

Contemporary Transformations of Iran's Urban Network: A Network-Based Analysis of Inter-Urban Dynamics through Air Flows

Original Article

Mehdi Ziaei¹, Hashem Dadashpoor^{2*}, Mansoor Rezghi³

1- Ph. D., Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Urban and Regional Planning, Faculty of Art and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Department of Computer Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 2025-05-31

Revised: 2025-09-20

Accepted: 2025-09-21

Keywords

Air Passenger Flows

ERGM

Inter-Urban Dynamics

Recursive Centrality

Recursive Power

ABSTRACT

Introduction

Contemporary cities are more interconnected than ever with complex networks of multidimensional economic, social, and technological relationships. In this view, a city's status is not static; it arises from a continual coevolutionary process that spans multiple network layers and intra-urban connection models. These multidimensional processes have transformed urban systems into dynamic and complex systems. They continually rearrange urban structures, creating new patterns of focus and defocus, as well as role formation, across cities. From a network perspective, two key concepts — centrality and network power — define an urban position. Centrality refers to a node's position based on the number, intensity, and location of its links, offering a picture of connectivity and the relative position of cities. Power refers to a city's ability to guide and monitor processes. It is horizontal and distributed, and each city holds a share according to its location. By classifying urban network centers by power and centrality, one can distinguish fully connected cities that lack strategic influence from low-centrality cities that hold a controlling or provincial role. The historical imprint of links, institutional constraints, and size-based and network-based contexts heavily influences these dynamic urban networks. The current research analyzes and determines the modern dynamics of Iran's urban network in relation to the interactional approach of air flow from 1976 to 2016. It relies on centrality indices and recursive power at the small level, examines the overall network structure at the large level through free and small-world patterns, and uses the ERGM model. The contribution lies in the simultaneous analysis of long-term processes and the effects of institutional and contextual dependencies. The primary question aims to identify the central and powerful centers in Iran's current urban network and to present the spatial patterns that shape these developments by linking them to the network's internal, external, and historical influences.

Materials and Methods

This research uses a three-level design: (1) identifying hubs with standard scales of centrality and power; (2) representing structural transformation of the network with complex network indicators; and (3) calculating the intensity and direction of demographic, institutional, and contextual effects. The methodology is descriptive-analytical. Statistical data on domestic flights represent the air flow network. The analysis maintains validity by focusing on stable processes and interpreting results within a real-data framework. Two indices, recursive centrality (RC) and recursive power (RP), also

* Corresponding author: h-dadashpoor@modares.ac.ir

measure the functional position of cities. Cities are classified into four functional groups using a four-section approach: control hubs, connecting centers, gateway cities, and peripheral cities. Gephi software supports the analysis of network structure by identifying features consistent with small-world and scale-free network models. The Exponential Random Graph Model (ERGM) explains the formation of network links. This approach detects hidden patterns in the creation or absence of connections by considering both internal structural factors (density and focused connections) and external conditions (population and the institutional status of cities), as well as historical dependencies. MPNet software estimates the model parameters. This framework offers a precise and multilayered examination of the role of cities within the urban network.

Findings

The findings indicate a shift in the network's focal arrangement from a strictly Tehran-based core-periphery hierarchy to a mono-core pattern in power and a relatively polycentric pattern in centrality. Tehran remains a stable national mono-core, while Mashhad, Shiraz, Isfahan, Kish, and Ahvaz have advanced to full-connection hubs without a corresponding increase in influence or control power. At the same time, improvements across many peripheral cities have reinforced the Tehran-based hub-and-spoke configuration, which constrains balance in urban role formation and yields characteristics of a scale-free and small-world network at the level of the broader air-flow system. ERGM results show that Iran's domestic flight network over this period reflects functional forces, such as the tendency to cluster around traffic hubs, as well as institutional and political factors, including the location of the capital and provincial centres, and historical dependence on past routes; each plays a consistent role in forming flight links. The population also serves as a key driver of route attraction and is showing growing importance. Overall, network development arises from the concurrent interaction of structural, institutional, contextual, and demographic forces.

Conclusion

This research uses a network-based framework to address theoretical shifts and practical needs in studies of inter-urban relations, clarifying the distinction between connectivity and control power across cities. Analysis of city locations and the overall structure of the domestic flight network provides multi-level views of spatial dynamics and rearrangements in the Iranian urban system for air flows. The role-and-location analysis reveals a clear pattern in the dynamics of the main hubs of the national air network. Over the last five decades, network centrality has moved away from an absolute focus and now distributes across many hubs. However, this shift has not produced control power. The persistence of mono-core power alongside the relative polycentricity of air flows is not an incompatibility but a direct outcome of two discernible processes that reproduce centrality and power in the network. A transition away from a focused structure in Iran's air traffic network necessitates a reassessment of spatial policy and enhancements in the functions of secondary and intermediate hubs. Achieving a more balanced and durable network requires stronger horizontal links among regional clusters, reduced dependence on the central hub, and expansion of gateway cities with a control role. This transition requires an intervention that considers three key factors simultaneously: institutional attributes (such as provincial and political centrality), demographic patterns, travel demand, and the network's historical inertia. By accounting for these contextual and persistent variables, planners can allocate flight capacity more intelligently, diversify routes, and strengthen links with few alternatives. To this end, institutional planning should be combined with a data-driven incentive mechanism, within a framework consistent with the network's historical context. Such a process can connect decentralization to a real redistribution of power and improve the effectiveness and spatial stability of Iran's urban system.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ziaei M. Dadashpoor H. Rezghi M. Contemporary Transformations of Iran's Urban Network: A Network-Based Analysis of Inter-Urban Dynamics through Air Flows. Urban Economics and Planning Vol 6(4):192-206. [In Persian]

DOI: 10.22034/UEP.2025.527263.1653



تحولات معاصر نظام شهری ایران:

تحلیلی شبکه‌مبنا از پویایی‌های روابط بین‌شهری در بستر جریان‌های هوایی*

مقاله پژوهشی

مهدی ضیائی^۱؛ هاشم داداش‌پور^{۲*}؛ منصور رزقی آهق^۳

۱- دانش‌آموخته دکتری شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استاد گروه طراحی و برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه علوم کامپیوتر، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

چکیده

مقدمه

شهرهای معاصر بیش از هر زمان دیگر به طور فزاینده‌ای در شبکه‌های پیچیده‌ای از روابط چندسطحی اقتصادی، اجتماعی و فناورانه به هم پیوند خورده‌اند. در این چشم‌انداز، موقعیت شهرها دیگر امری ایستا نیست، بلکه برآمده از هم‌تکاملی مداوم لایه‌های متکثر شبکه‌ها و الگوهای اتصال بین شهری است. این فرایندهای چندبعدی، نظام‌های شهری معاصر را به سامانه‌ای پویا و پیچیده تبدیل کرده که ساختار آن به طور مداوم بازآرایی می‌شود و الگوهای جدیدی از تمرکز/عدم‌تمرکز و نقش‌آفرینی شهرها پدیدار می‌سازد. از منظر شبکه‌ای، دو مفهوم مرکزیت و قدرت شبکه‌ای برای تبیین جایگاه شهری به کار می‌روند. مرکزیت، جایگاه یک گره بر اساس تعداد، شدت و موقعیت پیوندها است و تصویری از میزان اتصال‌پذیری و موقعیت نسبی شهرها ارائه می‌دهد، در حالی که قدرت به توانایی یک شهر در هدایت و کنترل جریان‌ها وابسته است. این نوع قدرت، ماهیتی افقی و توزیع شده دارد و هر شهر بسته به جایگاه خود، سهمی از آن داراست. با تقسیم‌بندی کانون‌های شبکه شهری بر اساس تمایز جایگاه قدرت و مرکزیت، هم‌شهرهای پراتصال ولی فاقد نفوذ راهبردی و هم‌شهرهای با مرکزیت پایین و دارای نقش کنترلی یا دروازه‌ای، قابل شناسایی هستند. این پویایی‌های نظام‌های شهری به‌شدت تحت تأثیر وابستگی تاریخی پیوندها، قیود نهادی و زمینه‌ای اندازه‌مبنا و شبکه‌مبنا هستند. پژوهش حاضر در تلاش است مبتنی بر رویکرد تعاملی جریان مسافران هوایی در بازه زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵ و با اتکا به شاخص‌های مرکزیت و قدرت بازگشتی در سطح خرد، و تحلیل ساختار کلی شبکه بر اساس ویژگی الگوهای مقیاس‌آزاد و جهان کوچک در سطح کلان، و با استفاده از مدل ERGM، این پویایی‌های نوین شبکه شهری ایران را تحلیل و تبیین کند. نوآوری پژوهش، تحلیل توأمان روندهای بلندمدت و بررسی اثرات وابستگی‌های نهادی و زمینه‌ای است. شناسایی کانون‌های مرکزی و قدرتمند در شبکه شهری معاصر ایران و بازنمایی الگوهای فضایی حاکم بر تحولات آن‌ها، در پیوند با عوامل درونی، بیرونی و وابستگی‌های تاریخی شبکه، محورهای پرسش‌های این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه سطح طراحی و اجرا شد: (۱) شناسایی کانون‌ها، با سنجش‌های استاندارد مرکزیت/قدرت؛ (۲) بازنمایی تحول ساختاری شبکه با شاخص‌های شبکه‌های پیچیده؛ و (۳) برآورد جهت و شدت اثر عوامل جمعیتی، نهادی و زمینه‌ای. روش به‌کاررفته، توصیفی-تحلیلی است. برای بازنمایی شبکه جریان هوایی، از داده‌های آماری پروازهای داخلی استفاده شد و تلاش شد با تمرکز بر روندهای پایدار، اعتبار تحلیلی حفظ شود و نتایج در چارچوب ظرفیت واقعی داده‌ها تفسیر شود. برای سنجش

* این مقاله، برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان "تبیین روند دگرگونی‌های سازمان فضایی شبکه شهری ایران (بر اساس جریان‌های هوایی افراد)" در رشته دکتری شهرسازی به راهنمایی نویسنده

دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه تربیت مدرس تهران می‌باشد.

** نویسنده مسئول: h-dadashpoor@modares.ac.ir

نتیجه‌گیری

در پاسخ به تحولات نظری و نیازهای عملی در مطالعات روابط بین شهری، این پژوهش با تکیه بر چارچوبی شبکه‌منا طراحی شد تا تمایز مفهومی میان «اتصال‌پذیری» و «قدرت کنترلی» شهرها را برجسته سازد. با تحلیل هم‌زمان جایگاه شهرها و ساختار کلی شبکه پروازهای داخلی، تصویری چندبعدی از پویایی‌ها و بازارآیی‌های فضایی در نظام شهری ایران در بستر جریان‌های هوایی ارائه کرد. نتایج حاصل از تحلیل سنجش نقش و جایگاه شهری، الگوی روشنی از پویایی‌های کانون‌های اصلی شبکه جریان هوایی کشور را پدیدار کرد: طی پنج دهه گذشته، مرکزیت شبکه از تمرکز مطلق فاصله گرفته و در چند هاب توزیع شده است، در حالی که این پراکنش مرکزیت به انتقال قدرت کنترلی منجر نشده است. به این ترتیب، استمرار تک‌هسته‌ای بودن قدرت در کنار چندمرکزی بودن نسبی مرکزیت شبکه جریان هوایی نه یک ناسازگاری، بلکه پیامد مستقیم دو فرایند متمایز بازتولید مرکزیت و بازتولید قدرت در شبکه است. بر این اساس، گذار از ساختار متمرکز شبکه جریان هوایی ایران، مستلزم بازاندیشی در سیاست‌گذاری فضایی و ارتقای کارکردی هاب‌های ثانویه و میانجی است. دستیابی به شبکه‌ای متوازن‌تر و تاب‌آورتر، در گرو تقویت پیوندهای افقی میان خوشه‌های منطقه‌ای، کاهش وابستگی به هاب مرکزی و توسعه شهرهای دروازه‌ای با نقش کنترلی است. این امر نیازمند طراحی مداخلاتی است که به طور هم‌زمان سه عامل کلیدی را مد نظر قرار دهند: مزیت‌های نهادی (همچون مرکزیت سیاسی و استانی)، الگوهای جمعیتی و تقاضای سفر، و اینرسی تاریخی شبکه. تنها با لحاظ این متغیرهای پایدار و زمینه‌ای، می‌توان به تخصیص هوشمند ظرفیت‌های پروازی، تنوع‌بخشی مسیرها و تقویت پیوندهای کم‌بديل دست یافت. تحقق چنین ساختاری، مستلزم تلفیق برنامه‌ریزی نهادی با سازوکارهای انگیزشی مبتنی بر داده و آینده‌نگرانه، در چارچوبی سازگار با حافظه تاریخی شبکه است؛ روندی که می‌تواند پراکنش مرکزیت را به بازتوزیع واقعی قدرت و بهبود کارایی و پایداری فضایی نظام شهری ایران پیوند دهد.

جایگاه عملکردی شهرها، از دو شاخص مرکزیت بازگشتی (RC) و قدرت بازگشتی (RP) استفاده شد. با رویکرد چهاربخشی، شهرها در چهار دسته عملکردی شامل کانون‌های کنترلی، مراکز پیوندهنده، شهرهای دروازه‌ای و پیرامونی طبقه‌بندی شدند. برای تحلیل ساختار شبکه، از تحلیل ویژگی‌های دو الگوی جهان کوچک و مقیاس آزاد با کمک نرم‌افزار Gephi استفاده شد. برای تحلیل علل مؤثر بر شکل‌گیری پیوندهای شبکه از مدل نمایی تصادفی شبکه‌ای (ERGM) استفاده شد. این مدل با در نظر گرفتن هم‌زمان عوامل ساختاری درونی (چگالی و تمرکز روابط)، متغیرهای بیرونی (جمعیت و جایگاه نهادی شهرها)، و وابستگی‌های تاریخی، امکان شناسایی الگوهای پنهان در ایجاد یا عدم ایجاد روابط شبکه‌ای را فراهم می‌سازد. تخمین پارامترهای مدل با استفاده از نرم‌افزار MPNet انجام گرفت. این چارچوب، امکان تحلیل دقیق‌تر و چندلایه از نقش‌آفرینی شهرها در شبکه شهری را فراهم کرد.

یافته‌ها

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد آرایش کانونی شبکه جریان هوایی کشوری، از ساختار سلسله‌مراتبی هسته - پیرامون به شدت تهران‌محور، به الگوی تک‌هسته‌ای در بعد قدرت و چندمرکزی نسبی در بعد مرکزیت گذار کرده است: طی این دوره، تهران یگانه هسته ملی پایدار باقی مانده، در حالی که مشهد - و تا حدی شیراز، اصفهان، کیش و اهواز - به هاب‌های پراتصال ارتقا یافته‌اند، بی‌آنکه جهش متناظری در نفوذ/ قدرت کنترلی به دست آورند. در مقابل، و با بقای بخش بزرگی از شهرها در نقش پیرامونی، بازتولید الگوی هاب‌واسپوک تهران‌محور تقویت شده؛ الگویی که مانع شکل‌گیری تعادل در نقش‌آفرینی شهری شده و ویژگی‌های یک شبکه تلفیقی جهان کوچک/ مقیاس آزاد را در سطح کل شبکه جریان هوایی پدیدار ساخته است. برآوردهای حاصل از اجرای مدل ERGM نشان می‌دهد شبکه پروازهای داخلی ایران طی این دوره، عوامل ساختاری مانند گرایش به تمرکز در اطراف هاب‌های ترافیکی، عوامل نهادی - سیاسی مانند جایگاه پایتخت و مراکز استانی، و وابستگی تاریخی شبکه به مسیرهای گذشته، همگی نقش پایدار و معناداری در شکل‌گیری پیوندهای پروازی داشته‌اند. همچنین، عامل جمعیت نیز به عنوان نیروی محرک کلیدی در جذب مسیرها، اهمیت فزاینده‌ای یافته است. در مجموع، تکامل شبکه نتیجه تعامل هم‌زمان نیروهای ساختاری، نهادی، زمینه‌ای و جمعیتی است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

دید آن‌ها، مرکزیت، شاخصی مقدماتی برای سنجش جایگاه کمی شهرهاست، در حالی که قدرت شبکه‌ای به توانایی شکل‌دهی به مسیرهای ارتباطی و انسجام فضایی مرتبط است؛ و این دو در بستر تاریخی و روابط تکرار شونده تثبیت یا تضعیف می‌شوند. بر این اساس، دو نکته بنیان نظری مطالعات جدید شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد: اول، اینکه شهرها دیگر واحدهای منفرد در قلمرو سرزمینی نیستند، بلکه به مثابه گره‌هایی به هم پیوسته متشکل از شبکه‌های چندلایه عمل می‌کنند و جایگاه آن‌ها همواره در پرتو پویایی‌های روابط، بازآرایی می‌شود. نکته دوم، رابطه شهر و شبکه، ماهیتی هم‌تکاملی داشته و همان‌گونه که گسترش و تحول شبکه‌ها به تغییر موقعیت و اهمیت شهرها منجر می‌شود، دگرگونی‌ها و نوآوری‌های شهری نیز ساختار و کارکرد شبکه‌ها را دستخوش تغییر می‌سازد.

اما یکی از چالش‌های بنیادین نظام شهری ایران، تمرکزگرایی شدید در توزیع منابع و قدرت است؛ تمرکزی که به‌ویژه در کلان‌شهری همچون تهران نمود یافته و به تضعیف نقش شهرهای کوچک و متوسط و کاهش پیوندهای افقی میان آن‌ها انجامیده است. این روند، تکامل ساختاری شبکه شهری را مختل کرده و مانع شکل‌گیری الگویی متوازن در نظام فضایی کشور شده است. بر این اساس، پژوهش حاضر به بررسی و تبیین پویایی‌های شبکه شهری معاصر ایران می‌پردازد؛ پویایی‌هایی که در بستر تمرکزگرایی تاریخی و نابرابری فضایی، هم در قالب تغییرات مثبت و تکاملی و هم در بازتولید عدم توازن و تضعیف انسجام قابل مشاهده‌اند. در این چارچوب، دو سطح تحلیلی مورد توجه قرار گرفته است: در سطح خرد، با بهره‌گیری از شاخص‌های مرکزیت و قدرت بازگشتی، تغییرات جایگاه و نقش شهرها بررسی می‌شود؛ و در سطح کلان، با تمرکز بر ویژگی‌های شبکه‌های پیچیده، همچون الگوهای «مقیاس‌آزاد» و «جهان کوچک»، تحولات ساختاری کل شبکه تحلیل می‌شود. برای تحقق این هدف، از رویکرد جریان‌های هوایی افراد در کنار چارچوب نظری شبکه‌های پیچیده و مدل نمایی تصادفی شبکه‌ای (Exponential Random Graph, ERGM) استفاده شده است. چنین رویکرد ترکیبی‌ای، امکان بازنمایی الگوهای ساختاری شبکه جریان‌های هوایی در مقاطع زمانی ده‌ساله (۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵)، تحلیل پیوسته شاخص‌های مرکزیت و قدرت بازگشتی، و واکوی نقش اثرات درونی و عوامل بیرونی و اثر وابستگی‌های تاریخی در تثبیت یا تضعیف تمرکز فضایی شبکه شهری ایران را فراهم می‌سازد. نوآوری این پژوهش در مقایسه با مطالعات شبکه‌مبنای پیشین نظیر سلیمانی و همکاران (۲۰۱۱) و داداش‌پور و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) و زیاری و همکاران (۲۰۲۱)، آن است که به خلاف رویکردهای عمدتاً مقطعی، این پژوهش به تحلیل روندهای بلندمدت و شناسایی اثرات وابستگی‌های شبکه‌منا و اندازه‌منا، در شبکه شهری ایران پرداخته است. کانون اصلی پژوهش در پاسخ به دو پرسش زیر قرار دارد: ۱- طی چهار دهه گذشته، کانون‌های اصلی شبکه شهری کشور (بر مبنای مفهوم مرکزیت و قدرت) در بستر فضای جریان‌ها - جریان‌های هوایی افراد - کدام هستند و تغییرات در آرایش فضایی آن‌ها از چه الگو یا الگوهای تبعیت کرده است؟ در چه سطح و جهت، اثرات ساختاری درونی شبکه، متغیرهای بیرونی و وابستگی‌های تاریخی بر روندهای فضایی و پویایی‌های شبکه شهری ایران اثرگذار بوده‌اند؟ بر این اساس، ساختار مقاله شامل مرور پیشینه نظری و تبیین چارچوب مفهومی، تشریح روش‌شناسی، ارائه یافته‌ها، و در نهایت بحث و نتیجه‌گیری است.

مبانی نظری تحقیق

در اواخر قرن بیستم و با آشکار شدن محدودیت‌های الگوهای سلسله‌مراتبی کلاسیک در تبیین پویایی‌های نظام‌های شهری، به واسطه تبعات ناشی از جهانی شدن و گسترش اقتصاد خدماتی پیشرفته، نگرش شبکه‌ای به‌تدریج جایگزین رویکردهای پیشین در مطالعه نظام‌های شهری شد (Neal, 2011). این تحول نظری، مسیر مطالعات شهری را به سمت تحلیل‌های نوین شبکه‌ای سوق داده و با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند تحلیل شبکه‌های اجتماعی و شبکه‌های پیچیده، به بازاندیشی جایگاه و سلسله‌مراتب شهرها،

شهرهای معاصر در بستر فرایندهای جهانی شدن اقتصاد، همراه با شتاب‌گیری جریان‌های سرمایه و اطلاعات، و گسترش فناوری‌های ارتباطی، بیش از هر زمان دیگر به طور فزاینده‌ای از شبکه‌های پیچیده‌ای از روابط چندسطحی اقتصادی، اجتماعی و فناورانه به هم پیوند خورده‌اند (Derudder & Taylor, 2018). در چنین بستری، جایگاه و نقش شهرها دیگر ویژگی پایدار و ثابت تلقی نمی‌شود، بلکه برآمده از هم‌تکاملی مداوم در میان لایه‌های متکثر شبکه‌ها و الگوهای اتصال بین‌شهری است. فرایندی که در آن، تعاملات اقتصادی، اجتماعی و فناورانه در مقیاس‌های محلی و جهانی به طور هم‌زمان عمل می‌کنند و به بازتولید جابه‌جایی‌ها یا حتی فروپاشی موقعیت‌های شهری منجر می‌شود (Pflieger & Rozenblat, 2010). در نتیجه، دگرگونی‌های چندبعدی ناشی از این تعاملات، شبکه شهری معاصر را به سامانه‌ای پویا و پیچیده تبدیل کرده است که ساختار آن به طور مداوم بازتعریف و بازآرایی می‌شود. این پویایی روابط بین شهری تأثیری بنیادین بر ساختار و سازمان نظام‌های شهری معاصر می‌گذارد و الگوهای جدید ساختاری از تمرکز/عدم‌تمرکز و نقش‌آفرینی شهرها پدیدار می‌سازد (Wang et al., 2025).

در رویکردهای سنتی و مبتنی بر نظریه مکان مرکزی، پویایی نظام شهری به طور عمده در قالب جابه‌جایی رتبه‌ای شهرها در سلسله‌مراتبی مبتنی بر اندازه جمعیت درک می‌شود؛ به این معنا که هر شهر بر اساس موقعیت مکانی خود و توانایی‌اش در ارائه کالاها و خدمات به حوزه نفوذ پیرامونی تعریف می‌شود. بنابراین، موقعیت شهر بیشتر جنبه فضایی و عمودی دارد و بیانگر وابستگی محلی است (Taylor et al., 2010). در مقابل، در نگرش شبکه‌ای، موقعیت شهرها به‌شدت متأثر از پیوندهای افقی، متقارن و چندلایه شبکه‌ای است. این روابط به مثابه فرایندهای فضایی نوین، مستقل از فاصله جغرافیایی عمل کرده و با بازتولید پیوندهای عملکردی و میانجی‌گرانه، نقش و موقعیت شهرها را در شبکه‌های شهری بازتعریف می‌کنند. چنین سازوکاری زمینه‌ساز شکل‌گیری پیوندهای هم‌افزا و ارتقایی پویایی و کارکرد شبکه‌های نوین شهری را فراهم می‌آورد (Dadashpoor & Afaghpoor, 2016).

از منظر شبکه‌ای، دو مفهوم مرکزیت و قدرت شبکه‌ای به عنوان محورهای تحلیلی کلیدی، برای شناخت جایگاه و موقعیت شهری برجسته شده‌اند. این دو مفهوم گرچه عموماً معادل در نظر گرفته می‌شوند، ولی مفاهیمی مجزا با پیامدهای تحلیلی متفاوت برای جایگاه شهری در شبکه هستند. مرکزیت، به عنوان یکی از شاخص‌های قدیمی تحلیل شبکه‌های اجتماعی، جایگاه یک گره را بر اساس تعداد، شدت و موقعیت پیوندهای آن در ساختار شبکه مشخص می‌سازد. این شاخص تصویری از میزان اتصال‌پذیری و موقعیت نسبی شهرها در شبکه ارائه می‌دهد، اما به خلاف مرکزیت، قدرت در شبکه شهری جهانی مفهومی صرفاً ایستا نداشته و به عنوان توان ناشی از موقعیت ارتباطی شهرها در شبکه و نقش آن در تسهیل و هدایت جریان سرمایه، اطلاعات و خدمات است. این نوع قدرت، ماهیتی افقی و توزیع‌شده دارد و هر شهر بسته به جایگاه خود در شبکه، سهمی از آن دارد (Taylor et al., 2002). آن (۲۰۱۶) قدرت را مفهومی رابطه‌ای، پویا و بازتولیدشونده می‌داند که نه بر پایه منابع ثابت و تعداد اتصالات، بلکه بر اساس شیوه سازماندهی شبکه‌ای عمل می‌کند. او روابط قدرت را در قالب توپولوژی قدرت به مثابه آرایش‌هایی پویا و انعطاف‌پذیر تبیین می‌کند که در آن‌ها، قدرت از طریق بازآرایی و تاخوردگی شبکه‌ها بازتولید می‌شود و شکل‌های نوینی از حضور و اثرگذاری را ممکن می‌سازد. در این راستا، نیل (۲۰۱۱) با تقسیم کانون‌های شبکه شهری بر اساس تمایز جایگاه قدرت و مرکزیت، نشان می‌دهد این دو مفهوم هم‌پوشانی کامل ندارند و برخی شهرها پراتصال، فاقد نفوذ راهبردی در شبکه هستند و برخی دیگر با وجود مرکزیت پایین، نقش کنترلی یا دروازه‌ای ایفا می‌کنند. از طرف دیگر، فلايگر و رزنبلات (۲۰۱۰) بیان می‌دارند که پویایی‌های نظام‌های شهری تنها در پرتو تعاملات جاری قابل درک نیست، بلکه به‌شدت تحت تأثیر وابستگی تاریخی پیوندها و بازتولید قدرت شبکه‌ای در گذر زمان قرار دارند. از

یافت و چارچوب تحلیلی روابط میان مرکزیت و قدرت را از سطح سنجش‌های کمی فراتر برد؛ به گونه‌ای که قدرت شهری نه به مثابه تابعی خطی از مرکزیت، بلکه به عنوان برساختی شبکه‌ای و چندبعدی درک شد که از خلال موقعیت‌های ساختاری، الگوهای هم‌پیوندی و ظرفیت‌های میانجی‌گری در شبکه بازتولید می‌شود (Allen, 2010). آلن (۲۰۱۶) با نظام‌مند کردن مفهوم «توپولوژی‌های قدرت» نشان می‌دهد قدرت شهری برساختی شبکه‌ای و چندبعدی است که از خلال روابط فشرده و شیوه‌های «برد» و «حضور» واسطه‌مند عمل می‌کند؛ در این خوانش، روابط قدرت فضا را می‌سازند و فاصله/نزدیکی نه معیارهای صرفاً متریک، بلکه حاصل تاخوردگی‌های رابطه‌ای‌اند که می‌توانند «دور» را نزدیک و «نزدیک» را دور کنند. بنابراین، شهری حتی با رتبه مرکزیت نه‌چندان بالا، اگر در اتصال خوشه‌ها، هدایت جریان‌های تخصصی یا ایجاد هم‌پیوندی‌های چندسطحی نقش میانجی ایفا کند، می‌تواند نفوذ ساختاری چشمگیری اعمال کند. این رویکرد توپولوژیک، با فاصله گرفتن از معادل‌سازی ساده «مرکزیت مساوی قدرت»، تحلیل را از شمار پیوندها به کیفیت پیوندها، موقعیت‌های واسطه و عمل نهادی قدرت گسترش داد. در امتداد این خط فکری، نیل (۲۰۱۱) نیز با به چالش کشیدن همسان‌انگاری رایج «مرکزیت مساوی قدرت»، دو تعریف و سنجه متمایز برای بازشناسی این مفاهیم در چارچوب نگرش شبکه‌ای پیشنهاد می‌کند: مرکزیت بازگشتی به منزله ظرفیت تمرکز/انتشار منابع که به مرکزیت شرکای متصل وابسته است، و قدرت بازگشتی به مثابه توان کنترل جریان‌ها که از اتصال به شرکایی ناشی می‌شود که گزینه‌های جایگزین اندکی دارند (وابستگی بالای طرف مقابل). به این سان، مرکزیت تابع «کیفیت اتصال به گره‌های مرکزی» و قدرت تابع «اتصال به گره‌های کم‌بديل» است؛ بنابراین این شهری می‌تواند بسیار مرکزی ولی کم قدرت، یا برعکس قدرتمند ولی نه چندان مرکزی باشد. از نظر نیل پیامد پیشینی این تمایز روشن است: ارتقای «مرکزیت» مستلزم پیوندهای راهبردی به گره‌های خوب‌متصل است، حال آنکه تقویت «قدرت» نیازمند پیوند به گره‌های کم‌متصل و وابسته است؛ افزون بر آن، جایگاه یک شهر نه فقط به پیوندهای خودش، بلکه به ساختار و کیفیت پیوندهای شرکایش و به طور کلی به ریخت کل شبکه بستگی دارد. به همین دلیل، دگرگونی رتبه و نفوذ شهری امری مسیرمند و شبکه‌وابسته است و می‌تواند در لایه‌های مختلف شبکه (اقتصادی، زیرساختی، اطلاعاتی) به نقش‌های متفاوتی بینجامد (Neal, 2011). با این حال، بویید و همکاران (۲۰۱۳) بر این باورند که این تمایزگذاری عمدتاً در سطح محلی معنا پیدا می‌کند و برای درک کامل‌تر قدرت و مرکزیت در شبکه شهرهای جهانی، لازم است ساختار کل شبکه نیز در نظر گرفته شود. این بازنمایش روش‌شناختی نشان داد قدرت شهری نه به عنوان وضعیتی ایستا یا صرفاً تابعی از روابط همسایگی، بلکه به عنوان برساختی در حال تکامل و وابسته به پیوندهای چندسطحی قابل فهم است. در این معنا، شهرها بسته به موقعیتشان در ساختار کلی، از طریق دسترسی غیرمستقیم، روابط واسطه‌ای و پیوندهای ارزشمند می‌توانند نفوذ خود را بازتولید کنند؛ حتی اگر از نظر مرکزیت در رتبه‌های بالایی قرار نداشته باشند. بنابراین، قدرت در شبکه‌های شهری محصولی شبکه‌ای و وابسته به کل ساختار است که با سنجه‌های محلی ساده قابل تقلیل یا توضیح کامل نیست (Boyd et al., 2013).

از سوی دیگر، فلايگر و روزنیلات (۲۰۱۰) بیان می‌دارند که جایگاه شهرها در نظام شهری تنها با سنجه‌های مقطعی شبکه‌ای یا سلسله‌مراتبی توضیح‌پذیر نیست، بلکه در بستر تاریخی تعامل شبکه‌های اقتصادی، اجتماعی، فناورانه و نهادی شکل می‌گیرد. از نظر آن‌ها، شهرها نه واحدهای منفرد، بلکه محل هم‌نشینی و برهم‌کنش شبکه‌های متنوع هستند؛ برهم‌کنشی که امکان شکل‌گیری صرفه‌های تجمع، اقتصادهای مقیاس‌منا و ظرفیت‌های نوآوری را فراهم می‌آورد و به برخی شهرها قدرت مضاعفی برای هدایت جریان‌ها می‌دهد. در این چارچوب، قدرت و مرکزیت از ترکیب نزدیکی جغرافیایی (که ریشه در منطق مکان مرکزی دارد)، نزدیکی شبکه‌ای (که فراتر از فاصله مکانی عمل می‌کند)، و تنوع شبکه‌ها (که منابع و فرصت‌های مکمل را به هم پیوند

الگوهای چندمرکزی، پیوندهای اقتصاد فضایی با سنجه‌های شبکه‌ای، و مدل‌سازی پیچیدگی‌های درونی نظام‌های شهری منجر شده است (Peris et al., 2018).

تحول مفهومی مرکزیت و قدرت شبکه‌ای

بررسی تحولات نظری دو دهه اخیر مطالعات روابط بین شهری، نشان می‌دهد پویایی‌های نظام‌های شهری به طور فزاینده‌ای به سمت پیچیدگی، چندسطحی بودن و تعامل میان مقیاس‌ها حرکت کرده‌اند. شبکه‌های شهری نه فقط به عنوان ساختارهای ایستا، بلکه به مثابه فرایندهای پویا و در حال تکامل دیده می‌شوند که در آن شهرها و شبکه‌ها در یک رابطه هم‌تکاملی به بازتولید یکدیگر می‌پردازند. شهرهای امروزی در بستری از فضایی به طور فزاینده شبکه‌ای شده عمل می‌کنند و به عنوان کانون‌های اصلی سازماندهی جریان‌های مادی و اطلاعاتی، در مقیاس‌های مختلف از سطح محلی تا جهانی - ایفای نقش می‌کنند (Abujder Ochoa et al., 2025). همراه با این تحولات نظری، چارچوب‌های مفاهیم کلاسیکی مانند مرکزیت و قدرت نیز دیگر قابل تقلیل به شاخص‌های سنتی سلسله‌مراتبی یا رتبه‌بندی ساده نبوده، بلکه در بستر روابط پیچیده شبکه‌ای بازتعریف و مورد سنجش واقع شده‌اند.

در مطالعات اولیه شبکه‌منا، اغلب فرض می‌شد که مرکزیت شهری به طور مستقیم معادل قدرت آن است؛ به این معنا که هرچه یک شهر در شبکه روابط بیشتری داشته باشد، قدرت بیشتری نیز برای هدایت جریان‌ها در شبکه خواهد داشت. این مفهوم که در مطالعات کلاسیک (Freeman, 1979) از رهگذر سنجش الگوهای اتصال‌پذیری و شبکه‌ای مورد سنجش واقع می‌شد، به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی سازمان‌یابی روابط بین شهری شناخته می‌شد. ایروین و هیوز (۱۹۹۲) بیان می‌دارند که مرکزیت مفهومی چندبعدی است که جایگاه ساختاری شهرها را در شبکه تعاملات بازتاب می‌دهد. آن‌ها استدلال می‌کنند که سنجه‌هایی همچون مرکزیت درجه، نزدیکی و میانجی‌گری نه تنها الگوهای دسترسی و کنترل جریان‌ها را آشکار می‌سازند، بلکه به منزله نوعی سرمایه ساختاری عمل می‌کنند که توانایی شهرها در جذب منابع، میانجی‌گری ارتباطات و بازتولید قدرت شبکه‌ای را توضیح می‌دهد. به این ترتیب، مفهوم مرکزیت ابزاری تحلیلی برای درک پویایی‌های رشد، افول و تسلط در نظام‌های شهری فراهم می‌آورد و پلی میان رویکرد سلسله‌مراتبی سنتی و دیدگاه شبکه‌ای معاصر ایجاد می‌کند (Irwin & Hughes, 1992). در مدل شبکه‌ای میجرز (۲۰۰۷) نیز مرکزیت هم‌ارز مفهوم ساختاری گره‌محوری (Nodality) دانسته شده و اهمیت یک شهر را بر مبنای روابط افقی و مکمل بودن کارکردها و جریان‌های دوطرفه مورد سنجش قرار می‌گیرد. تیلور و همکاران (۲۰۰۲) اگرچه مرکزیت را یکی از پیش‌شرط‌های قدرت شهری برمی‌شمرند، اما میان این دو تمایز قائل می‌شوند و نشان می‌دهند تسلط و قدرت در شبکه شهرهای جهانی نه فقط محصول شمار پیوندها، بلکه حاصل موقعیت ساختاری و کیفیت تعاملات میان شهری است. در همین راستا، آلدرسون و بیکیفیلد (۲۰۰۴) با بهره‌گیری از تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهند جایگاه یک شهر در سلسله‌مراتب جهانی، علاوه بر مرکزیت، به دو مؤلفه مکمل «قدرت فرماندهی» و «پرستیژ یا جذایت» وابسته است. آن‌ها استدلال می‌کنند که شهرهای مرکزی، به دلیل تمرکز شرکت‌های فراملی و ظرفیت فرماندهی بر جریان‌های سرمایه، از قدرت ساختاری بیشتری برای جهت‌دهی به شبکه برخوردارند؛ در حالی که برخی دیگر از شهرها، با وجود مرکزیت پایین‌تر، به واسطه نقش واسطه، جذایت یا تخصصی بودن پیوندها، می‌توانند جایگاهی اثرگذار در شبکه جهانی ایفا کنند. این تمایز نظری نشان می‌دهد رابطه مرکزیت و قدرت نه خطی و ایستا، بلکه پویا و وابسته به نوع و کیفیت روابط شبکه‌ای است؛ به گونه‌ای که شهرها بسته به ظرفیت میانجی‌گری، قابلیت جذب و ایفای نقش مکمل، می‌توانند در بازتولید سلسله‌مراتب و دینامیک‌های قدرت شبکه‌ای نقش آفرین شوند (Alderson & Beckfield, 2004). این خط تمایز در پژوهش‌های بعدی بسط نظری و عملی

معرفی داده‌ها، متغیرها و شاخص‌ها

برای تحلیل شبکه‌ای بلندمدت نظام شهری در مقیاس ملی، تنها منبع موجود قابل اتکا، آرشو آماری مسافران شبکه جریانی سفرهای هوایی کشور است. بر این اساس، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات جابه‌جایی به تفکیک مبدأ و مقصد (در مقاطع زمانی ده‌ساله از ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵)، استخراج شد. با وجود انتشار رسمی، کیفیت و پوشش داده‌های پروازی، یکی از چالش‌های اصلی این پژوهش بود؛ به گونه‌ای که شهرهای فاقد فرودگاه یا پروازهای نامنظم و نیز داده‌های ناقص، ناگزیر از تحلیل کنار گذاشته شدند. علاوه بر این، داده‌های موجود عمدتاً مسیرهای مستقیم را پوشش می‌دهند و پیوندهای غیرمستقیم را نادیده می‌گیرند؛ مسئله‌ای که می‌تواند به حذف بخشی از روابط واقعی و سوگیری شاخص‌های شبکه‌ای منجر شود. با این حال، مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهند از طریق تمرکز بر روندهای بلندمدت، استفاده از شاخص‌های پایدار و شفاف‌سازی دامنه داده‌ها، می‌توان از همین اطلاعات برای بازنمایی ساختار عملکردی شبکه شهری در مقیاس ملی بهره گرفت، بدون آنکه اعتبار علمی تحلیل خدشه‌دار شود (Wang et al., 2021; Zhang et al., 2014). در این پژوهش، با اتکا بر داده‌های آماری پرواز و انتخاب دوره‌های ده‌ساله تلاش شده است تا با کاهش نوسانات کوتاه‌مدت و تمرکز بر روندهای پایدارتر، بازنمایی معتبری از ساختار فضایی شبکه شهری ارائه شود. همسویی این بازه‌های زمانی با دوره‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن نیز امکان بهره‌گیری مؤثر از داده‌های اندازه‌منا (جمعیت) و انطباق آن‌ها را فراهم ساخته است. اتخاذ این رویکرد به‌ویژه از آن جهت ضروری است که دگرگونی‌های ساختاری در شبکه شهری ماهیتی بلندمدت دارند و پیامدهای آن‌ها اغلب با تأخیر زمانی بروز می‌یابند. افزون بر این، با شفاف‌سازی محدودیت‌های داده‌ای در طراحی روش تحقیق، تلاش شده است تفسیر نتایج در چارچوب ظرفیت واقعی داده‌ها صورت گیرد تا بازنمایی ساختار عملکردی شبکه از اعتبار علمی لازم برخوردار باشد. جدول ۱ مشخصات شبکه شهرهای فرودگاهی منتخب این پژوهش را به طور خلاصه نشان می‌دهد. در این جدول، منظور از تعداد گره‌ها، مجموعه شهرهای فرودگاهی کشور و تعداد پیوندها، خطوط هوایی میان شهرها فارغ از جهت است. با توجه به تعداد زیاد شهرها و تکرار نام آن‌ها در هر دوره، در این جدول به اختصار تعداد و نام مجموعه شهرهای فرودگاهی کشور درج شده است. بر این اساس، برای هر دوره زمانی ماتریس‌های گره‌گانه (نمایانگر حجم مسافران بین شهری) و ماتریس‌های مجاورت (نمایانگر وجود داشتن یا نداشتن پیوند میان شهرها) برای دوره‌های ده‌ساله ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵ تهیه شد.

می‌زند) بازتولید می‌شوند. این خط فکری در پژوهش‌های بعدی توسعه یافت؛ دوکرو و همکاران (۲۰۱۸) با تأکید بر مفهوم وابستگی تاریخی (Long-term interdependencies) نشان دادند موقعیت کنونی شهرها در شبکه جهانی، بازتابی از لایه‌های متراکمی از گذشته نهادی و مسیرهای تکاملی آن‌هاست. به بیان دیگر، قدرت شبکه‌ای فقط محصول پیوندهای کنونی نیست، بلکه در تعامل با تاریخچه سرمایه‌گذاری‌ها، زیرساخت‌ها و نهادهای شکل گرفته طی زمان، قوام می‌یابد. در این خوانش، مرکزیت و قدرت شهری در قالب فرایندی هم‌تکاملی میان شهرها و شبکه‌ها درک می‌شوند که در آن مسیرهای گذشته فرصت‌ها و محدودیت‌های امروز را تعیین می‌کنند. وانگ و همکاران (۲۰۲۵)، نیز در این امتداد نشان می‌دهند مرکزیت و قدرت شهری مفاهیمی پویا و تاریخمند هستند که جایگاه کنونی شهرها تنها بر پایه روابط فعلی توضیح‌پذیر نیست، بلکه به لایه‌های گذشته سرمایه‌گذاری‌ها، مسیرهای نهادی و وابستگی‌های تاریخی نیز وابسته است. در این رویکرد، قدرت شبکه‌ای نه محصولی ایستا از تعداد پیوندها، بلکه برساختی چندمقیاسی است که از تعامل گذشته و حال شبکه‌ها، موقعیت ساختاری و ظرفیت‌های راهبردی شهرها بازتولید می‌شود (Wang et al., 2025).

جمع‌بندی مبانی نظری نشان می‌دهد مرکزیت و قدرت در نظام‌های شهری مفاهیمی پویا و چندبعدی‌اند که نه فقط بر شمار پیوندها یا رتبه‌بندی‌های سلسله‌مراتبی، بلکه بر کیفیت روابط ساختار کل شبکه و تعامل مداوم میان گذشته و حال استوارند. وابستگی‌های تاریخی، ویژگی‌های ساختاری شبکه و شرایط نهادی و جغرافیایی موجب می‌شوند که جایگاه شهرها در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی پیوسته بازتعریف شود. بر این اساس، تسلط شهرها در شبکه را نمی‌توان فقط به مرکزیت تقلیل داد، بلکه باید آن را نتیجه برساختی شبکه‌ای و تاریخمند دانست که در بستر تعاملات چندسطحی بازتولید می‌شود.

مواد و روش‌ها

روش به‌کاررفته در این پژوهش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد کمی داده‌محور است. در این پژوهش از رویکرد شبکه‌ای جریانی هوایی استفاده شده است. این رویکرد به دلیل کارایی بالاتر و نیاز به درک عمیق از شبکه‌های زیرساختی، جریان مستمر جمعیت و کالا، تأکید بر ارتباطات فیزیکی سریع و دوربرد، و توانایی آن در آشکارسازی وابستگی‌های فضایی مستقل از فاصله، از ارجح‌ترین روش‌های تجربی شبکه‌ای برشمرده شده است (Neal, 2014). برای آماده‌سازی داده‌ها از نرم‌افزار Excel، برای تحلیل شاخص‌های و بازنمایی الگو ساختاری شبکه پیچیده از نرم‌افزار Gephi، برای تحلیل اثرگذاری عوامل (درونی و بیرونی) و وابستگی تاریخی شبکه از برنامه شبیه‌سازی مدل‌های نمایی تصادفی شبکه‌ای (ERGM) در شبکه‌های چندسطحی، (نرم‌افزار MPNet)، بهره‌گیری شده است.

جدول ۱. مشخصات شبکه حمل و نقل هوایی کشور، اطلاعات استخراج‌شده از سالنامه‌های آماری سازمان هواپیمایی کشور ۱۳۵۵-۱۳۹۵، منبع: (CAO, IRI, 1976-2021)

سال	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۱۳۹۵
تعداد گره‌ها	۲۴	۱۷	۲۵	۵۴	۵۸
تعداد پیوندها	۴۴	۳۶	۸۰	۱۳۴	۱۷۱
نام شهرهای فرودگاهی مورد استفاده در این پژوهش (۵۸ شهر)	آبادان، آقاجاری، ایوموسی، اراک، اردبیل، ارومیه، اصفهان، اهواز، ایرانشهر، ایلام، بجنورد، بم، بندر لنگه، بندرعباس، بوهر، بیرجند، تبریز، تهران (مهرآباد)، جم (توحید)، جیرفت، چابهار، خارک، خرم‌آباد، خوی، ذوقول، دیلم (بهرگان)، رامسر، رشت، رفسنجان، زابل، زاهدان، زنجان، ساری، سنجند، سیرجان، سیری، شاهرود، شهرکرد، شیراز، طبرستان، عسلویه (خلیج فارس)، قشم، کاشان، کرمان، کرمانشاه، کلاله، کیش، گچساران، گرگان، لار، لامرد، لاوان، ماهشهر، مشهد، نوشهر، همدان، یاسوج، یزد.				

(RP) استفاده شد. شاخص RC اهمیت شبکه‌ای هر شهر را با لحاظ پیوندهای مستقیم و غیرمستقیم با مراکز پرنفوذ نشان می‌دهد، در حالی که شاخص RP

در گام بعدی و بر اساس چارچوب نیل (۲۰۱۱)، برای سنجش جایگاه و نقش شهرها در شبکه از شاخص‌های «مرکزیت بازگشتی» (RC) و «قدرت بازگشتی»

شهرهای دروازه‌ای (RC پایین و RP بالا) که با وجود مرکزیت اندک توان هدایت جریان‌ها را دارند؛ و در نهایت شهرهای پیرامونی (RC و RP پایین) که در موقعیتی حاشیه‌ای قرار گرفته و نقشی تعیین‌کننده در ساختار شبکه ایفا نمی‌کنند. در تعیین آستانه‌ها، مقادیر RC و RP بر اساس نرمال‌سازی شاخص‌ها و تحلیل توزیع آن‌ها در شبکه انتخاب شد. این چارچوب در پیوند با ادبیات نظری شبکه‌مبنا، امکان تفکیک معتبر و قابل تفسیر چهار گروه کارکردی شهرها را فراهم می‌سازد. نحوه محاسبه این شاخص‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

بعد کنترلی شبکه را برجسته کرده و توان شهر در هدایت جریان میان شهرهای کم‌ارتباط‌تر را بازتاب می‌دهد. بهره‌گیری توأمان از این دو شاخص امکان تمایز میان «مرکزیت» و «قدرت» و شناسایی الگوی چندسطحی تسلط شهری در شبکه را فراهم می‌سازد. به منظور استخراج مؤلفه تسلط و سطح‌بندی شهرها از رویکرد چهاربخشی (Quadrant Analysis) استفاده شد. در این چارچوب، شهرها به چهار دسته تقسیم می‌شوند: قانون‌های اصلی کنترلی (RC و RP بالا) که جایگاه مسلط در شبکه دارند؛ مراکز پیونددهنده یا هاب‌ها (RC و RP پایین) با نقش ارتباطی پررنگ، اما بدون قدرت کنترلی؛

جدول ۲. شاخص‌های مرکزیت و قدرت بازگشتی کانون‌های شبکه، منبع: (Neal, 2011)

شاخص	فرمول ریاضی	تعریف، ویژگی‌ها و نمادها
مرکزیت بازگشتی	$RC_i = \sum_j R_{ij} \times DC_j$	مرکزیت بازگشتی شهر آ نه تنها به تعداد و شدت ارتباطات مستقیم آن بستگی دارد، بلکه به کیفیت این ارتباطات هم حساس است. اگر یک شهر به شهرهایی وصل باشد که خودشان بسیار پرارتباط هستند، امتیاز بیشتری می‌گیرد. در این فرمول R_{ij} برابر با شدت یا وزن رابطه (مثلاً تعداد مسافر) بین گره/شهر i و j است. DC_j برابر با مرکزیت درجه شهر j یعنی ارتباطاتش با دیگر شهرهاست.
قدرت بازگشتی	$RP_i = \sum_j R_{ij} \times \frac{1}{DC_j}$	این شاخص قدرت نسبی یک گره را نشان می‌دهد؛ هر چه همسایه‌های یک شهر درجه پایین‌تری داشته باشند، سهم آن‌ها در قدرت شهر بالاتر می‌شود. در این فرمول i شهر مورد نظر، j هر یک از شهرهایی که با آن ارتباط دارند. R_{ij} وزن یا شدت رابطه بین شهر i و j (تعداد مسافر در این پژوهش) و DC_j درجه مرکزیت شهر j یعنی مجموع روابطی که j با بقیه شهرها دارد.

بین هر دو گره مشابه شبکه‌های تصادفی است، اما ضریب خوشه‌بندی به‌مراتب بالاتر است. در مقابل، الگوی مقیاس‌آزاد بیانگر سلسله‌مراتب هاب‌هاست؛ جایی که توزیع درجه از قانون توانی تبعیت کرده و تنها چند گره با درجه بسیار بالا بخش عمده جریان‌ها را در کنترل دارند (Ducruet & Beauguitte, 2014). فرمول‌های این شاخص‌ها در جدول ۳ بیان شده است.

بازنمایی الگوی تحول ساختاری شبکه

برای بررسی تحولات شبکه جریان هوایی کشور، از شاخص‌های مرتبط با دو الگوی غالب در شبکه‌های حمل‌ونقل هوایی یعنی «جهان کوچک» و «مقیاس‌آزاد» استفاده شد. الگوی جهان کوچک بر ترکیب فاصله متوسط کوتاه میان گره‌ها با خوشه‌بندی بالا دلالت دارد؛ به گونه‌ای که طول مسیر

جدول ۳. شاخص‌های ساختاری الگوی شبکه، منبع: (Newman, 2010)

الگوی ساختاری	شاخص	فرمول ریاضی	تعریف، ویژگی‌ها و نمادها
جهان کوچک شرط: L کوتاه و C بالا	L میانگین طول مسیر	$L = \frac{1}{N \times (N-1)} \times \sum_{i \neq j} d_{ij}$	سنجش کارایی و نزدیکی شبکه؛ شاخص اصلی جهان کوچک. d_{ij} کوتاه‌ترین مسیر بین i و j در جهان کوچک، L کوتاه و نزدیک به شبکه تصادفی.
مقیاس‌آزاد شرط: $P(k) \sim k^{-\gamma}$ $2 < \gamma < 3$	C ضریب خوشه‌بندی	$C = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \frac{2e_i}{k_i(k_i-1)}$	نشان‌دهنده خوشه‌مندی محلی و انسجام. k_i : درجه گره i ، e_i : تعداد یال بین همسایه در جهان کوچک.
	P(k) توزیع درجه	$P(K) \sim k^{-\gamma}$	آزمون قانون توانی و شناسایی هاب‌ها (مقیاس‌آزاد). احتمال وجود گره با k در شبکه مقیاس‌آزاد، $p(k)$ دنباله سنگین دارد و نمای توان γ معمولاً بین ۲ و ۳.

استان بودن شهرها به عنوان نمود عامل نهادی - سیاسی، و عامل وابستگی تاریخی شبکه (اینرسی پایداری پیوندها در دوره‌های متوالی) انتخاب شده‌اند. برای برآورد پارامترهای مدل از نرم‌افزار MPNet استفاده شد (Wang et al., 2022).

بحث و ارائه یافته‌ها

پس از اجرای مراحل سه‌گانه مدل ترکیبی پژوهش، نتایج به شرح زیر ارائه و یافته‌ها تشریح می‌شود.

سنجش مرکزیت و قدرت شبکه‌ای

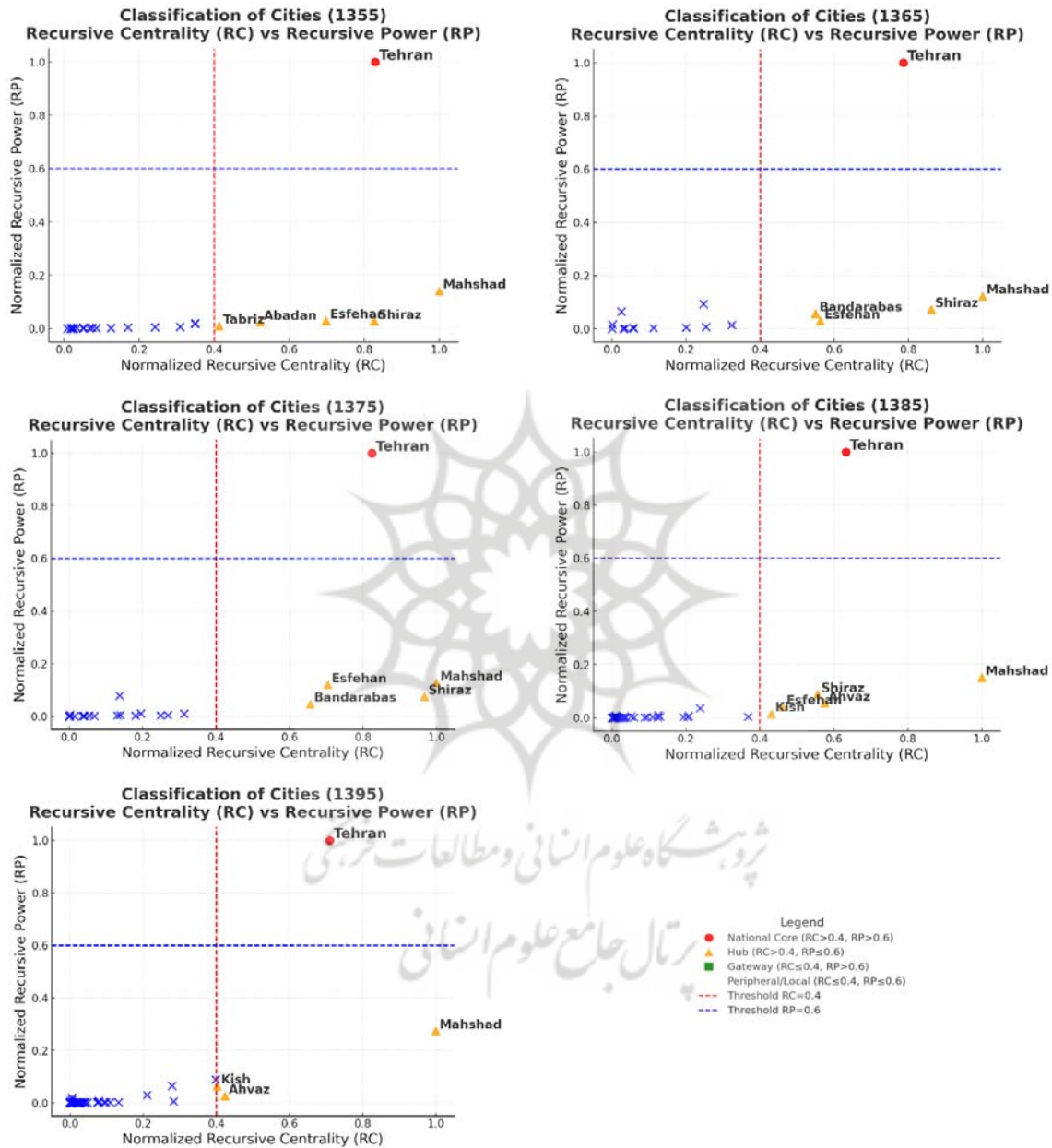
دو شاخص مرکزیت بازگشتی (RC) و قدرت بازگشتی (RP) برای پنج مقطع ده‌ساله (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۵) محاسبه شد. برای هم‌سنجی زمانی، هر دو شاخص در هر دوره نرمال‌سازی (بین ۰ تا ۱) شده‌اند. به منظور اجتناب از ارائه جداول طولانی مرتبط با مقادیر تک‌تک شهرها، نتایج محاسبات به صورت خلاصه

مدل نمایی تصادفی شبکه‌ای

برای تحلیل نقش عوامل زمینه‌ای ساختاری، نهادی و تاریخی در شکل‌گیری پیوندهای شبکه حمل‌ونقل هوایی کشور، از مدل نمایی تصادفی شبکه‌ای ERGM استفاده شد. این مدل یکی از رویکردهای پیشرفته در تحلیل شبکه‌های اجتماعی و شهری است که به طور خاص برای شناسایی الگوهای زیرساختی در ایجاد یا عدم ایجاد پیوندها به کار می‌رود. بهره‌گیری از این مدل، امکان می‌دهد احتمال مشاهده یک شبکه خاص بر اساس ترکیب مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و پارامترهای ساختاری برآورد شود و به این ترتیب بتوان نقش مکانیسم‌های مختلف را در شکل‌گیری روابط شبکه‌ای بررسی کرد. این مدل قادر است هم اثرات درون‌شبکه‌ای و هم اثرات بیرونی را به طور هم‌زمان در شکل‌گیری ساختار روابط در نظر بگیرد (Lusher et al., 2013). بر این اساس در این پژوهش، اثرات درونی ساختاری شبکه (دو اثر درون‌زا اصلی؛ یعنی اثر چگالی مسیرهای پروازی و اثر تمرکز روابط در اطراف هاب‌ها)، عوامل بیرونی (عامل جمعیت به عنوان نمود توسعه اقتصادی شهرها و اثر پایتخت/مرکز

به روشنی قابل مشاهده و ردیابی است. بر اساس نرمال سازی مقادیر شاخص ها و بررسی توزیع آن ها مقادیر آستانه ها $RC=0.4$ و $RP=0.6$ انتخاب شدند.

در قالب پنج نمودار پراکنش در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این نمودارها، موقعیت هر شهر در دستگاه مختصات دوبعدی RC و RP ترسیم شده و به این ترتیب الگوی کلی جایگاه و نقش استیلای شهرها در شبکه طی زمان



شکل ۱. مقایسه پراکنش شهرهای فرودگاهی ایران بر اساس مرکزیت و قدرت طی سال های ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵

در مقابل شهرهایی مانند مشهد، شیراز، اصفهان، تبریز و آبادان در ربع دوم در شبکه جریان هوایی کشور طی پنج دهه گذشته، تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. تحلیل این تحولات بر اساس چارچوب چهاربخشی ارائه شده، نشان می دهد تمرکز قدرت و مرکزیت در شبکه به صورت متفاوتی توزیع شده است. در دهه نخست (۱۳۵۵)، تهران تنها شهر قرار گرفته در ربع اول ($RC \uparrow, RP \uparrow$) بوده و نقش هسته کانونی شبکه را به عهده داشته است.

همان گونه که در پنج نمودار پراکنش یادشده مشاهده می شود، جایگاه شهرها در شبکه جریان هوایی کشور طی پنج دهه گذشته، تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. تحلیل این تحولات بر اساس چارچوب چهاربخشی ارائه شده، نشان می دهد تمرکز قدرت و مرکزیت در شبکه به صورت متفاوتی توزیع شده است. در دهه نخست (۱۳۵۵)، تهران تنها شهر قرار گرفته در ربع اول ($RC \uparrow, RP \uparrow$) بوده و نقش هسته کانونی شبکه را به عهده داشته است.

ساختمانی شبکه در هر دوره بر مبنای این ویژگی‌های حاصل از این شاخص‌ها تبیین شده است.

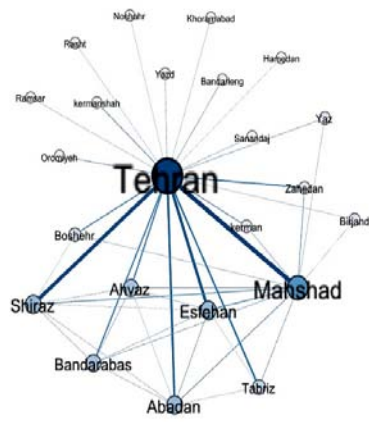
الگوی اولیه ساختار شبکه پروازهای داخلی ایران در سال ۱۳۵۵، الگوی کاملاً متمرکز و هسته - پیرامون را نشان می‌دهد، به طوری که بیشتر جریان‌ها بر محور تهران متمرکز بودند و سایر شهرها نقش حاشیه‌ای ایفا می‌کردند. شاخص‌ها نیز این وضعیت را تأیید می‌کنند؛ میانگین طول مسیر در این دوره نسبتاً بالا و حدود ۳/۴ بود و ضریب خوشه‌بندی پایین‌تر از ۰/۲ برآورد شد، که نشان‌دهنده ضعف پیوندهای جانبی میان فرودگاه‌های پیرامونی است. همچنین، توزیع درجه هیچ الگویی از قانون توانی نداشت و بنابراین، ساختار مقیاس‌آزاد نیز مشاهده نشد. در مجموع، شبکه در این مقطع بیشتر به یک ساختار سلسله‌مراتبی شباهت داشت. در دهه‌های بعدی (۱۳۶۵ و ۱۳۷۵) شبکه هوایی ایران وارد مرحله گسترش و تنوع‌یافتگی شد. تعداد شهرهای متصل افزایش یافت و هاب‌های منطقه‌ای جایگاه پررنگ‌تری پیدا کردند. شاخص‌ها نیز این روند را تأیید می‌کنند؛ میانگین طول مسیر در این دوره به حدود ۲/۹ کاهش یافت و ضریب خوشه‌بندی به بیش از ۰/۳ رسید که بیانگر تقویت پیوندهای جانبی و کاهش وابستگی مطلق به تهران است. هرچند تهران همچنان نقش غالب خود را حفظ کرد، اما برخی شهرها به عنوان هاب‌های جدید (مرکزی اما نه قدرتمند) ظاهر شدند. در مجموع، دهه‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵ نمایانگر گذار به سمت الگوی جهان کوچک همراه با شروع شکل‌گیری سلسله‌مراتب هاب‌ها، اما نه یک شبکه مقیاس‌آزاد کامل و در مجموع الگوی گسترش و تنوع‌یافتگی در ساختار شبکه است. در سال ۱۳۸۵ شبکه پروازهای داخلی ایران ساختاری یکپارچه‌تر و مترکمزتر یافت. شاخص‌های محاسبه‌شده نشان می‌دهند طول مسیر متوسط با مقدار ۲/۰۰ و ضریب خوشه‌بندی با مقدار ۰/۵۱ ارتقا یافته است؛ ترکیبی که به روشنی مراحل اولیه شکل‌گیری الگوی جهان کوچک را تأیید می‌کند. در عین حال، توزیع نامتوازن درجه‌ها و تمرکز پروازها بر تعداد محدودی هاب اصلی، نشان‌دهنده ساختاری مقیاس‌آزاد نیز است. بنابراین در سال ۱۳۸۵ هم‌زمان واجد ویژگی‌های جهان کوچک، یعنی کوتاهی مسیرها و خوشه‌بندی بالا، و مقیاس‌آزاد، (یعنی وجود هاب‌های پر قدرت) در کنار پیرامون کم‌اتصال، بوده و این وضعیت بیانگر روند ادغام فضایی همراه با تثبیت سلسله‌مراتب هاب‌محور در ساختار هوایی کشور است. در سال ۱۳۹۵ شبکه پروازهای داخلی ایران به مرحله‌ای رسید که می‌توان آن را نمونه‌ای تثبیت‌شده از یک شبکه تلفیقی مقیاس‌آزاد و جهان کوچک دانست. طول مسیر متوسط با مقدار ۲/۰۵ باقی ماند و ضریب خوشه‌بندی با مقدار ۰/۵۷ نسبتاً بالا بود؛ ترکیبی که به روشنی ویژگی‌های جهان کوچک را نیز نشان می‌دهد. از سوی دیگر، توزیع درجه‌ها شکل پهن‌دم پیدا کرده است؛ تهران با درجه ۵۷ همچنان هاب مسلط شبکه است، اما هاب‌های منطقه‌ای جایگاه تثبیت‌شده‌ای یافته‌اند. این وضعیت نشان می‌دهد شبکه نه تنها ساختاری مقیاس‌آزاد با تمرکز شدید بر تعداد محدودی هاب دارد، بلکه هم‌زمان با کوتاهی مسیرها و خوشه‌بندی بالا ویژگی‌های جهان کوچک را نیز دارد. در نتیجه، شبکه هوایی ایران در سال ۱۳۹۵ مرحله بلوغ خود را طی کرده و از یک تمرکز سلسله‌مراتبی صرف به سوی ساختاری چندمرکزی و شبکه‌ای حرکت کرده است. بازنمایی الگوی ساختاری شبکه در هر دوره در شکل ۳ نمایش داده شده است.

و تهران همچنان استیلای خود را بر کل شبکه حفظ کرده با این حال، مشهد و شیراز با RC بالا نقش هاب‌های پرتراфик شبکه را ایفا کردند و شهرهایی همچون اصفهان و بندرعباس به عنوان مراکز منطقه‌ای نوظهور، در سطح هاب‌های شبکه قرار گرفتند. این وضعیت نشان‌دهنده آغاز فرایند پراکنش ملایم مؤلفه تسلط در شبکه است، هرچند ساختار شبکه همچنان تک‌کانونی باقی مانده است. دوره ۱۳۷۵، ضمن تداوم برتری تهران و حضور مسلط در ربع نخست، مشهد به عنوان رقیب بالقوه ظاهر می‌شود؛ RC آن به ۰/۱ می‌رسد و RP آن نیز افزایش نسبی پیدا می‌کند. در کنار آن، اصفهان و شیراز نقش پیوندهای مهمی یافتند. بنابراین الگوی این دوره نیز حکایت از ادامه تمرکز قدرت در تهران همراه با گسترش مرکزیت در چند شهر بزرگ دیگر است. در نیمه دهه ۱۳۸۰، تهران همچنان شهر مسلط شبکه باقی ماند، اما شبکه شاهد ظهور هاب‌های پر اتصال جدیدی همچون اهواز و کیش در ربع دوم بود. این شهرها RC متوسط به بالا داشتند و توانستند به عنوان اتصالات منطقه‌ای و گردشگری نوظهور عمل کنند. با این وجود، RP آن‌ها پایین بود و امکان ورود به نقش کنترلی و فرماندهی را پیدا نکردند. در این دوره، شبکه به سمت چندگانگی در مرکزیت حرکت کرده، اما الگوی قدرت شهری همچنان متمرکز باقی مانده است. در پایان دوره (۱۳۹۵)، ساختار کلی شبکه تغییر بنیادینی مشاهده نمی‌شود، تهران همچنان $RP \approx 1.0$ دارد و نقش هسته کانونی فرماندهی و کنترل شبکه را ایفا می‌کند. مشهد با $RC = 1.0$ و $RP \approx 0.28$ جایگاه خود را به عنوان یک هاب پرتراфик تثبیت کرده است. شهرهای کیش و اهواز نیز در آستانه ورود به نقش اتصالات منطقه‌ای قرار دارند. به این ترتیب در حالی که مرکزیت به صورت نسبی در شبکه توزیع شده، قدرت ساختاری همچنان در انحصار تهران باقی مانده است.

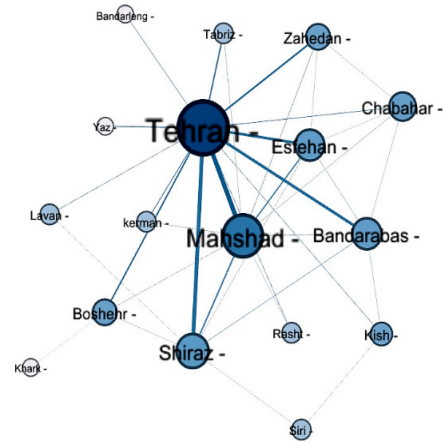
الگوی مشاهده‌شده در پنج دهه گذشته نشان می‌دهد ساختار شبکه جریان هوایی ایران به طور پایدار تک‌مرکزی در بعد قدرت و چندمرکزی نسبی در بعد مرکزیت باقی مانده است. تمرکز RP در تهران بیش از هر چیز بازتابی از جایگاه این شهر به عنوان پایتخت سیاسی و اداری در مقیاس ملی است. علاوه بر این، تمرکز اقتصادی و جمعیتی تهران و نیز اینرسی ساختاری شبکه در تداوم پیوندهای تاریخی مسیرهای هوایی، زمینه تثبیت موقعیت استیلای شهر تهران بر کل شبکه شهری کشور را تقویت کرده است. از سوی دیگر، نبود شهرهایی با نقش دروازه‌های (Gatekeepers) یا کنترل‌گران پنهان در کل دوره‌ها بیانگر آن است که پیوندهای افقی میان مراکز منطقه‌ای کشور توسعه کافی نیافته و شبکه بیش از اندازه به الگوی «پرتاب - جذب» یا «هاب و اسپوک» از تهران، متکی بوده است. این وضعیت موجب شده است که شهرهایی همچون مشهد، شیراز، اصفهان یا کیش علی‌رغم ارتقای مرکزیت، نتوانند به آستانه‌های قدرت کنترلی وارد شوند. در این میان، بخش بزرگی از شهرها نیز در سطح پیرامونی/محلی باقی مانده‌اند. چنین وضعیتی به معنای ایفای نقش محلی و محدود آن‌ها در شبکه است که ضمن حفظ تمرکز جریان‌ها در چند هاب اصلی، کارایی توزیع متوازن را کاهش می‌دهد. با این حال، بررسی روند پنج دهه اخیر نشان می‌دهد برخی شهرها به‌ویژه مشهد توانسته‌اند در بعد مرکزیت موقعیت خود را ارتقا دهند و به عنوان هاب‌های پرتراфик در مقیاس ملی ظاهر شوند. این تحول نشان‌دهنده ظرفیت بالقوه برای تقویت هاب‌های ثانویه در برنامه‌ریزی‌های آینده است.

الگوی تحول ساختاری شبکه

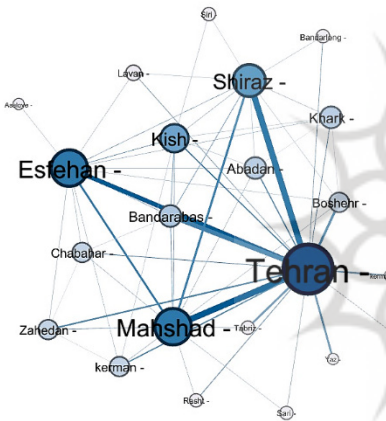
برای ارائه الگوی تحول ساختاری شبکه جریان هوایی در دوره زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵، شاخص‌های کلیدی شبکه شامل میانگین طول مسیر، ضریب خوشه‌بندی و توزیع درجه در هر دوره محاسبه شد. بر این اساس، الگوی



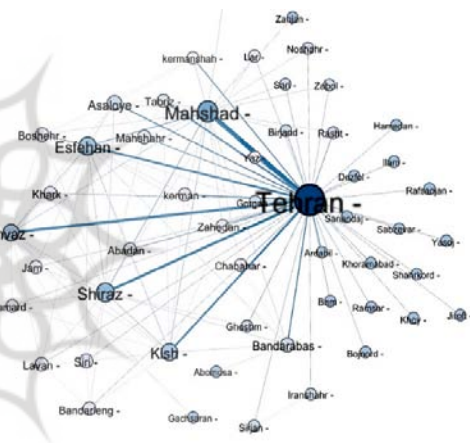
Iranian air network in 1976 (1355)



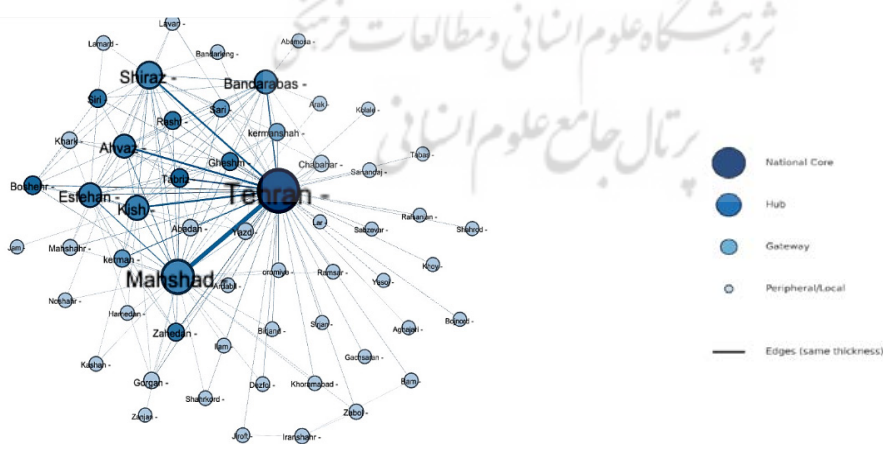
Iranian air network in 1986 (1365)



Iranian air network in 1996 (1375)



Iranian air network in 2006 (1385)



Iranian air network in 2016 (1395)

شکل ۲. مراحل تحول شبکه جریان هوایی ایران، ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵ (منبع یافته‌های پژوهش با استفاده از Gephi (Bastian et al., 2021))

بررسی اثرات ساختاری، نهادی و زمینه‌ای

استانی شهرها (Cap/Pro-Capital/Province) به صورت متغیر گره‌ای طبقه‌بندی شده وارد مدل شد. در نهایت، در گام چهارم A4، وابستگی تاریخی شبکه (HI-Historical) با استفاده از اثر ماتریس دوره قبل لحاظ شد تا پایداری ساختاری و تداوم الگوی ارتباطی بررسی شود. در هر مرحله فرایند برآورد تا زمان دستیابی به همگرایی معتبر ادامه یافت؛ به این معنا که همگرایی زمانی پذیرفته شد که $t\text{-ratio} < 0.1$ استقلال نمونه‌ها با $SACF < 0.4$ (تابع خودهمبستگی نمونه) برقرار باشد (Wang et al., 2022). همچنین برآزش مدل با استفاده از شبیه‌سازی GOF و ارزیابی آماره‌های خارج از مدل بر اساس ملاک $t\text{-ratio} < 2$ آزموده شد. این رویکرد مرحله‌ای موجب شد که از بروز مشکل واگرایی جلوگیری شود و برآورد ضرایب مدل در قالب معناداری آماری قابل تفسیر باشد. یافته‌های حاصل از اجرای این مدل چهار مرحله‌ای برای پنج دوره ده‌ساله (۱۳۵۵-۱۳۹۵) در جدول ۴ ارائه می‌شود.

در این مرحله پس از آماده‌سازی ماتریس‌های مجاورت و گردآوری متغیرهای پیوسته و طبقه‌بندی شده توصیفی (جمعیت و پایتخت/مرکز استانی بودن) شهرها، مدل نمایی تصادفی شبکه‌ای (ERGM) برای هر دوره در نرم‌افزار MPNet برآورد شد. ابتدا در مرحله A1، ساختار پایه شبکه با وارد کردن دو اثر درون‌زای اصلی شامل: Ed-Edge (نمایانگر چگالی مسیرهای پروازی) و ASA- Alternating k-stars (نمایانگر الگوی تمرکز روابط در اطراف تعداد محدودی از گره‌های مرکزی یا شکل‌گیری هاب‌ها) برآورد شد تا نقش تمایل درونی شبکه در تراکم پیوندها و ایجاد مراکز تمرکز، به طور مستقیم آزموده شود. در گام دوم A2، متغیر پیوسته بیرونی جمعیت (Pop-Population) هر شهر به عنوان نمادی از سطح توسعه اقتصادی افزوده شد. سپس در گام سوم A3، اثر نهادی - سیاسی ناشی از موقعیت پایتخت یا مرکز استان بودن یا غیر مرکز

جدول ۴. نتایج مقایسه اثرات ساختاری و نهادی و زمینه‌ای با مدل ERGM در سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵. (منبع: با استفاده از خروجی برنامه شبیه‌ساز (MPNet (Wang et al., 2022)

Effect Direction & Interpretation	Significanc (p)	t-ratio	Std. Error	Estimate (β)	Effect combination	Stage	Year
منفی و معنادار؛ شبکه پراکنده با گرایش به هاب مرکزی	$p < 0.01$ ***	-0.007 / -0.01	0.363 / 0.122	≈ -4.92 / ≈ 1.035	Ed + ASA	A ₁	1355
مثبت و معنادار؛ مسیرها میان شهرهای پرجمعیت بیشتر	$p < 0.05$ **	≈ 0.08	0.10	$\approx +0.45$	A ₁ + Pop	A ₂	
مثبت و معنادار؛ مزیت مراکز سیاسی - اداری در اتصال شهرها	$p < 0.05$ **	≈ 3.4	0.18	$\approx +0.62$	A ₁ + Cap/Pro	A ₃	
تفسیرناپذیر، نبود داده تاریخی	x	x	x	x	A ₁ + HI	A ₄	
نسبت به ۱۳۵۵ اندکی کم‌تراکم‌تر، اما گرایش به هاب‌های مرکزی همچنان پایدار.	$p < 0.01$ ***	-0.02 / -0.03	0.31 / 0.11	≈ -3.95 / $\approx +0.98$	Ed + ASA	A ₁	1365
مثبت و معنادار؛ نقش شهرهای بزرگ در جذب پروازها تقویت شده.	$p < 0.05$ **	≈ 0.12	0.09	$\approx +0.52$	A ₁ + Pop	A ₂	
مثبت و معنادار؛ مراکز سیاسی - اداری نسبت به شهرهای غیرمرکزی احتمال بیشتری در اتصال.	$p < 0.05$ **	≈ 3.2	0.17	$\approx +0.60$	A ₁ + Cap/Pro	A ₃	
مثبت و معنادار؛ بخشی از مسیرهای ۱۳۵۵ حفظ شده و اثر تاریخی شبکه قابل مشاهده.	$p < 0.05$ **	≈ 2.8	0.16	$\approx +0.48$	A ₁ + HI	A ₄	
شبکه همچنان کم‌تراکم، اما نسبت به ۱۳۶۵ پایدارتر؛ تمرکز بر هاب‌های مرکزی تداوم دارد.	$p < 0.01$ ***	-0.02 / -0.03	0.30 / 0.11	≈ -3.90 / $\approx +0.9$	Ed + ASA	A ₁	1375
مثبت و معنادار؛ شهرهای پرجمعیت‌تر مسیرهای بیشتری جذب کرده‌اند.	$p < 0.05$ **	≈ 0.14	0.11	$\approx +0.58$	A ₁ + Pop	A ₂	
نقش جمعیت پررنگ‌تر شده؛ شکاف بین شهرهای بزرگ و کوچک تقویت شده است.	$p < 0.01$ ***	≈ 0.19	0.15	$\approx +0.58$	A ₁ + Cap/Pro	A ₃	
مثبت و معنادار، وابستگی به مسیرهای گذشته همچنان مشهود است.	$p < 0.05$ **	≈ 2.7	0.19	$\approx +0.41$	A ₁ + HI	A ₄	
شبکه متراکم‌تر اما با الگوی ستاره‌ای پایدار؛ هاب‌های اصلی تقویت شده‌اند.	$p < 0.01$ ***	-0.02 / -0.03	0.28	≈ -3.50 / $\approx +1.1$	Ed + ASA	A ₁	1385
مثبت و معنادار؛ کلان‌شهرهای پرجمعیت مراکز اصلی جذب پرواز هستند.	$p < 0.01$ ***	≈ 0.10	0.08	$\approx +0.65$	A ₁ + Pop	A ₂	
مثبت و معنادار؛ نقش نهادی - سیاسی (پایتخت و مراکز استان) پابرجاست.	$p < 0.1$ *	≈ 2.9	0.11	$\approx +0.63$	A ₁ + Cap/Pro	A ₃	
مثبت و معنادار، سیرهای دهه قبل حفظ شده و وابستگی تاریخی شبکه تقویت شده است.	$p < 0.01$ ***	≈ 3.1	0.25	$\approx +0.55$	A ₁ + HI	A ₄	

Effect Direction & Interpretation	Significanc (p)	t-ratio	Std. Error	Estimate (β)	Effect combination	Stage	Year
شبکه بسیار متراکم‌تر؛ تمرکز در هاب ملی و تقویت هاب‌های منطقه‌ای.	$p < 0.01$ ***	-0.02 / -0.01	0.29 / 0.10	$\approx -3.75 / \approx$ $+1.25$	Ed + ASA	A ₁	1395
مثبت و معنادار؛ جمعیت اثر قوی‌تری دارد؛ شهرهای بزرگ‌تر قطب اصلی پروازها هستند.	$p < 0.01$ ***	≈ 0.14	0.12	$\approx +0.65$	A ₁ + Pop	A ₂	
مثبت و معنادار؛ پایداری و مراکز استان‌ها همچنان مزیت نهادی مثبت دارند.	$p < 0.1$ *	≈ 3.6	0.15	≈ 3.6	A ₁ + Cap/Pro	A ₃	
اثر تاریخی مثبت؛ مسیرهای پایدار گذشته حفظ شده و استمرار ارتباطات مرکزی.	$p < 0.01$ ***	≈ 2.9	0.14	$\approx +0.40$	A ₁ + HI	A ₄	

علامت * و تعداد آن سطح معناداری را در هر برآورد نشان می‌دهند. ($p < 0.01$ ***; $p < 0.05$ **; $p < 0.1$ *)
علامت * به معنای نبود داده جهت انجام برآورد مدل و یا و اگر آشدن مدل است.

نتایج حاصل از تحلیل سنجش نقش و جایگاه شهری بر پایه تمایز مرکزیت/ قدرت بازگشتی و سطح‌بندی چهاربخشی، الگوی روشنی از پویایی‌های کانون‌های اصلی شبکه جریان هوایی کشور را پدیدار کرد: طی پنج دهه گذشته، مرکزیت شبکه از تمرکز مطلق فاصله گرفته و در چند هاب توزیع شده است، در حالی که این پراکنش مرکزیت به انتقال قدرت کنترلی منجر نشده است. یافته‌های به‌روشنی نشان می‌دهند هاب‌های شبکه نظیر مشهد، شیراز، اصفهان یا کیش اگرچه از رهگذر پیوند با مراکز پرتراфик مقدار مرکزیت بازگشتی خود را افزایش داده‌اند و از ظرفیت انتشار/گردش جرابی در شبکه بهره برده‌اند، اما تا زمانی که پیوندهای آن‌ها به گره‌ها کم‌بديل و وابسته گسترش نیابد، جهش متناظری در قدرت بازگشتی آن‌ها رخ نمی‌دهد. به این ترتیب، استمرار تک‌هسته‌ای بودن قدرت در کنار چندمرکزی نسبی بعد مرکزیت شبکه جریان هوایی نه یک ناسازگاری، بلکه پیامد مستقیم دو فرایند متمایز بازتولید مرکزیت و بازتولید قدرت در شبکه است. از طرف دیگر، نتایج نشان می‌دهد جایگاه کانون‌های شبکه شهری تنها تابع پیوندهای خودش نیست، بلکه به کیفیت و پیوندهای شهرهای مجاور و ریخت کلی شبکه نیز وابسته است؛ از همین رو، تغییر رتبه و نفوذ شهری در شبکه شهری کشور مسیرمند و شبکه‌محور است. این دوگانگی مشاهده شده در شبکه جریان هوایی کشور - پراکنش اتصال بدون انتقال قدرت - را تبیین می‌کند که چرا تقویت هاب‌های ثانویه، بدون مهندسی پیوندهای میانجی‌گر، به‌تنهایی به جابه‌جایی هسته مرکزی قدرت نینجامیده است. در عین حال، فقدان شهرهای دروازه‌ای به منزله کمبود میانجی‌های ساختاری میان خوشه‌های منطقه‌ای، وابستگی شبکه را به هاب ملی تشدید و تاب‌آوری سیستمی را تضعیف کرده است.

در مقیاس کلان شبکه، سنجش ساختاری نشان می‌دهد شبکه جریان هوایی ایران در گذر از ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۵ از یک ریخت هسته - پیرامون کم خوشه به الگوی تلفیقی جهان کوچک/مقیاس آزاد تحول یافته است: کاهش محسوس طول مسیر متوسط و افزایش ضریب خوشه‌بندی مؤید تقویت کارایی ارتباطی و پیوندهای جانبی است، و در کنار آن دنباله سنگین توزیع درجه و تمرکز پیوندها بر معدودی هاب، سلسله‌مراتب هاب‌محور را تثبیت می‌کند. این هم‌نشینی به‌خوبی با یافته‌های بخش نخست در مورد آرایش کانون‌های شبکه سازگار است؛ پراکنش مرکزیت در چند هاب پرتراфик با تداوم تمرکز قدرت کنترلی در هسته ملی هم‌زمان رخ داده و منطق عملکردی شبکه را به صورت هم‌تکاملی «اتصال‌پذیری بالا - نفوذ متمرکز» صورت‌بندی می‌کند. به بیان دیگر، بلوغ شبکه به سمت جهان کوچک (مسیرهای کوتاه/ خوشه‌مندی بالا) بدون تلاشی هم‌ارز در پیوندهای میانجی‌گر، مزیت ساختاری هسته را پایدار نگه داشته است.

در سطح تحلیل برآوردهای مدل ERGM، نتایج نشان می‌دهد پویایی‌های کانون‌های مرکزیت/قدرت و دگرگونی‌های ساختاری شبکه و هم‌تکاملی آن‌ها، حاصل اثرگذاری معنادار سه دسته سازوکار است: ۱- اثرات درونی شبکه

یافته‌های برآورد مدل EGRM در تحلیل اثرات درونی ساختاری، عوامل بیرونی و وابستگی زمینه‌ای تاریخی بر تکامل و پویایی شبکه جریان هوایی داخلی ایران نشان می‌دهد در اثرات ساختاری شبکه تداوم ضریب منفی و معنادار عامل Edge در تمام دوره‌ها بیانگر آن است که احتمال شکل‌گیری مسیر جدید به طور کلی پایین است و شبکه به صورت پراکنده باقی مانده است. در مقابل ضریب مثبت برای شاخص ASA نشان می‌دهد فرایند تمرکز روابط حول تعداد محدودی هاب مرکزی - یعنی الگوی ستاره‌ای - به طور پیوسته تقویت شده است. این نتایج با الگوی تمرکز بر اقلیت شهرهای مرکزی هم‌خوانی دارد. طی زمان، تراکم شبکه افزایش یافته اما توزیع پیوندها همچنان به سمت هاب‌های اصلی متمایل است. در مورد عامل جایگاه نهادی - سیاسی شهرها (پایتخت و مراکز استانی) به طور معناداری احتمال ایجاد و حفظ مسیرهای پروازی را افزایش داده است. این مزیت نهادی پایدار مانده و در برخی دوره‌ها تقویت شده است. این یافته، بر اهمیت نزدیکی نهادی - سیاسی شهرها در شکل‌دهی به شبکه‌ها هراسنا است. در مورد اثر جمعیت در تمامی دوره‌ها ضریب مثبت و معنادار داشته و بیانگر این است که شهرهای پرجمعیت مسیرهای بیشتری جذب می‌کنند. در دهه‌های اخیر، این رابطه تقویت شده و کلان‌شهرها به هاب‌های پروازی تبدیل شده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد عامل جمعیت نقش معناداری در شکل‌گیری هاب دارد. ورود متغیر وابستگی تاریخی نشان داد مسیرهای گذشته به طور معنادار بر تداوم ساختار شبکه اثر معنادار دارد. از سال ۱۳۶۵ به بعد، ضریب مثبت و معنادار این عامل، حاکی از آن است که شبکه پروازها نه تنها متأثر از شرایط جمعیتی و نهادی است، بلکه به‌شدت الگوهای ساختاری قبلی شبکه وابستگی ایجاد کرده است. نتایج مدل چهارمرحله‌ای نشان می‌دهد شبکه پروازهای داخلی ایران طی چهار دهه، از یک ساختار پراکنده به شبکه‌ای متراکم‌تر و در عین حال به‌شدت متمرکز بر هاب‌های اصلی تحول یافته است. اثرات ساختاری (گرایش به تمرکز)، اثرات نهادی - سیاسی (مزیت مراکز اداری) و اثرات زمینه‌ای (وابستگی تاریخی) همگی پایدار و معنادار بوده‌اند، در حالی که نقش جمعیت به عنوان نیروی محرک اصلی در جذب مسیرها به طور فزاینده تقویت شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد تکامل شبکه برآیند تعامل هم‌زمان نیروهای ساختاری، نهادی و زمینه‌ای است.

نتیجه‌گیری

در پاسخ به ضرورت‌های ناشی از تحولات بنیادین و الزامات کاربردی گذار نظری در مطالعات روابط بین‌شهری، این پژوهش با تکیه بر یک چارچوب مفهومی - عملیاتی شبکه‌مناطراحی و اجرا شد. در این پژوهش تلاش شد تا تمایز کارکردی میان «اتصال‌پذیری» و «قدرت کنترلی» روشن شود، و هم‌زمان با بازنمایی هسته‌های کانونی شبکه و الگوهای ساختاری کل شبکه حمل‌ونقل هوایی، تصویری چندبعدی از پویایی‌ها و بازاریابی سازمان فضایی شبکه شهری کشور در فضای جریان‌های هوایی ترسیم شود.

Edge منفی و ASA مثبت) که با گزینش‌گری اتصالات و تمرکز بر پیوندها پیرامون معدودی هاب، هم‌زمان پراکنش مرکزیت و پایداری قدرت متمرکز را رقم می‌زند؛ ۲- عوامل بیرونی منتخب (جمعیت و مزیت نهادی پایتخت/ مرکز استانی) که با اثر مثبت پایدار، احتمال ایجاد و ماندگاری مسیرها و فرایند هاب‌سازی را تقویت می‌کنند؛ ۳- وابستگی تاریخی شبکه که با اثر مثبت غالب (و در مقاطعی با نشانه‌های تضعیف مقطعی)، اینرسی مسیرها را توضیح می‌دهد و تداوم ریخت تلفیقی جهان کوچک/مقیاس آزاد شبکه جریان هوایی کشور را پشتیبانی می‌کند.

بر اساس یافته‌های این پژوهش و به منظور غلبه بر چالش‌های تاریخی نظام شهری ایران و گذار از تمرکز قدرت در شبکه جریان هوایی، سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های پیش رو باید بر کاهش تمرکز ساختاری از مسیر تقویت پیوندهای افقی بین منطقه‌ای و توانمندسازی هاب‌های ثانویه/دروازه‌ای استوار شود. افزون بر این، طراحی مداخلات ناگزیر است قیود نهادی (مزیت پایتخت و مراکز استانی و قواعد تخصیص ظرفیت)، الگوهای جمعیتی و تقاضا سفر (جذب‌پذیری کلان شهرها)، و به‌ویژه وابستگی تاریخی شبکه (اینرسی مسیرها و تداوم پیوندهای گذشته) را به طور صریح در نظر گیرد؛ در غیر این صورت، اثربخشی سیاست‌ها محدود شده و به نتایج پایدار و متوازن منتهی نخواهد شد. بنابراین، طراحی پیوندهای میانجی‌کم‌بديل میان خوشه‌ها، تخصیص هدفمند ظرفیت شبکه پروازی، و تنوع‌بخشی هاب‌ها و مسیرهای جایگزین باید هم‌زمان با اصلاحات نهادی و مشوق‌های مبتنی بر شاخص‌های جمعیتی - تقاضامند و در چارچوب نقشه‌راهی همسو با حافظه تاریخی شبکه اجرا شود؛ تنها در این صورت است که پراکنش مرکزیت به بازتوزیع قدرت کنترلی و ارتقای کارایی و تاب‌آوری فضایی شبکه منتهی خواهد شد.

مشارکت نویسندگان

این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول، با راهنمایی نویسنده دوم (نویسنده مسؤل) و مشاوره نویسنده سوم، نگارش شده است. درصد مشارکت نویسنده اول ۶۰ درصد؛ نویسنده دوم (نویسنده مسؤل) ۳۵ درصد؛ نویسنده سوم ۵ درصد است.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر دارای هیچ‌گونه حمایت مالی نبوده و حاصل فعالیت علمی و مستقل نویسندگان است.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی ندارد.

منابع

- Abujder Ochoa, W. A., Iarozinski Neto, A., Vitorio Junior, P. C., Calabokis, O. P., & Ballesteros-Ballesteros, V. (2025). The theory of complexity and sustainable urban development: A systematic literature review. *Sustainability*, 17(1), 3. <https://doi.org/10.3390/su17010003>
- Alderson, A. S., & Beckfield, J. (2004). Power and position in the world city system. *American Journal of Sociology*, 109(4), 811–851. <https://doi.org/10.1086/378930>
- Allen, J. (2010). Powerful city networks: More than connections, less than domination and control. *Urban Studies*, 47(13), 2895–2911. <https://doi.org/10.1177/0042098010377364>
- Allen, J. (2016). *Topologies of power: Beyond territory and networks*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203101926>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2021). Gephi [Computer software]: An open source software for exploring and manipulating networks. Gephi Consortium. Retrieved from <https://gephi.org>
- Boyd, J. P., Mahutga, M. C., & Smith, D. A. (2013). Measuring Centrality and Power Recursively in the World City Network: A Reply to Neal. *Urban Studies*, 50(8), 1641–1647. <https://doi.org/10.1177/0042098012466599>
- Dadashpoor, H., Afaghpoor, A., & Allan, A. (2015). A methodology to assess the spatial configuration of urban systems in Iran from an interaction perspective. *GeoJournal*, 82(1), 109–129. <https://doi.org/10.1007/s10708-015-9671-1>
- Dadashpoor, H., & Afaghpoor, A. (2016). The epistemological and theoretical rationality dominating the spatial organization of urban systems. *Interdisciplinary Studies in the Humanities*, 8(2), 1–28. <https://doi.org/10.22035/isih.2016.214> [In Persian]
- Dadashpoor, H., Mamdoohi, A. R., & Afaghpoor, A. (2014). Analysis of Spatial Organization in Urban Networks Based on People's Air Flows: Empirical Evidence from Iran. *Human Geography Research*, 46(1), 125–150. https://journals.ut.ac.ir/article_50597.html [In Persian]
- Derudder, B., & Taylor, P. J. (2018). Central flow theory: comparative connectivities in the world-city network. *Regional Studies*, 52(8), 1029–1040. <https://doi.org/10.1080/00343404.2017.1330538>
- Ducruet, C., & Beauguitte, L. (2014). Spatial science and network science: Review and outcomes of a complex relationship. *Networks and Spatial Economics*, 14(3–4), 297–316. <https://doi.org/10.1007/s11067-013-9222-6>
- Ducruet, C., Cuyala, S., & El Hosni, A. (2018). Maritime networks as systems of cities: The long-term interdependencies between global shipping flows and urban development (1890–2010). *Journal of Transport Geography*, 66, 340–355. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.10.019>
- Freeman, L. C. (1979). Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks*, 1(3), 215–239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- Iran Civil Aviation Organization (CAO.IR). (2021). Statistical yearbooks of air transport of Iran (1976–2021). Tehran, Iran: Ministry of Roads and Urban Development. <https://caa.gov.ir/air-transport-annual-report> [In Persian]
- Irwin, M. D., & Hughes, H. L. (1992). Centrality and the structure of urban interaction: Measures, concepts, and applications. *Social Forces*, 71(1), 17–51. <https://doi.org/10.1093/sf/71.1.17>
- Lusher, D., Koskinen, J., & Robins, G. (2013). *Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511894701>
- Meijers, E. (2007). From central place to network model: Theory and evidence of a paradigm change. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 98(2), 245–259. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2007.00394.x>
- Neal, Z. (2011). From central places to network bases: A transition in the U.S. urban hierarchy, 1900–2000. *City and Community*. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6040.2010.01340.x>
- Neal, Z. (2014). The devil is in the details: Differences in air traffic networks by scale, species, and season. *Social Networks*, 38, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2014.03.003>
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford University Press.
- Peris, A., Meijers, E., & van Ham, M. (2018). The evolution of the systems of cities literature since 1995: Schools of thought and their interaction. *Networks and Spatial Economics*, 18(3), 533–554. <https://doi.org/10.1007/s11067-018-9410-5>
- Pflieger, G., & Rozenblat, C. (2010). Introduction: Urban networks and network theory: The city as the connector of multiple networks. *Urban Studies*, 47(13), 2723–2735. <https://doi.org/10.1177/0042098010377368>
- Soleimani, M., Nazarian, A., & Yazdani, M. H. (2011). Iran's network cities, with an emphasis on the spatial interpretation of money orders. *Urban and Regional Studies and Research*, 7, 1–30. Retrieved from <https://www.sid.ir/paper/153020/fa> [In Persian]
- Taylor, P. J., Hoyler, M., & Verbruggen, R. (2010). External urban relational process: Introducing central flow theory to complement central place theory. *Urban Studies*, 47(13), 2803–2818. <https://doi.org/10.1177/0042098010377367>
- Taylor, P. J., Walker, D. R. F., Catalano, G., & Hoyler, M. (2002). Diversity and power in the world city network. *Cities*, 19(4), 231–241. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(02)00020-3)
- Wang, B., Liu, C., Sun, S., Piao, J., & Mao, W. (2025). Unveiling the dynamics and determinants of world city network: Insights from global airline data. *Cities*, 157, 105613. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105613>
- Wang, J., Mo, H., & Wang, F. (2014). Evolution of air transport network of China 1930–2012. *Journal of Transport Geography*, 40, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.02.002>
- Wang, P., Stivala, A., Robins, G., Pattison, P., Koskinen, J., & Lomi, A. (2022). MPNet: Program for the simulation and estimation of (p) exponential random graph models for multilevel networks: User manual [Computer software manual]. Swinburne University of Technology; Università della Svizzera italiana; The University of Melbourne; The University of Sydney.
- Zhang, F., Ning, Y., & Lou, X. (2021). The evolutionary mechanism of China's urban network from 1997 to 2015: An analysis of air passenger flows. *Cities*, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103005>
- Ziari, K., Pourahmad, A., Hataminejad, H., & Ahmadvour, M. (2021). Analyzing power and position of the cities in Iran's urban network based on land transportation. *Regional Planning Quarterly*, 11(42), 34–50. [In Persian]



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی