Geographical Urban Planning Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7779

Journal Homepage: www.jurbangeo.ut.ac.ir

Typology of Transit-Oriented Development (TOD) at Metro Stations on Isfahan's Southern Line 1 Using the Node-Place-System Support Model

Homayoon Nooraie [1], Mahsa Fatahian [2], Pouria Salsabilian [3]

1. (Corresponding Author) *Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art of University Isfahan, Isfahan, Iran*
Email: Hnooraie@gmail.com
2. *Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art of University Isfahan, Isfahan, Iran*
Email: fatahian.m74@gmail.com
3. *Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art of University Isfahan, Isfahan, Iran*
Email: pouria.salsabilian30@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
7 June 2024
Received in revised form:
26 August 2024
Accepted:
30 September 2024
Available online:
5 November 2024

Keywords:
Transit Oriented Development, Typology (TOD), Node-Place-System Support model.

ABSTRACT

In recent years, cities have become the primary habitats for humans, with sustainable urbanization emerging as a major concern for modern settlements. Transit-oriented development (TOD) has been introduced as a critical strategy for integrating transportation systems with land use in sustainable planning. A new area of focus within TOD is its categorization, which addresses local variations to create tailored policies and programs for urban development. This study employs a descriptive-analytical method to categorize TOD within a 500-meter radius of seven metro stations in the southern section of Isfahan's Metro Line 1 using the node-place-supportive system model. The goal is to evaluate the integration of transportation and land use systems and provide location-specific recommendations for advancing TOD in Isfahan. Key indicators for categorization were identified through a literature review, followed by data collection via library research and field studies. The stations were analyzed based on these indicators, and the node, place, and supportive system dimensions were calculated for each, forming the basis of the categorization. Results indicate that transport and land use are balanced around Si-o-Se Pol, Kargar, and University stations, while Azadi, Defa-e Moghaddas, and Kuy-e Imam stations are dominated by transportation and Shariati stations by land use. Overall, five distinct TOD categories were identified in the southern section of Isfahan's first metro line.

Cite this article: Nooraie, H., Fatahian, M., & Salsabilian, P. (2024). Typology of Transit-Oriented Development (TOD) at Metro Stations on Isfahan's Southern Line 1 Using the Node-Place-System Support Model. *Geographical Urban Planning Research Quarterly, 12* (3), 83-100.
http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.380033.1968

© The Author (s)

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Urban communities face significant challenges due to the growing reliance on private vehicles and the scarcity of environmental resources, which impede sustainable development. The Transit-Oriented Development (TOD) approach addresses these issues by integrating public transportation with land use and fostering compact, mixed-use environments that offer pedestrian and bicycle-friendly access to transit stations. This strategy considers local variations and supports planners in effectively advancing TOD principles. In Isfahan, rising traffic congestion has amplified interest in TOD. The development of Metro Line 1 presents a unique opportunity to reduce car dependency and promote sustainable urban growth. This study categorizes TOD at seven metro stations along Line 1 in Isfahan and provides practical recommendations for fully implementing TOD principles.

Methodology

This applied research employs a descriptive-analytical method, focusing on categorizing Transit-Oriented Development (TOD) at metro stations to enhance station area planning. Relevant indicators were initially derived from theoretical foundations and then screened based on criteria such as data accessibility, recency, and relevance. The data required for this study included census statistics, reports, revised master plan maps, and metro data from the Isfahan Urban Railway Organization. An extended version of Bertolini's categorization model was applied for data analysis, introducing a new dimension called "System." The Node-Place-System Support (NPS) model evaluates three dimensions: transportation, land use, and system support. Data analysis and final categorization were carried out using ArcMap and Excel software. Finally, after processing the data using Shannon's entropy method in eight stages, the position of each station in the three dimensions of the NPS model was determined, and station categorization was established using 3D charts.

Results and Discussion

The primary aim of Transit-Oriented Development (TOD) is to create urban environments that are both accessible and sustainable by effectively integrating land use and transportation systems. A key aspect of achieving TOD is ensuring that major destinations are within a walkable distance of public transit stations—typically within 500 meters. This study applies the Node-Place-System Support (NPS) model to assess metro stations along Line 1 in Isfahan, focusing on three critical dimensions: Node, Place, and System Support.

The results of the analysis categorize the stations as follows:

Si-o-Se Pol Station scores 0.89 for Node, 0.60 for Place, and 1.00 for System Support, placing it in the N-P- category. This suggests a balanced system that, although stable, has limited potential for further expansion.

Shariati Station has scores of 0.16 for Node, 1.00 for Place, and 0.54 for System Support, falling into the N- category. This indicates an imbalance where land use has been overdeveloped while public transport infrastructure is insufficient to meet demand.

Azadi Station, characterized by an overdeveloped transport infrastructure, falls into the N+ category. It requires more diverse land uses to complement its transport systems effectively.

Daneshgah and Kargar Stations fall into the NP category, demonstrating effective transportation and land use coordination. These stations are well-balanced in terms of land use and transport integration, showing strong potential for sustainable development.

Koye Emam Station also fits within the N+ category, indicating a need to increase land use diversity and mix to enhance the station's functionality and surrounding area.

Defa-e-Moghadas Station, which shows low land use development and public transport capacity scores, is categorized as P-. This highlights the station's need for significant infrastructure and public transport capacity improvements.

These findings emphasize the importance of tailored development strategies for each station, taking into account their specific contexts and needs to improve TOD effectiveness and contribute to sustainable

urban growth.

Conclusion

This study utilizes the Node-Place-System Support (NPS) model to evaluate Transit-Oriented Development (TOD) at metro stations along Line 1 in Isfahan. The findings highlight that each station requires unique strategies to optimize development. Specifically:

Si-o-Se Pol Station needs to maintain a balance between land use and public transport to preserve its stability.

Shariati Station requires better integration between land use and transport infrastructure to address the current imbalance.

Azadi Station should diversify its land use to complement its overdeveloped transport infrastructure effectively.

Daneshgah and Kargar Stations should continue to enhance their coordination between transportation and land use, leveraging their strong potential for sustainable development.

Koye Emam Station needs to increase land use diversity and mix to enhance its functionality and the surrounding area.

Defa-e-Moghadas Station requires significant improvements in amenities, infrastructure, and safe pedestrian pathways to boost both land use development and public transport capacity.

For further advancements in TOD, future studies should explore the impact of local cultural and economic factors, develop hybrid models, and examine the potential role of emerging technologies.,

incorporating community engagement and stakeholder collaboration can provide more comprehensive strategies tailored to the unique needs of each station area. By addressing these factors, Isfahan can more effectively implement TOD principles, leading to sustainable urban growth and reduced dependency on private vehicles.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All authors contributed equally to the conceptualization and writing of this article. Each author has reviewed and approved the content of the manuscript and is in agreement with all aspects of the work. The authors declare that there are no competing interests.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants who contributed to this paper.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری

شاپا الکترونیکی: 2423-7779

Journal Homepage: www.jurbangeo.ut.ac.ir

گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) در ایستگاه‌های جنوب خط یک مترو شهر اصفهان بر مبنای مدل گره–مکان–سیستم پشتیبان

همایون نورائی [۱]، مهسا فتاحیان [۲]، پوریا سلسبیلیان [۳]

۱– نویسنده مسئول، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: hnooraie@gmail.com

۲– گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: fatahian.m74@gmail.com

۳– گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: pouria.salsabilian30@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۳/۱۸

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ چاپ:
۱۴۰۳/۰۸/۱۵

واژگان کلیدی:
توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD)، گونه‌بندی TOD، مدل گره–مکان– سیستم پشتیبان.

چکیده

در سال‌های اخیر، شهرها، به محل اصلی زندگی انسان‌ها تبدیل‌شده است و شهرنشینی پایدار از جمله دغدغه‌های اصلی سکونتگاه‌های شهری امروزی محسوب می‌شود. رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان یکی از راهبردهای یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل و کاربری زمین مطرح‌شده است. گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی، موضوعی نوظهور محسوب می‌شود که به دنبال توجه به تفاوت‌های محلی برای سیاست‌گذاری توسعه پایدار است. این پژوهش با روش توصیفی–تحلیلی به دنبال گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی در فاصله ۵۰۰ متری از هفت ایستگاه مترو واقع در بخش جنوبی خط یک مترو شهر اصفهان با استفاده از مدل گره–مکان– سیستم پشتیبان می‌باشد. هدف از گونه‌بندی ایستگاه‌های مترو موردمطالعه، ارزیابی نحوه یکپارچگی حمل‌ونقل و کاربری زمین و ارائه پیشنهادها مکان محور برای تحقق توسعه پایدار است. بدین منظور ابتدا شاخص‌های گونه‌بندی با مرور ادبیات نظری معتبر استخراج‌شده و داده‌ها با استفاده از روش‌های کتابخانه ای و میدانی جمع آوری می گردد. سپس وضعیت ایستگاه ها از نظر شاخص ها، تحلیل و مقدار سه بعد گره، مکان و سیستم پشتیبانی برای هریک از آنها محاسبه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان می دهد، وضعیت حمل‌ونقل و کاربری زمین در پیرامون ایستگاه‌های سی‌وسه‌پل، کارگر و دانشگاه در حالت تعادل، در ایستگاه‌های آزادی، دفاع‌مقدس و کوی‌امام با غلبه سیستم حمل‌ونقل و در ایستگاه شریعتی با غلبه سیستم کاربری زمین می‌باشد و به طور کلی ۵ گونه توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی در جنوب خط یک مترو اصفهان وجود دارد.

استناد: نورائی، همایون؛ فتاحیان، مهسا و سلسبیلیان، پوریا. (۱۴۰۳). گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) در ایستگاه های جنوب خط یک مترو شهر اصفهان بر مبنای مدل گره–مکان–سیستم پشتیبان. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۲ (۳)، ۱۰۰–۸۳.

http://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.380033.1968

© نویسندگان

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

مقدمه

روند رو به رشد شهرنشینی در قرن بیست و یکم، سبب افزایش تقاضا برای وسایل نقلیه شخصی، کاهش ظرفیت شبکه ارتباطی موجود و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی شده است (Afrin & Yodo, 2020). یکی از دغدغه‌های اصلی جوامع شهری، افزایش خودروهای شخصی در کنار محدودیت منابع محیطی است که همواره توسعه پایدار شهری را تحت شعاع قرار می‌دهد است (سجادی و تقوایی، ۱۳۹۵). ازاین‌رو، توسعه پایدار با محوریت حمل‌ونقل تلاش می‌کند برای پاسخ به تقاضای جابجایی انسان، کالا و اطلاعات، پیشنهادات در دسترس، ایمن و سازگاربامحیط‌زیست ارائه دهد (بهزادفر و گلریزان،۱۳۸۷؛ زالی و منصوری بیرجندی, ۱۳۹۴؛ ساریخانی، ۱۳۹۹). توسعه سیستم حمل‌ونقل عمومی همواره به‌عنوان یک گزینه قابل‌اتکا در جهت دستیابی به حمل‌ونقل پایدار مطرح می‌شود. بااین‌وجود، افزایش سهم حمل‌ونقل عمومی بدون وجود برنامه‌ریزی یکپارچه در ابعاد مختلف شهری امکان‌پذیر نخواهد بود و باعث ناهماهنگی بین عرضه و تقاضا می‌شود (Carl H. Häll, 2008). هدف اصلی برنامه‌ها و سیاست‌های یکپارچه‌سازی کاربری زمین و شبکه حمل‌ونقل، افزایش کارایی حمل‌ونقل عمومی برای کاهش ترافیک در کلان‌شهرها است (Ahmed et al., 2022; Appleyard & Frost, 2020). رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD[1]) به‌عنوان یک راهبرد یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی و کاربری زمین در تحقیقات حوزه حمل‌ونقل پایدار مطرح‌شده است (Hank & Gloria, 2012; Sung & Oh, 2011; Zhang et al., 2019). یکپارچگی سیستم‌های حمل‌ونقل و کاربری زمین به عنوان هدف اصلی رویکرد TOD، به معنای اجرای اقدامات طراحی و برنامه‌ریزی شهری است که حمل‌ونقل عمومی را به‌عنوان محور اصلی توسعه شهری در نظر می‌گیرد و کاربری‌های متنوع (مسکونی، تجاری، خدماتی، تفریحی و...) را به گونه‌ای سازمان‌دهی می‌کند که دسترسی به حمل‌ونقل عمومی بهبود و وابستگی به وسایل نقلیه شخصی کاهش یابد (Cervero & Murakami, 2009). در این رویکرد، تراکم بالا، کاربری مختلط و دسترسی پیاده و دوچرخه به ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی در اولویت قرار می گیرند (بهزادفر و همکاران، ۱۳۹۰). به بافت شهری واقع در پیرامون یک ایستگاه حمل‌ونقل عمومی، منطقه ایستگاهی گفته می شود که به دلیل نزدیکی به حمل‌ونقل عمومی از ویژگی‌های محلی متنوعی نسبت به سایر بافت‌ها برخوردار است (Lyu et al., 2016; Su et al., 2021). چنین تفاوت‌های فضایی، سبب به وجود آمدن دسته تحقیقاتی شده که به گونه‌بندی انواع توسعه‌های مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) در مناطق ایستگاهی می‌پردازند (Higgins & Kanaroglou, 2016). گونه‌بندی TOD یکی از ابزارهای نوظهور در ادبیات نظری این رویکرد است که اخیرا توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است (Higgins & Kanaroglou, 2016). این ابزار عملی باهدف در نظر گرفتن تفاوت‌های محلی و حمایت از برنامه‌ریزان، طراحان و سیاست‌گذاران، به دنبال ایجاد مجموعه هدفمندتری از برنامه‌ها و سیاست‌ها برای ترویج توسعه TOD می‌باشد و با تمرکز بر سطح محلی به ایجاد شرایط مکانی مطلوب برای تقویت بازخورد یکپارچگی نظام کاربری زمین و حمل‌ونقل منجر می‌شود (Kamruzzaman et al., 2014; Su et al., 2021).

با شدت گرفتن مشکل ترافیک خودروهای شخصی و پرشدن ظرفیت شبکه معابر کلان‌شهر اصفهان، توجه مدیران و سیاست‌گذاران شهر به سمت گزینه‌های پایدار ازجمله رویکرد TOD، بیش‌ازپیش معطوف شده است. در حال حاضر شهر اصفهان با مشکلات متعددی همچون افزایش تراکم جمعیت و معضلات ترافیکی، افزایش آلاینده های محیطی و کاهش سطح سلامت شهروندان رو به رو است. این چالش ها نه تنها به بی عدالتی و بی نظمی در شهر دامن می زند، بلکه ادامه روند موجود، تهدیدهای جدی را برای شهر به وجود خواهد آورد. معمولا سفرهای روزانه متعددی به سمت مراکز خاصی از

1. Transit Oriented Development

شهر اصفهان روانه می شوند که کاربری های جاذب سفر نسبتا زیادی در آنها قرار دارد. این امر در صورتی است که با بهبود یکپارچگی میان دو سیستم حمل‌ونقل و کاربری زمین با تکیه بر اصول TOD، می توان محیطی فشرده با کاربری مختلط در نزدیکی ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی ایجاد کرد که تقاضا برای استفاده از مترو و دیگر مدهای حمل‌ونقل عمومی موجود در اصفهان را افزایش دهد و به تبع آن، استفاده از خودروی شخصی، ترافیک و آلودگی های زیست محیطی کاهش یابد. هفت ایستگاه مترو سی‌وسه‌پل، دکتر شریعتی، آزادی، دانشگاه اصفهان، کارگر، کوی امام و دفاع مقدس، در نیمه جنوبی خط یک مترو اصفهان واقع شده اند و انواع کاربری های جاذب سفر اعم از بیمارستان ها، مراکز درمانی، دانشگاه اصفهان، مدارس، واحدهای تجاری خرده فروشی و... را در پیرامون خود جای داده اند. این مناطق ایستگاهی، در اکثر ساعات روز ترافیک شدیدی را تجربه می کنند که لزوم توجه به اصول رویکرد پایدار TOD و دستیابی به یکپارچگی بهینه میان حمل‌ونقل و کاربری زمین را بیش از پیش مشخص می کنند. در همین راستا، پژوهش حاضر با تمرکز بر ویژگی های مکانی و فضایی ایستگاه‌های مترو مذکور، به دنبال گونه‌بندی TOD این مناطق و ارائه پیشنهادات عملی برای تحقق کامل اصول توسعه TOD است.

مبانی نظری

دو رویکرد عمده در توسعه شهری معاصر مشاهده می‌شود. از یک‌سو، حومه‌نشینی و برون نشینی به سبک دهه ۱۹۵۰ به بعد، که با افزایش استفاده از خودرو و سیستم‌های بزرگراهی گسترش‌یافته و همچنان به‌عنوان یک الگوی مسلط باقی مانده است. توسعه پایدار به‌عنوان رویکرد دوم، برای نخستین بار در کمیسیون جهانی محیط‌زیست براتلند، به‌عنوان توسعه‌ای که نیازهای زمان حال را برآورده سازد بدون آنکه نیازهای نسل‌های آینده را به خطر اندازد، تعریف گردید (سلطانی پور و دماری، ۱۳۹۵).

در پاسخ به هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی حومه‌نشینی و رشد پراکنده شهری، بسیاری از برنامه ریزان شهری، توسعه‌دهندگان، معماران از رویکرد توسعه پایدار برای شهرنشینی حمایت کرده‌اند. این پارادایم به حوزه برنامه‌ریزی شهری به‌وسیله رویکردهای نوشهر گرایی، توسعه میان افزا، مسکن مقرون‌به‌صرفه، حفاظت تاریخی و توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) راه‌یافته است (Goetz, 2013).

رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD)، به‌عنوان مفهوم اصلی مورد تمرکز این پژوهش، در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط پیتر کالتورپ و در کتاب «کلان‌شهرهای آمریکایی آینده» معرفی شد. کالتورپ، توسعه TOD را به‌عنوان یک محدوده واقع در فاصله پیاده‌روی ۴۰۰ تا ۶۰۰ متری یا ده‌دقیقه‌ای از یک ایستگاه حمل‌ونقل عمومی تعریف می‌کند که دارای اختلاطی از انواع کاربری‌های مسکونی، خرده‌فروشی، اداری، فضاهای باز و عمومی می‌باشد و استفاده از حمل‌ونقل عمومی، دوچرخه‌سواری، پیاده‌روی را برای ساکنین و شاغلین در حوزه محلی تسهیل می‌کند (Calthorpe, 1993).

بنابراین، توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی، نوعی از توسعه شهری است که با استقرار کاربری‌های مختلط در محیط‌های متراکم، فشرده و پیاده محور پیرامون ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی (به‌ویژه مترو)، زمینه استفاده از خودرو شخصی را کاهش داده و به بهبود سطح زندگی شهری کمک می‌کند (Renne & Listokin, 2019).

رویکرد TOD بر سه بعد اصلی بناشده است (Al-Harami & Furlan, 2020):

- تراکم: تراکم شهری بالاتر در شعاع ۴۰۰ تا ۶۰۰ متری.

- ❖ تنوع: اختلاط کاربری، گزینه‌های مسکن متنوع و مدهای متنوع حمل‌ونقل.
- ❖ طراحی: محیط‌های قابل زندگی، پیاده‌مدار، دسترسی‌پذیر و متصل به یکدیگر

گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD)

گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) یکی از ابزارهای نوظهور در ادبیات نظری این رویکرد می‌باشد که اخیرا توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است (Higgins & Kanaroglou, 2016; Lyu et al., 2016; Phani Kumar et al., 2020). این ابزار عملی باهدف در نظر گرفتن تفاوت‌های محلی، به دنبال ایجاد مجموعه هدفمندی از برنامه‌ها و سیاست‌ها برای ترویج توسعه TOD و ایجاد شرایط مکانی مطلوب جهت تقویت بازخورد یکپارچگی نظام کاربری زمین و حمل‌ونقل می‌باشد (Su et al., 2021).

دو رویکرد برای مفهوم‌سازی و برآورد گونه‌بندی TOD وجود دارد (Higgins & Kanaroglou, 2016). رویکرد اول، ماهیت هنجاری دارد و از پیچیدگی‌ها و شباهت‌های موجود در اجرای TOD استفاده می‌کند تا به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری و حمل‌ونقل امکان استفاده از مجموعه برنامه‌های هدفمندتری را بدهد. رویکرد دوم، مربوط به طبقه‌بندی ایستگاه‌های مترو بر اساس ویژگی‌های TOD ازجمله ریخت‌شناسی (مانند تعداد جهت‌های مترو موجود در ایستگاه، تعداد خیابان‌های موجود در منطقه ایستگاهی) و ویژگی‌های عملکردی (مانند سطح اخلاط کاربری‌ها، تنوع مراکز اقتصادی در یک منطقه ایستگاهی) و غیره است (Lyu et al., 2016; Phani Kumar et al., 2020; Su et al., 2021).

دستیابی به مزایای TOD، نیازمند بررسی نیازها و شناسایی آسیب‌های شهر در کنار پتانسیل‌های ساختاری و عملکردی آن است. در این رابطه، مدل‌های مختلفی جهت بررسی وضع موجود و پیش‌بینی آینده، طراحی و ارائه‌شده است. ۵ مدل بررسی‌شده در مقاله حاضر، در ادامه به تفصیل توضیح داده‌شده‌اند.

مدل اول گونه‌بندی

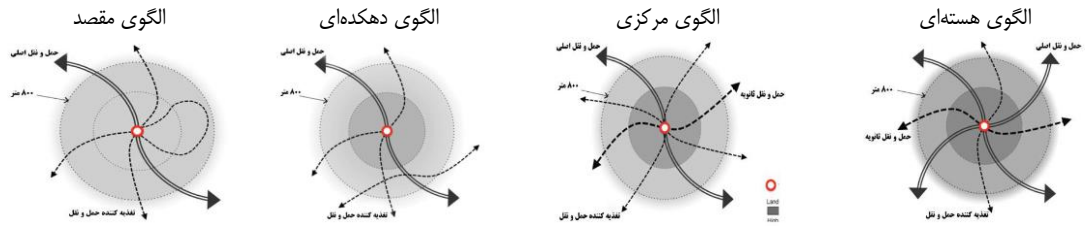
در این مدل (**شکل ۱**)، الگوی TOD تک گره، به طراحی سیستم حمل‌ونقل در اطراف یک ایستگاه مترو بزرگ در یک محله توجه دارد. شعاع دسترسی در این مدل بر اساس جمعیت و تنوع کاربری‌ها متفاوت است و از ۰,۵ تا ۲–۳ کیلومتر می تواند در نظر گرفته شود. الگوی چند گره‌ای مشابه الگوی قبلی است اما به‌جای یک مکان واحد، یک شبکه منطقه‌ای از ایستگاه‌های مترو، اتوبوس، BRT و غیره را شامل می‌شود. هدف اصلی این الگو، رفع محدودیت‌های دسترسی تمام مناطق شهری در اطراف سیستم حمل‌ونقل ریلی و اتوبوس عمومی و کاهش استفاده از خودرو می‌باشد. الگوی کریدوری بر مبنای یک خط مترو یا تراموا یا BRT برنامه‌ریزی می‌گردد (کلانتری و دیگران، ۱۳۹۹).

شکل ۱. مدل اول گونه‌بندی

منبع: کلانتری و همکاران، ۱۳۹۹

مدل دوم گونه‌بندی

در دسته‌بندی دیگری TOD به‌صورت هسته‌ای، مرکزی، دهکده‌ای و مقصد معرفی می‌گردد. TOD هسته‌ای شامل مراکز اصلی اقتصادی و فرهنگی در مرکز شهر یا منطقه تجاری مرکزی هستند که به‌وسیله دو یا چند حالت حمل‌ونقل عمومی مانند ریلی و اتوبوس خدمات‌رسانی می‌شوند. تراکم فعالیت‌های ۱۸ تا ۲۴ ساعته معمولا در شعاع ۴۰۰ متری در اطراف ایستگاه بیشتر از سایر مکان‌ها است (Palette, 2022). TOD مرکزی به‌عنوان مرکز مبدأ و مقصد برای سفرها عمل می‌کند و ترکیبی از گزینه‌های حمل‌ونقل را ارائه می‌دهد. این مراکز دارای حداقل دو مد حمل‌ونقلی و ترکیب و اختلاط کاربری‌ها و آرایش خیابانی می‌باشند که فعالیت عابران پیاده و دوچرخه‌سواران را در شعاع یک‌چهارم مایلی ایستگاه تشویق می‌کنند. TOD دهکده‌ای مراکز کوچک‌تر و محلی هستند و عمدتاً خدمات رفت‌وآمد به محل کار را ارائه می‌دهند. گونه TOD مقصد، محدوده‌هایی اختصاص داده‌شده به یک کاربری یا مرکز شغلی خاص هستند و تراکم معمولا به‌طور مساوی در اطراف ایستگاه‌ها توزیع می‌شود. نمونه‌های این‌گونه در ایستگاه‌های واقع در مجاور دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، مجتمع‌های اداری و دولتی، مراکز خرده‌فروشی، استادیوم‌ها یا پارک‌های بزرگ مشاهده می‌شود (Palette, 2022) (**شکل ۲**).

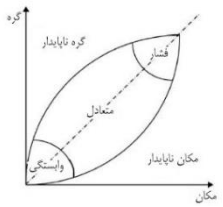


شکل ۲. مدل دوم گونه‌بندی
منبع: Palette, 2022

مدل سوم گونه‌بندی

شناخته‌شده‌ترین مدل گونه‌بندی TOD می‌شود، مدل گره–مکان می‌باشد که توسط برتولینی توسعه‌یافته است (Bertolini, 1999). این مدل به‌وسیله یک نمودار XY نمایش می‌شود که در آن، محور Y نشان‌دهنده دسترسی به یک گره (شاخص گره که تنوع و فراوانی عرضه خدمات حمل‌ونقل عمومی را توصیف می‌کند) و محور X ویژگی‌های یک مکان را نشان می‌دهد (شاخص مکان که اختلاط کاربری‌ها را توصیف می‌کند). ایستگاه‌ها بر اساس دو شاخص بالا، در نمودار مکان‌یابی می‌شوند (**شکل ۳**).

ایستگاه‌های با فعالیت‌های شهری شدید و عرضه کم خدمات حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان «مکان‌های ناپایدار» و ایستگاه‌هایی باعرضه خدمات حمل‌ونقل زیاد اما فاقد تنوع کاربری به‌عنوان «گره‌های ناپایدار» تعریف می‌شوند. بنابراین، رویکرد گره–مکان وسیله‌ای برای ارزیابی همزمان نحوه عرضه حمل‌ونقل و کاربری زمین یک منطقه را فراهم می‌کند و ازآنجایی‌که این دو عنصر برای مفهوم گونه‌بندی TOD اساسی هستند، مطالعات مختلفی تاکنون از این مدل برای گونه‌بندی TOD استفاده کرده‌اند (Chen & Lin, 2015; Groenendijk & Homem de Almeida Correia, 2018; Ibraeva et al., 2020).



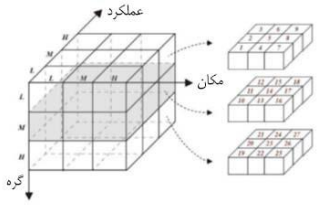
شکل ۳. نمودار گره–مکان در مدل سوم گونه‌بندی

مدل چهارم گونه‌بندی

این مدل، توسعه‌یافته مدل گره–مکان است که بر اساس سه بعد پنهان‌شده در نام اختصاری TOD، یعنی «توسعه[1]»، «مبتنی بر[2]» و «حمل‌ونقل عمومی[3]» پایه‌گذاری شده است (Renne, 2009). بعد «مبتنی بر» شامل شاخص‌های اندازه متوسط بلوک، میانگین فاصله از یک ایستگاه تا مشاغل یا محل سکونت، تراکم چهارراه‌ها و غیره می‌باشد. بعد «توسعه» شامل شاخص‌های اختلاط و موقعیت کاربری‌ها و تراکم است. نهایتاً بعد حمل‌ونقل عمومی شامل تناوب حمل‌ونقل بالا، دسترسی به حمل‌ونقل عمومی و وضعیت حمل‌ونقل عمومی می‌باشد. این مدل می‌تواند با در نظر گرفتن تفاوت‌ها بین ایستگاه‌های مختلف (مانند میزان پیاده‌روی یا تنوع کاربری‌ها در اطراف ایستگاه‌ها) به گونه‌بندی TOD بپردازد (Ibraeva et al., 2020; Lyu et al., 2016).

مدل پنجم گونه‌بندی

مدل گونه‌بندی پنجم تحت عنوان «گره–عملکرد–مکان»، به‌صورت مفهومی در قالب یک مکعب نشان داده می‌شود. مشابه مدل اصلی «گره–مکان»، هر محور با توجه به قدرت اندازه‌گیری کمی به سه درجه زیاد، متوسط و کم تقسیم می شود. بدین ترتیب میزان یکپارچگی کاربری زمین و حمل‌ونقل بررسی می‌گردد. **شکل** دارای سه محور ۲۷ مکعب کوچک را در سیستم مختصات سه‌بعدی تولید می‌کنند که هرکدام نشان‌دهنده یک نوع خاص TOD هستند (Su et al., 2021).



شکل ٤. نمودار گره–عملکرد–مکان در مدل پنجم گونه‌بندی

روش پژوهش

پژوهش حاضر ازنظر هدف، در دسته تحقیقات کاربردی قرار می‌گیرد و از حیث ماهیت، از نوع توصیفی–تحلیلی است. هدف اصلی این پژوهش، گونه‌بندی TOD ایستگاه‌های مترو موردمطالعه برای برنامه‌ریزی بهتر مناطق ایستگاهی می باشد. جهت گونه‌بندی ایستگاه‌ها، ابتدا شاخص‌ها از مبانی نظری موردمطالعه استخراج گردید. سپس شاخص‌های مذکور بر اساس معیارهای «میزان دسترسی به داده‌ها»، «به‌روز بودن داده‌ها» و «میزان اهمیت و دقت» غربالگری شدند و فقط آن دسته از شاخص‌هایی که شرایط هر سه معیار را داشتند، جهت انجام مراحل بعدی پژوهش، مبنا قرار گرفتند.

1. Development
2. Oriented
3. Transit

روش جمع‌آوری داده‌های مربوط به شاخص‌های انتخابی به دودسته روش کتابخانه‌ای و میدانی تقسیم می‌شوند. با استفاده از روش کتابخانه‌ای، داده‌های سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، گزارش‌ها و نقشه‌های طرح تفصیلی بازنگری، داده‌های مترو سال ۱۴۰۱ از سازمان قطار شهری و دیگر داده‌های مکانی موجود در بانک اطلاعاتی شهرداری اصفهان جمع‌آوری گردید. روش میدانی نیز برای به‌روزرسانی داده‌های طرح تفصیلی بازنگری با مراجعه به محدوده موردمطالعه بکار گرفته شد (جدول ۱).

این پژوهش جهت تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده و دستیابی به هدف، از مدلی استفاده می‌کند که توسعه‌یافته گونه‌بندی برتولینی محسوب می‌شود. در این مدل، یک بعد جدید (سیستم) به دو بعد معرفی‌شده توسط برتولینی اضافه می‌شود تا نتایج، سازگاری بیشتری با واقعیت‌های مکانی ایستگاه‌های مترو داشته باشد. در مدل گونه‌بندی NPS[1] علاوه بر ارزیابی دو بعد حمل‌ونقل و کاربری زمین (گره و مکان)، بعد سیستم نیز بررسی می‌شود که شامل تمامی عوامل و ابزارهایی است که برای ایجاد و توسعه یک سیستم حمل‌ونقل در مکان‌های مختلف لازم است مانند سیاست‌های مدیریتی و قانونی، اعتبارات مالی و تامین منابع و غیره (Bertolini, 1999; Ma et al., 2022). همچنین از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات مکانی[2] و اکسل[3] برای تحلیل داده‌ها و دستیابی به گونه‌بندی نهایی استفاده‌شده است.

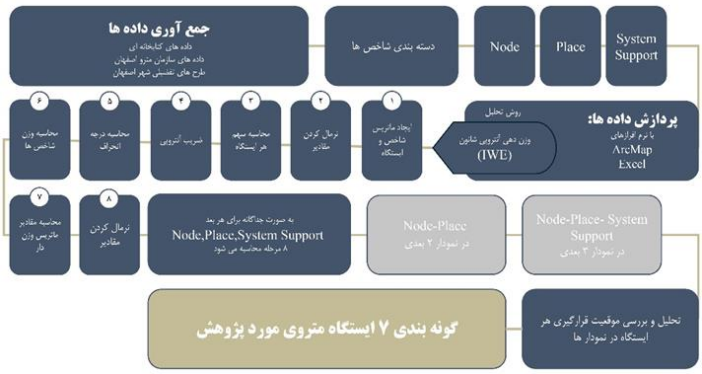
شکل ۵، فرآیند تجزیه‌وتحلیل داده‌ها را طی مراحل مختلف توصیف می کند. گام اول به دسته‌بندی شاخص‌های منتخب بر اساس ابعاد مدل NPS اختصاص دارد. در گام بعدی با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف، ماتریس اولیه داده‌ها به تفکیک شاخص‌ها و ایستگاه‌های موردمطالعه تشکیل گردید و سپس داده‌ها در ۸ مرحله با روش وزن‌دهی آنتروپی شانون پردازش شدند. درنهایت مقادیر هر ایستگاه در هر سه بعد مدل NPS محاسبه‌شده و به کمک نمودارهای سه‌بعدی، موقعیت و گونه‌بندی ایستگاه‌ها مشخص می‌شود.

جدول ۱. معرفی شاخص‌ها و منبع داده‌های آن‌ها

شاخص	تعریف شاخص	منبع داده مکانی	منبع استخراج شاخص
میزان تردد قطارها	مجموع تعداد قطارهایی که از ایستگاه‌ها در بازه زمانی خاصی حرکت کرده‌اند.	سازمان قطار شهری اصفهان (مقیاس: ایستگاهی)	(Li et al., 2019)،(Su et al., 2021)،(Ma et al., 2022)،(Monajem & Ekram Nosratian, 2015)
تعداد ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی	شامل ایستگاه‌های اتوبوس، BRT در شعاع ۶۰۰ متری از مرکزیت ایستگاه‌های مترو قرار دارند	شرکت واحد اتوبسرانی اصفهان (مقیاس: ایستگاهی)	(Yang & Song, 2021)،(Su et al., 2021)
تعداد مسافران	مجموع تعداد مسافر واردشده به هر ایستگاه مترو	سازمان قطار شهری اصفهان (مقیاس: ایستگاهی)	(Yang & Song, 2021)،(Li et al., 2019)Ma et al., 2022)،(Monajem & Ekram Nosratian, 2015)
جمعیت	مجموعه‌ی افرادی که در شعاع ۵۰۰ متری ایستگاه‌های مترو زندگی می‌کنند	داده‌های سرشماری مرکز آمار ایران (مقیاس: منطقه‌ای)	(Papa et al., 2018)،(Huang et al., 2018)،(Monajem & Ekram Nosratian, 2015)،(Singh et al., 2017)
مساحت قطعات تجاری	مساحت قطعات با کاربری تجاری در شعاع ۵۰۰ متری هر ایستگاه	نقشه‌های طرح تفصیلی از شهرداری اصفهان (مقیاس: شهری)	(Ma et al., 2022)،(Shin et al., 2022)
مساحت قطعات مسکونی	مساحت قطعات با کاربری مسکونی در	نقشه‌های طرح تفصیلی از شهرداری	(Ma et al., 2022)،(Papa et al., 2018)

1. Node-place-system support
2. ArcGIS
3. Excell

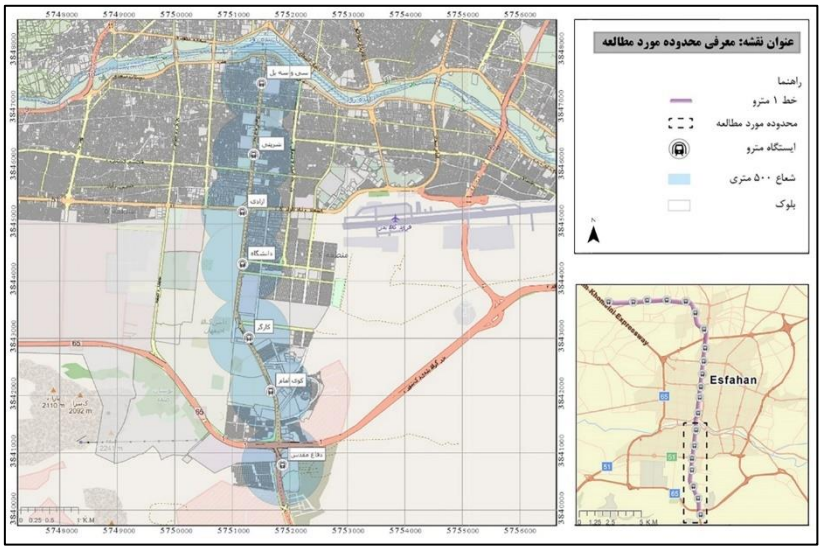
	شعاع ۵۰۰ متری هر ایستگاه	اصفهان (مقیاس: شهری)	
میزان اختلاط کاربری	بررسی تعادل در توزیع افقی کاربری‌ها در شعاع ۵۰۰ متری ایستگاه‌های مترو	نقشه‌های طرح تفصیلی از شهرداری اصفهان (مقیاس: شهری)	(Papa et al., 2018)،(Huang et al., 2018)،(Yang & Song, 2021)،(Higgins` & Kanaroglou, 2016)،(Singh et al., 2017)
تعداد نیروی کار فعال	تعداد افراد ساکن در شعاع ۵۰۰ متری ایستگاه‌های مترو که در سن قانونی اشتغال هستند (۱۵ سال به بالا)	داده‌های سرشماری مرکز آمار ایران (مقیاس: منطقه‌ای)	(Monajem & Ekram Nosratian, 2015)،(Ma et al., 2022)
مرکزیت	میزان اهمیت ایستگاه مترو	تحلیل شبکه در نرم‌افزار GIS با داده‌های حمل‌ونقل عمومی (مقیاس: منطقه‌ای)	(Cao et al., 2020; Monajem & Ekram Nosratian, 2015)
نزدیکی	هر ایستگاه مترو چقدر به سایر ایستگاه‌ها در شبکه حمل‌ونقل شهری نزدیک است.	داده‌های GPS و نقشه شهری از شهرداری اصفهان (مقیاس: منطقه‌ای)	(Cao et al., 2020; Monajem & Ekram Nosratian, 2015)



شکل ۵. فرایند انجام تجزیه‌وتحلیل پژوهش

محدوده موردمطالعه

کلانشهر اصفهان، سومین شهر بزرگ کشور است که روزانه با مشکلاتی همچون انواع آلودگی زیست‌محیطی، ترافیک و ازدحام در شبکه حمل‌ونقل روبروست. وجود این چالش‌ها، اهمیت توجه به سیستم حمل‌ونقل عمومی را در راستای توسعه پایدار اصفهان مشخص می‌کند. خط مترو شماره ۱ اصفهان به طول حدود ۲۰ کیلومتر با ۲۴ ایستگاه به بهره‌برداری رسیده است. قطارها از ایستگاه قدس در شمال اصفهان شروع به حرکت می‌کنند و در ایستگاه دفاع مقدس (صفه) در جنوب شهر متوقف می‌شوند. بر اساس آمار سازمان قطار شهری، از مهرماه تا بهمن‌ماه سال ۱۴۰۱ حدود ۱۰،۲۷۴،۲۶۹ نفر از مترو استفاده کرده‌اند. در پژوهش حاضر، ایستگاه‌های سی‌وسه‌پل، دکتر شریعتی، آزادی، دانشگاه اصفهان، کارگر، کوی امام و دفاع مقدس به دلیل وجود فعالیت‌های اقتصادی، مراکز عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، مراکز آموزشی و بهداشتی، سازمان‌های دولتی، پارک‌ها و فضاهای تفریحی و سرگرمی در پیرامون آنها که تأثیر زیادی در تولید و جذب سفرهای روزانه دارند، برای مطالعه انتخاب‌شده‌اند (شکل).



شکل ٦. نقشه اصفهان و موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه

یافته‌ها

در رویکرد توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD)، دسترسی به مقاصد مختلف و هم‌افزایی میان کاربری زمین و سیستم حمل‌ونقل بر اساس فاصله پیاده‌روی مناسب از ایستگاه‌های عمومی به مراکز فعالیتی گوناگون شکل می‌گیرد. بنابراین مسافت قابل‌قبول پیاده‌روی که به‌عنوان شعاع عملکردی پیاده نیز شناخته می‌شود، نقشی اساسی در اصول این رویکرد دارد. شعاع TOD، معمولا از ۴۰۰ تا ۸۰۰ متر (۱۰ دقیقه پیاده‌روی)، متغیر است. ازجمله استانداردهای قابل‌قبول دیگر می‌توان به یک‌چهارم مایل (۴۰۰ متر) یک‌سوم مایل (۵۰۰ متر)، ۲۰۰۰ فوت (۶۰۰ متر) و نیم مایل (۸۰۰ متر) اشاره کرد (Guerra et al., 2012; Tong et al., 2018). در پژوهش حاضر، شعاع ۵۰۰ متری برای گونه‌بندی ایستگاه‌های مترو در نظر گرفته‌شده است. نحوه تحلیل شاخص‌های پژوهش و نتایج محاسبات هر مرحله در جدول ۲ تشریح شده است.

نرمال کردن مقادیر هر شاخص

برای قرار گرفتن مقادیر هر شاخص در یک بازه مشخص و معتبر، از نرمال‌سازی داده‌ها استفاده‌شده است. برای این منظور، ابتدا کمترین و بیشترین مقدار برای هر شاخص شناسایی و سپس با استفاده از رابطهٔ ۱، داده‌ها نرمال می‌شوند. در فرمول، X_{pq} مقادیر شاخص‌های هر ایستگاه، $min\{X_q\}$کمترین مقدار و $max\{X_q\}$ بیشترین مقدار شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

$$X'_{pq} = \left(X_{pq} - min\{X_q\}\right)/\left(max\{X_q\} - min\{X_q\}\right)$$ رابطهٔ ۱)

محاسبه سهم هر ایستگاه

با تقسیم مقدار نرمال شده شاخص بر مجموع شاخص‌های گره، مکان و سیستم پشتیبان، میزان تاثیر هر ایستگاه در شاخص نهایی محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ ۲)

$$R'_{pq} = X'_{pq} \Big/ \sum_{p=1}^{m} X'_{pq}$$

ضریب آنتروپی

از ضریب آنتروپی برای سنجش یکنواختی توزیع مقادیر شاخص‌ها به ازای هر ایستگاه استفاده می‌شود. بالا بودن ضریب آنتروپی محاسبه‌شده، نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌ها در ایستگاه‌ها توزیع نامنظمی دارند و ایستگاه‌ها در این زمینه یکنواخت و باهم برابر نیستند. برای ایستگاه‌های مترو موردمطالعه، شاخص‌های «تعداد ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی»، «جمعیت» و «مساحت قطعات مسکونی» آنتروپی بالایی دارند و تفاوت زیادی بین مقادیر مختلف آن‌ها یافت می‌شود. از سوی دیگر، شاخص‌های «مرکزیت» و «نزدیکی» آنتروپی پایینی دارند که به این معنی است که مقادیر مختلف آن‌ها به‌شدت، نزدیک به یکدیگر هستند. برای محاسبه ضریب آنتروپی از رابطهٔ ۳ استفاده می‌شود که در آن، q شاخص‌ها، m تعداد ایستگاه‌ها و R'_{pq} میزان تأثیر هر ایستگاه (محاسبه‌شده در مرحله قبلی) را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۳)
$$e_q = \frac{-\sum_{p=1}^{m} R'_{pq} \times \ln R'_{pq}}{In^m}$$

محاسبه درجه‌ی انحراف

در این مرحله، با استفاده از فرمول معکوس آنتروپی، به هر شاخص وزنی نسبت داده می‌شود که بر اساس میزان اطلاعات موجود در داده‌های آن شاخص تعیین می‌گردد. با استفاده از این روش، شاخص‌ها وزن کمتری می‌گیرند که سبب بهبود دقت در محاسبه وزن‌ها و نتیجه نهایی می‌شود.

رابطهٔ ۴)
$$g_q = 1/e_q$$

محاسبه وزن شاخص‌ها (w_q)

هدف از محاسبه وزن هر شاخص، به دست آوردن اهمیت هر یک از آن‌ها در تصمیم‌گیری است. برای این منظور، ابتدا مقادیر معکوس آنتروپی محاسبه می‌شود (مرحله قبلی). سپس با تقسیم معکوس آنتروپی هر شاخص به مجموع مقادیر معکوس آنتروپی تمام شاخص‌ها، وزن هر شاخص به دست می‌آید (رابطهٔ ۵). با به‌کارگیری این روش، شاخص‌هایی که اطلاعات کمتری را ارائه می‌دهند و ارزش آن‌ها در تصمیم‌گیری کمتر است، وزن کمتر و شاخص‌های مهم‌تر، وزن بیشتری می‌گیرند.

رابطهٔ ۵)
$$W_q = g_q / \sum_{q=1}^{n} g_q$$

محاسبه مقادیر ماتریس وزن‌دار

برای محاسبه ماتریس وزن‌دار مطابق معادله زیر، ماتریس بدست آمده از مرحله ۲ در مقادیر وزن هر شاخص ضرب می‌شود و ماتریس نرمال شده وزن‌دار، به تفکیک سه بعد مدل NPS و ایستگاه‌ها بدست می‌آید.

رابطهٔ ۶)
$$\sum_{q=1}^{n} W_q \times X'_{pq}$$

نرمال کردن مقادیر گره، مکان و سیستم پشتیبان

در گام آخر مقادیر گره، مکان و سیستم پشتیبان برای هر ایستگاه، مجددا نرمال می‌شود. این عمل برای اطمینان از وجود شرایط یکسان و دقیق برای مقایسه و گونه‌بندی ایستگاه‌های مترو موردمطالعه انجام می‌گردد.

رابطهٔ ۷)
$$N'_p = \big(N_p - min\{N\}\big)/(max\{N\} - min\{N\})$$

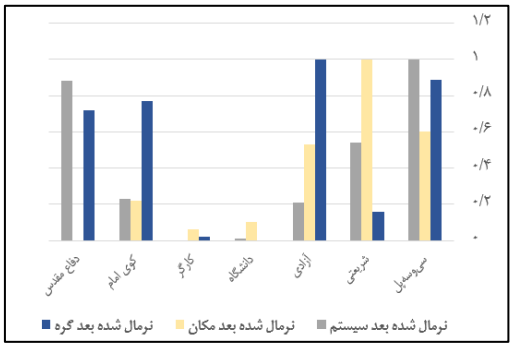
جدول ۲. تجزیه‌وتحلیل شاخص‌های پژوهش

ابعاد مدل NPS	شاخص‌ها	ضریب آنتروپی	درجه انحراف	وزن شاخص‌ها
گره	تعداد تردد قطار	۰/۷۳	۱/۳۶	۰/۳۵
	تعداد ایستگاه‌ها	۰/۸۱	۱/۲۳	۰/۳۱
	تعداد تردد مسافر	۰/۷۴	۱/۳۵	۰/۳۴
مجموع شاخص‌های گره			۳/۹۴	
مکان	جمعیت	۰/۶۹	۱/۰۴	۰/۱۷
	مساحت قطعات مسکونی	۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۱۶
	مساحت قطعات تجاری	۰/۷	۱/۴۲	۰/۲۳
	اختلاط کاربری اراضی	۰/۷۸	۱/۲۸	۰/۲۱
	جمعیت نیروی کار فعال	۰/۷	۱/۴۴	۰/۲۳
مجموع شاخص‌های مکان			۶/۱۵	
سیستم پشتیبان	نزدیکی	۰/۶۱	۱/۶۴	۰/۵۱
	مرکزیت	۰/۶۴	۱/۵۵	۰/۴۹
مجموع شاخص‌های سیستم پشتیبان			۳/۱۹	

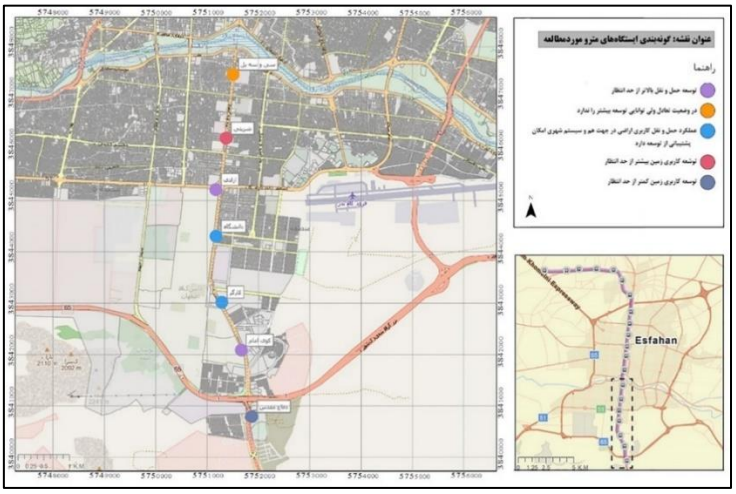
به‌طورکلی، با مقایسه شاخص سیستم پشتیبان با شاخص‌های گره و مکان در سیستم مختصات سه‌بعدی گره–سیستم (NS) و مکان–سیستم (PS)، هفت گونه TOD را می‌توان شناسایی کرد. هنگامی‌که مقادیر شاخص‌های گره و مکان هر دو به شاخص سیستم پشتیبان نزدیک باشند، نشانگر هماهنگی حمل‌ونقل و کاربری اراضی با جهت‌گیری کلان‌شهر است و سیستم شهری برای پشتیبانی از توسعه‌های موردنظر کافی به نظر می‌رسد (نوع NP).

اگر شاخص گره به‌طور قابل‌توجهی کمتر از شاخص سیستم پشتیبان باشد، حاکی از توسعه حمل‌ونقل کمتر از حد انتظار است (نوع N–). در مقابل، اگر شاخص گره بالاتر از شاخص سیستم پشتیبان باشد، به معنی توسعه حمل‌ونقل بیش‌ازحد انتظار است (نوع N+). مقایسه شاخص مکان با سیستم پشتیبان نیز به همین منوال انجام می‌شود دودسته دیگر (نوع P– و P+) شناسایی می‌گردد.

درصورتی‌که هر دو شاخص گره و مکان به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از شاخص سیستم پشتیبان باشند، سیستم شهری نمی تواند از طرح فعلی حمل‌ونقل و کاربری زمین پشتیبانی کند (نوع N+ و P+). چنانچه هر دو شاخص گره و مکان به‌طور قابل‌توجهی کمتر از شاخص سیستم پشتیبان باشند، طرح، قادر به برآورده کردن نیروی محرک توسعه ارائه‌شده توسط سیستم نیست (نوع N– و P–). اگرچه ازلحاظ تئوری نیز باید حالاتی از نوع N+P– یا N-P+ وجود داشته باشد، اما رویکرد TOD بر پایه هم‌زمانی حمل‌ونقل و کاربری زمین و همبستگی مثبت بین آنها قرار دارد. بنابراین، این دو حالت در تحلیل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. گونه‌بندی TOD ایستگاه‌های مترو موردمطالعه بر اساس توضیحات فوق و تحلیل‌های انجام‌شده به شرح جدول و شکل ۷ است. همچنین نتایج مدل گره–مکان–سیستم پشتیبان به تفکیک ایستگاه‌های مترو در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۷. مقایسه نتایج مدل گره–مکان–سیستم پشتیبان در ایستگاه‌های موردمطالعه



شکل ۸. گونه‌بندی ایستگاه‌های مترو موردمطالعه

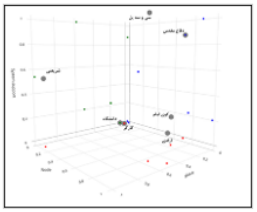
جدول ۳. گونه‌بندی ایستگاه‌های مترو موردمطالعه

ایستگاه‌های مترو موردمطالعه	شاخص‌های پژوهش												نتایج مدل NPS			گونه‌بندی نهایی	
	تعداد تردد قطار	تعداد ایستگاه‌ها	تعداد مسافر	جمعیت	مساحت مسکونی	مساحت تجاری	اختلاط کاربری	تعداد نیروی کار فعال	نزدیکی	مرکزیت	نرمال شده بعد گره	نرمال شده بعد مکان	نرمال شده بعد سیستم	مدل گونه‌بندی	نوع گونه
سی‌وسه‌پل	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۵۱	۰/۰۰	۰/۸۹	۰/۶۰	۱/۰۰	N- P-	در وضعیت تعادل ولی توانایی توسعه بیشتر را ندارد
شریعتی	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۰۳	۰/۱۶	۱/۰۰	۰/۵۴	P+	توسعه کاربری زمین بیشتر از حد انتظار
آزادی	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۰۷	۱/۰۰	۰/۵۳	۰/۲۱	N+	توسعه حمل‌ونقل بالاتر از حد انتظار
دانشگاه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۱	NP	عملکرد حمل‌ونقل و کاربری اراضی در جهت هم و سیستم شهری امکان پشتیبانی از توسعه دارد
کارگر	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۰	NP	عملکرد حمل‌ونقل و کاربری اراضی در جهت هم و سیستم شهری امکان پشتیبانی از توسعه دارد
کوی امام	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۷۷	۰/۲۲	۰/۲۳	N+	توسعه حمل‌ونقل بالاتر از حد انتظار
دفاع مقدس	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۹	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۸۸	P-	توسعه کاربری زمین کمتر از حد انتظار

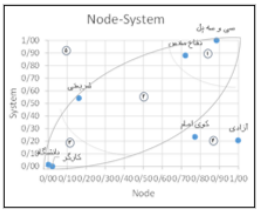
بحث

بر اساس مقادیر بدست آمده برای هریک از ابعاد گره، مکان و سیستم پشتیبان به تفکیک ایستگاه‌های موردبررسی، می توان موقعیت ایستگاه‌های مترو را در سیستم مختصات سه‌بعدی به ترتیب نمودار ۱ مشخص کرد. همچنین نتایج گونه‌بندی TOD ایستگاه‌های مترو موردمطالعه نیز در ادامه به‌تفصیل ارائه می‌شود و در نمودارهای ۲ ، ۳ و ۴ نشان داده‌شده است.

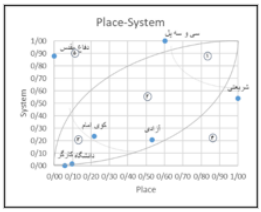
- ایستگاه سی‌وسه‌پل: مقادیر گره، مکان و سیستم پشتیبان به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۶۰ و ۱ می‌باشند. در سیستم مختصات سه‌بعدی گره–مکان–سیستم پشتیبان ، این ایستگاه در گروه N-P– قرار می‌گیرد که حاکی از آن است که سیستم موجود باوجود تعادل کنونی، توانایی توسعه بیشتر را ندارد.
- ایستگاه شریعتی: مقادیر گره، مکان و سیستم پشتیبان، به ترتیب ۰/۱۶، ۱ و ۰/۵۴ می‌باشند. در این ایستگاه، توسعه کاربری زمین بیش‌ازحد انتظار بوده و حمل‌ونقل عمومی ظرفیت لازم را ندارد.
- ایستگاه متروی آزادی: در سیستم مختصات سه‌بعدی گره–مکان– سیستم پشتیبان، توسعه حمل‌ونقل بیش‌ازحد انتظار بوده و تنوع کاربری موجود در اطراف ایستگاه باید افزایش یابد.
- ایستگاه‌های متروی دانشگاه و کارگر: با توجه به نزدیکی مقادیر گره و مکان به مقدار سیستم پشتیبان، این ایستگاه‌ها در گروه NP قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده هماهنگی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل و کاربری زمین با ویژگی‌های بافت پیرامون این ایستگاه‌ها است و سیستم شهری می‌تواند از توسعه‌های آینده پشتیبانی کند.
- ایستگاه کوی امام: در سیستم مختصات سه‌بعدی گره–مکان–سیستم پشتیبان، این ایستگاه در گروه N+ قرار می گیرد که نیازمند افزایش تنوع و اختلاط کاربری‌ها در پیرامون ایستگاه می‌باشد.
- ایستگاه دفاع مقدس: در سیستم مختصات سه‌بعدی گره–مکان–سیستم پشتیبان، این ایستگاه در گروه P– قرار می گیرد که نشان می‌دهد توسعه کاربری زمین کمتر از حد انتظار است و ظرفیت حمل‌ونقل عمومی پیرامون این ایستگاه نسبت به تنوع کاربری موجود، کم است.



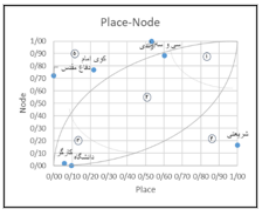
شکل ۹: موقعیت قرارگیری در سیستم مختصات



شکل ۱۰: موقعیت قرارگیری ایستگاه‌ها گره–سیستم



شکل ۱۱: موقعیت قرارگیری ایستگاه‌ها مکان–سیستم



شکل ۱۲: موقعیت قرارگیری ایستگاه‌ها گره–مکان

با بررسی و مقایسه نتایج سایر پژوهش‌ها، مشخص می‌شود که ایستگاه‌های مترو نقش کلیدی در توسعه پایدار شهری دارند. پاپا و همکاران (۲۰۱۸)، بر اهمیت ایستگاه‌های با تراکم پایین تاکید کرده‌اند (Papa et al., 2018) که با وضعیت ایستگاه‌های جنوبی خط ۱ متروی اصفهان همخوانی دارد. در پژوهش دیگر، منجم و اکرام نصرتیان (۲۰۱۵) به ارزیابی تاثیر کاربری زمین و حمل‌ونقل بر عملکرد برخی از ایستگاه‌های مترو شهر تهران پرداخته اند و نتایج پژوهش آنها، علاوه بر مشخص کردن مشکلات ناشی از تراکم پایین و اهمیت دسترسی به ایستگاه‌های موردمطالعه، لزوم ارتقاء و بهبود ایستگاه‌های حاشیه‌ای را روشن می سازد (Monajem & Ekram Nosratian, 2015). تطابق نتایج پژوهش مذکور با تحقیق حاضر می‌تواند نشان‌دهنده وجود الگوهای مشترک در چالش‌های ایستگاه‌های مترو باشد و به شناسایی دقیق راهبردهای توسعه کمک کند. در یک پژوهش دیگر، روسر و همکاران (۲۰۰۸)، به ضرورت پایداری ایستگاه‌ها و دسترسی

بهتر به آنها از طریق بهبود عملکردهای گره- مکان پرداخته شده است (Reusser et al., 2008). این رویکرد نیز با نتایج ایستگاه‌های اصفهان همسو است و بر لزوم بهبود این دو عملکرد تاکید می‌کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش، به دنبال گونه‌بندی توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) در ایستگاه‌های سی‌وسه‌پل، دکتر شریعتی، آزادی، دانشگاه، کارگر، کوی امام و دفاع مقدس واقع در خط ۱ مترو شهر اصفهان می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، ابتدا مدل گونه‌بندی TOD مناسب، شناسایی و سپس داده‌های مربوط به ایستگاه‌های متروی اصفهان با مدل گره-مکان- سیستم پشتیبان دسته‌بندی شد و پنج گونه متفاوت از ایستگاه‌های مترو موردمطالعه ارائه گردید. نتایج بکارگیری مدل گونه‌بندی NPS نشان داد که هر یک از ایستگاه‌های متروی اصفهان، نیازمند راهبردهای خاصی برای توسعه بهینه هستند. ازجمله اینکه ایستگاه سی‌وسه‌پل نیازمند برنامه‌ریزی همسو برای حفظ تعادل بین حمل‌ونقل عمومی و کاربری زمین است و این هماهنگی باید به‌گونه‌ای باشد که هرگونه افزایش دریکی از عوامل منجر به عدم تعادل در توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) پیرامون ایستگاه نشود. ایستگاه شریعتی باید به یکپارچه‌سازی و دسترسی بهتر به سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی بپردازد. ایستگاه آزادی نیازمند تقویت اختلاط کاربری و انجام اقداماتی برای برقراری تعادل بین کاربری‌های مختلف مسکونی، تجاری و اداری برای جلوگیری از تمرکز بیش‌ازحد یک نوع کاربری در پیرامون ایستگاه است. در شعاع ۵۰۰ متری ایستگاه کارگر، توسعه کاربری‌های مختلط به‌منظور افزایش تعاملات اجتماعی و اقتصادی در محدوده و افزایش امنیت محیط، پیشنهاد می‌شود. برای ایستگاه دفاع مقدس، اتخاذ سیاست‌هایی جهت جذب جمعیت به منطقه با ارائه خدمات و امکانات رفاهی مناسب، مانند پارک‌ها، مراکز خرید و امکانات فرهنگی و تفریحی، و ایجاد مسیرهای پیاده‌روی ایمن با روشنایی مناسب و امنیت بالا که می‌تواند تعاملات اجتماعی را افزایش داده و شرایط زندگی بهتری را فراهم کند، ضروری است. پیشنهادات فوق می‌تواند به بهبود شرایط مکانی ایستگاه‌ها و افزایش بهره‌وری سیستم مترو در شهر اصفهان کمک کند.

در راستای افزایش تحقق‌پذیری توسعه مبتنی بر حمل‌ونقل عمومی (TOD) و مدل‌های مرتبط با آن نظیر مدل NPS، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی به بررسی تأثیر عوامل محلی، فرهنگی و اقتصادی بر عملکرد مترو بپردازند. توسعه مدل‌های هیبریدی دربرگیرنده شاخص‌های جدید پایداری محیط‌زیستی و فناوری‌های هوشمند برای افزایش دقت مدل‌های گونه‌بندی TOD، بررسی نقش فناوری‌های نوین و پلتفرم‌های دیجیتال در بهینه‌سازی عملکرد ایستگاه‌ها، مطالعه تأثیر تسهیلات حمل‌ونقل عمومی چندگانه برافزایش استفاده از مترو و توسعه مدل‌های پویای گره-مکان دربرگیرنده روش‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای انعکاس بهتر تغییرات فضایی و زمانی، از دیگر زمینه‌های پژوهشی پیشنهادی مهم در این حوزه به شمار می‌رود.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد منافع

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

تقدیر و تشکر

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

منابع

بهزادفر، مصطفی و گلریزان، فاطمه. (۱۳۸۷). حمل‌ونقل پایدار. *راه و ساختمان، ۶*(۵۵)، ۱۶-۲۹.

زالی، نادر و منصوری، سارا. (۱۳۹۴). تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل پایدار در افق ۱۴۰۴ ش کلانشهر تهران (روش تحلیل ساختاری). *برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)*، ۱۹، ۱-۱۳.

ساریخانی، شادی. (۱۳۹۹). حمل‌ونقل و توسعه پایدار. هشتمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط‌زیست، شیروان، صفحات ۲۹-۴۵.

سلطانی‌پور، فرزانه و دماری، بهزاد. (۱۳۹۵). وضعیت توسعه پایدار در ایران. *مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی*، ۱۴(۴)، ۱-۱۴.

سجادی، مسعود و تقوایی، مسعود. (۱۳۹۵). ارزیابی و تحلیل شاخص‌های حمل‌ونقل پایدار شهری. *معماری و شهرسازی پایدار*، ۴(۱)، ۱-۱۸. DIO: 20.1001.1.25886274.1395.4.1.1.8

کلانتری، محسن؛ احدنژاد روشتی، محسن؛ مشکینی، ابوالفضل و نوروزی، محمد جواد. (۱۳۹۹). تحلیل ساختاری-کارکردی توسعه حمل‌ونقل محور در محدوده طرح ترافیک کلانشهر تهران. *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۰(۳۸)، ۱۲۵-۱۴۲. Dor: 20.1001.1.22516735.1399.10.38.9.9

References

Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. *Sustainability, 12*(11), 4660. https://doi.org/10.3390/su12114660.

Ahmed, A. N. R., Yoshida, Y., & Arnott, R. J. (2022). A new way of evaluating the optimality of a transportation improvement in a class of urban land use models. *Journal of Urban Economics, 128*, 103406. https://doi.org/10.1016/j.jue.2021.103406.

Al-Harami, A., & Furlan, R. (2020). Qatar National Museum - Transit oriented development: The masterplan for the urban regeneration of a green TOD. *Journal of Urban Management, 9*(1), 115–136. https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.09.003.

Appleyard, B., & Frost, A. R. (2020). Livability as a framework for understanding and guiding transportation and land use integration. In Transportation, Land Use, and Environmental Planning (pp. 151–167). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815167-9.00008-6.

Behzadfar, M., & Golrizan, F. (2010). Sustainable transportation. *Rah va Sakhteman, 6*(55), 16–29. [In Persian].

Bertolini, L. (1999). Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice and Research, 14*(2), 199–210. https://doi.org/10.1080/02697459915724.

Calthorpe, P. (1993). *The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream*. Princeton Architectural Press.

Cao, Z., Asakura, Y., & Tan, Z. (2020). Coordination between node, place, and ridership:

Comparing three transit operators in Tokyo. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 87*, 102518. https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102518.

Chen, X., & Lin, L. (2015). The node-place analysis on the "hubtropolis" urban form: The case of Shanghai Hongqiao air-rail hub. *Habitat International, 49*, 445–453. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.06.013

Goetz, A. (2013). Suburban sprawl or urban centres: Tensions and contradictions of smart growth approaches in Denver, Colorado. *Urban Studies, 50*(11), 2178–2195. https://doi.org/10.1177/0042098013478238.

Groenendijk, L., & Homem de Almeida Correia, G. (2018). Incorporating the travellers' experience value in assessing the quality of transit nodes: A Rotterdam case study. *Case Studies on Transport Policy, 6.* https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.07.007.

Guerra, E., Cervero, R., & Tischler, D. (2012). *Half-mile circle: Does it best represent transit station catchments?*. World Transit Research. https://doi.org/10.3141/2276-12.

Häll, C. H., Lundgren, J. T., & Värbrand, P. (2008). Evaluation of an integrated public transport system: a simulation approach. *Archives of Transport*, *20*(1-2), 29-46.

Hank, D., & Gloria, O. (2012). *The new transit town: Best practices in transit-oriented development*. Island Press, Washington.

Higgins, C. D., & Kanaroglou, P. S. (2016). A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region. *Journal of Transport Geography, 52*, 61–72. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.02.012.

Huang, R., Grigolon, A., Madureira, M., & Brussel, M. (2018). Measuring transit-oriented development (TOD) network complementarity based on TOD node typology. *Journal of Transport and Land Use, 11*(1), 305–324. http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2018.1110.

Ibraeva, A., Correia, G. H. de A., Silva, C., & Antunes, A. P. (2020). Transit-oriented development: A review of research achievements and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, 132*, 110–130. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.018.

Kalantari, M., Ahadnejad Roshti, M., Meshkini, A., & Noroozi, M. J. (2020). Structural-functional explanation of the Physical development on transit oriented development in metropolitan cities (Case study: Tehran metropolitan). *Regional Planning Quarterly*, *10*(38), 125–142. Dor: 20.1001.1.22516735.1399.10.38.9.9. [In Persian].

Kamruzzaman, Md., Baker, D., Washington, S., & Turrell, G. (2014). Advance transit oriented development typology: Case study in Brisbane, Australia. *Journal of Transport Geography*, *34*, 54–70. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.002.

Li, Z., Han, Z., Xin, J., Luo, X., Su, S., & Weng, M. (2019). Transit oriented development among metro station areas in Shanghai, China: Variations, typology, optimization, and implications for land use planning. *Land Use Policy*, *82*, 269–282. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.003.

Lyu, G., Bertolini, L., & Pfeffer, K. (2016). Developing a TOD typology for Beijing metro station areas. *Journal of Transport Geography*, *55*, 40–50. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.07.002.

Ma, J., Shen, Z., Xie, Y., Liang, P., Yu, B., & Chen, L. (2022). Node-place model extended by system support: Evaluation and classification of metro station areas in Tianfu new area of Chengdu. Frontiers in Environmental Science, 10. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.990416.

Monajem, S., & Ekram Nosratian, F. (2015). The evaluation of the spatial integration of station areas via the node place model; an application to subway station areas in Tehran. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 40*, 14–27. https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.009.

Papa, E., Carpentieri, G., & Angiello, G. (2018). *A TOD classification of metro stations: An application in Naples. In: Smart Planning: Sustainability and Mobility in the Age of Change. Green Energy and Technology.* (pp. 285–300). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77682-8_17.

2030 Palette. (n.d.). Transit-oriented development. Retrieved December 5, 2024, from https://2030palette.org/transit-oriented-development/.

Phani Kumar, P., Ravi Sekhar, Ch., & Parida, M. (2020). Identification of neighborhood typology

for potential transit-oriented development. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *78*, 102186. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.015.

Renne, J. L. (2009). From transit-adjacent to transit-oriented development. *Local Environment*, *14*(1), 1–15. https://doi.org/10.1080/13549830802522376.

Renne, J. L., & Listokin, D. (2019). The opportunities and tensions of historic preservation and transit oriented development (TOD). *Cities*, *90*, 249–262. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.040.

Reusser, D., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., & Scholz, R. (2008). Classifying railway stations for sustainable transitions – balancing node and place functions. *Journal of Transport Geography*, *16*, 191–202. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.05.004.

Sajadi, M., & Taghvaee, M. (2016). Evaluation and analysis of sustainable urban transport Indicators. *Sustainable Architecture and Urban Planning*, *4*(1), 1–18. Dor: 20.1001.1.25886274.1395.4.1.1.8. [In Persian].

Sarikhani, S. (2020). Transportation and sustainable development. *In Proceedings of the 8th National Conference on Urban Planning, Architecture, Civil Engineering, and Environment (pp. 29–45). Shirvan.* [In Persian].

Shin, Y., Kim, D.-K., & Kim, E.-J. (2022). Activity-based TOD typology for Seoul transit station areas using smart-card data. *Journal of Transport Geography*, *105*, 103459. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103459.

Singh, Y. J., Lukman, A., Flacke, J., Zuidgeest, M., & Van Maarseveen, M. F. A. M. (2017). Measuring TOD around transit nodes—Towards TOD policy. *Transport Policy*, *56*, 96–111. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.013.

Soltanipour, F., & Damari, B. (2016 The Situation of Sustainable Development in Iran. *Sjsph*, *14*(4), 1–14. http://sjsph.tums.ac.ir/article-1-5446-fa.html. [In Persian].

Su, S., Zhang, H., Wang, M., Weng, M., & Kang, M. (2021). Transit-oriented development (TOD) typologies around metro station areas in urban China: A comparative analysis of five typical megacities for planning implications. *Journal of Transport Geography*, *90*, 102939. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102939.

Sung, H., & Oh, J.-T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. *Cities*, *28*(1), 70–82. https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.09.004.

Tong, X., Wang, Y., Chan, E. H. W., & Zhou, Q. (2018). Correlation between transit-oriented development (TOD), land use catchment areas, and local environmental transformation. *Sustainability*, *10*(12), 1–21. http://dx.doi.org/10.3390/su10124622.

Yang, L., & Song, X. (2021). TOD typology based on urban renewal: A classification of metro stations for Ningbo City. *Urban Rail Transit*, *7*(3), 240–255. https://doi.org/10.1007/s40864-021-00153-8.

Zali, N., & Mansouri, S. (2015). Analysis of key factors affecting sustainable transportation development in Tehran metropolis horizon 2025 (structural analysis method). *Planning and Spatial Development (Modares Human Sciences)*, *19*(2), 1–13. [In Persian].

Zhang, Y., Marshall, S., & Manley, E. (2019). Network criticality and the node-place-design model: Classifying metro station areas in Greater London. *Journal of Transport Geography*, *79*, 102485. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102485.