



## Space Syntax and Potentials for Predicting Walkability and Pedestrian Movement: Axial and Visual Graph Analysis, Jolfa Neighborhood

Zohre Shafieiyoun<sup>1</sup> , Homayoon Nooraie<sup>2</sup> , Faezeh Behnamifard<sup>3</sup> 

1. Department of Urban Planning, Faculty of Engineering, Sheikhabaee University, Isfahan, Iran

Email: [zohreshafieyoon@rocketmail.com](mailto:zohreshafieyoon@rocketmail.com)

2. Department of Urban Planning and Design, Faculty of Architecture and Urban planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

Email: [hnooraie@gmail.com](mailto:hnooraie@gmail.com)

3. Department of Urban Planning and Development Research, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Alborz, Iran

Email: [f\\_behnami@yahoo.com](mailto:f_behnami@yahoo.com)

### Article Info

Article type:  
Research Article

### Article History:

Received:

3 February 2023

Received in revised form:

1 April 2023

Accepted:

6 May 2023

### Keywords:

Walkability,  
Spatial Configuration,  
Visual Graph,  
Agent-based Model,  
Jolfa Neighborhood

### ABSTRACT

According to the theory of natural movement, street networks interact with pedestrian movement and walkability. In addition to permeability criteria, visual perception impacts pedestrian preferences and behaviors by providing a capacity for understanding and wayfinding. This research aims to investigate the correlation between the visual and spatial characteristics of the environment in the Jolfa neighborhood of Isfahan city. Space syntax tools, including Axial, Isovist, and Visual Graph Analysis, were applied to quantify and interpret the configurational and visual criteria in the historical area of Jolfa. The Spearman correlation coefficient was exerted to calculate the correlation between integration and connectivity with isovist area, perimeter, compactness, occlusivity, through-vision, and visual clustering. The results show that in addition to integration, connectivity, and intelligibility, visual properties (i.e., isovist area, isovist perimeter, and occlusivity) significantly impacted movement patterns in this area. The agent-based model was used to validate the results to compare the space syntax simulation of the pedestrian movement with the actual environment. It was shown that visual features derived from space syntax could predict pedestrian movement in the real world. Visual characteristics complement spatial configuration and can help with spatial perception, wayfinding, and pedestrian movement.

**Cite this article:** Shafieiyoun, Z., Nooraie, H., & Behnamifard, F. (2023). Space Syntax and Potentials for Predicting Walkability and Pedestrian Movement: Axial and Visual Graph Analysis, Jolfa Neighborhood. *Geographical Urban Planning Research Quarterly*, 11 (1), 117-133.

<http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760>



© The Author (s).

DOI: [10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760](https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760)

**Publisher:** University of Tehran Press

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Walking, one of the most common forms of the adults' physical activity, is constantly linked to the community's overall health and can be subject to the built environment characteristics. Conceptualizing and measuring the built environment is essential to understanding the role of the built environment in shaping physical activity. Measurement methods have advanced significantly in the past decade. Three main methods have been used to analyze environmental characteristics supporting walkability as 1-perceptual evaluation through interviews and questionnaires, 2-objective evaluation through on-site field observations (on a micro scale), and 3-objective assessment through GIS (on a macro scale). However, these measures do not assess a pedestrian network's topological characteristics and spatial configuration. Also, we have seen a significant increase in studies that examine walking behaviors through space syntax methods in the last decade. The street network configuration can shape the pattern of natural movement, and axial analysis (AA) is one of the proposed methods for analyzing walking behavior and network comprehension in the urban environment; however, the methods characterize the visual features in a general and abstract way. The axial map shows the optimal movement and monitoring system, while Isovist has the potential to simulate and examine people's visual experiences from a vantage point, considering human characteristics such as the height of the view and the length of the step. Based on the logic of isovist analysis, Visual Graph Analysis integrates all isovist fields from all vantage points in a given space. In addition, VGA shows the potential of the place for static activities, including social interaction in public squares and streets. Therefore, VGA is a tool for exploring visibility and permeability relationships in spatial systems. The relationship between visibility and permeability is a vital part of urban space and what people experience in that space. Visual perception influences pedestrian preferences and behaviors by facilitating wayfinding and comprehension.

So, in addition to investigating movement permeability (where we can go), it is necessary to explore visual experiences and characteristics (what we can see). For this purpose, visual and configurational characteristics derived from space syntax will be measured as effective criteria for pedestrian movement patterns in the Jolfa neighborhood of Isfahan.

### **Methodology**

This study investigates the spatial and visual features supporting walking and pedestrian movement, including permeability, intelligibility, and visual characteristics, using the space syntax method and the three main tools of AA, Isovist analysis, and VGA in UCL DepthmapX. Permeability criteria, including connectivity, local and global integration, and intelligibility, were derived from the AA as walkability determinants in this study. VGA and Isovist analysis based on a grid with a dimension of 0.6 were used to measure visual characteristics, i.e., isovist area, isovist perimeter, compactness, occlusivity, trough vision, and clustering coefficient. Given the non-parametric nature of the data, Spearman's correlation test was exerted to calculate the correlation coefficient of the criteria using SPSS software. We applied the agent-based model, which simulates pedestrian movement based on natural movement and visual properties, to validate and compare the space syntax simulation with the actual pedestrian movement in the Jolfa neighborhood.

### **Results and discussion**

The correlation coefficient of connectivity and global integration ( $R^2 = .792$ ) showed the good predictability of this area for pedestrians. Through vision, which predicts the agent-based movement simulation, displays a strong and direct correlation with the two permeability measures (integration ( $R_n$ )  $r = .746$ ,  $p = .000$ , connectivity  $r = .726$ ,  $p = .000$ ). The isovist perimeter and isovist area demonstrate a strong and direct correlation with connectivity and global integration, supporting the finding of a previous study. The number of geometric features with convex surfaces and visible

pedestrian spaces will increase as the system's integration level increases. Unlike the previous study, the visual clustering coefficient did not correlate significantly with permeability criteria ( $r = .13$ ,  $p = .229$ ). The visual clustering coefficient examines the visual changes within a system with static potential. Integration and connectivity represent space with movement capabilities. The negative correlation between compactness and integration ( $r = -.031$ ,  $p = .005$ ) and the minor positive correlation with connectivity suggested that increasing integration. This research attempts to find how visual features and spatial configuration can affect the pedestrian's natural movement in an urban environment. The results demonstrate that spaces with strong connectivity and topologically close integration increase accessibility for pedestrians. Also, integration is correlated with the presence of people and the observed movement of pedestrians and vehicles. Therefore, space syntax and AA provide a practical method for permeability quantification. The correlation of integration and connectivity, which is considered intelligibility in this study, describes the extent to which knowledge of small-scale spaces (e.g., as obtained by walking through a series of consecutive spaces) facilitates knowledge of large-scale spaces. This factor indirectly emphasizes walkability by creating predictability for the global system. Visual characteristics not only can affect pedestrian movement patterns but also relate to people's perceptions of the environment. Vision, isovist area, isovist perimeter, and occlusivity are essential criteria for measuring the visual dimension of the environment's walkability. The

reduced compactness to a limited extent. Integration calculates the distance of an origin space to all other spaces in a system, and compactness states that impermeable blocks increase the mean depth more than small blocks. However, a negative and insignificant correlation indicates the unfavorable conditions of pedestrians' spatial and visual experiences. Spaces close together will increase integration and reveal more spaces for pedestrians moving along the route.

### **Conclusion**

findings suggest that the visual fields' configuration and geometric properties influence people's movement patterns. Visual changes along paths and the expansion of convex spaces can increase walking significantly. Comparing the real environment with the agent-based model that is produced based on the visual graph showed that the movement pattern in the real environment is based mainly on the visual and morphological criteria. Further research is needed to compare the relationship of these criteria in environments with different land-use, street network and socio-economic status.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

## چیدمان فضا و پتانسیل‌هایی برای پیش‌بینی قابلیت پیاده‌روی و حرکت پیاده تحلیل گراف خطی و بصری، محله جلفا

زهرة شفیعیون<sup>۱</sup>، همایون نورائی<sup>۲</sup>، فائزه بهنامی فرد<sup>۳</sup>

۱- گروه شهرسازی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شیخ بهائی، اصفهان، ایران. رایانامه: [zohreshafieyon@rocketmail.com](mailto:zohreshafieyon@rocketmail.com)  
۲- نویسنده مسئول، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [hnooraie@gmail.com](mailto:hnooraie@gmail.com)  
۳- گروه پژوهشی برنامه‌ریزی و توسعه شهری، جهاد دانشگاهی، البرز، ایران. رایانامه: [f\\_behnami@yahoo.com](mailto:f_behnami@yahoo.com)

### چکیده

نظریه حرکت طبیعی بیان می‌کند که شبکه خیابانی با حرکت پیاده و قابلیت پیاده‌روی مرتبط است. علاوه بر معیار نفوذپذیری شامل هم‌پیوندی و اتصال که شاخصی برای قابلیت پیاده‌روی در نظر گرفته شده است، ادراک بصری نیز با فراهم‌آوردن ظرفیتی برای فهم و مسیریابی می‌تواند بر ترجیحات عابر پیاده تأثیرگذار باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی همبستگی ویژگی‌های بصری و فضایی به‌عنوان شاخص‌هایی برای تبیین قابلیت پیاده‌روی و حرکت پیاده در محدوده جلفای شهر اصفهان است. مجموعه‌ای از تکنیک‌های چیدمان فضا شامل تحلیل خطی، آیزووویست و گراف بصری برای کمی‌سازی و تفسیر معیارهای بصری و پیکره‌بندی در محله تاریخی جلفا به کار گرفته شد. ضریب همبستگی دو معیار هم‌پیوندی و اتصال با محیط آیزووویست، مساحت آیزووویست، فشردگی، انسداد، دید سراسری و ضریب خوشه‌بندی بصری به‌وسیله آزمون همبستگی اسپیرمن استخراج گردید. نتایج نشان می‌دهد علاوه بر معیارهای هم‌پیوندی و اتصال، بعد بصری قابلیت پیاده‌روی شامل سنج‌های دید سراسری، مساحت آیزووویست، محیط آیزووویست و انسداد بر الگوی حرکت افراد در این محله تأثیر زیادی دارد. مقایسه مدل مبتنی بر عامل در چیدمان فضا با محیط واقعی نشان می‌دهد که معیارهای بصری می‌تواند حرکت افراد در محیط واقعی را نیز پیش‌بینی کند. قابلیت‌های بصری به‌عنوان مکمل‌های پیکره‌بندی فضایی می‌توانند به‌عنوان متغیرهای بالقوه به ادراک فضایی، مسیریابی و حرکت کمک کند.

### اطلاعات مقاله

#### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

#### تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۱/۱۴

#### تاریخ بازنگری:

۱۴۰۱/۰۱/۱۲

#### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۲/۱۶

#### واژگان کلیدی:

قابلیت پیاده‌روی،  
پیکره‌بندی فضا،  
گراف بصری،  
مدل مبتنی بر عامل،  
محله جلفا

**استناد:** شفیعیون، زهرة؛ نورائی، همایون و بهنامی فرد، فائزه. (۱۴۰۲). چیدمان فضا و پتانسیل‌هایی برای پیش‌بینی قابلیت پیاده‌روی و حرکت پیاده تحلیل گراف خطی و بصری، محله جلفا. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۱۱ (۱)، ۱۱۷-۱۳۳.

<http://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

DOI: [10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760](https://doi.org/10.22059/JURBANGEO.2023.351426.1760)

© نویسندگان



## مقدمه

پیاده‌روی برای رسیدن به مقاصد محلی از جمله فروشگاه‌ها و خدمات، ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و تفریح، یکی از منابع اصلی فعالیت فیزیکی مرتبط با سلامت بزرگسالان، است (Chaix et al., 2014:2; World Health Organization, 2019:12). که به طور مداوم با سلامت عمومی جامعه در ارتباط است (Kelly et al., 2014:133). باتوجه به پتانسیل آن برای ادغام در زندگی روزمره، پیاده‌روی یک راه عملی و پایدار برای ترویج فعالیت فیزیکی منظم برای بهبود نتایج سلامتی است (Lee & Buchner, 2008:512; Arbab et al., 2021:636).

پژوهش‌ها در مورد زندگی فعالانه که با هدف خلق جوامع دوستدار فعالیت شکل گرفته است، نشان داده است که ویژگی‌های محیط محله با پیاده‌روی ساکنان مرتبط است (Giles-Corti et al., 2016:2913; Sallis et al., 2016:1). بهنامی فرد و حبیبی، ۱۳۹۷: ۲۴؛ شفیعین و زمانی، ۱۳۹۹: ۱۴۵). مفهوم‌سازی و اندازه‌گیری محیط ساخته شده گام مهمی در درک نقش محیط ساخته شده در شکل‌دادن به فعالیت فیزیکی است و چنین روش‌های اندازه‌گیری به طور قابل توجهی در دهه گذشته پیشرفت کرده‌اند (Sallis, 2009:86).

تا به امروز، سه روش اصلی برای به‌دست‌آوردن ویژگی‌های محیطی حمایت‌کننده از قابلیت پیاده‌روی استفاده شده است (Brownson et al., 2009:100). ۱- ارزیابی ادراکی محیط ساخته‌شده که از مصاحبه‌های تلفنی و پرسش‌نامه‌ها به دست می‌آیند نشان می‌دهد که مردم چگونه ویژگی‌های محله خود مانند در دسترس بودن مغازه‌ها، وجود پیاده‌روها، ایمنی، یا جذابیت‌های زیبایی‌شناختی را تفسیر می‌کنند (Saelens, et al., 2003:1555; Sallis et al., 2016:8). ۲- ارزیابی از طریق مشاهدات میدانی در محل اغلب برای جمع‌آوری سیستماتیک ویژگی‌های محیط ساخته شده در مقیاس خرد در خیابان‌های محله، پارک‌ها و مسیرها استفاده می‌شود (Ewing et al., 2006:224; Hoehner et al., 2007:535). ۳- ارزیابی عینی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS که اغلب برای تعیین کمیت انواع ویژگی‌های مقیاس کلان محیط ساخته شده با استفاده از منابع داده‌های موجود استفاده می‌شود (Frank et al., 2021:2; Behnamifard et al., 2023:3).

معیاری که برای سنجش قابلیت پیاده‌روی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است شاخصی متشکل از چهار مؤلفه (تراکم مسکونی، اختلاط کاربری زمین، اتصال خیابان و خرده‌فروشی) است که با پیاده‌روی برای حمل‌ونقل مرتبط است (Frank et al., 2010:924). برای توصیف جنبه‌های فضایی محیط ساخته شده مرتبط با فعالیت فیزیکی، معیارهای مربوط به فاصله یا نزدیکی و اتصال خیابان اغلب به کار گرفته شده است (Koohsari et al., 2012:708, 2014:207). با این حال اقدامات پیکربندی فضایی و ویژگی‌های توپولوژیکی، شبکه خیابانی مرتبط با حرکت عابر پیاده را ارزیابی نمی‌کند (Hillier et al., 1993:31; Sharmin & Kamruzzaman, 2018:2). از طرفی کیفیت‌های طراحی شهری همان گونه که به طور متعارف بیان می‌شوند (عمدتاً بصری) زیرمجموعه‌ای از حوزه فراگیرتر محیط شهری است که از درک و تفسیر ناظر از تعاملات بین فرم شهری، پدیده‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شود. کیفیت‌های بصری می‌توانند تأثیر زیادی بر ترجیحات و رفتار عابر پیاده داشته باشند (Osmond, 2005:2).

در دهه گذشته شاهد افزایش قابل توجه مطالعاتی بودیم که رفتارهای پیاده‌روی را از طریق تحلیل محوری بررسی می‌کنند (Hacar et al., 2020:1). تکنیک‌های چیدمان فضایی اغلب برای تحلیل رفتار پیاده‌روی عابر پیاده در یک محیط شهری متشکل از پیکربندی خیابان‌ها و ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. تحلیل محوری و تحلیل نمودار بصری (VGA) دو مورد از آنها هستند (Turner et al., 2001:103). برای مثال لرمین و اوامر (۲۰۱۳: ۳۸۳) رابطه بین حرکت

عابر پیاده را در دو منطقه همسایه واقع در فلسطین اشغالی بر اساس شاخص‌های فضایی - پیکره‌بندی (هم‌پیوندی، انتخاب و اتصال) و ویژگی‌های عملکردی (کاربری زمین و حمل‌ونقل عمومی) تحلیل کردند. نتایج این پژوهش نشان داد شاخص‌های پیکره‌بندی - فضایی با حرکت پیاده همبستگی چشمگیری دارد. هم‌پیوندی خیابان که در یک محدوده معین اندازه‌گیری شده است رابطه مستقیمی با قابلیت پیاده‌روی در ایالات متحده (Baran et al., 2008:20) و ژاپن (Koohsari et al., 2017:66) نشان داده است. نتایج پژوهش حاج رسولی‌ها و لی (۲۰۱۴: ۲۴۸۳) نشان داد که اتصال بصری با حرکت عابر پیاده را در مرکز شهر بوفالو همبستگی زیادی دارد. ترنر (۲۰۰۳: ۶۵۷) در پژوهشی با استفاده از مقایسه مدل مبتنی بر عامل و تحلیل ویژگی‌های بصری مدل با حرکت واقعی عابر پیاده در یک محیط شهری نشان داد این مدل هم با الگوهای حرکت انسان و هم با روابط پیکره‌بندی فضا همبستگی خوبی دارد. اوسموند (۲۰۰۵: ۱) در پژوهشی به بررسی کیفیت‌های طراحی شهری و مورفولوژیکی تأثیرگذار بر فعالیت افراد پیاده در دو محله با فرم متفاوت پرداخت. اگرچه شاخص‌های نفوذپذیری و خوانایی توسط ابزار چیدمان فضا مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما ویژگی گوناگونی بصری توسط ابعاد فرکتالی<sup>۱</sup> شبکه خیابانی از دید عابران پیاده تحلیل گردیده است. نتایج نشان می‌دهد معیارهای چیدمان فضا می‌توانند حضور و ادراک افراد پیاده را پیش‌بینی کنند. مارتینو و همکاران (۲۰۱۹: ۱۲۹) به مقایسه کیفی دو شاخص قابلیت پیاده‌روی با حرکت افراد پیاده در محیط واقعی دهکده المپیک پرداختند. نتایج نشان می‌دهد شاخص حرکت مبتنی بر پیکره‌بندی فضایی منتج از معیارهای گراف بصری و آیزوویست در روش چیدمان فضا، با الگوی حرکت طبیعی افراد پیاده در دهکده همبستگی قوی دارد. هاکار و همکاران (۲۰۲۰: ۱) هر پژوهشی به بررسی همبستگی تعداد عابر پیاده با شاخص‌های تحلیل خطی و گراف بصری (VGA) در ترکیه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داده است شاخص هم‌پیوندی و میانگین عمق در تحلیل‌های خطی با تراکم عابر پیاده همبستگی داشته است. همچنین به‌طور کلی شاخص‌های تحلیل خطی بیشتر از تحلیل گراف بصری با تراکم عابر پیاده مرتبط بوده است.

اگرچه پیکره‌بندی شبکه شهری به‌خودی‌خود می‌تواند شکل‌دهنده الگوی حرکت طبیعی باشد و چیدمان فضا روش‌هایی برای شناخت فضایی و قابل‌فهم بودن را در شبکه شهری پیشنهاد داده است، در این روش‌ها ویژگی‌های بصری فضا به‌صورت کلی و انتزاعی بیان شده است (Turner et al., 2001:105; Van Nes & Yamu, 2021:87). بنابراین لازم است تا علاوه بر بررسی حرکت در شهر - نفوذپذیری (آن‌جا که می‌توانیم برویم)، تجربیات و ادراکات بصری - قابلیت بصری (آن‌چه که می‌توانیم ببینیم) - را مورد بررسی قرار دهیم. هدف این پژوهش بررسی همبستگی معیارهای قابلیت‌های بصری محیط با معیارهای پیکره‌بندی فضا و مقایسه آن با رفتار واقعی پیاده است. به همین منظور این پژوهش می‌کوشد ابعاد ادراک بصری در روش چیدمان فضا را به‌صورت معیارهای مؤثر بر الگوی حرکت طبیعی افراد در محدوده جلفای اصفهان بسنجد. در همین راستا پس از بررسی مبانی نظری ابتدا به معرفی روش پژوهش و محدوده پژوهش پرداخته و پس از آن نتایج توصیفی و استنباطی به‌دست‌آمده از تحلیل چیدمان فضا بررسی می‌شود. در نهایت مدل مبتنی بر عامل برای اعتبارسنجی و تعمیم‌پذیری نتایج به کار گرفته می‌شود.

### 1. Fractal Dimension

بعد فراکتال به عنوان معیاری از پیچیدگی شبکه خیابانی تعریف می‌شود که برای محاسبه درجه خود شباهتی شبکه خیابانی و نماها از نقطه نظر عابر پیاده اعمال می‌شود. بعد فراکتال شاخصی است برای مشخص کردن الگوی نسبت تغییرات در جزییات یک ایزه (Gerald Edgar, 2007:10; Osmond, 2005:7). بعد فراکتال توسط محاسبات ریاضی و در مقیاس طراحی شهری برای مناظر، خطوط آسمان، ارتفاعات و جزییات ساختمان‌ها متمرکز می‌شود که می‌تواند بینشی در مورد خوانایی و تنوع بصری ارائه دهد.

## مبانی نظری

### نظریه حرکت طبیعی

نظریه حرکت طبیعی به توانایی پیکره‌بندی شبکه خیابانی در پیش‌بینی حرکت پیاده اشاره دارد ( Hillier et al., 1993:32). این تئوری بیان می‌کند که خیابان‌ها با هم‌پیوندی<sup>۱</sup> بیشتر که قابلیت دسترسی بیشتری نسبت به سایر خیابان‌ها دارند، عابران پیاده بیشتری را به خود جذب می‌کنند. مطالعات قبلی ارتباط مثبتی بین هم‌پیوندی بیشتر خیابان‌ها و حجم تردد عابران پیاده نشان داده است (Hajrasouliha & Yin, 2014:2484; Hillier & Iida, 2005:480; Ozbil et al., 2011:134). توضیحی که برای این ارتباطات بیان می‌شود این است که فاصله سفر بین دو نقطه در محدوده‌هایی با خیابان‌های متصل کوتاه‌تر است (Frank, 2000:18). اگرچه با توجه به تئوری حرکت طبیعی آن چیزی که به حرکت پیاده در مناطقی با اتصال خیابانی بیشتر کمک می‌کند وجود کاربری‌های تجاری و مراکز عمومی در طول خیابان‌های هم‌پیوند است (Hillier et al., 1993:35). مطالعات نشان‌دهنده ارتباط بین هم‌پیوندی خیابان‌ها و وجود مقاصد تجاری هستند (Liu et al., 2015:4; Wang et al., 2014:59). تئوری حرکت طبیعی پل ارتباطی فرم شهر، عملکرد و پیاده‌روی برای جابه‌جایی را فراهم می‌کند (Koohsari et al., 2019:2). این نظریه که مفهوم چیدمان فضا را شکل می‌دهد، می‌تواند به‌عنوان عامل اصلی تأثیرگذار بر حرکت عابر پیاده شناسایی شود. رابطه بین شبکه خیابانی و حرکت پیاده که در تئوری حرکت طبیعی و مفهوم چیدمان فضا پیشنهاد شده است به پژوهش‌های محیط ساخته شده و فعالیت فیزیکی مرتبط است (Baran et al., 2008:7; Koohsari et al., 2017:64). با این تفاوت که نسبت به روش‌های عینی مرسوم مشکلات مربوط به موجود نبودن داده‌ها و مشکل داده‌های پایه برای مقایسه را ندارد (Lotfi & Koohsari, 2011:403).

مفهوم چیدمان فضا یک روش مفهومی و تحلیلی است که عمدتاً در زمینه‌های طراحی شهری و معماری برای درک منطبق مورفولوژیکی شبکه‌های شهری توسعه‌یافته است (Hillier & Hanson, 1984:52). چیدمان فضا مجموعه‌ای از تکنیک‌ها برای ارائه، کمی‌سازی و تفسیر پیکره‌بندی فضایی در ساختمان‌ها و شهرهاست. این روش فضاها را با استفاده از مجموعه‌ای از توصیف‌گرهای فضایی که معمولاً بر اساس مفهوم نقشه محوری<sup>۲</sup> محاسبه می‌شوند، کمی‌سازی می‌کند. نقشه محوری شامل طولانی‌ترین و کمترین خطوطی است که تمام فضاهای یک طرح را پوشش می‌دهد و آنها را به یکدیگر متصل می‌کند. در چیدمان فضا پیکره‌بندی شبکه خیابانی به‌عنوان عامل اصلی تولیدکننده حرکت عابر پیاده شناسایی می‌شود. این به آن معناست که هرچه یک فضا هم‌پیوندی بیشتری داشته باشد، شانس بیشتری برای اشغال توسط افراد پیاده خواهد داشت (Hillier et al., 1993:30).

### قابلیت بصری و مبانی آیزووویست

برخی روش‌های چیدمان فضا دید انسانی و شناخت فضایی را به قابلیت ادراک محیط که به معنای ظرفیتی برای فهم و مسیریابی در یک محیط شهری می‌باشد، پیوند می‌زند. نقشه محوری نشان‌دهنده سیستم بهینه حرکت و نظارت می‌باشد. درحالی‌که آیزووویست<sup>۳</sup> پتانسیل شبیه‌سازی و بررسی تجارب بصری افراد از یک نقطه مشخص و با در نظر گرفتن

1. Integration  
2. Axial map  
3. Isovist

ویژگی‌های انسانی نظیر ارتفاع دید و طول گام در حال حرکت را دارد. در همین راستا این تکنیک به مدل‌سازی ادراک و تجربه فضا می‌پردازد درحالی‌که سایر متدها ساختار فضایی، سلسله‌مراتب، نفوذپذیری و قابل‌فهم بودن فضا را مورد بررسی قرار می‌دهد (Ostwald & Dawes, 2018:95). دیدهای پانوپتیکی از یک نقطه معین آیزووویست نامیده شده است. لغت آیزووویست برای اولین بار توسط تاندی به کار برده شده (Tandy, 1967:9). شناخته‌شده‌ترین تعریف آیزووویست از بندیکت است که مجموعه‌ای از سنج‌های تحلیلی ویژگی‌های آیزووویست را نیز معرفی کرد. بندیکت توضیح می‌دهد که آیزووویست عبارت است از "مجموعه‌ای از تمام نقاط قابل‌مشاهده از یک نقطه برتر در فضا و باتوجه‌به یک محیط" (Benedikt, 1979:48). آیزووویست را می‌توان به طور خلاصه به‌عنوان یک ثبت بصری از آنچه که در زاویه ۳۶۰ درجه از یک مکان مشخص دیده می‌شود توضیح داد. ثبت بصری در ارتفاع متوسط چشم گرفته می‌شود. آیزووویست‌ها فضا را از دیدگاه افراد توصیف می‌کنند همان‌طور که آنها فضا را درک می‌کنند، با آن تعامل می‌کنند و در آن حرکت می‌کنند (Turner et al., 2001:108). منطقه آیزووویست توسط سوژه‌ها، اشیاء و پوشش گیاهی در فضای باز تحت بررسی تعریف می‌شود. هنگام حرکت در فضا، شکل و اندازه میدان آیزووویست با هر مکان تازه تغییر می‌کند. بنابراین می‌توان توالی میدان بصری مسیرهای حرکتی خاص را در شهرها تجسم کرد. تحلیل آیزووویست درجه دید مکان آثار شهری را به تصویر می‌کشد و مساحت و محیط میدان بصری را نمودار می‌سازد (Van Nes & Yamu, 2021:88).

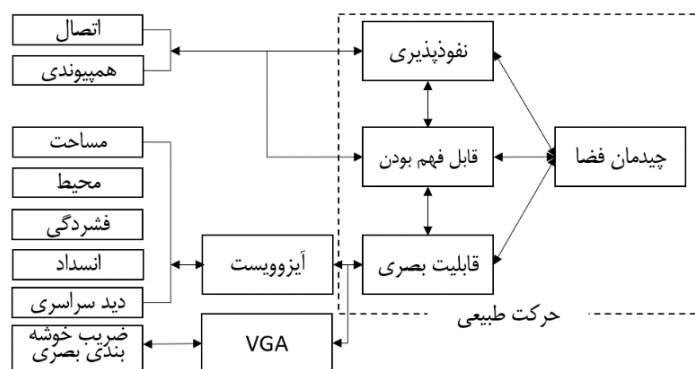
حرکت معمولاً برای ادراک بصری حیاتی در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا تنها از طریق حرکت است که می‌توانیم محیطی را که فراتر از سطوح قابل‌مشاهده در موقعیت فعلی ما قرار دارد، درک کنیم. همان‌طور که ناظر موقعیت خود را تغییر می‌دهد، نظم محیط نیز تغییر می‌کند تا سطوحی که قبلاً پنهان شده بودند را نمایان سازد و سطوحی که قبلاً قابل‌مشاهده بودند را از دید پنهان کند. تحلیل گراف بصری<sup>۱</sup> (VGA) توسط ترنر و همکاران (۲۰۰۱) و بر اساس مفهوم چیدمان فضا و میدان‌های بصری گسترش داده شد. تحلیل گراف بصری بر اساس منطق تحلیل آیزووویستی، تمام میدان‌های آیزووویست را از تمام نقطه/مکان‌های یک فضای معین ادغام می‌کند. به‌عبارت‌دیگر VGA روشی برای تجزیه و تحلیل اتصالات قابل‌مشاهده فضای شهری است. VGA یک روش مبتنی بر رستر است. برای هر سلول در شبکه یک آیزووویست انجام می‌شود و دید توپولوژیکی آن در رابطه با تمام سلول‌های دیگر محاسبه می‌شود. به‌طور کلی، VGA نشان می‌دهد که جهت‌یابی و پیمایش در محله‌ها چقدر آسان یا دشوار است. علاوه بر این، VGA پتانسیل‌های مکان را برای فعالیت‌های ایستا از جمله تعامل اجتماعی در میادین و خیابان‌های عمومی نشان می‌دهد. بنابراین VGA یک معیار موضعی استاتیک است (Turner et al., 2001:104). تحلیل گراف بصری (VGA) ابزاری است که با آن می‌توانیم آگاهانه روابط دید و نفوذپذیری در سیستم‌های فضایی را کشف کنیم. رابطه بین دید و نفوذپذیری جزء حیاتی از فضای شهری و تجربه افراد در آن فضا است. ویژگی‌های گراف بصری ممکن است سرخ‌هایی برای ادراک و شناخت فضایی، شامل مسیریابی و حرکت به دست دهد. نتایج نشان می‌دهد پیکره‌بندی فضایی و قابلیت بصری می‌توانند به‌عنوان متغیرهای بالقوه برای شبیه‌سازی حرکت عابر پیاده در نظر گرفته شوند (Martino et al., 2019:131; Osmond, 2005:3).

همان‌طور که گفته شد نظریه حرکت طبیعی مفهوم روش چیدمان فضا را توضیح می‌دهد. چیدمان فضا روش مناسبی برای اندازه‌گیری هم‌پیوندی و اتصال<sup>۲</sup> خیابان‌ها ارائه می‌دهد. پروسه محاسبه سنج‌های چیدمان فضا در منابع دیگر

1. Visual Graph Analysis (VGA)  
2. Connectivity



توضیح داده شده است (Hillier & Hanson, 1984:97; Koohsari et al., 2014:209). اما به طور اختصار "هم‌پیوندی خیابان"، شاخص کلیدی چیدمان فضا، نشان می‌دهد که چگونه سگمنت‌های خیابانی به لحاظ توپولوژیکی در یک محدوده معین قابل دسترسی هستند. شاخص اتصال نیز تعداد گره‌هایی را که مستقیماً از یک گره قابل دسترسی هستند اندازه می‌گیرد (در نظریه گراف به این قابلیت ترتیب یک رأس می‌گویند) (Hillier et al., 1993:35). محاسبه هم‌پیوندی خیابان بر اساس معیار اتصال صورت می‌گیرد. بنابراین این دو معیار در یک رابطه مثبت و مستقیم قرار دارند. این دو معیار میزان نفوذپذیری فیزیکی یک محیط را نشان می‌دهند. ضریب همبستگی بین اتصال و هم‌پیوندی کلی نشان‌دهنده درک ساختار سراسری یک محیط یا معیار قابل فهم بودن است. چارچوب مفهومی پژوهش (نمودار شماره ۱) ارتباط معیارهای ذکر شده را به خوبی نشان می‌دهد. همچنین قابلیت‌های بصری که به ادراک بصری و شناخت فضایی توسط دید انسان می‌پردازند، توسط معیارهای آیزووویست و VGA تعریف می‌شود. این پژوهش به لحاظ مفهومی حول سه محور اصلی نفوذپذیری، قابل فهم بودن و قابلیت‌های بصری که از مفاهیم اصلی چیدمان فضا هستند، سازمان یافته است. معیارهای مذکور در روش چیدمان فضا دارای شاخص‌هایی هستند که با توجه به هدف پژوهش، شاخص‌های هم‌پیوندی، اتصال، قابل فهم بودن، مساحت و محیط آیزووویست، فشردگی، انسداد، دید سراسری و ضریب خوشه بندی بصری در محدوده مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱. چارچوب مفهومی پژوهش

## روش پژوهش

در این مطالعه ویژگی‌های بصری و فضایی مشوق پیاذهروی شامل نفوذپذیری، قابل فهم بودن<sup>۱</sup> و قابلیت‌های بصری به وسیله متد چیدمان فضا بررسی شده است. سه ابزار اصلی تحلیل گراف خطی<sup>۲</sup>، تحلیل آیزووویست و تحلیل گراف بصری توسط نرم‌افزار UCL DepthmapX مورداستفاده قرار گرفته است. معیارهای مختلفی از تحلیل گراف خطی استخراج می‌شود که سه مورد از آن‌ها شامل شاخص اتصال، هم‌پیوندی و قابل فهم بودن با توجه به اهمیت آن‌ها در تعیین قابلیت پیاذهروی در این مطالعه بررسی شده است. شاخص اتصال یک معیار موضعی از تعداد گره‌های متصل به هر گره است (تعداد تقاطع‌های هر خیابان). هم‌پیوندی میزان ادغام یا جداسازی یک گره در یک سیستم (هم‌پیوندی کلی<sup>۳</sup>) یا بخشی از سیستم (هم‌پیوندی محلی<sup>۴</sup>) را بر اساس عمق گره محاسبه می‌کند. هم‌پیوندی یک معیار نرمال شده برای

1. Intelligibility
2. Axial analysis
3. Global Integration HH (Rn)
- 4 Local Integration HH (R3)

اندازه‌گیری فاصله فضای مبدأ به همه فضای دیگر در یک سیستم است ( Hillier & Hanson, 1984:82; UCL Space Syntax, 2018). همبستگی بین این معیارها برخی از ویژگی‌های چیدمان فضا را توصیف می‌کند که به مسیریابی مربوط می‌شود (Dalton, 2003:107). معیار قابل فهم بودن ضریب همبستگی بین اتصال و هم‌پیوندی کلی است. این شاخص کمک می‌کند تا تشخیص دهیم که درک ساختار سراسری محدوده برای فردی که در موقعیت محلی قرار دارد چقدر آسان است (Al\_Sayed et al., 2014:15). از معیارهای مورداستفاده ابزار آیزووویست می‌توان به شاخص فشردگی<sup>۱</sup> اشاره کرد. شاخص فشردگی معیاری برای سنجش میزان دسترسی در محیط محله است که به وسیله طول بلوک‌ها و حداقل فاصله یک فضا از دیگر فضاها سنجیده می‌شود. معیار دید سراسری<sup>۲</sup> به معنای بلندترین خط بصری و مجموع تمام خطوط دید برای هر مکان در یک شبکه گراف بصری است (Turner, 2007:6). ضریب خوشه‌بندی<sup>۳</sup> نشان‌دهنده هر دو فضای محدب و خطی با نمایش گراف بصری است. مناطق قرمز به طور پیش فرض محدب‌تر هستند و ممکن است فضاهای بالقوه ایستایی باشند. نواحی آبی کشیده‌تر هستند و ممکن است ثابت کند که این نواحی ماهیتاً فعالیت حرکتی بالایی دارند. ضریب خوشه‌بندی نشان‌دهنده میزان از دست دادن اطلاعات بصری هنگام حرکت از یک مکان به مکان دیگر است. آیزووویست‌های محدب‌تر، ضریب خوشه‌بندی بالایی را حفظ می‌کنند، بنابراین اطلاعات بصری کمی هنگام حرکت از این مکان‌ها از دست می‌رود. بر خلاف آیزووویست‌های محدب، محیط‌های گوشه‌دار ضریب خوشه‌بندی پایینی دارند. بنابراین هنگام دور شدن از این مکان‌ها اطلاعات بصری بیشتری از دست می‌رود. درک این ویژگی‌ها برای روشن کردن رابطه بین مسیریابی و انواع حرکت و تغییر اطلاعات بصری در سیستم حیاتی است. آیزووویست محدوده‌ای در یک محیط فضایی است که مستقیماً از یک نقطه قابل مشاهده است. آیزووویست یک جسم فیزیکی است که توسط یک چندضلعی بسته محدود شده است. از این رو دارای ویژگی‌های هندسی مانند مساحت و محیط است. این ویژگی‌های هندسی بیان می‌کند که چه محدوده‌ای از یک نقطه مشخص قابل مشاهده است (Al\_Sayed et al., 2014:29). معیار انسداد<sup>۴</sup> نسبت لبه‌های آیزووویست را بیان می‌کند که از نظر فیزیکی تعریف نشده‌اند. این نشان می‌دهد که چگونه فضای نادیده ممکن است در طول حرکت آشکار شود (Benedikt, 1979:50). فیلدهای انسداد لحظاتی از تغییرات چشمگیر بصری را هنگام عبور کاربر از بین فضاها نشان می‌دهد. سطوح مسطح تمایل دارند لبه‌های انسدادی را در فضا گسترش دهند.

داده‌های نفوذپذیری از گراف خطی و قابلیت‌های بصری از گراف بصری با شبکه‌ای از سلول‌هایی با ابعاد  $0/6^5$  به دلیل مطابقت با مقیاس انسانی (Turner, 2007:11; Van Nes & Yamu, 2021:99). استخراج گردید. نرم‌الیتی داده‌های مستخرج از نرم‌افزار DepthmapX توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS بررسی شد. باتوجه‌به ناپارامتریک بودن داده‌ها، ضریب همبستگی این معیارها به وسیله آزمون همبستگی اسپیرمن استخراج گردید.

1. Compactness
2. Through vision
3. Visual Clustering Coefficient
4. Occlusivity

۵. جهت تحلیل گراف بصری لازم است تا شبکه‌ای از سلول‌های مربع شکل با ابعاد مشخص بر روی نقشه تنظیم شود. ابعاد این شبکه در میزان دقت شاخص‌های بصری نقش مهمی دارند. ابعاد سلولی  $0/25$  تا  $0/75$  به مقیاس نقطه دید انسانی نزدیک‌تر بوده و دقت بیشتری برای تحلیل داده‌ها به دست می‌دهد.

مدل مبتنی بر عامل<sup>۱</sup>

برای اعتبارسنجی الگوی حرکت پیاده به آزمون‌های بیشتر و روش‌های تجربی نیاز است. بدین منظور ترنر بخش کاربردی چارچوب نظریه خود که در آن به دنبال توضیح تعامل بصری بین فرد و محیط است را توسعه داده است (Turner, 2007:5). ترنر برای آزمایش تحقیقات نظری خود، یک مدل مبتنی بر عامل شناختی برای شبیه‌سازی الگوهای حرکت طبیعی در ساختمان‌ها و شهرها ابداع کرد. این بررسی تا حدی در ابزار تحلیل عامل در DepthmapX پیاده‌سازی شده است. مدل مبتنی بر عامل شناختی برای به‌دست‌آوردن درک بهتری از اساس شناختی حرکت طبیعی و توضیح مسیریابی مفید است. این طراحی محصول نوظهور حرکت کاربران با استفاده از قوانین از پیش تعریف شده بود. عوامل حرکتی ترنر بر اساس ادراک بصری خود در رابطه با موقعیت خود در محیط عمل می‌کنند. همان‌طور که آنها در فضا حرکت می‌کنند، اطلاعات بصری که از طریق سیستم بینایی خود دریافت می‌کنند تغییر می‌کند و واکنش‌های آنها نیز بر این اساس تغییر می‌کند. این فرایند شامل یک جزء پویا است و به این ترتیب با هر نمایش چیدمانی فضا به صورت متفاوت عمل می‌کند. مدل مبتنی بر عامل بر پایه حرکت طبیعی و گراف بصری به شبیه‌سازی مسیر پیاده افراد می‌پردازد (Van Nes & Yamu, 2021:105). از این رو این مدل برای اعتبارسنجی و مقایسه حرکت پیاده در محیط واقعی با نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل گراف خطی و بصری مناسب است.

## محدوده پژوهش

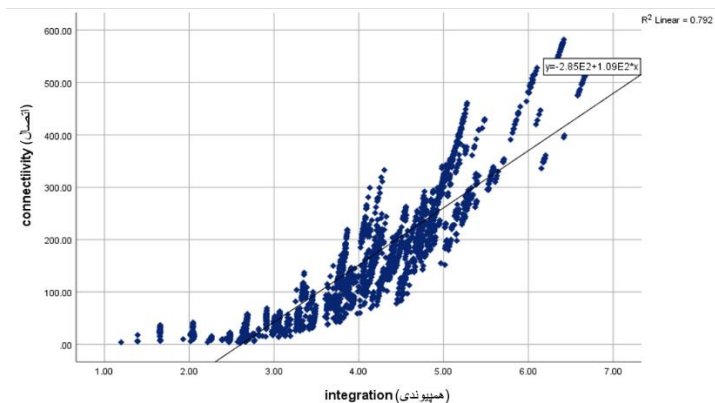
محل جلفای اصفهان در محدوده مرکزی حوزه جنوب رودخانه زاینده‌رود و در منطقه ۵ اصفهان واقع شده است و سابقه ساخت آن به دوران شاه‌عباس اول در زمان کوچ ارامنه جلفا به دستور شاه‌عباس در سال ۱۶۰۵ می‌رسد. از همان دوران ساخت بناها و کلیساها با تأثیر از معماری ایرانی - ارمنی آغاز شد. تأثیر معماری جلفای قدیم در ارمنستان بر فرم شهری متراکم و تزیینات مخصوص این محدوده در حال حاضر نیز قابل توجه است. این محل از گذشته محل استقرار ارامنه در اصفهان بوده که به مرور زمان حدود تاریخی و مذهبی آن دستخوش تغییراتی گردیده و در حال حاضر محل سکونت ساکنانی با تنوع فرهنگی و مذهبی می‌باشد. وجود ویژگی‌های تاریخی، تجاری، گردشگری و فرهنگی این محدوده را به‌عنوان یکی از جذاب‌ترین مقاصد برای اقشار گوناگون و ساکنان تبدیل کرده است. محدوده پژوهش شامل بلوک شهری بخشی از این محله به مساحت تقریبی چهارده هکتار، با ۱۷۴۸ نفر جمعیت (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) و ما بین خیابان‌های حکیم نظامی، نظر میانی، توحید شمالی و مهرداد می‌باشد. این محدوده دارای شاخص‌ترین اماکن مذهبی و تاریخی ارامنه و مراکز خرید و تفریحی بوده که روزانه حجم زیادی از عابران پیاده را به خود جذب می‌کند. وجود بافت تاریخی و ارگانیک در کنار اختلاط کاربری باعث شده تا گزینه مناسبی برای بررسی رابطه سنج‌های پیکره‌بندی فضایی و قابلیت بصری به‌عنوان شاخص بالقوه قابلیت پیاده‌روی باشد (تصویر ۲).



شکل ۲. جانمایی و محدوده پژوهش، توده و فضا - کاربری اراضی

## یافته‌ها

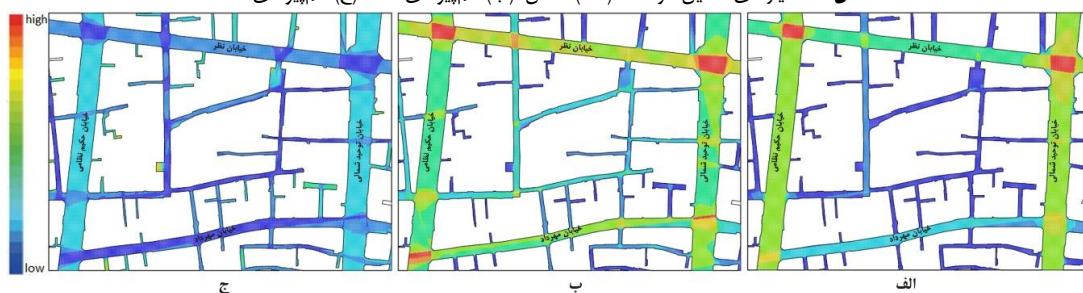
نقشه بلوک‌های آماری تهیه شده در مرکز آمار ایران برای تحلیل چیدمان فضا در نرم‌افزار DepthmapX وارد شده است. تصویر شماره ۳ نشان‌دهنده نقشه‌های تحلیل خطی محدوده جلفا می‌باشد که به ترتیب شامل اتصال، هم‌پیوندی کلی (Rn)، و هم‌پیوندی محلی (R3) برای کلیه معابر محدوده است. Rn میانگین عمق یک خیابان (تعداد گردش‌های موردنیاز) را از تمام خیابان‌های دیگر در سیستم اندازه‌گیری می‌کند. R3 همان ویژگی را تا شعاع سه بلوک از هر خیابان اندازه‌گیری می‌کند. بیشترین مقادیر با رنگ قرمز و کمترین مقادیر با رنگ آبی نشان داده می‌شود. همان‌طور که در تصاویر مشهود است به دلیل کوچک بودن محدوده نقشه‌های هم‌پیوندی کلی و محلی تفاوت چندانی ندارند. مقادیر زیاد Rn با وسایل نقلیه مشاهده شده همبستگی دارد. هم‌پیوندترین خطوط (به رنگ قرمز) با مسیرهای اصلی وسایل نقلیه منطبق است. این محله ساختار حلقه‌ای را به نمایش می‌گذارد که منعکس‌کننده سلسله‌مراتب خیابان‌هایی است که ترافیک رفت‌وآمد را به مناطق مسکونی جدا شده تقسیم می‌کنند و دسترسی به کاربری‌های عمومی را فراهم می‌سازند. باین‌حال مقادیر هم‌پیوندی و اتصال در محورهای پیاده جلفا نشان‌دهنده نفوذپذیری نسبتاً مطلوب این معابر نسبت به مسیرهای اصلی است. نمودار پراکندگی اتصال و هم‌پیوندی Rn (شکل ۴) همبستگی بین ویژگی‌های محلی و سراسری را به‌عنوان معیار قابل‌فهم بودن سیستم ارائه می‌دهد. همبستگی خطی ( $R^2=0/792$ ) نشان‌دهنده همبستگی قوی و مستقیم بین این دو متغیر است. نتایج نشان می‌دهد محدوده جلفا تا حد زیادی قابل ادراک است.  $R^2$  بیان می‌کند که ویژگی‌های محلی تا چه اندازه می‌توانند ساختار سراسری را پیش‌بینی کنند. به بیان دیگر  $R^2$  معیاری برای پیش‌بینی‌پذیری است، نه قابلیت پیاده‌روی. در اینجا سؤال این است که محیط برای چه کسی قابل‌درک است؟ یک راننده و یک عابر پیاده محیط را به طور متفاوت درک می‌کنند، زیرا سرعت ارائه اطلاعات بصری تابعی از مسافت طی شده در یک‌زمان معین است. از آنجایی که میانگین طول محوری شبکه خیابان‌های داخلی محله جلفا تقریباً یک‌سوم معابر اصلی است، می‌توانیم بگوییم بافت محله از دید عابران پیاده قابل‌درک است.



شکل ۳. معیار قابل فهم بودن، ضریب همبستگی بین اتصال و هم‌پیوندی



شکل ۴. معیارهای تحلیل گراف - (الف) اتصال، (ب) هم‌پیوندی Rn، (ج) هم‌پیوندی R3



شکل ۵. معیارهای بصری، تحلیل آیزوویست و گراف بصری VGA - (الف) مساحت آیزوویست، (ب) محیط آیزوویست، (ج) فشردگی، (د) انسداد، (ه) دید سراسری، (و) ضریب خوشه‌بندی بصری

جدول ۱. آمار توصیفی داده‌های چیدمان فضا

انحراف معیار	میانگین	بیشینه	کمینه	معیار	ابزار تحلیل
۰/۹۷	۴/۰۹۰	۶/۷۱	۱/۲۰	هم‌پیوندی	گراف خطی
۱۱۹/۱۹	۱۶۱/۵۷	۵۸۲/۰۰	۳/۰۰	اتصال	
۷۰۹/۰۳	۱۰۴۰۴/۵۴	۲۸۲۳۳/۸۶	۱۸/۵۴	مساحت آیزوویست	آیزوویست
۴۲۹/۷۵	۹۰۸/۹۰	۲۰۲۱/۱۹	۱۷/۶۲	محیط آیزوویست	

فشردگی	۰/۰۲	۰۰/۷۵	۰/۱۵	۰/۰۷
انسداد	۲/۵۴	۱۱۸۸/۰۱	۳۰۹/۶۷	۱۶۷/۴۷
دید سراسری	۰/۰۰	۲۰۸۴۹۰/۰۰	۵۴۷۴۲/۹۶	۵۷۵۴۸/۴۰
گراف VGA	بصری	خوشه‌بندی بصری	۰/۳۷	۰/۱۳

همان‌طور که گفته شد آیزووویست دارای ویژگی‌های هندسی مانند مساحت و محیط است. این ویژگی‌های هندسی بیان می‌کند که چه محدوده‌ای از یک نقطه مشخص قابل مشاهده است. مطابق تصویر ۵ مساحت و محیط آیزووویست در معابر داخلی بافت، به‌خصوص در گوشه‌ها مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که فضاهای محدب با قابلیت دید برای عابر پیاده کاهش یافته، اطلاعات بصری بیشتری از بین می‌رود همچنین فضای کمتری باتوجه به باریک بودن معابر از هر نقطه قابل مشاهده است. اصل فشردگی بیان می‌کند که بلوک‌های نفوذناپذیر مقدار عمق متوسط را بیشتر از بلوک‌های کوچک افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر، بلوک‌های طولانی بیشتر از بلوک‌های کوچک به جداسازی یک محله کمک می‌کنند. این مدل‌های فضایی ساده اولین گام‌ها برای توضیح چگونگی پیکربندی‌های مختلف فضایی شهری درجات مختلفی از دسترسی هستند. وجود بن‌بست‌ها و معابر باریک در کنار بلوک‌های بزرگ و نفوذناپذیر موجب شده تا میزان فشردگی در این محدوده کم باشد. معیار انسداد نشان می‌دهد که چه مقدار از فضا در طول حرکت برای عابر پیاده آشکار می‌شود. رنگ‌های آبی نشان‌دهنده انسداد بیشتر در طول مسیرهای درون بافت هستند. انسداد می‌تواند باعث ایجاد حس کنجکاو در عابر پیاده برای کشف فضاهایی در امتداد مسیر پیاده خود باشد. معیار دید سراسری نشان می‌دهد چه مقدار از فضا از دورترین نقطه ممکن قابل مشاهده هستند. به عبارت دیگر این معیار ماهیت گراف خطی داشته و با رفتار پیاده و حرکت در محیط مرتبط است. خطوط طولانی‌تر با رنگ قرمز نشان‌دهنده فواصل زیاد بصری و حرکتی و خطوط آبی نشان‌دهنده فواصل کوتاه است. این معیار در معابر درون محله با مقدار کمتر نشان‌دهنده فواصل کوتاه‌تر دید از یک نقطه است. ضریب خوشه‌بندی بصری قابلیت شناسایی نقاط تقاطعی را دارد. نقاط آبی‌رنگ کمترین میزان خوشه‌بندی بصری را نشان می‌دهد که از تحدب فضایی کمتری برخوردار است و اطلاعات بصری بیشتری در این نواحی از بین می‌رود. نقاط قرمز رنگ محدب‌تر بوده و نشان‌دهنده فضاهای بالقوه ایستایی هستند. باین‌حال این معیار با میانگین ۰/۸۶ (جدول ۱) شرایط مطلوب محدوده را به لحاظ موقعیت‌های بصری نشان می‌دهد.

## بحث

ضریب همبستگی دو معیار اتصال و هم‌پیوندی ( $R^2=۰/۷۹۲$ ) نشان‌دهنده قابل‌پیش‌بینی بودن این محدوده برای عابران پیاده است. این میزان در پژوهش‌های پیشین نیز به‌عنوان سطح بالایی از قابل‌درک بودن محیط عنوان شده و همبستگی زیادی با حجم تردد عابر پیاده را نشان داده است (Lerman & Omer, 2013:392; Osmond, 2005:10).

جدول شماره ۲ جهت و میزان همبستگی بین معیارهای پیکره‌بندی فضایی (هم‌پیوندی، اتصال) و قابلیت‌های بصری (دید سراسری، مساحت آیزووویست، محیط آیزووویست، خوشه‌بندی بصری، فشردگی و انسداد) را نشان می‌دهد. دو معیار هم‌پیوندی و اتصال نشان‌دهنده نفوذپذیری (آن‌جا که می‌توانیم برویم) و معیارهای آیزووویست و VGA نشان‌دهنده قابلیت‌های بصری (آن‌چه که می‌توانیم ببینیم) هستند. مطابق جدول ۲ دید سراسری با دو معیار نفوذپذیری (هم‌پیوندی  $r = ۰/۷۴۶$ ,  $p = ۰/۰۰۰$  و اتصال  $r = ۰/۷۲۶$ ,  $p = ۰/۰۰۰$ ) همبستگی قوی و مستقیم را نشان می‌دهد که با نتایج پژوهش‌های پیشین همسو است (Martino et al., 2019:130; Turner, 2007:10). معیار دید سراسری نتیجه شبیه‌سازی رفتار

حرکتی عابر پیاده مبتنی بر عامل را پیش‌بینی می‌کند. معیارهای مساحت و محیط آیزووویست نیز همبستگی قوی و مستقیمی را با شاخص‌های هم‌پیوندی و اتصال و حرکت عابر پیاده نشان می‌دهند که با نتایج پژوهش‌های قبل هم راستا است (Turner, 2003:670). با افزایش هم‌پیوندی در سیستم مقدار ویژگی‌های هندسی فضاهای محدب و قابل دید برای عابران پیاده افزایش می‌یابد (Martino et al., 2019:131). به عبارت دیگر نفوذپذیری، قابلیت‌های بصری را به طور مطلوبی پیش‌بینی می‌کند. بر خلاف نتایج پژوهش‌های پیشین که همبستگی مثبت ضریب خوشه‌بندی بصری با قابلیت پیاده‌روی را نشان داده است (Tahar & Brown, 2003:13; Penn & Turner, 2001:9). ضریب خوشه‌بندی بصری با هم‌پیوندی ( $r = /0.13, p = /229$ ) هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

جدول ۲. ضریب همبستگی اسپیرمن معیارهای خطی و بصری چیدمان فضا

معیار	هم‌پیوندی	اتصال	دید سراسری	مساحت آیزووویست	محیط آیزووویست	خوشه‌بندی بصری	فشرده‌گی	انسداد
هم‌پیوندی	ضریب همبستگی	۱/۰۰۰						
	سطح معنی‌داری							
اتصال	ضریب همبستگی	**۰/۸۲۸	۱/۰۰۰					
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰						
دید	ضریب همبستگی	**۰/۷۴۶	**۰/۷۲۶	۱/۰۰۰				
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰					
سراسری	ضریب همبستگی	**۰/۸۲۸	**۱/۰۰۰	**۰/۷۲۶	۱/۰۰۰			
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰				
مساحت	ضریب همبستگی	**۰/۹۲۶	**۰/۷۴۸	**۰/۶۸۵	**۰/۷۴۹	۱/۰۰۰		
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
آیزووویست	ضریب همبستگی	۰/۰۱۳	**۰/۰۷۰	**۰/۲۹۰	**۰/۱۵۵	**۰/۱۰۰	۱/۰۰۰	
	سطح معنی‌داری	۰/۲۲۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		
خوشه‌بندی بصری	ضریب همبستگی	**۰/۰۳۱	**۰/۲۰۵	**۰/۱۰۸	**۰/۲۰۳	**۰/۳۷۰	**۰/۶۱۷	۱/۰۰۰
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
انسداد	ضریب همبستگی	**۰/۶۹۴	**۰/۵۵۳	**۰/۳۷۳	**۰/۵۵۳	**۰/۸۲۲	**۰/۳۰۹	**۰/۴۱۴
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

\*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است

همچنین ضریب خوشه‌بندی بصری با معیار موضعی اتصال ( $r = /0.70, p = /0.00$ ) نیز همبستگی بسیار ضعیف را ارائه می‌کند. درحالی‌که ضریب خوشه‌بندی بصری تغییرات بصری درون یک سیستم و فضاهایی با پتانسیل ایستایی و تقاطع‌ها را بررسی می‌کند، معیار هم‌پیوندی و اتصال نشان‌دهنده فضاهایی با قابلیت حرکت طبیعی برای عابر پیاده هستند. معیار فشرده‌گی با هم‌پیوندی دارای همبستگی ناچیز و منفی ( $r = - /0.31, p = /0.05$ ) و با معیار اتصال نیز همبستگی کمی را نشان می‌دهد ( $r = /205, p = /0.00$ ). این بدان معناست که با افزایش هم‌پیوندی، معیار فشرده‌گی در حد ناچیزی کاهش می‌یابد. در مسیرهایی که هم‌پیوندی افزایش یافته، معیار فشرده‌گی با رنگ آبی نشان داده شده (تصویر ۲ و ۳). همان‌طور که گفته شد هم‌پیوندی محاسبه می‌کند که فضای مبدأ تا چه اندازه به فضاهای دیگر نزدیک است و اصل فشرده‌گی بیان می‌کند که بلوک‌های نفوذناپذیر مقدار عمق متوسط را بیشتر از بلوک‌های کوچک افزایش می‌دهند. باین‌حال وجود همبستگی منفی و ناچیز نشان از شرایط نامطلوب محدوده به لحاظ تجربه فضایی و بصری ناظر دارد. معیار انسداد با هم‌پیوندی و اتصال دارای همبستگی معنی‌دار در سطح متوسط (هم‌پیوندی  $r = /694, p = /0.00$  و اتصال

طول مسیر آشکار می‌شود و تغییرات بصری افزایش می‌یابد. با افزایش هم‌پیوندی و نزدیک‌شدن فضاها به یکدیگر فضاهای بیشتری برای عابر پیاده در طول مسیر آشکار می‌شود و تغییرات بصری افزایش می‌یابد.

#### اعتبارسنجی

همان‌طور که گفته شد مدل مبتنی بر عامل که بر پایه حرکت طبیعی و تحلیل گراف بصری عمل می‌کند، می‌تواند به‌عنوان مدلی برای مقایسه الگوی حرکت افراد در محیط واقعی با نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل گراف بصری و آیزوویست استفاده شود. این مدل می‌تواند نشان دهد که ویژگی‌های بصری تا چه حد بر رفتار عابر پیاده مؤثر است. همچنین اعتبار نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل گراف خطی نیز سنجیده می‌شود. مدل مبتنی بر عامل بر اساس گراف بصری با شبکه‌ای از سلول‌هایی با ابعاد  $0/6 \times 0/6$  ایجاد شد. در محیط نرم‌افزار تعداد ۵۰ عامل از نقاط منتخب (تصویر ۶) با میدان دید  $170^\circ$  درجه قرار داده شد. در برداشت میدانی نیز پیمایشگر ۵۰ نفر از افراد پیاده را از همان نقاط و بدون مزاحمت در طول دو روز دنبال کرد تا زمانی که از محدوده خارج شدند، وارد ساختمان شدند یا بیش از ۳۰ ثانیه توقف کردند (Martino et al., 2019:131). (تصویر ۷). مقایسه هر دو نقشه نشان می‌دهد همبستگی زیادی بین حرکت عامل و افراد پیاده در محیط واقعی وجود دارد. اگرچه مدل مبتنی بر عامل بر پایه گراف بصری متشکل از شبکه سلول‌های همسان تشکیل شده (و نه گراف خطی) است، با این حال الگوی حرکت عابران پیاده مشاهده شده با معیار هم‌پیوندی و اتصال مطابقت دارد. پژوهش‌های دیگر نتایج ناپایداری را در مورد همبستگی شاخص‌های بصری با حرکت عابر پیاده نشان می‌دهند (Hacar et al., 2020:9). با این وجود همبستگی مناسبی بین هم‌پیوندی بصری و هم‌پیوندی خطی با مدل مبتنی بر عامل گزارش شده است (Turner, 2003:671; Turner & Penn, 1999:6). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تأثیرات پیکربندی فضایی بر الگوهای حرکتی با مدلی از رفتار تصمیم‌گیری فردی بر اساس توانایی‌های فضایی ارائه‌شده توسط مورفولوژی میدان‌های بصری موضعی سازگار است.



Translation is too

شکل ۶. (راست). حرکت مبتنی بر عامل تولید شده توسط چیدمان فضا

شکل ۷. (چپ). حرکت پیاده مشاهده شده در محیط واقعی





شکل ۸. نقاط شروع پیمایش در محدوده

### نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاشی است برای یافتن پاسخ این پرسش که ویژگی‌های بصری در کنار پیکره‌بندی فضایی چگونه می‌تواند بر حرکت طبیعی افراد در محیط‌های شهری تأثیر بگذارد. نتایج نشان می‌دهد فضاهای هم‌پیوند و با معیار اتصال قوی که به لحاظ توپولوژیکی نزدیک هستند، دسترسی بیشتری برای عابران پیاده فراهم می‌آورد. همچنین هم‌پیوندی با حضور مردم و حرکت مشاهده شده عابران پیاده و وسایل نقلیه همبستگی دارد. بنابراین چیدمان فضا و ابزار تحلیل خطی یک روش کاربردی برای تعیین کمیت نفوذپذیری ارائه می‌دهد. به‌طور کلی پژوهش‌های پیشین یا میزان همبستگی بین شاخص هم‌پیوندی و اتصال را به‌عنوان سنجشی برای خوانایی<sup>۱</sup> محیط در نظر گرفته‌اند، یا نقش این معیار را برای پیش‌بینی قابلیت پیاده‌روی مورد اغماض قرار داده‌اند. با این حال همبستگی که در این پژوهش به‌عنوان معیار قابل‌فهم بودن بررسی شده است، مترادف با خوانایی نیست. قابل‌فهم بودن بیان می‌کند که تا چه حد شناخت فضاهای کوچک‌مقیاس (مثلاً همان‌طور که با قدم‌زدن در یک سری فضاهای متوالی و به‌هم‌پیوسته از آنها به دست می‌آید)، شناخت فضاهای مقیاس بزرگ را تسهیل می‌کند. این معیار با ایجاد قابلیت پیش‌بینی‌پذیری برای سیستم سراسری یک محدوده، به‌طور غیرمستقیم بر قابلیت پیاده‌روی تأکید دارد. قابلیت‌های بصری نه‌تنها می‌توانند به لحاظ عینی بر الگوهای حرکت پیاده تأثیرگذار باشند، بلکه به نظر می‌رسد با بعد ادراکی افراد از محیط نیز در ارتباط باشند. سنجش‌های دید سراسری، مساحت و محیط آیزوویست و انسداد می‌توانند معیارهای مناسبی برای سنجش بعد بصری قابلیت پیاده‌روی یک محیط در نظر گرفته شوند. پژوهش‌های اندکی به بررسی تأثیر ویژگی‌های بصری محیط بر پیاده‌روی افراد از طریق چیدمان فضا پرداخته‌اند. با این حال نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پیکره‌بندی میدان‌های بصری و خصوصیات هندسی آنها بر الگوی حرکت افراد تأثیر زیادی دارد. تغییرات بصری در طول مسیرها و افزایش محیط و مساحت فضاهای محدب قابل‌رویت می‌تواند به طرز چشمگیری باعث افزایش پیاده‌روی شود. محیطی که دارای فضاهای محدب بیشتر است، قابل‌ادراک‌تر و محرک‌تر از محیطی است که ویژگی‌های بصری در آن از بین می‌رود. مقایسه محیط واقعی با مدل مبتنی بر عامل که بر اساس ویژگی‌های گراف بصری تولید می‌شود نشان داد که الگوی

حرکت افراد در محیط واقعی نیز تا حد زیادی بر اساس معیارهای بصری و مورفولوژیکی محیط است. استفاده از چیدمان فضا می‌تواند مطالعات کمی مقایسه‌ای معیارهای نفوذپذیری، قابل‌فهم بودن و قابلیت‌های بصری را تسهیل کند. پژوهش‌های بیشتری نیاز است تا ارتباط این معیارها در محیط‌ها با ویژگی‌های متفاوت به لحاظ شبکه معابر، اختلاط کاربری، تراکم مسکونی و شاخص‌های اجتماعی - اقتصادی مقایسه شود.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

## منابع

بهنامی فرد، فائزه، و حبیبی، میترا. (۱۳۹۷). بررسی میزان تأثیرگذاری عوامل محیطی بر افزایش فعالیت دختران و پسران نوجوان در فضاهای شهری (محدوده مطالعاتی: خیابان آزادی کرج). *مطالعات شهری*، ۷(۲۷)، ۱۷-۲۷.

شفیعیون، زهره، و زمانی، بهادر. (۱۳۹۹). ارزیابی تأثیر شاخص عینی فرم شهری بر میزان پیاده‌روی ساکنان محله مطالعه موردی: منطقه ۱۴ شهر اصفهان. *برنامه‌ریزی فضایی*، ۱۱(۱)، ۱۳۳-۱۵۰.

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). *اطلاعات بلوک‌های آماری ۱۳۹۵*. اصفهان، ایران: مرکز آمار ایران.

## References

- Al\_Sayed, K., Turner, A., Hillier, B., Iida, S., & Penn, A. (2014). *SPACE SYNTAX METHODOLOGY*. Publisher: Bartlett School of Architecture.
- Arbab, P., Martinez, J., Amer, S., & Pfeffer, K. (2021). Toward Active Transport as a Utilitarian and Recreational Form of Sustainable Urban Mobility. *Conference on Sustainable Urban Mobility: Advances in Mobility-as-a-Service System*, Greece, 635-644.
- Baran, P. K., Rodríguez, D. A., & Khatkhat, A. J. (2008). Space Syntax and Walking in a New Urbanist and Suburban Neighbourhoods. *Journal of Urban Design*, 13(1), 5-28.
- Behnamifard, F., Shafieiyou, Z., & Behzadfar, M. (2023). Associations of Perceived and Objective Neighborhood Environment Attributes with Walking in Older Adults: A Cross-Sectional Study. *Journal of Urban Planning and Development*, 149(2), 05023009.
- Benedikt, M. L. (1979). To Take Hold of Space: Isovists and Isovist Fields: *Environment and Planning B. Urban Analytics and City Science*, 6(1), 47-65.
- Brownson, R. C., Hoehner, C. M., Day, K., Forsyth, A., & Sallis, J. F. (2009). Measuring the built environment for physical activity: state of the science. *American Journal of Preventive Medicine*, 36(4), 99-123.
- Chaix, B., Kestens, Y., Duncan, S., Merrien, C., Thierry, B., Pannier, B., Brondeel, R., Lewin, A., Karusisi, N., Perchoux, C., Thomas, F., & Méline, J. (2014). Active transportation and public transportation use to achieve physical activity recommendations? A combined GPS, accelerometer, and mobility survey study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1), 1-11.
- Dalton, R. C. (2003). The Secret Is To Follow Your Nose: Route Path Selection and Angularity. *Environment and Behavior*, 35(1), 107-131.
- Ewing, R., Handy, S., Brownson, R. C., Clemente, O., & Winston, E. (2006). Identifying and Measuring Urban Design Qualities Related to Walkability. *Journal of Physical Activity and Health*, 3(1), 223-240.
- Frank, L. D. (2000). Land Use and Transportation Interaction. *Journal of Planning Education and Research*, 20(1), 6-22.
- Frank, L. D., Appleyard, B. S., Ulmer, J. M., Chapman, J. E., & Fox, E. H. (2021). Comparing walkability methods: Creation of street smart walk score and efficacy of a code-based 3D

- walkability index. *Journal of Transport & Health*, 21, 101005.
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, L., Conway, T. L., & Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: Application to the neighborhood quality of life study. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 924–933.
- Gerald Edgar. (2007). *Measure, Topology, and Fractal Geometry*. second edition. Publisher: Springer.
- Giles-Corti, B., Vernez-Moudon, A., Reis, R., Turrell, G., Dannenberg, A. L., Badland, H., Foster, S., Lowe, M., Sallis, J. F., Stevenson, M., & Owen, N. (2016). City planning and population health: a global challenge. *The Lancet*, 388(10062), 2912–2924.
- Hacar, Ö. Ö., Gülgen, F., & Bilgi, S. (2020). Evaluation of the Space Syntax Measures Affecting Pedestrian Density through Ordinal Logistic Regression Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 1-15.
- Hajrasouliha, A., & Yin, L. (2014). The impact of street network connectivity on pedestrian volume: *Urban Studies*, 52(13), 2483–2497.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space*. Publisher: Cambridge University Press.
- Hillier, B., & Iida, S. (2005). Network and psychological effects in urban movement. *International Conference on Spatial Information Theory*, New York, 475–490.
- Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural Movement: Or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 20(1), 29–66.
- Hoehner, C. M., Ivy, A., Brennan Ramirez, L. K., Handy, S., & Brownson, R. C. (2007). Active neighborhood checklist: a user-friendly and reliable tool for assessing activity friendliness. *American Journal of Health Promotion*, 21(6), 534–537.
- Kelly, P., Kahlmeier, S., Götschi, T., Orsini, N., Richards, J., Roberts, N., Scarborough, P., & Foster, C. (2014). Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1), 1-15.
- Koohsari, M. J., Kaczynski, A. T., McCormack, G. R., & Sugiyama, T. (2014). Using Space Syntax to Assess the Built Environment for Physical Activity: Applications to Research on Parks and Public Open Spaces. *Leisure Sciences*, 36(2), 206–216.
- Koohsari, M. J., Karakiewicz, J. A., & Kaczynski, A. T. (2012). Public Open Space and Walking: The Role of Proximity, Perceptual Qualities of the Surrounding Built Environment, and Street Configuration. *Environment and Behavior*, 45(6), 706–736.
- Koohsari, M. J., Oka, K., Owen, N., & Sugiyama, T. (2019). Natural movement: A space syntax theory linking urban form and function with walking for transport. *Health and Place*, 58, 102072.
- Koohsari, M. J., Sugiyama, T., Shibata, A., Ishii, K., Liao, Y., Hanibuchi, T., Owen, N., & Oka, K. (2017). Associations of street layout with walking and sedentary behaviors in an urban and a rural area of Japan. *Health & Place*, 45, 64–69.
- Lee, I. M., & Buchner, D. M. (2008). The importance of walking to public health. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), 512-518.
- Lerman, Y., & Omer, I. (2013). The Effects of Configurational and Functional Factors on the Spatial Distribution of Pedestrians. *Geographic Information Science at the Heart of Europe*. Forth edition. Publisher: Springer, 383-398.
- Liu, Y., Wei, X., Jiao, L., & Wang, H. (2015). Relationships between Street Centrality and Land Use Intensity in Wuhan, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 05015001.
- Lotfi, S., & Koohsari, M. J. (2011). Neighborhood Walkability in a City within a Developing Country. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(4), 402–408.
- Martino, N., Girling, C. L., & Trigueiro, E. (2019). Exploring Urban Walkability Models and Pedestrian Movement Trends in a Vancouver Neighborhood. *Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, Atlanta, 129–132.

- Osmond, P. (2005). Evaluating urban ambience – an investigation into quantifying the qualities of the walkable city. *The 6th International Conference on Walking in the 21st Century*. Zurich, 1-16.
- Ostwald, M. J., & Dawes, M. J. (2018). *Isovist Analysis, Theories and Methods. The Mathematics of the Modernist Villa*. Publisher: Birkhäuser Cham.
- Ozbil, A., Peponis, J., & Stone, B. (2011). Understanding the link between street connectivity, land use and pedestrian flows. *Urban Design International*, 16(2), 125–141.
- Saelens, B. E., Sallis, J. F., & Frank, L. D. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. *Annals of Behavioral Medicine*, 25(2), 80–91.
- Sallis, J. F. (2009). Measuring physical activity environments: a brief history. *American Journal of Preventive Medicine*, 36(4), 86-92.
- Sallis, J. F., Cerin, E., Conway, T. L., Adams, M. A., Frank, L. D., Pratt, M., Salvo, D., Schipperijn, J., Smith, G., Cain, K. L., Davey, R., Kerr, J., Lai, P. C., Mitáš, J., Reis, R., Sarmiento, O. L., Schofield, G., Troelsen, J., Van Dyck, D., Owen, N. (2016). Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: A cross-sectional study. *The Lancet*, 387(10034), 2207–2217.
- Sharmin, S., & Kamruzzaman, M. (2018). Meta-analysis of the relationships between space syntax measures and pedestrian movement. *Transport Reviews*, 38(4), 524–550.
- Tahar, B., & Brown, F. (2003). The visibility graph: an approach to the analysis of traditional domestic M'zabite spaces. *4th International Space syntax Symposium*, London, 343–354.
- Tandy, C. R. (1967). The isovist method of landscape survey. *Symposium: Methods of Landscape Analysis*, London: Landscape Research Group, 9–10.
- Turner, A. (2003). Analysing the Visual Dynamics of Spatial Morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(5), 657–676.
- Turner, A. (2007). TO MOVE THROUGH SPACE: lines of vision and movement. *6th International Space Syntax Symposium*, Istanbul, 1-12.
- Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D., & Penn, A. (2001). From Isovists to Visibility Graphs: A Methodology for the Analysis of Architectural Space: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 28(1), 103–121.
- UCL Space Syntax. (2018). *UCL Space Syntax*. <http://otp.spacesyntax.net/glossary/>.
- Van Nes, A., & Yamu, C. (2021). *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*. Publisher: Springer.
- Wang, F., Chen, C., Xiu, C., & Zhang, P. (2014). Location analysis of retail stores in Changchun, China: A street centrality perspective. *Cities*, 41(A), 54–63.
- World Health Organization. (2019). *Global action plan on physical activity 2018–2030: more active people for a healthier world*. Publisher: World Health Organization, Geneva. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- SCI (Statistical Centre of Iran). (2016). IRI Census Data of 2016. Isfahan, Iran: SCI.
- Shafieiyou, Z., & Zamani, B. (2021). An Evaluation of the Impact of the Urban Form Objective Measures on the Neighborhood Residents' Walkability, Case Study: 14th district of Isfahan. *Spatial Planning*, 11(1), 133–150. [In persian].
- BehnamiFard, F., & Habibi, M. (2018). Evaluating the Effectiveness of Environmental Factors on Increasing the Activity of Adolescent Girls and Boys in Urban Spaces (Case Study: Azadi Street of Karaj). *Motaleate Shahri*, 7(27), 17–27. [In persian].