

ORIGINAL ARTICLE

Multiscale Morphological Analysis of Urban Street Networks in Khorramabad Using Space Syntax and K-Means Clustering

Amirreza Biranvand¹ , Amir Taiebi²

1. M.Sc. Student in Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Correspondence

Amir Taiebi

Email: a_tayyebi@jsu.ac.ir

Received: 08/Apr/2025

Accepted: 06/Aug/2025

How to cite

Biranvand. A.; Taiebi, A. (2025). Multiscale Morphological Analysis of Urban Street Networks in Khorramabad Using Space Syntax and K-Means Clustering, Physical Social Planning, 10 (1), 37, 37-46.
(DOI: [10.30473/psp.2025.74213.2767](https://doi.org/10.30473/psp.2025.74213.2767))

ABSTRACT

Urban street networks, as the backbone of city morphology, play a crucial role in spatial development, accessibility improvement, and the reduction of spatial inequalities. This study adopts a multiscale approach to analyze the street network of Khorramabad City using Space Syntax techniques combined with K-Means clustering in order to identify spatial patterns influencing urban physical development at local, intermediate, and global scales. Street data were extracted from OpenStreetMap and modeled as axial lines in DepthmapX. Core indices—including integration, choice, and connectivity—were calculated at each scale. The findings reveal that at the local scale, streets with high accessibility (55%) function as primary axes for local mobility and service provision; at the intermediate scale, highly integrated streets (48–52%) balance inter-district connections and traffic flow; and at the global scale, streets with high choice values (55%) support city-wide connectivity and major infrastructural development. However, the absence of real traffic data limited performance validation. The results highlight the necessity of strengthening intermediate-level streets, improving traffic infrastructure, and enhancing accessibility in peripheral zones to foster balanced urban development. This research provides a novel framework for optimizing street networks in developing cities and recommends the use of GPS-based mobility data or traffic counts in future studies, particularly in mountainous urban contexts.

Keywords: Multiscale Spatial Analysis, Space Syntax, Khorramabad, K-Means Clustering, Urban Street Networks.



«مقاله پژوهشی»

تحلیل توسعه کالبدی چند مقایسه شبکه معابر شهر خرم‌آباد با رویکرد نقش معابر از منظر Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means

امیررضا بیرانوند^۱، امیر طیبی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد طراحی شهری، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران.

۲. استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران.

نویسنده مسئول: امیر طیبی

رایانامه: a_tayyebi@jsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵

استناد به این مقاله:

بیرانوند، امیررضا؛ طیبی، امیر (۱۴۰۴). تحلیل توسعه کالبدی چند مقایسه شبکه معابر شهر خرم‌آباد با رویکرد نقش معابر از منظر Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means. فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۱۰ (۱)، ۳۷-۴۶.

(DOI: [10.30473/psp.2025.74213.2767](https://doi.org/10.30473/psp.2025.74213.2767))

چکیده

شبکه معابر شهری به‌عنوان ستون فقرات ساختار کالبدی شهرها، نقش محوری در توسعه کالبدی، بهبود دسترسی‌پذیری و کاهش نابرابری‌های فضایی ایفا می‌کند. این پژوهش با رویکرد چندمقیاسه، شبکه معابر شهر خرم‌آباد را از طریق روش‌های Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means تحلیل می‌کند تا الگوهای فضایی مؤثر بر توسعه کالبدی در مقیاس‌های محلی، میانی و کلان شناسایی شوند. هدف پژوهش، بررسی تغییر نقش معابر در شکل‌دهی به گسترش مناطق مسکونی، تجاری و زیرساخت‌های شهری با گسترش مقیاس تحلیل است. داده‌های اولیه از پایگاه OpenStreetMap استخراج شده و معابر به‌صورت خطوط محوری در نرم‌افزار DepthmapX مدل‌سازی شدند. شاخص‌های کلیدی شامل یکپارچگی، انتخاب و اتصال‌پذیری در هر مقیاس محاسبه و تحلیل شدند. نتایج نشان می‌دهد که در مقیاس محلی، معابری با دسترسی بالا (۵۵ درصد خطوط) محورهای اصلی حرکت و دسترسی به خدمات محلی را تشکیل می‌دهند؛ در مقیاس میانی، معابر با پیوستگی بالا (۴۸ تا ۵۲ درصد) تعادل بخش جریان ترافیک و اتصال بین‌منطقه‌ای هستند؛ و در مقیاس کلان، معابری با انتخاب بالا (۵۵ درصد) ارتباطات گسترده شهری را پشتیبانی می‌کنند و به توسعه زیرساخت‌های کلیدی کمک می‌نمایند. با این حال، نبود داده‌های ترافیکی واقعی، تأیید عملکرد معابر را محدود کرد. این یافته‌ها امکان ارائه راهکارهایی نظیر تقویت معابر میانی، بهبود زیرساخت‌های ترافیکی و ارتقای دسترسی در مناطق حاشیه‌ای را برای توسعه کالبدی متعادل فراهم می‌کند. این پژوهش چارچوبی نوین برای بهینه‌سازی شبکه معابر در شهرهای درحال توسعه ارائه می‌دهد و پیشنهاد می‌کند در مطالعات آتی، از داده‌های GPS یا شمارش ترافیک در شهرهای مشابه با ویژگی‌های توپوگرافی کوهستانی و در مقیاس‌های چندگانه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی

تحلیل توسعه کالبدی چندمقیاسه، تحلیل ساختار فضایی، خرم‌آباد، خوشه‌بندی، شبکه معابر شهری.

مقدمه

شبکه معابر شهری به‌عنوان ستون فقرات ساختار کالبدی و حیات شهری، نقشی محوری در بهبود کیفیت زندگی، تقویت تعاملات اجتماعی، حمایت از فعالیت‌های اقتصادی و مدیریت جریان ترافیک ایفا می‌کند. این شبکه‌ها با شکل‌دهی به الگوهای دسترسی‌پذیری و اتصال فضایی، نه تنها عملکرد شهر را کارآمد می‌کنند، بلکه زمینه‌ساز توسعه کالبدی پایدار و کاهش نابرابری‌های فضایی و اجتماعی هستند. شهر خرم‌آباد، مرکز استان لرستان، به‌عنوان یکی از شهرهای درحال توسعه ایران، با چالش‌هایی نظیر ناهمگونی در توزیع فضاهای عمومی، محدودیت دسترسی در مناطق حاشیه‌ای و مشکلات ترافیکی ناشی از توپوگرافی کوهستانی مواجه است. این ویژگی‌ها، همراه با الگوهای رشد نامتوازن جمعیتی، شبکه معابر خرم‌آباد را به موردی منحصر به فرد برای تحلیل تبدیل کرده‌اند، زیرا پیکربندی معابر مستقیماً بر توسعه کالبدی (مانند گسترش مناطق مسکونی و تجاری) و حیات شهری (مانند تعاملات اجتماعی و دسترسی به خدمات) تأثیر می‌گذارد. بررسی دقیق الگوهای فضایی معابر برای ارائه راهکارهایی جهت بهسازی زیرساخت‌ها و تقویت حیات شهری در این شهر ضروری است.

پژوهش‌های پیشین اغلب به تحلیل‌های توصیفی شبکه معابر محدود شده‌اند و کمتر به بررسی توپولوژیکی و چندمقیاسه با تأکید بر توسعه کالبدی و حیات شهری پرداخته‌اند. روش‌های نوین مانند Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means امکان تحلیل پیچیدگی‌های ساختاری معابر و تأثیر آن‌ها بر رشد کالبدی و پویایی شهری را فراهم می‌کنند. این پژوهش با استفاده از شاخص‌های یکپارچگی، انتخاب و اتصال‌پذیری در چارچوب Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means، شبکه معابر خرم‌آباد را در مقیاس‌های محلی، میانی و کلان تحلیل می‌کند تا الگوهای فضایی مؤثر بر توسعه کالبدی و حیات شهری شناسایی شوند. پرسش اصلی پژوهش این است که چگونه تغییر مقیاس تحلیل بر درک نقش معابر در توسعه کالبدی (مانند بهبود دسترسی به خدمات و گسترش زیرساخت‌ها) و حیات شهری (مانند تقویت تعاملات اجتماعی و فعالیت‌های اقتصادی) تأثیر می‌گذارد و محورهای کلیدی و نقاط ضعف شبکه را مشخص می‌کند. نتایج این مطالعه می‌تواند راهکارهای عملی برای برنامه‌ریزان شهری ارائه دهد تا با بهسازی معابر، توسعه کالبدی متعادل و حیات شهری پویا را در

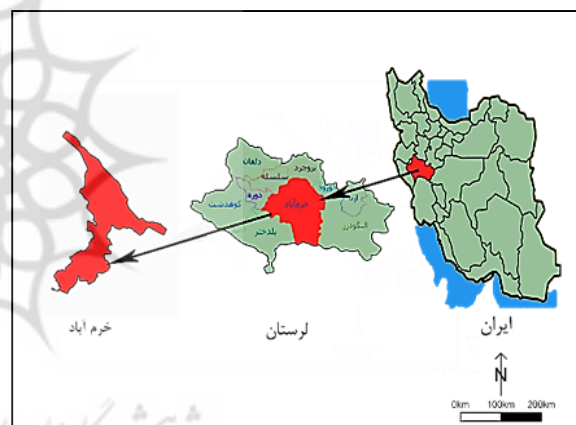
خرم‌آباد و شهرهای مشابه تقویت کنند.

شبکه معابر شهری به‌عنوان محور اصلی توسعه کالبدی و حیات شهری، نقشی کلیدی در شکل‌دهی به ساختار فضایی شهرها، گسترش مناطق مسکونی و تجاری، تقویت تعاملات اجتماعی و بهبود دسترسی به خدمات ایفا می‌کند. روش Space Syntax که توسط هیلر و همکاران در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت، ابزاری قدرتمند برای تحلیل پیکربندی فضایی معابر ارائه می‌دهد (Hillier & Hanson, 1984). این روش با مدل‌سازی شبکه معابر بر اساس نظریه گراف، شاخص‌هایی مانند یکپارچگی (میزان دسترسی یک معبر به سایر نقاط)، انتخاب (احتمال استفاده از معبر به‌عنوان کوتاه‌ترین مسیر) و اتصال‌پذیری (تعداد اتصالات مستقیم) را محاسبه می‌کند. این شاخص‌ها به تحلیل الگوهای حرکتی، دسترسی به خدمات و توسعه کالبدی کمک می‌کنند (Hillier & Penn, 2004). خوشه‌بندی K-Means که توسط مک‌کوئین در سال ۱۹۶۷ معرفی شد، روشی برای گروه‌بندی معابر بر اساس ویژگی‌های فضایی است و در شناسایی الگوهای مؤثر بر توسعه کالبدی و حیات شهری کاربرد دارد (MacQueen, 1967). ترکیب این دو روش امکان تحلیل چندمقیاسه را فراهم می‌کند و درک جامعی از نقش معابر در توسعه کالبدی و پویایی شهری ارائه می‌دهد.

مطالعات خارجی متعددی از این روش‌ها در تحلیل شبکه معابر بهره برده‌اند. مک‌کوئین (۱۹۶۷) روش K-Means را برای طبقه‌بندی داده‌های چندمتغیره معرفی کرد که برای گروه‌بندی ویژگی‌های شهری کاربرد دارد. هیلر و هانسن (۱۹۸۴) با معرفی Space Syntax، نقش معابر با یکپارچگی بالا را در پشتیبانی از حرکت طبیعی و توسعه فضاهای عمومی بررسی کردند. هیلر و پن (۲۰۰۴) رابطه بین فرم شهری و الگوهای جرم را تحلیل کردند و نشان دادند که پیکربندی معابر بر حیات شهری تأثیر می‌گذارد. ترنر (۲۰۰۷) هم‌بستگی شاخص‌های Space Syntax با جریان‌های پیاده در لندن را نشان داد و بر نقش معابر با انتخاب بالا در پشتیبانی از جریان‌های ترافیکی تأکید کرد. کریمی (۲۰۱۲) با ترکیب Space Syntax و تحلیل خوشه‌ای، تیپولوژی‌های فضایی را در لندن شناسایی کرد که به برنامه‌ریزی برای توسعه کالبدی کمک می‌کند. لی و همکاران (۲۰۱۵) از K-Means برای دسته‌بندی مناطق شهری ووهان بر اساس کاربری زمین استفاده

داده‌ها و روش کار

این پژوهش شبکه معابر شهر خرم‌آباد، مرکز استان لرستان را با رویکردی ترکیبی از تحلیل کمی و کیفی در مقیاس‌های محلی، میانی و کلان بررسی می‌کند تا نقش معابر در توسعه کالبدی و حیات شهری مشخص شود. خرم‌آباد با مساحت تقریبی ۱۷۶ کیلومترمربع و جمعیتی بالغ بر ۳۷۳،۴۱۶ نفر (بر اساس سرشماری ۱۳۹۵)، به دلیل تنوع ساختاری شبکه معابر، ناهمگونی در دسترسی و چالش‌های ترافیکی ناشی از توپوگرافی کوهستانی، بستری مناسب برای تحلیل چندمقیاسه فراهم می‌کند. موقعیت جغرافیایی این شهر در دره‌ای کوهستانی با ارتفاعات زاگرس، بر پیکربندی فضایی معابر و الگوهای رشد نامتوازن جمعیتی تأثیر گذاشته و آن را به موردی منحصر به فرد برای تحلیل نقش معابر در گسترش مناطق مسکونی، تجاری و زیرساخت‌های شهری تبدیل کرده است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه (منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)).

اساس نظریه گراف عمل می‌کند، شاخص‌های کلیدی زیر را برای تحلیل پیکربندی فضایی معابر محاسبه کرد: یکپارچگی که میزان دسترسی‌پذیری یک معبر به سایر نقاط شبکه را نشان می‌دهد (Hillier & Hanson, 1984)؛ انتخاب که احتمال استفاده از یک معبر به‌عنوان کوتاه‌ترین مسیر را اندازه‌گیری می‌کند و معیاری برای جریان‌پذیری است (Hillier & Penn, 2004)؛ و اتصال‌پذیری که تعداد معابر متصل به یک معبر خاص را نشان می‌دهد و پیوستگی فیزیکی را توصیف می‌کند (Hillier & Hanson, 1984). این شاخص‌ها در مقیاس‌های محلی (برای ارتباطات محله‌ای)، میانی (برای ارتباطات بین‌منطقه‌ای) و کلان (برای کل شبکه) محاسبه شدند. انتخاب این مقیاس‌ها بر اساس مساحت شهر و تراکم متوسط شبکه معابر انجام شد تا تعادلی بین پوشش ارتباطات و تفکیک‌پذیری الگوهای فضایی برقرار شود (Hillier & Penn, 2004).

پس از محاسبه شاخص‌های Space Syntax، معابر با استفاده از الگوریتم K-Means در نرم‌افزار ArcGIS خوشه‌بندی شدند تا الگوهای فضایی مؤثر بر توسعه کالبدی و حیات شهری شناسایی شوند (MacQueen, 1967). این خوشه‌بندی با ابزار Grouping Analysis و با استفاده از سه متغیر ورودی (یکپارچگی، انتخاب و اتصال‌پذیری) انجام شد (Esri, 2025). تنظیمات پیش‌فرض ابزار برای فاصله اقلیدسی و حداکثر ۱۰ تکرار به کار رفت تا هم‌گرایی خوشه‌ها تضمین شود. تعداد ۴ خوشه بر اساس تحلیل اولیه توزیع شاخص‌ها و الگوهای فضایی شبکه معابر خرم‌آباد انتخاب شد، زیرا این تعداد تعادل مناسبی بین تفکیک‌پذیری و تفسیرپذیری فراهم کرد. این انتخاب بر اساس مشاهدات اولیه داده‌ها انجام گرفت و نیازی به منبع خاص ندارد. با این حال، روش آرنج (Elbow Method) به صورت رسمی برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها استفاده نشد و پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از این روش برای اعتبارسنجی تعداد خوشه‌ها بهره گرفته شود (Kaufman & Rousseeuw, 1990). این تحلیل‌ها چارچوبی برای شناسایی محورهای کلیدی و نقاط ضعف شبکه معابر فراهم می‌کنند که به بهینه‌سازی زیرساخت‌های ترافیکی و تقویت دسترسی در مناطق حاشیه‌ای برای توسعه کالبدی متعادل و حیات شهری پویا کمک می‌کند.

داده‌های مورد استفاده از پایگاه OpenStreetMap (OSM) استخراج شدند که اطلاعات معابر اصلی، فرعی و محلی خرم‌آباد را در قالب خطوط هندسی ارائه می‌دهد (OpenStreetMap, 2025). این داده‌ها شامل ۱۶،۵۷۴ خط محوری، کل شبکه معابر شهر را پوشش می‌دهند و به دلیل جامعیت و دسترسی‌پذیری انتخاب شدند. با این حال، داده‌های OSM در مناطق حاشیه‌ای یا کم‌تراکم ممکن است به روز نباشند که این محدودیت در بخش نتیجه‌گیری بحث خواهد شد. داده‌ها به صورت خطوط محوری (Axial Lines) در نرم‌افزار DepthmapX مدل‌سازی شدند تا تحلیل Space Syntax انجام شود (Turner, 2007). این روش که بر

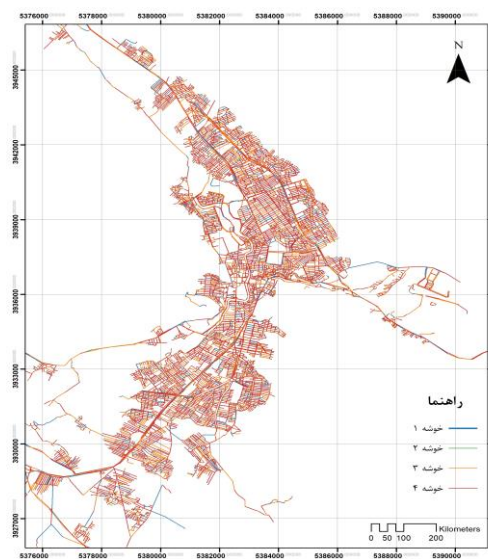
شرح و تفسیر نتایج

تحلیل چندمقیاسه شبکه معابر شهر خرم‌آباد با استفاده از روش‌های Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means، الگوهای فضایی متفاوتی را آشکار کرد که نقش معابر در توسعه کالبدی، دسترسی‌پذیری، جریان ترافیک و پیوستگی فضایی را در مقیاس‌های محلی، میانی و کلان نشان می‌دهد. این تحلیل‌ها بر اساس شاخص‌های یکپارچگی (Integration)، انتخاب (Choice) و اتصال‌پذیری (Connectivity) انجام شد و با استفاده از نقشه‌های رنگی و جداول تفسیر گردید. در مقیاس محلی (Radius 3)، معابر با یکپارچگی بالا (میانگین ۱۰۷۸۱) که ۵۵ درصد از شبکه (۹۰۸۲ خط از ۱۶۵۷۴ خط) را تشکیل می‌دهند، به‌عنوان محورهای اصلی دسترسی عمل می‌کنند. این معابر، عمدتاً در مناطق مرکزی مانند خیابان‌های شریعتی و مطهری، دسترسی آسان به خدمات محلی و تعاملات اجتماعی را تسهیل کرده و به توسعه کالبدی مناطق مسکونی و تجاری کمک می‌کنند. با این حال، شاخص انتخاب پایین (میانگین ۰۰۱۴۴) نشان‌دهنده نقش محدود این معابر در جریان‌های عبوری است. گروه دیگری از معابر (۱۰ درصد، ۱۶۱۷ خط) با انتخاب ۰۰۳۴۶، به‌عنوان مسیرهای استراتژیک در تقاطع‌های کلیدی مانند خیابان ولیعصر و بلوار ولایت، جریان‌های محلی را پشتیبانی کرده و به پیوستگی کالبدی محله‌ها کمک می‌کنند. در مقابل، معابر کم‌اهمیت (کمتر از ۰۰۱ درصد، ۹ خط) در مناطق حاشیه‌ای با دسترسی محدود، نشان‌دهنده نابرابری فضایی در توسعه کالبدی هستند که با یافته‌های هیلر و هانسن (۱۹۸۴) درباره حرکت طبیعی همخوانی دارد.

در مقیاس میانی (Radius 5 و ۹)، معابر با اتصال‌پذیری بالا (به ترتیب میانگین ۳۰۷۴۲ و ۲۰۶۴۵) و سهم ۴۸ تا ۵۲ درصد از شبکه (۷۹۵۴ و ۴۳۳۹ خط)، نقش تعادل‌بخش در جریان ترافیک و اتصال بین منطقه‌ای ایفا می‌کنند. این معابر، مانند خیابان‌های منتهی به پل جهادگران و مسیرهای نزدیک به جاده کمربندی، با شاخص‌های یکپارچگی (۱۰۲۲۹ و ۰۰۸۳۴) و انتخاب (۰۰۳۶۱ و ۰۰۴۱۲)، از تمرکز بیش‌ازحد ترافیک در مرکز شهر جلوگیری کرده و اتصال مناطق نیمه‌حاشیه‌ای به مرکز را تقویت می‌کنند. این ویژگی‌ها به توسعه کالبدی متعادل، از جمله گسترش زیرساخت‌های ترافیکی و دسترسی به خدمات در

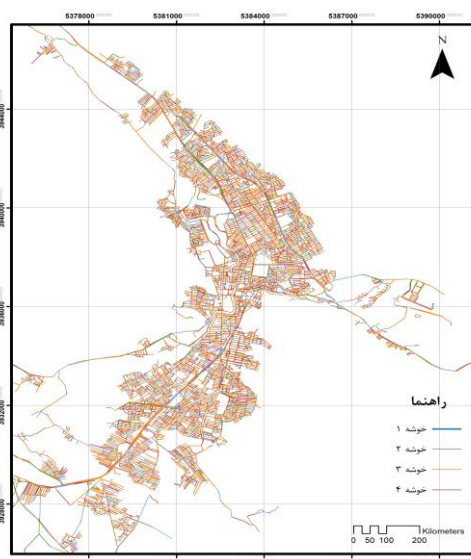
مناطق میانی، کمک می‌کنند که با مطالعه Oluwafunke و Oluropo (۲۰۲۱) درباره نقش معابر میانی در تعادل بخشی فضایی هم‌سو است. در مقیاس کلان (Radius n)، معابر با انتخاب بالا (میانگین ۰۰۶۵) و اتصال‌پذیری ۴۰۴۷۱، حدود ۵۵ درصد از شبکه (۹۱۹۸ خط) را شامل می‌شوند. این معابر، مانند بلوار ولایت و جاده کمربندی، به‌عنوان ستون فقرات شبکه عمل کرده و ارتباطات گسترده شهری را پشتیبانی می‌کنند، اما یکپارچگی پایین (۰۰۴۹۳) نشان‌دهنده دسترسی‌پذیری محدود در مقیاس محلی است. این تناقض، ناشی از محدودیت‌های توپوگرافی کوهستانی و پراکندگی معابر در مناطق حاشیه‌ای، بر چالش‌های توسعه کالبدی در اتصال مناطق دورافتاده تأکید دارد که با یافته‌های ترنر (۲۰۰۷) درباره نقش معابر کلان در جریان‌های اصلی هم‌خوانی دارد.

خوشه‌بندی K-Means معابر را بر اساس شاخص‌های یکپارچگی، انتخاب و اتصال‌پذیری به چهار گروه تقسیم کرد. در مقیاس محلی، خوشه ۴ با یکپارچگی ۱۰۷۸۱ محورهای اصلی دسترسی را نشان می‌دهد که توسعه فضاهای عمومی و تجاری را تسهیل می‌کنند. در مقیاس میانی، خوشه‌های ۳ و ۲ (با اتصال‌پذیری ۳۰۷۴۲ و ۲۰۶۴۵) معابر تعادل‌بخش را مشخص می‌کنند که به اتصال بین منطقه‌ای و توسعه زیرساخت‌های ترافیکی کمک می‌کنند. در مقیاس کلان، خوشه ۱ با انتخاب ۰۰۶۵ معابر پراتصال را نشان می‌دهد که ستون فقرات شبکه بوده و توسعه کالبدی گسترده، مانند تقویت ارتباطات شهری را پشتیبانی می‌کنند. این خوشه‌بندی نابرابری فضایی در مناطق حاشیه‌ای را برجسته کرد که با یافته‌های رضایی و پورمحمدی (۱۳۹۷) درباره نابرابری در دسترسی‌پذیری شهرهای ایرانی هم‌سو است. این تحلیل‌ها کارآمدی شبکه معابر خرم‌آباد را در توسعه کالبدی نشان می‌دهند: معابر مرکزی با دسترسی بالا به رشد مناطق مسکونی و تجاری کمک می‌کنند، معابر میانی جریان ترافیک را متعادل کرده و زیرساخت‌ها را تقویت می‌کنند و معابر کلان ارتباطات گسترده را پشتیبانی می‌کنند، اما کمبود معابر پراتصال در مناطق حاشیه‌ای مانع توسعه کالبدی متعادل است. این یافته‌ها راهکارهایی مانند بهبود دسترسی در مناطق حاشیه‌ای و تقویت زیرساخت‌های ترافیکی را برای توسعه کالبدی پایدار پیشنهاد می‌کنند.



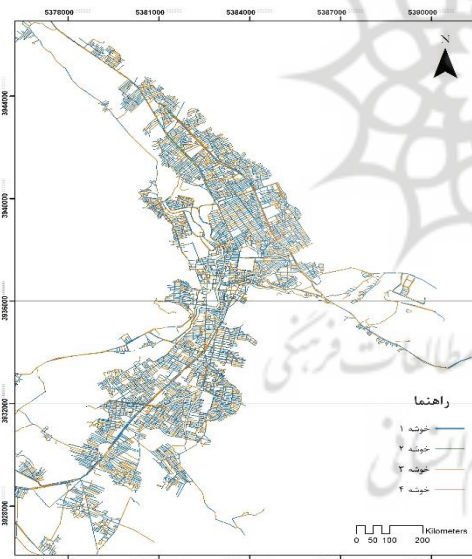
شکل ۱: خوشه‌بندی معابر در Radius 5

منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)



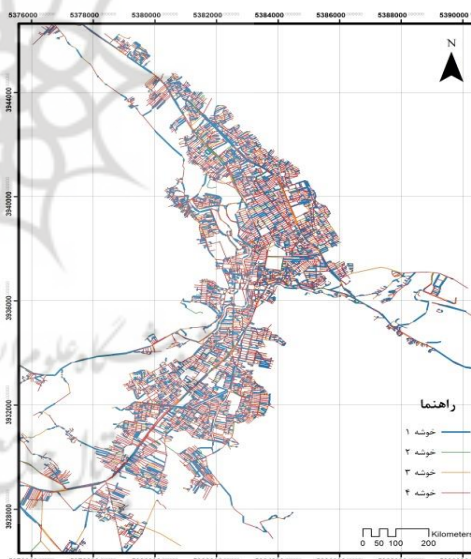
شکل ۲: خوشه‌بندی معابر در Radius 3

منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)



شکل ۵: خوشه‌بندی معابر در Radius n

منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)



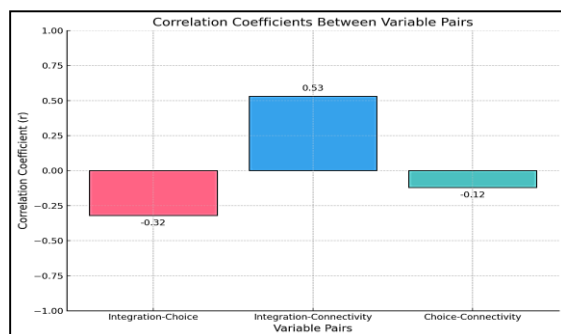
شکل ۴: خوشه‌بندی معابر در Radius 9

منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)

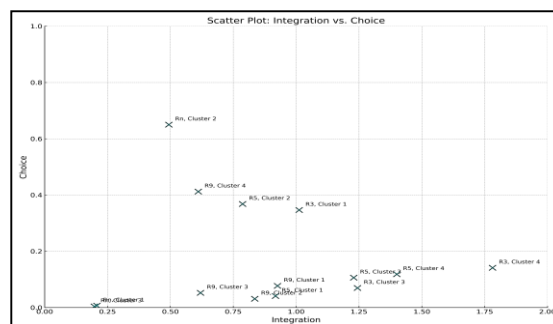
شکل ۶ رابطه بین یکپارچگی و انتخاب را در خوشه‌های مختلف و مقیاس‌های تحلیل (Radius 3, Radius 5, Radius n) نشان می‌دهد. این گراف پراکندگی نشان‌دهنده همبستگی منفی ضعیف ($r = -0.32$) بین این دو شاخص است، به‌طوری که معابر با یکپارچگی بالا (مانند

خوشه ۴ در Radius 3) معمولاً انتخاب کمتری دارند، درحالی که معابر با انتخاب بالا (مانند خوشه ۲ در Radius n) یکپارچگی کمتری نشان می‌دهند. این الگو نقش متفاوت معابر در دسترسی محلی و جریان‌های عبوری را در مقیاس‌های مختلف تأیید می‌کند.

یکپارچگی و انتخاب ($r=-0.32$) و انتخاب و اتصال‌پذیری ($r=-0.12$) نشان می‌دهد که معابر با نقش‌های عبوری (انتخاب بالا) لزوماً دسترسی یا اتصال‌پذیری بالایی ندارند. این یافته‌ها بر تنوع نقش معابر در مقیاس‌های مختلف تأکید دارند.



شکل ۷. گراف ضرایب همبستگی بین جفت‌های شاخص‌های Space Syntax منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴).



شکل ۶: گراف پراکندگی (رابطه یکپارچگی و انتخاب) منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴)

شکل ۷ ضرایب همبستگی بین جفت‌های شاخص‌های Space Syntax (یکپارچگی، انتخاب و اتصال‌پذیری) را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت متوسط بین یکپارچگی و اتصال‌پذیری ($r=0.53$) نشان‌دهنده ارتباط بین دسترسی‌پذیری و پیوستگی فیزیکی معابر است، درحالی‌که همبستگی منفی ضعیف بین

جدول ۲. مقایسه نقش معابر و شاخص‌ها در مقیاس‌های مختلف

مقیاس	خوشه غالب	درصد خطوط	یکپارچگی	انتخاب	اتصال‌پذیری	نقش اصلی
Radius3	خوشه ۴	۵۵	۱,۷۸۱	۰,۱۴۴	-	معابر اصلی با دسترسی بالا
Radius5	خوشه ۳	۴۸	۱,۲۲۹	۰,۳۶۱	۳,۷۴۲	معابر میانی با پیوستگی
Radius 9	خوشه ۲	۵۲	۰,۸۳۴	۰,۴۱۲	۲,۶۴۵	معابر میانی تعادل‌بخش
Radius n	خوشه ۱	۵۵	۰,۴۹۳	۰,۶۵	۴,۴۷۱	معابر کلان با اتصالات

منبع: پژوهش حاضر (۱۴۰۴).

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل چندمقیاسه شبکه معابر شهر خرم‌آباد با استفاده از روش‌های Space Syntax و خوشه‌بندی K-Means نشان داد که ساختار فضایی شبکه معابر نقش محوری در توسعه کالبدی و حیات شهری ایفا می‌کند. این شبکه، به‌عنوان ستون فقرات ساختار کالبدی، دسترسی‌پذیری، جریان ترافیک و گسترش مناطق مسکونی، تجاری و زیرساختی را شکل داده و بر توسعه پایدار و عدالت فضایی تأثیر می‌گذارد. در مقیاس محلی (Radius 3)، معابر مرکزی مانند خیابان‌های مطهری و شهدا با یکپارچگی بالا (میانگین ۱,۷۸۱) و سهم ۵۵ درصد از شبکه (۹۰,۸۲٪ خط از ۱۶۵۷۴ خط)، دسترسی به خدمات محلی را تسهیل کرده و توسعه مناطق مسکونی و تجاری را تقویت می‌کنند، اما شاخص انتخاب پایین (۰,۱۴۴) نقش محدود آن‌ها در جریان‌های عبوری را نشان می‌دهد. در مقیاس میانی (Radius 5 و ۹)، معابر با اتصال‌پذیری بالا (۳,۷۴۲ و ۲,۶۴۵) و سهم ۴۸ تا ۵۲ درصد، مانند خیابان ساحلی

غربی و شرقی جریان ترافیک را متعادل کرده و اتصال بین منطقه‌ای را برای گسترش زیرساخت‌های ترافیکی تقویت می‌کنند. در مقیاس کلان (Radius n)، معابر شریانی مانند بلوار بهارستان و ۶۰ متری و انقلاب با انتخاب بالا (۰,۶۵) و اتصال‌پذیری ۴,۴۷۱، حدود ۵۵ درصد از شبکه (۹۱,۹۸٪ خط) را تشکیل داده و ارتباطات گسترده شهری را پشتیبانی می‌کنند، اما یکپارچگی پایین (۰,۴۹۳) نشان‌دهنده دسترسی‌پذیری محدود در مقیاس محلی است.

هسته مرکزی خرم‌آباد، به‌عنوان مرکز فعالیت‌های تجاری، اداری و اجتماعی، با مشکلات عینی متعددی مواجه است. تراکم بالای ترافیک در خیابان‌های شهدا و مطهری، به‌ویژه در ساعات اوج، به دلیل تمرکز فعالیت‌های اقتصادی و تردد بالای وسایل نقلیه، ازدحام شدیدی ایجاد کرده است. تقاطع‌های کلیدی مانند تقاطع خیابان انقلاب با خیابان جلال آل احمد، به دلیل طراحی غیربهبوده و حجم بالای تردد، به گلوگاه‌های ترافیکی تبدیل شده‌اند. کمبود پارکینگ و زیرساخت‌های پیاده‌روی نیز دسترسی به خدمات و

محدودیت‌های توپوگرافی، مانند شیب‌های تند، بر پیکربندی معابر تأثیر گذاشته‌اند که با یافته‌های کریمی (۲۰۱۲) هم‌سو است.

این مطالعه با محدودیت‌هایی مواجه بود. کمبود داده‌های ترافیکی واقعی مانع از اعتبارسنجی کامل عملکرد معابر شد. داده‌های OpenStreetMap در مناطق حاشیه‌ای ممکن است به‌روز نباشند و محدودیت‌های محاسباتی DepthmapX تحلیل را در مقیاس کلان تحت تأثیر قرار داد. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که داده‌های GPS می‌توانند این شکاف‌ها را پر کنند. برای مثال، تحلیل داده‌های GPS در شهرهای درحال توسعه، مانند مانهایم آلمان، نقش پیکربندی فضایی در رفتار ترافیکی را تأیید کرده و مدل‌های انتخاب مسیر را بهبود بخشیده است. همچنین، استفاده از داده‌های GPS در شنژن چین، الگوهای ترافیکی چندمقیاسه را شناسایی کرده و به مدیریت بهتر ترافیک کمک کرده است. در شهرهای مشابه، مانند گوانگژو چین، سیستم‌های ترافیکی مبتنی بر داده‌های بزرگ، زمان سفر را تا ۱۱ درصد کاهش داده‌اند. این یافته‌ها بر لزوم استفاده از داده‌های GPS در خرم‌آباد برای اعتبارسنجی تحلیل‌ها تأکید دارند.

این پژوهش چارچوبی عملی برای بهینه‌سازی شبکه معابر در شهرهای درحال توسعه ارائه می‌دهد. برنامه‌ریزان شهری می‌توانند با تقویت معابر میانی، مانند مسیرهای ساحلی غربی و شرقی خرم رود و خیابان انقلاب و بهبود دسترسی در مناطق حاشیه‌ای، مانند خیابان طیب توسعه کالبدی متعادل را ترویج دهند. بهسازی تقاطع‌های کلیدی و ایجاد پارکینگ‌های عمومی در هسته مرکزی نیز می‌تواند تراکم ترافیک را کاهش دهد. استفاده از داده‌های GPS و سیستم‌های هوشمند ترافیکی، مانند آنچه در کویت برای پیش‌بینی ترافیک استفاده شده، می‌تواند دقت تحلیل‌ها را افزایش دهد. همچنین، رویکردهای مبتنی بر داده‌های بزرگ، مانند تحلیل‌های geospatial در شهرهای هوشمند، می‌تواند به برنامه‌ریزی پایدار در خرم‌آباد کمک کنند. این یافته‌ها الگویی برای شهرهای کوهستانی مانند سنندج یا ایلام ارائه می‌دهند تا با بهسازی معابر، عدالت فضایی و رشد پایدار شهری را تقویت کنند.

References

- Batty, M. (2009). Accessibility: In search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(2), 191-194. <https://doi.org/10.1068/b3602ed>
- Ebtahi, S. M., & Colleagues. (2017). Investigating the capabilities of Space Syntax technology in analyzing urban

تعاملات اجتماعی را محدود کرده و توسعه کالبدی متعادل را مختل کرده است. محدودیت‌های توپوگرافی کوهستانی، مانند شیب‌های تند، این مشکلات را تشدید کرده‌اند. تحلیل چندمقیاسه این مشکلات را تا حدی تأیید می‌کند، اما تفاوت‌هایی با شرایط عینی مشاهده می‌شود. در مقیاس محلی، یکپارچگی بالای معابر مرکزی نقش آن‌ها را به‌عنوان محورهای اصلی دسترسی تأیید می‌کند، اما نبود داده‌های ترافیکی واقعی باعث شده که تراکم ترافیک و نارسایی‌های زیرساختی به‌طور کامل منعکس نشود. در مقیاس میانی، معابر با اتصال‌پذیری بالا به کاهش فشار ترافیکی کمک می‌کنند، اما گلوگاه‌های ترافیکی در تقاطع‌ها به دلیل تمرکز تحلیل بر پیکربندی فضایی شناسایی نشده‌اند. در مقیاس کلان، معابر شریانی ارتباطات گسترده را پشتیبانی می‌کنند، اما یکپارچگی پایین آن‌ها با تمرکز بیش‌ازحد فعالیت‌ها در هسته مرکزی هم‌خوانی دارد. این یافته‌ها با مطالعه رضایی و پورمحمدی (۱۳۹۷) هم‌سو است که مشکلات ترافیکی و نابرابری‌های فضایی را چالش‌های کلیدی شهرهای ایرانی دانستند.

معابر مناطق حاشیه‌ای مانند بلوار جانبازان و خیابان طیب با یکپارچگی و اتصال‌پذیری پایین (۰.۳)، نقاط ضعف شبکه را نشان می‌دهند که به نابرابری فضایی در توسعه کالبدی منجر شده است. خوشه‌بندی K-Means این الگوها را تأیید کرد: خوشه ۴ در مقیاس محلی معابر با یکپارچگی بالا را نشان می‌دهد که توسعه فضاهای عمومی و تجاری را تسهیل می‌کنند، خوشه‌های ۳ و ۲ در مقیاس میانی معابر تعادل‌بخش را مشخص می‌کنند و خوشه ۱ در مقیاس کلان معابر پرتیصال را نشان می‌دهد. گراف‌های همبستگی (شکل ۶ و ۷) همبستگی منفی ضعیف بین یکپارچگی و انتخاب ($r = -0.32$) و همبستگی مثبت متوسط بین یکپارچگی و اتصال‌پذیری ($r = 0.53$) را نشان می‌دهند که تنوع نقش معابر را تأیید می‌کنند. این تحلیل‌ها، برخلاف مطالعه ترنر (۲۰۰۷) که بر جریان‌های ترافیکی در لندن تمرکز داشت، نشان داد که معابر میانی در خرم‌آباد نقش کلیدی در کاهش فشار ترافیکی دارند.

- spaces. National Conference on Contemporary Iranian Architecture and Urban Planning, Tehran, Iran. (in Persian)
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). The social logic of space. Cambridge University Press.
- 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: Planning and Design*, 20(1), 29-66. <https://doi.org/10.1068/b200029>
- Hosseini, S. B., & Rezaei, M. (2019). Spatial analysis of urban roads using Space Syntax: A case study of Yazd city. *Urban Studies Quarterly*, 8(32), 45-58. (in Persian)
- Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(1), 151-162. <https://doi.org/10.1068/b306>
- Karimi, K. (2012). A configurational approach to analytical urban design: 'Space syntax' methodology. *Urban Design and Planning*, 165(4), 197-210. <https://doi.org/10.1680/udap.11.00041>
- MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (Vol. 1, pp. 281-297). University of California Press
- Mazaheri, M. (2016). Analysis of the spatial structure of Boroujerdiha House using Space Syntax. *International Conference on Architecture and Urban Planning*, Tehran, Iran. (in Persian)
- Mohammadzadeh, Sh., & Mansouri, S. A. (2018). The relationship between the Mozaffariyeh complex and the spatial organization of Tabriz from the Qara Qoyunlu to the Qajar period. *Bagh-e Nazar*, 15(68), 15-24. (in Persian)
- Oluwafunke, A., & Oluropo, O. (2021). Space syntax: Evaluating the influence of urban form and socio-economy on walking behaviour in neighbourhoods of Akure, Nigeria. *Urban Studies and Public Administration*, 4(2), 1-15.
- Rezaei, M., & Pourmohammadi, M. (1397/2018). Assessing the accessibility of urban road networks using Space Syntax: A case study of Sari city. *Journal of Urban Planning and Research*, 9(34), 45-60. (in Persian)
- Shakoui, A., & Colleagues. (2016). Designing traffic zones using an enhanced K-Means algorithm. *Journal of Geographical Sciences and Technology*, 6(2), 45-60. (in Persian)
- Turner, A. (2007). From axial to road-centre lines: A new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(3), 539-555. <https://doi.org/10.1068/b32067>
- Wang, J., & Cao, X. (2023). Big data analytics for urban form and function: A review of applications and challenges. *Cities*, 141, 104468. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104468>
- Schneider, C., & Durmus, S. (2022). GPS-based urban movement analysis: Insights from Mannheim, Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 165, 177-192. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.08.012>
- Li, Y., Liu, X., & Zhang, Y. (2021). Big data-driven traffic signal control optimization in Shenzhen, China. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 25(4), 392-407. <https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1820337>
- Chen, H., & Wang, L. (2024). Multi-scale traffic pattern analysis using GPS data in Guangzhou, China. *Sustainable Cities and Society*, 102, 105234. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105234>
- Al-Sheikh, A., & Al-Saleh, M. (2023). Deep learning algorithms for traffic flow prediction in Kuwait City: A case study using real-time data. *Journal of Advanced Transportation*, 2023, 9876543. <https://doi.org/10.1155/2023/9876543>
- Zhang, T., & Huang, Y. (2022). Geospatial data applications in smart cities: Enhancing urban mobility and accessibility. *Urban Informatics*, 1(1), 45-60. <https://doi.org/10.1007/s44212-022-00003-2>