



The University Of Tehran Press

Journal of Social Problems of Iran

Application of Particle Swarm Optimization (PSO) in Constructing Educational and Occupational Migration Indices in Tehran

Nasibeh Esmaeili¹ 

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Demography, Faculty of Social Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: nasibeh.esmaeli@ut.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 27 February 2026 Received in revised form: 2 May 2026 Accepted: 25 June 2026 Published online: 23 July 2026 Keywords: <i>Age of Artificial Intelligence, Educational and Occupational of migration, Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, Tehran, MATLAB software.</i>	In today's world, often called the digital era, large amounts of data are produced and analyzed every second, and thus pattern discovery from such data becomes inevitable. Data mining techniques work as powerful instruments for this purpose. In social sciences, nevertheless, few studies have been done regarding applications of data-driven and algorithmic methods. In this paper, the population census in 2011 was used and two indicators namely, educational attraction and occupational attraction were designed and implemented based on the model of Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm in MATLAB software. As a result of applying these two indicators, the ranking score of 22 districts in Tehran was determined. According to the results, roughly 33% of the migration to Tehran is due to educational and occupational attractions (22% occupational, 11% educational), while other 67% of migrations is because of other factors. In terms of migration share, District 5 also displays the highest values in relation to educational and occupational attraction; however, District 21 indicates the lowest migration share and attraction. The findings show that applying intelligent algorithms within the data mining approach in the field of AI technology considerably improves the ability of such approaches in social science data analysis. In this respect, migration has been analyzed as a case study for illustration of this approach.
Cite this article: Esmaeili, N. (2026). Application of Particle Swarm Optimization (PSO) in Constructing Educational and Occupational Migration Indices in Tehran. <i>Journal of Social Problems of Iran</i>, 17(1), 127-163. DOI: https://doi.org/10.22059/IJSP.2026.412078.671378	
 © The Author(s). Publisher: The University of Tehran Press. DOI: https://doi.org/10.22059/IJSP.2026.412078.671378	

Introduction

In the contemporary era, characterized by the rapid expansion of digital technologies and artificial intelligence, unprecedented volumes of data are continuously generated and transmitted. Within this data-rich landscape, extracting meaningful information and analytically robust indicators from large-scale datasets has become a fundamental necessity. This demand is equally pressing for the social sciences, which rely heavily on empirical evidence for spatial and demographic analysis. However, in many developing nations, including Iran, empirical research is frequently constrained by data scarcity, incomplete datasets, or challenges in accessing reliable governmental repositories.

To overcome these empirical limitations, advanced data mining techniques particularly metaheuristic optimization algorithms offer promising methodological alternatives. These algorithms possess a strong capacity for solving highly complex, non-linear optimization problems and uncovering latent structures within sparse or restricted datasets (Esmaeili, 2023, 240–245; Esmaeili et al., 2025, 80–83). By detecting hidden patterns and estimating unobserved parameters from limited data, metaheuristic approaches provide analytical insights that often elude conventional statistical and econometric methods. Among these algorithms, Particle Swarm Optimization (PSO) stands out as a highly robust and computationally efficient methodology. Inspired by the self-organized collective behavior observed in biological systems such as bird flocking and fish schooling, PSO has proven highly effective in navigating complex, high-dimensional search spaces to locate global optima (Abualigah, 2025, 1540–1543; Yazdian & Nour Mohammadi, 2024, 4). In a standard PSO framework, candidate solutions conceptualized as particles—move through a multi-dimensional search space, dynamically adjusting their trajectories based on both their individual historical performance and the collective experience of neighboring particles or the entire swarm. This decentralized, iterative process enables the swarm to converge toward optimal regions of the solution space without the need for centralized control, relying entirely on localized information sharing (Zhang et al., 2018, 2–7).

While metaheuristic algorithms have been extensively utilized in fields such as computer science, engineering, and the physical sciences, their application to social phenomena remains significantly underdeveloped. This methodological gap is particularly notable in migration studies. Human migration is a highly complex, multi-layered spatial process driven by interacting economic, social, and demographic push-pull factors (Jiang et al., 2019, 2–5). Modeling such dynamics requires analytical tools capable of handling non-linear, multi-agent interactions under conditions of data uncertainty. In this context, PSO provides a powerful agent-based computational framework for modeling intra-metropolitan migration. By treating individual migrants as autonomous, intelligent agents navigating an urban decision space, PSO enables a dynamic, multi-level analysis of population distribution and spatial mobility across metropolitan areas. Applied to the Tehran metropolitan area, this swarm-intelligence approach offers a novel perspective for uncovering latent, non-linear migration patterns. Rather than relying on static descriptive statistics, this dynamic modeling framework facilitates a deeper systemic understanding of urban demographic shifts, thereby supporting evidence-based urban planning and predictive policy-making.

To address the existing gap in empirical urban modeling, this study applies the PSO algorithm to analyze intra-metropolitan migration across the 22 municipal districts of Tehran using data from the 2011 national census. By utilizing a metaheuristic framework, this research uniquely bridges the macro-micro divide: it captures macro-level spatial flows across municipal boundaries while simultaneously simulating the micro-level utility-maximizing behaviors of individual migrants. The primary objective of this study is to indirectly estimate and construct two spatial indicators for Tehran's 22 districts: an *employment attraction index* and an *educational attraction index*. In doing so, this research contributes to the literature by demonstrating how swarm-based optimization techniques can resolve parameter estimation challenges in urban migration modeling, particularly in data-scarce environments.

Methodology

As established above, the principal objective of this study is to introduce an innovative and intelligent methodological framework for the data-driven analysis of migration patterns in Tehran. To this end, the article draws upon data mining techniques, with particular emphasis on metaheuristic algorithms, as an effective approach to migration modeling. Given their proven ability to solve highly complex problems and perform optimization over large, multidimensional search spaces, these algorithms offer a robust analytical means of uncovering latent patterns and extracting meaningful insights from limited datasets.

Among the various methods available in this domain, PSO is particularly prominent and is adopted here as the core analytical framework of the study.

PSO was first introduced in 1995 by James Kennedy and Russell Eberhart to model the coordinated flight patterns of bird flocks and their sudden directional shifts within groups. The algorithm is grounded in a social psychological model of collective influence and social learning. Within this framework, each particle operates as an autonomous agent navigating the search space and updates its position according to two principal components: the best position it has individually experienced, referred to as the personal best, and the best position observed within its neighborhood or the swarm as a whole, commonly known as the global best.

This mechanism is inspired by the concept of swarm intelligence, whereby local interactions and decentralized cooperation among agents lead to collective convergence toward a global optimum. A defining characteristic of PSO is its lack of centralized control. Instead, it relies on distributed and self-organizing knowledge embedded within the swarm.

As one of the most established swarm intelligence algorithms, PSO is widely applied to high dimensional and computationally complex optimization problems. Alongside other population-based metaheuristic algorithms such as Ant Colony Optimization, it has demonstrated strong performance across diverse domains, including parameter optimization, engineering design, and the training of artificial neural networks.

Findings

The findings indicate that, overall, approximately 33% of migration flows to the twenty-two municipal districts of Tehran can be explained by employment and educational attraction factors. Of this share, around 22% is associated with employment-related opportunities, while approximately 11% is linked to educational attractions. The remaining migration flows (about 67%) appear to be driven by other factors influencing migration decisions.

A comparative analysis of the districts further reveals that District 5 attracts the largest number of migrants based on the combined employment and educational attraction indices, whereas District 21 records the lowest. When these two components are examined separately, the results show that in terms of educational attraction, Districts 2, 4, and 15 rank immediately after District 5. In contrast, Districts 17, 16, and 22 following District 21 display the lowest levels of educational attraction for migrants.

Discussion and Conclusion

The primary objective of this study is to advance the application of data mining approaches and metaheuristic algorithms within the social sciences. Given the multidimensional and complex nature of migration and its conceptual compatibility with the underlying mechanics of Particle Swarm Optimization this study employed the PSO framework to construct two migration-related indices: an educational attraction index and an employment attraction index.

The results demonstrate the considerable potential of PSO for intelligent index construction in the context of migration analysis. In light of these findings, future research is encouraged to explore the use of alternative metaheuristic algorithms for developing data-driven migration indices and for addressing related challenges in other domains of the social sciences. Furthermore, systematic comparisons across different metaheuristic techniques may help identify the most efficient and analytically robust methods for this emerging line of interdisciplinary research.



انتشارات دانشگاه تهران

بررسی مسائل اجتماعی ایران

کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ساخت شاخص‌های تحصیلی و شغلی مهاجرتی در شهر تهران

نصیبه اسمعیلی^۱^۱. استادیار گروه جمعیت‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: nasibeh.esmaeli@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در عصر حاضر که به عنوان عصر دیجیتال و هوش مصنوعی شناخته می‌شود، حجم گسترده‌ای از داده‌ها در هر لحظه تولید و پردازش می‌شود. استخراج الگوهای معنادار از این داده‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، روش‌های مبتنی بر داده‌کاوی به عنوان ابزاری کارآمد جهت تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، در حوزه علوم اجتماعی، پژوهش‌های محدودی در زمینه به‌کارگیری روش‌های الگوریتمی محور مبتنی بر داده انجام شده است. مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های خرد سرشماری ۱۳۹۰ و با بهره‌گیری از ساختار الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات، دو شاخص جاذبه تحصیلی و شغلی را در نرم افزار متلب طراحی و پیاده سازی کرده است. بر اساس اطلاعات استخراج شده مبتنی بر این شاخص‌ها، مناطق ۲۲گانه تهران امتیازدهی و سپس رتبه‌بندی شدند. یافته‌های تحقیق نشان داد حدود ۳۳ درصد از مهاجرت‌ها به تهران ناشی از جاذبه‌های شغلی و تحصیلی است (۲۲ درصد شغلی، ۱۱ درصد تحصیلی) و ۶۷ درصد باقی‌مانده به دلایل دیگر مربوط می‌شود. منطقه ۵ بیشترین سهم مهاجرتی و بالاترین جاذبه تحصیلی و شغلی را دارد، در مقابل منطقه ۲۱ کمترین سهم و پایین‌ترین جاذبه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوشمند در چارچوب داده‌کاوی و در بستر تحولات عصر هوش مصنوعی می‌تواند به شکل چشم‌گیری ظرفیت و کارآمدی این روش‌ها را در تحلیل داده‌های علوم اجتماعی تقویت نماید. در این راستا، مهاجرت به عنوان نمونه‌ای کاربردی برای تبیین این رویکرد مورد بررسی قرار گرفته است.
کلیدواژه‌ها: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ تهران، عصر هوش مصنوعی، جاذبه تحصیلی و شغلی مهاجرت، نرم افزار متلب.	

استناد: اسمعیلی، نصیبه (۱۴۰۵). کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ساخت شاخص‌های تحصیلی و شغلی مهاجرتی در شهر تهران. بررسی مسائل اجتماعی

DOI: <https://doi.org/10.22059/IJSP.2026.412078.671378>

/ایران، ۱۷ (۱)، ۱۶۳-۱۲۷.

DOI: <https://doi.org/10.22059/IJSP.2026.412078.671378>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

در عصری که به عصر دیجیتال و هوش مصنوعی موسوم است، در هر ثانیه حجم انبوهی از داده‌ها تولید و جابه‌جا می‌شوند. در این میان، استخراج اطلاعات و شاخص‌های معنادار از درون این کلان داده‌ها، امری ضروری به شمار می‌رود. علوم اجتماعی نیز به عنوان یکی از علوم مبتنی بر داده، به دسترسی دقیق و کامل به اطلاعات وابسته است؛ اما در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، کمبود داده‌های تولیدشده یا دشواری دسترسی به آن‌ها، چالشی جدی ایجاد کرده است. در چنین شرایطی، الگوریتم‌های داده‌کاوی و به ویژه الگوریتم‌های فراابتکاری با توانایی حل مسائل پیچیده و بهینه‌سازی، راه‌حلی کارآمد ارائه می‌دهند. (Esmaeili et al, 2025; 80-83; Esmaeili, 2023, 240-245) این الگوریتم‌ها قادرند از مجموعه داده‌های محدود، الگوها و اطلاعات پنهان ارزشمندی استخراج کنند. یکی از مشهورترین این روش‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۱ است که با الهام از رفتار جمعی موجودات مانند دسته پرندگان طراحی شده و در یافتن راه‌حل‌های بهینه در فضاهای جستجوی پیچیده بسیار مؤثر عمل می‌کند (Abualigah, 2025, 1540-1543; Yazdian, 2024, 4).

در این الگوریتم، ذرات یا همان عامل‌ها در فضای جستجوی مسئله حرکت می‌کنند. حرکت هر ذره تحت تأثیر دو عامل اصلی است: بهترین موقعیتی که خود ذره تجربه کرده و بهترین موقعیتی که کل همسایگانش یا جمعیت به دست آورده‌اند. این تعامل باعث می‌شود ذرات به صورت جمعی به سمت مناطق امیدوارکننده در فضای جواب هدایت شوند و از تجربه یکدیگر بیاموزند. این فرآیند نمونه‌ای بارز از هوش جمعی است که در آن، عامل‌های خودمختار بدون نیاز به یک کنترل مرکزی، تنها از طریق تبادل اطلاعات محلی، به صورت جمعی به سمت جواب بهینه همگرا می‌شوند (Zhang et al, 2018, 2-7). اگرچه الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه‌هایی مانند علوم کامپیوتر، پزشکی، شیمی، فیزیک و ... به طور گسترده‌ای به کار رفته‌اند، اما کاربرد آن‌ها در حوزه علوم اجتماعی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از زمینه‌های کاربردی مهم این الگوریتم‌ها در علوم اجتماعی، تحلیل پدیده مهاجرت است (Jiang et al, 2019, 2-5).

داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن در ایران نشان می‌دهد که مهاجرت داخلی سهم قابل توجهی در پویایی و بازتوزیع جمعیت کشور داشته است. مهاجرت‌های داخلی در کشور، یکی از ابعاد مهم پویایی جمعیت در نیم قرن اخیر بوده است. به طور متوسط در دهه‌های اخیر، سالانه حدود

یک میلیون نفر در داخل کشور جابه‌جا شده‌اند. هم‌زمان با این تحرکات جمعیتی، ایران در سال‌های اخیر تغییرات مهمی را در ساختار سنی تجربه کرده و در حال حاضر در مرحله پنجره جمعیتی قرار دارد؛ مرحله‌ای که با افزایش قابل توجه شمار جوانان بزرگسال آماده ورود به بازار کار شناخته می‌شود. در این دوره، جمعیت در سنین فعالیت که حدود ۷۰ درصد کل جمعیت را تشکیل می‌دهد. برای دستیابی به فرصت‌های تحصیلی و شغلی به شهرهای دیگر مهاجرت می‌کند؛ از این رو، مهاجرت را می‌توان پیامد ذاتی این تغییر جمعیت‌شناختی دانست (Sadeghi, 2024, 80-95).

در این میان، تحصیلات از مسیرهای مختلف مهاجرت را تسهیل می‌کند. از یک سو، تحصیلات با کاهش هزینه‌ها و موانع جابه‌جایی و از سوی دیگر با افزایش بازده اقتصادی، به‌ویژه افزایش دستمزد و بهبود فرصت‌های شغلی، احتمال مهاجرت را افزایش می‌دهد. نظریه‌های اقتصادی مهاجرت نیز بر این نکته تأکید دارند که مهارت‌ها و سرمایه انسانی به سمت مکان‌هایی جریان می‌یابند که بالاترین بازده را فراهم می‌کنند؛ بنابراین پیشرفت تحصیلی، به‌عنوان معرفی از سرمایه انسانی، با افزایش شانس اشتغال و تضمین نسبی کار، به‌مثابه عاملی حرکت‌دهنده برای مهاجرت عمل می‌کند. علاوه بر این، با توجه به نقش تعیین‌کننده شبکه‌های اجتماعی در تصمیم‌گیری مهاجرت، انتظار می‌رود افزایش سال‌های تحصیل رسمی به گسترش شبکه‌های اجتماعی فرد بینجامد و از این طریق نیز احتمال مهاجرت افراد تحصیل‌کرده را تقویت کند (Feliciano, 2008; Waldorf, 2009, 330-335; Guntoro et al, 2019, 100-104; Bernard & Bell, 2018, 837-840).

یافته‌های پژوهش‌های داخلی نیز مؤید اثر مثبت تحصیلات بر احتمال مهاجرت است؛ برای نمونه، مشفق و خزایی (۱۳۹۴) یکی از الگوهای مهاجرتی زنان را زنان مهاجر تحصیل‌کرده و متخصص معرفی کرده‌اند که غالباً از نقاط شهری به پایتخت و شهرهای بزرگ مهاجرت می‌کنند. اسمعیلی و محمودیان (۱۳۹۵) نشان داده‌اند تحصیلات دانشگاهی و مشارکت اقتصادی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر مهاجرت‌های شغلی و تحصیلی زنان در سال‌های اخیر است. صادقی و همکاران (۱۴۰۰) نیز گزارش کرده‌اند در شهرستان‌های مهاجرپذیر سطح تحصیلات جمعیت افزایش یافته، زارع مهرجردی و همکاران (۱۴۰۱) نقش عوامل غیراقتصادی و تحصیلی را در مهاجرت مستقل زنان یزدی برجسته دانسته‌اند. همچنین تنها و همکاران (۱۴۰۱) نشان داده‌اند در دوره ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ مهاجرت زنان بیشتر به سمت شهرستان‌های دارای توسعه آموزشی و مهاجرت مردان بیشتر به سمت شهرستان‌های دارای توسعه اقتصادی صورت گرفته است.

در این زمینه، شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران واجد موقعیتی استثنایی است. جمعیت تهران از حدود ۱۵ هزار نفر در سال ۱۱۶۴ شمسی به حدود ۸/۷ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است (Ghasemi-Ardehaei & Kord Zanganeh, 2018; 275-280). پایتخت شدن تهران و رشد شتابان آن، به تمرکز چشمگیر امکانات و فرصت‌ها در حوزه‌های آموزشی، خدماتی، بهداشتی، رفاهی و تجاری انجامیده است؛ تمرکزی که یکی از مهم‌ترین زمینه‌های نابرابری منطقه‌ای و در نتیجه از محرک‌های اصلی جریان‌های پرحجم مهاجرت به سوی پایتخت به شمار می‌رود. همچنین، نقش سیاسی و اداری تهران در دهه‌های گذشته موجب تثبیت جایگاه آن به‌عنوان قطب تجاری، صنعتی، آموزشی کشور شده و به تشدید موج‌های مهاجرت از مناطق مختلف ایران انجامیده است (Ghasemi Ardehaei & Kord Zanganeh, 2018; 275). دلایل مهاجرت داخلی در ایران طیفی از عوامل را دربرمی‌گیرد؛ از پیروی از خانوار تا انگیزه‌های اشتغال، تحصیل، دسترسی به مسکن مناسب‌تر و انجام خدمت وظیفه. این عوامل را می‌توان ذیل دو دسته کلی مهاجرت تبعی و مهاجرت اقتصادی طبقه‌بندی کرد (Esmaeili & Mahmoodian, 2015, 115; 2016, 70). با این حال، در مورد تهران، عوامل شغلی، اقتصادی و تحصیلی برجستگی بیشتری دارند (Ghasemi Ardehaei & Kord Zanganeh, 2018; 260; Bloody, 2002; 4).

از یک سو، تهران به‌عنوان قطب اقتصادی کشور، بیشترین تنوع و تعداد فرصت‌های شغلی را در خود متمرکز کرده است. استقرار صنایع بزرگ، شرکت‌های دولتی و خصوصی و دفاتر مرکزی سازمان‌ها، همراه با شکاف معنادار درآمدی و محدودیت بازار کار متناسب در بسیاری از شهرهای کوچک‌تر، انگیزه مهاجرت به تهران را تقویت می‌کند. از سوی دیگر، تمرکز دانشگاه‌های برتر و ظرفیت‌های آموزشی، عامل مهم دیگری در جذب جمعیت مهاجر به تهران است؛ به‌گونه‌ای که بخش قابل توجهی از رشته‌های تخصصی، مقاطع تحصیلات تکمیلی، امکانات پژوهشی و شبکه‌های حرفه‌ای در دانشگاه‌های این شهر متمرکز شده‌اند. همچنین بخشی از مهاجرت‌های درون‌شهری نیز با انگیزه‌های شغلی و تحصیلی انجام می‌شود (Bloody - Mousavi, 2002; 3). به‌طوری که اسماعیلی و محمودیان (۱۳۹۶) گزارش کرده‌اند حدود یک‌پنجم علل مهاجرت‌های درون‌شهری به دلایل شغلی و تحصیلی مرتبط است. مطالعه بلادی موسوی (۱۳۸۱) نیز نشان می‌دهد از آنجا که بخش عمده مهاجرت به شهر تهران با هدف اشتغال و تحصیل صورت می‌گیرد، تعداد مردان مهاجر بیش از زنان است. ترکیب سنی مهاجران به تهران نیز بیانگر آن است که بیش از ۷۰ درصد مهاجران در بازه سنی ۱۵ تا ۴۰ سال قرار دارند؛ بازه‌ای که عمدتاً سنین فعالیت و تحصیل را دربر می‌گیرد. در

همین راستا، نتایج پژوهش صادقی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داده است شدت مهاجرت با افزایش سطح تحصیلات به طور معناداری افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که شاخص شدت مهاجرت برای افراد دارای تحصیلات دکتری حدود ده برابر افراد بی‌سواد گزارش شده است.

بر این اساس، مهاجرت‌های تحصیلی و شغلی نه تنها در شکل‌گیری مهاجرت به تهران نقشی کلیدی دارند، بلکه می‌توانند در تداوم اقامت و تثبیت مهاجران نیز مؤثر باشند. برای مثال، بسیاری از دانشجویانی که برای تحصیل به تهران مهاجرت می‌کنند، در ادامه هم‌زمان با تحصیل و نیز پس از فراغت از آن وارد بازار کار می‌شوند و همین امر زمینه ماندگاری آنان در شهر تهران را فراهم می‌کند. از این رو، تبیین نقش و سازوکار اثرگذاری این دو عامل در مهاجرت به تهران، برای فهم دقیق‌تر پویایی‌های جمعیتی، نابرابری‌های فضایی و نیز برنامه‌ریزی شهری در کلان‌شهر تهران ضروری است. در همین راستا، ساخت شاخص‌های مهاجرتی تحصیلی و شغلی برای تهران، با توجه به اهمیت ویژه این دو عامل، ضرورت می‌یابد؛ با این حال، استخراج و عملیاتی‌سازی چنین شاخص‌هایی مستلزم به کارگیری رویکردهایی است که بتوانند پیچیدگی، چندعاملی بودن و روابط غیرخطی حاکم بر الگوهای مهاجرت را به طور مناسب مدل‌سازی کنند.

در همین راستا، به کارگیری روش‌های پیشرفته‌ای مانند الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌تواند در مدل‌سازی و تحلیل الگوهای پیچیده مهاجرت داخلی و درون‌شهری ایران، به ویژه در کلان‌شهری مانند تهران، بسیار سودمند باشد (Ghasemi Ardehaei & Kord Zanganeh, 2018; 275; Boroumandzadeh & Nobakht, 2016; 80; Goudarzipoor, 2025; Ghasemi). با وجود آنکه مطالعات متعددی به بررسی وضعیت مهاجرت در شهر تهران پرداخته‌اند (Mahmoudian & Khajehnezhad, 2019; Ardehaei & Kord Zanganeh, 2018; 280; Ismaili, 2022, 15).

خلاً پژوهشی مشخصی در زمینه تحلیل مهاجرت درون‌شهری در سطح مناطق ۲۲گانه تهران با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، به ویژه الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، مشاهده می‌شود. این در حالی است که به کارگیری روش‌های پیشرفته‌ای چون الگوریتم یادشده می‌تواند در مدل‌سازی و تحلیل الگوهای پیچیده مهاجرت، بسیار سودمند باشد (Jiang et al, 2018; 12).

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، با قابلیت مدل‌سازی رفتار مهاجران به عنوان عامل‌های هوشمند در یک فضای جستجو، ابزاری قدرتمند برای کشف الگوهای پویا، پیچیده و پنهان مهاجرت درون کلان‌شهر تهران به شمار می‌رود. این رویکرد مبتنی بر هوش جمعی، امکان ارائه تحلیلی یکپارچه، پویا و چندسطحی از توزیع و جابه‌جایی جمعیت بین مناطق را فراهم می‌آورد. چنین تحلیلی

نه تنها به درک عمیق‌تری از وضعیت موجود کمک می‌کند، بلکه پیش‌بینی روندهای آتی و طراحی سیاست‌های مدیریت شهری مبتنی بر شواهد را نیز ممکن می‌سازد.

لذا، مطالعه حاضر با هدف پر کردن این خلأ پژوهشی، به داده‌کاوی پدیده مهاجرت در مناطق ۲۲ گانه تهران می‌پردازد. این پژوهش با به‌کارگیری الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات بر روی داده‌های سرشماری سال ۱۳۹۰، از مزیت منحصربه‌فرد این الگوریتم در تلفیق دیدگاه کلان (برای شناسایی الگوهای کلی مهاجرت بین مناطق) و دیدگاه خرد (برای شبیه‌سازی انگیزه‌ها و انتخاب‌های فردی مهاجران) بهره می‌برد. هدف اصلی این تحقیق، استخراج غیرمستقیم و ساخت دو شاخص تحت عنوان شاخص جاذبه شغلی و شاخص جاذبه تحصیلی برای مناطق ۲۲ گانه تهران است. این شاخص‌ها با الهام از مکانیسم هوش جمعی و رفتار حرکتی ذرات در الگوریتم ازدحام ذرات، طراحی می‌شوند تا قدرت نسبی هر منطقه را در جذب مهاجران، کمی‌سازی کنند. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال پاسخگویی به پرسش‌های کلیدی زیر است:

۱. چگونه می‌توان با الگوبری از منطق بهینه‌یابی و تعادل بین جستجوی فردی و اجتماعی در الگوریتم ازدحام ذرات، دو شاخص کمی برای جاذبه شغلی و جاذبه تحصیلی مناطق ساخت؟
۲. احتمال مهاجریزیری (نسبت مهاجرتی) هر یک از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران چقدر است و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس این شاخص‌ها چگونه است؟
۳. سهم هر یک از علل اصلی مهاجرت (شغلی، تحصیلی و سایر علل) در جذب مهاجران وارد شده به هر منطقه از تهران، به چه میزان است؟

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. پیشینه نظری

با توجه به روند تاریخی مهاجرت‌های صورت گرفته به کلان‌شهر تهران، می‌توان از ترکیبی از نظریه‌های اقتصاد نئوکلاسیک، سرمایه انسانی و مدل توسعه یافته هریس و تودارو^۱ برای تحلیل این موضوع بهره گرفت. این رویکرد ترکیبی، مهاجرت را نه صرفاً جابه‌جایی مکانی، بلکه نوعی انتخاب استراتژیک و سرمایه‌گذاری بلندمدت از سوی فرد تلقی می‌کند که هدف آن حداکثرسازی مطلوبیت، افزایش درآمد و بهبود شرایط زندگی است (Tanhaa et al, 2022; 130; Tanhaa et al, 2023, 230). در این چارچوب، تفاوت در سطح دستمزدها،

فرصت‌های شغلی و امکانات اقتصادی میان مناطق کمتر برخوردار به‌عنوان مبدأ و مناطقی مانند تهران به‌عنوان مقصد، مهم‌ترین نیروی محرک مهاجرت به شمار می‌رود.

در نظریه اقتصاد نئوکلاسیک، مهاجرت نتیجه ارزیابی عقلانی افراد از گزینه‌های اقتصادی موجود در مکان‌های مختلف است. بر اساس این دیدگاه، افراد معمولاً مقصدی را برمی‌گزینند که در آن بازده اقتصادی نیروی کار، به‌ویژه در قالب دستمزد و فرصت اشتغال، بیشتر باشد. از این منظر، مهاجرت بخشی از فرایند کلی توسعه نیز محسوب می‌شود؛ فرایندی که طی آن مازاد نیروی کار از بخش‌های کم‌بازده و سنتی به سمت بخش‌های مدرن و پربازده شهری حرکت می‌کند و به تأمین نیروی انسانی مورد نیاز اقتصاد شهری و صنعتی می‌انجامد. در نتیجه، جریان مهاجرت به تهران را می‌توان بازتابی از نابرابری‌های منطقه‌ای، تمرکز فرصت‌های اقتصادی و شکاف توسعه‌ای میان مرکز و پیرامون دانست. نظریه سرمایه انسانی این تحلیل را در سطح فردی تکمیل می‌کند. بر اساس این نظریه که از دهه ۱۹۶۰ به بعد در مطالعات مهاجرت مورد توجه قرار گرفت، مهارت، دانش، تخصص و تحصیلات افراد نوعی سرمایه انسانی به شمار می‌رود و مهاجرت تصمیمی عقلانی برای بهره‌برداری بهینه از این سرمایه است. در این دیدگاه، افراد برخوردار از سرمایه انسانی بیشتر، به‌ویژه جوانان و تحصیل‌کردگان، به دلیل آنکه از یک‌سو افق زمانی طولانی‌تری برای بازگشت منافع سرمایه‌گذاری خود دارند و از سوی دیگر نسبت به فرصت‌های شغلی و حرفه‌ای حساس‌ترند، آمادگی بیشتری برای مهاجرت نشان می‌دهند. به بیان دیگر، مهاجرت برای این گروه‌ها راهبردی برای دستیابی به بازدهی بالاتر، درآمد بیشتر، ارتقای شغلی و بهبود موقعیت اجتماعی محسوب می‌شود. در مقابل، عواملی همچون فاصله مکانی، هزینه‌های مالی، فشارهای روانی و دشواری‌های سازگاری اجتماعی می‌توانند به‌مثابه موانع مهاجرت عمل کنند (McCatty, 2004; 95-98).

مدل هریس و تودارو این چارچوب را با واقعی‌تر ساختن منطق تصمیم‌گیری مهاجران در کشورهای در حال توسعه تکمیل می‌کند. در این مدل، عامل تعیین‌کننده مهاجرت نه صرفاً دستمزد قطعی در مقصد، بلکه درآمد مورد انتظار است؛ درآمدی که از حاصل ضرب سطح دستمزد در مقصد در احتمال دستیابی به شغل در آنجا به دست می‌آید (Harris & Todaro, 1970, 130-135). از این منظر، حتی اگر بازار کار مقصد با عدم اطمینان، رقابت شدید یا احتمال بیکاری همراه باشد، تا زمانی که درآمد مورد انتظار در مقصد از درآمد بالفعل یا مورد انتظار در مبدأ بیشتر باشد، انگیزه مهاجرت همچنان پابرجا خواهد بود. بر همین اساس، جذابیت تهران صرفاً به سطح بالای دستمزدهای اسمی محدود نمی‌شود، بلکه به ترکیب این دستمزدها با فرصت‌های اشتغال، تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و

چشم‌انداز دستیابی به موقعیت بهتر در آینده وابسته است (Boroumandzadeh & Nobakht, 2016; 85).

افزون بر این سه رویکرد اصلی، برخی نظریه‌های مکمل نیز به درک جامع‌تر مهاجرت، به‌ویژه مهاجرت سرمایه انسانی، کمک می‌کنند. نظریه بازار کار دوگانه، مهاجرت را تنها حاصل انتخاب فردی نمی‌داند، بلکه آن را پیامد ساختار بازار کار در جوامع مقصد تلقی می‌کند. بر اساس این نظریه، بازار کار به دو بخش اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود: بخش اولیه که شامل مشاغل پایدار، تخصصی و با امنیت بیشتر است، و بخش ثانویه که مشاغل کم‌مهارت، بی‌ثبات و کم‌درآمد را دربر می‌گیرد. در این چارچوب، جریان مهاجرت تا حدی ناشی از تقاضای ساختاری بازار کار برای انواع مختلف نیروی کار است (Moshfegh & Khazai, 2019; 90; Zare Mehrjardi et al, 2022, 300).

همچنین، نظریه اقتصاد جدید مهاجرت نیروی کار نشان می‌دهد که تصمیم به مهاجرت همواره در سطح فردی اتخاذ نمی‌شود، بلکه در بسیاری از موارد، خانواده و شبکه‌های اجتماعی در این تصمیم نقش تعیین‌کننده دارند. در این رویکرد، مهاجرت می‌تواند راهبردی برای کاهش ریسک‌های اقتصادی، تنوع‌بخشی به منابع درآمدی خانوار و مقابله با ضعف نهادهایی مانند بازار اعتبار، بیمه و حمایت اجتماعی در مبدأ باشد. از این منظر، مهاجرت به تهران نه تنها انتخاب یک فرد، بلکه بخشی از استراتژی بقا و ارتقای موقعیت خانوار نیز محسوب می‌شود. در سطحی دیگر، نظریه محرومیت نسبی بر ابعاد ادراکی و ارزشی مهاجرت تأکید می‌کند. مطابق این دیدگاه، افراد صرفاً بر اساس سطح مطلق درآمد تصمیم‌گیری نمی‌کنند، بلکه موقعیت خود را در قیاس با دیگران و بر مبنای دسترسی به فرصت‌ها، منزلت اجتماعی، امنیت شغلی، کیفیت زندگی و امکان پیشرفت ارزیابی می‌کنند (Ghaffari & Omid, 2010, 38-42). لذا، اگر افراد یا گروه‌ها در مبدأ خود را نسبت به سایر مناطق یا گروه‌های اجتماعی محروم احساس کنند، احتمال گرایش آنان به مهاجرت افزایش می‌یابد. این امر به‌ویژه در مورد جوانان و تحصیل‌کردگانی که انتظار برخورداری از فرصت‌های بهتر را دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Kazemipur & Ghasemi-Ardahae, 2007; 135-140).

در سطح کلان‌تر نیز نظریه نظام جهانی، مهاجرت سرمایه انسانی را در پیوند با ساختار نابرابر اقتصاد جهانی تحلیل می‌کند. بر اساس این نظریه، تمرکز امکانات، سرمایه و فرصت‌ها در مناطق مرکزی و کلان‌شهری موجب می‌شود که نیروی انسانی ماهر از مناطق پیرامونی به سوی این کانون‌ها جذب شود. اگرچه این رویکرد بیشتر در تحلیل مهاجرت بین‌المللی به کار می‌رود، اما منطق آن را می‌توان در مقیاس ملی و داخلی نیز به کار بست؛ به این معنا که تهران، به عنوان مرکز تمرکز سرمایه، قدرت، آموزش عالی و فرصت‌های شغلی، نقش مرکز را در نظام فضایی کشور ایفا می‌کند و

از این طریق، نیروی انسانی و سرمایه‌های اجتماعی و اقتصادی را از سایر مناطق جذب می‌کند (Shirkhani & Baizidi, 2018, 100-108). در کنار این رویکردها، نظریه نظام آموزشی اقتباسی نیز بر نقش آموزش در شکل‌گیری گرایش‌های مهاجرتی تأکید دارد. مطابق این دیدگاه، اگر ساختار آموزشی و معیارهای موفقیت اجتماعی و حرفه‌ای با الگوهای متمرکز در مناطق پیشرفته‌تر هماهنگ باشد، افراد آموزش‌دیده برای بهره‌برداری از توانمندی‌های خود تمایل بیشتری به جابه‌جایی به سوی این مناطق خواهند داشت (Shirkhani & Baizidi, 2018, 100). در این معنا، تمرکز دانشگاه‌ها، مؤسسات آموزش عالی، مشاغل تخصصی و مسیرهای ارتقای حرفه‌ای در تهران، می‌تواند انگیزه مهاجرت تحصیلی و شغلی را تقویت کند (Boroumandzadeh & Nobakht, 2016, 80-84; Esmaeili & Mahmoodian, 2016, 117-120).

در مجموع، می‌توان گفت مهاجرت به کلان‌شهر تهران را باید پدیده‌ای چندبعدی و ساختاری دانست که از یک‌سو ریشه در نابرابری‌های منطقه‌ای، تفاوت فرصت‌های شغلی، شکاف دستمزدی و تمرکز امکانات دارد و از سوی دیگر، تحت تأثیر ارزیابی عقلانی افراد از هزینه‌ها و منافع مهاجرت، سطح سرمایه انسانی، موقعیت خانوادگی، شبکه‌های اجتماعی و محاسبه ریسک درآمدی شکل می‌گیرد. بنابراین، جاذبه تهران تنها در سطح بالاتر دستمزدها خلاصه نمی‌شود، بلکه در تلفیق این دستمزدها با فرصت‌های واقعی یا مورد انتظار اشتغال، امکانات آموزشی، چشم‌انداز ارتقای اجتماعی و تمرکز منابع اقتصادی و نهادی معنا می‌یابد. از این رو، مهاجرت به تهران را می‌توان پیامد هم‌زمان عوامل اقتصادی، اجتماعی و ساختاری دانست که در نهایت، به تصمیم افراد برای ترک مبدأ و استقرار به کلان‌شهر تهران جهت می‌دهد.

۲-۲. پیشینه تجربی پژوهش

پژوهشی که توسط صارمی و توتزاری (۱۳۹۳) انجام شد، به سنجش و ارزیابی سطح برخورداری مناطق کلان‌شهر تهران با استفاده از تکنیک تاپسیس^۱ پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که در میان مناطق تهران، برخوردارترین منطقه از لحاظ توسعه‌یافتگی، منطقه ۵ با ضریب اولویت ۰/۵۴۸ بوده و در مقابل، منطقه ۱۷ محروم‌ترین منطقه با ضریب اولویت ۰/۲۵۴ می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر تحت عنوان "تحلیل شبکه مهاجرت‌های بین استانی در ایران (۹۰-۱۳۸۵)" با روش تحقیق توصیفی-تحلیلی که توسط آقایاری هیر و حکیمی (۱۳۹۶) انجام شد، به تحلیل شبکه و تحلیل شاخه

درختی مهاجرت بین استانی با استفاده از نرم‌افزار یوکی‌نت^۱ پرداخته شد. یافته‌های این پژوهش حاکی از تشکیل چند خوشه اصلی در مهاجرت بین استانی است که در نهایت به شاخه اصلی متشکل از استان‌های تهران و البرز می‌پیوندد.

در تحقیقی دیگر، تولایی و یاری (۱۳۹۰) به بررسی عوامل مؤثر بر تمایل به مهاجرت درون شهری در تهران با تأکید بر احساس نابرابری فضایی پرداختند. مطالعه آن‌ها نشان داد که بخش قابل توجهی از شهروندان مناطق پایین شهر و مرکز تهران، تمایل به جابجایی به سمت بالاشهر دارند. همچنین یافته‌های این پژوهشگران حاکی از آن است که یکی از دلایل عدم تمایل ساکنان پایین شهر به مهاجرت به سمت محلات بالاشهر، میزان بالای رضایت آن‌ها از محله مسکونی خود می‌باشد، در حالی که در محلات مرکزی، این متغیر نقش مهمی در تبیین الگوی سکونت‌گزینی افراد ندارد. دستجردی ربیعی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تحت عنوان "سنجش دسترسی فضایی به امکانات و خدمات شهری در تهران" به رشد سریع شهرنشینی و ایجاد نابرابری‌های فضایی در مرزهای شهری تهران اشاره می‌کنند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که دسترسی به امکانات و خدمات شهری در مناطق تهران بسیار متفاوت است.

در ارزیابی تأثیرات تمرکزگرایی و مهاجرپذیری در شهر تهران، اطاعت و دبیری (۱۳۹۵) به این نتیجه دست یافتند که عوامل متعددی باعث شده‌اند تهران به کانون جذب مهاجر تبدیل شود. شکل‌گیری نظام متمرکز در کشور و تمرکز سرمایه‌های اقتصادی و فرهنگی از یک سو، و ضعف سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از پتانسیل‌های سایر نقاط کشور از سوی دیگر، موجب شده‌اند شهر تهران به کانون اصلی جذب مهاجر تبدیل شود. نتیجه این پژوهش نشان داد که ادامه چنین روندی می‌تواند به شکل‌گیری بحران‌های سیاسی و اجتماعی منجر شود و ضروری است برای تقویت ظرفیت‌های سایر نقاط کشور جهت جذب مهاجر اقدامات مؤثری صورت گیرد.

خوش‌کلام خسروشاهی (۱۳۷۹) در مقاله‌ای با عنوان "مقایسه اثر درآمد و امکانات و تسهیلات عمومی بر مهاجرت به استان تهران طی دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ با روش معادلات همزمان" به این نتیجه رسید که عامل عمده مهاجرت‌های صورت گرفته در این دوره به استان تهران، درآمد و اشتغال بوده و امکانات و تسهیلات عمومی عامل مهمی در این زمینه محسوب نمی‌شده است. بر اساس الگوی اقتصادسنجی این مطالعه، عوامل سیاسی مؤثر بر ایجاد تفاوت در سطح اشتغال و درآمد بین استان‌ها، هزینه‌های جاری و عمرانی واقعی دولت بوده که در این میان، هزینه‌های جاری واقعی عامل مؤثرتری تشخیص داده شد. بنابراین، برای مهار مهاجرت‌ها به استان تهران، با فرض اثر

کاهشی این پدیده بر رفاه اجتماعی کشور، پیشنهاد شد که رشد تقاضای دولت برای کالاها و خدمات، به ویژه کالاها و خدمات غیرسرمایه‌ای، در استان تهران نسبت به استان‌های مهاجرفرست کاهش یابد.

در مطالعه‌ای دیگر در ارتباط با عوامل مؤثر در گسترش مهاجرت به کلان‌شهر تهران، حمدی و فتحی (۱۳۸۸) براساس نتایج حاصل از فرضیات خود به این نتیجه رسیدند که عوامل اقتصادی در شهر تهران و عوامل اقتصادی در مبدأ در جایگاه دوم و عوامل سیاسی شهر تهران در جایگاه انتهایی عوامل تأثیرگذار در مهاجرت به تهران قرار دارند. رفعیان و شالی (۱۳۹۳) در تحقیقی تحت عنوان "تحلیل فضایی سطح توسعه‌یافتگی تهران به تفکیک مناطق شهری" به بررسی چگونگی ناهمگونی‌های فضایی بین مناطق ۲۲ گانه کلان‌شهر تهران پرداختند. برای شناخت سطوح توسعه مناطق شهر تهران از ۳۱ شاخص در قالب ۷ معیار اصلی استفاده شد. با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار اکسپرت چویس^۱، هر یک از معیارها و زیرمعیارها به صورت دویه‌دو با هم مقایسه و ارزیابی شدند. در نهایت، با روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، مناطق ۲۲ گانه کلان‌شهر تهران از نظر درجه توسعه‌یافتگی در چهار سطح توسعه‌یافته، نسبتاً توسعه‌یافته، توسعه متوسط و توسعه‌نیافته خوشه‌بندی و در محیط GIS به صورت نقشه نمایش داده شدند. نتیجه بررسی شاخص‌ها نشان داد که کلان‌شهر تهران فاقد وحدت کالبدی و اجتماعی بوده و ناهمگونی‌های فضایی بین مناطق شمالی و جنوبی آن به عنوان ویژگی اصلی ساختار فضایی کلان‌شهر تهران همچنان پابرجاست.

مطالعه دیگری توسط عزیزی (۱۳۸۵) تحت عنوان "محله مسکونی پایدار: مطالعه موردی نارمک" انجام شد. این محقق، محله نارمک تهران را یک محله پایدار دانست که محصول برنامه‌ریزی و طراحی شهرسازان دوران معاصر است. یافته‌های تحقیق نشان داد که اصول و معیارهای پایداری محله، نظیر هویت، سرزندگی، دسترسی، تنوع، تأمین خدمات و امنیت، در حد بالایی در نارمک تحقق یافته است. اما با این وجود، محله نارمک به آستانه ظرفیت‌های جمعیتی و ساختمانی رسیده و چنانچه نظارت مستمر به عنوان یک اصل مهم مورد غفلت قرار گیرد، اصول و معیارهایی که پایداری محله را تاکنون تضمین کرده‌اند، از دست خواهند رفت. لطیفی و باباگلی (۱۳۹۳) در بررسی فضاها و نابرابر شهری در تهران در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰، توزیع شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و مطلوبیت فضا و رابطه بین آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که توزیع مطلوبیت فضا با توزیع شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی رابطه معناداری دارد.

کاظمی‌پور و اردهائی (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان "تجربه اقامتی و تمایل مهاجرت به شهر تهران"، تجربه اقامت در یک محیط را یکی از عوامل مؤثر بر تمایل مهاجرت به آن محیط دانستند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نظریه‌های محرومیت نسبی، جاذبه و دافعه، و شبکه مهاجرت برای تبیین اثر تجربه اقامتی بر میزان تمایل به شهر تهران مناسب هستند. در پژوهشی که توسط ربیعی دستجردی و کاظمی (۲۰۱۶) انجام شد، به موضوع نابرابری اجتماعی و فضایی در شهر تهران پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که جوانان، افراد تحصیل کرده و ثروتمندان، بخش غربی شهر به ویژه منطقه ۵ را برای زندگی ترجیح می‌دهند و این مناطق از لحاظ آموزشی، دارای ساکنان تحصیل کرده و از لحاظ جمعیتی جوان و عمدتاً مهاجر هستند.

در جمع بندی مطالبی که بیان شد، میتوان گفت که کلان‌شهر تهران، به‌عنوان پایتخت ایران، طی دهه‌های متمادی کانون اصلی جذب جمعیت و جریان‌های مهاجرتی از سراسر کشور بوده است. این پدیده، پیامدهای گسترده‌ای در ابعاد اجتماعی، اقتصادی، کالبدی و محیط‌زیستی این کلان‌شهر داشته و آن را به عرصه‌ای پیچیده از تعاملات، نابرابری‌ها و فرصت‌ها تبدیل کرده است. درک ساختار، الگوها و عوامل محرک این مهاجرت‌ها، نه تنها برای مدیریت شهری و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، بلکه برای فهم تحولات کلان اجتماعی و اقتصادی ایران امری ضروری است. در پاسخ به این ضرورت، ادبیات پژوهشی غنی‌ای در حوزه مطالعات شهری و جمعیت‌شناسی شکل گرفته که از زوایا و با روش‌های گوناگون به واکاوی پدیده مهاجرت در تهران پرداخته است. این مطالعات را می‌توان در چند محور کلی دسته‌بندی کرد: نخست، تحقیقاتی که بر سنجش سطح توسعه و برخورداری مناطق تهران متمرکز شده و با به کارگیری تکنیک‌های مختلف (مانند تاپسیس، تحلیل سلسله مراتبی) به ترسیم نقشه نابرابری فضایی بین مناطق شمالی، مرکزی و جنوبی شهر پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها به وضوح شکاف عمیق بین مناطق برخوردار (همچون منطقه ۵) و محروم (نظیر منطقه ۱۷) را آشکار ساخته‌اند.

محور دوم، شامل مطالعاتی است که به تحلیل الگوها و شبکه‌های مهاجرتی (بین استانی و درون‌شهری) پرداخته و با روش‌هایی مانند تحلیل شبکه، نشان داده‌اند که چگونه جریان‌های مهاجرتی در نهایت به کانون تهران و البرز ختم می‌شوند و چگونه تمایل به جابجایی از مناطق پایین‌شهر به سمت مناطق بالا شهر وجود دارد. محور سوم، بر شناسایی عوامل مؤثر بر تصمیم مهاجرت تأکید دارد. در اینجا، نظریه‌های اقتصادی کلاسیک و نئوکلاسیک (مانند جستجوی درآمد بالاتر)، نظریه سرمایه انسانی (مهاجرت به مثابه سرمایه‌گذاری) و مدل‌های تعدیل‌شده‌ای مانند مدل هریس و تودارو (با مفهوم درآمد انتظاری) مبانی نظری تحلیل را تشکیل می‌دهند. تحقیقات تجربی

در این حوزه، عواملی مانند اشتغال و درآمد، سطح تحصیلات، سن، و تجربه اقامتی را به عنوان تعیین کننده های اصلی برشمرده اند، در حالی که نقش امکانات عمومی را کمتر مؤثر دانسته اند. در نهایت، محور چهارم به پیامدهای مهاجرت می پردازد؛ از تمرکزگرایی و شکل گیری ناهمگونی های فضایی پایدار تا فشار بر ظرفیت های زیستی محلات (مانند نارمک) و پتانسیل ایجاد بحران های اجتماعی.

با وجود غنای مطالعات پیشین، شکاف پژوهشی محسوسی در مدل سازی کمی عوامل مؤثر بر مهاجرت در سطح مناطق بیست و دوگانه تهران مشاهده می شود. پژوهش حاضر در تلاش است با بهره گیری از الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات، مدلی کمی برای تحلیل مهاجرت میان این مناطق ارائه دهد. هدف این مطالعه، نه تنها برآورد کمی احتمال مهاجرت پذیری هر منطقه، بلکه ساخت شاخص هایی برای سنجش جاذبه های شغلی و تحصیلی و همچنین تفکیک سهم هر یک از این عوامل در جذب جمعیت است. این تحقیق ضمن تداوم مسیر پژوهش های پیشین، با به کارگیری روشی نوین، تحلیلی یکپارچه و کمی از پدیده پیچیده مهاجرت در کلان شهر تهران ارائه می دهد.

۳- روش شناسی پژوهش

منبع اصلی داده های مورد استفاده در این مطالعه، با توجه به مسئله و اهداف تحقیق که بررسی احتمال مهاجرت پذیری مناطق تهران بر اساس جاذبه های شغلی و تحصیلی است، اطلاعات ویژگی های خانوار در سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ می باشد. لازم به توضیح است که داده های کلیدی مورد نیاز برای این تحلیل، در سرشماری سال ۱۳۹۵ با محدودیت های همراه بوده است. همانطور که قاسمی ارهایی و کرد زنگنه (۱۳۹۶) نیز نشان دادند، در سرشماری ۱۳۹۰ اطلاعات جامعی از مهاجران شامل مدت مهاجرت، تعداد، جنس، مبدأ، علت مهاجرت و جمعیت شناور به تفکیک مناطق ۲۲گانه ثبت شده بود، اما در سرشماری ۱۳۹۵ تغییراتی در پرسشنامه و داده های منتشر شده رخ داد که دسترسی به این متغیرهای ضروری را محدود کرد. از این رو، به منظور ایجاد پایگاه داده ای منسجم و یکدست که امکان تحلیل دقیق روابط میان مهاجرت، اشتغال و تحصیل را فراهم آورد، داده های خرد سرشماری سال ۱۳۹۰ به عنوان مبنای این پژوهش انتخاب شده اند. نحوه ساخت شاخص ها و چگونگی عملیاتی سازی آن ها در بخش یافته های پژوهش، هم زمان با فرایند ساخت، به تفصیل بیان خواهد شد.

همانطور که بیان شد، اصلی‌ترین هدف مقاله حاضر کاربرد روشی نوین و هوشمند در داده‌کاوی مقوله مهاجرت در تهران می‌باشد. مقاله حاضر با بهره‌گیری از رویکردهای داده‌کاوی و به‌طور خاص الگوریتم‌های فراابتکاری، راه‌حلی مؤثر برای مدل‌سازی ارائه می‌دهد. این دسته از الگوریتم‌ها به دلیل توانایی در حل مسائل پیچیده و انجام بهینه‌سازی در فضای جستجوی بزرگ، ابزاری مناسب برای استخراج الگوها و اطلاعات پنهان از مجموعه داده‌های محدود محسوب می‌شوند (Esmaeili, 2025, 540-550; Esmaeili & Abbasi-Shavazi, 2024, 3-8; Esmaeili & Abbasi-Shavazi, 2024, 117-124; Esmaeili, 2023, 1).

یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌ها در این حوزه، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات است که به عنوان چارچوب اصلی تحلیل در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم بهینه‌سازی ذرات، یک الگوریتم جستجوی جمعی است که از رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان الهام گرفته شده است. این روش نخستین بار در سال ۱۹۹۵ توسط جیمز کندی^۱ و راسل ابرهارت^۲ به منظور تحلیل الگوهای پرواز هماهنگ پرندگان و تغییر مسیر ناگهانی آن‌ها در دسته ارائه شد. عملکرد الگوریتم بر پایه مدلی روانشناختی از تأثیرات اجتماعی و یادگیری جمعی استوار است. در این روش، هر ذره به عنوان یک عامل خودمختار در فضای جستجو حرکت می‌کند و موقعیت خود را بر اساس دو مؤلفه اصلی تنظیم می‌نماید: بهترین موقعیتی که خود ذره تاکنون تجربه کرده و بهترین موقعیتی که در کل همسایگی‌اش مشاهده شده است. این فرآیند با الهام از مفهوم هوش جمعی شکل گرفته است، جایی که تعامل محلی و همکاری عوامل منجر به همگرایی جمعی به سمت جواب بهینه سراسری می‌گردد. از ویژگی‌های بارز این رویکرد، عدم نیاز به کنترل مرکزی و اتکا بر دانش توزیع‌شده و خودسازمان‌یافته ذرات است (Zhang et al, 2025; 30-40; Ramazani -Mouzirji & Yaghoubi, 2009; 5).

الگوریتم بهینه‌سازی ذرات به عنوان یکی از روش‌های شناخته‌شده هوش جمعی، در کنار الگوریتم‌هایی همچون بهینه‌سازی کلونی مورچگان، در مسائل پیچیده با ابعاد بالا به کار می‌رود و حتی در آموزش شبکه‌های عصبی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، پس از تشریح خلاصه‌ای از مکانیزم عملکرد این الگوریتم، کاربرد ایده‌های آن در طراحی شاخص‌های جاذبه مهاجرتی تحصیلی و شغلی ارائه خواهد شد. در این روش جستجو، موقعیت اولیه هر ذره به صورت

1 James Kennedy

2 Russell Eberhart

تصادفی و با توزیع یکنواخت در محدوده تعریف شده مسئله تعیین می شود که در رابطه (۱) نشان داده شده است. $X_{\min}^d$ و $X_{\max}^d$ به ترتیب حد پایین و حد بالای بعد d ام فضای جستجو هستند.

$$x_i^d(0) \sim U(x_{\min}^d, x_{\max}^d) \quad (1)$$

در زمانهای بعد موقعیت هر ذره بر مبنای تجربه خودش و نیز همسایگانش تنظیم می شود. اگر $x_i^d(t)$ موقعیت بعد d ذره i در زمان t باشد، موقعیت ذره مطابق رابطه (۲) با جمع شدن با بعد d سرعت ذره i در زمان t ، $v_i^d(t)$ تغییر می کند.

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (2)$$

این بردار سرعت است که ذرات را هدایت می کند. در بردار سرعت، هم نتیجه تجربه اجتماعی ذره های همسایه و هم تجربه فردی هر ذره دخیل است. در تعریف بردار سرعت، به جزیی که از دانش به دست آمده از تجربه شخصی استفاده می کند، جزء فردی^۱ و به قسمتی که از تجربیات همسایه ها استفاده می کند، جزء اجتماعی^۲ گفته می شود. هر ذره سرعت خود را با ترکیب خطی این دو به روزرسانی می کند. در جزء فردی از بهترین موقعیتی که ذره تاکنون به آن دست پیدا کرده و در جزء اجتماعی از بهترین موقعیتی که کل ذرات تا کنون بدان دست پیدا کرده اند، استفاده می شود. برحسب چگونگی تعریف همسایگی، دو نوع الگوریتم بهینه سازی ذرات به نام بهترین محلی، $lbest$ ^۳ و بهترین فرامحلی $gbest$ ^۴ مطرح می شود. در نوع بهترین فرامحلی، همسایگی هر ذره، تمام ذرات را در بر می گیرد و جزء اجتماعی از تجربه کل ذرات استفاده می کند. در این روش جهت محاسبه سرعت از رابطه (۳) استفاده می شود که از بهترین مقداری که کل جمعیت کشف کرده است ($gbest$) استفاده می کند. در روش بهترین محلی برای به روز رسانی سرعت از رابطه (۴) استفاده می شود که از بهترین موقعیتی که همسایگان هر ذره به آن دست پیدا کرده اند ($lbest$) جهت به روزرسانی استفاده می کند. در روابط فوق $pbest_i$ بهترین موقعیتی است که ذره i تا کنون به آن دست پیدا کرده است.

$$v_i^d(t+1) = w(t)v_i^d(t) + c_1r_{1i}(t)[pbest_i^d - x_i^d(t)] + c_2r_{2i}(t)[gbest^d - x_i^d(t)] \quad (3)$$

$$v_i^d(t+1) = w(t)v_i^d(t) + c_1r_{1i}(t)[pbest_i^d - x_i^d(t)] + c_2r_{2i}(t)[lbest^d - x_i^d(t)] \quad (4)$$

1 Cognitive component

2Social component.

3 Local best.

4Global best.

C_1 و C_2 ثوابت مثبتی هستند که برای وزن دهی به اجزا خودی و جمعی استفاده می‌شوند و ضرایب شتاب^۱ نامیده می‌شوند. R_1 و r_{2i} اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر تا یک بوده ($r_{1i}(t), r_{2i}(t) \sim U(0,1)$ ، خاصیت تصادفی بودن الگوریتم را حفظ می‌کنند. W پارامتر وزن اینرسی^۲ می‌باشد.

نکته جالب در این الگوریتم، استفاده همزمان از دانش محلی و دانش جمعی است؛ ایده‌ای که می‌تواند در مقاله حاضر نیز مورد استفاده قرار گیرد. ما می‌توانیم با الگوبرداری از نگرش جزئی و کلی الگوریتم ازدحام ذرات، دو شاخص جاذبه شغلی و تحصیلی را تعریف کنیم که بیانگر میزان جذب مهاجران به مناطق مختلف باشند. در بخش یافته‌ها، روند سیستماتیک تولید این شاخص‌ها ارائه شده است. در روابط (۳) و (۴)، دو عامل فردی و اجتماعی برای یافتن نقطه بهینه ترکیب می‌شوند. به بیان دیگر، اگر هر منطقه را به‌عنوان یک هدف در نظر بگیریم، بهترین شاخص در بررسی مقایسه‌ای زمانی حاصل می‌شود که هم نگرشی محلی و هم نگرشی فراگیر در تحلیل لحاظ شود. این ایده در واقع اساس عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی ذرات است (Tripathi et al, 2007; 5034-5040).

۴- یافته‌های پژوهشی

در این مطالعه، کار شاخص‌سازی از داده‌های محدود آغاز می‌شود. این مقاله می‌کوشد با الهام از الگوریتم‌های هوشمند داده‌کاوی، شاخص‌هایی با عنوان جاذبه شغلی و جاذبه تحصیلی مهاجرت تولید نماید. از این رو، کار با محاسبه نسبت‌های احتمالی آغاز می‌شود تا زمینه لازم برای فرآیند شاخص‌سازی فراهم آید. در مرحله اول ورود اطلاعات به نرم افزار متلب انجام و یک ماتریس به نام Data تعریف می‌شود.

```
X1=data (:,1); x2=data (:,2); x3=data (:,3); x4=data (:,4);
x5=data (:,5);
for i=1:22
    p(i)=x2(i)
end
```

1 Acceleration constant.

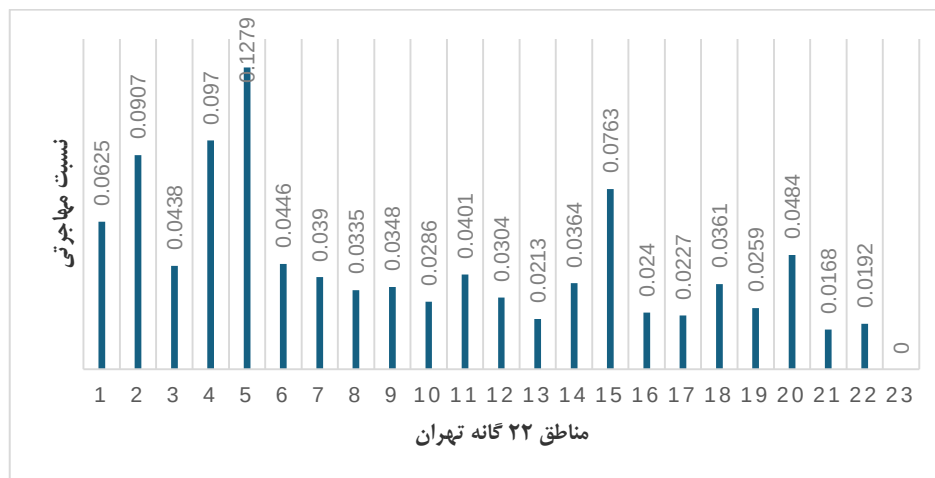
2 Inertia weight.

در رابطه بالا $s(1,2)$ برابر است با تعداد کل مهاجران به شهر تهران و از جمع عناصر بردار x_2 بدست می آید. با تقسیم تعداد مهاجران به منطقه i ام که با $x_2(i)$ نشان داده می شود بر تعداد کل مهاجران به مناطق ۲۲ گانه تهران ($s(1,2)$) می توان احتمال مهاجرتی به هر منطقه را بدست آورد. کد دستور بالا با تولید ۲۲ عدد نسبت مهاجرت به هر منطقه را محاسبه می نماید. که در زیر به تفسیر این موضوع مورد بحث قرار گرفته است. در مرحله دوم به محاسبه نسبت های احتمالی مهاجرت به مناطق ۲۲ گانه تهران پرداخته می شود. بدین منظور نسبت مهاجران در هر منطقه (که آن را با $p(i)$ نشان داده شده است)، از تقسیم تعداد مهاجران ساکن در منطقه i بر مجموع کل مهاجران در کلیه ۲۲ منطقه محاسبه می شود. این شاخص در معادله ۵ ارائه شده است.

$$p(i) = \frac{\text{تعداد مهاجران در منطقه } i}{\text{تعداد مهاجران در ۲۲ منطقه}} \quad (5)$$

نتیجه محاسبه معادله ۵ در نمودار ۱ نشان داده شده است، در نمودار ۱ نتایج نسبت مهاجرتی در مناطق ۲۲ گانه تهران (۹۰-۱۳۸۵) آورده شده است.

همان طور که در نمودار ۱ مشاهده می شود، بیشترین نسبت مهاجرت با حدود ۱۳ درصد متعلق به منطقه ۵ است. به عبارت دیگر، از هر ۱۰۰ نفر مهاجر وارد شده به مناطق ۲۲ گانه تهران، حدود ۱۳ نفر منطقه ۵ را مقصد خود انتخاب کرده اند. نکته قابل توجه، نزدیکی و شباهت نسبت مهاجرت در مناطق ۲ و ۴ است که به ترتیب ۹۰٫۰۷٪ و ۹۰٫۷٪ می باشند. این دو منطقه پس از منطقه ۵، بیشترین نسبت مهاجرپذیری را داشته اند؛ یعنی تقریباً از هر ۱۰۰ مهاجر، حدود ۹ نفر به منطقه ۲ و ۹ نفر به منطقه ۴ وارد شده اند. در مقابل، کمترین نسبت مهاجرتی با ۱۰٫۶٪ مربوط به منطقه ۲۱ است. برای سهولت درک، مقادیر نمودار به صورت تعداد به ازای هر ۱۰۰ نفر مهاجر بیان شده اند تا انتقال مفهوم آسان تر شود.



نمودار ۱: نسبت مهاجرتی در مناطق ۲۲ گانه تهران (۹۰-۱۳۸۵)

در ادامه در مرحله سوم به محاسبه شاخص‌های نسبت اشتغال، باسوادی و فارغ التحصیلی پرداخته می‌شود. برای محاسبه شاخص نسبت اشتغال، تعداد شاغلان هر منطقه بر مجموع کل شاغلان تمامی ۲۲ منطقه تهران تقسیم می‌شود. جهت سهولت در تفسیر، حاصل این تقسیم را می‌توان در عدد ۱۰۰ ضرب کرد و آن را به صورت درصد بیان نمود. این شاخص در معادله ۶ ارائه شده است.

$$(۶) \quad \text{نسبت اشتغال در هر منطقه} = \frac{\text{تعداد شاغلین در هر منطقه}}{\text{تعداد کل شاغلین در 22 منطقه}}$$

برای محاسبه شاخص نسبت با سوادان و نسبت فارغ التحصیلان دانشگاهی را به ترتیب تعداد باسوادان در هر منطقه و تعداد فارغ التحصیلان در هر منطقه را بر کل جمعیت باسوادان در ۲۲ منطقه تقسیم کرده، و برای تفسیر بهتر، نتیجه را می‌توان در ۱۰۰ ضرب کرد.

$$(۷) \quad \text{نسبت باسوادان در هر منطقه} = \frac{\text{تعداد باسوادان در هر منطقه}}{\text{تعداد کل باسوادان در 22 منطقه}}$$

$$(۸) \quad \text{نسبت فارغ التحصیلان در هر منطقه} = \frac{\text{تعداد فارغ التحصیلان در هر منطقه}}{\text{تعداد کل فارغ التحصیلان در 22 منطقه}}$$

نتایج محاسبات این سه شاخص نسبت اشتغال، باسواد و فارغ التحصیلی در جدول (۱) نشان داده شده است. همان طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، منطقه ۵ بیشترین نسبت شاغلان، نسبت باسوادان و نسبت فارغ التحصیلان دانشگاهی را نسبت به کل مناطق دارا است؛ در حالی که منطقه ۲۱ کمترین این نسبت‌ها را نسبت به کل مناطق دارد.

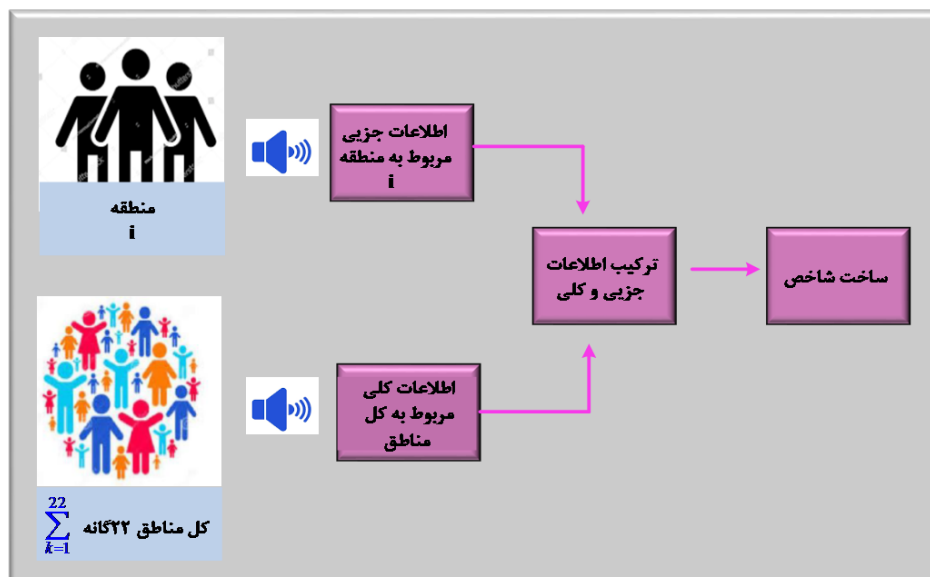
در ادامه، در مرحله چهارم، شاخص معرفی می‌شود که مبنای کار در بخش‌های بعدی مطالعه خواهد بود. هدف از تعریف این شاخص، ارائه یک نمای کلی از وضعیت جذابیت تحصیلی و شغلی در هر منطقه نسبت به خود آن منطقه و سایر مناطق است. به عبارت دیگر، جذابیت یک ویژگی به صورت مقایسه‌ای در نظر گرفته می‌شود و می‌توان درباره برتری یک منطقه در زمینه تحصیلی یا شغلی، فقط زمانی از این امر سخن گفت که تمامی نواحی با یکدیگر مقایسه شوند.

جدول ۱: نسبت شاغلین، نسبت باسوادان و نسبت فارغ التحصیلان دانشگاهی در مناطق ۲۲ گانه تهران (۹۰-۱۳۸۵)

مناطق تهران	نسبت شاغلین منطقه به کل	نسبت فارغ التحصیلان منطقه به کل	نسبت باسوادان بالای ۶ سال منطقه به کل
۱	۰,۰۴۷	۰,۰۸۶۳	۰,۰۵۱۳
۲	۰,۰۶۶۶	۰,۰۱۳۱	۰,۰۷۷۵
۳	۰,۰۳۵۱	۰,۰۷۶۶	۰,۰۴۱۸
۴	۰,۱۰۲۱	۰,۱۰۹۲	۰,۱۰۲۰
۵	۰,۱۱۱۶	۰,۱۵۱۱	۰,۱۱۳۸
۶	۰,۰۲۸۵	۰,۰۴۲۲	۰,۰۲۶۴
۷	۰,۰۴۰۱	۰,۰۴۷۹	۰,۰۴۰۳
۸	۰,۰۴۵۱	۰,۰۵۶۴	۰,۰۵۰۶
۹	۰,۰۳۳۰	۰,۰۱۹۵	۰,۰۲۷۷
۱۰	۰,۰۳۱۴	۰,۰۲۶۴	۰,۰۲۹۷
۱۱	۰,۰۴۵۱	۰,۰۳۰۶	۰,۰۴۰۰
۱۲	۰,۰۲۷۳	۰,۰۱۸۳	۰,۰۲۶۵
۱۳	۰,۰۳۰۶	۰,۰۳۱۰	۰,۰۳۲۹
۱۴	۰,۰۶۱۲	۰,۰۳۳۶	۰,۰۵۶۶
۱۵	۰,۰۷۷۶	۰,۰۳۴۲	۰,۰۷۸۰
۱۶	۰,۰۳۳۶	۰,۰۱۲۴	۰,۰۲۶۴
۱۷	۰,۰۳۰۵	۰,۰۱۰۱	۰,۰۲۹۲
۱۸	۰,۰۴۲۰	۰,۰۱۵۸	۰,۰۳۹۲
۱۹	۰,۰۲۶۰	۰,۰۱۱۱	۰,۰۳۲۱
۲۰	۰,۰۴۵۸	۰,۰۲۲۰	۰,۰۴۲۱

مناطق تهران	نسبت شاغلین منطقه به کل	نسبت فارغ التحصیلان منطقه به کل	نسبت باسوادان بالای ۶ سال منطقه به کل
۲۱	۰,۰۲۰۸	۰,۰۱۵۶	۰,۰۱۷۵
۲۲	۰,۰۱۹۱	۰,۰۱۸۶	۰,۰۱۸۴

همانطور که توضیح داده شد، برای دستیابی به اهداف فوق از ساختار و ایده الگوریتم هوشمند بهینه‌سازی ازدحام ذرات استفاده شده است. منظور از کاربرد دید کلی و جزئی نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: شماتیک عملکردی در ساخت شاخص‌های مهاجرتی تحصیلی و شغلی با الگوبذیری از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

شاخص‌های جاذبه شغلی و تحصیلی که بیانی عددی از میزان جاذبه مهاجرتی هستند، با استفاده از فرمول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ ساخته می‌شوند.

$$(9) \quad \text{جاذبه شغلی} = \left(\frac{\text{تعداد شاغلین منطقه}}{\text{تعداد باسوادان در منطقه } i + \text{تعداد فارغ التحصیل منطقه } i + \text{تعداد شاغلین منطقه } i} \right) + \left(\text{نسبت شاغلین منطقه } i \times \text{تعداد کل مهاجران} \right)$$

$$(۱۰) \quad \text{جاذبه فارغ التحصیلان}$$

$$= \left(\frac{\text{تعداد فارغ التحصیلان منطقه}}{\text{تعداد باسوادان در منطقه } i + \text{تعداد فارغ التحصیل منطقه } i + \text{تعداد شاغلین منطقه } i} \right) \times \text{تعداد کل مهاجران} \times \text{نسبت شاغلین منطقه } i + \left(\frac{\text{تعداد کل مهاجران}}{\text{تعداد باسوادان در منطقه } i + \text{تعداد فارغ التحصیل منطقه } i + \text{تعداد شاغلین منطقه } i} \right) \times \text{جاذبه با سوادی}$$

$$(۱۱) \quad \left(\frac{\text{تعداد با سوادان منطقه}}{\text{تعداد باسوادان در منطقه } i + \text{تعداد فارغ التحصیل منطقه } i + \text{تعداد شاغلین منطقه } i} \right) \times \text{تعداد کل مهاجران} \times \text{نسبت شاغلین منطقه } i + \left(\frac{\text{تعداد کل مهاجران}}{\text{تعداد باسوادان در منطقه } i + \text{تعداد فارغ التحصیل منطقه } i + \text{تعداد شاغلین منطقه } i} \right) \times \text{جاذبه با سوادی}$$

لازم به ذکر است جاذبه باسوادی و جاذبه فارغ التحصیلی با یکدیگر جمع می‌شوند و شاخص جاذبه تحصیلی ساخته می‌شود.

در مرحله پنجم، شاخص‌های ساخته شده نرمال می‌شوند. برآیند این مرحله از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا به منظور به دست آوردن درصد مهاجرت‌های صورت گرفته بر اساس جاذبه‌های شغلی و تحصیلی و سایر علل استفاده می‌شود. نحوه به دست آمدن این شاخص‌های نرمال شده در معادلات ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است و نتایج آن در نمودار (۲) ارائه می‌شود.

$$(۱۲) \quad P_{33}(i) = r_3 \times \left(\frac{P_3(i)}{P_3(i) + P_4(i) + P_5(i)} \right)$$

که در این معادله، r_3 وزن شغلی، $P_3(i)$ شاخص جاذبه شغلی منطقه i ، $P_4(i)$ شاخص جاذبه فارغ التحصیلی منطقه i ، $P_5(i)$ شاخص جاذبه با سوادی منطقه i ، $P_{33}(i)$ نرمالیزه شاخص جاذبه شغلی در منطقه i است.

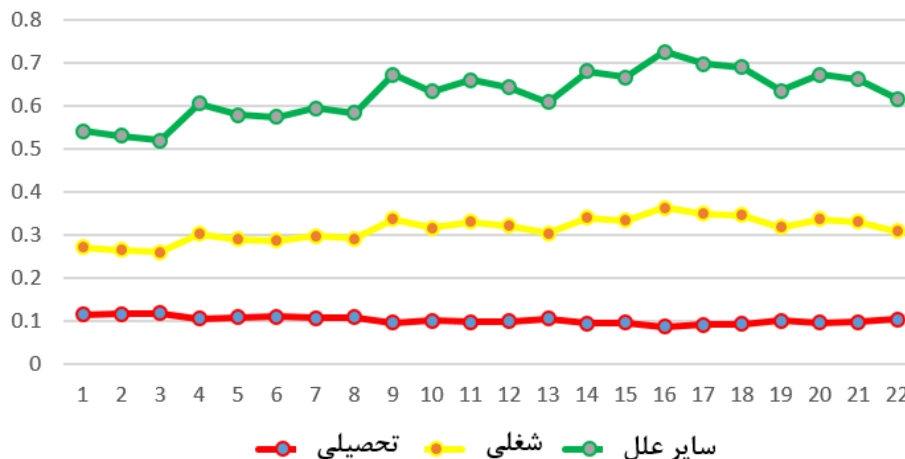
$$(۱۳) \quad P_{44}(i) = r_4 \times \left(\frac{P_4(i)}{P_3(i) + P_4(i) + P_5(i)} \right)$$

وزن شاخص جاذبه فارغ التحصیلی، $P_{44}(i)$ نرمالیزه شاخص جاذبه فارغ التحصیلی در منطقه i است.

$$(۱۴) \quad P_{55}(i) = r_5 \times \left(\frac{P_5(i)}{P_3(i) + P_4(i) + P_5(i)} \right)$$

وزن فارغ التحصیلی، $P_{55}(i)$ نرمالیزه شاخص جاذبه با سوادی در منطقه i است.

درصد مهاجرین به تفکیک علت مهاجرتی



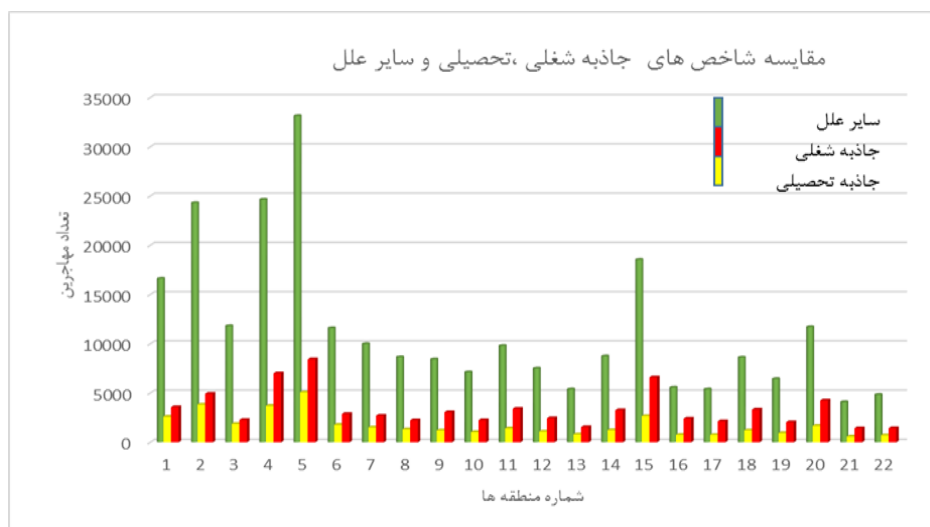
نمودار ۲: درصد مهاجرین به تفکیک علل مهاجرتی (جاذبه شغلی، تحصیلی و سایر علل) در مناطق ۲۲ گانه تهران (۱۳۸۵-۹۰)

در مرحله ششم با توجه به اطلاعات بدست آمده در مراحل قبل کار رتبه بندی و مقایسه بین نواحی مختلف از نظر احتمال مهاجرتی و جاذبه مهاجرتی انجام می شود. در این بخش از یک ساختار فلوچارت درختی استفاده شده است که ریشه این درخت تعداد کل مهاجران به شهر تهران بوده و برگهای این درخت به عنوان آخرین لایه درخت بیانگر تعداد مهاجران در هر منطقه به تفکیک علت آن هستند. در مرحله هفتم انتخاب و دسته بندی خروجی درخت تصمیم گیری بوسیله کد دستوری متلب با دستور sort بدست آمده است.

```
[a5,b5]=sort(x2-(m3+m4+m5),'descend');
[a3,b3]=sort(m3,'descend');
[a4,b4]=sort(m4+m5,'descend');
f=[b3 a3 b4 a4 b5 a5]
```

در نمودار ۳، شاخص های جاذبه شغلی، جاذبه تحصیلی و سایر علل مهاجرت در مناطق ۲۲ گانه تهران در کنار یکدیگر مقایسه شده اند. در ادامه همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، منطقه ۵ بیشترین مهاجر و منطقه ۲۱ کمترین مهاجر را دارا است، که این امر بر پایه جاذبه های شغلی و تحصیلی است. بر اساس بالاترین میزان مهاجرت مبتنی بر جاذبه تحصیلی، پس از منطقه ۵، مناطق ۴، ۲ و ۱۵ در رتبه های بعدی قرار می گیرند و مناطق ۱۷، ۱۶ و ۲۲ پس از منطقه ۲۱ کمترین جاذبه

تحصیلی را دارا هستند. بر اساس جاذبه شغلی، پس از منطقه ۵، مناطق ۲، ۱۵ و ۴ در رتبه‌های بعدی قرار دارند؛ و کمترین جاذبه شغلی پس از منطقه ۲۱ به مناطق ۲۲، ۱۳ و ۱۹ اختصاص دارد.



نمودار ۳: مقایسه شاخص‌های مهاجرتی جاذبه شغلی، تحصیلی و سایر علل به مناطق ۲۲ گانه تهران (۹۰-۱۳۸۵)

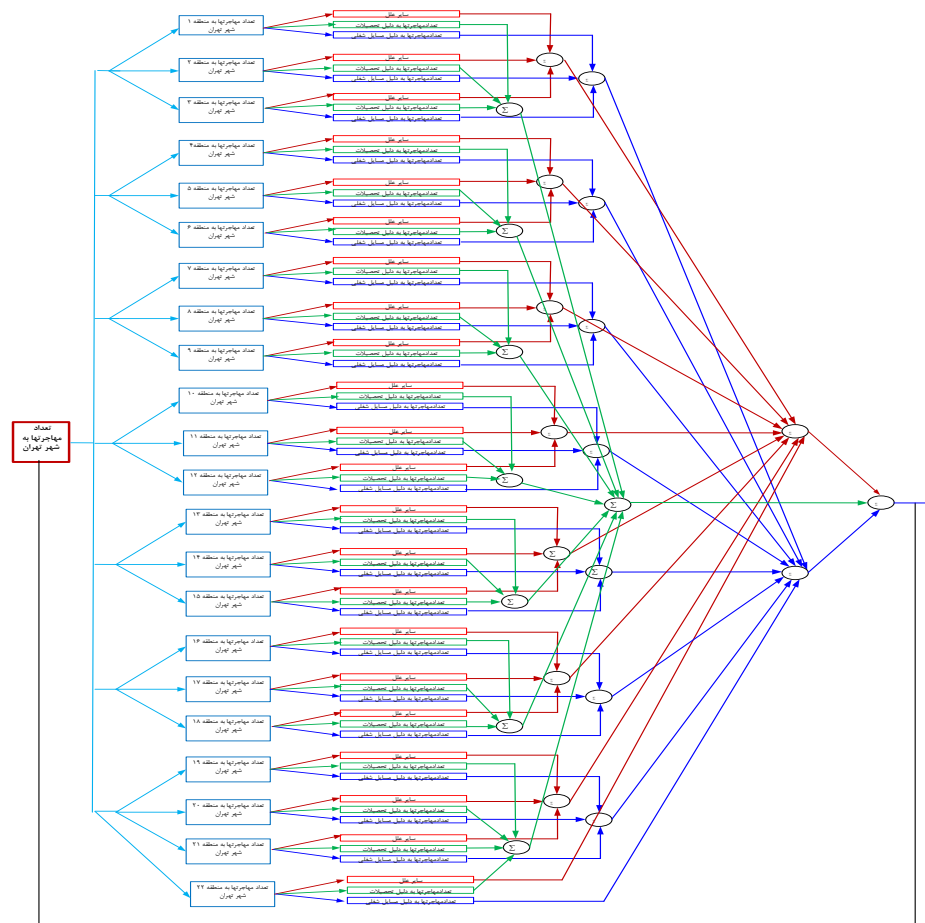
جدول ۲: رتبه‌بندی مناطق ۲۲ گانه تهران بر اساس جاذبه‌های شغلی و تحصیلی و سایر علل (۹۰-۱۳۸۵)

سایر علل		جاذبه تحصیلی		جاذبه شغلی	
ترتیب شماره منطقه	مهاجران وارد شده بر اساس سایر علل	ترتیب شماره منطقه از بزرگ به کوچک	مهاجران وارد شده بر اساس جاذبه تحصیلی	ترتیب شماره منطقه از بزرگ به کوچک	مهاجران وارد شده بر اساس جاذبه شغلی
۵	۳۳۱۳۸	۵	۵۰۸۱	۵	۸۴۳۴
۴	۲۴۶۵۲	۲	۳۸۴۱	۴	۷۰۱۷
۲	۲۴۳۱۰	۴	۳۷۱۲	۱۵	۶۶۰۰
۱۵	۱۸۵۴۸	۱۵	۲۶۷۳	۲	۴۹۳۷
۱	۱۶۶۲۳	۱	۲۶۰۸	۲۰	۴۲۶۲
۳	۱۱۸۱۹	۳	۱۸۷۹	۱	۳۵۸۲
۲۰	۱۱۷۱۳	۶	۱۷۸۳	۱۱	۳۴۱۸
۶	۱۱۵۹۴	۲۰	۱۶۷۹	۱۸	۳۳۳۵
۷	۹۹۹۶	۷	۱۵۱۷	۱۴	۳۲۷۱
۱۱	۹۸۰۸	۱۱	۱۴۲۰	۹	۳۰۷۰
۱۴	۸۷۴۵	۸	۱۳۲۳	۶	۲۸۸۹

بیشترین

جاذبه شغلی		جاذبه تحصیلی		سایر علل	
مهاجران وارد شده بر اساس جاذبه شغلی	ترتیب شماره منطقه از بزرگ به کوچک	مهاجران وارد شده بر اساس جاذبه تحصیلی	ترتیب شماره منطقه از بزرگ به کوچک	مهاجران وارد شده بر اساس سایر علل	ترتیب شماره منطقه از بزرگ به کوچک
۲۷۱۷	۷	۱۲۴۶	۱۴	۸۶۵۸	۸
۲۴۵۹	۱۲	۱۲۱۸	۱۸	۸۶۱۹	۱۸
۲۴۱۶	۱۶	۱۲۰۹	۹	۸۴۳۳	۹
۲۲۷۷	۳	۱۱۰۲	۱۲	۷۵۱۳	۱۲
۲۲۵۴	۱۰	۱۰۵۳	۱۰	۷۱۲۵	۱۰
۲۲۴۹	۸	۹۵۰	۱۹	۶۴۴۳	۱۹
۲۱۳۷	۱۷	۸۱۲	۱۳	۵۵۷۱	۱۶
۲۰۵۴	۱۹	۷۶۴	۱۶	۵۳۹۸	۱۳
۱۵۵۱	۱۳	۷۵۸	۱۷	۵۳۹۶	۱۷
۱۴۳۸	۲۲	۷۲۳	۲۲	۴۸۴۰	۲۲
۱۴۳۴	۲۱	۵۹۳	۲۱	۴۰۹۸	۲۱
					کمترین

در نهایت، در مرحله پایانی، فلوچارت درختی با استفاده از نرم افزار ویزیو^۱ بر اساس مراحل پیشین ترسیم می‌شود. این فلوچارت درختی از ریشه آغاز شده و به برگ‌ها ختم می‌شود. مسیرهای میان ریشه تا برگ‌ها، شاخه‌های درخت نامیده می‌شوند. در این مقاله، به هر یک از این شاخه‌ها عددی نسبت داده شده که بیانگر نسبت‌های احتمالی مورد بحث است. شکل ۲، به صورت شماتیک و در قالب یک بلوک دیاگرام، فرآیند ورود و طبقه‌بندی مهاجران به مناطق ۲۲ گانه تهران را بر اساس شاخص‌های جاذبه شغلی، تحصیلی و سایر علل نشان می‌دهد. این بلوک دیاگرام، فرآیند تولید شاخص‌های مهاجرتی را به صورت تصویری و روشن نمایش می‌دهد.



شکل ۲: بلوک دیاگرام درختی توصیف کننده عملکرد شاخص‌های مهاجرتی شغلی و تحصیلی ساخته شده

بر اساس شکل ۲، می‌توان چنین بیان نمود که شاخه اصلی درخت، نشان‌دهنده نسبت مهاجرت به هر یک از مناطق است. در هر منطقه، تعداد مهاجران از ضرب تعداد کل مهاجران در نسبت مهاجرتی ویژه آن منطقه به دست می‌آید. این تعداد به عنوان مبنایی برای محاسبه شاخص‌های تحصیلی، شغلی و سایر علل مهاجرت در آن منطقه به کار گرفته می‌شود. برگ‌های این درخت، برآوردی از تعداد مهاجران هر منطقه را بر اساس علل مهاجرتی نشان می‌دهد. با تجمیع این نتایج، می‌توان تعداد کل مهاجران وارد شده به شهر تهران را محاسبه کرد. به عبارت دیگر، تعداد کل مهاجران به عنوان ریشه درخت و شاخص‌های مهاجرتی تفکیک شده بر اساس علل در هر منطقه،

به‌منزله برگ‌های درخت در نظر گرفته شده‌اند. ساختار این درخت به‌گونه‌ای طراحی شده که از ترکیب تمامی خروجی‌ها، بتوان به ورودی سیستم یعنی تعداد کل مهاجران واردشده به تهران دست یافت. نکته مهم آن است که تعداد مهاجران هر منطقه به تفکیک علل، صرفاً یک معیار عددی برای مقایسه محسوب می‌شود و هدف اصلی آن شناسایی عواملی است که بیشترین تأثیر را در جذب مهاجران به یک منطقه و در نهایت به کلان‌شهر تهران داشته‌اند.

۵- بحث

هدف اصلی مقاله حاضر، کاربرد رویکرد داده‌کاوی و بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه علوم اجتماعی است. با توجه به ماهیت چندوجهی و پیچیده پدیده مهاجرت و همخوانی ذات آن با سازوکار الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، از ساختار این الگوریتم برای ساخت دو شاخص مهاجرتی جاذبه تحصیلی و جاذبه شغلی استفاده شد. لازم به ذکر است که توسعه این دو شاخص هوشمند، به دلیل محدودیت‌های موجود در دسترسی به داده‌های جامع‌تر بوده و در صورت فراهم بودن داده‌های بیشتر، امکان ساخت شاخص‌های دیگری نظیر جاذبه‌های رفاهی، اقتصادی و سایر مؤلفه‌های مؤثر بر مهاجرت نیز وجود دارد. بر همین اساس و با توجه به محدودیت داده‌های موجود در حوزه مهاجرت‌های شهری، فرایند مهاجرت به مناطق بیست‌ودوگانه شهر تهران به عنوان مطالعه موردی برای به‌کارگیری روش‌های داده‌کاوی انتخاب شد. در این پژوهش، بررسی جاذبه‌های شغلی و تحصیلی و نقش آن‌ها در جذب مهاجران به این مناطق با استفاده از رویکردی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در فرایند شاخص‌سازی مورد توجه قرار گرفت. مبنای به‌کارگیری این الگوریتم در شاخص‌سازی، ویژگی ذاتی آن در بهره‌گیری هم‌زمان از دانش محلی (جزئی) و دانش جمعی (کلی) برای جستجوی نقطه بهینه است. بر این اساس، با الگوبرداری از این نگرش دوگانه (جزئی‌نگر و کل‌نگر)، دو شاخص جاذبه شغلی و جاذبه تحصیلی برای هر یک از مناطق طراحی و استخراج شد. در این چارچوب، شاخص‌های هر منطقه از دو منظر تکوین می‌یابند: نخست، از دیدگاه کلی که وضعیت هر منطقه در مقایسه با سایر مناطق سنجیده می‌شود؛ و دوم، از دیدگاه جزئی که هر شاخص مهاجرتی در یک منطقه، نسبت به سایر فاکتورهای موجود در همان منطقه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تلفیق این دو سطح از دانش (کلی و جزئی) مبنای نهایی فرایند شاخص‌سازی را تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، این روش با لحاظ کردن هم‌زمان ملاحظات کلان و خرد در ساخت یک شاخص، امکان طراحی شاخصی هوشمند را فراهم می‌آورد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع، ۳۳ درصد از مهاجرت‌های صورت گرفته به مناطق بیست‌ودوگانه شهر تهران بر اساس جاذبه‌های شغلی و تحصیلی قابل تبیین است. از این میزان، حدود ۲۲ درصد به جاذبه‌های شغلی و ۱۱ درصد به جاذبه‌های تحصیلی مربوط می‌شود. مابقی مهاجرت‌ها (حدود ۶۷ درصد) ناشی از سایر عوامل مؤثر بر مهاجرت بوده است. بررسی تطبیقی مناطق نشان داد که منطقه ۵ بیشترین و منطقه ۲۱ کمترین تعداد مهاجران جذب شده بر مبنای شاخص‌های ترکیبی جاذبه شغلی و تحصیلی را به خود اختصاص داده‌اند. تفکیک این دو مؤلفه حاکی از آن است که از نظر جاذبه تحصیلی، پس از منطقه ۵، مناطق ۲، ۴ و ۱۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در مقابل، مناطق ۱۷، ۱۶ و ۲۲ (پس از منطقه ۲۱) کمترین جاذبه تحصیلی را برای مهاجران داشته‌اند.

از منظر جاذبه شغلی نیز، بعد از منطقه ۵، مناطق ۲، ۱۵ و ۴ بیشترین نقش را در جذب مهاجران ایفا کرده‌اند. همچنین مناطق ۲۲، ۱۳ و ۱۹ (پس از منطقه ۲۱) دارای کمترین میزان جاذبه شغلی بوده‌اند. یافته‌های این بخش از مطالعه با نتایج پژوهش دست‌جردی ربیعی و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. آنها در تحقیق خود به موضوع نابرابری اجتماعی و فضایی در شهر تهران پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که جوانان، افراد تحصیل کرده و ثروتمندان، بخش‌های غربی به‌ویژه منطقه ۵ را برای سکونت ترجیح می‌دهند. این مناطق از نظر آموزشی برخوردار، از لحاظ جمعیتی جوان و اصالتاً مهاجر هستند و دارای جذابیت‌های تحصیلی قابل توجهی می‌باشند. همچنین، مطالعه صارمی و توتزاری (۱۳۹۳) که با هدف سنجش و ارزیابی سطح برخورداری مناطق کلان‌شهر تهران با استفاده از تکنیک تاپسیس انجام شد، نشان می‌دهد که در میان مناطق بیست‌ودوگانه، منطقه ۵ با ضریب اولویت ۰/۵۴۸ برخورددارترین منطقه به لحاظ توسعه‌یافتگی و جذب مهاجر، و منطقه ۱۷ با ضریب اولویت ۰/۲۵۴ محروم‌ترین منطقه محسوب می‌شود. این یافته‌ها نیز با نتایج پژوهش حاضر همسو می‌باشد. در ادامه می‌توان بیان نمود که نتایج تحقیق حاضر قابل تبیین با نظریه‌های اقتصادی نئوکلاسیک، سرمایه انسانی و مدل توسعه یافته هریس و تودارو می‌باشد.

بر این اساس یافته‌ها نشان می‌دهد که ۳۳ درصد از مهاجرت‌های صورت گرفته به مناطق بیست‌ودوگانه تهران بر اساس جاذبه‌های شغلی و تحصیلی قابل تبیین است که این امر مؤید نقش توأمان دست‌مزد بالاتر (نظریه نئوکلاسیک) و سرمایه انسانی (نظریه سرمایه انسانی) در جذب مهاجران می‌باشد. توزیع فضایی مهاجران نیز مؤید این ارتباط است؛ منطقه ۵ که هم از نظر شاخص‌های شغلی و هم تحصیلی در رتبه نخست قرار دارد، نمونه عینی از منطقه‌ای است که با فراهم آوردن هم‌زمان فرصت‌های اشتغال و امکانات آموزشی، درآمد مورد انتظار (بر اساس مدل

هریس و تودارو) را برای مهاجران بالقوه به حداکثر رسانده است. علاوه بر این، تمرکز مهاجران تحصیل کرده در مناطق ۵، ۲، ۴ و ۱۵ (به عنوان مناطق دارای جاذبه تحصیلی بالا) با پیش‌بینی نظریه سرمایه انسانی در خصوص حساسیت بیشتر افراد دارای تحصیلات عالی به فرصت‌های شغلی و آموزشی مطلوب، سازگار است. در مقابل، مناطق ۲۱، ۱۷، ۱۶ و ۲۲ که کمترین میزان جاذبه شغلی و تحصیلی را دارا بوده‌اند، به دلیل عدم توانایی در ایجاد درآمد مورد انتظار کافی، نتوانسته‌اند مهاجران قابل توجهی را جذب نمایند.

۶- نتیجه گیری

از آنجا که هدف اصلی این پژوهش، بررسی کارایی یک روش الگوریتمی هوشمند در حوزه علوم اجتماعی بوده است، استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۰ به دلیل همخوانی و سازگاری بیشتر با ساختار این روش و در دسترس بودن انتخاب شد لذا در تحقیقات آتی می‌توان از داده‌های موجود و به روزتر بهره برد. همچنین، با توجه به موفقیت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در شاخص‌سازی جاذبه‌های مهاجرتی در مقاله حاضر، پیشنهاد می‌گردد که محققان در مطالعات بعدی از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری برای ساخت شاخص‌های هوشمند مهاجرتی و سایر حوزه‌های علوم اجتماعی استفاده کنند. افزون بر این، مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف می‌تواند به شناسایی کارآمدترین روش برای این حوزه کاربردی منجر شود.

۷- پیشنهادها

با توجه به ماهیت روش‌شناختی این پژوهش و نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در تحلیل الگوهای مهاجرت درون‌شهری، انجام مطالعات تکمیلی می‌تواند به توسعه بیشتر چارچوب‌های تحلیلی در این حوزه کمک کند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده عملکرد الگوریتم فرا ابتکاری ازدحام ذرات با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم کلونی مورچگان مورد مقایسه قرار گیرد تا کارایی نسبی این روش‌ها در استخراج الگوهای پنهان در داده‌های جمعیتی و شهری مورد ارزیابی قرار گیرد.

همچنین ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری با روش‌های پیشرفته یادگیری ماشین، به‌ویژه شبکه‌های عصبی عمیق، می‌تواند افق‌های جدیدی در مدل‌سازی و پیش‌بینی روندهای مهاجرت شهری ایجاد کند. چنین رویکردهایی امکان توسعه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای تغییرات جمعیتی

در مقیاس درون‌شهری را فراهم می‌آورند و می‌توانند در تحلیل سناریوهای آینده توسعه شهری مورد استفاده قرار گیرند.

از سوی دیگر، استفاده از داده‌های چنددوره‌ای سرشماری و به‌کارگیری روش‌های تحلیل فضایی می‌تواند درک دقیق‌تری از پویایی‌های مکانی و زمانی مهاجرت در شهرها فراهم سازد. در این زمینه، بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و شاخص‌های خودهمبستگی فضایی می‌تواند به شناسایی خوشه‌های مهاجرتی و الگوهای تمرکز جمعیت در مناطق مختلف شهری کمک کند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده دامنه متغیرهای مورد استفاده در مدل‌های تحلیلی گسترش یابد و عواملی همچون قیمت و دسترسی به مسکن، کیفیت محیط شهری، دسترسی به شبکه حمل‌ونقل عمومی و شاخص‌های رفاه شهری نیز در تحلیل جاذبه مهاجرتی مناطق شهری مورد توجه قرار گیرند. چنین رویکردی می‌تواند به ارائه تصویری جامع‌تر از عوامل مؤثر بر تحرکات جمعیتی درون‌شهری و شکل‌گیری الگوهای فضایی مهاجرت کمک کند.

تعارض منافع

مقاله فاقد هرگونه تعارض منافع می‌باشد.

References

- Abualigah, L. (2025), Particle Swarm Optimization: Advances, Applications, and Experimental Insights; *Computers, Materials and Continua*, 82 (2); 1539-1592. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.060765>
- Aghayari-Hir, M., & Hakimi, H. (2017). Analysis of the interprovincial migration network in Iran, 2006–2011. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 17, 185–206. (In Persian)
- Baladi Mousavi, S. (2002). Migration to Tehran city. *First Conference of the Iranian Population Association*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Bernard, A., & Bell, M. (2018). Educational selectivity of internal migrants. *Demographic Research*. 39(29): 835–854. <http://dx.doi.org/10.4054/DemRes.2018.39.29>.
- Boroumandzadeh, M. R., & Nobakht, R. (2016). Review of new theories in the field of migration. *Scientific Quarterly of Population*, 21(89), 73–90. (In Persian)

- Ebadifard, F., & Babamir, S.M. (2016). A PSO-based task scheduling algorithm improved using a load- balancing technique for the cloud computing environment, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 38 (5); 1-16.
- Esmaeili, N. (2023). Predicting the trend of changes in the number of births and the sex ratio at birth in Iran: Time series analysis. *Journal of Social Problems of Iran*, 14(1), 233-258.
https://ijsp.ut.ac.ir/article_95165.html?lang=en
- Esmaeili, N. (2025), Using a Deep Neural Network Model to Forecast the Population Dynamics in Iran, *Quarterly of Social Studies and Research in iran*, 14(4), 533-578. <https://doi.org/10.22059/jisr.2025.395285.1622>
- Esmaeili, N., & Abbasi-Shavazi, M. J. (2024). Impact of family policies and economic situation on low fertility in Tehran, Iran: A multi-agent-based modelling. *Demographic Research*, 51, 107.
<https://doi.org/10.4054/DemRes.2024.51.5>
- Esmaeili, N., & Abbasi-Shavazi, M.J. (2024). Forecasting number of births and sex ratio at birth in Iran using deep neural network and ARIMA: implications for policy evaluations. *Journal of Population Research*, 41, 26. <https://doi.org/10.1007/s12546-024-09348-9>
- Esmaeili, N., & Mahmoudian, H. (2016). Analysis of factors affecting the educational and occupational migration of young Iranian women during 2006–2011. *Strategic Studies of Sport and Youth*, 15(34), 1–2. (In Persian)
- Esmaeili, N., & Mahmoudian, H. (2017). Women and migration to Hamedan city: Determinants and consequences. *Contemporary Sociological Research*, 6(10), 61–83. (In Persian)
- Esmaeili, N., Sasanipour, M., & Razeghi Nasrabad, H. B. (2025). Forecasting Changes in the Sexual Death Pattern in Iran Using Neural Network Modeling (2022-2031). *Journal of Social Problems of Iran*, 15(2), 77-94. https://ijsp.ut.ac.ir/article_102085.html?lang=en
- Etaat, J., & Debiri, A. A. (2016). Evaluation of the impacts of centralization and migration acceptance on the increase of the ecological footprint in the Tehran metropolitan region. *Geographical Research Quarterly*, 31(3), 56–66. (In Persian)
- Feliciano, C. (2008). Gendered Selectivity U.S Mexican Immigrants and Mexican Nonmigrants, 1960–2000. *Latin American Research Review*, 43(1): 139-160. <https://doi.org/10.1353/lar.2008.0009>

- Ghaffari, G.R., & Omid, R. (2010) Conceptual and Theoretical Rotation From Poverty Towards Social Exclusion, *Social Development & Welfare Planning*, 1 4: 35-66, (In Persian)
- Ghasemi Ardehayi, A., & Kord Zangeneh, J. (2017). Analysis of migration flows to the 22 districts of Tehran. *Journal of Official Statistics of Iran*, 28(2), 247–271.(In Persian)
- Goudarzipoor, M. B. (2025). Migration patterns and demographic changes using data mining in Tehran. In *Proceedings of the 16th International Conference on New Ideas in Architecture, Urban Planning, Geography, and Sustainable Environment*.(In Persian)
- Guntoro, D., Indartono, S., & Irmadatus, Sh. (2019). Understanding gender, marital status & education as internal migration factors in developing countries. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 24(2): 98-107.
<http://dx.doi.org/10.17977/um017v24i22019p098>
- Hamdi, K., & Fathi, S. (2009). Factors affecting the expansion of migration to the Tehran metropolis. *Quarterly Journal of Urban Management Studies*, 3, 20–35. (In Persian)
- Harris, J.R. & Todaro, M.P. (1970). Migration, Unemployment, and Development: A Two Sector Analysis. *American Economic Review*, 60, 126-142. [https://link.springer.com/article/10.1007/s00168-008-0225-z#citeas~:text=323%E2%80%9393344%20\(2009\).-,https%3A//doi.org/10.1007/s00168%2D008%2D0225%2Dz,-Download%20citation](https://link.springer.com/article/10.1007/s00168-008-0225-z#citeas~:text=323%E2%80%9393344%20(2009).-,https%3A//doi.org/10.1007/s00168%2D008%2D0225%2Dz,-Download%20citation)
- Jiang, S, Jiang, J., Zheng, C., Liang, Y., & Tan. L. (2019). *An Improved PSO Algorithm with Migration Behavior and Asynchronous Varying Acceleration Coefficient*, International Conference on Intelligent Computing, 3-6 August Nanchang, China.
- Kazemipour, S., & Ghasemi Ardehayi, A. (2007). Residential experience and the tendency to migrate to the city of Tehran. *Iranian Population Association Journal*, 3, 130–146. (In Persian)
- Khoshkelam Khosroshahi, P. (2000). Comparison of the effects of income, public facilities, and services on migration to Tehran Province during 1986–1996: A simultaneous equations approach. *Journal of Economic Research and Planning*, 4(12), 63–104. (In Persian)

- Liu, J., Ma, H., Ren, X., Shi, L., Li, P. & Ma, X, (2018). The continuous-discrete PSO algorithm for shape formation problem of multiple agents in two- and three-dimensional space, *Applied Soft Computing*, 67, 409-433. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.02.015>
- Mahmoudian, H. & Khajehnezhad, R. (2019). Investigating the Level, Pattern and Determinants of Accepting Immigrants in Tehran Neighborhoods during 2006-2011. *The Journal of Community Development (Rural-Urban)*, 11(1), 103-124. doi: 10.22059/jrd.2019.74456. (In Persian)
- McCatty, M. (2004). The Process of Rural-Urban Migration in Developing Countries. Carleton University, Ottawa, Ontario.
- Moshfegh, M. & Khazai, M. (2015). A Study on Characteristics and Determinants of Independent woman migrants in Iran. *Women's Strategic Studies*, 17(67), 85-124. (In Persian)
- Rabaiei - Dastjerdi, H. R., & Kazemi, M. (2016). Tehran: Old and Emerging Spatial Divides; *Urban Change in Iran*, 7-13.
- Rabiei- Dastjerdi, H. R., Matthews, S.A., Ardalan, A, (2018). Measuring Spatial Accessibility to Urban Facilities and Services in Tehran, *Special Demography*, 6; 17-34. <https://doi.org/10.1007/s40980-016-0028-2>
- Rafieian, M., & Shali, M. (2012). Spatial analysis of the level of development in Tehran by urban districts. *Spatial Planning and Geomatics*, 16(4), 25-48. (In Persian)
- Ramezani Muzirji, F., & Yaghoubi, M. (2009). Chaotic particle swarm optimization algorithm. In *Proceedings of the First National Conference on Software Engineering of Iran*. (In Persian)
- Rostamali-Zadeh, V., & Nobakht, R. (2020). Examining the situation of intra-urban mobility in Tehran and the factors affecting it. *Journal of Population Studies*, 5(2), 35-62. (In Persian)
- Sadeghi, R. (2024). Patterns and Determinants of Internal Migration in Iran. *Social Sciences*, 31(104), 73-107. doi: 10.22054/qjss.2024.80798.2802 (In Persian)
- Sadeghi, R., Esmaeili, N. & Abbasi-Shavazi, M. J. (2021). Education, Development and Internal Migration in Iran. *Journal of Population Association of Iran*, 16(31), 193-215. doi: 10.22034/jpai.2021.128570.1152 (In Persian)

- Salgotra, R., Chaudhary, R., Verma, P. *et al.* (2026). The Rise of Particle Swarm Optimization: A Systematic Bibliometric & Thematic Review (1995–2025). *Arch Computat Methods Eng* <https://doi.org/10.1007/s11831-026-10532-8>.
- Sarami, H. R., & Toutzari, S. (2014). Measuring and evaluating the levels of development in the urban districts of Tehran metropolis using the TOPSIS technique. *Hedayat Shahr*, 18, 83–102. (In Persian)
- Shirkhani, M. A., & Bayezidi, R. (2018). Migration, human capital flight, and development: A comparison of Iran and Turkey. *Political and International Approaches*, 10(2), 98–122. (In Persian)
- Tanhaa, F. , Rabiei Dastjerdi, H. & Mahmoudian, H. (2025). Spatial Analysis of the Effect of Internal Migration on Changes in The Education Level of The Population in The Counties of Iran. *The Journal of Community Development (Rural-Urban)*, 15(2), 487-506. doi: 10.22059/jrd.2024.372371.668843 (In Persian)
- Tanhaa, F , Mahmoudian, H , Sadeghi, R , Koosheshi, M and Rabiei-Dastjerdi, H . (2022). Spatial Analysis of the Effect of Internal Migration on Changing the Population Age Structure in Counties of Iran. *Iranian Population Studies*, 7(1), 121-154. doi: 10.22034/jips.2021.136765.2541 (In Persian)
- Tanhaa, F , Rabiei-Dastjerdi, H R and Mahmoudian, H . (2023). The Impact of Internal Migration on the Sex Ratio of Iranian Counties in the 2011 to 2016 Period; Application of Geographically Weighted Regression. *Journal of Population Association of Iran*, 17(34), 207-240. doi: 10.22034/jpai.2023.1989119.1269 (In Persian)
- Tolayi, N., & Yari, J. (2011). Investigating factors affecting the tendency toward intra-urban migration in Tehran with emphasis on the feeling of spatial inequality. *Journal of Social Analysis*, 2(1), 79–110. (In Persian)
- Tripathi, P.K., Bandyopadhyay, S., & Pal, S.K (2007), Multi-Objective Particle Swarm optimization with time variant inertia and acceleration coefficients, *Information Sciences*, 177 (22); 5033-5049.
- Waldorf, B. S. (2008). Is Human Capital Accumulation a Self-propelling Process? Comparing Educational Attainment Levels of Movers and Stayers. *Annals of Regional Science*, 43(2): 323–344.

- Yazdian, S. A., & Nourmohammadi, M. (2024). A review of metaheuristic algorithms and their applications in solving complex problems. In *Proceedings of the 14th International Conference on Industrial Engineering, Productivity, and Quality, Tehran*. (In Persian)
- Zare Mehrjerdi, R., Fouladian, M., Hasani Darmian, G. R., & Ghasemiardhayi, A. (2022). A qualitative study of the processes of independent migration of women to Tehran (Narrative research of migrant women from Yazd Province). *Iranian Population Association Journal*, 17(33), 269–306. (In Persian)
- Zhang, H., & Yang, Z. (2018). Accelerated Particle Swarm Optimization to Solve Large-Scale Network Plan Optimization of Resource-Leveling with a Fixed Duration, *Mathematical Problems in Engineering*; 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2018/9235346>
- Zhang, T., Ma, L., Cheng, S., Liu, Y., Li, N., & Wang, H. (2025). Automatic prompt design via particle swarm optimization–driven LLM for efficient medical information extraction. *Swarm and Evolutionary Computation*, 95, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2025.101922>