بهترین کروموزوم‌ها انتخاب شدند. حال به هرکدام از ژن کروموزوم‌های انتخاب شده یک مقدار رندوم بین منفی یک و یک اضافه شد و نتیجه این عمل تعدادی فرزند جدید بود.

پس از جهش و ترکیب، علاوه بر والدین، فرزندان جهش و ترکیب نیز اضافه شده‌اند و می‌توان همه را در یک استخر ریخت. در مرحله بازماندگان، بعد از اینکه جمعیت فرزندان و جمعیت والدین در استخر کنار هم قرار گرفتند، انتخاب بهترین‌ها براساس مقدار فیتنس آنها انجام شد و بهترین‌ها به تعداد جمعیت اولیه باقی مانده و بقیه حذف شدند و کروموزوم‌های باقی‌مانده در تمامی مراحل همین حلقه از ابتدا تاکنون قرار گرفتند و مدام این حلقه تکرار شد تا شرط خاتمه فرارسد. در اینجا شرط خاتمه رسیدن به تعداد نسل‌های در نظر گرفته شده بود و بدین ترتیب نحوه توزیع سه مؤلفه مشخص شده در مدل در افق ۱۴۱۵ مشخص شد.

محدوده مطالعه شده در این پژوهش، شهر یزد در کشور ایران است که با در برداشتن بیش از ۶۵۶۴۷۴ نفر جمعیت در سرشماری عمومی و نفوس مسکن، سال ۱۳۹۵ به لحاظ جمعیتی مهم‌ترین شهر استان یزد بوده و از شهرهای بزرگ کشور ایران محسوب می‌شود. از این تعداد ۶۱۱۴۶۶ نفر در نقاط شهری و ۴۵۰۰۷ نفر در نقاط روستایی شهر یزد اسکان یافته‌اند. شهر یزد دارای دو بخش مرکزی (شهر یزد- حمیدیا و شاهدیه) و زارچ (زارچ) است. بخش مرکزی دارای دو دهستان فجر و فهرج و بخش زارچ دارای دو دهستان الله‌آباد و محمدآباد است.^۱ این شهر از سوی شمال به شهرستان‌های میبد و اردکان، از شرق به شهرستان‌های اردکان و بافق، از غرب به شهرستان اشکذر و از جنوب به شهرستان تفت، ابرکوه و مهریز محدود می‌شود (طرح جامع شهر یزد، ۱۳۸۶). شکل (۳) موقعیت جغرافیایی شهر یزد را در تقسیمات سیاسی-اداری استان یزد و تقسیمات محلات، نواحی و مناطق شهری را مشخص کرده است.^۲



شکل (۳): معرفی محدوده مطالعه شده

Figure 3. The studied region

^۱ به علت اینکه اخیراً بخش زارچ مستقل شده و از تقسیمات شهر یزد حذف شده، در این پژوهش از بررسی آن خودداری شده است.

^۲ در تقسیم‌بندی فعلی، شهر یزد دارای پنج منطقه شهری است؛ اما مبنای این مقاله براساس داده‌ها و حوزه‌بندی ۱۳۹۵ بوده است.

در حال حاضر شهر یزد دارای ۵ منطقه شهری است؛ اما مبنای این پژوهش، منطقه بندی سه گانه شهر یزد در سال ۱۳۹۵ بوده است؛ زیرا تمامی داده های لازم و سرشماری عمومی و نفوس مسکن در سال ۱۳۹۵ براساس همین تقسیم بندی در دسترس بوده است. در سال ۱۳۶۵ محدوده قانونی شهر یزد ۶۳۰۳ هکتار بوده است که در سال ۱۳۷۹ به ۹۹۷۶ هکتار افزایش یافته است که گویای توسعه افقی و افزایش محدوده شهری یزد است (مهندسین مشاور معمار و شهرساز آرمان شهر، ۱۳۹۶). بررسی تغییرات جمعیت روستایی نشان می دهد که در سال ۱۳۷۵ تعداد ۶۵ روستا از ۱۱۸ آبادی دارای سکنه بوده است و در سال ۱۳۹۵ به ۳۹ آبادی دارای سکنه کاهش پیدا کرده است. از طرفی در سال ۱۳۵۵ نسبت شهرنشینی ۷۴٫۶ درصد بوده است که این رقم در سال ۱۳۹۵ به ۹۳٫۱ درصد رسیده است که روند رشد نسبت شهرنشینی را در شهر یزد نشان می دهد. بررسی رشد اقتصادی در محدوده مطالعه شده نشان می دهد که در فاصله سال های ۷۵ - ۱۳۶۵ از مجموع فرصت شغلی جدید که در شهر یزد به وجود آمده است، بالغ بر ۸۱/۳ درصد در بخش صنعت و معدن، ۱۵/۲ درصد در بخش خدمات و بازرگانی و تنها ۲/۵ درصد آنان در فعالیتهای کشاورزی و دامپروری جذب و مشغول به کار شده اند که در سال ۱۳۹۰ در بخش صنایع ۴٫۸ درصد، در بخش خدمات ۱ درصد و در بخش کشاورزی و دامپروری ۰٫۴ درصد رشد داشته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶).

یافته ها

تحلیل محتوای مصاحبه های انجام شده برای استخراج پیشران های مؤثر بر تغییرات ساختار فضایی جمعیت در شهر یزد، با استفاده از کدگذاری در نرم افزار MAXQDA انجام شده است که حاصل آن کدها و زیرکدها، ابعاد و پیشران های جدول (۶) است.

جدول (۶): کدها و زیرکدهای استخراج شده حاصل تحلیل محتوای کیفی مصاحبه ها

Table 6. The codes and subcodes for the factors derived through the qualitative content analysis of the interviews

ردیف	ابعاد استخراج شده حاصل کدگذاری مصاحبه ها	پیشران های استخراج شده حاصل کدگذاری مصاحبه ها
۱	بعد کالبدی-فضایی	الگوی ساختار فضایی (Caldeira, 2016; Fujii, 2007). توزیع فضایی مراکز کار و فعالیت (Lv et al., 2020; Lupala, 2021). توازن توسعه میان نقاط شهری و روستایی (Dadashpoor & Malekzadeh, 2020). الگوی رشد کالبدی و توسعه شهری (Caldeira, 2016; Fujii, 2007). توزیع فضایی تجهیزات شهری (Lupala, 2021). توزیع فضایی تأسیسات و امکانات زیرساختی (Lupala, 2021). توزیع فضایی کانون های خدماتی و عملکردی (Lv et al., 2021; Lupala, 2021). توزیع و تقسیمات فضایی سلسله مراتبی خدمات با توجه به مقیاس خدمات دهی (Wang & Chen, 2018). قطبیت اقتصادی، سیاسی و خدماتی شهر یزد (Caldeira, 2016; Fujii, 2007). سرانه مصرف زمین شهری و دگردیسی ساختار فضایی (Wang & Chen, 2018).

ردیف	ابعاد استخراج شده حاصل کدگذاری مصاحبه‌ها	پیشران‌های استخراج شده حاصل کدگذاری مصاحبه‌ها
۲	بعد جغرافیایی-اقلیمی-محیطی	عامل تغییرات اکولوژیکی و تحولات اقلیمی در کاهش جمعیت و مهاجرت (Lupala, 2021).
۳	بعد جمعیتی	توزیع فضایی و الگوی استقرار جمعیت (Salvati, 2020). ضریب شهرنشینی و تغییرات جمعیتی نقاط روستایی (Dadashpoor & Malekzadeh, 2020). نرخ رشد جمعیت (Salvati, 2020). تناسب ظرفیت‌پذیری جمعیت و مهاجرت‌پذیری در محدوده مطالعه شده (Salvati, 2020). آرایش تراکم جمعیتی (Lyu & Jiang, 2022; Gao et al., 2019).
۴	بعد دسترسی و شبکه ارتباطی	ظرفیت، کیفیت و سلسله‌مراتب شبکه‌های ارتباطی (Lupala, 2021). توزیع گره‌های ترافیکی و شبکه‌های ارتباطی (Lupala, 2021). میزان دسترسی به مراکز خدماتی و عملکردی (Lupala, 2021).
۵	بعد مدیریت و برنامه‌ریزی شهری	عامل طرح‌ها و برنامه‌های توسعه شهری در هدایت فضایی نواحی سکونت (Wu & Mei, 2022; Rastegari & Saraei, 2016). عامل مدیریت شهری در تغییرات فضایی جمعیت (Wu & Mei, 2022; Rastegari & Saraei, 2016).

میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پیشران‌ها از یکدیگر حاصل نتایج پرسش‌نامه اول، میزان اهمیت هریک از پیشران‌ها بر تغییرات ساختار فضایی جمعیت در محدوده مطالعه شده حاصل نتایج پرسش‌نامه دوم و شاخص اجماع هریک از آن‌ها حاصل پرسش‌نامه سوم است که در جدول (۷) آورده شده است.

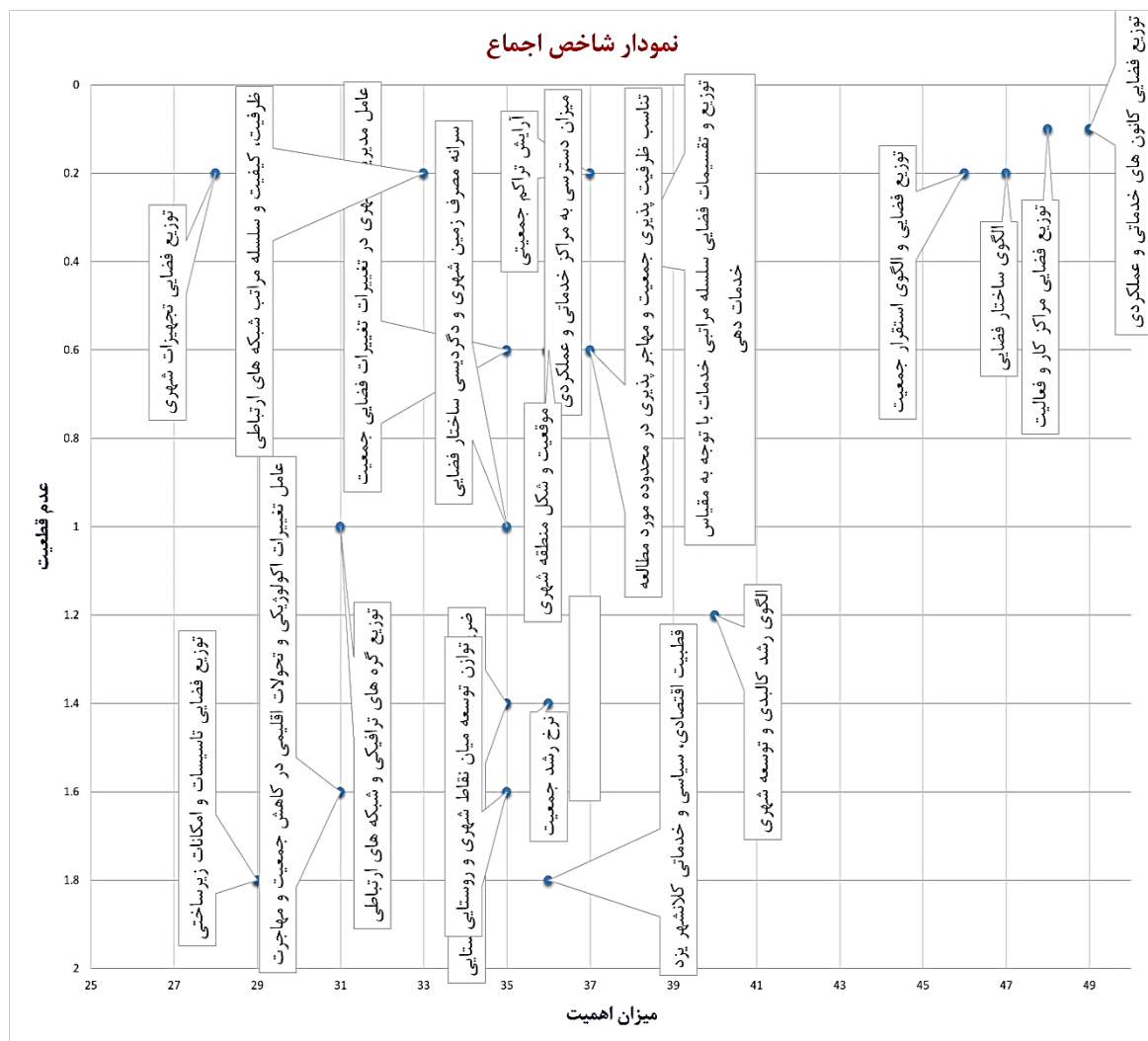
جدول (۷): نتایج استخراج شده از پرسش‌نامه‌های سه‌گانه

Table 7. The results obtained from the three research questionnaires

ردیف	پیشران‌ها	میزان تأثیرپذیری	میزان تأثیرگذاری	میزان اهمیت	شاخص اجماع
۱	توزیع فضایی و الگوی استقرار جمعیت	۴۱	۴۶	۴۶	۰٫۲
۲	آرایش تراکم جمعیتی	۴۰	۳۷	۴۵	۰٫۲
۳	میزان دسترسی به مراکز خدماتی و عملکردی	۴۰	۳۶	۴۸	۰٫۶
۴	توزیع فضایی کانون‌های خدماتی و عملکردی	۳۹	۴۹	۴۹	۰٫۱
۵	توزیع و تقسیمات فضایی سلسله‌مراتبی خدمات باتوجه به مقیاس خدمات‌دهی	۳۹	۳۸	۳۸	۰٫۴
۶	تناسب ظرفیت‌پذیری جمعیت و مهاجرت‌پذیری در محدوده مطالعه شده	۳۸	۳۷	۳۶	۰٫۶
۷	ظرفیت، کیفیت و سلسله‌مراتب شبکه‌های ارتباطی	۳۸	۳۳	۳۸	۰٫۲
۸	توازن توسعه میان نقاط شهری و روستایی	۳۷	۳۵	۴۲	۱٫۶
۹	الگوی رشد کالبدی و توسعه شهری	۳۷	۴۰	۴۰	۱٫۲
۱۰	عامل طرح‌ها و برنامه‌های توسعه شهری در هدایت فضایی نواحی سکونت	۳۷	۳۷	۴۲	۱٫۲
۱۱	الگوی ساختار فضایی	۳۶	۴۷	۴۷	۰٫۲
۱۲	توزیع مراکز کار و فعالیت	۳۶	۴۸	۴۸	۰٫۱
۱۳	توزیع گره‌های ترافیکی و شبکه‌های ارتباطی	۳۶	۳۱	۴۰	۱
۱۴	ضریب شهرنشینی و تغییرات جمعیتی نقاط روستایی	۳۵	۳۵	۳۸	۱٫۴
۱۵	سرانه مصرف زمین شهری و دگردیسی ساختار فضایی	۳۵	۳۵	۳۹	۱

ردیف	پیشران‌ها	میزان تأثیرپذیری	میزان تأثیرگذاری	میزان اهمیت	شاخص اجماع
۱۶	قطبیت اقتصادی، سیاسی و خدماتی شهر یزد	۳۴	۳۶	۴۱	۱,۸
۱۷	عامل مدیریت شهری در تغییرات فضایی جمعیت	۳۴	۳۵	۳۸	۰,۶
۱۸	توزیع فضایی تأسیسات و امکانات زیرساختی	۳۳	۲۹	۳۹	۱,۸
۱۹	موقعیت و شکل منطقه شهری	۳۱	۳۶	۳۸	۰,۶
۲۰	توزیع فضایی تجهیزات شهری	۳۰	۲۸	۳۷	۰,۲
۲۱	نرخ رشد جمعیت	۳۰	۳۶	۳۵	۱,۴
۲۲	عامل تغییرات اکولوژیکی و تحولات اقلیمی در کاهش جمعیت و مهاجرت	۲۳	۳۱	۳۳	۱,۶

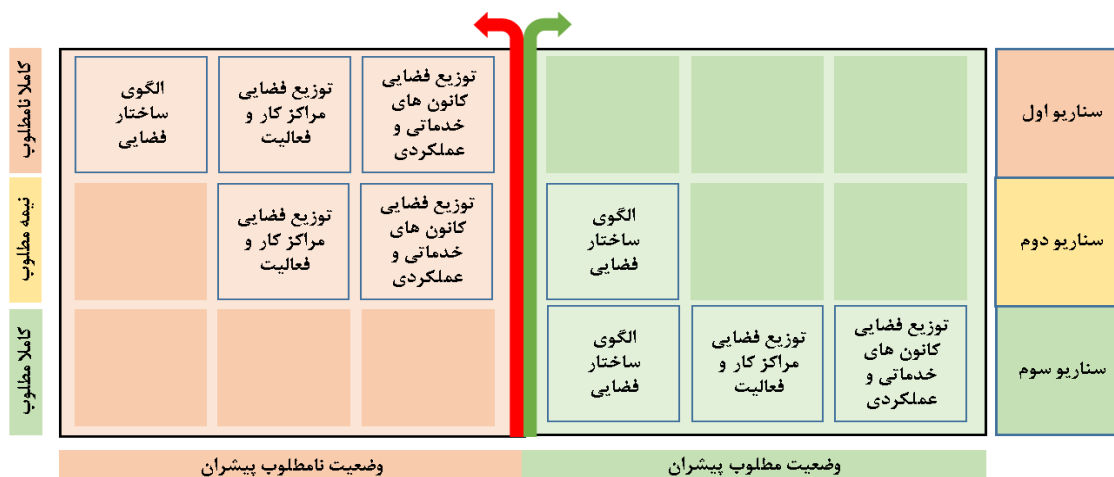
در ادامه با استفاده از میزان اهمیت و مقدار شاخص اجماع هریک از پیشران‌ها، نمودار شاخص اجماع ترسیم شد و پیشران‌هایی که از نظر مصاحبه‌شوندگان دارای عدم قطعیت بسیار و اهمیت زیاد بودند، به عنوان پیشران‌های کلیدی و مؤثر انتخاب شدند. (شکل ۴) نمودار شاخص اجماع پیشران‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمودار شاخص اجماع پیشران‌ها

Figure 4. The diagram of the consensus index for the driving forces

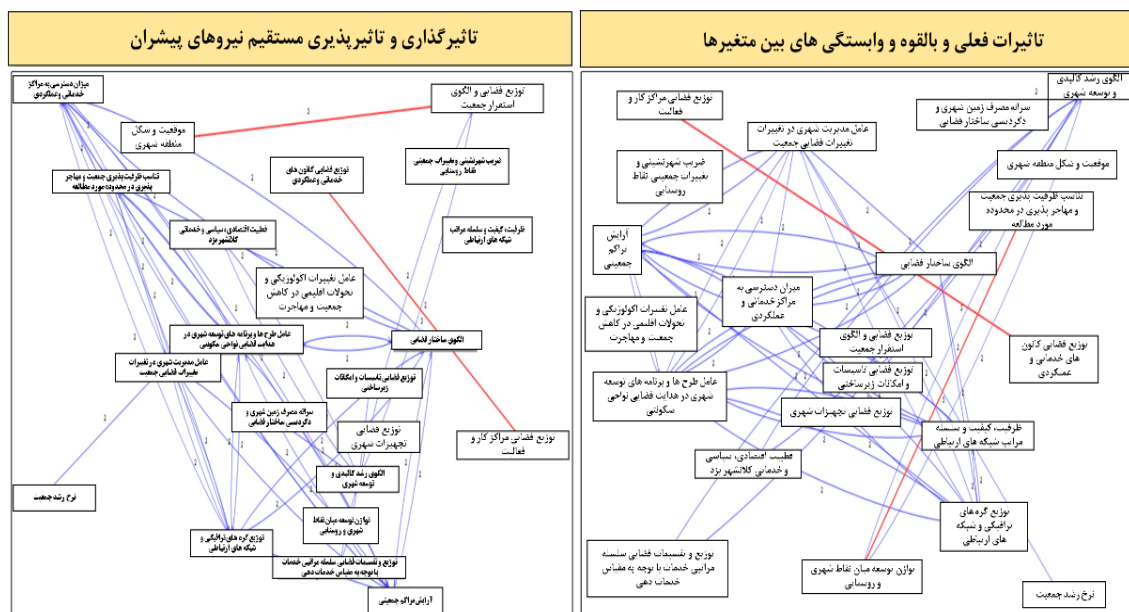
مطابق شکل (۵)، به ترتیب پیشران‌های توزیع فضایی کانون‌های خدماتی و عملکردی، توزیع فضایی مراکز کار و فعالیت و الگوی ساختار فضایی مراکز کار و فعالیت و الگوی ساختار فضایی مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی هستند. در ادامه با رفع تعارضات و حذف سناریوهای متناقض، محتمل‌ترین سناریوها به عنوان سه سناریوی اصلی انتخاب و نام‌گذاری شدند که در شکل (۶) مشخص شده است.



شکل (۵): وضعیت پیشران‌های سناریوهای منتخب

Figure 5. The status of the driving forces in the final scenarios

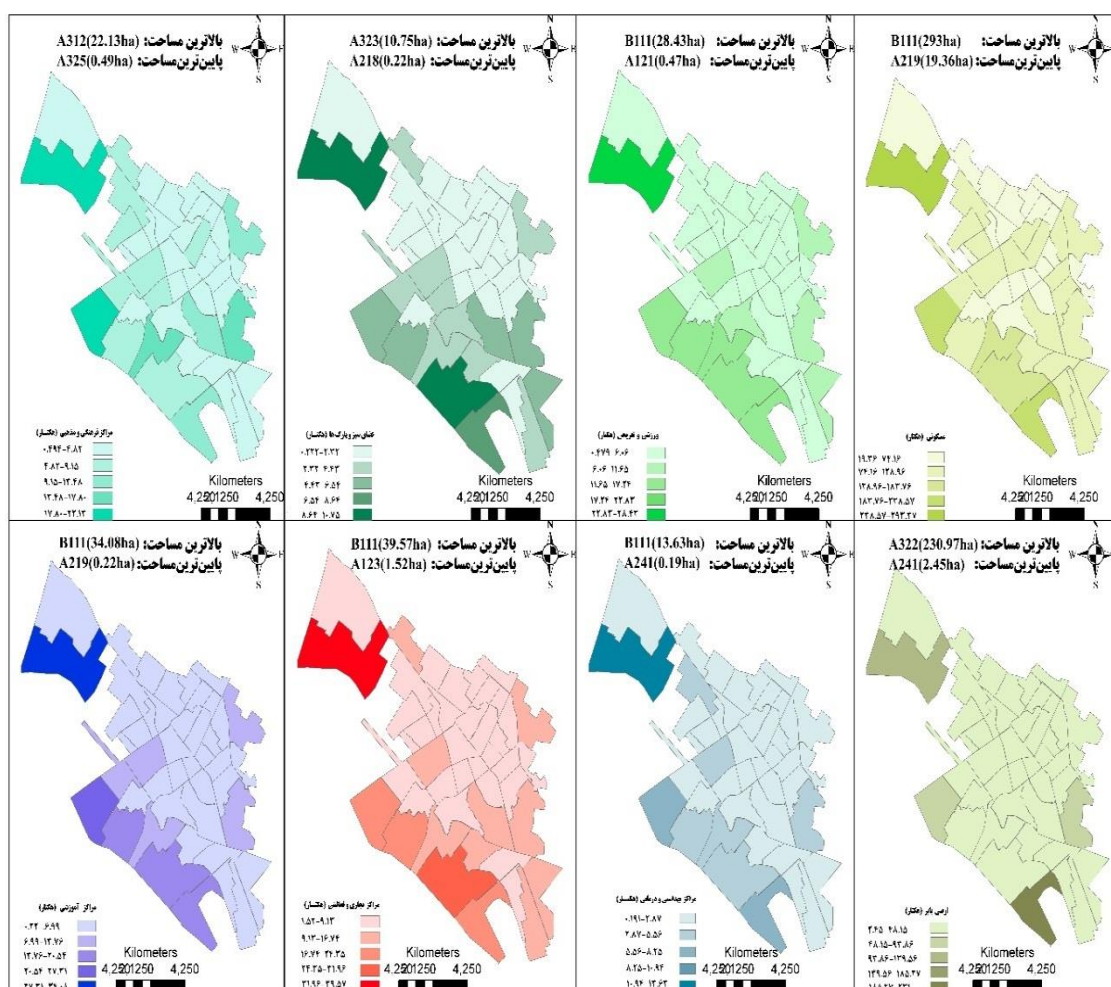
مطابق شکل (۶) تأثیرات مستقیم و بالقوه پیشران‌ها بر یکدیگر در قالب شبکه‌ای تأثیرگذار و تأثیرپذیر در نرم‌افزار میک‌مک نشان داده شده است.



شکل (۶): شدت تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم، فعلی و بالقوه پیشران‌ها بر یکدیگر

Figure 6. Intensity of the actual and potential affectability and effects of the driving forces on one another

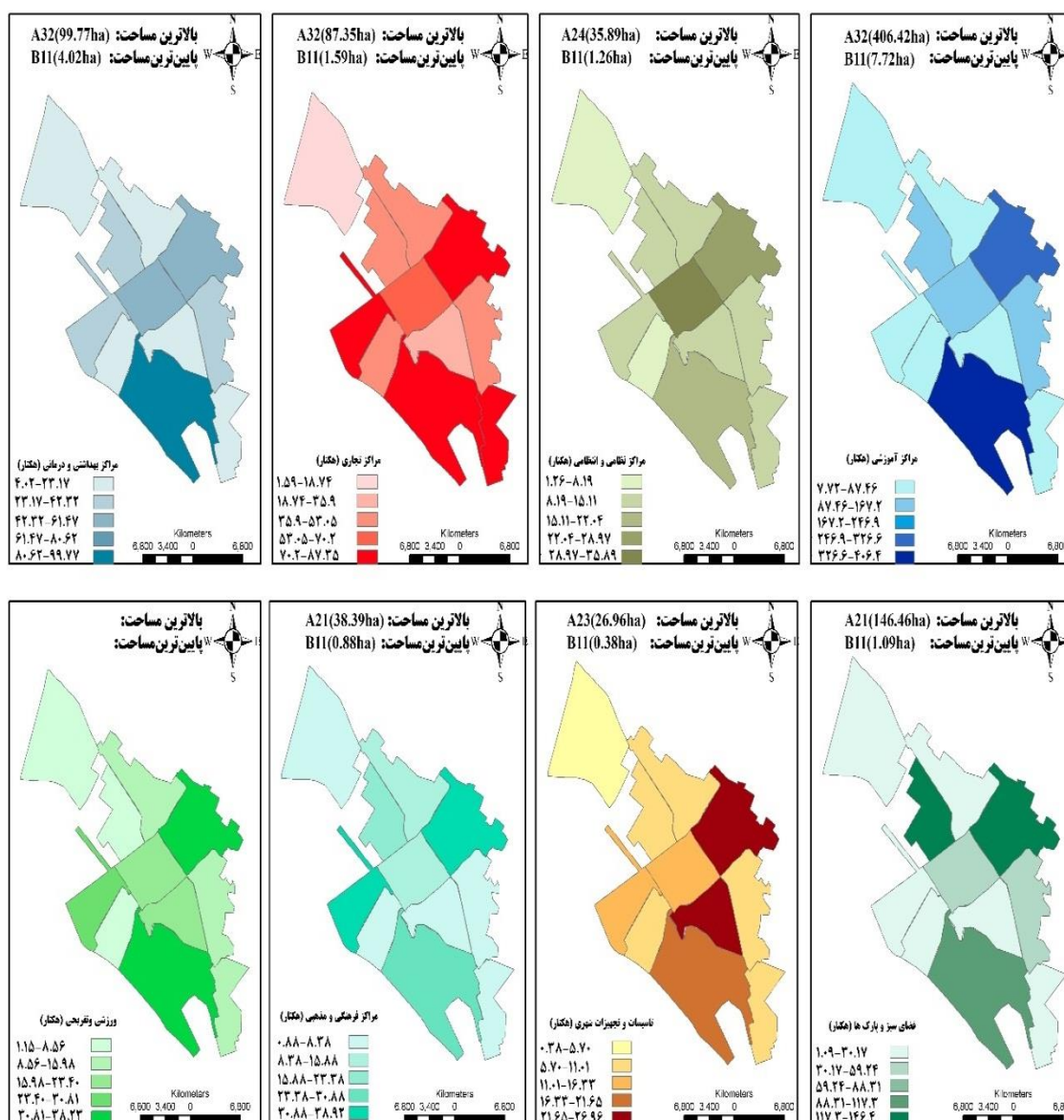
در این مرحله از پژوهش مدل سازی بهینه ترین سناریو (شماره سوم) با استفاده از پیشران های کلیدی توزیع فضایی کانون های خدماتی و عملکردی و مراکز کار و فعالیت و بازنگری در توزیع آن ها در سه مقیاس محله، ناحیه و مناطق شهری محدوده مطالعه شده برای افزایش تعادل جمعیت با استفاده از الگوریتم ژنتیک تحلیل شده است. بهینه سازی از پایین به بالا و به ترتیب از سطح محلات شروع شد و تا مناطق شهری ادامه یافت. الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن کمبود سرانه های هریک از مراکز فعالیت و خدماتی در سطوح سه گانه شهری، برای توزیع متعادل مراکز مذکور با استفاده از اراضی بایر و قهوه ای موجود در هر محدوده بهینه سازی کرده است. با استفاده از اراضی بایر که بیشترین سهم مربوط به محدوده A2 (۲۲۱۲,۳۶) و کمترین سهم مربوط به محدوده C (۲۰۰,۱۵) و اراضی قهوه ای که بیشترین سهم مربوط به منطقه B (۱۰۹,۰۱) و کمترین سهم مربوط به منطقه C (۲۳,۳۱) بوده است، الگوریتم ژنتیک بهینه سازی مراکز جذب جمعیتی را از طریق بازتوزیع آن ها در سه سطح محلات، نواحی و مناطق شهری یزد برای تعادل بخشی جمعیتی و فضایی انجام داد. در شکل های (۷)، (۸) و (۹) نتایج بازتوزیع مراکز با استفاده از الگوریتم ژنتیک آورده شده است.



شکل (۷): مرحله اول بهینه سازی پراکنش مراکز کار و فعالیت و کانون های خدماتی و عملکردی در سطح محلات در افق ۱۴۱۵

Figure 7. The first stage of optimizing the distribution of service and activity centers at the neighborhood level in the horizon of 2036 (in hectares)

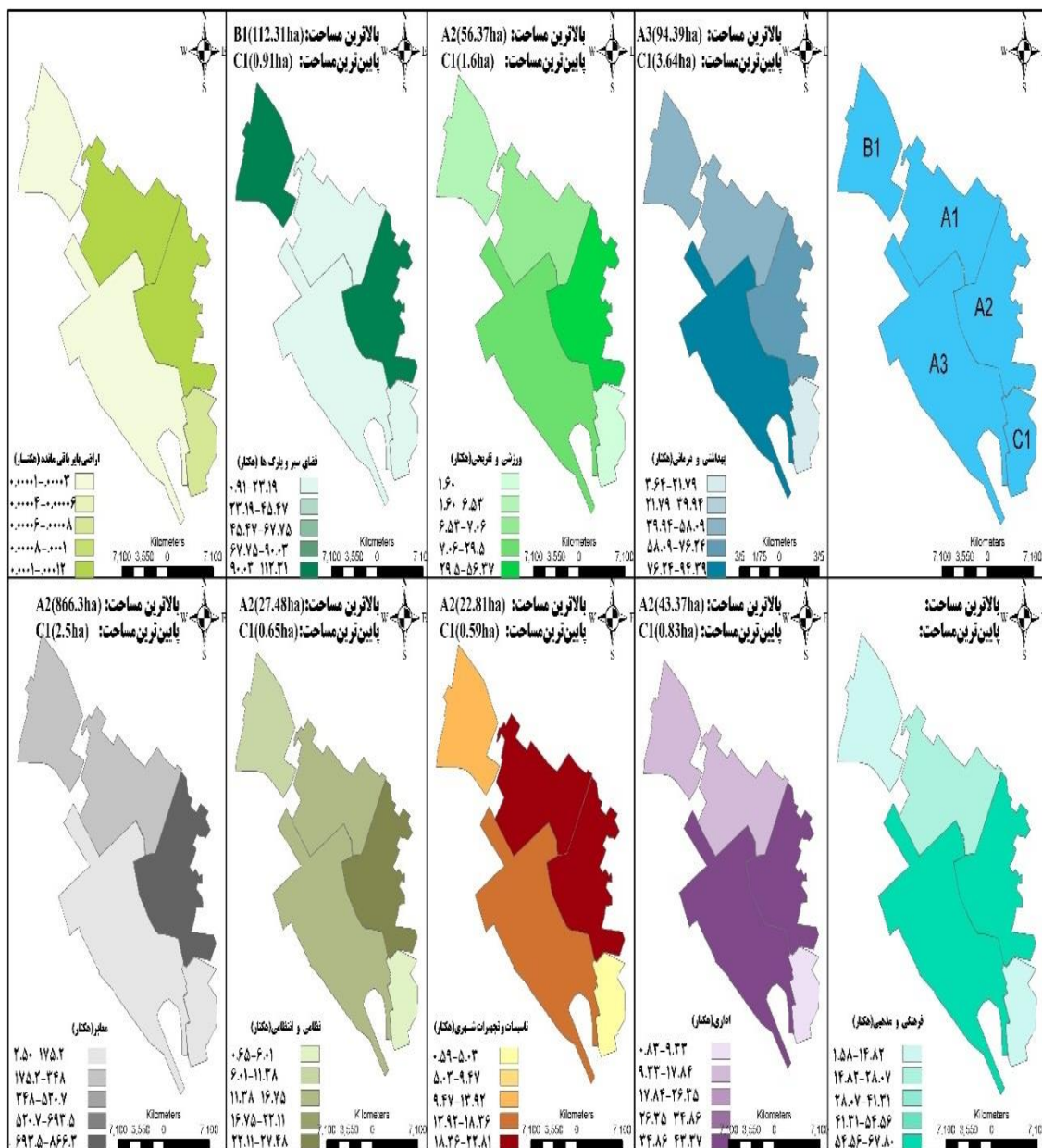
در الگوی پیشنهادی پراکنش کاربری‌ها در الگوریتم ژنتیک در سطح محلات بیشترین تمرکز کاربری‌ها در محلات محدوده B (محله B11) و کمترین سهم مربوط به محلات محدوده‌های A1, A2, A3 بود. این موضوع حاکی از کمبود سرانه مراکز جاذب جمعیتی در مقیاس محلات در محدوده B و تمرکز زیاد مراکز مذکور در مناطق A1, A2, A3 در وضع موجود است. مطابق شکل (۸) بهینه‌سازی از طریق بازتوزیع مراکز مذکور در سطح نواحی شهری و با استفاده از ظرفیت اراضی بایر باقی‌مانده صورت گرفته است.



شکل (۸): مرحله دوم بهینه‌سازی پراکنش مراکز کار و فعالیت و کانون‌های خدماتی و عملکردی در سطح نواحی در افق ۱۴۱۵

Figure 8. The second stage of optimizing the distribution of service and activity centers at the level of districts in the horizon of 2036 (in hectares)

در مرحله آخر، اراضی بایر مازاد تجمع شد که در فرایند بهینه‌سازی در سطح نواحی استفاده نشد و با محاسبه سطوح مراکز صنعتی، تولیدی و کارگاهی مزاحم در هر منطقه سعی شد تا با انتقال مراکز فعالیتی مزاحم به خارج از محدوده شهری و انتقال به شهرک صنعتی و استفاده از اراضی قهوه‌ای در کنار اراضی بایر باقی‌مانده، بهینه‌سازی و توزیع مجدد مراکز فعالیتی و کانون‌های خدماتی و عملکردی در مقیاس مناطق شهری انجام گیرد. نتایج در مقیاس مناطق شهری در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۹): بهینه‌سازی نهایی پراکنش مراکز کار و فعالیت و کانون‌های خدماتی و عملکردی در سطح مناطق در افق ۱۴۱۵

Figure 9. Final optimization on the distribution of workplaces, services and activity centers at the level of urban areas for the horizon of 2036 (in hectares)

بحث

از یافته‌ها حاصل شد که پیشران‌های توزیع فضایی کانون‌های خدماتی و عملکردی، توزیع فضایی مراکز کار و فعالیت و الگوی ساختار فضایی با تأکید بر مقیاس عملکردی مناطق و شهر به ترتیب عامل اصلی جذب جمعیت و مؤثر بر الگوی توزیع فضایی و جمعیتی در شهر یزد هستند. عمده این مراکز در سال ۱۳۷۵ در یک هسته در منطقه A2 (۱۳۶,۵ هکتار مساحت فعلی) و منطقه A1 (۱۰۹,۸۸ هکتار مساحت فعلی) تمرکز یافته‌اند که ناشی از الگوی تک‌هسته‌ای جزیره‌ای ساختار فضایی یزد است که طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ برخی از آن‌ها به منطقه A3 (۸۴,۶۱ هکتار مساحت فعلی) نقل مکان کرده‌اند و برخی مراکز جدید نیز تمایل به تمرکز در این منطقه داشته‌اند. محدوده C (۴۳,۵۷ هکتار) نیز در مقایسه با محدوده B (۲۴,۲۸ هکتار) مراکز کار و فعالیت و خدماتی و عملکردی بیشتری را در خود جای داده است. قطبیت شهر یزد در مناطق سه‌گانه (A1, A2, A3) در مقایسه با محدوده (C) و محدوده (B) بالا بوده است و این موضوع سبب ایجاد الگوی ساختار فضایی تک‌هسته‌ای جزیره‌ای شده است. در الگوی پیشنهادی پراکنش کاربری‌ها در الگوریتم ژنتیک در سطح نواحی، بیشترین تمرکز کاربری‌ها در نواحی A2 و A3 (نواحی A32-A24) و کمترین سهم مربوط به نواحی محدوده‌های B (B11) بود. این موضوع حاکی از کمبود سرانه مراکز جاذب جمعیتی در مقیاس نواحی در محدوده A1 و A2 و سرانه مطلوب مراکز مذکور در محدوده B در وضع موجود است. در الگوی پیشنهادی پراکنش کاربری‌ها در الگوریتم ژنتیک در سطح مناطق، بیشترین تمرکز کاربری‌ها در مناطق A2 و A3 و کمترین سهم مربوط به محدوده C (C1) بود. این موضوع نشان می‌دهد که با تقویت سهم مراکز جاذب جمعیت منطقه‌ای در مناطق A3 و A2 توزیع جمعیت در ساختار فضایی روبه‌تعادل حرکت می‌کند.

بر مبنای بحث صورت گرفته یافته‌ها با پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد که به رابطه میان بهینه‌سازی کاربری اراضی و تعادل بخشی جمعیت در ساختار فضایی شهرها پرداخته‌اند (Peng et al., 2021; Salvati, 2020; Shao & Wang, 2022; Vinci et al., 2021; Xie et al., 2023). در پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر ایجاد مراکز جدید و بهینه‌سازی شبکه‌های حمل و نقل شهری و زیرساخت‌ها برای تعادل بخشی جمعیت اشاره داشته‌اند؛ درحالی‌که در پژوهش فعلی با ترکیب رویکرد آینده‌پژوهی و الگوریتم ژنتیک راهکاری نوین برای بازتوزیع جمعیت در ساختار فضایی شهر یزد به کار گرفته شد و به ظرفیت اراضی بایر و قهوه‌ای موجود در محدوده شهری به‌عنوان فرصت توجه شد، درحالی‌که در پژوهش‌های پیشین به این ظرفیت کمتر توجه شده است. از طرفی برخلاف مدل‌های پیشین در پژوهش‌های گذشته که در یک سطح بهینه‌سازی را انجام می‌دادند (Huang et al., 2020; Potapenko, 2022; Lee & Guldman, 2023)، در این پژوهش بهینه‌سازی در سه سطح انجام شد و از سطح محلات تا مناطق شهری را در بر گرفت و توانست تعادل جمعیتی را به‌صورت یکپارچه و منسجم برقرار سازد. درحقیقت در پژوهش فعلی بهینه‌سازی یکپارچه‌ای انجام گرفت که سه سطح محلات، نواحی و مناطق شهری را پوشش هم‌زمان داد. با این رویکرد می‌توان شکاف تعادل را در توزیع جمعیتی شهر یزد کاهش داد.

نتیجه گیری

در این پژوهش از رویکردی نوآورانه با ترکیب رویکرد آینده پژوهی و الگوریتم ژنتیک برای تعادل بخشی تراکم جمعیت استفاده شد. در مجموع می توان نتیجه گرفت که توزیع فضایی اراضی بایر رابطه معکوسی با توزیع فضایی مراکز خدماتی-عملکردی و کانون های فعالیت دارد و هرچا تمرکز کمتری بر مراکز مذکور وجود داشته باشد، نسبت سهم اراضی بایر به مساحت محدوده مدنظر بیشتر است. تمرکززدایی از مناطق A1، A2 و A3 و تقویت عملکردی مناطق پیرامونی C و B در کنار بهبود زیرساخت ها و تسهیلات خدماتی در دهستان فهرج در جبهه شرقی حوزه نفوذ شهر یزد و دهستان محمدآباد در جنوب شهر یزد، باعث کاهش فشار از مرکز اصلی شهر یزد شده و نقش مؤثری در تقویت جبهه های توسعه ای جدید و ایجاد الگوی چند هسته ای می شود. بدون استفاده ماندن زمین ها و کاهش پویایی فضایی در برخی مناطق شهری (مناطق C و B) دلیل دیگر توزیع فضایی نامتعادل جمعیت در ساختار فضایی شهر به شمار می رود. با استفاده از ظرفیت زیاد اراضی بایر موجود (۶۵۹٫۸۳ هکتار) و آزادسازی اراضی قهوه ای (صنایع و کارگاه ها به مساحت ۳۴۶٫۰۸ هکتار) ناشی از انتقال کاربری های ناسازگار شهری به شهرک های صنعتی اطراف شهر، ظرفیت درخور توجهی برای تأمین زمین برای استقرار کاربری های خدماتی و فعالیت محور فراهم می شود. پراکنش ناموزون فضایی مراکز خدماتی-عملکردی و کانون های فعالیت و توسعه افقی دلیل دیگر عدم تعادل در توزیع فضایی جمعیت شهر یزد است؛ از این رو اعمال محدودیت بر گسترش بی رویه محدوده شهر، به ویژه در جبهه های جنوب، جنوب شرقی و غرب یزد و توجه به رویکرد توسعه درونزا، گامی اساسی در کنترل پراکنش ناموزون فضایی است. نتایج این پژوهش بر ضرورت اتخاذ رویکردی جامع نگر در مدیریت اراضی شهری و برنامه ریزی فضایی تأکید دارد، تا با بهره گیری از ظرفیت های موجود، زمینه تحقق ساختار فضایی متعادل برای شهر یزد فراهم آید. این رویکرد می تواند در سایر شهرهایی استفاده شود که دارای سهم زیادی از اراضی بایر و قهوه ای هستند.

منابع

- اسمعیل پور، نجما، و شکیبامنش، مهدی (۱۳۹۸). تحلیل نابرابری فضایی در برخورداری از کاربری های خدمات شهری؛ نمونه موردی: شهر یزد. *برنامه ریزی فضایی*، ۹(۳)، ۷۱-۸۸.
- <https://doi.org/10.22108/sppl.2019.112736.1282>
- آروین، عباسعلی، و کیانی، علیرضا (۱۳۹۹). تحلیل فضایی پراکنش خدمات عمومی شهری با استفاده از ماتریس فاصله اقلیدسی (مطالعه موردی: شهر یزد). *پژوهش های جغرافیای انسانی*، ۵۲(۴)، ۱۳۷۳-۱۳۸۹.
- <https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.275330.1007853>
- دهقانپورفرشاه، علیرضا، سلمانی ندوشن، محمد علی، و رضایی، حجت (۱۳۹۹). ارزیابی و تحلیل تغییرات رشد فیزیکی شهر یزد و پیش بینی آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی طی دوره ۱۹۷۳-۲۰۱۶. *تحلیل تغییرات رشد فیزیکی شهر یزد و پیش بینی آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی طی دوره ۱۹۷۳-۲۰۱۶*.
- فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای*، ۱۰(۴۱)، ۲۵۹-۲۷۳.
- https://www.jgeoqeshm.ir/article_126402.html

رحیمی، حجت اله، و رحیمی، حسن (۱۴۰۱). تحلیل و ارزیابی همبستگی های فضایی-کارکردی خدمات عمومی در شهر یزد. *پژوهش های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۰(۱)، ۳۹-۶۱.

https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_89523.html

شهبازین، سعیده، و ساسانی‌پور، محمد (۱۴۰۲). تحلیل توزیع فضایی سالمندی و مهاجرت داخلی در شهرستانهای کشور بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۵. *مجله عملی-پژوهشی سالمند*، ۱۸(۱)، ۶۰-۷۶.

<http://dx.doi.org/10.32598/sija.2022.3360.1>

ضرابی، اصغر، و موسوی، میرنجف (۱۳۸۹). تحلیل فضایی پراکنش جمعیت و توزیع خدمات در نواحی شهری یزد. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۲۵(۹۷)، ۲۷-۴۶. https://jgr.ui.ac.ir/article_17861.html

مرکز آمار ایران (۱۳۹۶). *سرشماری عمومی و نفوس مسکن یزد سال ۱۳۹۵*.

<https://amar.org.ir/statistical-information/statid/50753>

منتظری، مرجان، جهانشاهلو، لعلا، و ماجدی، حمید (۱۳۹۶). تحولات ساختار کالبدی-فضایی شهر یزد و عوامل مؤثر بر آن. *مطالعات محیطی هفت حصار*، ۶(۲۱)، ۲۷-۴۲.

<http://hafthesar.iauh.ac.ir/article-1-467-fa.html>

مودت، الیاس، ملکی، سعید، و مومنی، کورش (۱۳۹۶). ارزیابی و سنجش ساختار فضایی و خزش شهری (مطالعه موردی: شهر یزد). *جغرافیای اجتماعی شهری*، ۴(۲)، ۱۵۱-۱۷۵. <https://sid.ir/paper/267452/fa>

مهندسین مشاور معمار و شهرساز آرمانشهر (۱۳۹۶). *طرح تفصیلی شهر یزد*.

<https://www.shahrnegar.com/p/1599>

References

- Angel, S., & Blei, A. M. (2016). The spatial structure of American cities: The great majority of workplaces are no longer in CBDs, employment sub-centers, or live-work communities. *Cities*, 51, 21-35. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.11.031>
- Armanshahr Consulting Engineers in Architecture and Urban Planning (2017). *Detailed Plan of Yazd City*. <https://shahrnegar.com/product/detail-plan-yazd-city>
- Arvin, A., & Kiani, A. (2019). Spatial analysis of urban public services distribution using Euclidean distance matrix (Case study: Yazd city). *Human Geography Research*. 52(4), 1373-1389. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2019.275330.1007853> [In Persian]
- Bao, W., Gong, A., Zhao, Y., Chen, S., Ba, W., & He, Y. (2022). High-Precision population spatialization in metropolises based on Ensemble learning: A case study of Beijing, China. *Remote Sensing*, 14(15), 3654. <https://doi.org/10.3390/rs14153654>
- Birch, E. L. (1996). Planning in a world city: New York and its communities. *Journal of the American Planning Association*, 62(4), 442-459. <https://doi.org/10.1080/01944369608975711>
- Caldeira, T. (2016). Peripheral urbanization: Autoconstruction, transversal logics, and politics in cities of the global south. *Environment and Planning D: Society and Space*, 35(1), 3-20. <https://doi.org/10.1177/0263775816658479>
- Chen, Y., Sun, Z., & Cai, L. (2021). Population flow mechanism study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration from industrial space supply perspective. *Sustainability*, 13(17), 9949. <https://doi.org/10.3390/su13179949>
- Claassens, J., Koomen, E., & Rouwendal, J. (2020). Urban density and spatial planning: The unforeseen impacts of Dutch devolution. *PLOS ONE*, 15(10), e0240738. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240738>

- Dadashpoor, H., & Malekzadeh, N. (2020). Driving factors of formation, development, and change of spatial structure in metropolitan areas: A systematic review. *Journal of Urban Management*, 9(3), 286–297. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.06.005>
- Dadashpoor, H., Malekzadeh, N., & Saeidishirvan, S. (2023). A typology of metropolitan spatial structure: A systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, 25(12), 13667–13693. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02641-8>
- Dehghanpour farashah, A., Salmaninodoshan, M., & Rezaei, H. (2021). Evaluation and analysis of changes in physical growth of Yazd city and its prediction using geographic information system during the period 1973-2016. *Quarterly Journal of Geography and Regional Planning*. 10(41), 259–273. https://www.jgeoqeshm.ir/article_126402.html [In Persian]
- Desponds, D., & Auclair, É. (2016). The new towns around Paris 40 years later: New dynamic centralities or suburbs facing risk of marginalisation?. *Urban Studies*, 54(4), 862–877. <https://doi.org/10.1177/0042098015624379>
- Dong, B., Ikonnikova, I., Rogulin, R., Sakulyeva, T., & Mikhaylov, A. (2021). Environmental-economic approach to optimization of transport communication in megacities. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 56(6), 660–666. <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1913928>
- Dydkowski, G. (2019). The impact of cities' spatial planning on the development of a sustainable urban transport. In G. Sierpiński (eds), *Smart and Green Solutions for Transport Systems* (pp. 13–25). TSTP 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1091). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35543-2_2
- Eckert, S., & Köhler, S. (2014). Urbanization and health in developing countries: A systematic review. *World Health and Population*, 15(1), 7–20. <https://doi.org/10.12927/whp.2014.23722>
- Esmailpour, N., & Shakibamanesh, M. (2019). Analysis of spatial inequality in the enjoyment of urban services; Case study: Yazd city. *Scientific-Research Journal of Spatial Planning*. 9(3), 71–88. <https://doi.org/10.22108/sppl.2019.112736.1282> [In Persian]
- Flinn, C. (2011). “The city of our dreams”? The political and economic realities of rebuilding Britain's Blitzed Cities, 1945–54. *Twentieth Century British History*, 23(2), 221–245. <https://doi.org/10.1093/tcbh/hwr009>
- Fujii, T. (2007). A review of the changing regional structure of metropolitan areas. *The Annals of Japan Association for Urban Sociology*, 2007(25), 37–50. <https://doi.org/10.5637/jpasurban1983.2007.37>
- Gao, Z., Tan, N., Geddes, R. R., & Ma, T. (2019). Population distribution characteristics and spatial planning response analysis in metropolises: *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 7(1), 134–154. https://doi.org/10.14246/irspsd.7.1_134
- García-Ayllón, S. (2016). Rapid development as a factor of imbalance in urban growth of cities in Latin America: A perspective based on territorial indicators. *Habitat International*, 58, 127–142. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.10.005>
- Gu, R., Xie, Z., Takatori, C., Herold, H., & Xie, X. (2023). To What extent can satellite cities and new towns serve as a steering instrument for polycentric urban expansion during massive population growth?—A comparative analysis of Tokyo and Shanghai. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(6), 234. <https://doi.org/10.3390/ijgi12060234>
- Hein, C. (2010). Shaping Tokyo: Land development and planning practice in the early modern Japanese metropolis. *Journal of Urban History*, 36(4), 447–484. <https://doi.org/10.1177/0096144209347737>
- Hu, Y., He, Y., & Liu, Y. (2022). Urban spatial development based on multisource data analysis: A case study of Xianyang City's integration into Xi'an International Metropolis. *Sustainability*, 14(7), 4090. <https://doi.org/10.3390/su14074090>

- Huang, J., Hu, Y., Wang, J., & Li, X. (2020). A tale of two cities: Jobs–housing balance and urban spatial structures from the perspective of transit commuters. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(6), 1543–1557. <https://doi.org/10.1177/2399808320938803>
- Hussnain, M. Q. U., Waheed, A., Wakil, K., Pettit, C., Hussain, E., Naeem, M. A., & Anjum, G. A. (2020). Shaping up the future spatial plans for urban areas in Pakistan. *Sustainability*, 12(10), 4216. <https://doi.org/10.3390/su12104216>
- Immel, P. C. (2020). High-Modernist urban planning in Beijing for population control. *Journal of Current Chinese Affairs*, 49(3), 291–311. <https://doi.org/10.1177/1868102620920738>
- Irekponor, V. E., Abdul-Rahman, M., Agunbiade, M., & Bustamente, A. J. (2022). A framework to determine micro-level population figures using spatially disaggregated population estimates. *ArXiv* (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2212.02020>
- Kurennov, S. S., Barakhov, K., & Vambol, O. (2022). Topological optimization of a symmetrical adhesive joint. Island model of genetic algorithm. *Radioelectronic and Computer Systems*, 3, 67–83. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.3.05>
- Kvasko, M. (2023). The genesis of urban agglomerations and their impact on the development of regional socio-economic complexes. *Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice*, 11(2), 114–130. <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2023-11-2-114-130>
- Lai, Z., Li, S., Lin, J., & Li, H. (2023). Fine-scale simulation of spatial population distribution by coupling GA–ABM and big data: A case study of Dongguan, China. *Transactions in GIS*, 27(4), 1263–1286. <https://doi.org/10.1111/tgis.13068>
- Lee, D. J., & Guldmann, J. (2023). Optimal regional allocation of future population and employment under urban boundary and density constraints: A spatial interaction modeling approach. *Land*, 12(2), 433. <https://doi.org/10.3390/land12020433>
- Li, L., Zhao, H., Zhao, J., & Li, X. (2022). Single/Multi-Objective optimization design and numerical studies for Lead-to-Supercritical carbon dioxide heat exchanger based on genetic algorithm. *Applied Sciences*, 12(15), 7656. <https://doi.org/10.3390/app12157656>
- Liang, H., & Wang, Z. (2017). Optimized distribution of Beijing population based on CAMAS. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/5693896>
- Liu, F., Sun, W., & Ge, P. (2022). Demographic spatialization simulation under the active “Organic Decentralization Population” policy. *Sustainability*, 14(20), 13592. <https://doi.org/10.3390/su142013592>
- Long, Y., Shen, Z., & Mao, Q. (2011). An urban containment planning support system for Beijing. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(4), 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2011.02.004>
- Lu, H., Zheng-Yong, S., Ruan, Y., & Jiang, L. (2023). Study on urban expansion and population density changes based on the inverse S-Shaped function. *Sustainability*, 15(13), 10464. <https://doi.org/10.3390/su151310464>
- Lupala, J. (2021). Exploring unbalanced urban spatial expansion in sprawling cities. Case study of Kimara Matangini, Kibululu and Dovya settlements in Dar es Salaam City, Tanzania. *Central European Journal of Geography and Sustainable Development*, 3(2), 62–84. <https://doi.org/10.47246/cejgsd.2021.3.2.5>
- Lv, Y., Lan, Z., Kan, C., & Zheng, X. (2021). Polycentric urban development and its determinants in China: A geospatial big data perspective. *Geographical Analysis*, 53(3), 520–542. <https://doi.org/10.1111/gean.12236>
- Lyu, Y., & Jiang, F. (2022). Spatial and temporal distribution of population in urban agglomerations changes in China. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12274-6>

- Ma, T., Zhou, Z., & Antoniou, C. (2018). Dynamic factor model for network traffic state forecast. *Transportation Research Part B: Methodological.*, 118, 281–317.
<https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.10.018>
- Mavedet, E., Maleki, S., & Momeni, K. (2018). Evaluation and measurement of spatial structure and urban creep (Case study: Yazd city). *Urban Social Geography*, 4(2), 151-175.
<https://sid.ir/paper/267452/fa> [In Persian]
- McPhearson, P. T. (2011). Toward a sustainable New York city: Greening through urban forest restoration. In M. I. Slavin (Ed.), *Sustainability in America's Cities* (pp. 181–203). Island Press. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-028-6_9
- Mei-Lin, Z., Zhang, R., Hong, L., Zhang, X., & Wang, Y. (2023). A study on the spatial-temporal evolution and problem area identification of high-quality urban development in the central region. *Sustainability*, 15(14), 11098. <https://doi.org/10.3390/su151411098>
- Meshkini, A., Zarghamfard, M., & Kahaki, F. A. (2022). A comparative study of the right to the city in Iran. *GeoJournal.*, 87(4), 3101–3118. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10421-6>
- Montazeri, M., Jahanshahlou, L., & Majedi, H. (2017). Developments in the physical-spatial structure of Yazd city and its influencing factors. *Haft Hesar Environmental Studies*, 6(21), 27-42.
<http://hafthesar.iauh.ac.ir/article-1-467-fa.html> [In Persian]
- Nam, K. (2017). Is spatial distribution of China's population excessively unequal? A cross-country comparison. *The Annals of Regional Science*, 59(2), 453–474.
<https://doi.org/10.1007/s00168-017-0839-0>
- Ohashi, H., Phelps, N. A., & Tomaney, J. (2022). Between decentralization and recentralization: conflicts in intramunicipal and intermunicipal governance in Tokyo's shrinking suburbs. *Urban Planning*, 7(3), 98–114. <https://doi.org/10.17645/up.v7i3.5268>
- Peng, Y., Liu, J., Zhang, T., & Li, X. (2021). The relationship between urban population density distribution and land use in Guangzhou, China: A spatial spillover perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 12160.
<https://doi.org/10.3390/ijerph182212160>
- Pilehvar, A. A. (2021). Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00741-w>
- Pilehvar, A. A. (2022). Investigating the relationship between informal economy and competitiveness in Iran's metropolises. *Journal of the Knowledge Economy*, 14(3), 2515–2538.
<https://doi.org/10.1007/s13132-022-00965-4>
- Potapenko, A. A. (2022). Disproportions of the spatial structure of the city as a reserve for the development of the city frame: territorial and communication model and analysis of cellular data. *Urbanistika*, 4, 50–70. <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2022.4.37724>
- Rahimi, H., & Rahimi, H. (2022). Analysis and evaluation of spatial-functional correlations of public services in Yazd city. *Researches in the Geography of Urban Planning*, 10(1), 39-61.
https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_89523.html [In Persian]
- Rashid, A., Takyi, S. A., Asibey, M. O., & Kyei, K. O. B. (2023). Rethinking sustainable urban management: Effects of urbanization on the socio-spatial structure of the Tamale Metropolis. *Urban Governance*, 3(4), 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2023.06.003>
- Rastegari, M., & Saraei, M. H. (2016). A Comparative analysis of facility level and population distribution in urban network of Yazd Province. *Journal of Urban Economics and Management*, 4(15), 1–17. https://iueam.ir/browse.php?a_id=459&sid=1&slc_lang=en
- Rathomi, M. R., & Pulungan, R. (2018). A coarse-grained parallelization of genetic algorithms. *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*, 4(1), 1.
<https://doi.org/10.26555/ijain.v4i1.137>

- Razavivandfard, H. R. (2018). Urbanization and informal settlement challenges: Case study Tehran Metropolitan City. *Open House International*, 43(2), 77–82.
<https://doi.org/10.1108/ohi-02-2018-b0011>
- Reia, S. M., Rao, P. S. C., & Ukkusuri, S. V. (2022). Modeling the dynamics and spatial heterogeneity of city growth. *Npj Urban Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00075-9>
- Rode, P. (2019). Urban planning and transport policy integration: The role of governance hierarchies and networks in London and Berlin. *Journal of Urban Affairs*, 41(1), 39–63.
<https://doi.org/10.1080/07352166.2016.1271663>
- Saghaei, M., Azadeh, S. R., Fadaeijazi, F., & Jafari, F. (2020). The analysis of key factors influencing the expansion of rural migration with eemphasis on the issue of informal settlement (Case study: Shirabad neighborhood in Zahedan). *Journal of Research and Rural Planning*, 9(3), 15-33.
<https://doi.org/10.22067/jrrp.v9i3.84206>
- Salvati, L. (2020). Envisaging long-term urban dynamics: a spatially explicit analysis of local-scale population growth and natural balance. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 13(2), 165–186.
<https://doi.org/10.1007/s12076-020-00251-4>
- Saraei, M. H., & Iraj, S. (2016). A study of spatial compliance rate of socio-economic inequalities in eight areas of Yazd city. *Journal of Urban Economics and Management*, 4(13), 36–51.
<https://iueam.ir/article-1-314-en.html>
- Shahbazin, S., & Sasanipour, M. (2023). Analysis of spatial distribution of aging and internal migration in the counties of country. *Iranian Journal of Ageing*, 18(1), 60-76.
<http://dx.doi.org/10.32598/sija.2022.3360.1> [In Persian]
- Shao, D., & Wang, X. (2022). Does high spatial density imply high population density? Spatial mechanism of population density distribution based on Population–Space imbalance. *Sustainability*, 14(10), 5776. <https://doi.org/10.3390/su14105776>
- Statistical Center of Iran (2017). *General and Housing Census of Yazd in 2016*.
<https://amar.org.ir/statistical-information/statid/50753> [In Persian]
- Subasinghe, S., Wang, R., & Murayama, Y. (2022). Modelling spatial pattern of population distribution in 50 largest cities in the world: A geospatial approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 012065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012065>
- Sun, W., Fu, Y., & Zheng, S. (2017). Local public service provision and spatial inequality in Chineses cities: The role of residential income sorting and land-use conditions. *Journal of Regional Science*, 57(4), 547–567. <https://doi.org/10.1111/jors.12307>
- Veneri, P. (2018). Urban spatial structure in OECD cities: Is urban population decentralising or clustering? *Papers in Regional Science*, 97(4), 1355–1374. <https://doi.org/10.1111/pirs.12300>
- Vinci, S., Egidi, G., & Salvati, L. (2021). Population growth and urban management in metropolitan regions: The contribution of natural balance and migration to polycentric development in Barcelona. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 15(1), 71–94.
<https://doi.org/10.1007/s12061-021-09395-2>
- Wang, L., & Chen, L. (2018). The impact of new transportation modes on population distribution in Jing-Jin-Ji region of China. *Scientific Data*, 5, 170204. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.204>
- Wang, Y., & Homma, R. (2023). Prediction on optimum population capacity determined by facility density. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 11(2), 81–98.
https://doi.org/10.14246/irspsd.11.2_81
- Wu, P., & Mei, L. (2022). A framework for the spatial inequality in urban public facility for urban planning, design and management. *Land*, 11(9), 1429. <https://doi.org/10.3390/land11091429>

- Xie, Z., Yuan, M., Zhang, F., Chen, M., Shan, J., Sun, L., & Liu, X. (2023). Using remote sensing data and graph theory to identify polycentric urban structure. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 20, 1–5. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2023.3235943>
- Xiong, N., Wong, S. W., Ren, Y., & Shen, L. (2020). Regional disparity in urbanizing China: Empirical study of unbalanced development phenomenon of towns in Southwest China. *Journal of Urban Planning and Development*, 146(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000586](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000586)
- Xu, Y., Chan, E. H., & Yung, E. H. (2014). Analysis of the mechanisms contributing to spatial mismatch in transitional Chinese cities. *Journal of Urban Planning and Development*, 140(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000185](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000185)
- Zarrabi, A., & Mousavi, M. (2010). Spatial analysis of population distribution and service distribution in urban areas of Yazd. *Geographical Research*, 25(97), 27-46. https://jgr.ui.ac.ir/article_17861.html [In Persian]
- Zhang, J., Zhang, R., Zhao, X., & Yuan, X. (2023). Polycentric spatial structure evolution and influencing factors of the Kunming–Yuxi urban agglomeration: Based on multisource Big data fusion. *Land*, 12(7), 1340. <https://doi.org/10.3390/land12071340>
- Zhang, L., Zhao, Y., Yilian, D., Zhang, L., & Yu, Y. (2021). Strategies of residential area regeneration and urban development in China from the perspective of mismatch between population mobility and land supply: Take Shenzhen as example. *Tobacco Regulatory Science*, 7(6), 5741–5754 <http://tobreg.org/index.php/journal/article/view/551>

