



Journal of Greater Khorasan

Vol. 17, No. 62, 2026

Received 12 Jan 2026 | Revised 14 Feb 2026 | Accepted 02 May 2026 | Published 15 Jun 2026

ISSN (Online): 2717-1671

ISSN (Print): 2251-6131

Research article

An Analysis of Transformations in the Physical Structure of the Spatial Organization of Iranian Metropolises: The Case Study of Mashhad (1976–2026)

Sajjad Mohammadi (a), Ghadir Siami (b) *

a) M.A. in Urban Planning, Imam Reza International University, Mashhad, Iran (sajjad.mohammadi.ue@gmail.com)

b) Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty Member, Department of Urban Planning and Architecture, Imam Reza International University, Mashhad, Iran (ghadirsiami@imamreza.ac.ir)

Keywords

Spatial organization, Physical structure, Urban sprawl, Mashhad metropolis, Shannon's entropy, Geographic Information Systems (GIS)

Citation

Mohammadi, S., & Siami, G. (2026). An Analysis of Transformations in the Physical Structure of the Spatial Organization of Iranian Metropolises: The Case Study of Mashhad (1976–2026). *Journal of Greater Khorasan*, 17(62), 1-34.



Use your device to scan and read articles online

Abstract

The present study was conducted with the aim of analyzing the transformations in the physical structure of the spatial organization of the Mashhad metropolis during the years 1976 to 2026. Despite the importance and necessity of understanding the dynamics of the physical structure of this major metropolis in northeastern Iran, a multidimensional and spatial assessment of physical transformations using quantitative indicators and spatial models over a long-term period has received limited scholarly attention. This research employs a descriptive-analytical method. Following the collection of the required data and information (spatial census data of urban blocks and approved master plan maps), a multidimensional assessment of the transformations in physical form and the measurement of urban sprawl over a 50-year period (encompassing the census years 1976, 1986, 1996, 2006, 2016, and the plan horizon of 2026) was conducted using "urban blocks" as the unit of analysis. Galster's eight-dimensional framework was adopted as the basis for assessment, utilizing Geographic Information Systems (GIS) as a tool for layer processing and spatial modeling. Additionally, three techniques were employed in this study: the standard deviational ellipse model; Moran's Index of spatial autocorrelation; and Shannon's entropy model. The findings indicate that Shannon's entropy index for the city of Mashhad consistently fluctuated above 7.5 (relative to the maximum natural logarithm of 10) throughout the study period. Over the fifty-year period, the index rose from 8.4 to a peak of 8.8, and subsequently increased to 8.1. The results "It shows that over the past half-century, the physical structure of the spatial organization of the metropolis of Mashhad, influenced by the spatial development pattern based on 'sprawl' and 'fragmentation,' has gone through four distinct periods of physical transformation: 'physical explosion,' 'the era of decentralization from the traditional core,' 'the period of controlled horizontal development and densification,' and 'the emergence of the polycentric metropolis.'

DOI: <https://doi.org/10.22034/jgk.2026.591244.1349>

URL: https://jgk.imamreza.ac.ir/article_252246.html



©Authors retain the copyright and full publishing rights.

* Corresponding Authors

Introduction

The spatial organization of a metropolis is not merely a lifeless container of streets and buildings; rather, it is a living entity and the embodied platform of complex economic, social, and political interactions that take shape over time. The spatial organization of a city represents a coherent whole resulting from multiple forces that are constantly evolving. These transformations first manifest in the physical fabric of the city, directly altering the flows of people, goods, and information. Understanding changes in this structure—particularly in metropolitan areas experiencing accelerated and explosive growth—is key to decoding the challenges of urban unsustainability, physical inequalities, and the fragmentation of connectivity networks.

Mashhad, as Iran's second-largest population center and a religious world-city, presents a unique paradigm of spatial structural transformation. For centuries, the city's skeleton was an organic and coherent fabric, ordered by the powerful gravitational force of the Holy Shrine of Imam Reza as its single central core. However, over the past half-century, this historically integrated order has undergone a storm of structural changes, yielding unprecedented transformations in physical form. Since the early 1970s, the intersection of factors such as massive waves of migration, land reforms, transformations in the political economy of space, and the implementation of urban development plans based on horizontal expansion has profoundly transformed Mashhad's physical fabric.

Official master plans—including the Khazeni Plan (1972) and the second comprehensive plan by Mehrazan (1993)—relied on rigid patterns and geometric development assumptions, ignoring the real dynamics of migration and morphological evolution of the city. While these plans predicted industrial development in eastern zones, market forces and spontaneous tendencies created a linear industrial-residential corridor in the northwest, imposing an incompatible structure on the system. The central research question is: What transformations has the physical structure of Mashhad's spatial organization undergone over the past half-century?

Methodology

This research employs a descriptive-analytical method. Following the collection of required

data (spatial census data of urban blocks and approved master plan maps), a multidimensional assessment of physical form transformations and urban sprawl measurement over a 50-year period (encompassing census years 1976, 1986, 1996, 2006, 2016, and the plan horizon of 2026) was conducted using "urban blocks" as the unit of analysis.

Galster's eight-dimensional framework was adopted as the assessment basis, utilizing Geographic Information Systems (GIS) for layer processing and spatial modeling. Three analytical techniques were employed:

Standard Deviation Ellipse (SDE): This model tracks three components simultaneously: concentration/dispersion, geographic orientation of development form, and the displacement trajectory of the urban system's center of gravity. The model extracts three interconnected geometric parameters: the physical-demographic center of gravity, the ellipse rotation angle relative to geographic north, and the lengths of the major and minor axes. The ratio of these axes is interpreted as the "form elongation index."

Global Moran's I Spatial Autocorrelation: This statistic evaluates the simultaneous spatial location and density of features, determining whether urban physical expansion follows a clustered, concentrated order or has undergone sprawl. An inverse-distance spatial weight matrix was employed ($W_{ij} = 1/d_{ij}$), where d_{ij} represents the Euclidean distance between block centroids.

Shannon's Entropy Model: For this model, Mashhad was divided into 10 fixed geographic study zones ($n=10$). The entropy value ranges between zero and $\ln(n)=10$; values closer to 10 indicate more uniform spatial distribution and greater sprawl, while movement toward zero indicates concentration and physical compactness.

Results and Discussion

The Shannon entropy index for Mashhad consistently fluctuated above 7.5 throughout the study period. The fifty-year trend reveals four distinct periods of physical transformation:

Period One (1976–1986) — The Era of Physical Explosion and Horizontal Urban Creep: The Islamic Revolution, war-induced migration, and a population surge of 114% (from 677,800 to 1,453,934) overwhelmed the city's planning system. The SDE area expanded

by 67.45%, with the geometric center of gravity shifting 2,140.59 meters northeastward. The minor axis grew by 39.11% compared to 20.37% for the major axis, reducing the elongation index from 1.86 to 1.61—indicating broad areal expansion rather than corridor development.

Period Two (1986–1996) — Continuation of Uncontrolled Physical Expansion and Decentralization from the Traditional Core: Population reached 1,886,590, and built-up area expanded by approximately 1,225 hectares. The major axis grew by 27.35% while the minor axis grew only 6.49%, increasing the elongation index from 1.61 to 1.93. Shannon entropy peaked at 8.8, confirming the most dispersed spatial distribution in the city's modern history. Outlier urban blocks emerged as isolated islands, creating a fragmented and discontinuous skeleton.

Period Three (1996–2006) — Densification, Formation of Development Corridors, and Emergence of New Urban Centers: Under the Mehrazan Master Plan, growth rates moderated. The major axis grew 9.38% and the minor axis 8.12%, stabilizing the elongation index at 1.95. Shannon entropy dropped significantly from 8.8 to 7.8—evidence of successful densification policies and infill development. New service and administrative centers emerged along the western corridor (Ahmadabad, University, Vakilabad), initiating gradual functional decentralization from the religious core. However, Moran's I revealed that underlying sprawl patterns persisted in marginal areas.

Period Four (2006–2016) — Emergence of the Polycentric Metropolis with a Centrifugal, Dual, and Clustered Spatial Organization: Saturation of central fabrics and capital flows toward peripheral lands intensified centrifugal forces. Shannon entropy rose again to 8.1. The SDE expanded along the northwest-west axis, with rotation angle shifting from 111.31° to 116.57°. Moran's I moved toward a clustered pattern, confirming the consolidation of detached townships and marginal settlements as separate population islands. A profound morphological duality emerged: the western front (Qasemabad, Elahieh) developed with standard, engineered, grid-patterned fabrics and high-rise densities, while eastern and northeastern zones (Tabarsi, Tollab, Toroq) exhibited micro-parceling, organic self-grown textures, extreme

population density, and physical deterioration. The final period (2016–2026), based on the approved master plan horizon, shows entropy declining to 7.5, suggesting attempts to control horizontal growth and return toward a more compact pattern. Nevertheless, persistent fluctuations above 7.5 confirm that Mashhad's growth over the past half-century has been profoundly shaped by sprawl and fragmented spatial distribution.

Conclusion

This research demonstrates that Mashhad's physical structure has undergone a profound metamorphosis over the past half-century—from a compact, continuous, monocentric pattern (centered absolutely on the Holy Shrine) to a fragmented, multi-nodal, linear-corridor structure. The city's skeleton, driven by centrifugal forces, has experienced severe elongation along the northwest-southeast corridor (Vakilabad and Cento axes), with its physical center of gravity definitively shifted westward.

This uncontrollable form change, resulting from the deviation of official urban development documents from the real dynamics of the land and housing market, has created an acute morphological duality in Mashhad's spatial organization. The western front has become a modernized, planned pole attracting superior services, while eastern and northeastern zones remain trapped in micro-parceling, physical deterioration, and the spatial isolation of informal settlements.

The findings underscore that urban planning interventions have only succeeded in temporarily controlling sprawl during brief periods. The persistent entropy values above 7.5 indicate that Mashhad's physical structure remains fundamentally engaged in spatial fragmentation. This reality challenges the entire urban system's equilibrium and demands a fundamental reconsideration of future planning approaches—moving beyond rigid, top-down master plans toward adaptive strategies that acknowledge the complex interplay between market forces, migration dynamics, and morphological evolution.



پژوهشنامه خراسان بزرگ

دوره ۱۷، شماره ۶۲، بهار ۱۴۰۵

ISC | MSRT | ICI

شاپا الکترونیکی: ۱۶۷۱-۳۷۱۷

شاپا چاپی: ۶۱۳۱-۲۲۵۱

مقاله پژوهشی

تحلیل تحولات ساختار کالبدی سازمان فضایی کلانشهرهای ایران در نیم قرن اخیر مطالعه موردی مشهد (۱۴۰۵-۱۳۵۵)

سجاد محمدی (الف) - قدیر صیامی* (ب)

(الف) کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری، دانشگاه بین‌المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران (sajjad.mohammadi.ue@gmail.com)

(ب) استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، عضو هیئت علمی گروه شهرسازی و معماری، دانشگاه بین‌المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران

(ghadirsiami@imamreza.ac.ir)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند تحولات ساختار کالبدی در سازمان فضایی کلان‌شهر مشهد طی سالهای ۱۳۵۵ تا ۱۴۰۵ انجام شده است. علی‌رغم اهمیت و ضرورت کشف پویایی‌ها در ساختار کالبدی این کلانشهر مهم در شمال شرق ایران، تاکنون ارزیابی چندبعدی و فضایی از تحولات کالبدی با بهره‌گیری از شاخص‌های کمی و مدل‌های فضایی در یک بازه بلندمدت در این شهر، کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. روش تحقیق در این مطالعه، از نوع توصیفی-تحلیلی است. پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز (داده‌های مکانی سرشماری بلوک‌های شهری و نقشه‌های مصوب طرح‌های جامع) ارزیابی چندبعدی از نحوه دگرگونی‌های فرم کالبدی و سنجش پراکنده‌روی شهری طی یک بازه زمانی ۵۰ ساله (مشمول بر مقاطع سرشماری ۱۳۵۵، ۱۳۶۵، ۱۳۷۵، ۱۳۸۵، ۱۳۹۵ و افق طرح در سال ۱۴۰۵) با انتخاب «بلوک‌های شهری» به عنوان واحد تحلیل انجام گردید. چارچوب ارزیابی هشت‌گانه گالستر با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزار پردازش لایه‌ها و مدل‌سازی فضایی مبنا قرار گرفت. همچنین در این تحقیق سه تکنیک مدل بیضی جهت‌دار؛ شاخص خودهمبستگی فضایی موران و مدل آنتروپی شانون نیز استفاده گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد شاخص آنتروپی شانون برای شهر مشهد در بازه مطالعاتی همواره فراتر از عدد ۵/۷ (نسبت به حداکثر لگاریتم طبیعی ۱۰) در نوسان بوده؛ به‌گونه‌ای که در یک بازه پنجاه ساله شاخص فوق از ۴/۸ به ۸/۸، و سپس به ۸/۱ افزایش داشته است. نشان می‌دهد طی نیم قرن اخیر ساختار کالبدی سازمان فضایی کلانشهر مشهد، متأثر از الگوی توسعه فضایی مبتنی بر «پراکنده‌روی» و «ازهم‌گسیختگی»، چهار دوره متفاوت از تحولات کالبدی یعنی «آغاز عصر انفجار کالبدی»، «دوره تداوم رشد لجام‌گسیخته خزش شهری و تمرکززدایی از هسته سنتی»، «دوره کنترل محدود در توسعه افقی و تراکم‌گرایی» و در نهایت «ظهور کلانشهرچندکانونی» را در سازمان فضایی خود تجربه کرده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵

شماره صفحات: ۱-۳۴

واژگان کلیدی:

سازمان فضایی، ساختار کالبدی، پراکنده‌روی شهری، کلان‌شهر مشهد، آنتروپی شانون، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

استناد به مقاله:

محمدی، س؛ و صیامی، ق. (۱۴۰۵). تحلیل تحولات ساختار کالبدی سازمان فضایی کلانشهرهای ایران در نیم قرن اخیر: مطالعه موردی مشهد (۱۴۰۵-۱۳۵۵). پژوهشنامه خراسان بزرگ، ۱۷(۶۲)، ۱-۳۴.



DOI: <https://doi.org/10.22034/jgk.2026.591244.1349>



URL: https://jgk.imamreza.ac.ir/article_252246.html

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید.



©Authors retain the copyright and full publishing rights.

مقدمه

سازمان فضایی یک کلان‌شهر، صرفاً ظرفی بی‌جان از خیابان‌ها و ساختمان‌ها نیست، بلکه پیکره‌ای زنده و بستر تجسم‌یافته‌ی تعاملات پیچیده‌ی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی است که در بستر زمان شکل می‌گیرد (Bertaud, 1.p,2004). سازمان فضایی شهر، کلیتی منسجم و برآیند نیروهای متعددی است که همواره در حال تغییر و تحول‌اند. این تحولات در گام نخست خود را در جسم و کالبد شهر پدیدار می‌سازد. از این طریق، مستقیماً باعث تغییر در جریان‌های حرکت انسان، کالا و اطلاعات می‌شوند؛ چرا که هرگونه بازآرایی فیزیکی، مسیرها و قطب‌های جدیدی برای جابه‌جایی‌های روزانه شهری تعریف می‌کند. درک تغییرات این ساختار، به‌ویژه در مناطق کلان‌شهری که رشد شتابان و انفجاری را تجربه کرده‌اند، کلید رمزگشایی از چالش‌های ناپایداری شهری، نابرابری‌های کالبدی و ازم‌گسیختگی شبکه‌های ارتباطی محسوب می‌شود (Dadashpoor et al., 2016). در این میان، تشریح مورفولوژی شهری نیازمند عبور از نگاه‌های مقطعی و بررسی روند تکوین فضا در دوره‌های زمانی بلندمدت است (Moudon, 1997, p.3). کلان‌شهر مشهد، به عنوان دومین قطب جمعیتی ایران و یک جهان‌شهر مذهبی، پارادایم منحصربه‌فردی از تحولات ساختار فضایی را به نمایش می‌گذارد. استخوان‌بندی این شهر برای قرن‌ها، بافتی ارگانیک و منسجم بود که با نیروی گرانشی قدرتمند حرم مطهر امام رضا (علیه السلام) به عنوان یگانه هسته‌ی مرکزی، معنا و انتظام می‌یافت (Netaq & Hosseinzadeh, 2023). با این حال، طی نیم‌قرن اخیر، این نظم یکپارچه‌ی تاریخی دستخوش طوفانی از تغییرات ساختاری شده و جای خود را به دگرگونی‌های بی‌سابقه‌ای در فرم کالبدی داده است. از اوایل دهه‌ی ۱۳۵۰ شمسی به این سو، تقاطع عواملی چون امواج گسترده‌ی مهاجرت، اصلاحات اراضی، تحولات اقتصاد سیاسی فضا و اجرای طرح‌های توسعه‌ی شهری مبتنی بر گسترش افقی، کالبد

مشهد را دچار یک تحول عمیق کرد. این نیروهای محرک، شهر را از یک ساختار متمرکز و پیاده‌مدار، به سوی ظهور هسته‌های عملکردی چندگانه و گسترش شدید بافت‌های حاشیه‌ای و خودرو سوق دادند (Rahnama & Abbaszadeh, 2008). این گسست کالبدی، نه تنها موجب تغییر در الگوهای دسترسی و شبکه‌های حرکتی شده، بلکه تعادل فضایی شهر را نیز با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. ناپایداری و بی‌نظمی‌های ناشی از این نوع رشد، نشان می‌دهد که برای برنامه‌ریزی‌های آینده، باید روند گسترش فیزیکی شهر را به‌دقت بازبینی کنیم. بر همین اساس، مسئله اصلی این پژوهش واکاوی دقیق این دگرگونی‌هاست تا در نهایت به این پرسش کلیدی پاسخ دهد که ساختار کالبدی در سازمان فضایی کلانشهر مشهد در نیم‌قرن اخیر چه تحولات و تغییراتی را پشت سر گذاشته است؟

نادیده گرفتن پویایی درازمدت کالبدی و بی‌توجهی به هدایت هماهنگ آن، پیامدها و مشکلات وخیمی را در سازمان فضایی شهر به وجود می‌آورد. رشد فیزیکی شتابان و بی‌برنامه، ساختار کالبدی شهر را به سمت عارضه "پراکنده‌روی شهری" و توسعه‌های خطی ناموزون سوق می‌دهد (Galster et al., 2001). در اثر این تکه‌پاره شدن کالبدی، نابرابری‌های فضایی و اقتصادی میان محلات تشدید شده و بافت‌های فرسوده یا مناطق کم‌توسعه‌یافته بیش از پیش از ساختار اصلی شهر جدا مانده و دچار انزوای فضایی و جدافتادگی می‌شوند (Frenkel & Ashkenazi, 2008). از سوی دیگر، تداوم یک سازمان فضایی نامتعادل و متمرکزگرا، هماهنگی میان الگوی پراکنش جمعیت و توزیع خدمات را از بین می‌برد؛ امری که نتیجه مستقیم آن افزایش بی‌رویه مسافت سفرهای درون‌شهری، تراکم شدید ترافیک در محورهای اصلی، مصرف فزاینده انرژی و بروز بحران‌های گسترده زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا است (Ewing et al., 2002). در نهایت، طرح‌ها و

برنامه‌های توسعه شهری بدون شناخت دقیق از این ساختاربندی کلان و پیوندهای آن با سطوح محلی با شکست روبه‌رو شده و پیامدهایی چون کاهش سلامت شهری، افت کیفیت زندگی و برهم خوردن رفاه جامعه شهری را به دنبال خواهد داشت.

کلان‌شهر مشهد، به عنوان عینی‌ترین تجسم این بحران‌های ساختاری، در پنج دهه‌ی اخیر با شدتی مضاعف پدیده‌های فوق را تجربه کرده است. بررسی روند تحولات این کلان‌شهر نشان می‌دهد که مداخلات کالبدی و برنامه‌ریزی‌های رسمی نه تنها نتوانسته‌اند تعادل را به سازمان فضایی شهر بازگردانند، بلکه خود عاملی برای تشدید ازمهم‌گسیختگی فیزیکی و ظهور چالش‌های نوظهور شده‌اند (Netaq & Hosseinzadeh, 2023). طرح‌های جامع فرادست، از جمله طرح خازنی (۱۳۵۱) و طرح جامع دوم مهرآزان (۱۳۷۲)، با اتکا به الگوهای صلب و پیش‌فرض‌های توسعه‌ی هندسی، پویایی‌های واقعی مهاجرت و تکوین مورفولوژیک شهر را نادیده گرفتند. به عنوان نمونه، در حالی که این طرح‌ها توسعه‌ی صنعتی را در پهنه‌های شرقی پیش‌بینی کرده بودند، نیروهای بازار و گرایش‌های خودانگیخته، کالبد خطی صنعت و سکونت را بر خلاف پیش‌بینی‌ها در محور شمال‌غرب پدید آوردند و ساختاری ناهمخوان را به سیستم تحمیل کردند (Farnahad Consulting Engineers, 2009). همچنین، تلاش‌های ناموفق در مهار کالبدی شهر در لبه‌های شمالی، مانع از شکل‌گیری گسترده‌ی سکونتگاه‌های غیررسمی در حدفاصل حریم قانونی و مسیل کشف‌رود نشد؛ جریانی که عملاً اسناد رسمی را بی‌ارزش و به تشدید انزوای فضایی این مناطق دامن زد. در وضعیت کنونی، ساختار کالبدی کلان‌شهر مشهد دچار یک "دوگانگی کالبدی-ریخت‌شناختی" حاد میان جبهه‌های شرقی و غربی شده است.

پهنه‌های غربی و شمال‌غربی (مانند محوره‌های وکیل‌آباد، الهیه و قاسم‌آباد) با بافت‌های نوساز، مهندسی‌شده، قطعات

تفکیکی استاندارد و تراکم‌های ساختمانی و بلندمرتبه‌سازی بالا مشخص می‌شوند که به قطب جدید جذب سرمایه و خدمات برتر کل سیستم شهری بدل گشته‌اند. در نقطه‌ی مقابل، پهنه‌های شرقی و حواشی شمال‌شرقی (نظیر طبرسی، طلاب و طرق) با ویژگی‌هایی چون تراکم شدید و بی‌رویه‌ی جمعیت، ریزدانگی اراضی، بافت‌های ارگانیک خودرو و فرسوده، و گسست شدید استخوان‌بندی کالبدی مواجه هستند. این پاره‌بافت‌های مجزا نه تنها از خدمات پایه‌ای محروم مانده‌اند، بلکه به دلیل حضور عوارض مصنوع مهارکننده (مانند خطوط راه‌آهن)، پیوند کالبدی یکپارچه خود را با هسته اصلی شهر از دست داده‌اند. این الگوی ناموزون فیزیکی، با تداوم گرانش عملکردی تک‌مرکزی حول هسته مذهبی و هم‌زمان کشیدگی خطی-کریدوری به سمت غرب، منجر به ازمهم‌گسیختگی بافت‌های پیوسته، بروز دوگانگی فضایی میان هسته‌ی تاریخی و توسعه‌های جدید، و همچنین گسترش شدید سکونتگاه‌های غیررسمی در حاشیه‌ی شهر شده است (Mashhad Development and Reconstruction Plan, 2009).

درآمدی بر مفهوم سازمان فضایی کلانشهرها

سازمان فضایی شهر، مجموعه‌ای پیچیده، چندبعدی و پویا است که درک دقیق آن، پیش‌شرط بنیادین برای برنامه‌ریزی، هدایت و مدیریت هوشمندانه‌ی تحولات شتابان شهری محسوب می‌شود (Bourne, 1982). این مفهوم کلیدی، فراتر از یک چیدمان فیزیکی ساده و تجسم‌یافته‌ی تعاملات متقابل نیروهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و نهادی در بستر زمان و مکان است (Bertaud, 2004). در واقع، سازمان فضایی کلان‌شهرها نه تنها وضعیت کالبدی و استخوان‌بندی فیزیکی سیستم را به تصویر می‌کشد، بلکه روابط عملکردی، نظام کارکردها و مناسبات اجتماعی حاکم بر بستر جغرافیا را نیز تبیین و تفسیر می‌کند (Knox & Pinch, 2010). در یک تعریف جامع، سازمان فضایی به عنوان مجموعه‌ای از فضاها و قلمروهای جغرافیایی تبیین می‌شود که نشان‌دهنده روابط متقابل، پیوندها و انتظام

سطح شهر اثر می‌گذارد (Abbaszadegan et al., 2012).

جایگاه ساختار کالبدی در سازمان فضایی شهر

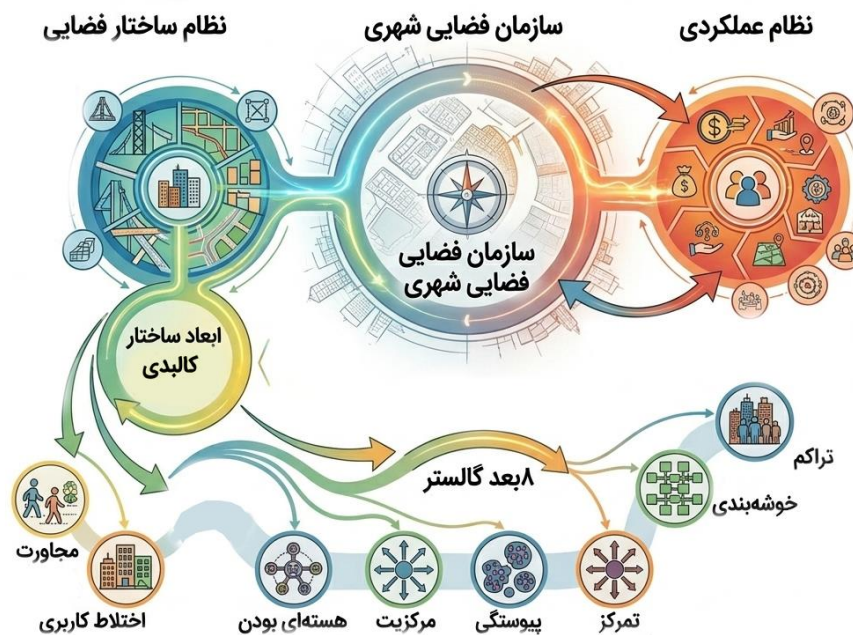
در حالی که جریان‌های عملکردی در کوتاه‌مدت تحت تأثیر نیروهای پویای اقتصادی و اجتماعی تغییر می‌کنند، ساختار کالبدی شهر خصلتی سخت و صلب دارد که به عنوان حافظه تاریخی فضا تا ده‌ها و گاه قرن‌ها اصالت ریخت‌شناختی خود را حفظ می‌کند (Moudon, 1997). این بعد ساختاری، شالوده‌ی فیزیکی و مادی شهر را پدید می‌آورد و به عنوان یک زیرسیستم حیاتی، مرزها و امکان‌های توسعه‌ی کارکردی را تعیین می‌نماید. در راستای کالبدشکافی نظام ساختار فضایی، سنجش دگرگونی‌های ریخت‌شناختی شهر نیازمند گذر از مفاهیم کیفی به مولفه‌های بنیادین در شهرسازی است. یکی از جامع‌ترین و معتبرترین مبانی ارزیابی فرم کالبدی شهرها و عارضه‌شناسی ساختار استخوان‌بندی آن‌ها، متعلق به جورج گالستر و همکارانش (۲۰۰۰) است. آن‌ها هشت بعد متمایز کالبدی قابل اندازه‌گیری را مطرح می‌کنند که تشکیل دهنده ساختار کالبدی در سازمان کل فضایی شهر محسوب شده و نه تنها یک عنصر تک بعدی به شمار نمی‌روند، بلکه به مثابه چارچوب شبکه‌ای متصل به یکدیگر نیز عمل می‌کنند. بر اساس این چارچوب، تحلیل ساختار کالبدی شهر از طریق پیوستگی منظم ابعاد هشت‌گانه‌ای تبیین می‌شود که متغیرهای تراکم، پیوستگی، تمرکز، خوشه‌بندی، مرکزیت، هسته‌ای بودن، اختلاط کاربری و مجاورت را در یک ساختار فضایی یکپارچه و به هم متصل نموده و انتظام می‌بخشد.

منطقه‌ی میان عناصر اصلی و اندام‌های بنیادین شهر است (Torkamani et al., 2018). به بیان دیگر، سازمان فضایی مفهومی فراتر از کالبد است و به نحوه استقرار و چگونگی ارتباط میان عناصر کالبدی با در نظر گرفتن جریان‌ات و تعاملات اقتصادی و اجتماعی (نظام عملکردی) اطلاق می‌شود (Dadashpoor & Malekzadeh, 2022). نظام ساختار فضایی در این شبکه درهم‌تنیده، با تنظیم سلسله‌مراتب دسترسی و نحوه استقرار توده و فضا، بستر لازم را برای شکل‌گیری کانون‌های تمرکز فعالیت فراهم آورده و جریان‌های حرکت انسان، کالا و اطلاعات را هدایت می‌کند (Lynch, 1981).

سازمان و ساختار فضایی شهر

نظام ساختار فضایی شهر به عنوان چارچوب بنیادین و شاکله اصلی سکونتگاه‌های انسانی، بیانگر نظم، چیدمان و روابط متقابل میان عناصر کالبدی و کاربری‌ها در بستر جغرافیایی است که ماهیت پیچیده شهر را در قالب یک کلیت منسجم بازنمایی می‌کند (Raheb & Farhadian, 2023)، که نمود عینی و ملموس آن در «ساختار کالبدی» تجلی می‌یابد. ساختار کالبدی، شبکه‌ای درهم‌تنیده از محورهای ارتباطی، هسته‌های فعالیت، بافت‌های پرکننده (مسکونی) و فضاهای باز است که فرم فیزیکی شهر را شکل می‌دهند (Hamidi et al., 1997). در یک سازمان فضایی پایدار، ساختار کالبدی به گونه‌ای پیکره‌بندی می‌شود که میان توزیع توده و فضا، و همچنین استقرار مراکز خدماتی و شبکه‌های دسترسی، تعادل و هم‌پیوندی بالایی برقرار باشد (Hillier, 2007). هرگونه دگرگونی در این سیستم، مستقیماً بر منطق حرکت، میزان سرزندگی محورها و الگوهای توزیع فعالیت در

الگوی مفهومی: انسجام و پکیج‌بندی سنجش فرم کالبدی شهر



تصویر ۱- چارچوب مفهومی از مبانی نظری

پژوهشنامه خراسان بزرگ

دوره ۱۷، شماره ۶۲، ۱۴۰۵

۸

مخرب گسترش افقی را نمایان ساخته بود (Zanganeh, 2012). الگوی توسعه در استان قزوین طی یک بازه ۲۳ ساله، گذار عمیقی را از یک ساختار تک‌مرکزی و متراکم به شبکه‌ای چندمرکزی و توزیع‌شده تجربه کرده است که مدل‌سازی این فرآیند، پویایی سازمان فضایی را به خوبی نشان می‌دهد (Shahabi-Shahmiri, 2025). این دگردیسی فضایی در کلان‌شهر قم نیز با اتکا به تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در چهار مقطع زمانی واکاوی شده و سرعت و الگوی پراکندگی فیزیکی آن به اثبات رسیده است (Norouzi, 2022). همچنین، بازتاب‌های فضایی ناشی از گذار شهرهای بزرگ به کلان‌شهر، مانند آنچه در رشت طی یک دوره ۲۶ ساله رخ داده، گویای رشد چشمگیر سطوح ساخته‌شده و غلبه مطلق الگوی توسعه افقی بر فرم شهر است (Heydari et al., 2021).

(ب) مطالعات خارجی

در عرصه جهانی نیز، تحولات ساختار فضایی و الگوهای رشد کالبدی کلان‌شهرها همواره در کانون ارزیابی‌های مکانی و

بررسی ادبیات پژوهش در سطح داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد که مطالعات ساختار و سازمان فضایی شهری طی دهه‌های گذشته از رویکردهای صرفاً توصیفی به سمت رویکردهای تحلیلی حرکت کرده است.

(الف) مطالعات داخلی

پژوهش‌های انجام‌شده در بستر کلان‌شهرهای ایران، طیف وسیعی از دگردیسی‌های کالبدی و پدیده خزش شهری را در سطوح مختلف واکاوی کرده‌اند. در یک نگاه کلان، بررسی پراکنده‌رویی شهری در مادرشهرهای اصلی ایران نظیر تهران، مشهد، اصفهان و تبریز نشان می‌دهد که متغیرهای حاکمیتی، زیرساختی و منطق بازار، نقش پیشران را در شکل‌گیری این تحولات ساختاری ایفا می‌کنند (Soltani et al., 2026). در مقیاس مناطق کلان‌شهری، سنجش تجربی تغییرات ریخت‌شناختی و عملکردی در تهران ثابت کرده است که درک صحیح این تحولات نیازمند تدقیق در مرزهای جغرافیایی است (Doorudinia et al., 2025)؛ روندی که با توسعه مهارت‌گسیخته خود، پیش‌تر موجب نابودی اراضی حاصلخیز کشاورزی در پیرامون تهران و کرج شده و اثرات

دگردیسی طرح و ایده اولیه شهر به سمت الگوهای پراکنده در مقیاس کلان‌شهری شده است (Costa & Lee, 2019, p16-17). در مطالعه‌ای مشابه، الگوهای گسترش کالبدی و محرک‌های اصلی توسعه فیزیکی (نظیر قوانین شهری) در منطقه کلان‌شهری ساتیاگوی شیلی مورد کاوش و تحلیل اکتشافی قرار گرفته است (Schuster-Olbrich et al., 2024). عامل زمان و تغییرات دموگرافیک نیز در گذار فرم شهری نقش کلیدی ایفا می‌کنند. واکاوی یک روند ۴۰ ساله در کلان‌شهر بوسان کره جنوبی، پرده از تأثیر مستقیم تحولات جمعیتی بر تغییر الگوی مناطق شهری شده برمی‌دارد (Kim & Kim, 2022).

زمانی قرار داشته است. در مقیاس وسیع، ارزیابی الگوهای مکانی-زمانی در ۳۶۹ شهر چین با بهره‌گیری از داده‌های انتقال کاربری اراضی و مدل‌های رگرسیون فضایی، ابعاد گسترده بسط کالبدی در این کشور را به تصویر کشیده است (Wang et al., 2023). این توسعه شتابان در نمونه‌های خاصی نظیر کلان‌شهر شنژن نیز مدل‌سازی شده تا نقش اسناد برنامه‌ریزی شهری در هدایت الگوهای رشد (اعم از توسعه‌های پرکننده، حاشیه‌ای و برون‌افتاده) مشخص گردد (Lei et al., 2021). تأثیر سیاست‌ها و برنامه‌های شهری بر ریخت‌شناسی شهرها در قاره‌های دیگر نیز مشهود است؛ به گونه‌ای که تحلیل روند تکامل طولانی‌مدت شهر برازیلیا نشان می‌دهد چگونه سیاست‌های توسعه شهری باعث

جدول ۱- پیشینه پژوهش

پژوهشگر یا محقق	عنوان پژوهش	سال نشر	اهداف پژوهش	نتیجه‌گیری کلی آن پژوهش
Subasinghe, Estoque & Murayama	تحلیل فضایی-زمانی رشد شهری با استفاده از GIS و سنجش از دور: منطقه کلمبو، سری‌لانکا	۲۰۱۶	تحلیل الگوهای کالبدی رشد، شناسایی عوامل محرک و پیش‌بینی تغییرات آتی شهری	دسترسی به جاده‌های اصلی بیشترین تأثیر را بر توسعه فیزیکی داشت و سیمای سرزمین به سمت تکه‌تکه شدن بیشتر پیش رفت.
Costa & Lee	تکامل ساختار فضایی شهری در برازیلیا: تمرکز بر نقش سیاست‌های توسعه شهری	۲۰۱۹	تحلیل ارتباط متقابل بین سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری و تکامل ساختار فضایی در بلندمدت	ساختار از یک طرح متمرکز مدرنیستی به یک سیستم چندمرکزی پراکنده (شهرهای اقماری) تغییر یافت که ناشی از نیروهای سیاسی-اجتماعی بود
Lei, Flacke & Schwarz	آیا برنامه‌ریزی شهری بر الگوی رشد شهری تأثیر می‌گذارد؟ مطالعه موردی شنژن، چین	۲۰۲۱	بررسی این موضوع که آیا برنامه‌های جامع شهری بر الگوهای فضایی رشد شهری (پرکردن فضا، گسترش حاشیه‌ای) تأثیر می‌گذارند.	برنامه‌ریزی شهری (جاده‌ها و مناطق مجاز ساخت) تأثیر معناداری بر هدایت تحولات کالبدی داشته است
Kim & Kim	تغییرات در الگوهای رشد شهری در کلان‌شهر بوسان کره: جمعیت و مناطق شهری شده	۲۰۲۲	شناسایی تغییرات الگوهای رشد فیزیکی در دوره‌های رشد سریع و رکود جمعیتی/اقتصادی	حتی در دوران رکود، الگوی رشد حاشیه‌ای (کالبدی) ادامه یافته و شهر به محدودیت‌های فیزیکی رشد خود رسیده است
Wang et al.	الگوهای فضایی-زمانی گسترش شهری با انتقال کاربری/پوشش زمین در چین	۲۰۲۳	شناسایی عوامل توضیحی تغییرات کالبدی اراضی در فرآیند گسترش شهری با استفاده از مدل‌های GTWR و GWR	گسترش زمین شهری در چین ناهمگونی فضایی قابل توجهی داشته و بخش عمده آن با تصرف اراضی و سکونتگاه‌های روستایی مرتبط بوده است

الگوهای فضایی و محرک‌های توسعه شهری: تحلیل فضایی منطقه کلان‌شهری ساتیاگو، شیلی	۲۰۲۴	کمی‌سازی گسترش کالبدی و شناسایی محرک‌های آن با تأکید بر نقش برنامه‌ریزی شهری	گسترش شهری خوشه‌ای بوده و طرح‌های محدودکننده همبستگی منفی و قوانین آزادسازی همبستگی مثبت با توسعه کالبدی داشتند	Schuster-Olbrich et al.
پراکندگی شهری و اراضی حاصلخیز کشاورزی در شهرهای ایران — مطالعه موردی: تهران و کرج	۲۰۱۲	شناسایی الگوهای گسترش فضایی پیرامون شهر و تخریب خاک‌های حاصلخیز به دلیل پراکندگی کالبدی	۶۵٪ از توسعه کالبدی بر روی بهترین اراضی حاصلخیز اتفاق افتاده که چالشی جدی برای توسعه پایدار شهری است	Zanganeh Shahraki, Seifolddini & Pourahmad
بازتاب‌های فضایی شهرهای بزرگ در فرآیند گذار به کلان‌شهر (مطالعه موردی: شهر رشت)	۲۰۲۱	بررسی بازتاب‌های فضایی و تحولات کالبدی ناشی از پویایی شهرهای بزرگ در فرآیند گذار به کلان‌شهر.	رشت تغییرات بنیادینی در مرزهای فضایی-کالبدی و ناپایداری منابع پوشش زمین تجربه کرده است؛ مدیریت رشد فیزیکی ضروری است	Heydari, Aliakbari & Pourahmad
اندازه‌گیری تغییرات کاربری زمین و کمی‌سازی گسترش شهری با استفاده از RS و GIS: مطالعه موردی قم	۲۰۲۲	ارزیابی نحوه توسعه شهر و تغییرات کاربری در ۴ دوره زمانی با استفاده از سنجش از دور و GIS	قم به لحاظ فضایی در حال پراکنده شدن است؛ زمین‌های ساخته‌شده بیش از ۱۲۸٪ رشد کرده و اراضی کشاورزی کاهش یافته‌اند	Norouzi
چندمرکزیتی نادرست-چندمرکزیتی درست؟ بینش‌هایی از یک مطالعه تجربی در منطقه کلان‌شهری تهران	۲۰۲۵	ارزیابی تأثیر انتخاب مرزهای جغرافیایی و آستانه تعداد مراکز بر نحوه سنجش تغییرات کالبدی و چندمرکزیتی.	انتخاب مرزها (اداری در برابر عملکردی) تأثیر بسیار چشمگیری بر سنجش دارد؛ تهران از نظر کارکردی عمدتاً تک‌مرکزی باقی مانده است.	Doorudinia, Dadashpoor & Meshkini
تحول ساختار فضایی از تک‌مرکزی به چندمرکزی: مطالعه موردی استان قزوین	۲۰۲۵	تحلیل تجربی فرآیند گذار کالبدی و ساختار فضایی از حالت تک‌مرکزی به چندمرکزی در یک بازه ۲۲ ساله	ساختار فضایی طی ۳ مرحله تکامل یافته و به یک سیستم توزیع‌شده‌تر، متمایزتر و تاب‌آورتر (شبکه‌ای) تبدیل شده است	Khodabandeh & Shahabi-Shahmiri

سنندج مشاهده می‌شود، غلبه نگاه بخشی‌نگر و تک‌عاملی است. در این پژوهش‌ها، تمرکز تحلیل‌ها یا صرفاً بر روی جابه‌جایی خوشه‌های اشتغال و متغیرهای عملکردی بوده یا به صورت مجزا به ریخت‌شناسی فرم فیزیکی پرداخته شده است. خلأ بنیادی این دست از پژوهش‌ها، عدم ارتباط پیوند متقابل و نظام‌مند میان ساختار کالبدی با نظام عملکردی و جریان‌های فضا است؛ به طوری که مشخص نیست تحول ساختار کالبدی در سازمان فضایی شهر، چگونه منطق حرکت، توزیع فضایی جمعیت و نحوه استقرار فعالیت‌ها را در طول زمان سرکوب یا هدایت کرده است.

بخش بزرگی از مطالعات داخلی، به‌ویژه پژوهش‌های صورت‌گرفته در کلان‌شهرهای تهران، رشت و قم، عمدتاً رویکردهایی توصیفی و مکتفی به زمان حال یا مقاطع گسسته داشته‌اند. این مطالعات اگرچه در کمی‌سازی نرخ گسترش افقی و تغییر پوشش اراضی با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی موفق بوده‌اند، اما تحولات فیزیکی شهر را به عنوان یک پدیده منفرد بررسی کرده و از تحلیل پویایی‌های مستمر و تاریخی ساختار کالبدی کلان‌شهری بازمانده‌اند. از سوی دیگر، آسیب مهمی که در مطالعات مربوط به کلان‌شهرهایی چون تبریز، قزوین و

در مطالعات خارج از کشور نیز، بخش عمده‌ای از ارزیابی‌های صورت‌گرفته در مناطقی نظیر شنژن، برازیلیا و سانتیاگو، روند توسعه را در بازه‌های زمانی محدود بررسی کرده و فرم شهری را صرفاً تابعی مستقیم و مکانیکی از سیاست‌های دستوری بالاب‌پایین قلمداد نموده‌اند. این رویکردها از تحلیل جامع فرآیندهای درازمدت و نقش پویای نیروهای بازار و رفتارهای خودانگیخته فضایی جمعیت در تغییر فرم کالبدی ناتوان بوده‌اند.

با درس‌آموزی از محدودیت‌های روش‌شناختی پیشین و با هدف پر کردن شکاف‌های مطالعاتی فوق، پژوهش حاضر با عبور از تحلیل‌های تک‌عاملی، مقطعی و بخشی‌نگر، رویکردی جامع و کل‌نگر را برمی‌گزیند تا تمایز و مزیت اساسی خود نسبت به ادبیات موجود را نمایان سازد.

در این راستا، این تحقیق در وهله نخست فرآیند تحول فرم شهر را به جای بررسی‌های مقطعی، در یک سیر زمانی پیوسته و پنج دهه‌ای (۱۳۵۵ تا ۱۴۰۵) تحلیل می‌کند که این پهنه زمانی بلندمدت اجازه می‌دهد روند خزش شهری نه در قالب مقاطع گسسته، بلکه به عنوان یک جریان تاریخی مستمر ردیابی و تحلیل شود. افزون بر این، پژوهش حاضر با تلفیق ضرایب آنتروپی شانون، شاخص خودهمبستگی موران جهانی و مدل بیضی انحراف معیار، پلی تحلیلی و منسجم میان ساختار کالبدی و پویایی‌های نظام عملکردی^۱ برقرار می‌سازد تا نحوه گذار فضا از الگوی فشرده به الگوهای پراکنده را به صورت کمی و علی‌آشکار کند. در نهایت، تمرکز بر کلان‌شهر مشهد به عنوان یک جهان‌شهر مذهبی با ویژگی‌های فراملی، این امکان منحصربه‌فرد را فراهم می‌آورد تا تقابل عینی میان طرح‌های جامع رسمی و نیروهای خودانگیخته فضا در درازمدت کالبدشکافی شود.

روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش ابتدا کلیه زیرمؤلفه‌های کالبدی منتج از چارچوب نظری پژوهش بصورت یکپارچه و منسجم تحلیل

شد تا ساختار نظام کالبدی شهر مشهد با توجه به عملکردهای آن به تفکیک نواحی طی ۵۰ سال اخیر دچار مورد تحلیل قرار گیرد. در راستای عملیاتی‌سازی این پرسش اساسی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های ارزیابی فرم کالبدی شهرها متعلق به جورج گالستر و همکارانش به عنوان مبنا مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم ارزیابی که برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ به عنوان چارچوبی مبتنی بر سنجش هشت بعد متمایز از پراکندگی شهری در قالب شبکه‌های تحلیل فضایی مورد استفاده و آزمون قرار گرفت؛ اساس کار این پژوهش واقع شد. این روش، با بخش‌بندی اراضی کلان‌شهری به شبکه‌های فرضی هم‌اندازه (عموماً شبکه‌های شطرنجی یک‌مایل) و ارزیابی لایه‌های اطلاعاتی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۲ انجام می‌پذیرد (Galster et al., 2001, pp. 685–690). با این وجود، برای کاربردی کردن این مفاهیم انتزاعی و پیاده‌سازی دقیق آن‌ها در محیط‌های شهری، پژوهش حاضر چارچوب هشت‌گانه گالستر را جمع‌بندی و عملیاتی نموده است. یکی از ابتکارات روش‌شناسی این پژوهش، ادغام و بازتعریف دسته‌بندی ارائه‌شده توسط رهنما و عباس‌زاده (۱۳۸۷)، در ابعاد هشت‌گانه گالستر در قالب سه معیار کلان "تحلیل فرم فضایی"، "الگوی رشد شهری" و "گسترش افقی و عمودی" بوده به نحوی که این رویکرد مولفه‌های فوق را از مفاهیمی صرفاً تئوریک، به متغیرهایی قابل اندازه‌گیری تغییر داد. در راستای سنجش دقیق نحوه استقرار عناصر کالبدی و تعیین الگوی پراکنش فضا، از شاخص خودهمبستگی فضایی «موران جهانی» بهره گرفته شده است. این آماره با ارزیابی هم‌زمان موقعیت مکانی و تراکم عارضه‌ها، مشخص می‌کند که آیا گسترش فیزیکی شهر از یک نظم خوشه‌ای و متمرکز پیروی می‌کند یا دچار پراکنده‌رویی شده است (Tsai, 2005; Cliff & Ord, 1981). در این پژوهش، جهت محاسبه شاخص خودهمبستگی فضایی موران

۱. تراکم و توزیع فضایی جمعیت

جهانی^۱، از "ماتریس وزن فضایی بر پایه رابطه فاصله معکوس" استفاده شده است. در این روش، وزن فضایی میان بلوک‌های شهری با فرمول $W_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ تعریف می‌شود که در آن d_{ij} نشان‌دهنده "فاصله خطی اقلیدسی" بین مرکز ثقل بلوک i و j است.

انتخاب مدل فاصله معکوس (به جای مدل‌های همجواری مرزی (Queen یا Rook) بر دو دلیل متدولوژیک استوار است: نخست آنکه واحد تحلیل این پژوهش "بلوک‌های خرد شهری" است؛ در محیط‌های واقعی شهری، بسیاری از بلوک‌ها توسط شریان‌های ارتباطی عریض (مانند بلوارها و بزرگراه‌ها) از یکدیگر جدا شده‌اند و در صورت استفاده از ماتریس‌های همجواری ملکه یا رخ^۲، بلوک‌های مجاور دو طرف یک خیابان به دلیل عدم اشتراک در مرز کاداستری، همسایه تلقی نمی‌شدند که این امر با منطق واقعیت‌های کالبدی شهری مغایر است. دوم آنکه بر اساس قانون اول جغرافیا (توبلر)، تعاملات فضایی با افزایش فاصله کاهش می‌یابد؛ لذا مدل فاصله معکوس به درستی تضمین می‌کند که بلوک‌های نزدیک‌تر، وزن و تأثیر ساختاری بیشتری نسبت به بلوک‌های دورتر در تحلیل خوشه‌بندی فضایی دارا هستند. «هم‌زمان، برای ردیابی پویایی‌های مکانی-زمانی و تشخیص جهت‌گیری جغرافیایی توسعه، مدل "بیضی انحراف معیار" به کار رفته است. این الگوریتم با محاسبه مرکز ثقل هندسی، زاویه چرخش و میزان کشیدگی توزیع فضایی در ادوار مختلف، روند دگردیسی استخوان‌بندی شهر و جابه‌جایی محورهای کالبدی را به صورت دقیق و مکان‌مبنا مدل‌سازی می‌کند (Lefever, 1926; Wong & Lee, 2005). این مدل به عنوان یک شاخص کلیدی کالبدی-فضایی، به‌منظور ردیابی هم‌زمان سه مؤلفه "تمرکز یا پراکندگی"، "جهت‌گیری جغرافیایی فرم توسعه" و "مسیر جابه‌جایی مرکز ثقل سیستم شهری" در ادوار مختلف به کار می‌رود. پردازش ریاضی این مدل بر پایه استخراج و تفسیر سه

پارامتر هندسی به هم پیوسته استوار است: نخست، "مرکز ثقل کالبدی-جمعیتی" $\bar{X}_W * \bar{Y}_W$ که نقطه توازن هندسی توزیع بلوک‌های شهری وزن‌دهی شده با جمعیت را نشان می‌دهد و ردیابی جابه‌جایی آن در طول زمان، بیانگر برآیند برداری نیروهای محرک توسعه و جهت کشش اصلی سازمان فضایی شهر است. پارامتر دوم، "زاویه چرخش بیضی" (θ) یا میزان انحراف آن نسبت به شمال جغرافیایی است که راستای بیشترین پراکنش فضایی بلوک‌ها را مشخص می‌سازد؛ تحلیل دگرگونی یا ثبات این زاویه نشان می‌دهد که کریدور اصلی توسعه نسبت به هسته تاریخی شهر چگونه شکل گرفته و آیا ظهور محورهای جدید راستای کلی پیکره شهر را دچار انحراف زاویه‌ای کرده است یا خیر. در نهایت، ارزیابی فرم بیضی بر اساس "طول محورهای بزرگ (S_x) و کوچک (S_y)" صورت می‌گیرد که به ترتیب نمایانگر بیشترین میزان کشیدگی و فشردگی توزیع فضایی هستند. در تحلیل کالبدی، نسبت این دو محور به عنوان «شاخص کشیدگی فرم» تفسیر می‌شود؛ به‌گونه‌ای که افزایش این نسبت دلالت بر توسعه کریدوری، خطی و گرایش سیستم به پراکنده‌رویی سواره‌محور دارد، در حالی که نزدیک شدن شکل بیضی به دایره، گویای توسعه‌ای متوازن، پیوسته و همه‌جانبه در ساختار فیزیکی شهر خواهد بود. در انتها برای چارچوب بندی نتایج این پژوهش از یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های ریاضی در این زمینه، یعنی شاخص آنتروپی شانون است که عمده‌تاً برای ارزیابی درجه انقباض یا انقباض فضایی بافت‌های ساخته‌شده به کار می‌رود این شاخص با محاسبه عدم سازمان‌یافتگی یا پراکندگی فضایی در مناطق مطالعاتی سنجیده می‌شود. فرمول کلی آنتروپی شانون به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$H_n = - \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i)$$

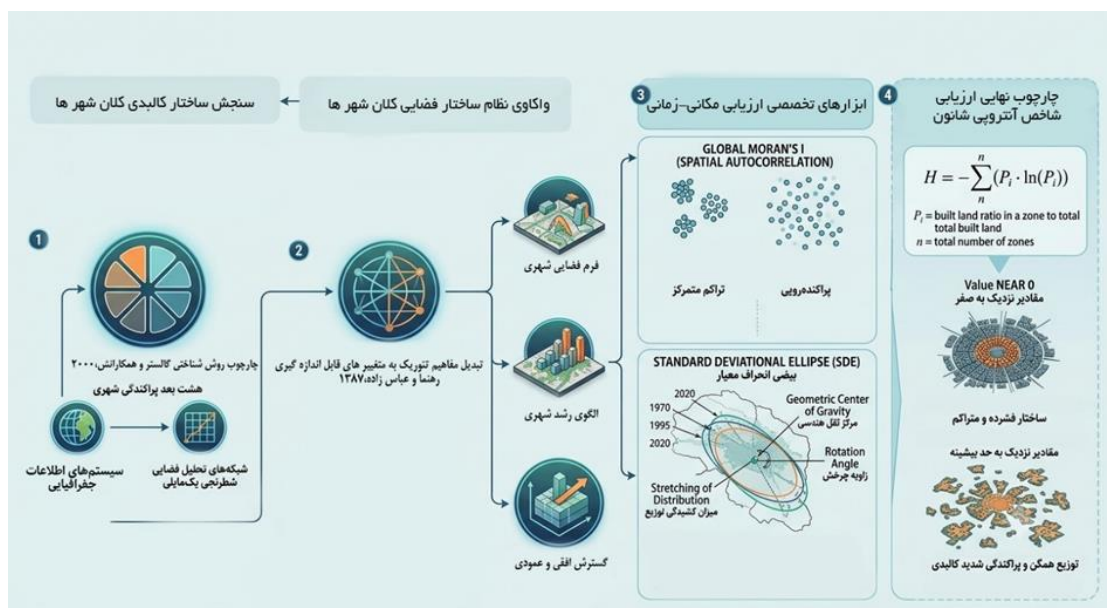
1 - Global Moran's I

2- Queen/Rook Contiguity

توزیع کاملاً همگن و پراکندگی شدید کالبدی است. برای مقایسه بهتر میان شهرهای مختلف، از آنتروپی شانون نسبی استفاده می‌شود (Yeh & Li, 2001; Bhatta et al., 2010).

$$H_{rel} = \frac{H_n}{\ln(n)}$$

در این فرمول ریاضی، P_i نشان‌دهنده نسبت اراضی ساخته‌شده در زون یا منطقه i به کل اراضی ساخته‌شده در محدوده مطالعاتی است و n تعداد کل زون‌های جغرافیایی را نشان می‌دهد مقدار محاسباتی آنتروپی شانون همواره بین بازه صفر تا حداکثر طبیعی خود یعنی $\ln(n)$ قرار می‌گیرد مقادیر نزدیک به صفر گویای ساختاری متراکم و فشرده است، در حالی که مقادیر نزدیک به حد بیشینه نشان‌دهنده



تصویر ۲- فرایند روش شناسی ساختار کالبدی در سازمان فضایی کلانشهرها (نگارندگان، ۱۴۰۵)

معرفی محدوده مورد مطالعه

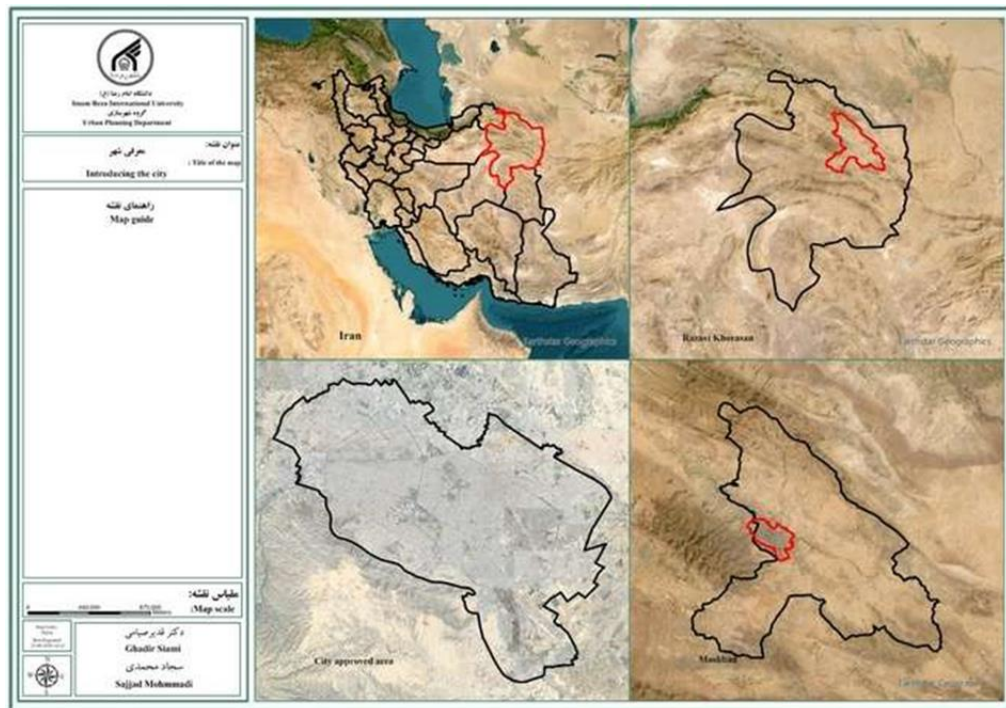
محدوده مطالعاتی این پژوهش در پهنه‌ای از گستره سرزمینی جمهوری اسلامی ایران واقع شده است که به دلیل موقعیت استراتژیک و ژئوپلیتیک خود، نقش کلیدی و غیرقابل‌انکاری در تعادلات فضایی و توسعه ملی ایفا می‌کند (Farnahad Consulting Engineers, 2009). در ساختار تقسیمات کشوری، استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران به عنوان دروازه ارتباطی و پل ترانزیتی کشور با حوزه ژئوپلیتیک آسیای میانه و همسایگان شرقی شناخته می‌شود و شهرستان مشهد نقطه ثقل و قلب تپنده این گستره جغرافیایی است (نهاد مطالعات و برنامه‌ریزی توسعه و عمران شهر مشهد، ۱۳۸۸). در مرکز این نظام فضایی، کلان‌شهر مشهد به عنوان مرکز استان و شهرستان، موقعیتی بی‌بدیل دارد. این شهر پس از تهران، دومین کلان‌شهر بزرگ

برای اجرای مدل آنتروپی شانون، کلان‌شهر مشهد به ۱۰ زون مطالعاتی جغرافیایی ثابت تقسیم شده است ($n=10$). هندسه، مساحت و مرزهای این ۱۰ زون در تمامی مقاطع زمانی (۱۳۵۵ تا ۱۴۰۵) کاملاً ثابت و بدون تغییر مبنای محاسبات قرار گرفته است تا قابلیت مقایسه ریاضی نتایج آنتروپی نسبی در طول زمان و مخرج فرمول ($\ln(n)$) کاملاً همگن و معتبر باقی بماند. اگرچه سرشماری‌های جمعیتی به بازه ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ محدود است، اما تحلیل ساختار کالبدی با ردیابی اثرات طرح خازنی (۱۳۵۱) آغاز شده و با محاسبه شاخص آنتروپی شانون بر روی لایه‌های کالبدی افق طرح جامع فرهنگ (۱۴۰۵) امتداد می‌یابد؛ امری که رصد پویایی‌های سازمان فضایی را در یک بازه ۵۰ ساله محقق ساخته است.

ایران و قطب اصلی توسعه و محرک اقتصادی در منطقه شرق کشور محسوب می‌گردد. وسعت کالبدی این شهر که در سال ۱۲۷۰ خورشیدی تنها در حدود ۷۵۰ هکتار محدود می‌شد، تحت تاثیر نیروهای محرک توسعه و خزش افقی، در سال ۱۳۸۵ به ۲۹'۵۸۰ هکتار افزایش یافت؛ روندی که در اسناد مصوب طرح جامع توسعه و عمران کلان‌شهر مشهد، با نگاهی مهارکننده بازتنظیم شده و مساحت محدوده مصوب شهر برای افق سال ۱۴۰۵ در رقم ۲۹'۴۵۲،۷۱ هکتار تثبیت و برنامه‌ریزی گردیده است (مهندسان مشاور فرهاد، ۱۳۸۸). این تحول فیزیکی در مرزهای کالبدی شهر، در اکثر دهه‌ها شتابی بسیار فراتر از رشد دموگرافیک^۱ آن داشته است؛ به‌طوری‌که نرخ رشد کالبدی سالانه شهر در دوره‌های ۱۳۲۵ تا ۱۳۴۵ معادل ۷،۲ درصد، در دوره ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ معادل ۹،۳ درصد و در دهه ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ معادل ۹ درصد ارزیابی شد، هرچند که در بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با فروکش کردن شدت گسترش افقی، این نرخ به ۱،۴ درصد در سال تنزل پیدا کرد (مهندسان مشاور فرهاد، ۱۳۸۸).

محرک اصلی این تغییر شکل فیزیکی، بار جمعیتی فزاینده‌ای بوده است که اندازه جمعیت مشهد را در سال ۱۳۸۵ به ۲'۴۲۷'۳۰۰ نفر رساند و بر اساس پیش‌بینی‌های ساختاری فرادست، ظرفیت جمعیت‌پذیری و سقف جمعیتی سیستم برای افق سال ۱۴۰۵ معادل ۳'۸۵۶'۰۰۰ نفر برآورد شده است (Farnahad Consulting Engineers, 2009).

پدیده پراکنده‌روی شهری ناشی از توسعه شتابان مرزها، مستقیماً بر متغیر تراکم ناخالص جمعیتی اثر گذاشت؛ به گونه‌ای که این شاخص از ۱۲۸ نفر در هکتار در سال ۱۳۴۵، با افتی شدید به ۷۲ نفر در هکتار در سال ۱۳۷۵ رسید و در سال ۱۳۸۵ مجدداً با گرایش اندک به سمت فشردگی به ۸۲ نفر در هکتار ارتقا یافت. در وضعیت کنونی، ناهماهنگی در توزیع فضایی جمعیت باعث بروز نابرابری و نوسان شدید تراکم ناخالص بین ۲۵ تا ۱۵۴ نفر در هکتار در پهنه‌های مختلف شده است؛ عارضه‌ای که مدیریت شهری برای ساماندهی و تعادل‌بخشی به آن در افق طرح، متوسط تراکم ناخالص ۱۴۲ نفر در هکتار و میانگین تراکم خالص مسکونی ۳۲۵ نفر در هکتار را پیشنهاد داده است (Farnahad Consulting Engineers, 2009). همگام با این تحولات تراکمی، الگوهای ریخت‌شناسی ساختمانی شهر مشهد نیز که در دهه‌های گذشته عمدتاً مبتنی بر الگوی کوتاه‌مرتبه بودند—به طوری که در سال ۱۳۶۷ متوسط تراکم ساختمانی اراضی مسکونی حدود ۷۷ درصد با میانگین ۱،۲ طبقه بود. در جریان گذار به سمت شهر فشرده با پیش‌بینی ارتقا به ۱۶۷ درصد و میانگین ۲،۵ طبقه بازتعریف شده‌اند تا استخوان‌بندی کالبدی شهر در قالب پهنه‌بندی‌های جدید با تراکم‌های کم (۱۰۰ درصد)، متوسط (۲۰۰ درصد) و زیاد (بالای ۳۰۰ درصد) به تعادل ساختاری دست یابد (مهندسان مشاور فرهاد، ۱۳۸۸).

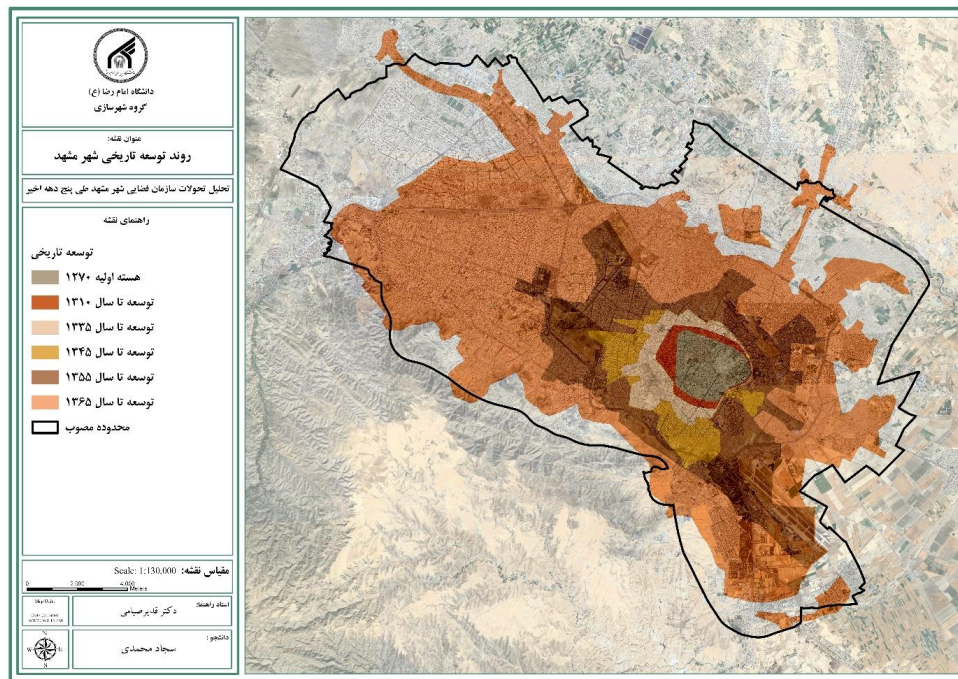


تصویر ۳- معرفی شهر، (نگارندگان، ۱۴۰۵)

درآمدی بر سیر توسعه کالبدی کلان شهر مشهد

هسته اولیه شهر مشهد در سال ۲۰۳ هجری قمری با خاکسپاری پیکر مطهر امام رضا (ع) در باغی واقع در روستای سناباد در نزدیکی شهر توس شکل گرفت. این مکان به تدریج به زیارتگاه اصلی شیعیان تبدیل شد و با نام «مشهدالرضا» به مرور جایگزین شهر باستانی توس گردید. توسعه کالبدی مشهد در ابتدا روندی تدریجی و ارگانیک را طی می‌کرد تا اینکه در دوران صفویه و هم‌زمان با رسمی شدن مذهب تشیع در ایران، مورد توجه ویژه پادشاهان قرار گرفت. در زمان شاه طهماسب صفوی، بارویی مستحکم برای دفاع در برابر هجوم بیگانگان گرداگرد شهر کشیده شد که وسعت شهر در داخل این حصار به حدود ۷۷۶ هکتار می‌رسید و شامل شش دروازه و شش محله اصلی یعنی نوغان، سراب، عیدگاه، پایین‌خیابان، بالاخیابان و چهارباغ بود. همچنین در همین دوران، با احداث محور اصلی موسوم به «خیابان» توسط شاه عباس، استخوان‌بندی و ساختار کالبدی اولیه شهر تثبیت شد. این ساختار سنتی و محصور تا اوایل قرن

چهاردهم خورشیدی و آغاز دوره پهلوی اول پابرجا ماند. با شروع سیاست‌های نوسازی، شهر مشهد عاقبت از حصار تاریخی خود خارج شد؛ به طوری که با تخریب باروهای قدیمی، احداث فلکه پیرامون حرم مطهر و ایجاد خیابان‌های شعاعی جدید نظیر خیابان‌های طبرسی، تهران و خسروی، الگوی کالبدی شهر از حالت ارگانیک پیشین به ساختاری شعاعی و ستاره‌ای تغییر شکل داد. در ادامه و در دوره پهلوی دوم (تا پیش از سال ۱۳۵۵)، افزایش چشمگیر شمار زائران و احداث زیرساخت‌های کلان حمل‌ونقلی مانند راه‌آهن و فرودگاه، شتاب توسعه فیزیکی را به شدت افزایش داد. در این مقطع، با هدایت طرح جامع اول (طرح خازنی)، رشد کالبدی شهر با الگوی شطرنجی به سمت اراضی مرغوب غربی و جنوب‌غربی در امتداد محور وکیل‌آباد و جاده سنتو سوق داده شد. این الگوی گسترش فیزیکی، فرم ارگانیک اولیه را دچار گسست کرده و لایه‌های جدیدی از توسعه‌های پیرامونی را پدید آورده است که روندهای تکوین آن در دوره‌های مختلف تاریخی قابل مشاهده است.



تصویر ۴- روند توسعه تاریخی شهر (نگارندگان، ۱۴۰۵)

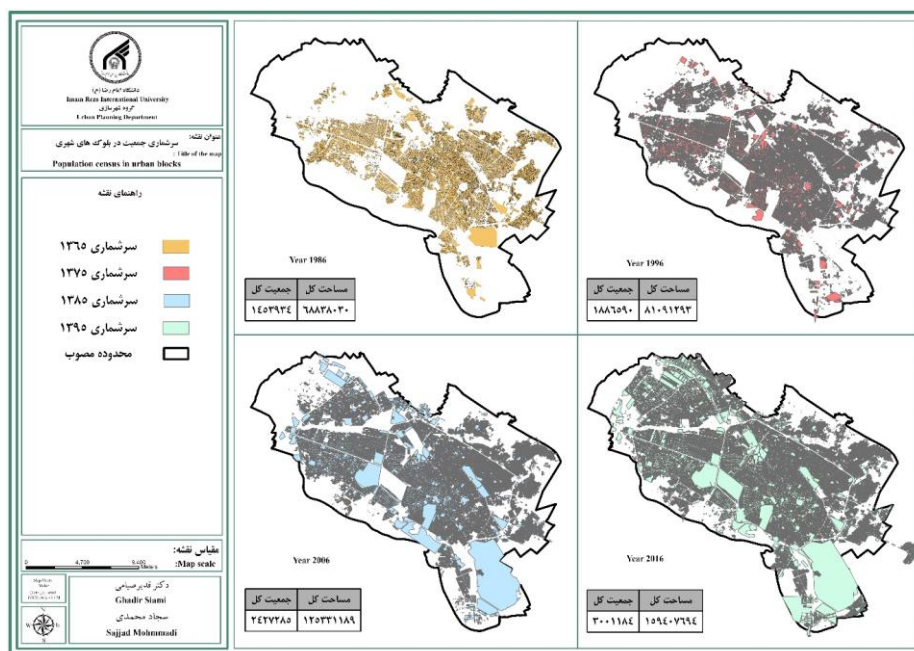
پروژه شماره خراسان بزرگ

دوره ۱۷، شماره ۶۲، ۱۴۰۵

۱۶

شد؛ فشاری که در نهایت به لبه‌های بیرونی شهر سرریز کرد، دامنه پراکنده‌روپی را گسترش داد و ساختار کالبدی شهر را دگرگون ساخت.؛ جریانی که جزئیات عددی و ابعاد رشد آن ترسیم شده است. شناخت دقیق این بستر کالبدی، خشت اولی است که تحلیل‌های کمی خزش شهری را معناپذیر می‌سازد.

موتور محرک اصلی گسترش کالبدی و جابه‌جایی‌های فضایی مشهد در دهه‌های اخیر، رشد شتابان و انفجاری جمعیت بوده است. بررسی تحولات دموگرافیک این کلان‌شهر بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵، از یک صعود مداوم و بی‌وقفه در آمار جمعیت حکایت دارد. این بار جمعیتی فزاینده با ایجاد تقاضای شدید برای زمین، مسکن و خدمات شهری، عملاً به عامل اصلی جهت‌دهی به فعالیت‌ها تبدیل



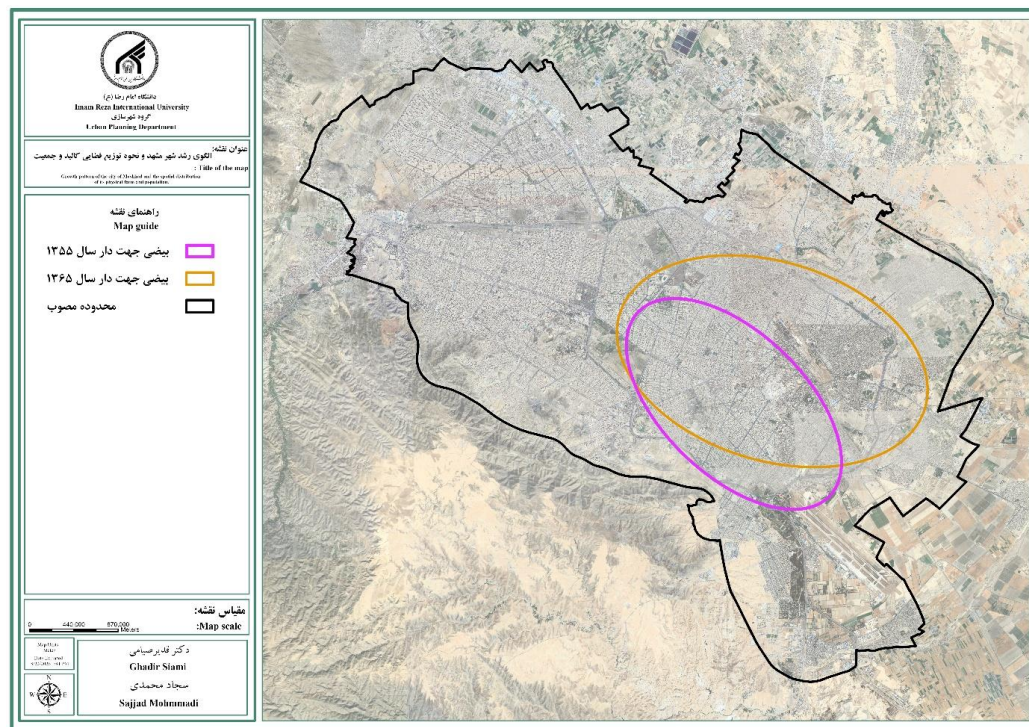
تصویر ۵- سرشماری جمعیت در بلوک‌های شهری (نگارندگان، ۱۴۰۵)

دوره اول (۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵): آغاز عصر انفجار کالبدی و

خزش افقی شهر

دهه ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ در کلان‌شهر مشهد، سرآغاز دگرگونی بنیادین و دوران بی‌سابقه‌ای از تغییرات جمعیتی و کالبدی است در این دهه، وقوع انقلاب اسلامی، تغییر ساختار قوانین اراضی، پیامدهای ناشی از جنگ تحمیلی و هجوم امواج گسترده مهاجران روستایی، جنگ‌زدگان و پناهندگان، ساختار فضایی شهر را به‌طور کامل از چارچوب پیش‌بینی‌های طرح جامع اول (طرح خازنی ۱۳۵۱) خارج ساخت (Farnahad Consulting Engineers, 2009). مقایسه داده‌های این دو مقطع، ثبت یکی از شدیدترین نرخ‌های رشد تاریخ مشهد را آشکار می‌کند. در سال ۱۳۵۵، کل جمعیت شهر برابر با ۶۷۷'۸۰۰ نفر و مساحت محدوده شهری حدود ۷۸'۰۰۰'۰۰۰ متر مربع

(۷۸۰۰ هکتار با تراکم ناخالص ۸۶ نفر در هکتار) بود، اما با رسیدن به سال ۱۳۶۵، آمار جمعیت رسمی شهر با جهشی بیش از دو برابر به ۱'۴۵۳'۹۲۴ نفر رسید و مساحت بلوک‌های ساخته‌شده شهری نیز رقمی بالغ بر ۶۸'۸۳۸'۰۳۰ متر مربع (حدود ۶۸۸۴ هکتار) را ثبت کرد. تحلیل این ارقام نشان می‌دهد که طی تنها یک دهه، بیش از ۷۷۶ هزار نفر (رشد ۱۱۴ درصدی) به جمعیت شهر افزوده شد؛ این انفجار جمعیتی، نظام برنامه‌ریزی شهری را غافلگیر کرد و به انبساط سریع و لجام‌گسیخته کالبد، تسخیر اراضی پیرامونی، پیدایش گسترده کانون‌های سکونتگاهی خودرو در جبهه‌های شرقی و شمال‌شرقی، و تغییر جهت‌گیری هندسی استخوان‌بندی شهر منجر گردید که شالوده دوگانگی کالبدی و فضایی مشهد را برای دهه‌های پس از خود پی‌ریزی نمود.



تصویر ۶- بیضی جهت دار از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ شهر مشهد

جدول ۲- مقادیر محاسباتی و شاخص‌های هندسی مدل بیضی جهت‌دار استاندارد (SDE) کلان‌شهر مشهد (سال ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵)

پارامتر هندسی-مورفولوژیک	سال ۱۳۷۵	سال ۱۳۶۵	میزان تغییرات مطلق	درصد تغییرات (Directional) (Trend)
مختصات مرکز ثقل هندسی (CenterX, CenterY)	۷۳۳'۳۲۰,۸۷ ۴'۰۱۸'۵۱۰,۵۱	۷۳۴'۷۶۰,۶۰ ۴'۰۲۰'۱۰۲,۶۲	$\Delta X = +1429.73 \text{ m}$ $\Delta Y = +1593.11 \text{ m}$	جاب‌جایی اقلیدسی: ۲'۱۴۰,۵۹ متر به سمت شمال شرق
طول محور بزرگ (S_x - شعاع استاندارد X)	۴'۹۵۰,۸۵ متر	۵'۹۵۹,۴۰ متر	۱'۰۰۸,۵۵ + متر	۲۰,۳۷٪ (رشد طولی کالبد)
طول محور کوچک (S_y - شعاع استاندارد Y)	۲'۶۵۹,۰۴ متر	۳'۶۹۹,۰۳ متر	۱'۰۳۹,۹۹ + متر	۳۹,۱۱٪ (گسترش شدید عرضی)
شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y)	۱,۸۶	۱,۶۱	-۰,۲۵	کاهش کشیدگی و حرکت به سمت تعادل پهنه‌ای
زاویه چرخش بیضی (θ - نسبت به شمال)	۱۳۳,۹۴ درجه	۱۰۷,۲۷ درجه	-۲۶,۶۷ درجه	چرخش پادساعتگرد به سمت امتداد شرقی- غربی
مساحت بیضی توسعه کالبدی (Shape_Area)	۴۱'۳۵۵'۴۸۴ m^2	۶۹'۲۴۹'۸۰۴ m^2	۲۷'۸۹۴'۳۲۰ m^2	۶۷,۴۵٪ (جهش انفجاری مساحت کالبدی)

استخوان‌بندی شهر پیش از آغاز تمرکز انحصاری بر کریدور غربی در دهه‌های بعد است. به دلیل در دسترس نبودن داده‌های سرشماری تفکیک شده جمعیتی در سطح بلوک‌های شهری برای سال ۱۳۵۵، امکان استخراج شاخص خودهمبستگی فضایی موران جهانی (Global Moran's I) برای سنجش الگوی توزیع جمعیت در این مقطع وجود ندارد؛ با این حال، تحلیل تطبیقی پارامترهای مدل بیضی جهت‌دار استاندارد (SDE) در کنار شاخص‌های کلان کالبدی و اسناد طرح جامع اول (خازنی)، تصویر روشنی از سازمان فضایی مشهد در سال ۱۳۵۵ ارائه می‌دهد. ابعاد هندسی بیضی در این سال، استقرار مرکز ثقل در نزدیکی هسته مذهبی-تاریخی و تراکم ناخالص ۸۶ نفر در هکتار، نشان‌دهنده غلبه ساختاری متمرکز، تک‌هسته‌ای و فشرده بر کلان‌شهر مشهد است. در عین حال، زاویه چرخش بیضی و افزایش طول محور طولی در

ارزیابی ابعاد برداری محورهای بزرگ و کوچک بیضی در بازه زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵، نشان‌دهنده غلبه انبساط عرضی و دگرگونی جهت‌گیری ساختار کالبدی شهر در نخستین دهه پس از انقلاب است. در حالی که طول محور بزرگ بیضی (S_x) با افزایش ۲۰,۳۷ درصدی (۱'۰۰۸,۵۵ متر) از ۴'۹۵۰,۸۵ به ۵'۹۵۹,۴۰ متر رسیده، طول محور کوچک (S_y) جهش چشمگیر ۳۹,۱۱ درصدی (۱'۰۳۹,۹۹ متر) را تجربه کرده و از ۲'۶۵۹,۰۴ به ۳'۶۹۹,۰۳ متر افزایش یافته است. پیشی گرفتن قابل توجه نرخ رشد محور عرضی بر محور طولی، موجب کاهش شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y) از ۱,۸۶ در سال ۱۳۵۵ به ۱,۶۱ در سال ۱۳۶۵ شده است؛ پدیده‌ای که در کنار جهش ۶۷,۴۵ درصدی مساحت بیضی و چرخش ۲۶,۶۷- درجه‌ای زاویه استقرار، بیانگر انبساط پهنه‌ای فراگیر، جذب اراضی پیرامونی و تغییر زاویه

امتداد محور غربی-جنوب غربی (بلوار وکیل آباد)، گویای آن است که سال ۱۳۵۵ نقطه آغاز خروج شهر از فرم سنتی-شعاعی و شکل گیری نخستین الگوهای خزش کالبدی به شمار می رود که در دهه های بعد به پراکنده رویی مهارگسیخته تبدیل شد.

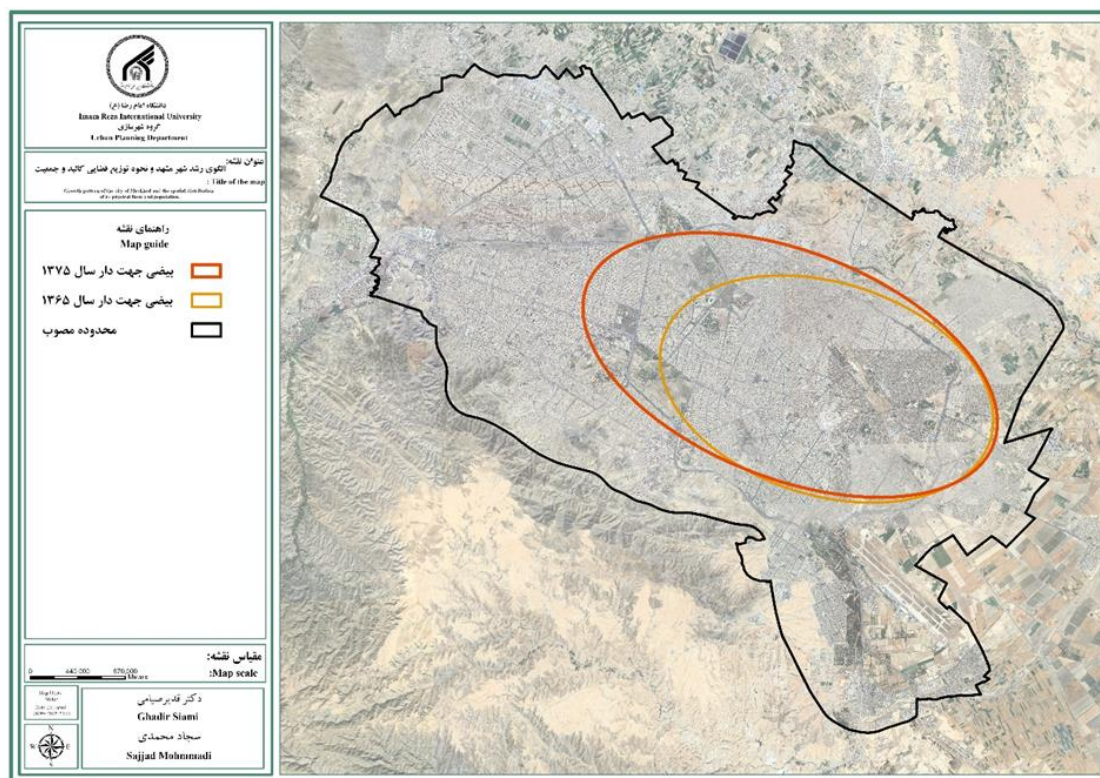
دوره دوم (۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵): تداوم الگوی توسعه لجام گسیخته کالبدی و آغاز تمرکززدایی از هسته سنتی

دهه ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ در کلان شهر مشهد، دوران بی سابقه ای از تغییرات جمعیتی و فضایی است که در این دهه، پیامدهای ناشی از تحولات سیاسی و اقتصادی پس از انقلاب و هجوم موج های گسترده مهاجرت، ساختار کالبدی شهر را به طور کامل از کنترل طرح های فرادست خارج کرد (Farnahad Consulting Engineers, 2009). برای

درک دقیق واژه تمرکززدایی، استناد به ارقام و ارقام مستخرج از اسناد سرشماری جمعیت و مساحت بلوک های شهری بهترین گواه است؛ چرا که مقایسه داده های این دو مقطع نشان دهنده یک جهش عظیم در هر دو بعد جمعیت و کالبد است. در سال ۱۳۶۵، کل جمعیت رسمی شهر برابر با ۱'۴۵۳'۹۳۴ نفر و مجموع مساحت بلوک های شهری بالغ بر ۶۸'۸۳۸'۰۳۰ متر مربع (حدود ۶۸۸۳ هکتار) بود، اما با رسیدن به سال ۱۳۷۵، آمار جمعیت شهر به ۱'۸۸۶'۵۹۰ نفر افزایش یافت و همزمان مساحت بلوک های ساخته شده شهری نیز به ۸۱'۰۹۱'۲۹۳ متر مربع (حدود ۸۱۰۹ هکتار)

گسترش پیدا کرد. تحلیل این ارقام نشان می دهد که طی تنها یک دهه، بیش از ۴۳۲ هزار نفر به جمعیت شهر افزوده شد و برای اسکان این سیل جمعیت، بیش از ۱۲٫۲ میلیون متر مربع (حدود ۱۲۲۵ هکتار) به مساحت بلوک های کالبدی شهر اضافه گردید که این امر به خوبی اثبات می کند رشد عینی شهر بسیار فراتر از پیش بینی های طرح جامع اول (طرح خازنی) بوده و کالبد شهر برای پاسخگویی به این تقاضا دچار انبساطی مهارگسیخته شده است. جالب توجه است که در سرشماری های سال ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵، مرکز آمار ایران به دلیل آشفتگی این کانون های جمعیتی، حاشیه نشینان این مناطق را جدا از جمعیت رسمی مشهد اعلام می کرد، در حالی که از نظر فیزیکی و عملکردی این اندام ها کاملاً به شهر قفل شده بودند.

این افزایش ۱۲ میلیون متر مربعی سطح بلوک ها، به صورت منظم، فشرده و پیوسته در فضا رخ نداد، بلکه فرمی گسسته به خود گرفت. با بررسی نقشه های مربوط به الگوی رشد شهر مشهد و مقایسه بیضی جهت دار سال ۱۳۶۵ با بیضی سال ۱۳۷۵، آشکار می شود که شهر دچار یک خزش افقی شدید در تمام جهات جغرافیایی، به ویژه در امتداد محورهای خروجی و شریانی شده است. در ادامه، تحلیل تصویر ۷ و داده های جدول مربوطه، به تبیین دقیق فضایی و علل کالبدی این خزش افقی شدید می پردازد:



تصویر ۷- بیضی جهت دار از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ شهر مشهد

مأخذ: ترسیم توسط نگارنده

جدول ۳- مقادیر محاسباتی و شاخص‌های هندسی مدل بیضی جهت‌دار استاندارد (SDE) کلان‌شهر مشهد (سال ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵)

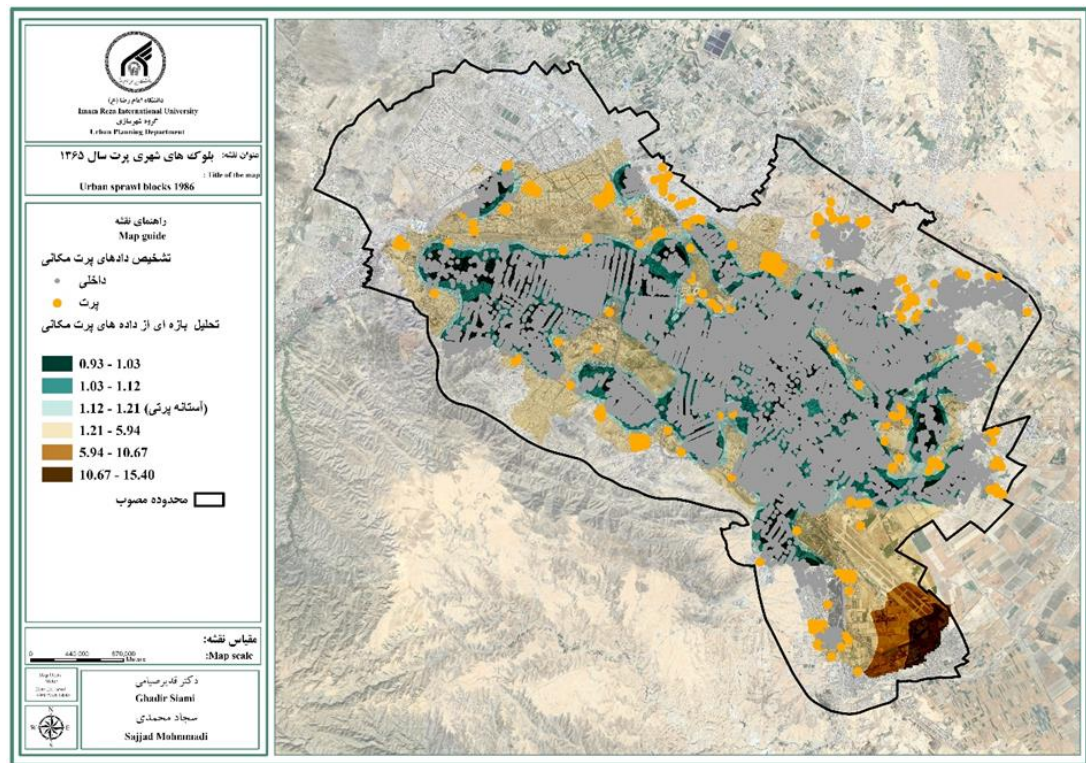
پارامتر هندسی-مورفولوژیک	سال ۱۳۶۵	سال ۱۳۷۵	میزان تغییرات مطلق	درصد تغییرات (Directional Trend)
مختصات مرکز ثقل هندسی (CenterX, CenterY)	۷۳۴°۷۶۰,۶۰ ۴°۰۲۰'۱۰۳,۶۲	۷۳۳°۴۸۶,۲۰ ۴°۰۲۰'۹۳۶,۶۰	$\Delta X = -1274.40 \text{ m}$ $\Delta Y = +832.98 \text{ m}$	جابه‌جایی اقلیدسی: ۱'۵۲۲,۵ متر به سمت شمال‌غرب
طول محور بزرگ (S_x - شعاع استاندارد X)	۵'۹۵۹,۴۰ متر	۷'۵۸۹,۲۵ متر	۱'۶۲۹,۸۵ متر	۲۷,۳۵٪ (رشد کریدوری طولی)
طول محور کوچک (S_y - شعاع استاندارد Y)	۳'۶۹۹,۰۳ متر	۳'۹۴۹,۰۴ متر	۲۴۰,۰۱ متر	۶,۴۹٪ (رشد محدود عرضی)
شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y)	۱,۶۱	۱,۹۳	+۰,۳۲	افزایش شدید بیضی‌شدن فرم
زاویه چرخش بیضی (θ - نسبت به شمال)	۱۰۷,۲۷ درجه	۱۱۱,۴۷ درجه	+۴,۲۰ درجه	انحراف برداری به سمت غرب و شمال‌غرب
مساحت بیضی توسعه کالبدی (Shape_Area)	$m^2 69'249'80.4$	$m^2 93'911'176$	$m^2 24'661'272$	۳۵,۶۱٪ (انبساط لجام‌گسیخته پوسته)

درصدی (۱,۶ کیلومتر) مواجه شده، در حالی که طول محور کوچک (S_y) رشدی معادل ۶,۴۹ درصد (۲۴۰ متر) داشته است. برآیند تغییرات این دو متغیر، افزایش شاخص

ارزیابی ابعاد برداری محوره‌های بزرگ و کوچک بیضی نشان‌دهنده عدم تقارن کالبدی در توسعه فیزیکی شهر است. طول محور بزرگ بیضی (S_x) با افزایش ۲۷,۳۵

پدیدار شده بودند؛ پدیده‌ای کالبدی که با رشد شتابان جمعیت تا سال ۱۳۷۵ به شدت تقویت شد و استخوان‌بندی فضا را به مجموعه‌ای ناپیوسته، خودبه‌خودی و گسسته تبدیل کرد که پیوند ساختاری ضعیفی با پیکره اصلی شهر داشتند.

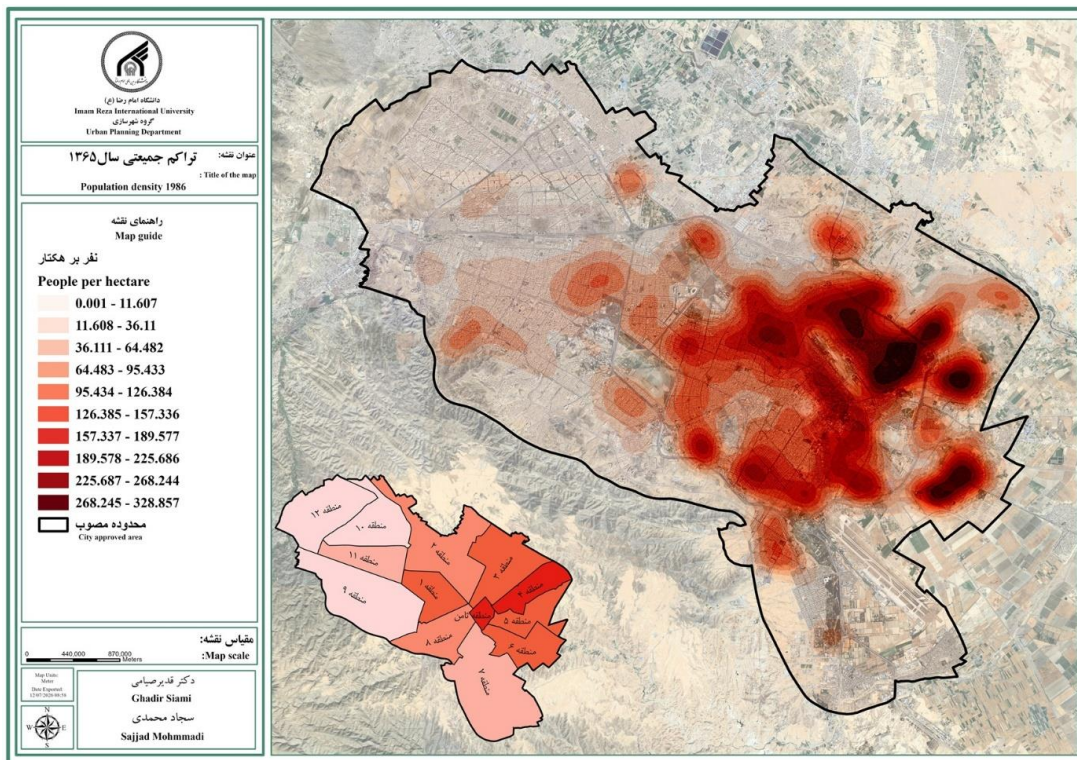
کشیدگی فرم (S_x/S_y) از ۱,۶۱ در سال ۱۳۶۵ به ۱,۹۳ در سال ۱۳۷۵ را به همراه داشته است. مستندات حاصل از نقشه بلوک‌های پرت شهری در سال ۱۳۶۵ به روشنی نشان می‌دهد که حتی در ابتدای این دهه نیز بلوک‌های منزوی، جزیره‌ای و پراکنده در حاشیه‌های دور



تصویر ۸- بلوک‌های پرت شهری سال ۱۳۶۵ (نگارندگان: ۱۴۰۵)

جهانی بین سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵ از گسترش پراکندگی در سایر نواحی شهری حکایت دارد؛ پدیده‌ای که نشان می‌دهد توسعه کالبدی مشهد در این دوره، علاوه بر ماهیت انفجاری، فرمی کاملاً نامتراکم و پراکنده به خود گرفته است.

با مقایسه نقشه‌های «تراکم جمعیتی سال ۱۳۶۵» و «تراکم جمعیتی سال ۱۳۷۵»، مشخص می‌شود که هسته مرکزی و به ویژه پهنه‌های شرقی شهر دچار تراکم جمعیتی شدید و انفجاری بوده‌اند. افزون بر این، روند تغییرات شاخص موران

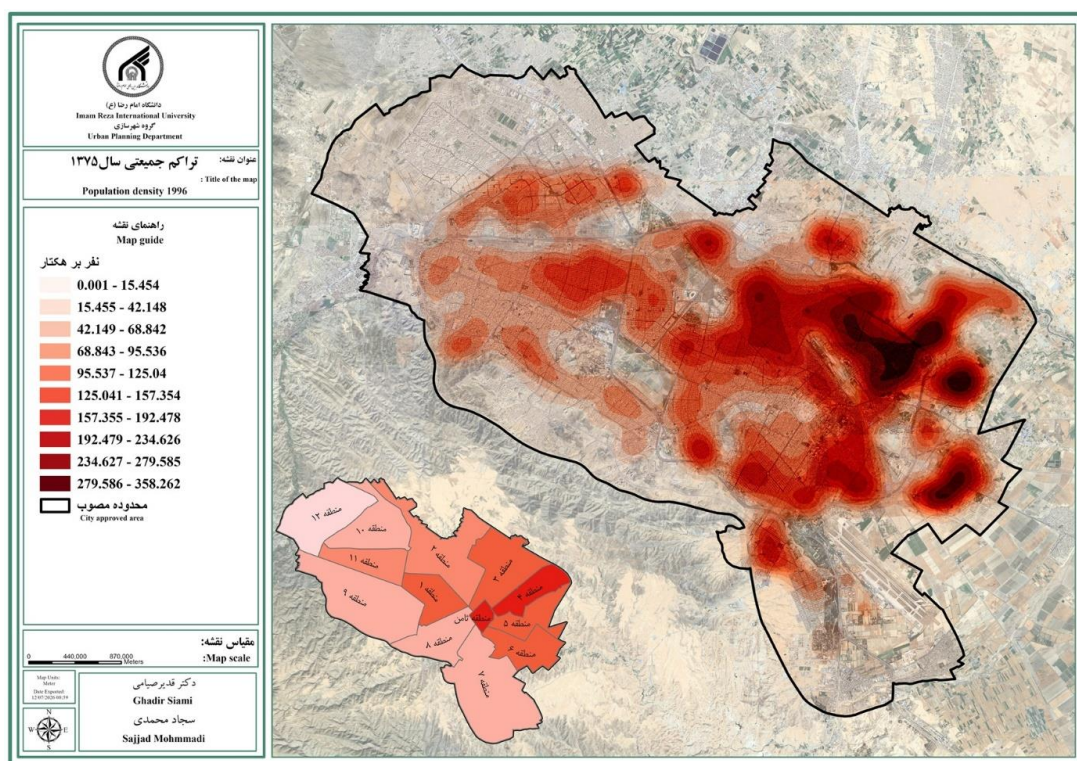


تصویر ۹- تراکم جمعیتی سال ۱۳۶۵ (نگارندگان: ۱۴۰۵)

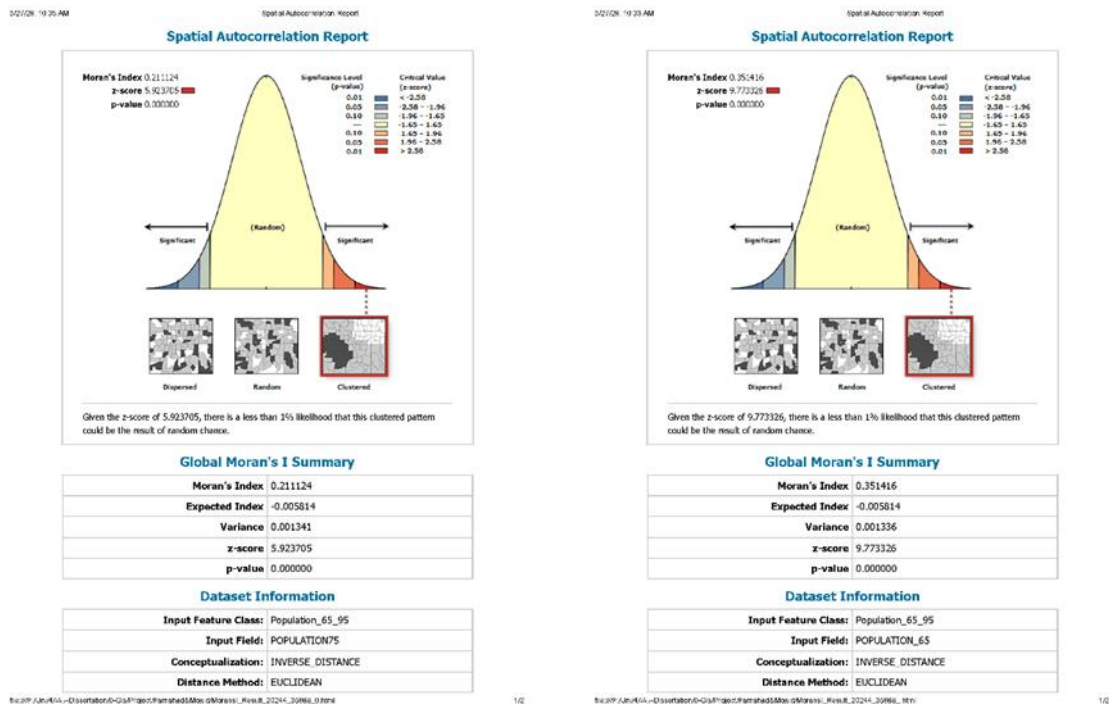
پژوهشنامه خراسان بزرگ

دوره ۱۷، شماره ۶۲، ۱۴۰۵

۲۲



تصویر ۱۰- تراکم جمعیتی سال ۱۳۷۵ (نگارندگان: ۱۴۰۵)



تصویر ۱-موران جهانی شهر مشهد در سال ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵

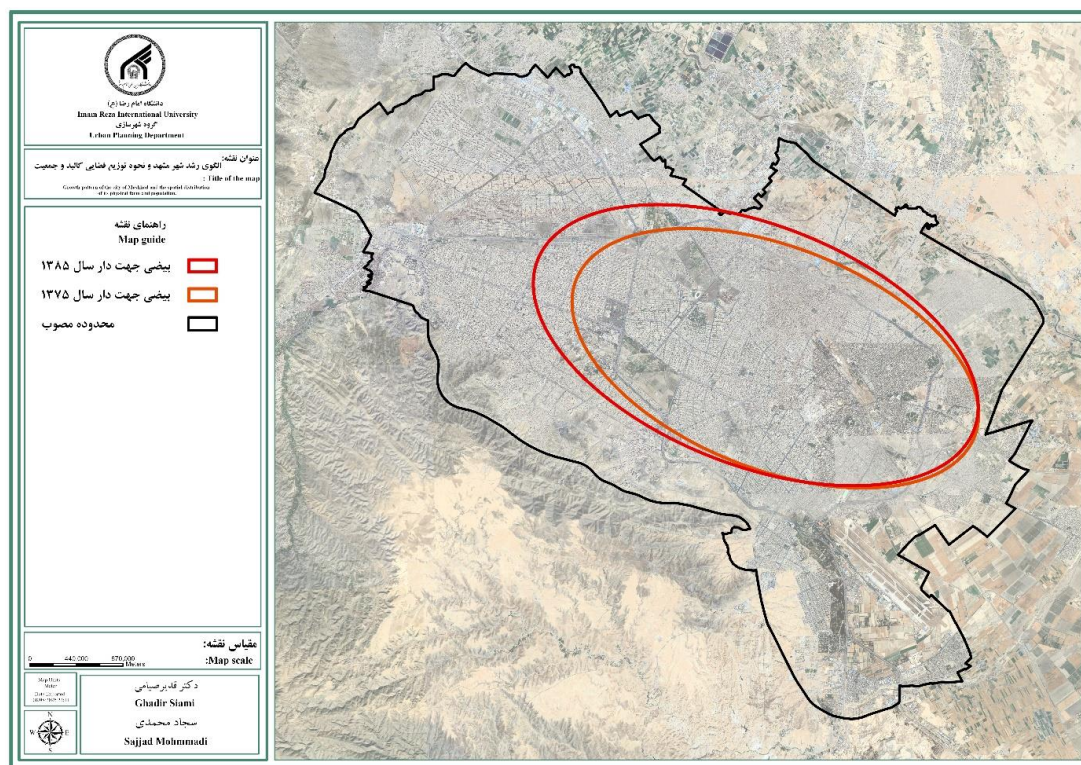
فشرده در بافت‌های موجود شهری بود. بر اساس نقشه بیضی‌های جهت دار اولاً گذار شهر به سمت تثبیت دهه قبلی است؛ کشیدگی بیضی رشد در این دهه، مستقیماً با سیاست‌های هدایت توسعه در طرح جامع دوم (طرح مهران) پیوند دارد. انبساط بیضی رشد به سمت غرب و شمال‌غرب در سال ۱۳۸۵، بازتاب‌دهنده تولد هسته‌ها و کانون‌های فعالیتی جدید است.

دوره سوم (۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵): تراکم‌گرایی، شکل‌گیری

محورهای توسعه و پیدایش کانون‌های جدید شهری

دوره زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ در کلان‌شهر مشهد، مقارن با اجرای طرح جامع دوم (طرح مهران مصوب ۱۳۷۲) است که با هدف مهار تورم جمعیتی و کنترل عوارض ناشی از رشد شتابان دهه گذشته تدوین شده بود.

یکی از شاخص‌ترین مراحل رشد کالبدی مشهد در این دهه، انتقال از رشد افقی صرف به سمت «تراکم‌گرایی» و بارگذاری



تصویر ۱۲- بیضی جهت دار از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ شهر مشهد (نگارندگان: ۱۴۰۵)

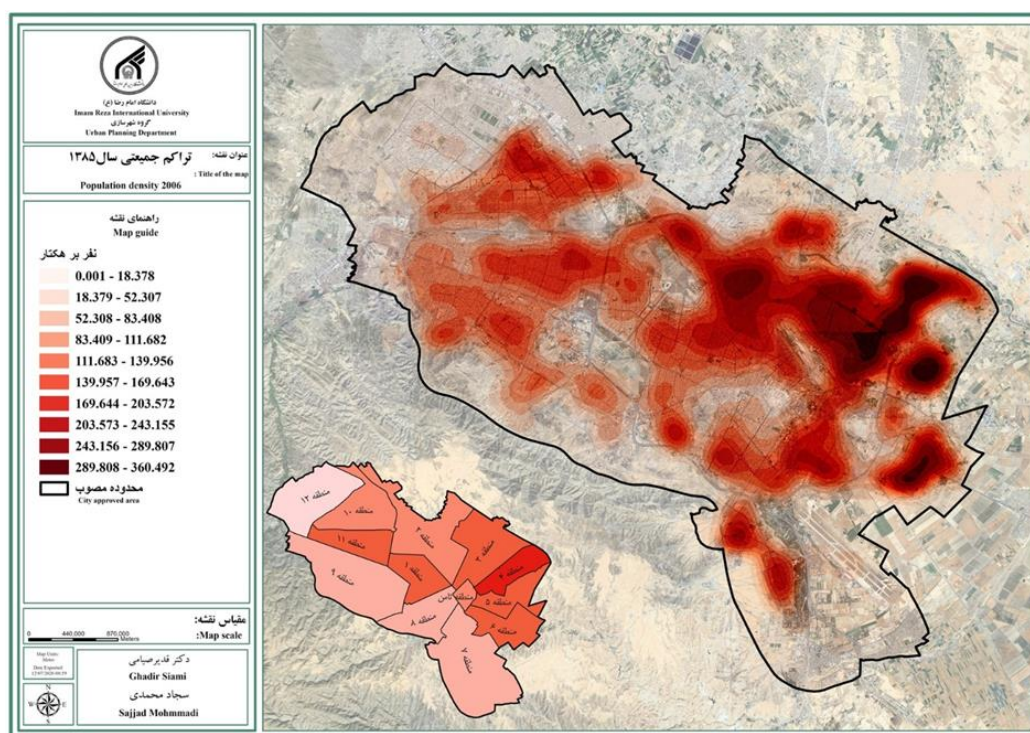
جدول ۴- مقادیر محاسباتی و شاخص‌های هندسی مدل بیضی جهت‌دار استاندارد (SDE) کلان‌شهر مشهد (سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵)

پارامتر هندسی-مورفولوژیک	سال ۱۳۷۵	سال ۱۳۸۵	میزان تغییرات مطلق	درصد تغییرات (Directional Trend)
مختصات مرکز ثقل هندسی (CenterX, CenterY)	733,486.20 4,020,936.60	732,793.26 4,021,400.29	$\Delta X = -692.94 \text{ m}$ $\Delta Y = +463.69 \text{ m}$	جابه‌جایی اقلیدسی: ۸۳۳٫۷۵ متر به سمت شمال‌غرب
طول محور بزرگ (S_x - شعاع استاندارد X)	۷'۵۸۹٫۲۵ متر	۸'۳۰۰٫۹۹ متر	۷۱۱٫۷۴ + متر	۹٫۳۸٪ + تداوم رشد کریدوری طولی
طول محور کوچک (S_y - شعاع استاندارد Y)	۳'۹۳۹٫۰۴ متر	۴'۲۵۸٫۸۴ متر	۳۱۹٫۸۰ + متر	۸٫۱۲٪ + رشد متوازن‌تر عرضی
شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y)	۱٫۹۳	۱٫۹۵	+۰٫۰۲	تثبیت الگوی خطی و کشیده فرم
زاویه چرخش بیضی (θ - نسبت به شمال)	۱۱۱٫۴۷ درجه	۱۱۱٫۳۱ درجه	-۰٫۱۶ درجه	ثبات تقریبی در راستای محور غرب-شمال‌غرب
مساحت بیضی توسعه کالبدی (Shape_Area)	۹۳'۹۱۱'۱۷۶ m^2	۱۱۱'۰۵۷'۸۲۷ m^2	+۱۷'۱۴۶'۶۵۱ m^2	۱۸٫۲۶٪ + تداوم انبساط کالبدی

محور کوچک (S_y) نیز با رشدی معادل ۸٫۱۲ درصد (۳۱۹٫۸۰ متر) به ۴'۲۵۸٫۸۴ متر افزایش یافته است. همگام شدن نسبی نرخ رشد این دو محور سبب شده تا شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y) تغییر جزئی داشته باشد و از ۱٫۹۳ در سال ۱۳۷۵ به ۱٫۹۵ در سال ۱۳۸۵ برسد؛ پدیده‌ای که

ارزیابی ابعاد برداری محورهای بزرگ و کوچک بیضی در بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵، نشان‌دهنده تداوم الگوی توسعه کشیده اما با شیئی کندتر و متوازن‌تر نسبت به دهه قبل است. طول محور بزرگ بیضی (S_x) با افزایش ۹٫۳۸ درصدی (۷۱۱٫۷۴ متر) به ۸'۳۰۰٫۹۹ متر رسیده و طول

موران جهانی در مقطع سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ به روشنی نشان می‌دهد که فرآیند الگوی رشد Sprawl (پراکنده‌رویی کالبدی) در این دهه نه تنها کنترل نشد، بلکه شدت و گستردگی بسیار بیشتری برای پراکنده‌تر شدن پیکره شهر به خود گرفت؛ امری که گواهی بر تعمیق جابه‌جایی‌های ناپیوسته فضایی و توسعه خوشه‌های مجزا در اراضی حاشیه‌ای است.



فراغتی غرب (بلوار وکیل آباد و پارک ملت) به عنوان گره‌های اصلی ساختار کالبدی شهر تثبیت شدند.

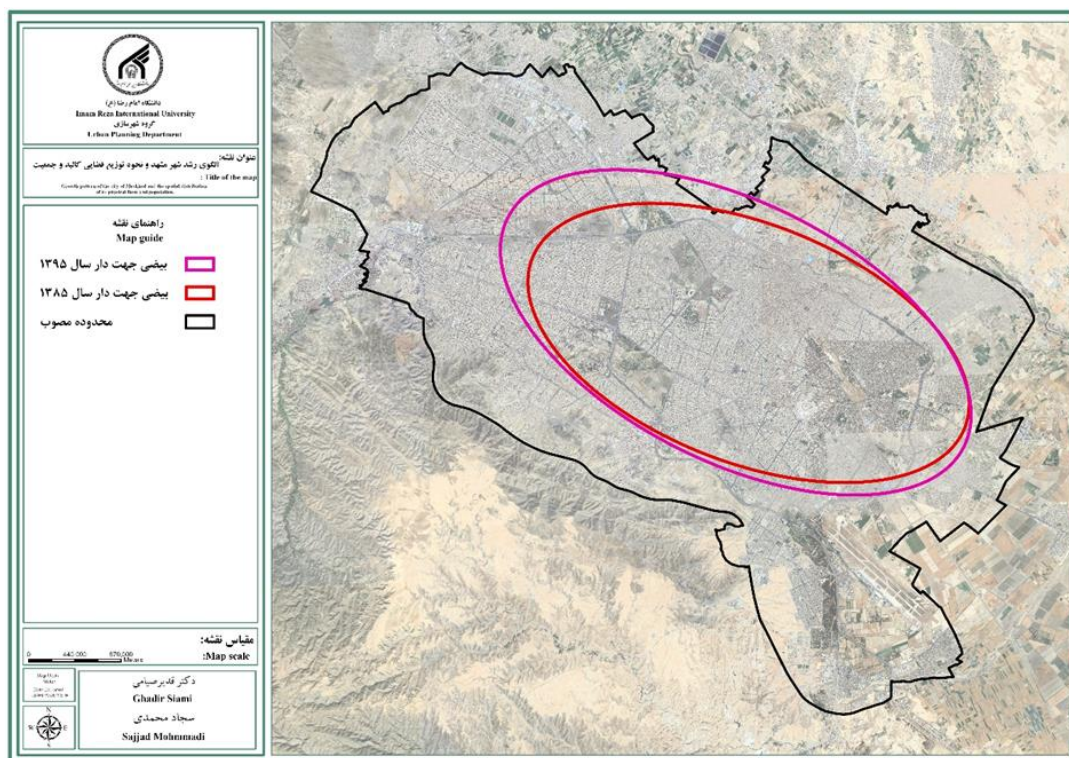
در نهایت ساختار کالبدی کلان‌شهر مشهد در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵، تحت تاثیر طرح جامع مهران، کوشید تا از یک شهر با رشد مهارگسیخته و پراکنده به یک کلان‌شهر با محورهای توسعه تثبیت‌شده و قانون‌های مکمل تبدیل شود.

دوره چهارم (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵): ظهور کلانشهر چندکانونی با سازمان فضایی مرکزگرنی، دوگانه و خوشه‌ای

بارزترین تحول فضایی کلان‌شهر مشهد در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵، تمرکززدایی تدریجی از قطب سنتی شهری (حرم مطهر) و پیدایش کانون‌های نوین خدماتی و رفاهی برتر در سطح شهر بود. الگوی استقرار مکانی سازمان‌ها، ادارات و خدمات رفاهی برتر (شامل آموزش عالی و مراکز بهداشتی-درمانی تخصصی) منجر به پدید آمدن چند کانون تمرکز عمده فضا در سطح کلان‌شهر شد. پیدایش این کانون‌های جدید، نقشه شناخت رفتاری شهروندان و زائران را دگرگون ساخت؛ به طوری که در کنار قطب مذهبی مرکز شهر، قطب‌های تجاری-اداری احمدآباد و دانشگاه و قطب‌های تفریحی-

دانست. در این دوره، پویایی‌های جمعیتی و کالبدی شهر تحت تأثیر اشباع بافت‌های مرکزی و هجوم سرمایه‌های بخش خصوصی و دولتی به سمت اراضی بکر پیرامونی، فرم فضایی شهر را دچار دگرگونی بنیادین ساخت. مشهد در این دهه به پدیده‌ای تبدیل شد که در ادبیات شهرسازی از آن به عنوان «کلان‌شهر چندکانونی»^۱ یاد می‌شود. این روند با ویژگی‌های برجسته‌ای چون مرکزگرایی شدید عملکردی، دوپارگی ساختاری و توسعه خوشه‌ای در پهنه‌های نوساز و حاشیه‌ای همراه بود. در این بازه زمانی، منطق حاکم بر رشد فضایی شهر به سمت تمرکززدایی کالبدی و ایجاد کانون‌های

جدید حرکت کرد، اما این گسترش با نابرابری‌های شدید و گسست‌های فضایی همراه بود. بررسی نقشه «الگوی رشد شهر مشهد» نشان می‌دهد که بیضی جهت‌دار توسعه (تصویر ۱۰) در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۸۵، انبساط و کشیدگی بسیار چشمگیری (به ویژه در محورهای شمال غرب و غرب) داشته است؛ این امر اثبات می‌کند که نیروهای مرکزگریز در شهر غلبه یافته و توسعه کالبدی به شدت به سمت اراضی حاشیه‌ای متمایل شده است.



تصویر ۱- بیضی جهت‌دار از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ شهر مشهد (نگارندان: ۱۴۰۵)

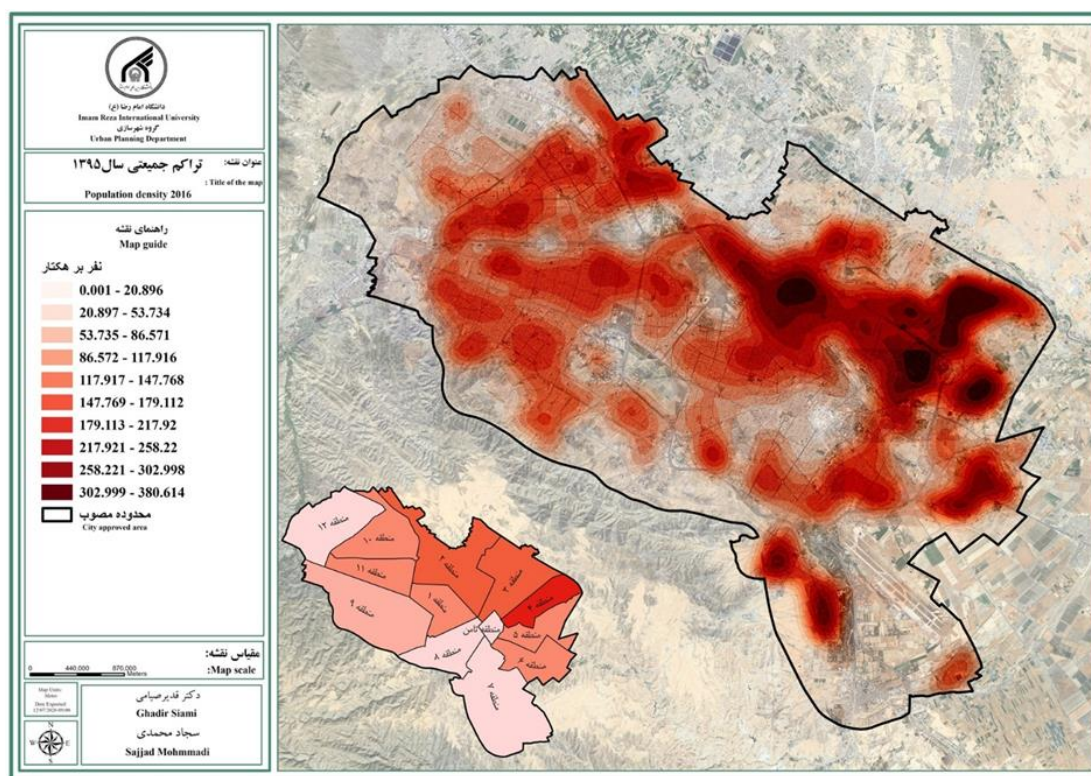
جدول ۵- مقادیر محاسباتی و شاخص‌های هندسی مدل بیضی جهت‌دار استاندارد (SDE) کلان‌شهر مشهد (سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵)

پارامتر هندسی-مورفولوژیک	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۹۵	میزان تغییرات مطلق	درصد تغییرات (Directional Trend)
مختصات مرکز ثقل هندسی (CenterX, CenterY)	732,793.26	732,336.03	$\Delta X = -457.23 \text{ m}$ $\Delta Y = +378.20 \text{ m}$	جابجایی اقلیدسی: ۵۹۳,۳۴ متر به سمت شمال غرب
طول محور بزرگ (S_x - شعاع استاندارد X)	۸'۳۰۰,۹۹ متر	۹'۱۱۹,۱۰ متر	۸۱۸,۱۱ متر	۹,۸۶٪+ تداوم گسترش خطی- طولی

طول محور کوچک (S_y - شعاع استاندارد Y)	۴'۲۵۸,۸۴ متر	۴'۶۲۰,۷۰ متر	۳۶۱,۸۶ + متر	۸,۵۰٪ + رشد متوازن عرضی
شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y)	۱,۹۵	۱,۹۷	۰,۰۲ +	تثبیت و حفظ فرم کشیده شهری
زاویه چرخش بیضی (θ - نسبت به شمال)	۱۱۱,۳۱ درجه	۱۱۶,۵۷ درجه	۵,۲۶ + درجه	چرخش و تمایل بیشتر به سمت محورهای غربی
مساحت بیضی توسعه کالبدی (Shape_Area)	۱۱۱'۰۵۷'۸۲۷ m^2	۱۳۲'۳۶۹'۳۸۰ m^2	۲۱'۳۱۱'۵۵۳ m^2 +	۱۹,۱۹٪ + انبساط پیوسته پوسته شهری

ارزیابی ابعاد برداری محورهای بزرگ و کوچک بیضی در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، نشان‌دهنده تداوم گسترش طولی کالبد شهر و ثبات الگوی مورفولوژیک کشیده است. طول محور بزرگ بیضی (S_x) با افزایش ۹,۸۶ درصدی (۸۱۸,۱۱ متر) به ۹'۱۱۹,۱۰ متر رسیده و طول محور کوچک (S_y) نیز با رشدی معادل ۸,۵۰ درصد (۳۶۱,۸۶ متر) به ۴'۶۲۰,۷۰ متر افزایش یافته است. همگامی نسبی نرخ رشد این دو محور، موجب تغییر بسیار جزئی شاخص کشیدگی فرم (S_x/S_y) از ۱,۹۵ در سال ۱۳۸۵ به ۱,۹۷ در سال ۱۳۹۵ شده است؛ پدیده‌ای که گواه حفظ و تثبیت ساختار خطی-کریدوری تثبیت‌شده کلان‌شهر مشهد در این دهه است. بارزترین و بحرانی‌ترین ویژگی ساختار کالبدی مشهد در این دهه، تثبیت یک ساختار دوگانه و قطبی‌شده است که شهر

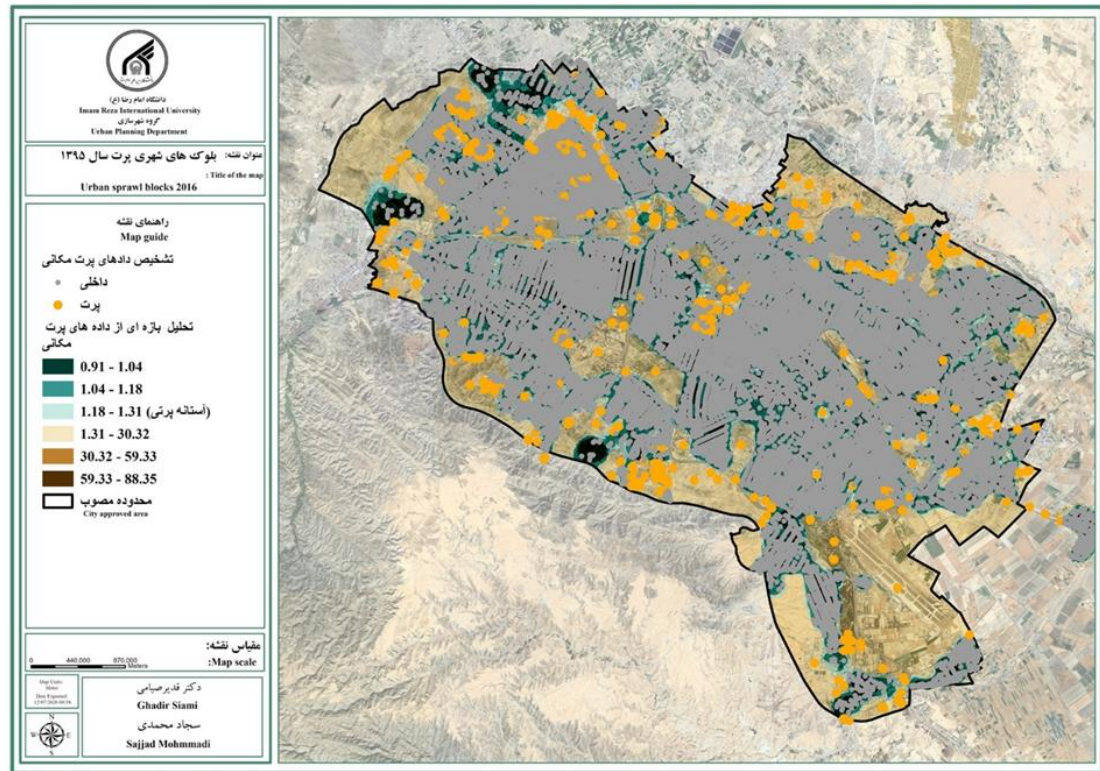
را به دو نیمه با ویژگی‌های کاملاً متضاد تقسیم کرده است که با بررسی نقشه‌های «تراکم جمعیتی سال ۱۳۹۵» (تصویر ۱۱)، لکه‌های تیره و به شدت متراکم در پهنه‌های شرقی، شمالی و حاشیه شهر خودنمایی می‌کنند. در پهنه غربی (مانند قاسم‌آباد و الهیه)، بافت شهر با قطعات تفکیکی استاندارد، شطرنجی و با توسعه‌ای برنامه‌ریزی‌شده شکل گرفته است. اما در مقابل، در پهنه شرقی و شمالی، رشد مهارگسیخته سکونتگاه‌های غیررسمی با بافت‌های ریزدانه، تراکم انفجاری جمعیت و فاقد نظم هندسی، یک قطب کاملاً متفاوت را خلق کرده است. این دوگانگی کالبدی باعث شده تا سازمان فضایی شهر نتواند به‌طور یکپارچه عمل کند و یک شکاف عمیق ساختاری و عملکردی میان شرق و غرب مشهد نهادینه شود.



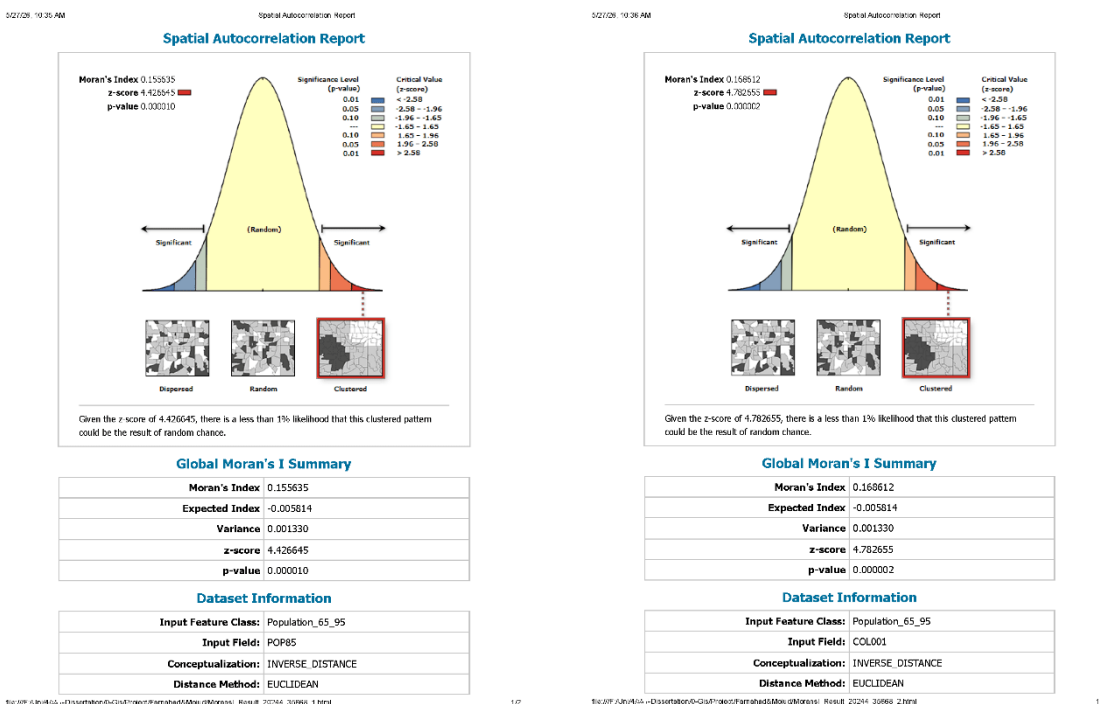
تصویر ۱۵- تراکم جمعیتی سال ۱۳۹۵ (نگارندان: ۱۴۰۵)

داده است؛ که این امر گذار شهر به یک ساختار چندکانونی را از نظر ریاضی در شاخص موران جهانی تأیید می‌کند؛ بدین معنا که شهرک‌ها، مجتمع‌های مسکونی یا بافت‌های حاشیه‌ای جدیدی شکل گرفته‌اند که پیوند ارگانیک و فضایی مناسبی با استخوان‌بندی اصلی شهر ندارند و به صورت جزایر منفصل عمل می‌کنند؛ این توسعه ناپیوسته منجر به ناکارآمدی در خدمات‌رسانی و انزوای فضایی بسیاری از محلات شده است.

مسئله قابل رویت بعدی هم الگوی توسعه خوشه‌ای و ناپیوسته شهر مشهد است. کلیدی‌ترین سند برای این ادعا، نقشه «بلوک‌های پرت شهری در سال ۱۳۹۵» است؛ در این نقشه، نقاط زرد و قهوه‌ای رنگ که نشان‌دهنده بلوک‌های منزوی و پرت مکانی هستند، به وفور در لبه‌ها و حاشیه‌های بیرونی شهر (چه در غرب و چه در شرق و شمال) پراکنده شده‌اند. همچنین این نقشه نشان می‌دهد که گسترش کالبدی شهر در این دهه به صورت جهشی یا خوشه‌ای رخ



تصویر ۱۶- بلوک های پرت شهری سال (نگارندان: ۱۴۰۵) ۱۳۹۵



تصویر ۱۷- موران جهانی شهر مشهد در سال ۱۳۹۵

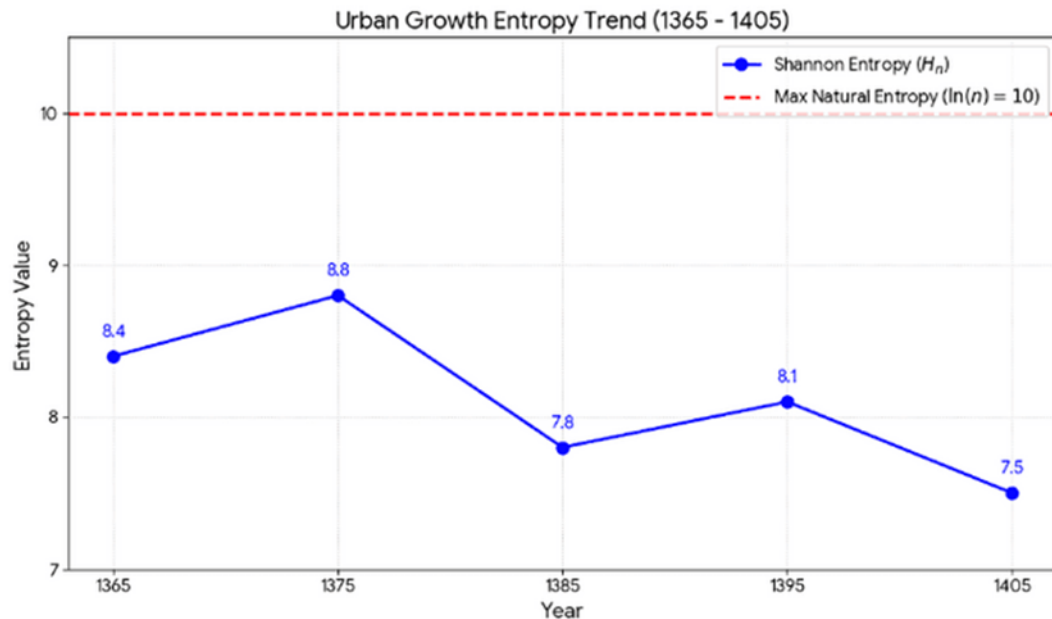
شاخص، خبر از استخوان‌بندی‌ای می‌دهد که در آن نیروهای مرکزگرای غلبه یافته و شهر به مجموعه‌ای از خوشه‌های دوگانه (استاندارد در غرب، و حاشیه‌نشین انفجاری در شرق) و قانون‌های منفصل تبدیل شده است.

در نهایت هنگامی که نتایج شاخص موران سال ۱۳۹۵ را در کنار نقشه «بلوک‌های پرت شهری در سال ۱۳۹۵» قرار می‌دهیم، مفهوم مرکزگرایی از یک ادعای بصری به یک حقیقت اثبات‌شده ریاضی تبدیل می‌شود. این افزایش

در تحلیل زمانی ساختار فضایی، شایان ذکر است که به دلیل در دسترس نبودن داده‌های تفکیک شده جمعیتی در مقیاس بلوک‌های آماری برای مقطع سال ۱۳۵۵، امکان استخراج محاسباتی و مستقیم شاخص‌های آمار فضایی نظیر خودهمبستگی موران جهانی و آنتروپی شانون برای این سال میسر نگردید. با این وجود، تطبیق شاخص‌های کلان کالبدی نظیر تراکم ناخالص بالا (۸۶ نفر در هکتار)، مساحت محدود پوسته کالبدی و استقرار مرکز ثقل بیضی در مجاورت هسته تاریخی-مذهبی، نشان می‌دهد که ساختار فضایی مشهد در سال ۱۳۵۵ در اوج فشردگی و تمرکز تک‌هسته‌ای قرار داشته و مقدار آنتروپی آن در سطحی به مراتب پایین‌تر از نقطه پایه سال ۱۳۶۵ (عدد ۸,۴) ارزیابی می‌شود. بر این اساس، پایش سری زمانی و کمی مدل آنتروپی شانون از سرشماری رسمی ۱۳۶۵ به عنوان نقطه مبنای تحولات ساختار فضایی پیاده‌سازی گردید.

برای سنجش میزان تناسب رشد فیزیکی کلان‌شهر مشهد با رشد جمعیتی آن در نیم‌قرن اخیر و آشکارسازی روند پراکنده‌رویی یا فشردگی کالبدی، از مدل آنتروپی شانون استفاده شد که در آن مقادیر محاسبه شده با حداکثر آنتروپی ممکن، یعنی لگاریتم طبیعی تعداد نواحی، سنجیده می‌شود. با توجه به اینکه زون‌های مطالعاتی در طول این پنجاه سال ثابت مانده‌اند، حداکثر آنتروپی همواره برابر با عدد ده است که در این چارچوب، نزدیک‌تر بودن شاخص به عدد ده نشان‌دهنده توزیع فضایی یکنواخت‌تر و پراکنده‌رویی بیشتر در سطح شهر بوده و حرکت آن به سمت عدد صفر، گویای تمرکز و فشردگی کالبدی است. تحلیل روند پنجاه

ساله این شاخص به خوبی با تحولات کالبدی مشهد انطباق دارد؛ به طوری که در بازه سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵، شاخص آنتروپی از عدد ۸,۴ به قله ۸,۸ افزایش یافت که این صعود دقیقاً تأکید انفجار کالبدی و خزش افقی مهارگسیخته‌ای است که طی آن شهر به شکل نامتراکم در جهات مختلف پیرامونی پخش شد. در ادامه، فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵، شاخص آنتروپی با سقوطی محسوس از ۸,۸ به ۷,۸ رسید که این کاهش، اثبات‌کننده اتخاذ رویکرد تراکم‌گرایی، بارگذاری فشرده‌تر در بافت‌های موجود و موفقیت سیاست‌های کنترل توسعه در مهار موقت پخشایش کالبدی و هدایت شهر به سمت تمرکز بیشتر است. با این حال، در دهه ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، شاخص مجدداً از ۷,۸ به ۸,۱ خیز برداشت که این افزایش گواه روشنی بر تشدید دوباره گسست فضایی، توسعه حاشیه‌ای ناپیوسته و ظهور ساختار چندکانونی است که به واسطه گسترش جزایر منفصل حاشیه‌ای نمایان گشت. در نهایت، در دوره متأخر یعنی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۵، نزول شاخص به مقدار ۷,۵ نمایانگر تلاش سیستم شهری برای مهار رشد افقی و بازگشت مجدد به سمت یک الگوی فشرده‌تر و متمرکزتر است؛ با این وجود، نوسان دائمی مقادیر آنتروپی شانون در بازه بالای ۷,۵ به وضوح ثابت می‌کند که رشد کلان‌شهر مشهد در نیم‌قرن اخیر عمیقاً تحت تأثیر الگوی پراکنده‌رویی و توزیع فضایی گسسته بوده و نظام برنامه‌ریزی شهری تنها در مقاطعی کوتاه موفق به مهار این روند شده و ساختار کالبدی شهر عمدتاً درگیر نوعی ازم‌گسیختگی فضایی باقی مانده است.



نمودار ۱- شاخص آنتروپی شانون

جمع بندی و نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل روند تحولات ساختار کالبدی در سازمان فضایی کلان شهر مشهد طی سالهای ۱۳۵۵ تا ۱۴۰۵ انجام شده است. بر اساس یافته ها و نتایج حاصل از تحلیلها، میتوان ادوار مختلف تحولات کالبدی شهر مشهد را در سه دوره کاملاً متمایز طبقه بندی نمود:

در دوره اول (۱۳۵۵-۱۳۶۵)؛ مرحله انفجار جمعیتی و شوک کالبدی که تبلور عینی درهم شکستن ساختار متمرکز و تک هسته ای سنتی تحت تأثیر پیامدهای پس از انقلاب، جنگ تحمیلی و جهش بیش از دو برابری جمعیت شهر (با نرخ رشد سالانه ۸٫۱۶ درصد) است. در این دوره، جهش ۶۷٫۵ درصدی مساحت بیضی جهت دار و جابه جایی بیش از ۲٫۱ کیلومتری مرکز ثقل هندسی به سمت شمال شرق، خروج قطعی رشد عینی شهر از چارچوب پیش بینی های طرح جامع اول (خازنی) را به اثبات می رساند؛ جریانی که با غلبه انبساط فراگیر پهنه ای (جهش ۳۹٫۱ درصدی محور عرضی بیضی) و آغاز شکل گیری سکونتگاه های خودرو در پیرامون، گذار تاریخی مشهد از فرم فشرده شعاعی به یک ساختار منبسط و افقی را رقم زد.

در دوره دوم (۱۳۶۵-۱۳۷۵)؛ مرحله تداوم رشد خطی و شروع تمرکززدایی از هسته سنتی که تبلور عینی غلبه مطلق نیروهای

مرکزگرای و گسست فضا تحت تأثیر امواج انفجاری جمعیت و هجوم مهاجرت های پس از انقلاب است. در این دوره، صعود شاخص آنتروپی شانون به قله ۸٫۸ و کشیدگی شدید بیضی انحراف معیار در تمام جهات جغرافیایی، خروج کالبد شهر از مهار طرح های فرادست (به ویژه طرح خازنی) را اثبات می کند؛ جریانی که با شکل گیری بلوک های پرت و منزوی، فرمی کاملاً متفرق، نامتراکم و افقی را به سازمان فضایی سیستم تحمیل کرد.

در دوره سوم در مقطع زمانی (۱۳۷۵-۱۳۸۵) که با اجرای طرح جامع دوم (طرح مهارزان) هم زمان بود، چرخش رفتار فضایی شهر از گسترش افقی صرف به سمت متراکم سازی بافتی را به نمایش می گذارد. سقوط ملموس آنتروپی شانون به ۷٫۸ در این دهه، بازتاب دهنده پر شدن فضاهای خالی درون شهری و تثبیت محورهای توسعه پیرامونی است که با تمرکززدایی تدریجی از هسته سنتی (حرم مطهر) و پدید آمدن کانون های جدید خدماتی-اداری در کریدور غرب (احمدآباد، دانشگاه و وکیل آباد) همراه شد؛ هرچند آماره موران جهانی نشان می دهد پراکنده رویی در لایه های زیرین همچنان فعال باقی ماند.

دوره چهارم (۱۳۸۵-۱۳۹۵) نیز با اشباع اراضی میانی، نیروهای مرکزگرای بار دیگر غلبه یافته و شاخص شانون را به

۸، ۱ رساندند. این دوره با انبساط بیضی انحراف معیار روی محور شمال-غرب-غرب و متمایل شدن آماره موران جهانی به سمت الگوی خوشه‌ای^۱ تشخیص می‌یابد. این تغییر رفتار ریاضی نشان‌دهنده تثبیت و متراکم شدن شهرک‌ها و پاره‌بافت‌های منفصل حاشیه‌ای دهه‌های قبل به صورت جزایر و خوشه‌های جمعیتی مجزا است که گذار قطعی مشهد به یک کلان‌شهر چندکانونی با ساختاری قطبی‌شده را رقم زد.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد ساختار کالبدی کلان‌شهر مشهد در نیم‌قرن اخیر دگرذیسی عمیقی را از یک الگوی فشرده، پیوسته و متمرکز تک‌هسته‌ای (محوریت مطلق تاریخی-مذهبی حرم مطهر) به یک ساختار گسسته، چندپاره و خطی-کریدوری تجربه کرده است. نتایج شاخص‌های آمار فضایی اثبات می‌کند که استخوان‌بندی شهر تحت تأثیر نیروهای پیشران گریز از مرکز، دچار کشیدگی شدیدی در امتداد کریدور شمال‌غرب-جنوب‌شرق (محورهای وکیل‌آباد و سنتو) شده و مرکز ثقل کالبدی آن به طور قطعی به سمت غرب جابه‌جا شده است. این تغییر فرم مهارنشده‌ای که حاصل انحراف اسناد رسمی توسعه شهری از پویایی‌های واقعی بازار زمین و مسکن است، در نهایت سازمان فضایی مشهد را با یک دوگانگی ریخت‌شناختی حاد مواجه ساخته است؛ ساختاری که در آن جبهه غربی به قطب نوساز، برنامه‌ریزی‌شده و جاذب خدمات برتر تبدیل شده، در حالی که پهنه‌های شرقی و شمال‌شرقی با عارضه ریزدانی، فرسودگی کالبدی و انزوای فضایی حاشیه‌نشینی دست به گریبان مانده‌اند و تعادل کل سیستم شهری را به چالش کشیده‌اند.

Refrence

Bertaud, A. (2004). *The spatial organization of cities: Deliberate outcome or unforeseen result?* World Development Report Working Paper. http://alainbertaud.com/wp-content/uploads/2013/06/AB_The_spatial_organization_of_cities_Version_31.pdf

Dadashpoor, H., Afaghpoor, A., & Tajdar, R. (2016). Analysis of spatial organization dynamics in Iranian metropolitan regions. *The Journal of Spatial Planning*, 19(1), 89–113. [In Persian]. <https://bsnt.modares.ac.ir/article-2-11110-fa.html>

Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, 1(1), 3–10. <https://doi.org/10.51347/jum.v1i1.3881>

Netaq, M., & Hosseinzadeh, M. (2023). Analysis of the evolution of the spatial organization of Mashhad metropolis. *Journal of Urban Studies*, 12(45), 15–28. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/urb.2023.13421>

Rahnama, M. R., & Abbaszadeh, M. (2008). Principles and methods of urban spatial organization analysis (Case study: Mashhad). *Journal of Geography and Regional Development*, 6(11), 45–68. [In Persian]. https://jgrd.um.ac.ir/article_25314.html

Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Freihage, C., & Reschovsky, K. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4), 681–717. <https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426>

Frenkel, I., & Ashkenazi, M. (2008). Measuring urban sprawl: How can we deal with it? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(1), 56–79. <https://doi.org/10.1068/b32155>

Ewing, R., Pendall, R., & Chen, D. (2002). *Measuring sprawl and its impact*. Smart Growth America. <https://smartgrowthamerica.org/app/uploads/2016/08/measuring-sprawl-and-its-impact.pdf>

Mashhad Development and Reconstruction Plan. (2009). *Master plan for the development and reconstruction of Mashhad metropolis*. Urban Planning and Architecture

- Hamidi, M., Zakaei, A., & Goldost, R. (1997). *The physical structure of Tehran metropolis*. Ministry of Housing and Urban Development. [In Persian]. <https://urbanplanning.ir/resources/hamidi-1997>
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine: A configurational theory of architecture*. Space Syntax. https://www.spacesyntax.net/symposia-archive/SSS7/files/SSS7_SpaceIsTheMachine.pdf
- Soltani, A., Najafi Kashkooli, H., & Allan, A. (2026). Structuring the causal hierarchy of urban sprawl in Iran: Governance, market, and infrastructure drivers in metropolitan regions. *Urban Science*, 10(6), 320. <https://doi.org/10.3390/urbansci10060320>
- Doorudinia, M., Dadashpoor, H., & Meshkini, A. (2025). Empirical assessment of morphological and functional changes in the Tehran metropolitan region: Boundaries and spatial restructuring. *Urban Studies*, 62(3), 512–531. <https://doi.org/10.1177/00420980241289012>
- Zanganeh Shahraki, S., Seifolddini, F., & Pourahmad, A. (2012). Urban sprawl and fertile agricultural lands in Iranian cities — Case study: Tehran and Karaj. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(2), 204–210. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.02.008>
- Khodabandeh, A., & Shahabi-Shahmiri, M. (2025). Transformation of spatial structure from monocentric to polycentric: The case of Qazvin Province, Iran. *Italian Journal of Planning Practice*, 15(1), 1–25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192326>
- Norouzi, Y. (2022). Measuring land use changes and quantifying urban expansion using remote sensing and GIS techniques: A case study of Qom metropolis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIV-4/W3-2020, 293–298. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-293-2020>
- Organization of Mashhad Municipality. [In Persian]. <https://mashhad.ir/urban-plan-2009>
- Abbaszadegan, M., Razavi, M. M., & Asadi, A. (2012). Spatial dualism and socio-spatial segregation in Mashhad metropolis. *Journal of Fine Arts: Architecture and Urban Planning*, 17(3), 45–56. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jfaup.2012.29812>
- Farnahad Consulting Engineers. (2009). *Revision of the master plan of Mashhad metropolis: Structural-strategic approach*. Ministry of Roads and Urban Development. [In Persian]. <https://farnahad.ir/reports/mashhad-masterplan>
- Bourne, L. S. (1982). *Internal structure of the city: Readings on urban form, growth, and policy* (2nd ed.). Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/internal-structure-of-the-city-9780195030266>
- Knox, P. L., & Pinch, S. (2010). *Urban social geography: An introduction* (6th ed.). Pearson Education. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/urban-social-geography-an-introduction/P200000003310>
- Torkamani, M., Zanganeh, A., & Pourahmad, A. (2018). Spatial organization analysis of metropolitan areas: Concepts and frameworks. *Journal of Urban Planning and Development*, 14(3), 45–62. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/jupd.2018.10234>
- Dadashpoor, H., & Malekzadeh, N. (2022). A typology of metropolitan spatial structure: A systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, 24(11), 12519–12550. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02641-8>
- Lynch, K. (1981). *Good city form*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262620468/good-city-form/>
- Raheb, G., & Farhadian, M. (2023). Analysis of physical-spatial organization in urban settlements. *Journal of Spatial Planning and Architecture*, 13(2), 77–94. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/jspa.2023.18432>

- Lefever, D. W. (1926). Measuring geographic distribution by means of the standard deviation ellipse. *American Journal of Sociology*, 32(1), 88–94. <https://doi.org/10.1086/214027>
- Wong, D. W., & Lee, J. (2005). *Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS*. John Wiley & Sons.
- Heydari, R., Aliakbari, E., & Pourahmad, A. (2021). Spatial reflections of large cities in the process of transition to a metropolis (Case study: Rasht city). *Geographical Research*, 36(4), 363–371. <http://georesearch.ir/article-1-1127-en.html>
- Costa, C. W., & Lee, S. (2019). Evolution of Brasília's urban spatial structure with a focus on the role of urban development policies. *Sustainability*, 11(2), 553. <https://doi.org/10.3390/su11020553>
- Wang, Z., Wang, L., Zhao, B., & Pei, Q. (2023). Analysis of spatiotemporal interaction characteristics and decoupling effects of urban expansion in the central plains urban agglomeration. *Land*, 12(4), 772. <https://doi.org/10.3390/land1204772>
- Lei, Y., Flacke, J., & Schwarz, N. (2021). Does urban planning affect urban growth pattern? A case study of Shenzhen, China. *Land Use Policy*, 101, 105100. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105100>
- Schuster-Olbrich, J. P., Marquet, O., Miralles-Guasch, C., & Fuentes Arce, L. (2024). Spatial patterns and drivers of urban expansion: An exploratory spatial analysis of the Metropolitan Region of Santiago, Chile, from 1997 to 2013. *Cities*, 153, 105305. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105305>
- Kim, H., & Kim, D. (2022). Changes in urban growth patterns in Busan Metropolitan City, Korea: Population and urbanized areas. *Land*, 11(8), 1319. <https://doi.org/10.3390/land11081319>
- Yeh, A. G. O., & Li, X. (2001). Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(1), 83–90. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2001journal/january/2001_jan_83-90.pdf
- Bhatta, B., Saraswati, S., & Bandyopadhyay, D. (2010). Urban sprawl measurement from remote sensing data. *Applied Geography*, 30(4), 731–740. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.02.002>