Journal of Physical Development Planning
Vol. 2, No. 3, (New Series), Autumn 2017 (63-80)

نشریه علمی – پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی
سال دوم، شماره ۳ (سری جدید)، پیاپی ۷، پاییز ۱۳۹۶ (۸۰-۶۳)

کاوش ارتباط بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم

وحید زمانی، محمود محمدی*، محمود قلعه‌نویی
دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان
دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان

دریافت: ۹۶/۵/۱۵ **پذیرش: ۹۶/۸/۱۵**

Exploring the relationship between street network centrality and location selection of commercial and service activities in Qom city

Vahid Zamani, Mahmoud Mohammadi*, Mahmoud Ghalehnoee
Ph.D. Candidate in Urbanism, Art University of Isfahan, Iran
Assistant Professor Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Art University of Isfahan, Iran
Associate Professor Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Art University of Isfahan, Iran

Received: (6/Aug/2017) **Accepted:** (6/Nov/2017)

چکیده

شناخت ویژگی‌های ساختاری شبکه گذربندی شهر نقشی حیاتی در درک رویدادهای پویا و در حال تحول شهر دارد. یکی از تأثیرگذارترین این ویژگی‌ها همان مرکزیت[1] شبکه گذربندی است که با توجه به مطالعات پیشین تأثیری قابل توجه بر رخدادهایی همچون چگونگی پراکنش فعالیت‌ها، به ویژه فعالیت‌های تجاری و خدماتی، دارد که خود بر چگونگی توزیع ترافیک سواره و پیاده در شهر تأثیرگذار است. از این‌رو، مطالعه مرکزیت شبکه گذربندی کمک شایانی به برنامه‌ریزی کاربری‌ها و ترافیک شهر می‌نماید. این مقاله با هدف تبیین ارتباط بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی، ضمن مرور مفاهیم کلیدی مرتبط با مرکزیت شبکه گذربندی، به طور ویژه به مفهوم مرکزیت متریک در شبکه گذربندی شهر پرداخته، به مدل‌سازی مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم با استفاده از روش ارزیابی چندگانه مرکزیت[2] (MCA) با در نظر گرفتن شاخص‌های مرکزیت شبکه میان‌راهی، نزدیکی کلی و نزدیکی محلی می‌پردازد. در نهایت مدل مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم با نقشه مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی این شهر توسط روش برآورد تراکم هسته‌ای[3] (KDE) تبدیل به یک واحد شده، میزان همبستگی فضایی[4] بین آنها ارزیابی می‌گردد. همبستگی بین لایه‌های متغیر یاد شده با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و نیز شاخص همبستگی فضایی (SCI)، تعریف شده توسط نگارندگان، اندازه‌گیری می‌گردد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که همبستگی مستقیم و بالایی بین شاخص‌های مرکزیت شبکه گذربندی یادشده و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم برقرار است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص مرکزیت نزدیکی محلی[5] و پس از آن شاخص مرکزیت میان‌راهی[6] است و شاخص مرکزیت نزدیکی کلی[7] در جایگاه سوم قرار دارد. بنابراین، مرکزیت شبکه گذربندی نقش مهمی در پراکنش فعالیت‌ها در شهر قم داشته، فعالیت‌های تجاری و خدماتی مکان‌هایی را برمی‌گزینند که موقعیت بهتری از نظر مرکزیت شبکه داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: فعالیت‌های تجاری و خدماتی، مرکزیت شبکه گذربندی، ارزیابی چندگانه مرکزیت (MCA)، برآورد تراکم هسته‌ای (KDE)، همبستگی فضایی.

Abstract

Realizing structural characteristics of the urban street network has a crucial role in understanding dynamic and transforming events in a city. One of the most effective structural characteristics of street network is street network centrality which regarding former studies has a substantial effect on some events namely, distribution of activities along streets especially commercial and service activities that have a significant effect on the formation of motorized and pedestrian traffic flow throughout the city. Thus, considering street network centrality strongly improves the outcomes of urban land use and traffic planning. The current article aims at explaining the relationship between street network centrality and location selection of commercial and service activities. Firstly, it reviews key concepts related to street network centrality; specifically, focuses on metric centrality in the urban street network. Secondly, street network centrality of Qom city is modeled using Multiple Centrality Assessment (MCA) method in terms of centrality indices of intermediary, global and local closeness. Finally, datasets of street network centrality and location of activities transform to one scale unit using Kernel Density Estimation (KDE) to calculate and analyze the degree of spatial correlation between them. Correlation between mentioned variable layers is measured using Pearson's correlation coefficient as well as spatial correlation index (SCI) which defined by the authors. Results indicate that there is a direct and high correlation between the selected street centrality indices and location selection of commercial and service activities in Qom. The highest correlation coefficients are for intermediary and local closeness centrality respectively. Global closeness centrality has the third place in terms of the correlation coefficient. As a conclusion, findings of this paper confirm that street network centrality has a significant effect on location selection of commercial and service activities in Qom city; the activities choose locations with better network centrality.

Key Words: Commercial and service activities, Street network centrality, Multiple Centrality Assessment (MCA), Kernel Density Estimation (KDE), Spatial Correlation.

* **نویسنده مسئول:** محمود محمدی

*Corresponding Author: Mahmoud Mohammadi
E-mail: m.mohammadi@aui.ac.ir

1. Centrality
2. Multiple Centrality Assessment
3. Kernel Density Estimation
4. Spatial correlation
5. Local closeness centrality
6. Betweenness centrality
7. Global closeness centrality

مقدمه

یک مکان مرکزی به لحاظ ویژگی‌هایش، موقعیتی ویژه را برای مکان زندگی و فعالیت داراست: دسترسی مناسب چه از پیرامون بلافصل و چه مکان‌های دورتر. دسترسی مناسب سبب در معرض دید بودن و محبوبیت نیز می‌گردد که برای مکان فعالیت‌های تجاری بسیار شایان توجه است. ساختمان‌های مهم شهر همچون موزه‌ها، تالارهای تئاتر و مرکزهای اداری بزرگ و نیز فعالیت‌های خدماتی و خرده‌فروشی‌ها معمولاً تمایل به مکان‌گزینی در مکان‌های مرکزی شهر دارند. از ویژگی‌های دیگر مکان‌های مرکزی ارزش اقتصادی بالاتر و تراکم کاربری و فعالیت است. به نقل از (Newman & Porta et. al., 2010: Kenworthy, 1999; 107-108). مرکزیت، افزون بر چگونگی کارکرد شهر در یک مقطع زمانی، بر روند شکل‌گیری و رشد شهر در طول زمان نیز تأثیرگذار است. با نگاهی دقیق‌تر به مکان قرارگیری مرکز شهرها از نظر مورفولوژیک، مرکز شهر محل تقاطع دو مسیر اصلی است که ممکن است نتیجه نوعی پیکربندی خاص زمین طبیعی یا در برخی موارد در اثر چگونگی عبور جریان آب از شهر باشد. با رشد و توسعه شهر و اضافه شدن سکونت‌گاه‌ها، ساکنان و فعالیت‌ها، مرکزهای جدیدی نیز ایجاد می‌گردد (Porta, Latora, Wang, Strano, et al., 2009: 450-451). هیلیر معتقد است در مطالعه بر روی مرکزهای شهری، به جای تعریف مرکزیت به عنوان یک وضعیت موجود، ضروری است به عنوان یک فرآیند در نظر گرفته شود، چرا که در طول زمان مرکزها رشد و گسترش یافته، جابه‌جا و گونه‌گون نیز می‌گردند. افزون بر این، واژه «مرکز» دارای دو جنبه متفاوت است: کارکردی و فضایی. مرکزیت از نظر کارکردی به معنای تمرکز و ترکیب آشکار کاربری‌ها و فعالیت‌ها در یک ناحیه مشخص و از نظر فضایی به موقعیت مشخص آن ناحیه در سکونتگاه به عنوان یک کل اشاره دارد (Hillier, 1999: 1).

فعالیت‌های تجاری و خدماتی به شدت وابسته به حرکت‌اند. این گونه فعالیت‌ها، به نظر هیلیر در مرکزیت زنده حضور دارند. مرکزیت زنده در واقع مربوط به فعالیت‌هایی است که معمولاً از حرکت سود می‌برند، همچون خرده‌فروشی‌ها، سوپرمارکت‌ها، خوراک‌فروشی‌ها، مراکز سرگرمی و تفریح و غیره. به نظر وی، در مراکز زنده، گونه‌های متمایز از پیکربندی فضایی دیده می‌شود که به دلیل فرآیند «اقتصاد حرکت»[1] است (Hillier, 1996) که خود از مفهوم «حرکت طبیعی»[2] (Hillier, et, al., 1993) نشئت گرفته است. موقعیت واحدهای تجاری و خدماتی امری مهم در میزان بازدهی و بقای آنهاست؛ از این‌رو، این واحدها در مکانی استقرار می‌یابند که موقعیتی مناسب برای جذب مشتریان داشته باشند و موقعیت مناسب مکانی است که در دسترس باشد؛ بدین معنی که در فاصله مناسب از نظر طول، میزان مستقیمی[3] و میزان اتصال[4]، و یا در مسیر پرتردد و قابل مکث قرار گرفته باشد؛ یا به عبارت دیگر در موقعیتی مرکزی واقع شده باشد. بنابراین، یک مکان مرکزی قابلیت جذب مشتریان بیشتری را دارد. موقعیت‌های مرکزی در یک ناحیه شهری دارای پتانسیل بارگذاری تراکم‌های بالاتری از خرده‌فروشی‌ها و خدمات بوده، و یک عامل کلیدی در پشتیبانی از تشکیل و سرزندگی گره‌های شهری می‌باشند (Newman & Kenworthy, 1999; به نقل از Porta, Latora, Wang, Strano, et al., 2009: 450).

فان نس (2005) در بررسی ارتباط بین گونه‌های ناحیه‌های تجاری و نوع مرکزیت، برای پاسخ به این پرسش که «چگونه ویژگی‌هایی از شبکه گذربندی شهر تعیین‌کننده مکان قرارگیری ناحیه‌های تجاری هستند؟»، به پژوهش‌های پیشین بازمی‌گردد؛ این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مغازه‌ها در هم‌تنیده‌ترین خیابان‌ها از نظر فضایی (Hillier et al., 1993: 31) و در خیابان‌هایی با درجه بالایی از اتصال به محدوده پیرامونشان (Hillier, 1999: 110-113) قرار می‌گیرند. افزون بر این، فان نس در رساله دکتری خود با عنوان «ساخت راه و تغییر

1. Movement economy
2. Natural movement
3. Straightness
4. Connectivity

شهری»[5] با دقت ارتباط بین پیکربندی و الگوی مکان‌گزینی مغازه‌ها را مورد پژوهش قرار می‌دهد و نشان می‌دهد که تا چه اندازه مغازه‌ها به تغییرات بزرگ پیکربندی شبکه گذربندی حساس هستند و اینکه چگونه ناحیه‌های تجاری خودرو محور[6] و پیاده محور[7] به هم-پیوندی[8] کلی[9] و محلی[10] و نیز به شرایط شبکه محلی وابسته هستند (Van Nes, 2002: 297-303; به نقل از Van Nes, 2005: 176).

مفهوم مرکزیت موضوع مطالعه و پژوهش در بسیاری از حوزه‌های دانش بوده است؛ از ریاضی و جامعه‌شناسی ساختاری با دیدگاهی غیرفضایی[11] گرفته تا تحلیل فضایی در برنامه‌ریزی و طراحی شهری. هر یک از این حوزه‌ها از جنبه‌ای خاص به مفهوم مرکزیت پرداخته است، هرچند در حیطه‌هایی همپوشانی نیز دارند. پرداختن به موضوع از حوزه‌های متفاوت باعث غنی‌تر شدن مفهوم شده، کاربرد آن را در تحلیل و مدل‌سازی مسائل شهری بیش از پیش نموده است. تعریف پیچیده مرکزیت از رشته‌ای غیرفضایی همچون جامعه‌شناسی ساختاری[12] آمده است [13]. با توجه به سرشت غیرمکانی پیوندهای اجتماعی، جامعه‌شناسان ساختاری مجموعه‌ای از شاخص‌های مرکزیت را طراحی کردند که هر کدام جنبه‌ای از مرکزی بودن را نشان می‌دهند (Freeman, 1979; به نقل از Porta et. al., 2010: 109). برای نمونه، مرکزیت «درجه»[14] و «نزدیکی»[15] به آزمون نزدیکی یک گره نسبت به سایر گره‌ها پرداخته و مرکزیت «میان‌راهی»[16] بر روی قرارگیری یک گره در راه بین سایر گره‌ها تمرکز می‌یابد (Porta et. al., 2010: 109). در سال‌های اخیر، ویژگی‌های ساختارهای شبکه‌ای در فضا به عنوان یک شاخه نوظهور مطالعاتی در فیزیک شبکه‌های پیچیده شناخته شده[17] و ساز و کار شکل‌گیری آنها مورد مطالعه قرار گرفته، مدل-سازی شده است[18]. کاربرد مرکزیت در رشته‌های فیزیک، و برنامه‌ریزی و طراحی شهری سبب جامع‌تر شدن مفهوم‌های مرتبط با مرکزیت شده است.

یکی از مشکلات شهرهای امروزی با توجه به استفاده روزافزون از وسایل نقلیه موتوری و حجم بالای سفرهای درون‌شهری، تداخل عملکردی نظام حرکت و نظام فعالیت در شهر است. با نگاهی دقیق‌تر به فضاهای شهری به ویژه خیابان‌های شهر به عنوان فصل مشترک دو نظام حرکت و فعالیت و بستر رخداد این تداخل، آشکار است که چگونه عدم سازمان‌دهی مناسب این ارتباط می‌تواند سبب اختلال در عملکرد هر دو نظام گردد. همان‌طور که بیان شد، فعالیت‌های تجاری و خدماتی برای ادامه بقا نیازمند حرکت هستند و بنابراین این دو نظام از یکدیگر جدایی‌ناپذیرند و وجود همین تعاملات است که باعث سرزندگی فضای شهری می-گردد. بنابراین، ضرورت دارد تا با مطالعه و بررسی موشکافانه و شناخت ریشه‌ها و عوامل تأثیرگذار، به ساماندهی هدفمند ارتباط دو نظام حرکت و فعالیت در شهر پرداخت. شناخت و تحلیل ارتباط بین مرکزیت شبکه گذربندی، به عنوان یکی از ویژگی‌های ساختاری شبکه گذربندی شهر، و چگونگی پراکنش فعالیت‌های تجاری و خدماتی، کمک شایانی به تبیین عملکرد نظام حرکت و فعالیت در شهر می‌نماید. شهر قم به عنوان یکی از شهرهای کهن ایران، همچون سایر شهرهای قدیمی، دارای بافت شهری منحصر به فردی در هسته مرکزی شهر و طیف متنوعی از آرایش فضایی شبکه گذربندی در بخش‌های میانی و پیرامونی است. مقاله حاضر با هدف تبیین ارتباط بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم،

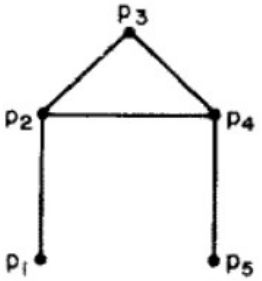
5. Road Building and Urban change
6. Car-based
7. Pedestrian-based
8. Integration
9. Global
10. Local
11. Non-spatial
12. Structural Sociology
۱۳. مطالعه بیشتر نگاه کنید به: (Wasserman & Faust, 1994)
14. Degree
15. Closeness
16. Betweenness

۱۷. مطالعه بیشتر نگاه کنید به: (Boccaletti et al., 2006)
۱۸. مطالعه بیشتر نگاه کنید به: (Barthélemy & Flammini, 2008)

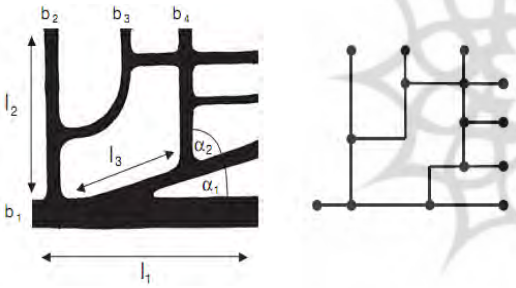
به کاوش این پرسش می‌پردازد که میزان همبستگی فضایی بین هر یک از شاخص‌های مرکزیت شبکه گذربندی (میان‌راهی، نزدیکی کلی و نزدیکی محلی) با مکان فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر یاد شده به چه میزان است تا بدین ترتیب گامی اولیه اما مؤثر در راستای شناسایی ریشه‌های مشکلات ناشی از تداخل نظام حرکت و فعالیت در این شهر بردارد.

داده‌ها و روش کار

در حوزه برنامه‌ریزی و طراحی شهری که دارای دیدگاهی فضایی هستند، مفهوم مرکزیت از دو جنبه غالب مورد کاوش قرار گرفته است: *کاربری/تراکم* و شبکه گذربندی. در این مقاله به بررسی مرکزیت از دیدگاه شبکه گذربندی پرداخته می‌شود. در این دیدگاه، شناخت و سنجش مرکزیت شهری با توجه به ساختار و شکل شبکه گذربندی شهر است. با رجوع به ادبیات موضوع، دو رویکرد عمده در بررسی شبکه گذربندی به عنوان یک گراف[۱۹] (شکل ۱) و در نهایت مرکزیت آن وجود دارد: توپولوژیک[۲۰] و هندسی[۲۱] (Hillier, 1996, 1999; Hillier & Hanson, 1984; Hillier et al., 1993; Marshall, 2005; Porta et al., 2005, 2006; Porta et al., 2010). رویکرد توپولوژیک به تحلیل پیکربندی[۲۲] شبکه می‌پردازد، حال آنکه رویکرد هندسی ترکیب[۲۳] شبکه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (شکل ۲) (Marshall, 2005: 86-87). بدیهی است برای تحلیل شبکه با هر کدام از رویکردهای یاد شده، بایستی روش و ابزار تحلیل ویژه‌ای را به کار برد.



شکل ۱. گرافی تشکیل شده از پنج گره و پنج لبه
مأخذ: Freeman, 1979: 218



(ب) **(الف)**

شکل ۲. (الف) پیکربندی و (ب) ترکیب شبکه
مأخذ: Marshall, 2005: 86

۱۹. در ریاضیات و علوم رایانه‌ای، گراف (graph) ساختاری ریاضی است که برای مدل‌سازی ارتباطات دوسویه بین اشیاء استفاده می‌شود. هر گراف از مجموعه‌ای از نقطه‌ها یا گره‌ها (nodes) و خطها یا لبه‌ها (edges) تشکیل شده است که هر لبه پیونددهنده دو نقطه است. هر شبکه ارتباطی را می‌توان به صورت یک گراف نمایش داد. در شکل ۱، گرافی متشکل از ۵ نقطه و ۵ لبه نشان داده شده است. دو نقطه گراف را نسبت به هم قابل دسترس (reachable) گویند در صورتی یک مسیر (path) بین آن‌ها وجود داشته باشد، هر مسیر از یک یا چندین لبه پشت سر هم تشکیل شده است که از نقطه آغاز شده، احتمالاً از چند نقطه گذشته، در نقطه‌ای دیگر پایان می‌یابد. اگر هر نقطه‌ای از گراف از تمامی سایر نقطه‌ها قابل دسترس باشد، گراف، به هم پیوسته (connected) نامیده می‌شود. به طور نمونه شبکه گذربندی شهری، گرافی به هم پیوسته است. کوتاه‌ترین مسیر (shortest path) پیونددهنده دو نقطه، ژئودزیک (geodesic) نامگذاری می‌گردد و نقطه‌های روی چنین مسیری، در اصطلاح، «میانِ راه» (between) دو نقطه انتهایی قرار می‌گیرند (Freeman, 1979: 217-218).

20. Topologic
21. Geometric

۲۲. پیکربندی (configuration) به توپولوژی (topology) اشاره دارد که به صورت یک دیاگرام خلاصه نمایش داده می‌شود. توپولوژی یکی از مفهوم‌های مرتبط با ساختار شبکه به عنوان یک گراف است که مربوط به اطلاعات غیرمتریکی همچون ترتیب قرارگیری (موقعیت نسبی) پیوندها (لبه‌ها) و گره‌ها، اتصال، پیوستگی (continuity)، امتداد (alignment) و مجاورت (adjacency) است؛ ولی نه فاصله‌ها، زاویه‌ها و مساحت‌های مطلق (Marshall, 2005: 86-87) (شکل ۲–الف).

۲۳. ترکیب (composition)، شکل‌گیری هندسی آرایش فضایی است به همان صورت که در یک پلان مقیاس‌دار موقعیت، طول، مساحت و زاویه‌های امتداد عارضه‌ها مشخص است (Marshall, 2005: 86-87) (شکل ۲–ب). در تحلیل شبکه گذربندی شهر، ترکیب، در واقع، نمایشی گرافیکی است که مشابه و متناسب با شبکه موجود است.

در نظریه گراف و مبانی تحلیل شبکه، مرکزیت به معنای مهم‌ترین گره‌ها و پیوندها از نظر قرارگیری در موقعیتی مرکزی نسبت به سایر گره‌ها و پیوندها اطلاق می‌گردد. به کارگیری این مفهوم در شبکه گذربندی شهر، «مرکزیت شبکه گذربندی» نام گرفته است. شاخص‌های اصلی مرکزیت شبکه عبارت‌اند از: درجه، نزدیکی، میان-راهی، مستقیمی[۲۴] و اطلاعات[۲۵] (Freeman, 1979; Porta et. al., 2005; Porta et. al., 2010). در ادامه، به بیان مفهوم و فرمول محاسباتی هریک از شاخص‌های مرکزیت شبکه پرداخته می‌شود.

مرکزیت درجه (C^D)

این شاخص مرکزیت بر این ایده استوار است که یک گره، مرکزی‌تر است اگر تعداد زیادتری انشعاب به سایر گره‌ها داشته باشد (Porta et. al., 2010). به عبارت دیگر، تعداد گره‌هایی که مجاور یک نقطه هستند، درجه آن گره نامیده می‌شوند؛ در شکل ۱ گره‌های P_1 و P_2 دارای درجه‌ای برابر با ۱ و ۳ هستند (Freeman, 1979: 218). شاخص مرکزیت درجه چنین محاسبه می‌گردد (Freeman, 1979: 220-221; Porta et. al., 2005: 5):

$$C_i^D = \frac{k_i}{N-1} = \frac{\sum_{j\in N} a_{ij}}{N-1} \qquad (۱)$$

N: تعداد کل گره‌های شبکه

k_i: تعداد گره‌های مجاور گره i

a_{ij}: ماتریس مجاورت گره i

مرکزیت نزدیکی (C^C)

مرکزیت نزدیکی می‌سنجد که تا چه حد یک گره نزدیک به تمامی سایر گره‌ها در طول ژئودزیک‌های شبکه است. شاخص مرکزیت نزدیکی برای یک گره، نسبت معکوس فاصله میانگین آن از تمام سایر گره‌هاست (Porta, et. al., 2010: 110)

$$C_i^C = \frac{N-1}{\sum_{j=1;j\neq i}^{N} d_{ij}} \qquad (۲)$$

N: تعداد کل گره‌ها

d_{ij}: طول ژئودزیک بین گره‌های i و j

مرکزیت میان‌راهی (C^B)

بیانگر آن است که یک گره مرکزی‌تر است اگر در مسیر عبور تعداد بیشتری از ژئودزیک‌های پیونددهنده تمامی جفت گره‌های گراف باشد. شاخص مرکزیت میان‌راهی یک گره از جمع نسبت تعداد ژئودزیک‌های گذرنده از آن گره به تعداد کل ژئودزیک‌های گراف به دست می‌آید (Porta, et. al., 2010: 111):

$$C_i^B = \frac{\sum_{j=1;k=1;j\neq k\neq i}^{N} \frac{n_{jk}(i)}{n_{jk}}}{(N-1)(N-2)} \qquad (۳)$$

N: تعداد کل گره‌های شبکه

n_{jk}: تعداد کل ژئودزیک‌های بین گره‌های j و k

$n_{jk}(i)$: تعداد ژئودزیک‌های گذرنده از گره i

مرکزیت مستقیمی (C^S)

نشانگر کارآمدی گراف است بدین ترتیب که کارآمدی ارتباط بین دو گره با کم شدن انحراف ژئودزیک بین آنها از خط مستقیم فرضی (فاصله اقلیدسی) پیونددهنده آنها، افزایش می‌یابد. شاخص مرکزیت مستقیمی شبکه از جمع کل نسبت فاصله اقلیدسی به فاصله ژئودزیک بین هر دو نقطه گراف به دست می‌آید (Porta et al., 2010: 111)

$$C_i^S = \frac{1}{N-1}\sum_{j=1;j\neq i}^{N} \frac{d_{ij}^{Eucl}}{d_{ij}} \qquad (۴)$$

N: تعداد کل گره‌ها

d_{ij}: ژئودزیک بین گره‌های i و j

d_{ij}^{Eucl}: فاصله اقلیدسی بین گره‌های i و j

مرکزیت اطلاعات (C^I)

این شاخص مرکزیت اهمیت یک گره را می‌سنجد بدین ترتیب که اگر آن گره از گراف حذف شود، چه تأثیری در کل می‌گذارد. این شاخص با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود. (Porta et al., 2010: 111)

24. Straightness
25. Information

$$C_i^I = \frac{E_{glob,2}(G) - E_{glob,2}(G')}{E_{glob,2}(G)} \qquad (۵)$$

G نشانگر گراف اصلی است در حالی که G' گرافی با N گره و $K\text{-}k_i$ لبه است که از حذف تعداد k_i لبه همگرا در گره i به دست آمده است. E(G) شاخص کارآمدی گراف است که نرخ متوسط جریان اطلاعات در گراف را اندازه‌گیری می‌نماید.

$$E = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j, i \neq j} \frac{d_{ij}^{Eucl}}{d_{ij}} \qquad (۶)$$

N: تعداد کل گره‌های شبکه

K: تعداد کل لبه‌های گراف اصلی

k_i: تعداد لبه‌های منتهی به گره i

d_{ij}: ژئودزیک بین گره‌های i و j

d_{ij}^{Eucl}: فاصله اقلیدسی بین گره‌های i و j

پورتا و همکاران (2005) بر این باورند که تمامی رویکردهای تحلیل شبکه – با مفهوم‌هایی همچون دسترسی[۲۶]، نزدیکی، هم‌پیوندی، اتصال و جز اینها بر این ایده استوار است که برخی از مکان‌ها یا خیابان‌ها مهم‌تر از بقیه هستند چرا که «مرکزی»تر هستند. مرکزیت به عنوان یک ویژگی ساختاری هر سامانه، تاکنون به صورت گسترده برای تحلیل متریک شبکه‌های جغرافیایی استفاده نشده است، هر چند به صورت توپولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. در تحلیل و مدل‌سازی شبکه گذربندی شهر به عنوان یک گراف دو رویکرد عمده وجود دارد: رویکرد اولیه[۲۷] و رویکرد ثانویه[۲۸]. رویکرد اولیه مبتنی بر نمایش گراف شبکه به همان صورت واقعی یا جغرافیایی است. همان طور که از گذشته در برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری در بررسی رابطه بین کاربری‌ها و خطوط حمل و نقل مورد استفاده بوده است. بنابراین، در گراف اولیه[۲۹] شبکه گذربندی، هر تقاطع به شکل یک گره و گذرهای پیونددهنده بین تقاطع‌ها به عنوان یک لبه در نظر گرفته می‌شوند. در مقابل، در گراف ثانویه[۳۰]، هر گذر فارغ از طول آن، به عنوان گره و هر تقاطع به صورت یک لبه نمایش داده می‌شود (Porta et al., 2005: 1 & 7-9).

با کاربرد گسترده رویکرد ثانویه در مطالعه شبکه گذربندی شهر پس از مطالعه درخور توجه هیلیر و هنسن (1984)، روش چیدمان فضا[۳۱] با به کار گرفتن رویکردی شبکه محور به شهرها، همسایگی‌ها، خیابان‌ها و حتی ساختمان‌ها، همبستگی قابل توجهی بین دسترسی توپولوژیکی خیابان‌ها و پدیده‌های گوناگونی همچون جریان ترافیک پیاده و سواره، مسیریابی، جرم‌خیزی، حیات اقتصادی و زیست‌پذیری اجتماعی برقرار نمود (Hillier, 1996; به نقل از Porta et al., 2006: 3).

روش ارزیابی چندگانه مرکزیت (MCA) به عنوان روشی جدید برای تحلیل مرکزیت شبکه سامانه‌های فضایی، همچون شبکه گذربندی شهری، با استفاده از رویکرد اولیه و با بهره‌گیری از مفهوم ترکیب، به تحلیل متریک مرکزیت شبکه گذربندی شهر با استفاده از ۴ شاخص مرکزیت بیان شده در قسمت پیشین (نزدیکی، میان‌راهی، مستقیمی و اطلاعات) می‌پردازد. روش MCA به دلیل‌های زیر از روش چیدمان فضا متمایز می‌گردد (Porta et al., 2005: 1 & 16).

۱. روش MCA بر اساس نمایش گرافیکی اولیه الگوی شبکه گذربندی است و در مقایسه با نمایش گرافیکی ثانویه به کار رفته در چیدمان فضا؛ رویکرد اولیه روشی جامع‌تر، عینی‌تر و واقعی‌تر برای تحلیل شبکه‌ای مرکزیت در شبکه گذربندی شهری است که با توجه به استفاده از فرمت استاندارد نقشه محور راه‌ها، با در دست داشتن انبوه داده‌های موجود شهرها، این رویکرد، قابلیت پیاده کردن آسان‌تر و سریع‌تری دارد و تا حد زیادی از نظرات فردی در ساخت گراف، با حذف مشکلات مربوط به جنرالیزاسیون[۳۲]، می‌کاهد.

۲. بر خلاف چارچوب توپولوژیکی روش چیدمان فضا، روش MCA چارچوبی کاملاً متریک دارد. رویکرد

26. Accessibility
27. Primal approach
28. Dual approach
29. Primal graph
30. Dual graph
31. Space Syntax
32. Generalization

اولیه روش MCA اجازه نگهداری مفهوم متریک و جغرافیایی فاصله را فراهم می‌آورد بدون اینکه توپولوژی سیستم را در نظر نگیرد، در حالی که رویکرد ثانویه مورد استفاده در روش چیدمان فضا، تنها به مفهوم توپولوژیک فاصله گامی[۳۳] منجر می‌شود که سبب خلاصه‌تر شدن شاخص‌ها و فرآیندها شده، بدین ترتیب بسیاری از ابعاد واقعی زندگی انسان را نادیده می‌گیرد.

۳. روش MCA به جای بررسی تنها یک شاخص، مجموعه‌ای از چهار شاخص مرکزیت را مورد بررسی قرار می‌دهد، چرا که مرکزیت تنها یک مفهوم مجرد نیست بلکه مفهومی چندوجهی است که برای درک بهتر و دقیق‌تر بایستی با چند شاخص مرکزیت مورد سنجش قرار گیرد.

به منظور سنجش و تحلیل همبستگی فضایی بین مدل مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی، باید از روشی برای تبدیل دو خروجی نقشه مرکزیت شبکه و مکان‌گزینی فعالیت‌ها به یک واحد تحلیل برای مقایسه استفاده گردد. طبق پیشینه تحقیق این کار به روش برآورد تراکم هسته‌ای (KDE) امکان‌پذیر است (Porta et. al., 2010: 120; Porta, Latora, Wang, Rueda, et. al., 2009: 8-11; Porta et. al., 2012: 1473-1475; Porta, Latora, Wang, Strano, et. al., 2009: 451 & 454-455). با استفاده از روش KDE، تراکم (چگالی) مرکزیت شبکه و مکان‌گزینی فعالیت‌ها محاسبه و مدل‌سازی می‌گردد تا دو خروجی به دست آمده قابل مقایسه و تحلیل همبستگی با یکدیگر باشند.

یک تابع هسته‌ای[۳۴] همچون یک برجستگی است که مرکزش بر روی هر نقطه x_i واقع شده و، به تدریج، به صورت مخروطی شکل در قالب یک پهنای باند یا پنجره به سوی صفر می‌گراید. چگالی هسته‌ای در نقطه x واقع در مرکز یک سلول شبکه برآورد می‌شود که حاصل جمع برجستگی‌ها در پهنای باند باشد (Porta et. al., 2010: 120; Porta, Latora, Wang, Rueda, et. al., 2009: 11-12; Porta, Latora, Wang, Strano, et. al., 2009: 456).

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{Nh}\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (۷)$$

K(.): تابع هسته‌ای

h: پهنای باند

N: تعداد نقطه‌ها در پهنای باند

n: تعداد کل اتفاقات

تمامی اتفاقات x_i در پهنای باند x تعدادی برجستگی تولید می‌کنند که به نقطه x می‌رسند، و در چگالی (تراکم) هسته‌ای تخمین زده شده در آنجا مشارکت دارند. تابع هسته‌ای $K(y)$، تابعی است که نرمال نمودن بردار دو بعدی y را به ترتیب زیر برآورده می‌سازد:

$$\int_{R^2} K(y)\, dy = 1 \quad (۸)$$

تابع هسته‌ای که به طور معمول استفاده می‌شود، منحنی نرمال استاندارد است:

$$K(y) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}y^2\right) \quad (۹)$$

به منظور ساده‌سازی، محاسبات در ArcGIS از تابع هسته‌ای زیر استفاده می‌کند، همان‌طور که سیلورمن (1986) توضیح داده است (به نقل از Porta et. al., 2010: 120; Porta, Latora, Wang, Rueda, et. al., 2009: 12; Porta, Latora, Wang, Strano, et. al., 2009: 456):

$$K(y) = \begin{cases} (3\pi)^{-1}(1-y^2)^2 & \text{اگر } y^2 < 1 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۱۰)$$

یکی از مزایای معادله (۱۰) محاسبه سریع‌تر از تابع هسته‌ای معمول است. همان‌طور که در فرمول پیداست، هر فعالیتی بیرون از پهنای باند h از مرکز هندسی سلول مورد نظر در محاسبه مجموع شرکت داده نمی‌شود (Porta et. al., 2010: 120; Porta, Latora, Wang, Rueda, et. al., 2009: 12; Porta, Latora, Wang, Strano, et. al., 2009: 456).

برای محاسبه تراکم فعالیت‌ها و مرکزیت شبکه از یکی از ابزارهای تحلیل فضایی نرم‌افزار ArcGIS به نام Kernel Density استفاده می‌شود.

33. Step-distance
34. Kernel Function

برای تحلیل همبستگی بین متغیرهای مرکزیت شبکه و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی، برای هر جفت متغیر که از ترکیب تراکم فعالیت‌ها با تراکم یکی از شاخص‌های مرکزیت تشکیل می‌گردد، یک ضریب همبستگی خطی ساده (ضریب همبستگی پیرسون[۳۵]) توسط نرم افزار ArcGIS محاسبه می‌گردد. مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین ۱- و ۱ تغییر می‌کند که نشانگر میزان تناسب مقدار دو متغیر به یکدیگر است. به طور کلی مقدار ضریب همبستگی پیرسون، به دلیل نوسان‌های آماری[۳۶]، با افزایش حجم نمونه، کاهش می‌یابد (Taylor, 1997) (به نقل از Porta, Latora, Wang, Rueda, et. al., 2009: 14; Porta, Latora, Wang, Strano, et. al., 2009: 461). ضریب همبستگی مثبت نشانگر رابطه مستقیم بین متغیرهاست بدین معنا که اگر یکی از متغیرها افزایش (کاهش) یابد، دیگری نیز افزایش (کاهش) پیدا می‌کند. ضریب همبستگی منفی نیز بیانگر رابطه معکوس بین متغیرهاست.

افزون بر محاسبه ضریب همبستگی پیرسون برای هر جفت لایه تراکم مرکزیت شبکه و تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌ها، برای ارزیابی صحت نتایج، یک شاخص همبستگی فضایی[۳۷] بین آنها نیز تعریف می‌شود که با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$SCI = \left|\sqrt{[K(x) - K(y)]^2} - 1\right| \qquad (۱۱)$$

SCI: شاخص همبستگی فضایی

K: تابع هسته‌ای (فرمول ۱۰)

x: متغیر شاخص مرکزیت شبکه

y: متغیر مکان فعالیت‌های تجاری و خدماتی

مقدار شاخص همبستگی فضایی بین صفر و ۱ متغیر است که مقدار صفر نشان‌دهنده عدم همبستگی و یک نشانگر همبستگی کامل است. بنابراین، هر چه مقدار شاخص از صفر به یک نزدیک‌تر شود، میزان همبستگی بالاتر می‌رود.

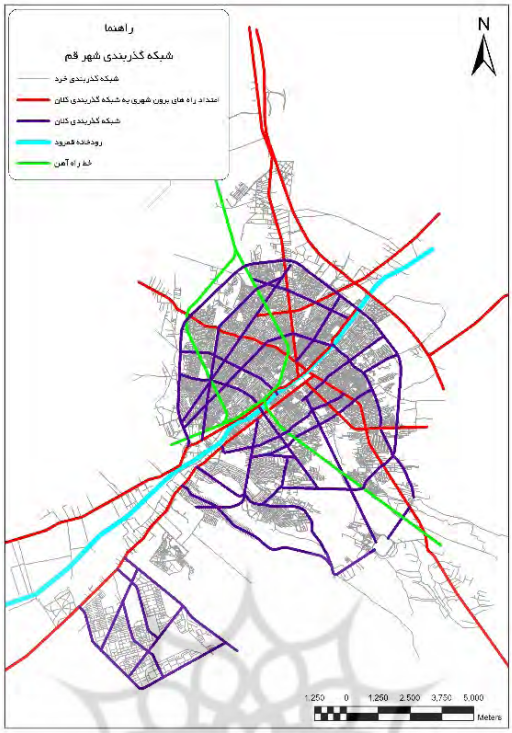
آزمون میزان صحت و چگونگی کارکرد هر نظریه شهری نیازمند کاربرد آن در یک محدوده جغرافیایی است. از این‌رو، در این قسمت به مدل‌سازی مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم پرداخته می‌شود تا مرکزهای شهری و محلی شهر یاد شده از دیدگاه مرکزیت شبکه شناسایی گردیده، همبستگی فضایی آنها با مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی مورد ارزیابی قرار گیرد.

شهر قم در منطقه مرکزی ایران واقع شده و از آنجا که به دلیل موقعیت محل تقاطع چند راه بین شهری است، ادامه این راه‌ها در محدوده شهر سبب ایجاد ساختاری شعاعی در شبکه گذربندی شهر شده است که به مرور زمان با ایجاد خیابان‌های حلقوی و شبکه‌های راست‌گوشه از نظر دسترسی تقویت شده است (شکل ۳).

برای بررسی مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم و شناسایی خیابان‌های مرکزی و مرکزهای شهری و محلی آن، از روش MCA و بسته نرم‌افزاری مربوطه استفاده می‌شود. بدیهی است که پیش از مدل‌سازی شبکه با روش یاد شده، نقشه شبکه گذربندی برای ورود به محیط نرم-افزار، آماده سازی و ویرایش می‌گردد.

همان‌طور که گفته شد، فعالیت‌های تجاری و خدماتی در مکان‌هایی قرار می‌گیرند که از مزیت مرکزی بودن بهره‌مند بوده، مشتریان بیشتری را جذب نمایند. چگونگی مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم نیز بایستی مدل‌سازی شود تا سرانجام میزان همبستگی فضایی بین مکان‌های مرکزی از دیدگاه شبکه گذربندی با مکان حضور فعالیت‌های تجاری و خدماتی سنجیده شده، مشخص گردد تا چه حد مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم بازتاب‌دهنده مکان حضور فعالیت‌های تجاری و خدماتی است.

35. Pearson Correlation Coefficient
36. Statistical Fluctuations
37. Spatial Correlation Index



شکل ۳. ساختار شبکه گذربندی شهر قم

مأخذ: شهرداری قم

شرح و تفسیر نتایج

همان‌طور که در بخش پیشین اشاره شد، فرآیند دستیابی به یافته‌های پژوهش، به طور خلاصه، به ترتیب زیر است:

۳-۱. تحلیل و مدل‌سازی مرکزیت شبکه گذربندی شهر قم از نظر شاخص‌های مرکزیت شبکه «میان‌راهی»، «نزدیکی کلی» و «نزدیکی محلی»؛ افزون بر این، نقشه مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی شهر قم نیز آماده‌سازی و تهیه می‌گردد. این مرحله با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری روش MCA و نرم‌افزار ArcGIS انجام پذیرفته، خروجی آن چهار لایه نقشه به صورت برداری[۳۸] می‌باشد.

۳-۲. تبدیل لایه‌های نقشه مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی شهر قم به یک مقیاس واحد برای تحلیل‌های بعدی، با بهره‌گیری از ابزار تحلیلی Kernel Density در نرم‌افزار ArcGIS؛ خروجی این مرحله، نقشه تراکم هر یک از شاخص‌های مرکزیت شبکه و نیز مکان‌گزینی فعالیت‌ها در قالب چهار لایه نقشه رستری[۳۹] می‌باشد.

۳-۳. محاسبه همبستگی فضایی بین لایه‌های نقشه تراکم هر یک از شاخص‌های مرکزیت شبکه یاد شده با لایه نقشه تراکم فعالیت‌ها با بهره‌گیری از شاخص همبستگی پیرسون و نیز شاخص همبستگی فضایی (SCI) با استفاده از ابزارهای تحلیلی نرم‌افزار ArcGIS.

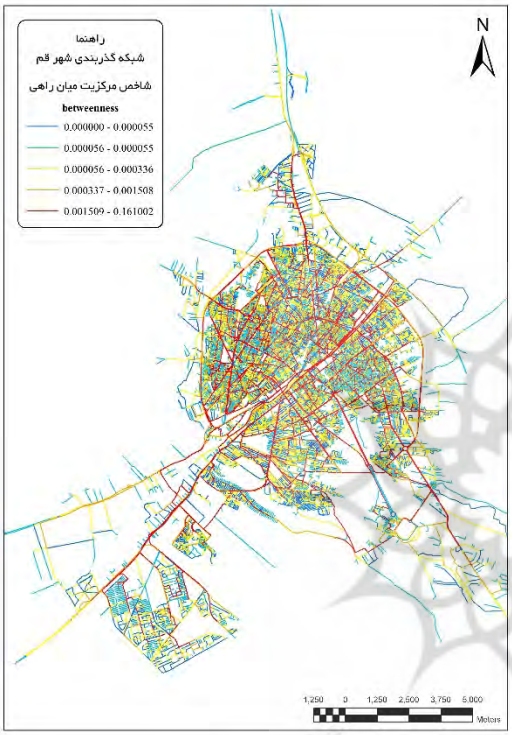
در این پژوهش از دو شاخص مرکزیت شبکه، میان‌راهی و نزدیکی (کلی و محلی)، استفاده می‌شود.

38. Vector

39. Raster

خروجی مدل‌سازی دو شاخص یاد شده بر روی شبکه گذربندی شهر قم با استفاده از بسته نرم‌افزاری MCA و نیز نرم‌افزار ArcGIS، به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) آمده است. در مدل‌های تهیه شده، درجه مرکزیت با طیف رنگی از رنگ آبی تیره (کمترین درجه) تا رنگ قرمز (بیشترین درجه) نشان داده شده است. شکل ۴ نشان دهنده مدل مرکزیت میان‌راهی شبکه است که نشانگر آن است که بیشترین مقدار مرکزیت میان‌راهی در خیابان‌های شریانی شهر دیده می‌شود. این بدین دلیل است که بیشترین رفت و آمد سواره و پیاده از خیابان‌های شریانی شهر است که ستون فقرات شبکه گذربندی شهر بوده، شاخه‌های فراوانی از آنها منشعب شده است. مدل-سازی مرکزیت نزدیکی شبکه به دو صورت کلی[۴۰] و محلی[۴۱] امکان‌پذیر است. در شکل‌های (۵–الف) و (۵–ب) به ترتیب مدل مرکزیت نزدیکی کلی و محلی شبکه گذربندی شهر قم آورده شده است. همان‌طور که در شکل (۵–الف) دیده می‌شود با توجه به ساختار شعاعی و مرکزگرای شبکه گذربندی شهر قم، مرکزیت کلی شبکه گذربندی به طور تقریبی بر مرکز هندسی شهر منطبق است. در مدل مرکزیت محلی تهیه شده (شکل ۵–ب)، شعاع تحلیل، ۴۰۰ متر در نظر گرفته شده که با شعاع واحد همسایگی[۴۲] در نظریه واحد همسایگی کلرنس پری (۱۹۲۹) همخوانی دارد (به نقل از Mehaffy et. al., 2015: 202). فاصله ۴۰۰ متری به عنوان فاصله دسترسی مناسب پیاده و یا با دوچرخه به خدمات در مطالعات دیگری همچون مطالعه رنلند بر روی دسترسی شهرهای سوئدی نیز استفاده می‌گردد (Reneland, 2000: 133). از این‌رو، نتیجه تحلیل مرکزیت شبکه محلی انجام شده نشانگر مرکزهای شهر قم در مقیاس دسترسی پیاده از دیدگاه مرکزیت شبکه گذربندی است.

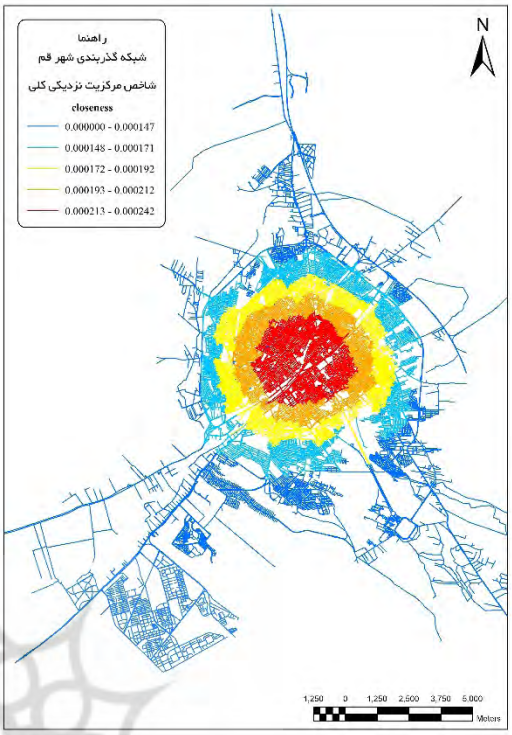
یکی دیگر از لایه‌های نقشه مورد نیاز برای انجام پژوهش حاضر، چگونگی مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در سطح شهر قم است که با بهره‌گیری از منابع اطلاعاتی شهرداری قم، در محیط نرم‌افزار ArcGIS آماده‌سازی شده، در شکل (۶) نشان داده شده است.



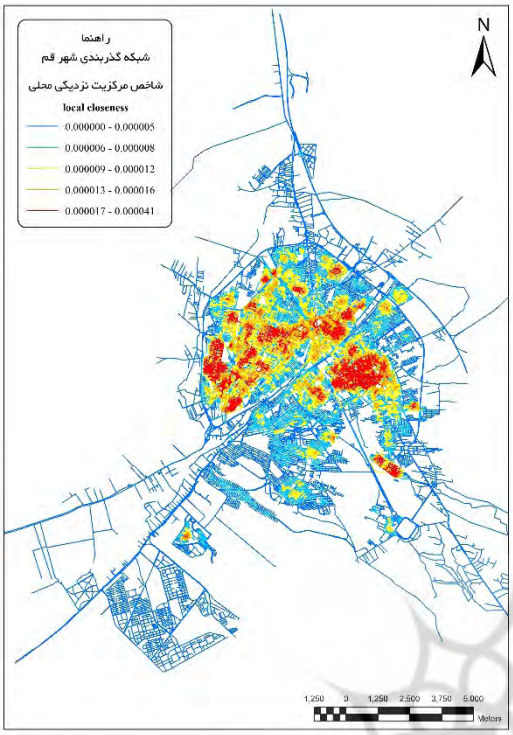
شکل ۴. مدل مرکزیت میان‌راهی شبکه گذربندی شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق

40. Global
41. Local
42. Neighborhood Unit



شکل ۵- الف. مدل مرکزیت نزدیکی کلی و محلی



شکل ۵-ب. شبکه گذربندی شهر قم

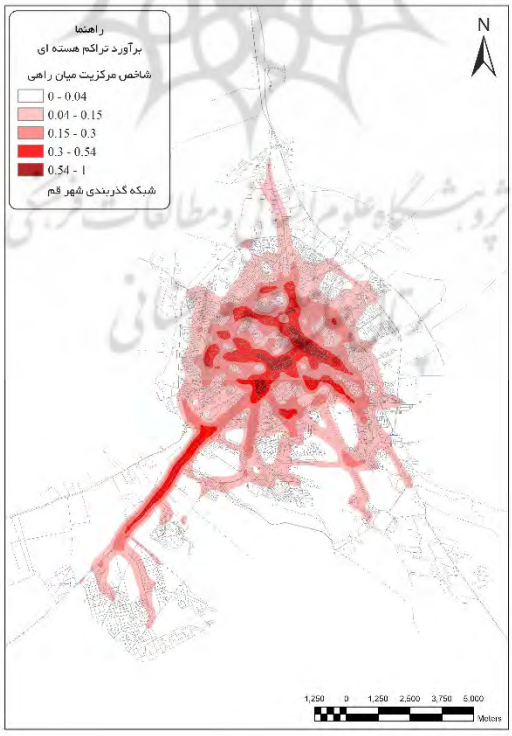
مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که گفته شد، برای محاسبه تراکم فعالیت‌های تجاری و خدماتی و نیز مرکزیت شبکه از ابزار تحلیل فضایی Kernel Density در نرم‌افزار ArcGIS استفاده می‌شود. یکی از قابلیت‌های این ابزار، امکان اختصاص دادن وزن با عنوان Population به عارضه‌های نقطه‌ای یا خطی[۴۳] ورودی است. در این پژوهش، به حضور و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی پرداخته می‌شود؛ لذا وزنی برای آنها در نظر گرفته نشده، مرکزهای هندسی[۴۴] قطعه‌های[۴۵] دارای فعالیت تجاری و خدماتی به عنوان یک لایه نقطه‌ای مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در مورد لایه خطی شبکه گذربندی، وضعیت متفاوت است؛ در صورت عدم اختصاص وزن، تنها تراکم شبکه گذربندی مشخص می‌گردد. برای به دست آمدن تراکم مرکزیت شبکه گذربندی، مقدار شاخص مرکزیت مربوط به هر پیوند از شبکه به عنوان وزن آن در نظر گرفته می‌شود. در ضمن برای تحلیل KDE بر روی تمامی لایه‌ها در نرم افزار ArcGIS، شعاع جستجو برابر ۴۰۰ متر و اندازه سلول در لایه رستری خروجی ۱۰×۱۰ در نظر گرفته می‌شود. شکل‌های (۷، ۸-الف و ۸-ب) به ترتیب نشان‌دهنده تراکم مرکزیت میان‌راهی، نزدیکی کلی و نزدیکی محلی است. شکل (۹) نیز تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی را نشان می‌دهد.

43. Polyline
44. Centroids
45. Parcels

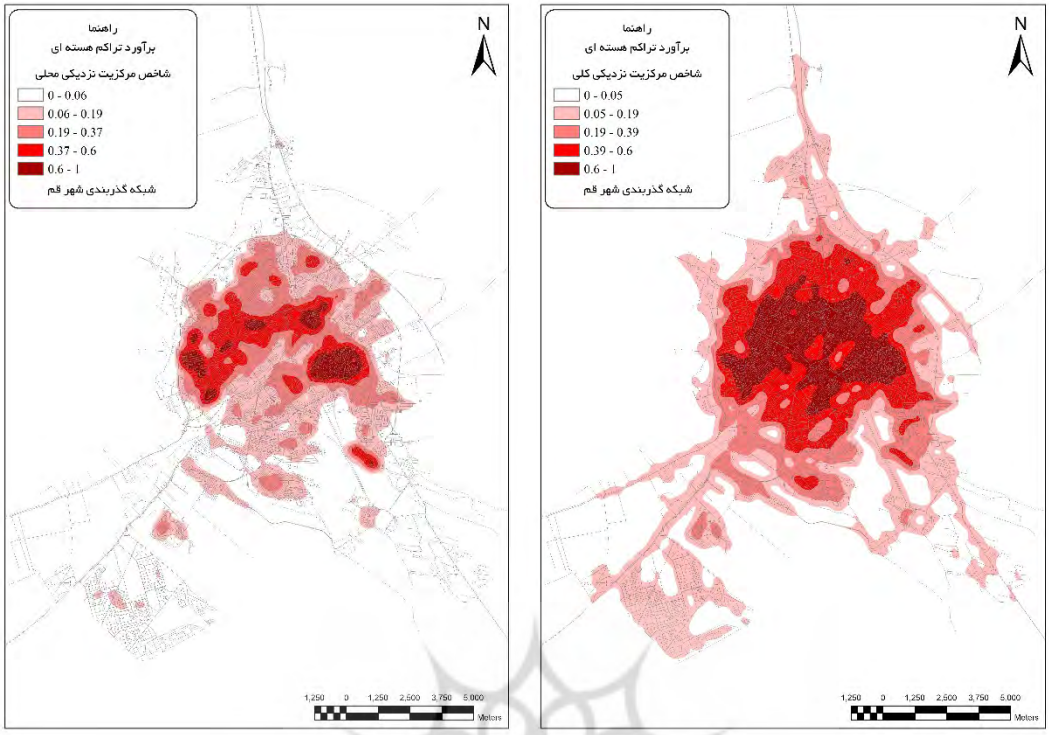
شکل ۶. مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در سطح شهر قم

مأخذ: شهرداری قم



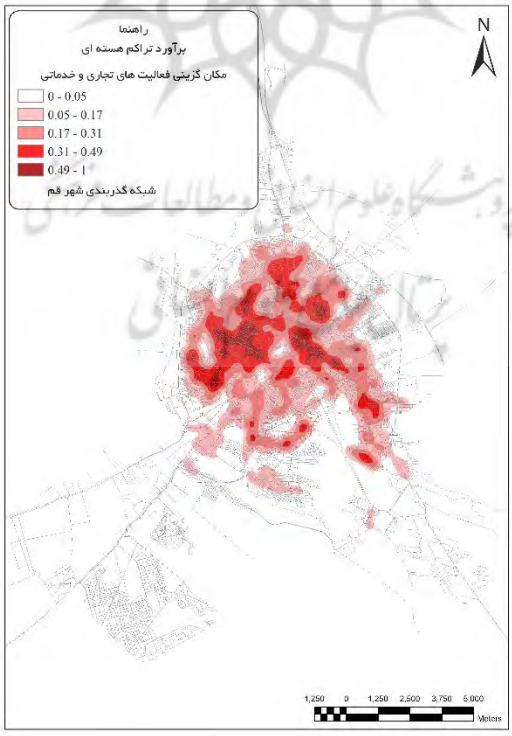
شکل ۷. تراکم مرکزیت میان‌راهی شبکه گذربندی شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۸- الف. تراکم مرکزیت نزدیکی کلی و محلی **شکل ۸-ب.** شبکه گذربندی شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۹. تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق

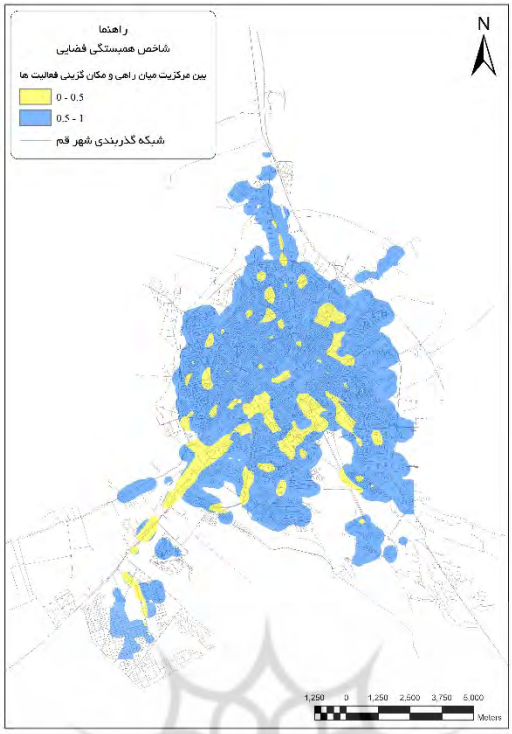
بدین ترتیب با استفاده از تحلیل KDE هر یک از لایه‌های شاخص‌های مرکزیت شبکه گذربندی و مکان-گزینی فعالیت‌ها به لایه‌های رستری متناظر تبدیل شده‌اند تا بتوان به مقایسه و تحلیل همبستگی بین آن‌ها پرداخت. در ادامه، از آنجا که منظور مطالعه همبستگی در محدوده پیرامون شبکه گذربندی است، برای کم کردن حجم داده-ها و دستیابی به نتایج واقعی‌تر، در ابتدا سلول‌های دارای ارزش صفر از لایه‌ها حذف می‌شود. سپس برای هر جفت متغیر، که از ترکیب تراکم فعالیت‌ها با تراکم یکی از شاخص‌های مرکزیت تشکیل می‌گردد، یک ضریب همبستگی خطی ساده (ضریب همبستگی پیرسون) توسط نرم افزار ArcGIS محاسبه می‌شود. (جدول ۱) همان طور که در بخش پیشین بیان شد، مقدار ضریب همبستگی پیرسون، با افزایش حجم نمونه، کاهش می‌یابد. از این رو، با توجه به حجم بالای سلول‌های لایه رستری استفاده شده، مقداری از کاهش ضریب همبستگی پیرسون به دست آمده، توجیه‌پذیر است. افزون بر این، هر سه ضریب همبستگی به دست آمده، مثبت و نشانگر رابطه مستقیم بین هر یک از جفت متغیرهای تراکم مرکزیت و فعالیت است.

جدول ۱. میزان همبستگی بین تراکم مرکزیت شبکه گذربندی و تراکم مکان گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی

متغیر تراکم مرکزیت شبکه	متغیر تراکم فعالیت	ضریب همبستگی پیرسون	درصد سلول‌ها با SCI>۰/۵	رتبه
نزدیکی محلی	تجاری و خدماتی	۰/۶۱	۸۸/۵	۱
میان‌راهی	تجاری و خدماتی	۰/۵۲	۸۵/۶	۲
نزدیکی کلی	تجاری و خدماتی	۰/۴۵	۷۰/۷	۳

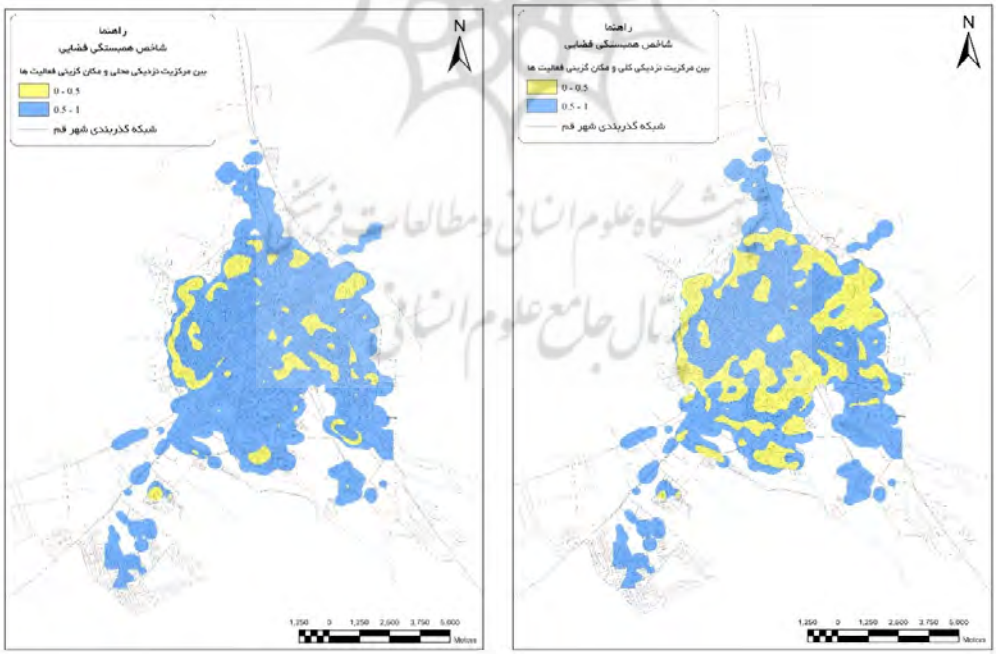
مأخذ: یافته‌های تحقیق

افزون بر محاسبه ضریب همبستگی پیرسون، برای ارزیابی صحت و افزایش اعتبار نتایج، یک شاخص همبستگی فضایی (SCI) بین هر جفت لایه تراکم مرکزیت شبکه و تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌ها نیز با استفاده از فرمول ۱۱ و با بهره‌گیری از ابزارهای نرم‌افزار ArcGIS محاسبه می‌شود. لایه‌های خروجی به دست آمده پس از محاسبه شاخص همبستگی فضایی بین هر یک از لایه‌های تراکم مرکزیت میان‌راهی، نزدیکی کلی و نزدیکی محلی شبکه گذربندی با لایه تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌ها به ترتیب در شکل‌های ۱۰، ۱۱– الف و ۱۱– ب نشان داده شده است. ویژگی قابل توجه استفاده از شاخص SCI در محیط ArcGIS، امکان نمایش فضایی میزان همبستگی بین لایه‌ها بر روی نقشه است. بررسی ویژگی-های آماری سه لایه خروجی بیانگر آن است که به ترتیب ۸۸/۵، ۸۵/۶ و ۷۰/۷ درصد سلول‌های لایه خروجی همبستگی فضایی بین تراکم مرکزیت نزدیکی محلی، میان‌راهی و نزدیکی کلی با تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌ها دارای شاخص همبستگی فضایی بزرگ‌تر از ۰/۵ می‌باشند که بدین ترتیب نتیجه به دست آمده از محاسبه شاخص همبستگی فضایی بر اساس فرمول ۱۱ با نتیجه حاصل از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون مشابه بوده، آن را تایید می‌کند (جدول ۱).



شکل ۱۰. همبستگی فضایی بین تراکم مرکزیت میان‌راهی شبکه گذربندی و تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۱۱- الف. همبستگی فضایی بین تراکم مرکزیت نزدیکی کلی و محلی **شکل ۱۱-ب.** شبکه گذربندی با تراکم مکان-گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به منظور دستیابی به هدف پژوهش که تبیین ارتباط بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم، در راستای حل مشکل تداخل عملکردی نظام حرکت و نظام فعالیت در خیابان‌های شهر به عنوان فصل مشترک دو نظام نامبرده، می‌باشد، شاخص‌های مرکزیت شبکه گذربندی (میان-راهی، نزدیکی کلی و نزدیکی محلی) با استفاده از روش MCA مدل‌سازی شده، از روش KDE برای برآورد تراکم هر یک از شاخص‌های مرکزیت شبکه و نیز تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی بهره گرفته شده است. برای پاسخ به پرسش پژوهش، میزان همبستگی فضایی بین تراکم هر یک از شاخص‌های مرکزیت شبکه گذربندی و تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر یاد شده مورد سنجش قرار گرفت. یافته‌های پژوهش چنین قابل تفسیر است:

۱. ضریب همبستگی پیرسون بین هر جفت متغیر مرکزیت– فعالیت، مثبت بوده (جدول ۱)، از این‌رو نشان-دهنده رابطه مستقیم بین مرکزیت شبکه و مکان‌گزینی فعالیت‌هاست.

۲. با توجه به حجم بالای نمونه – لایه رستری به وسعت کل شهر قم و با اندازه سلول ۱۰×۱۰ متر– مقدار ضریب همبستگی نسبتاً بالا به ویژه برای شاخص‌های مرکزیت نزدیکی محلی و میان‌راهی (بالاتر از ۰/۵)، رابطه مستقیم قابل توجه بین شاخص‌های مرکزیت شبکه و مکان‌گزینی فعالیت‌ها را اثبات می‌کند که نشانگر ارتباط زیاد بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت-های تجاری و خدماتی در شهر قم است.

۳. پراکنش میزان شاخص همبستگی فضایی بین تراکم مرکزیت نزدیکی محلی، میان‌راهی و نزدیکی کلی با تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌ها در لایه‌های نقشه خروجی (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) و ویژگی‌های آماری آنها (جدول ۱)، نشانگر سهم بالای سلول‌های لایه‌های نقشه یادشده دارای شاخص همبستگی فضایی بزرگ‌تر از ۰/۵ است که صحت و اعتبار تفسیر گفته شده در بندهای پیشین را تأیید می‌کند.

۴. با نگاهی دقیق‌تر به یافته‌های پژوهش حاضر– توجه به اینکه بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص مرکزیت نزدیکی محلی و پس از آن میان‌راهی است– نشان می‌دهد که فعالیت‌های تجاری و خدماتی در شهر قم بیشترین گرایش را به مکان‌گزینی در نزدیکی مکان‌های مرکزی (از دیدگاه شبکه گذربندی) با شعاع دسترسی ۴۰۰ متر دارند–که فاصله مناسبی برای پیاده‌روی است؛ پس از آن گرایش به قرارگیری در امتداد خیابان‌های اصلی شهر زیاد است که علت آن را باید در مزیت اقتصادی به علت بیشتر دیده شدن و در مسیر عبور قرار گرفتن، و نیز اثر طرح‌های توسعه شهری مبنی بر پیشنهاد کاربری‌های تجاری و خدماتی در بر خیابان‌های اصلی جستجو کرد. در واقع این‌گونه خیابان‌ها، مبدأ و مقصد سفرهای درون‌شهری نیستند بلکه مسیر حرکت ترافیک عبوری‌اند. در آخر با توجه به ساختار شعاعی و مرکزگرای شبکه گذربندی شهر قم و قرارگیری تقریبی حرم حضرت معصومه (س) در مرکز هندسی شهر، ضریب همبستگی مستقیم و مثبت بین شاخص مرکزیت نزدیکی کلی شبکه گذربندی شهر با مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی قابل توضیح است.

نتایج پژوهش حاضر، به طور کلی، با نتایج پژوهش-های مشابه–پورتا و همکاران (2009) بر روی شهر بولونیا، پورتا و همکاران (2009) بر روی شهرهای بارسلونا و بولونیا، و پورتا و همکاران (2012) بر روی شهر بارسلونا– از نظر تأیید ارتباط قوی و همبستگی بالای بین مرکزیت شبکه گذربندی و مکان‌گزینی فعالیت‌ها، همسوست. هر چند با نگاه جزئی‌تر تفاوت‌هایی به شرح زیر دیده می‌شود:

۱. در پژوهش پورتا و همکاران (۲۰۰۹) بر روی شهر بولونیا، که شاخص‌های مرکزیت شبکه میان‌راهی، نزدیکی (کلی و محلی) و مستقیمی (کلی و محلی) مورد تحلیل قرار گرفته است، نشانگر آن است که در این شهر بیشترین مقدار همبستگی بین تراکم شاخص‌های مرکزیت شبکه و تراکم مکان‌گزینی فعالیت‌های خرده فروشی و خدمات، به ترتیب به میان‌راهی و نزدیکی کلی اختصاص دارد.

۲. در پژوهش مقایسه‌ای پورتا و همکاران (۲۰۰۹) درخصوص بین شهرهای بارسلونا و بولونیا، نگارندگان ضمن تأیید نتایج پژوهش پیشین انجام شده بر روی شهر بولونیا در خصوص همبستگی متغیرهای مرکزیت- فعالیت، به دسته‌بندی فعالیت‌های اقتصادی و بررسی ارتباط گونه‌های مختلف آنها با مرکزیت شبکه نیز می‌پردازند و نتیجه‌گیری می‌کنند که فعالیت‌هایی که بیشتر با عموم مردم و زندگی روزمره در ارتباط هستند (همچون خرده‌فروشی‌ها، کافه‌ها و رستوران‌ها) بیشتر از فعالیت‌های تخصصی‌تر (همچون خدمات مالی، اداری و درمانی) با مرکزیت شبکه، همبستگی دارند. در پژوهش یاد شده، افزون بر شاخص‌های تکی، از شاخص‌های ترکیبی مرکزیت شبکه نیز بهره گرفته شده است.

۳. در پژوهش پورتا و همکاران (۲۰۱۲) بر روی شهر بارسلونا، با در نظر گرفتن شاخص‌های مرکزیت شبکه میان‌راهی، نزدیکی و مستقیمی، به ارتباط بین فعالیت‌های اولیه و ثانویه- بر اساس مطالعه جیکوبز (۱۹۶۱)- و مرکزیت شبکه تمرکز می‌یابد و یافته‌های آن نشان می‌دهد که فعالیت‌های ثانویه (فعالیت‌های روزمره و در مقیاس محلی) بیش از فعالیت‌های اولیه (فعالیت‌های در مقیاس بزرگتر و با محدوده خدمت‌رسانی گسترده‌تر) با مرکزیت شبکه در ارتباط هستند. همچنین این ارتباط با شاخص‌های مرکزیت شبکه کلی بیشتر از محلی است. افزون بر این نگارندگان این پژوهش ادعا می‌کنند بهره‌گیری از تراکم مرکزیت شبکه بیش از مرکزیت شبکه به تنهایی می‌تواند به مطالعه ارتباط بین مرکزیت- فعالیت کمک نماید.

سرانجام، با توجه به همبستگی مثبت و بالای بین تراکم شاخص‌های مرکزیت شبکه و تراکم فعالیت‌ها، می‌توان نتیجه گرفت مرکزیت شبکه گذربندی در شهر قم به عنوان یکی از ویژگی‌های ساختاری شکل شبکه گذربندی تأثیر به سزایی بر روی مکان‌گزینی فعالیت‌های تجاری و خدماتی در این شهر دارد. بنابراین، در برنامه-ریزی‌های آینده کاربری زمین، طراحی شبکه گذربندی و برنامه‌ریزی ترافیک شهر قم می‌توان از یافته‌ها و نتایج این پژوهش برای ساماندهی وضع موجود و نیز پیشنهاد طرح‌های جدید بهره جست. در خصوص محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به نبود اطلاعات کامل در مورد گونه‌های مختلف فعالیت‌های تجاری و خدماتی و نیز سطح دقیق زیر پوشش آنها برای مطالعه تفصیلی‌تر، و نیز مشکلات مدل‌سازی مرکزیت شبکه با بسته نرم‌افزاری MCA به دلیل پیچیدگی نرم افزار و حجم بالای شبکه گذربندی شهر قم- که منجر به حذف دیگر شاخص‌های مرکزیت شبکه از تحلیل شد- اشاره کرد. در پایان، با توجه به نتایج پژوهش حاضر و پژوهش‌های پیشین، پیشنهادهای زیر برای پژوهش‌های بعدی ارائه می‌گردد:

۱. در نظر گرفتن گونه‌های مختلف فعالیت‌های مختلف تجاری و خدماتی برای تحلیل تفصیلی‌تر

۲. دخالت دادن سطح زیر پوشش فعالیت‌ها (مساحت قطعه زمین و سطح زیر بنا) به جای تنها مکان حضور فعالیت‌ها در تحلیل؛ استفاده از سطح زیربنا، بدین دلیل که معیار سنجش دقیق‌تری برای اندازه‌گیری حجم فعالیت نسبت به مساحت قطعه زمین است، پیشنهاد می‌گردد.

۳. دخالت دادن ویژگی‌های ترافیکی شبکه گذربندی همچون ویژگی‌های هندسی خیابان‌ها (عرض، شکل، امتداد)، شیوه سفر، مقررات ترافیکی خیابان‌ها (یکطرفه، دو طرفه، پیاده‌راه، محدوده طرح ترافیک)، و درجه‌بندی عملکردی خیابان‌ها.

References

Barthélemy, M. & Flammini, A. (2008). "Modeling Urban Street Patterns". *Physical review letters*. 100(13). 138702 .

Boccaletti, S.; Latora, V.; Moreno, Y.; Chavez, M. & Hwang, D.-U. (2006). "Complex Networks: Structure and Dynamics". *Physics reports*. 424. (4). pp. 175-308.

Freeman, L. C. (1979). "Centrality in Social Networks Conceptual Clarification". *Social networks*. 1(3). pp. 215-239 .

Hillier, B. (1996). *Space Is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. Cambridge University Press. Cambridge.

Hillier, B. (1999). "Centrality as a Process: Accounting for Attraction Inequalities in Deformed Grids". *Urban Design International.* 4(3-4). pp. 107-127.

Hillier, B. & Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press. Cambridge.

Hillier, Penn, A.; Hanson, J.; Grajewski, T. & Xu, J. (1993). "Natural Movement-or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement". *Environ Plann B.* 20(1). pp. 29-66 .

Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage.

Marshall, S. (2005). *Streets & Patterns*. Spon. London: New York.

Mehaffy, M. W.; Porta, S.; & Romice, O. (2015). "The "Neighborhood Unit" on Trial: A Case Study in the Impacts of Urban Morphology". *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability.* *8*(2). pp. 199-217 .

Newman, P. & Kenworthy, J. (1999). *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island Press.

Perry, C. A. (1929). "The Neighborhood Unit: A Scheme of Arrangement for the Family-Life Community Regional Plan of New York and Its Environs". *New York: Arno Press.* 3(4). p. 5.

Porta, S.; Crucitti, P.; & Latora, V. (2005). "The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach". *arXiv preprint physics/0506009* .

Porta, S.; Crucitti, P. & Latora, V. (2006). "The Network Analysis of Urban Streets: A Dual Approach". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.* 369(2). pp. 853-866 .

Porta, S.; Latora, V. & Strano, E. (2010). Networks in Urban Design. Six Years of Research in Multiple Centrality Assessment *Network Science.* pp. 107-129. Springer.

Porta, S.; Latora, V.; Wang, F.; Rueda, S.; Cormenzana, B.; Càrdenas, F.; et al. (2009). "Correlating Densities of Centrality and Activities in Cities: The Cases of Bologna (It) and Barcelona (Es)" .

Porta, S.; Latora, V.; Wang, F.; Rueda, S.; Strano, E.; Scellato, S.; et. al. (2012). "Street Centrality and the Location of Economic Activities in Barcelona". *Urban studies.* 49(7). pp. 1471-1488 .

Porta, S.; Latora, V.; Wang, F.; Strano, E.; Cardillo, A.; Scellato, S.; et. al. (2009). "Street Centrality and Densities of Retail and Services in Bologna, Italy". *Environment and Planning B: Planning and design.* 36(3). pp. 450-465 .

Reneland, M. (2000). "Accessibility in Swedish Towns". *Achieving sustainable urban form. E & FN Spon , Taylor & Francis Group, London*. pp. 131-138 .

Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis* (Vol. 26). CRC press.

Taylor, J. (1997). *Introduction to Error Analysis, the Study of Uncertainties in Physical Measurements*.

Van Nes, A. (2002). *Road Building and Urban Change: The Effect of Ring Roads on the Dispersal of Shop and Retail in Western European Towns and Cities*. Agricultural University of Norway, Department of Land Use and Landscape Planning.

———— (2005). T*ypology of Shopping Areas in Amsterdam. Paper presented at the Proceedings Space Syntax*. 5th International Symposium.

Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications* (Vol. 8). Cambridge university press.