Journal Research and Urban Planning

Autumn 2022. Vol 13. Issue 50

ISSN (Print): 2228-5229 - ISSN (Online): 2476-3845

Research Paper

Evaluation of Transit Oriented Development (TOD) via Developing Node-Place Model and Cluster Analysis , Mashhad

Faezeh Fatemipour [*1], Rokhshad Hejazi [2], Seyed Ali Jozi[3] ,Morteza Akbari[4]

1, Ph.D. Candidate., Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2, Faculty Member, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3, Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4, Assistant professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received:2020/11/30
Accepted: 2021/03/24
PP: 160-173

Use your device to scan and read the article online

Keywords:
Transit oriented development, TOD, Ward Method, clustering, Node-place model, Mashhad

Abstract

Transit oriented development (TOD) is a strategy for integrating land use and public transportation systems in urban areas around metro and BRT stations. TOD means maximum density, maximum diversity, pedestrian facilities, public spaces around stations, and design of stations as leisure centers within a 10-minute walk of transportation stations. This research was carried out with the aim of clustering 9 stations on line 1 of Mashhad metro, by developing a node-place model in TOD areas and using Ward cluster analysis. The present research is applied-evaluation in terms of purpose and descriptive-analytical and quantitative in terms of nature and method. Data analysis was also performed using Execle and Arc map software. In this study, municipal data were used; And land use information was prepared in the field and entered into Arc map software. To achieve this goal, a circle with a radius of 500 meters was drawn to the center of each station and three indicators of place, node and access were evaluated. In the next step, the scatter diagram of the node-place model was drawn. The stations were clustered by adding access criteria (including IPCA and bicycle route indicators). The results of the node-place diagram show that the average place criterion is higher than the node. The average location is 0.303 and the average node is 0.274. Also, all but one station is in a balanced area. Ward clustering results show; By adding access criteria, the position of the stations in the clusters changes and they are classified into four general categories. Also, the degree of correlation between the two criteria of place and node with positive access. But this number is very low for access and node and r= 0.12 and for access and place r= 0.6. In addition, it can be said that the standard of the node decreases from the city center to the surrounding area. The place criterion is affected by the main intersections and is more in the old neighborhoods of commercial units and population. Accessibility in new neighborhoods has increased due to more intersections and smaller urban blocks.

Citation: **:** Fatemipour, F; Hejazi, R; Jozi, S A; Akbari, M (2022): Evaluation of Transit Oriented Development (TOD) via Developing Node-Place Model and Cluster Analysis , Mashhad, Journal Research and Urban Planning, Vol 13, No 50, PP 160-173.

DOI: 10.30495/JUPM.2022.5536

*. **Corresponding author:** Rokhshad Hejazi

Address: Faculty Member, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Tell: +989034607752

Email: hejazirokhshad2000@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Transit-oriented development (TOD) is a planning tool which integrates transport and land use. It is typically transmitted as the development of transit stations around high-density mixed land use and walkable and cycling-friendly designed environments. Density, Diversity and Design, Destination accessibility and Distance to transit disseminated as five of the most important dimensions of TOD. One approach to describing and understanding the characteristics of TOD centers is TOD typology. Bertolini's (1999) node-place model provides an initial framework. This model develop a quantitative station area typology. This model considers two dimensions of stations: nodes and places. In the present study, according to the initial node-location model, suitable indicators for both location and node criteria were presented. In the second stage, in order to complete the criteria and create suitable areas for walking and cycling, two IPCA factors and the amount of bicycle paths in each buffer were examined and added to the initial model as the third dimension. In the third stage, with the help of Pearson coefficient, the effect of node and location criteria on the third dimension of the model was investigated. Thus, the metropolis of Mashhad in northeastern Iran was selected to implement TOD areas. The population of the city has increased sixfold since 1970.

Methodology

Nine stations from a Mashhad metro line in the Vakilabad area were selected for the study. According to the average distance of stations from each other, which is about 840 meters, a buffer with a radius of 500 meters from the center of the station was selected as the study area. In the present study, according to the basic concept of the node-place model, the following indicators were selected to calculate the TOD and classify them. Place: Population, number of commercial units, diversity. Node: access to buses, access to bicycles, bicycle parking. To complete the analysis, the access criterion was added to the previous two criteria. Access: IPCA, bike lane length.Ward method was used for classification.

Results and discussion

The results show that the mean place index was higher than the node. The average place is 0.303 and the average node is 0.274. With a general look at the node-place diagram, it can be said that although most stations are present in the balanced area, but due to the lack of suitable conditions TOD areas are located at the bottom of the diagram and close to the dependence area. It is not possible to examine all the effective factors in TOD regions by examining the two criteria of node and place. Therefore, by adding the third dimension to this chart, the survey of stations will be more accurate. The calculation of the IPCA index for nine stations varies from 0.229 for Park Mellat station to 0.676 for Hafez station; And shows where the area is in terms of accessibility to the station. There were no bike lanes at the Namayeshgah and Eqbal stations. Sayad Shirazi is close to 500 meters, Hafez and Kowsar are between 500 and 1000 meters, Haft-e- Tir, Hashemieh, Honaristan and Mellat Park are more than 2000 meters long. It seems that the authorities have started creating routes from the entrance of the street. The results show that the stations are divided into 4 main branches. The degree of correlation between place and node and design is positive. Therefore, the position of many stations has changed due to the addition of a design index.

Conclusion

According to the results, it is clear that transportation facilities are not suitable for the existing user .However, it seems that in some stations, such as Mellat Park, the amount of node is higher and this amount has decreased towards the end of the street; However, this has increased at stations where the flyover connects the two sides of the street; Which could be due to the increase in bus lines around the flyover.

فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری

پاییز ۱۴۰۱، سال ۱۳، شماره ۵۰

شاپا چاپی: ۵۲۲۹- ۲۲۲۸ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵- ۲۴۷۶

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی (TOD) با توسعه مدل مکان-گره و تحلیل خوشه‌ای، مشهد

فائزه فاطمی پور[۱]، رخشاد حجازی [۲]، سید علی جوزی [۳]، مرتضی اکبری [۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استاد، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴- استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۴

شماره صفحات: ۱۷۳-۱۶۰

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

چکیده

توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی (TOD) یک استراتژی برای ادغام کاربری اراضی و سیستم حمل و نقل عمومی در مناطق شهری در اطراف ایستگاه‌های مترو و BRT است. TOD به معنای حداکثر تراکم، حداکثر تنوع کاربری، ایجاد امکانات برای عابرپیاده، ایجاد فضاهای عمومی در اطراف ایستگاه‌ها و طراحی ایستگاه‌ها به صورت مراکز تفریحی، در محدوده ای با ۱۰ دقیقه پیاده‌روی از ایستگاه‌های حمل و نقل است. این تحقیق با هدف خوشه‌بندی ۹ ایستگاه در خط یک مترو مشهد، با توسعه مدل مکان-گره در مناطق TOD و بهره‌گیری از تحلیل خوشه‌ای Ward انجام گرفت. تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی_ارزیابی و از نظر ماهیت و روش انجام توصیفی-تحلیلی و کمی است. همچنین تجزیه و تحلیل اطلاعات به کمک نرم افزارهای Execle و Arc map صورت گرفته است. در انجام این پژوهش از داده‌های شهرداری استفاده گردید؛ و اطلاعات کاربری اراضی به صورت میدانی تهیه و وارد نرم افزار Arc map شد. برای دستیابی به این هدف دایره‌ای به شعاع ۵۰۰ متر به مرکزیت هر ایستگاه رسم گردید و سه شاخص مکان، گره و دسترسی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله بعد، نمودار اسکاتر مدل مکان-گره رسم گردید. و با اضافه کردن معیار دسترسی (شامل شاخص‌های IPCA و مسیر دوچرخه) به خوشه‌بندی ایستگاه‌ها پرداخته شد. نتایج نمودار مکان-گره نشان می‌دهد که به صورت میانگین معیار مکان از گره بالاتر است. به صورتی که میانگین مکان ۰,۳۰۳ و میانگین گره ۰,۲۷۴ است. همچنین همه ایستگاه‌ها به جز یک مورد در منطقه متعادل قرار دارند. نتایج خوشه‌بندی Ward نشان می‌دهد؛ با اضافه کردن معیار دسترسی موقعیت ایستگاه‌ها در خوشه‌ها تغییر کرده و در چهار دسته کلی طبقه‌بندی می‌گردند. همچنین میزان همبستگی بین دو معیار مکان و گره با دسترسی مثبت است. ولی این عدد برای دسترسی و گره بسیار کم و میزان r ۰,۱۲ و برای دسترسی و مکان r ۰,۶ است. به علاوه می‌توان گفت معیار گره از مرکز شهر به اطراف کاهش پیدا می‌کند. معیار مکان متاثر از تقاطعات اصلی است و در محلات قدیمی واحدهای تجاری و جمعیت بیشتر است. معیار دسترسی در محلات جدید به دلیل تقاطعات بیشتر و بلوک‌های شهری کوچکتر افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی:
توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی (TOD)، روش Ward، خوشه‌بندی، مدل مکان-گره، مشهد.

استناد: فاطمی پور، فائزه، حجازی، رخشاد، جوزی، سید علی، اکبری، مرتضی، (۱۴۰۱): **ارزیابی مدل توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی (TOD) با توسعه مدل مکان-گره و تحلیل خوشه‌ای، مشهد**، فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال۱۳، شماره ۵۰، مرودشت، صص ۱۶۰- ۱۷۳.

DOI: 10.30495/JUPM.2022.5536

[۱]. **نویسنده مسئول:** رخشاد حجازی

نشانی: استادیار، گروه محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

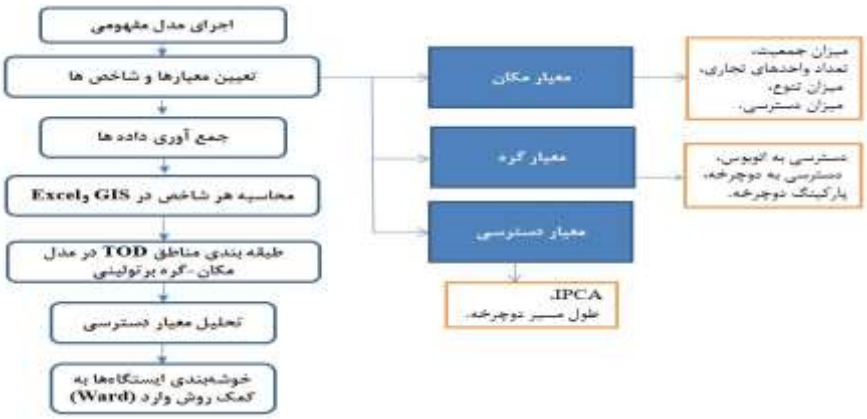
تلفن: ۰۹۰۳۴۶۰۷۷۵۲

پست الکترونیکی: hejazirokhshad2000@gmail.com

مقدمه

در کشورهای در حال توسعه، شهرها با سرعتی بی سابقه در حال گسترش هستند(Khademnejad et al., 2020: 86). پیش بینی می‌شود که جمعیت آنها در سال ۲۰۵۰ به رقم ۵,۵ میلیارد نفر افزایش پیدا کند؛ این افزایش جمعیت وابستگی به خوردرو را افزایش دهد (Suzuki et al., 2013: 3). در نتیجه از اواخر دهه۸۰ میلادی سیاست‌هایی برای جایگزین کردن خودروها ارائه گردید. به صورتی که در کنار بهبود در زیر ساخت‌ها و خدمات حمل و نقل عمومی، سیاست‌هایی با عنوان‌های رشد هوشمند، شهرنشینی جدید و توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی[1](TOD) مطرح شد (Olaru & Curtis, 2015: 6; Ghahremani et al., 2020: 183). هدف از توسعه مبتنی بر حمل و نقل عمومی (TOD)، گسترش حمل و نقل عمومی و محیطی مناسب برای پیاده‌روی است. (Nasri & Zhang, 2014: 172) . اجرای TOD باعث بهبود در اثر بخشی حمل و نقل و قابلیت دسترسی در جوامع امروزی می‌شود (Currie, 2006: 2). TOD به معنای حداکثر تراکم، حداکثر تنوع کاربری، ایجاد تسهیلات برای عابرپیاده، ایجاد فضاهای عمومی در اطراف ایستگاه‌ها و طراحی ایستگاه‌ها به صورت مراکز تفریحی؛ (Thomas et al., 2018: ۱۲۰۱) در محدوده‌ای با ۱۰ دقیقه پیاده‌روی از ایستگاه‌های حمل و نقل است (Renne & Listokin, 2019: 249; Motieyan & Mesgari, 2017: 401) . معیارهای مورد بررسی برای محاسبه TOD، در منابع مختلف متفاوت است. به طوری که تاکید TOD بر روی سه معیار تراکم، تنوع و طراحی است (Huang, 2018: 5). یکی از جامع‌ترین منابع TOD Standard 2017 است که در آن هشت معیار مورد بررسی قرار می‌گیرد که شامل: زیرساخت‌های پیاده روی و دوچرخه سواری، بررسی شبکه اتصالات و تقاطعات شهر، میزان حمل و نقل ریلی، میزان اختلاط کاربری اراضی، تراکم مسکونی و اشتغال در منطقه و میزان زمین‌های شهری مورد استفاده برای خودرو است (ITDP,2017: 4).

با توجه به اهمیت بهره‌گیری مناسب از فضای شهری، کاهش استفاده از خودرو و آلودگی هوا، تشویق مردم به استفاده از دوچرخه و پیاده‌روی و بهبود کیفیت محیط شهری، نیاز به بازنگری در مدیریت هماهنگ حمل و نقل شهری و برنامه‌ریزی کاربری اراضی مشهود است. بنابراین در تحقیق حاضر به کمک مدل اولیه مکان-گره شاخص‌های این دو معیار (مکان و گره) در ۹ ایستگاه از خط یک متروی مشهد مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله دوم برای تکمیل معیارها و ایجاد مناطق مناسب برای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری دو فاکتور IPCA[2] و میزان مسیرهای دوچرخه در هر بافر بررسی و به عنوان بعد سوم (دسترسی) به مدل اولیه اضافه گردید. همچنین با بررسی هر سه معیار مکان، گره و میزان دسترسی به کمک مدل وارد[3] ایستگاه‌ها خوشه‌بندی شدند. تحلیل خوشه بندی به عنوان یک روش آماری برای ساده سازی تجزیه و تحلیل مجوعه داده‌های پیچیده طراحی و ارائه شده است (Akbari et al., 2020: 319). در مرحله سوم با کمک ضریب پیرسون به بررسی میزان تاثیرگذاری معیارهای گره و مکان بر روی بعد سوم مدل پرداخته شد (شکل ۱). نتایج این تحقیق علاوه بر نوآوری می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان برای ایجاد تحقیق مناطق مطلوب شهری، یاری رسان باشد.



شکل ۱ -نمودار جریانی روش پژوهش، نویسندگان ۱۳۹۸

[1] Transit-oriented Development
[2] Impedance Pedestrian Catchment Areas
[3] Ward

پیشینه و مبانی نظری تحقیق:

یک رویکرد برای توصیف و درک ویژگی‌های مراکز TOD، گونه شناسی[1]ایستگاه‌هاست. گونه‌شناسی شرایط موجود در ایستگاه‌ها را به صورت خلاصه بیان می‌کند. در گونه شناسی، ایستگاه‌هایی که نقاط مشترکی دارند، در یک خوشه قرار می‌گیرند؛ گر چه هیچ ایستگاهی شبیه سایر ایستگاه‌ها نیست (Rodríguez & Kang, ۲۰۲۰). در سال ۱۹۹۹ برتولینی یک چارچوب مفهومی در گونه شناسی ایستگاه‌ها به کمک مدل مکان-گره[2]برای طبقه‌بندی ایستگاه‌های قطار در دو شهر هلند ایجاد کرد. در این مدل، معیار گره به معنی میزان دسترسی به ایستگاه؛ و معیار مکان نشان‌دهنده تنوع و تعداد فعالیت‌ها در منطقه است. بدین صورت برتولینی برای محاسبه TOD با توجه به این دو معیار، چهار نوع ایستگاه مشخص شد: مناطق با قابلیت دسترسی، مناطق استرس (فشار)، مناطق وابسته و مناطق ناپایدار(Bertolini,1999: 201).

بعد از ارائه الگوی مکان-گره افراد دیگری نیز از همین روش بهره گرفتند و به خوشه‌بندی مناطق TOD پرداختند. به عنوان مثال لیو[3] همکاران در سال ۲۰۱۶ در شهر پکن به کمک این مدل، مناطق TOD را به ۶ خوشه تقسیم کردند. در این روش از سه معیار توسعه، حمل و نقل و بررسی فاصله‌ها برای طبقه‌بندی استفاده شده است. راسرو[4] همکاران در سال ۲۰۰۸ به کمک مدل مکان-گره ۱۶۸۴ ایستگاه را در سوئیس خوشه‌بندی کردند. در این مطالعه از ۱۱ شاخص استفاده شد که ۷ شاخص برای معیار گره و ۴ شاخص برای معیار مکان بود. در سال ۲۰۱۱ زمپ[5] همکاران ۱۷۰۰ ایستگاه را به کمک مدل تحلیل خوشه ای[6]به کمک ۱۰ شاخص طبقه‌بندی کرده، و ایستگاه‌ها در ۷ طبقه قرارگرفتند؛ که بیشتر آن‌ها ایستگاه‌هایی متنوع و متراکم هستند. این نتایج مشابه نتایج رودریگز و کنگ (۲۰۲۰) در شهر سئول است؛ آن‌ها ۲۸۷ ایستگاه را به کمک ۱۹ متغییر و تحلیل عاملی اکتشافی[7]به ۱۰ طبقه تقسیم کردند.

مناطق TOD غالبا در مکان‌هایی اجرا می‌شود که شبکه شهری ایجاد شده و بنابراین از آن شرایط تاثیر می‌پذیرد؛ هانگ[8] همکاران (۲۰۱۸) این فرضیه را به کمک روش تجزیه و تحلیل خوشه کلاس پنهان[9]در منطقه شهری آرنم نیجمگن در کشور هلند بررسی کردند. نویسندگان منطقه را به سه خوشه تقسیم کردند: هسته‌های حومه‌ای-مسکونی، هسته‌های مسکونی-شهری و هسته‌های شهری- مختلط. از دیگر مدل‌های خوشه‌بندی در مطالعات TOD بهره‌گیری از رویکرد مدل‌سازی خوشه‌ای چند سطحی[10]است. در این راستا کومار[11] همکاران در سال ۲۰۲۰ به کمک این مدل به طبقه‌بندی ۴۷ محله در دهلی نو پرداختند؛ و در انتها ۶ نوع منطقه را معرفی کردند؛ که شامل: محلات با تراکم کم، مناطق شهری-مسکونی، مناطق ثروتمندنشین، هسته‌های شهری-تجاری، هسته‌های شهری با کاربری‌های متنوع و محلات با امکانات مناسب حمل و نقل.

در سال ۲۰۱۵ واله[12] مکان-گره برتولینی را به کمک اضافه کردن بعد سوم به آن تکمیل کرد. نویسنده بیان می‌کند فاکتوری که در مدل مکان-گره ارزیابی نمی‌گردد، میزان تقاطعات و اتصالات در مناطق TOD است. بنابراین با اضافه کردن شاخص "کارایی پیاده رو برای عابرپیاده[13]به مدل، مناطق TOD در لیسبون، پایتخت پرتغال را بررسی کرد. در این تحقیق ایستگاه‌ها در ۷ دسته طبقه‌بندی شد.

مواد و روش تحقیق:

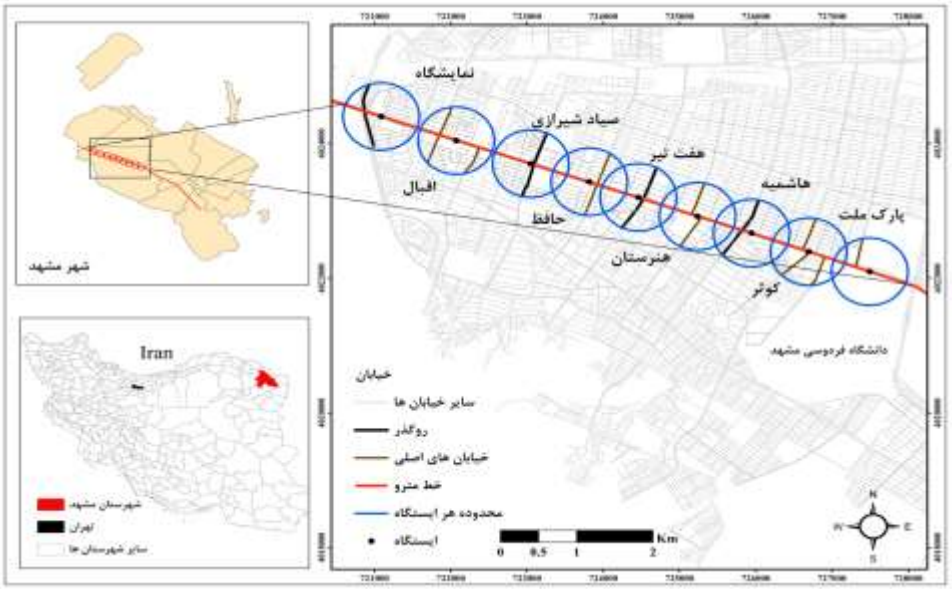
تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی_ارزیابی و از نظر ماهیت و روش انجام توصیفی-تحلیلی و کمی است. همچنین تجزیه و تحلیل اطلاعات به کمک نرم افزارهای Execle و در محیط GIS صورت گرفته است. داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق به صورت میدانی جمع آوری شد. بدین صورت که کاربری اراضی، تعداد طبقات هر ساختمان برای نه ایستگاه در لایه کاربری اراضی در نرم افزار GIS وارد شد. همچنین لایه محدوده کاربری اراضی از شهرداری مشهد تهیه گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه:

شهر مشهد بزرگترین شهر در شمال شرقی کشور است (Vatanparast et al. 2016: 95) این شهر سالانه ۲۵ میلیون زائر دارد؛ که می‌تواند باعث ایجاد ترافیک، آلودگی هوا، معضلات اقتصادی و اجتماعی و آلودگی زیست محیطی گردد(Anabestani & Jafari, 2020: 18). در حال حاضر شهر مشهد دو خط مترو دارد. خط یک به دلیل سابقه بیشتر، در بافت و کاربری اراضی شهری اثر گذار بوده است. لذا جهت انجام این تحقیق، محدوده‌ای که دارای کمترین تاثیر زیارتی است، انتخاب شد. بنابراین ایستگاه‌های بلوار وکیل آباد شهر مشهد که روزانه حجم زیادی از جمعیت را به سمت مرکز شهر منتقل می‌کند، در این تحقیق، مورد بررسی قرار گرفت. این منطقه دارای ۹ ایستگاه مترو است و یکی از بزرگراه‌های اصلی شهر مشهد محسوب شده

[1] TOD typology
[2] A node-place
[3] Lyu
[4] Reusser
[5] Zemp
[6] Cluster analysis
[7] Exploratory factor analysis
[8] Hung
[9] Latent Class Cluster Method (LCCM)
[10] Cluster-multilevel modeling approach
[11] Phani Kumar
[12] Vale
[13] Impedance Pedestrian Catchment Areas (IPCA)

و در طول خود خیابان‌های اصلی دیگری نیز از ان منشعب می‌گردند. همچنین قطار شهری در این منطقه از تونل زیر زمینی خارج شده و در میانه بزرگراه مسیر خود را طی می‌کند(شکل۲).



شکل۲ -شهر مشهد و موقعیت ایستگاهها و محدوده مورد مطالعه آن‌ها، ترسیم: نگارندگان

تعیین محدوده تحقیق: در مرحله اول برای اندازه‌گیری TOD تعدادی از ایستگاه‌های خط یک قطار شهری مشهد انتخاب، و در اطراف هر ایستگاه، منطقه مورد مطالعه تعیین شد. این میزان باید به اندازه ۱۰ دقیقه پیاده روی تا ایستگاه باشد. در استاندارد TOD این میزان ۵۰۰ متر است (ITDP, 2017: 13). با این حال هیچ معیار دقیقی برای تعیین این میزان وجود ندارد و مهم‌ترین معیار راحتی در پیاده‌روی برای ۱۰ دقیقه, معادل ۲۵۰ تا ۸۰۰ متر، است (Jacobson & Forsyth,2008: 56; Dittmar & Ohland, 2004: 34; Bossard, 2002: 7; Transit-Supportive Land Use Planning, 1992: 29) بنابراین با توجه به میانگین فاصله ایستگاه‌ها از یکدیگر که حدود ۸۴۰ متر است، حریمی به شعاع ۵۰۰ متر از مرکز ایستگاه به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل۲).

تعیین شاخص‌ها و معیارها: در این مرحله معیارهایی برای بررسی میزان TOD انتخاب گردید. همان طور که اشاره شد، برتولینی برای دو معیار گره و مکان معیارهایی را معرفی کرده است. شاخص‌های مورد بررسی برای معیار گره شامل: میزان دسترسی به قطار، اتوبوس، خودرو و دوچرخه در منطقه است؛ و معیار مکان شامل: شدت و تنوع فعالیت‌ها در منطقه، تعداد سکنه و تعداد کارگران است (Bertolini,1999: 202). بنابراین در مرحله اول برای دستیابی به مدل مکان-گره شاخص‌های ارائه شده توسط برتولینی انتخاب شدند. در تحقیقات اخیر برای محاسبه TOD ۵ معیار مورد بررسی قرار می‌گیرد (Huang,2017: 5; Ewing & Cervero,2010: 267) که شامل: طراحی، تنوع، تراکم، فاصله تا مقصد و میزان دسترسی است. در طبقه بندی برتولینی از مناطق TOD بسیاری از شاخص‌ها مد نظر قرار نگرفته است. تعدادی از معیارها از جمله طراحی در منطقه مورد بررسی، فاصله تا مقصد و میزان دسترسی در محاسبه این مدل قرار ندارد. در TOD یکی از نقش‌های اصلی برای رسیدن به اهداف، ایجاد فضای مناسب پیاده روی و دوچرخه‌سواری است (ITDP,2017: 45). بنابراین در تحقیق حاضر با توجه به مفهوم پایه مدل مکان -گره شاخص‌های موجود در جدول ۱ برای محاسبه TOD و طبقه‌بندی آن‌ها انتخاب گردید و برای افزودن بعد سوم به نمودار مذکور در کنار بررسی فاکتور IPCA، طول مسیر دوچرخه در مناطق ایستگاهی اندازه‌گیری شد.

جدول۱ -معیارها و شاخص‌های مرتبط با هر کدام برای محاسبه TOD

معیار	شاخص
مکان	میزان جمعیت، تعداد واحدهای تجاری، میزان تنوع، میزان دسترسی
گره	دسترسی به اتوبوس، دسترسی به دوچرخه، پارکینگ دوچرخه
دسترسی	IPCA، طول مسیر دوچرخه

منبع: برگرفته از برتولینی (۱۹۹۹) و نویسندگان۱۳۹۹

محاسبه معیارها و شاخص‌های TOD:

الف-معیار مکان

-شاخص تراکم تجاری و جمعیت: در سال‌های اخیر تاکید زیادی بر روی افزایش تراکم در نواحی شهری شده است، تراکم بالا در شهرها اگر از الگوی مناسبی پیروی کند به توسعه پایدار منجر می‌شود (Howley et al., 2009: 849) . اطلاعات مربوط به جمعیت در شیپ فایل شهرداری موجود بود. جمعیت در لایه با محدوده مورد مطالعه منطبق نبود و به نسبت میزانی که در محدوده قرار داشت؛ محاسبه گردید. اما هیچ اطلاعات جامعی برای واحدهای تجاری در دسترس نبود؛ بنابراین اطلاعات نه ایستگاه به صورت میدانی به دست آمد.

-شاخص تنوع: یکی از عوامل اصلی موفقیت در مناطق TOD، وجود طیف گسترده‌ای از امکانات و فعالیت‌ها است. تنوع در این حالت به معنی ترکیبی از فعالیت‌های مختلف است (Suzuki et al,2013: 175; Talen, 2006: 234; Fainstein, ۲۰۰۵: ۹ فاکتور در تنوع مورد نظر هستند: کاربری اراضی، مسکن، مشاغل متنوع، خرده‌فروشی، زیر ساخت‌های اجتماعی، دسترسی، فضاهای باز و تفریحی، تعامل در جامعه، توسعه فرهنگی Transit oriented development: guide to community diversity,2010: 30). مفهوم تنوع با شاخص آنتروپی (رابطه ۱ و۲) محاسبه می‌شود. این شاخص توسط رزدما ون ایک و کومن(۲۰۰۸) ارائه شده است (Singh, 2017: ۱۰۲). این شاخص عددی از ۰ تا ۱ است. داده‌های مورد نظر برای نه ایستگاه به صورت میدانی به دست آمد.

رابطه (۱)

$$LU_i(i) = \frac{-\sum_i Q_{lu_i} \times \ln(Q_{lu_i})}{\ln(n)}$$

که Q_{lui} به معنای:

رابطه (۲)

$$Q_{lu_i} = \frac{S_{lu_i}}{S_i}$$

S_{lui} مساحت هر کاربری و S_i مساحت کل ناحیه است.

و n تعداد کل کاربری هاست.

شاخص نرخ دسترسی: اختلاط کاربری اراضی شاخصی برای محاسبه میزان دسترسی است؛ بدین صورت که هر چه اختلاط بیشتر باشد، دسترسی به صورت پیاده و دوچرخه به سمت مقصد راحتر است. در این شاخص میزان اختلاط زمین‌های مسکونی و غیر مسکونی سنجیده می‌شود (Teklemariam & Shen, 2020: 6) برای محاسبه این شاخص از رابطه ۳ استفاده شد؛ که در مقالات مشابه نیز استفاده شده است (Huang,2017: ۳۱۲; Teklemariam & Shen, 2020: 5; singh et al., ۲۰۱۴: ۱۳۸) ارزش MI از ۰ تا ۱ متغییر خواهد بود. داده هایِ مورد نیاز به صورت میدانی جمع آوری شد.

رابطه(۳)

$$MI(x,y) = \frac{\sum iLc}{\sum i\,(Lc+Lr)}$$

ب-معیار گره

-شاخص تعداد ایستگاههای اتوبوس و کرایه دوچرخه در منطقه

اگر امکان استفاده همزمان از چند وسیله حمل و نقل فراهم شود، استفاده از حمل و نقل عمومی افزایش خواهد یافت. برای محاسبه این شاخص از تعداد اتوبوس‌ها در هر ایستگاه مترو استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز از داده‌های اتوبوس‌رانی شهر مشهد به دست آمد. ایستگاه‌های کرایه دوچرخه نیز هم زمانی استفاده از دوچرخه و مترو را فراهم می‌کند. تعداد ایستگاه‌های کرایه دوچرخه از سایت شهرداری مشهد استخراج شد.

-شاخص پارکینگ: وجود پارکینگ به بهبود و گسترش حمل و نقل عمومی کمک می‌کند. اگر مناطق TOD دارای پارکینگ مناسب در نزدیکی ایستگاه‌ها باشند، افراد برای بهره‌گیری از حمل و نقل عمومی بیشتر تشویق خواهند شد. (Transit-Supportive Guidelines,2012: 74).

ج-معیار دسترسی

شاخص مسیر دوچرخه: دوچرخه وسیله‌ای مناسب برای مسافت‌های کوتاه تا متوسط است. اما اگر با حمل و نقل عمومی ترکیب شود برای سفرهای طولانی نیز مناسب خواهد بود (Transit-Supportive Guidelines,2012: 50)در این شاخص طول مسیر دوچرخه بر حسب متر اندازه‌گیری خواهد شد. داده‌های مورد نیاز به صورت میدانی تهیه و در Arc GIS رسم گردید.

-شاخص IPCA: شاخص IPCA که مخفف (Pedestrian Catchment Areas و یا Ped-Sheds‘) است، به معنای میزان حقیقی پیاده‌روی از ایستگاه به میزان مورد نظر است. که این میزان معادل شعاع ۵۰۰- متر-در نظر گرفته شده برای منطقه TOD است. اندازه‌گیری IPCA نشان‌دهنده کارایی منطقه برای پیاده‌روی و همچنین تراکم تقاطعات در منطقه است (Singh et al., 2017: 104). این محاسبه در نرم افزار Arc map در لایه خطی معابر با دستور Network Analyst صورت گرفته است. این شاخص از تقسیم منطقه IPCA بر کل منطقه به دست آمده که دامنه‌ای از ۰ تا ۱ را شامل می‌شود. هر چه عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد به معنای تراکم بالاتر معابر و تقاطعات در منطقه است..

---

[۱] Ritsema van Eck and Koomen

خوشه‌بندی مناطق TOD: در خوشه‌بندی TOD مناطقی که دارای ویژگی‌های همسان هستند در یک گروه قرار میگیردند. بنابراین در یک طبقه از TOD چندین نوع منطقه وجود دارد که با وجود تفاوت‌ها در چند شاخص مشابه یکدیگر هستند (Kamruzzaman, 2014: 56). مدل مکان_گره (شکل ۳) اولین مدل طبقه‌بندی است، که برتولینی آن را ارائه کرد. در این دیاگرام ارزش y به معنای node و یا گره که به معنای میزان تعامل فیزیکی انسان است. یعنی هرچه افراد بیشتری به منطقه رفت آمد کنند، تعامل بیشتر است. ارزش x مربوط به place و یا مکان است. مکان به معنی شدت و تنوع فعالیت‌ها است. چهار حالت ایده آل در نمودار مشخص است. در امتداد خط مورب میانی گره و مکان هر دو قوی هستند. در مرکز آن منطقه "تعادل" قرار دارد. در بالای خط مورب منطقه "استرس" وجود دارد که مکان و گره هر دو در وضعیت حداکثر هستند؛ و این به معنای هجوم فعالیت‌ها به منطقه است. در منطقه پایین خط میانی منطقه "عدم کفایت" قرار گرفته است. فعالیت‌ها در منطقه در حداقل خود قرار دارد و حضور در منطقه در پایین‌تر حد خود است. در نهایت دو منطقه "نامتعادل" وجود دارد. که یکی در منطقه چپ دیاگرام، که در آنجا امکانات حمل و نقل از توسعه مکانی بیشتر است؛ و منطقه نامتعادل سمت راست که عکس منطقه نامتعادل اول است (Bertolini,1999: 201).

در مرحله اول شاخص‌ها به کمک مدل نورم (Momeni,2017: 8)بی‌مقیاس شد. (رابطه ۴)

$$n_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} a_{ij}^{2}}}$$ رابطه (۴)

که در آن عدد هر ستون تقسیم بر مجذور مجموع مربع عناصر هر ستون می‌گردد. برای محاسبات این فرمول از اکسل استفاده گردید. و به کمک نمودار اسکاتر[1]خوشه‌بندی به روش برتولینی ایستگاه‌ها صورت گرفت.

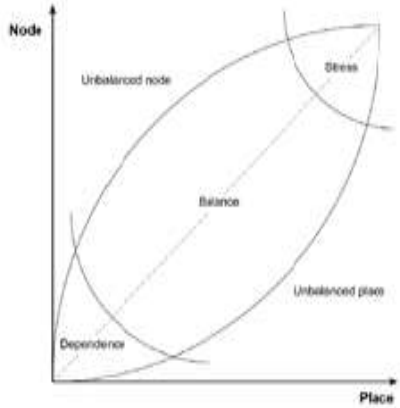
برای تکمیل طبقه‌بندی به صورت دقیق‌تر و همان گونه که بیان شد در جهت تکمیل مدل مکان-گره به کمک معیارهای دسترسی با کمک مدلward به طبقه بندی ایستگاه‌ها پرداخته شد. برای ایجاد معیار دسترسی از دو شاخص IPCA و طول مسیر دوچرخه استفاده شد. مدل وارد از مدل‌های تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی است. این روش را جو وارد در سال ۱۹۶۳ ارائه نمود. در این روش برای کم شدن داده‌های دور از عدم شباهت بین خوشه‌ها استفاده می‌گردد. در این روش از مجموع مربعات تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن به منظور شاخصی برای ارزیابی یک خوشه استفاده می‌گردد. در این روش ابتدا هر داده به عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد دو خوشه‌ای که جمع مربع تفاضل داده آنها با بردار میانگین خوشه در حداقل خود باشد یک خوشه جدید را شکل می‌دهد. این کار تا رسیدن به تعداد خوشه‌های مطلوب ادامه دارد (*Ward,1963: 240*). در این مقاله روش وارد به کمک نرم افزار PAST اجرا گردید.

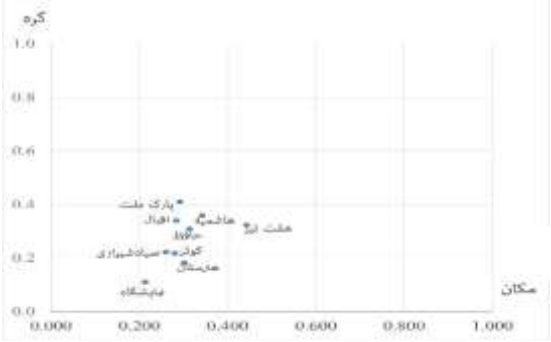
بحث و ارائه یافته‌ها:

تحلیل نمودار مکان-گره: شاخص‌های مورد نظر به کمک مدل نورم بی‌مقیاس شد(جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد که به صورت میانگین معیار مکان از گره بالاتر بوده است. به صورتی که میانگین مکان ۰,۳۰۳ و میانگین گره ۰,۲۷۴ است (جدول۳). با نگاه کلی به شکل ۴ مکان-گره، می‌توان گفت گرچه بیشتر ایستگاه‌ها در منطقه متعادل حضور دارند ولی به دلیل نداشتن شرایط مناسب مناطق TOD در قسمت پایین نمودار و نزدیک به منطقه عدم کفایت قرار گرفته‌اند. در اولین گروه ایستگاه هفت تیر قرار دارد. این ایستگاه در یک منطقه مرفه قرار گرفته و رشد واحدهای تجاری در منطقه باعث موقعیت کنونی آن در نمودار است. دومین گروه شامل هاشمیه و پارک ملت است. هاشمیه یک منطقه ثروتمندنشین است که ساختمان‌های تجاری بزرگ رتبه فعلی را برایش فراهم نموده است. همچنین به دلیل وجود اولین پل هوایی بر روی آن شاهد افزایش تراکم در منطقه هستیم (جدول۲). ایستگاه پارک ملت نیز در ورودی بلوار واقع شده است. وجود بزرگترین پایانه اتوبوس و بزرگترین پارک شهر در نیمه شمالی و قرارگیری دانشگاه فردوسی در نیمه جنوبی آن باعث افزایش تراکم و جنب و جوش در منطقه شده است. مطیعیان و همکار (۲۰۱۷) در تحقیق خود می‌نویسند: مناطقی که دارای کاربری اراضی مخلوط، دسترسی زیاد به مراکز تاسیسات و مناطق تفریحی هستند؛ تمایل بیشتری به استفاده از حمل و نقل عمومی دارند. همچنین لی[2]و همکاران (۲۰۱۹) در نتایجی مشابه تایید می‌کند؛ در مناطقی میزان معیار گره بالا باشد، ترافیک افزایش می‌یابد. سومین گروه شامل ایستگاه‌های اقبال و حافظ است. هر دو ایستگاه بین دو پل هوایی قرار گرفته‌اند. این دو منطقه نسبت به منطقه دوم دارای تراکم بیشتری در تعداد واحدهای مسکونی هستند. همچنین در ایستگاه حافظ دادگاه شهر قرار گرفته که باعث گسترش مشاغل در منطقه شده است. چهارمین گروه در نمودار ایستگاه‌های صیاد شیرازی، کوثر و هنرستان هستند که در منطقه متعادل ولی در پایین‌ترین قسمت

[1] scatter
[2] Li

آن واقع شده‌اند. بر روی بلوار وکیل آباد ۴ پل هوایی قرار گرفته که باعث افزایش تراکم در اطراف خود شده‌اند. سومین پل هوایی بر روی منطقه صیاد شیرازی واقع شده است. ولی با این حال منطقه موقعیت مناسبی در نمودار ندارد. این ایستگاه به دو نیمه متفاوت تقسیم شده است. در نیمه شمالی آن محل قرارگیری زندان مرکزی شهر است که با وجود ادارات مرتبط با آن پویایی خود را از دست داده است. در حالیکه در نیمه جنوبی منطقه مسکونی و وجود مراکز تجاری باعث رونق گرفتن منطقه شده است. دو ایستگاه کوثر و هنرستان بین دو پل هوایی هستند و از تراکم تجاری کمی بهره برده‌اند و به دلیل وسعت بلوک‌های مسکونی جمعیت کم‌تری در منطقه زندگی می‌کند. در انتها ایستگاه نمایشگاه و آخرین ایستگاه در نزدیکی حومه شهر در بلوار وکیل‌آباد است. این ایستگاه با کسب حداقل امتیازات کاملا در منطقه عدم‌کفایت واقع شده است (شکل۴). این نتایج مشابه نتایجی است که لی[1] و همکارانش (۲۰۱۹) به دست آورده‌اند. آنها می‌نویسند: به نظر می‌رسد میزان شاخص TOD از مرکز به سمت حومه شهر کاهش می‌یابد. در این ایستگاه جمعیت و مشاغل نیز کاهش یافته است (جدول۲). در نتایجی مشابه هانگ[2] همکاران (۲۰۱۸) در خوشه‌بندی خود در شهر آرنهم نایمخن[3] هلند ایستگاه‌هایی که دارای جمعیت و مشاغل کم هستند را در یک گروه قرار داده است. واقع شدن در نزدیکی خط مورب میانی نشان از وجود امکاناتی است که نیاز به توسعه دارد. در نتایجی مشابه، ژو می‌نویسد ایستگاه‌هایی که در معیار گره و مکان رتبه پایینی کسب کرده‌اند، افراد کمتری در آنجا کار و زندگی می‌کنند (Zhou, 2018: 10).





شکل ۳ -نمودار مکان-گره، ارائه شده توسط برتولینی ۱۹۹۹ شکل ۴- نمودار اسکاتر وضعیت نه ایستگاه: ترسیم نگارندگان

جدول ۲- بی مقیاس سازی شاخص‌های مورد بررسی با مدل نورم، مطالعات نویسندگان

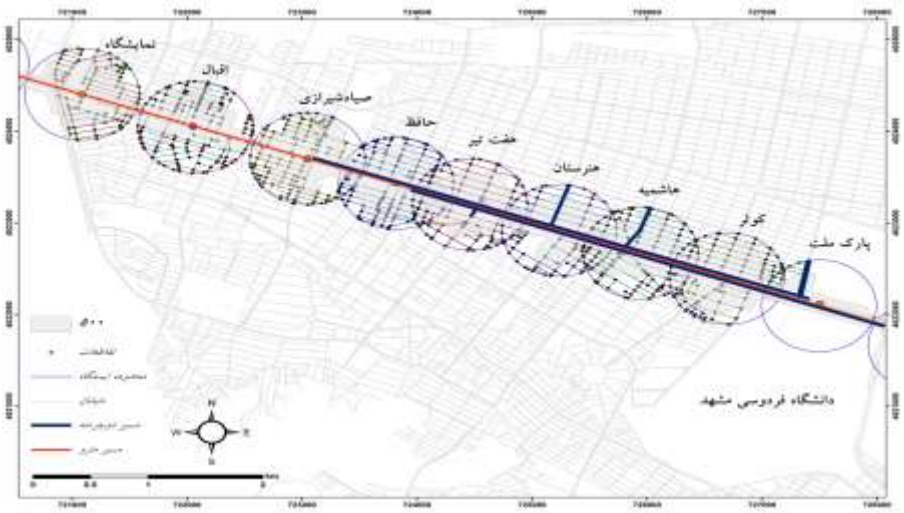
ایستگاه	تنوع	MI	تجاری	جمعیت	کرایه دوچرخه	اتوبوس	پارکینگ دوچرخه	IPCA	طول مسیر دوچرخه
نمایشگاه	۰,۳۵۶	۰,۱۱	۰,۱۱۲	۰,۲۷۵	۰	۰,۰۷۱	۰,۲۵۸	۰,۳۵۴	۰
اقبال	۰,۳۶	۰,۱۵۱	۰,۲۳۶	۰,۳۹	۰,۶۸۸	۰,۰۷۱	۰,۲۵۸	۰,۲۸۹	۰
صیاد	۰,۲۶	۰,۲۱	۰,۲۹۳	۰,۲۷۸	۰,۲۲۹	۰,۱۷۸	۰,۲۵۸	۰,۳۶۵	۰,۰۸۷
حافظ	۰,۳۶	۰,۲۱	۰,۲۵۲	۰,۴۳۴	۰,۲۲۹	۰,۱۷۸	۰,۵۱۷	۰,۳۹۱	۰,۲۵۹
هفت تیر	۰,۲۸۵	۰,۴۲۹	۰,۶۵۹	۰,۴	۰,۴۵۹	۰,۲۴۹	۰,۲۵۸	۰,۳۴۵	۰,۳۹۹
هنرستان	۰,۳۳۹	۰,۲۱۶	۰,۳۱۸	۰,۳۳۶	۰	۰,۲۸۴	۰,۲۵۸	۰,۳۳	۰,۴۷۱
هاشمیه	۰,۳۰۸	۰,۲۶۶	۰,۴۲۲	۰,۳۷۴	۰,۴۵۹	۰,۳۵۵	۰,۲۵۸	۰,۳۳۱	۰,۴۷۳
کوثر	۰,۳۷۴	۰,۱۸۷	۰,۲۵۶	۰,۳۰۴	۰	۰,۳۹۱	۰,۲۵۸	۰,۳۸۶	۰,۳۸۱
پارک ملت	۰,۳۴۱	۰,۷۳۵	۰,۰۵۲	۰,۰۳۹	۰	۰,۷۱۱	۰,۵۱۷	۰,۱۳۲	۰,۴۱۹

منبع: نگارندگان ۱۳۹۹

[1] Li
[2] Huang
[3] Arnhem Nijmegen

تحلیل دسترسی ایستگاه‌ها:

تحلیل مناطق IPCA: محاسبه شاخص IPCA برای نه ایستگاه از نسبت ۰,۲۲۹ برای ایستگاه پارک ملت تا ۰,۶۷۶ برای ایستگاه حافظ متغییر است (شکل۵)؛ و نشان می‌دهد منطقه از نظر قابلیت دسترسی به ایستگاه در چه موقعیتی قرار گرفته است (جدول۳). این اعداد در تحقیق واله[1] در سال ۲۰۱۵، ۰,۱۴۷ تا ۰,۷۶۸ است. که در مقایسه وضعیت ایستگاه‌ها مناسب است. عدد IPCA برای ایستگاه پارک ملت به دلیل همجواری با دانشگاه بزرگ فردوسی مشهد کوچک است؛ چرا که باعث محدودیت عبور و مرور در منطقه شده است. ایستگاه‌های هفت تیر، هاشمیه، هنرستان و اقبال عدد ۰,۵۶ را به صورت میانگین برای نسبت IPCA کسب کرده‌اند (جدول۳). کاهش عدد در منطقه هاشمیه، هنرستان و هفت تیر به دلیل وجود واحدهای مسکونی با قطعات بزرگ است که تعداد تقاطعات را کاهش داده. در هاشمیه و هفت تیر وجود کال شهری نیز مزید بر علت است. ایستگاه هنرستان در کنار قطعات بزرگ مسکونی، زمین‌های وسیعی به کاربری آموزشی اختصاص یافته و تقطعات را کاهش داده است. در ایستگاه اقبال مشکل اساسی نبود تفکیک در بین واحدهای مسکونی است. به طوری که فاصله بین دو کوچه در منطقه ۵۵۰ متر است. گروه بعدی ایستگاه‌های نمایشگاه، صیاد شیرازی، حافظ و کوثر است. میانگین IPCA در این چهار ایستگاه ۰,۶۴۷ است. در این چهار ایستگاه تعداد تقاطعات افزایش یافته است. در ایستگاه نمایشگاه و کوثر گرچه تعدادی قطعه بزرگ وجود دارد ولی با این حال افزایش تقاطعات در سایر قسمت‌های ایستگاه باعث افزایش نسبت IPCA شده است.



شکل ۵- نسبت شاخص IPCA برای نه ایستگاه مورد بررسی و مسیر دوچرخه، منبع: نگارندگان

تحلیل شاخص مسیر دوچرخه:

مسیر دوچرخه در منطقه وکیل آباد شرایط خوبی برای گسترش دارد. چرا که کل منطقه به چند لاین تقسیم شده است. مطیعیان و همکار (۲۰۱۷) نیز در تحقیق خود در منطقه‌ای در مرکز تهران می‌نویسد: مناطقی که در مجاورت خیابان‌های اصلی شکل گرفته‌اند امکانات مناسبی برای ایجاد مناطق دوچرخه و پیاده دارند. غیر از پیاده‌روی پهن در کنار بلوار یک حاشیه امن دیگر نیز برای خارج شدن از بلوار وجود دارد که در حال حاضر برای پارک خودرو و خروج از بزرگراه به سمت خیابان‌های فرعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۵). با این حال مسیرهای دوچرخه در این منطقه در پیاده‌روها طراحی و اجرا شده‌اند. نتایج سایر بررسی‌ها در مناطق TOD نشان می‌دهد، مسیرهای دوچرخه در کنار مسیرهای خودرو و نه در پیاده‌روها طراحی شده‌اند (Rodríguez et al., 2020: 5). مسیر دوچرخه در دو ایستگاه نمایشگاه و اقبال وجود نداشت. صیاد شیرازی نزدیک به ۵۰۰ متر، حافظ و کوثر بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰، هفت تیر، هاشمیه، هنرستان و پارک ملت بیش از ۲۰۰۰ متر مسیر دوچرخه را در خود جای داده‌اند. به نظر می‌رسد مسئولین امر ایجاد مسیرها را از ورودی بلوار آغاز کرده‌اند (جدول۳).

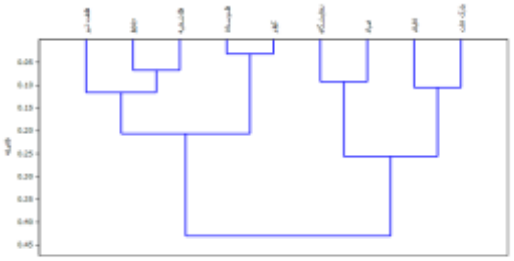
تحلیل خوشه‌بندی:

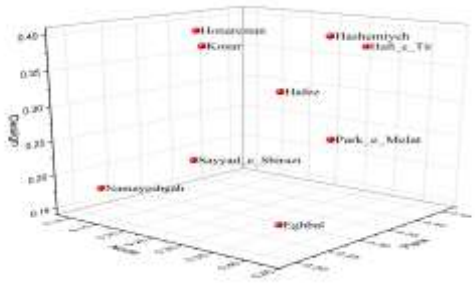
همان گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، ایستگاه‌ها به ۴ شاخه اصلی تقسیم شده‌اند. میزان همبستگی بین دو معیار مکان و گره با دسترسی مثبت است. ولی این عدد برای دسترسی و گره بسیار کم و میزان r=۰,۱۲. و برای دسترسی و مکان میزان ۰,۶

[1] Vale

r= است. بنابراین موقعیت بسیاری از ایستگاه‌ها با توجه به اضافه شدن معیار دسترسی تغییر کرده است (شکل ۷ نسبت به شکل۴). واله (۲۰۱۵) نیز در نتیجه گیری خود به این نکته اشاره کرده است؛ که ایستگاه‌هایی که در منطقه متعادل هستند از نظر شکل شهری، کاربری اراضی، فعالیت‌ها و شرایط سفر متفاوتند؛ و نیاز به طبقه بندی و خوشه بندی خواهد بود. در خوشه اول ایستگاه‌های هفت‌تیر، هاشمیه و حافظ قرار دارند. با این حال هفت‌تیر با یک تمایز برتر از دو ایستگاه دیگر است. دو ایستگاه هفت‌تیر و هاشمیه، به دلیل موقعیت مناسب در دو معیار مکان و گره و تکرار همین وضعیت در معیار دسترسی، نسبت به سایر ایستگاه‌ها در صدر قرار گرفته‌اند. ایستگاه حافظ نیز به دلیل افزایش شاخص IPCA به این گروه پیوسته است. می‌توان گفت در این خوشه تراکم تجاری، جمعیت، دسترسی به سایر وسایل، IPCA و مسیر دوچرخه مناسب است (شکل۶، جدول۳).

در خوشه دوم ایستگاه‌های هنرستان و کوثر قرار گرفته‌اند. این دو ایستگاه از نظر دو معیار مکان و گره در نمودار اول وضعیت مناسبی نداشتند(جدول۳). و با اضافه شدن معیار دسترسی در خوشه دوم قرار گرفته‌اند. این گروه در تمامی شاخص‌ها از خوشه اول پایین‌تر هستند. ایستگاه کوثر در تمامی شاخص‌ها از ایستگاه هنرستان برتری دارد. در این خوشه وضعیت تقاطعات افزایش یافته و مسیر دوچرخه وجود دارد. خوشه سوم متعلق به دو ایستگاه صیادشیرازی و نمایشگاه است. ایستگاه نمایشگاه در مدل مکان-گره در منطقه عدم‌کفایت قرار داشت (شکل۴). وجود زمین‌های خالی باعث کاهش معیار مکان شده است. منجمی و همکار نیز در تحقیق خود در تهران برای ایستگاه کلاهدوز، وجود زمین‌های خالی را منجر به کاهش معیار مکان می‌دانند (*Monajem & Nosratian, 2015: 22*). در این خوشه مسیر دوچرخه موجود نیست. اما منطقه به دلیل نوساز بودن دارای تقاطعات بیشتری است. ایستگاه صیاد شیرازی واحدهای تجاری بیشتری در خود جای داده است. ولی نیمی از منطقه متاثر از زندان مرکزی شهر است. به صورت کل این دو ایستگاه از نظر معیار مکان و گره ضعیف ولی از نظر موقعیت تراکم تقاطعات مناسب هستند. خوشه چهارم متعلق به ایستگاه‌های پارک‌ملت و اقبال است (شکل۶). در این دو ایستگاه میزان IPCA بسیار ضعیف است؛ دلیل آن در ایستگاه اقبال به دلیل افزایش فاصله بین تقاطعات و در پارک ملت به دلیل همجواری با دانشگاه فردوسی مشهد است. این دو ایستگاه تفاوت‌های آشکاری با یکدیگر دارند. قرارگیری در یک گروه به معنای مشابهت در تمامی ویژگی‌ها نیست و نیاز به بررسی دقیق‌تر هر ایستگاه است. این نتایج مشابه نتایج لیو[1] و همکاران (۲۰۱۶) است . به طوری که تفاوت‌های آشکاری در ایستگاه‌های مورد بررسی آن‌ها در چین در یک گروه وجود داشته است. پارک ملت در معیار گره موقعیت بهتری نسبت به اقبال دارد؛ ولی در معیار مکان نزدیک به یکدیگرند. دلیل کاهش امکانات در ایستگاه اقبال به دلیل ضعیف بودن منطقه از نظر امکانات تجاری و جمعیتی و قرارگیری در بین دو پل‌هوایی صیادشیرازی و نمایشگاه است. این نتایج مشابه نتایج دریافتی هانگ و همکارانش در ۲۰۱۸ است؛ که بیان می‌کند: ایستگاه‌های کوچک ممکن است متاثر از دو ایستگاه قوی در اطراف خود باشند. به علاوه این ایستگاه نزدیک به حاشیه شهر است؛ و می‌تواند یکی از دلایل پایین بودن معیار گره و مکان در منطقه باشد. همان گونه که گروکر[2] و همکار (۲۰۱۱) در تحقیق خود بیان می‌کنند: هر چه ایستگاهی از مرکز شهر فاصله می‌گیرد معیار مکان و گره در آنجا کاهش می‌یابد.





شکل ۶- خوشه‌بندی ایستگاه‌ها به کمک روش وارد، نگارندگان **شکل ۷- نمودار سه بعدی معیارهای مکان، گره و دسترسی**، نگارندگان

[1] Lyu
[2] Chorus

جدول ۳- جدول استاندارد شده سه معیار دسترسی، گره و مکان

دسترسی	مسیردوچرخه (متر)	IPCA	مکان	گره	ایستگاه
۰,۱۷۷	۰	۰,۶۱۲	۰,۲۱۳	۰,۱۱	ایستگاه نمایشگاه
۰,۱۴۵	۰	۰,۵	۰,۲۸۴	۰,۳۳۹	ایستگاه اقبال
۰,۲۲۶	۴۵۸	۰,۶۳۱	۰,۲۶	۰,۲۲۲	ایستگاه صیاد
۰,۳۲۵	۱۳۵۶	۰,۶۷۶	۰,۳۱۴	۰,۳۰۸	ایستگاه حافظ
۰,۳۷۲	۲۰۹۱	۰,۵۹۷	۰,۴۴۳	۰,۳۲۲	ایستگاه هفت تیر
۰,۴	۲۴۶۵	۰,۵۷۱	۰,۳۰۲	۰,۱۸۱	ایستگاه هنرستان
۰,۴۰۲	۲۴۷۵	۰,۵۷۳	۰,۳۴۲	۰,۳۵۷	ایستگاه هاشمیه
۰,۳۸۴	۱۹۹۷	۰,۶۶۷	۰,۲۸	۰,۲۱۶	ایستگاه کوثر
۰,۲۷۶	۲۱۹۵	۰,۲۲۹	۰,۲۹۲	۰,۴۰۹	ایستگاه پارک ملت
۰,۳۰۱	–	.۵۶۱	۰,۳۰۳	۰,۲۷۴	میانگین

منبع: نگارندگان ۱۳۹۹

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

در این مقاله در ابتدا با پیروی از مدل مکان- گره به طبقه‌بندی ۹ ایستگاه از خط یک متروی مشهد پرداخته شد. باتوجه به جدول ۳ واضح است که امکانات حمل و نقل برای کاربری موجود مناسب نیست. (۰/۳۰۳ < ۰/۲۷۴). با این حال به نظر می‌رسد در برخی ایستگاه‌ها مثل پارک ملت میزان گره بالاتر است و به سمت انتهای بلوار از این میزان کاسته شده؛ ولی با این حال در ایستگاه‌هایی که پل هوایی دو طرف بلوار به یکدیگر وصل کرده این میزان افزایش یافته است؛ که می‌تواند ناشی از افزایش خطوط اتوبوس در اطراف پل هوایی باشد. در مجموع با توجه به این مدل می‌توان گفت، رابطه معنا داری بین معیار مکان و گره وجود دارد؛ به طوری که میزان ضریب پیرسون برای این دو معیار r= ۰,۵۳ است. بدین صورت هر کجا خطوط حمل و نقل گسترش پیدا کرده باعث گسترش کاربری اراضی مناسب آن شده است. نکته مهم و قابل تامل این است که میانگین معیار مکان در چهار ایستگاهی (هاشمیه، هفت تیر، صیاد شیرازی و نمایشگاه) که پل هوایی از آنها عبور کرده ۰,۳۱۴ و این عدد برای ۵ ایستگاه باقی مانده ۰,۲۹۴ است؛ که نشان‌دهنده خودرو محور بودن منطقه و تبعیت کاربری‌ها از مسیر تردد خودروهاست. این در حالست که از این چهار ایستگاه، نیمی از ایستگاه صیاد شیرازی به دلیل قرارگیری در کنار زندان مرکزی شهر موقعیت ضعیفی از نظر کاربری اراضی دارد؛ همچنین ایستگاه نمایشگاه به دلیل تازه‌سازی، قرارگیری در کنار کال شهری و نمایشگاه اصلی شهر رتبه اخر در معیار مکان است.

همچنین به نظر می‌رسد که با خوشه‌بندی مدل مکان-گره تکمیل می‌گردد. چرا که ایستگاه‌هایی که در منطقه متعادل قرار گرفته‌اند، خود به چهار دسته دسته تقسیم شده‌اند و هر کدام دارای نقاط قوت و ضعف هستند. بدین صورت که بررسی شاخص تقاطعات و مسیر دوچرخه باعث تغییر وضعیت ایستگاه‌ها نسبت به یکدیگر شده است. به طوری که ایستگاه نمایشگاه از رتبه اخر در مدل مکان-گره، در گروه سوم و در کنار ایستگاه صیاد شیرازی قرار گرفته است. همچنین ایستگاه اقبال به دلیل نداشتن مسیر دوچرخه به گروه پایین تر تنزل پیدا کرده است. به صورت کل می‌توان گفت برای تکمیل اطلاعات در مدل مکان-گره، با اضافه کردن هر معیار نتایج تکمیل می‌گردد؛ و موقعیت دقیق تری از ایستگاه را نشان می‌دهد. به صورت کل می‌توان گفت برای تکمیل اطلاعات در مدل مکان-گره، با اضافه کردن هر معیار نتایج تکمیل می‌گردد؛ و موقعیت دقیق تری از ایستگاه را نشان می‌دهد.

ملاحظات اخلاقی:

پیروی از اصول اخلاق پژوهش: در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

حامی مالی: هزینه‌های مطالعه حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شد.

تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

References:

۱. Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. Arabian Journal of Geosciences, Volume 13, Number 8, https: //doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9

۲. Anabestani, A.A.,& Jafari, F., (2020). Analysis of Key Proponents Affecting Land Use Change of Suburban Settlements in Mashhad Metropolitan with Approach Future Study. Journal of Research and Urban Planning, Volume 11, Number 43.

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

٤. Bossard, E. G. (2002). Envisioning Neighborhoods with Transit-Oriented Development Potential. San Jose: Mineta Transportation Institute

٥. Chorus, P., & Bertolini, L. (2011). An application of the node place model to explore the spatial development dynamics. The Journal of Transport and Land Use, Volume 4, Number 1.

٦. Currie, G. (2006). Bus Transit Oriented Development — Strengths and Challenges Relative to Rail. Journal of Public Transportation, Volume 9, Number 4. https: //doi.org/10.5038/2375-0901.9.4.1

٧. Dittmar, H., & Ohland, G. (2004). The New Transit Town: Best Practices in TransitOriented Development. Island Press. Washington, D.C.

٨. Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. Journal of the American Planning Association, Volume 76, Number 3. https: //doi.org/10.1080/01944361003766766

٩. Fainstein, S. S. (2005). Cities and diversity: Should we want it? Can we plan for it? Urban Affairs Review, Volume 41, Number 3. https: //doi.org/10.1177/1078087405278968

١٠. Ghahremani, M., Pourjafar, M., & Saeedi Rezvani, N., (2020). Development of Shannon-Weaner Entropy Model Based on Urban Development Paradigm Based on Urban Mixed Land use. Journal of Research and Urban Planning, Volume 11, Number 43.

١١. Howley, P., Scott, M., & Redmond, D. (2009). Sustainability versus liveability: An investigation of neighbourhood satisfaction. Journal of Environmental Planning and Management, Volume 52, Number 6. https: //doi.org/10.1080/09640560903083798

١٢. 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, Volume 11, Number 1. https: //doi.org/10.5198/jtlu.2018.1110

١٣. ITDP. (2017). TOD Standard 3rd ed. New York

١٤. Jacobson, J., & Forsyth, A. (2008). Seven American TODs: Good Practices for Urban Design in Transit-Oriented Development Projects. Journal of Transport and Land Use, Volume 1, Number 2. https: //doi.org/10.5198/jtlu.v1i2.67

١٥. Kamruzzaman, M., Baker, D., Washington, S., & Turrell, G. (2014). Advance transit oriented development typology: Case study in brisbane, australia. Journal of Transport Geography, Volume 34, https: //doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.002

١٦. Khademnejad, A., Ezatpanah, B., & Shamsoddini, A., (2020). Foresight the Process of Physical Development of Cities with Scenario-Based Approach (Case Study of Maku City). Journal of Research and Urban Planning, Volume 11, Number 43.

١٧. 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, Volume 82, https: //doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.003

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

١٩. Momeni, M., (2017). New Topics in Operations Research. Shaygan Treasure Press, Tehran.

٢٠. 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, Volume 40, https: //doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.009

٢١. Motieyan, H., & Mesgari, M. S. (2017). Towards sustainable urban planning through transit-oriented development (A case study: Tehran). ISPRS International Journal of Geo-Information, Volume 6, Number 12. https: //doi.org/10.3390/ijgi6120402

٢٢. Nasri, A., & Zhang, L. (2014). The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, D.C. and Baltimore metropolitan areas. Transport Policy, Volume 32, https: //doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.12.009

٢٣. Olaru, D., & Curtis, C. (2015). Designing tod precincts- accessibility and travel patterns. European Journal of Transport and Infrastructure Research, Volume 15, Number 1. https: //doi.org/10.18757/ejtir.2015.15.1.3052

٢٤. Phani Kumar, P., Ravi Sekhar, C., & Parida, M. (2020). Identification of neighborhood typology for potential transit-oriented development. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 78, https: //doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.015

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

٢٦. Reusser, D. E., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., & Scholz, R. W. (2008). Classifying railway stations for sustainable transitions - balancing node and place functions. Journal of Transport Geography, Volume 16, Number 3. https: //doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.05.004

۲۷. Rodríguez, D. A., & Kang, C. D. (2020). A typology of the built environment around rail stops in the global transit-oriented city of Seoul, Korea. Cities, Volume 100, https: //doi.org/10.1016/j.cities.2020.102663

۲۸. Singh, Y. J., Fard, P., Zuidgeest, M., Brussel, M., & Maarseveen, M. van. (2014). Measuring transit oriented development: A spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. Journal of Transport Geography, Volume 35, https: //doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.01.014

۲۹. 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, Volume 56, https: //doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.013

۳۰. Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K., (2013). Transforming Cities with Transit: Transit and Land-Use Integration for Sustainable Urban Development. Urban development;. Washington, DC: World Bank.

۳۱. Talen, E. (2006). Design that enables diversity: The complications of a planning ideal. Journal of Planning Literature, Volume 20, Number 3. https: //doi.org/10.1177/0885412205283104

۳۲. Teklemariam, E. A., & Shen, Z. (2020). Determining transit nodes for potential transit-oriented development: Along the LRT corridor in Addis Ababa, Ethiopia. Frontiers of Architectural Research, Volume 9, Number 3. https: //doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.005

۳۳. Thomas, R., Pojani, D., Lenferink, S., Bertolini, L., Stead, D., & van der Krabben, E. (2018). Is transit-oriented development (TOD) an internationally transferable policy concept? Regional Studies, Volume 52, Number 9. https: //doi.org/10.1080/00343404.2018.1428740

۳٤. Transit-Supportive Land Use Planning. (1992). Ontario Ministry of Transportation Guidelines. Ontario Ministry of Municipal Affairs

۳٥. Transit oriented development: Guide to Community Diversity. (2010). Government of Queensland

۳٦. Transit- Supportive Guidelines. (2012). Ontario

۳۷. Vale, D. S. (2015). Transit-oriented development, integration of land use and transport, and pedestrian accessibility: Combining node-place model with pedestrian shed ratio to evaluate and classify station areas in Lisbon. Journal of Transport Geography, Volume 45, https: //doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.04.009

۳۸. Vatanparast, E., J. Oladi Ghadikolaee, & M. Akbari. (2016). Planning Urban Greenways (Case Study: The Urban District 11 of Mashhad Metropolis). Journal of Geography and Urban Space Development. Volume 2, Number 2, pp. 91-104.

۳۹. Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association, Volume 58, Number 301. https: //doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

٤۰. Zemp, S., Stauffacher, M., Lang, D. J., & Scholz, R. W. (2011). Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters! Journal of Transport Geography, Volume 19, Number 4. https: //doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.08.008

٤۱. Zhou, Q., & Dai, D. (2017). The Evaluation of Transit Oriented Development of Metro Station Areas Using Node Place Index in Shenzhen China. Proceedings of the inaugural World Transport Convention Beijing.