Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

Investigating the Effects of Urban Sprawl on Carbon Distribution Using AHP-TOPSIS and MGWR Models

Seyed Reza Mousavi[1*], Monire Mahmoudi Holasoo[2], Mehdi Shah Mohammad[3], Samira Heydari[4]

[1]Master of Geomorphology, Noor Azad University
[2] Master's student of regional planning at Gilan University
[3]Master's Degree in Geography and Urban Planning - Urban Planning from Shahid Beheshti University, Tehran
[4]Master's student in the field of geography and urban planning, majoring in housing planning, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University

Keywords

Urban sprawl, low-carbon city, multiscale geographically weighted regression, AHP-TOPSIS model, Urmia city

A B S T R A C T

Urban sprawl, a pressing concern for sustainable urban development, poses significant challenges for reducing the carbon footprint in urban environments. This study addresses the complex dynamics of urban sprawl in the city of Urmia and examines its implications on the city's carbon emissions. This research aims to fill a critical knowledge gap by analyzing the spatial determinants of environmental sustainability and providing insights into the relationship between urban sprawl patterns and low-carbon city indicators. Leveraging a comprehensive methodological framework, this study combines descriptive analysis, the Analytic Hierarchy Process (AHP), the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), and Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR). The population and housing census data from 1395 (2016-2017) and the GIS data from the detailed plan of Urmia provide a basis for investigating population distribution, land use patterns, and carbon emission indicators across the city's neighborhoods. This approach facilitates a thorough examination of the spatial distribution of urban sprawl and its environmental consequences, with a special focus on the role of urban form and density in shaping carbon emission trends. The findings reveal a diverse range of urban densities and land use patterns across Urmia. This research highlights the vital role of net and gross population densities as key factors influencing the urban carbon footprint. The application of the AHP and TOPSIS models identifies varying degrees of urban sprawl, highlighting the environmental challenges arising from suburban expansion. Furthermore, insights from the MGWR model underscore the significant impact of urban form on environmental sustainability and confirm the spatial relationship between urban sprawl and carbon emissions. Consequently, this study affirms that urban sprawl has a substantial impact on low-carbon city indicators in Urmia and suggests that high-density urban areas may offer potential solutions for reducing carbon emissions. These findings emphasize the need for urban planning and strategic policymaking that emphasize density and accessibility to enhance environmental sustainability. This study argues for ongoing research on the dynamic interplay between urban form and carbon emissions and proposes an integrated approach to urban development that supports low-carbon growth objectives. Future research should expand the scope of variables and employ diverse analytical methods to enrich our understanding of the complex impacts of urban sprawl.

*Corresponding Author.
Email Adresses: Reza.mousavi1369@gmail.com

To cite this article:
Mousavi, S. R., Mahmoudi Holasu, M., Shah Mohammad, M., & Heydari, S. (2023). Investigating the Effects of Urban Sprawl on Carbon Distribution Using AHP-TOPSIS and MGWR Models. Human Ecology, 2(4), 260-277. doi: 10.22034/el.2024.459495.1023

Doi: 10.22034/el.2023.424611.1017

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

سال دوم، شماره چهارم ، پاییز ۱۴۰۲، ۲۶۰-۲۷۷.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات پراکنده رویی شهری بر توزیع کربن با استفاده از مدل AHP-TOPSIS و MGWR

سید رضا موسوی[1*]، منیره محمودی هولاسو[2]، مهدی شاه محمد[3]، سمیرا حیدری[4]

کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد نور

دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای دانشگاه گیلان

کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری ــ آمایش شهری از دانشگاه شهید بهشتی تهران

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته جغرافیا وبرنامه ریزی شهری گرایش برنامه ریزی مسکن دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

پراکنده رویی شهری ، یک نگرانی فشرده برای توسعه پایدار شهری، چالش های قابل توجهی را برای کاهش ردپای کربن در محیط های شـــهری ایجاد می کند. این مطالعه به پویایی های پیچیده پراکنده رویی شـــهری در شـــهر ارومیه می پردازد و تبعات آن بر انتشـــار کربن شـــهر را بررســـی می کند. این پژوهش هدف پر کردن یک شـــکاف دانش حیاتی را دارد؛ از طریق تحلیل عوامل فضـــایی تعیین کننده پایداری زیست محیطی و ارائه بینش هایی درباره رابطه بین الگوهای پراکنده رویی شـهری و شـاخص های شـــهر کم کربن. با بهره گیری از یک چارچوب روش شـــناختی جامع، این مطالعه تحلیل توصـیفی، فرآیند تحلیل سلسـله مراتبی (AHP)، تکنیک ترجیح سـفارش بر اسـاس شـباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) و رگرســـیون جغرافیایی وزنی چندمقیاســـه (MGWR) را ترکیب می کند. داده های سرشماری جمعیت و مسکن ۱۳۹۵ و داده های GIS طرح تفصیلی شهر ارومیه، پایه ای برای بررسی توزیع جمعیت، الگوهای کاربری اراضی و شـاخص های انتشـار کربن در میان محله های شـهر را فراهم می کنند. این رویکرد، بررسی دقیق توزیع فضایی پراکنده رویی شـهری و تبعات زیست محیطی آن را با تمرکز ویژه بر نقش شـکل شـهری و تراکم در شـکل دادن به روندهای انتشـار کربن، تسـهیل می کند. یافته ها، طیف متنوعی از تراکم های شـهری و الگوهای کاربری اراضـی را در سـراسـر ارومیه آشـکار می ســـازد. این پژوهش نقش حیاتی تراکم خالص و ناخالص جمعیت را به عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر ردپای کربن شـهری برجسـته می سـازد. کاربرد مدل های AHP و TOPSIS، درجات متفاوت پراکنده رویی شـــهری را شـــناســـایی می کند که چالش های زیســـت محیطی ناشـــی از گســـترش حومه ای را خاطرنشان می سازد. علاوه بر این، بینش های حاصل از مدل MGWR تأثیر قابل توجه شکل شـهری بر پایداری زیست محیطی را برجسته می کند و رابطه فضایی میان پراکنده رویی شهری و انتشار کربن را تأیید می نماید. در نتیجه، این مطالعه تأیید می کند که پراکنده رویی شـــهری تأثیر قابل توجهی بر شاخص های شـهر کم کربن در ارومیه دارد و نشان می دهد که مناطق شـهری پرتراکم ممکن اسـت راه حل های بالقوه ای برای کاهش انتشـــار کربن ارائه دهند. این یافته ها، لزوم برنامه ریزی شـــهری و سیاستگذاری راهبردی را که بر تراکم و دسترسی برای ارتقای پایداری زیست محیطی تأکید می کنند، خاطرنشان می سازد. این مطالعه برای تحقیقات مستمر در مورد تعامل پویای شـکل شـهری و انتشـار کربن اســـتدلال می کند و رویکرد یکپارچه ای را برای توســـعه شـــهری که اهداف رشـــد کم کربن را پشـتیبانی می کند، پیشـنهاد می دهد. تحقیقات آینده باید دامنه متغیرها را گسـترش دهد و از روش های تحلیلی متنوع برای غنی سازی درک ما از تأثیرات پیچیده پراکنده رویی شهری استفاده کند.

واژگان کلیدی

پراکنده رویی شهری، شهر کم کربن، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی چند مقیاسی، مدل AHP-TOPSIS، شهر ارومیه

۱. مقدمه

شهرنشـــینی بیش از هر زمانی، الگوی بنیادین زندگی اجتماعی نوین‌شده اسـت و بـه مجموعـه‌ای از آمیزش‌عوامل طبیعی، اجتماعی و محیط ساخته شـده انسانی بدل شده که یک نظـام اجتمـاعی، اقتصـادی و محیطی پیچیده را شکل داده اسـت. شـهرها در بسـتر زیست خود پیوسته رو به‌رشد و دگردیسی وگسترش فضایی هستند که این رشد بیشتر درگونه‌های‌توسعه میان افزا(آروین و همک‌اران، ۱۳۹۶)، توسعه پیوسته و توسعه شهری گسسته نمود یافته است. رشد جمعیت شهرها در شهرهای بزرگ، فرصت ها و چالش های عظیمی را برای توسعه پایدار و آینده کشورها ایجاد می کند و حدود ۹۰ درصد آن در آسیا و آفریقا اتفاق افتاده که همراه با توسعه اقتصادی منجر به گسترش سریع شهر می شود(ترفا و همکاران[1]، ۲۰۱۹). رشد تابان شهرنشینی به ویژه رشد سریع شهرهای بزرگ و تغییرات سریع و عمیق بافت کالبدی و ساخت اجتماعی شهرهای ایران در چند دهه ی اخیر و برهم خوردن تعادل در شبکه شهری موجب گسترش بی رویه شهری و از بین رفتن منابع محیطی شده است(گیوه چی و قنواتی، ۱۳۹۳). رشد شهری به طور کلی شامل رشد عمودی و افقی است که از موضوعات مهم پژوهشی است (ژانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۷) که این دگرگونی ها به شکل افزایش سریع جمعیت و گسترش فیزیکی شتاب آور و به صورت ناهماهنگ و نامتعادل بوده است(نیک پور و همکاران، ۱۳۹۶) و این اشکال گسترش شهری به طور معناداری بر شرایط اقتصادی، اجتماعی و سیاسی و مدیریتی شهری تاثیر بسیار زیادی می گذارند(زنگ و همکاران[3]، ۲۰۱۸). مسلط ترین شکل در قرن بیستم در بیشتر نقاط جهان گسترش افقی بوده است(نظم فر، ۱۳۹۵) که رایج ترین تغییر در استفاده از زمین بوده است(یان[4]، ۲۰۱۸). جنبه ی مثبت پراکنده رویی شهری این امکان را به مردم داده است که به دور از مرکز شهر، به مناطق ارزان قیمت دسترسی پیدا کنند(پراکاسا و همکاران[5]، ۲۰۱۸) و در کنار جنبه ی مثبت، رشد و گسترش افقی و تبدیل سطح زمین از اراضی غیرشهری به اراضی شهری یک فرآیند غیرقابل برگشت است. در نهایت موجب قطعه قطعه شدن زیستگاه ها(کیان و ویو[6]، ۲۰۱۹)، از دست رفتن مستقیم زمین های کشاورزی و افزایش شدت بهره برداری از اراضی کشاورزی(کائو و همکاران[7]، ۲۰۱۷)، افزایش گسترش شهرها در ارتفاعات، بهم پیوستگی روستاها در کالبد شهرها، مشکلات زیست محیطی و مخاطرات طبیعی، آلودگی هوا و گرمایش زمین، افزایش گازهای گلخانه ای، بالا رفتن هزینه زیرساخت ها و خدمات شهری و عدم استفاده ی مناسب از زمین شده است(هوشمند شریفی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به این موارد لازم است در کنار گسترش شهر، مسائل مربوط به توسعه پایدار و بالا بردن ارتقای کیفیت زیست مردم توجه شود(یاری قلی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات زیادی نشان می دهد که از یک طرف اهمیت و ضرورت پرداختن به زیست پذیری شهری در ارتباط با پاسخ دهی به نیازهای جامعه بعد از صنعتی شدن که امکانات و کیفیت زندگی مورد نظر است و از طرف دیگر زیست پذیری به علت فشارها و تهدیدهای پیش روی زندگی در شهر نیز اهمیت زیادی یافته است(علی اکبری و اکبری، ۱۳۹۵). هم اکنون یکی از موارد شهرهای سراسر کشور گسترش شهرنشینی و سعی بر داشتن شهرهای زیست پذیر است. شهر ارومیه بر اثر روند سریع و گسترش کالبدی شهری و توسعه ی صنعت و سازمان ها در شهر و اطراف شهر و ساخت و ساز مکان های سکونتگاهی و اداری و افزایش جمعیت اکنون شاهد گسترش به سمت اطراف بوده است و این توسعه و گسترش شهری موجب بهره برداری بیش از حد از محیط زیست و زمین شده و سبب آلودگی هوا، گرمایش زمین و نابود ساختن محیط زیست برای نسل های آینده شده است. با توجه به موارد مذکور، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات پراکنده رویی شهری بر توزیع کربن با استفاده از مدل TOPSIS_AHP و GWR پرداخته است. در این راستا، پاسخ دهی به سوال های زیر است:

– اثر پراکنده‌رویی شهری تاثیر مستقیم بر افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش سطح کربن دارد.

– از میان شاخص‌های پراکنده‌رویی شهری شاخص دسترسی بیشترین تاثیر را بر افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش سطح کربن دارد.

[1] Terfa et al
[2] Zhang et al
[3] Zang et al
[4] Yan
[5] Prakasa et al
[6] Qian and Wu
[7] Cao et al

۲. پیشینه ی پژوهش

خداکرمی و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی با استفاده از ادغام مدل‌سازی‌های فضایی و رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره، پایداری شهری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که کمتر از ۳ درصد از کل مساحت محله تقریباً پایدار، ۳۶/۱ و ۵۹/۴ درصد به ترتیب به عنوان مناطق ضعیف و متوسط پایدار طبقه بندی شده اند .هیچ یک از محله ها در طبقه پایدار خوب طبقه بندی نشدند، در حالی که ۱.۷۳ درصد از منطقه ناپایدار بود .

یانگزی و همکاران[1] (۲۰۲۲) در تحقیقی ویژگی‌های مکانی–زمانی و عوامل مؤثر بر کارایی تاب‌آوری شهری در کمربند اقتصادی رودخانه یانگ تسه، در کشور چین را با استفاده از مدل GWR مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیل مدل GWR نشان می‌دهد که کل مصرف برق و مساحت زمین جهت ساخت‌وساز، همبستگی قابل‌توجهی با تاب‌آوری کلی شهری YREB دارد.

یانگ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی شاخص اکولوژیک را مبتنی بر سنجش از دور در طول آبراهه اصلی بر اساس روش-PCA-AHP TOPSISبرآورد کردند. نتایج نشان داد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، اکولوژیکی محیط زیست آبراهه اصلی کاهش آشکار و سپس روند صعودی داشته تا اینکه در سال ۲۰۱۹ به اوج رسیده است. بهبود اکولوژیکی محیط زیست آبراهه اصلی ارتباط نزدیکی با افزایش پوشش گیاهی و بهبود شرایط محیطی دارد.

کیان و ویو(۲۰۱۹) در تحقیقی با استفاده از داده های فضایی، توسعه شهری و تغییرات آن در شهر نانجینگ کشور چین را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد گسترش شهری در مناطق مختلف تحت تاثیر عوامل توپوگرافی و اقتصادی است و افزایش مساحت شهری بر محیط زیست شهری تاثیر زیادی می گذارد.

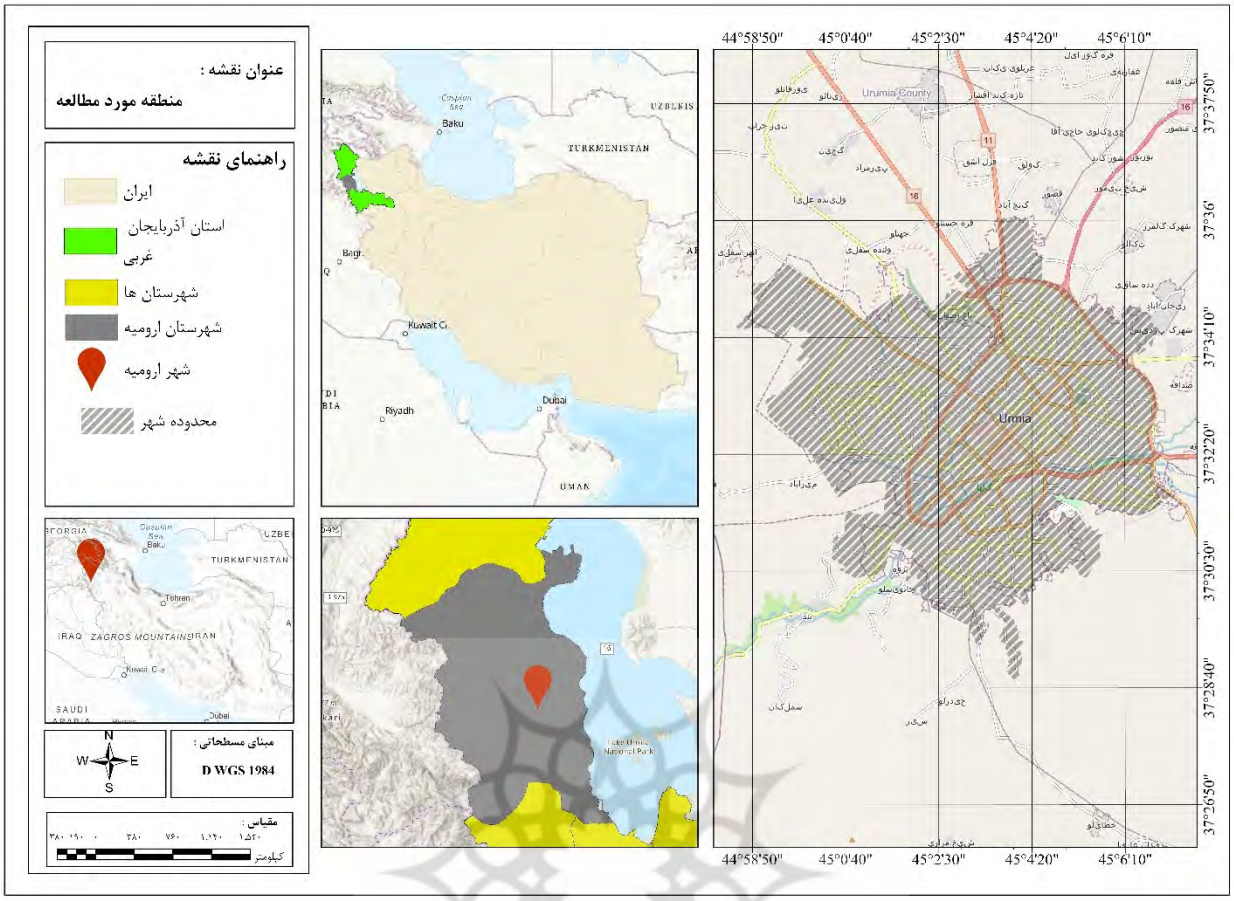
نامور و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی الگوهای مدیریت رشد شهری در کلان شهرشیراز را با استفاده از مدل AHP_TOPSIS بررسی کردند. نتایج نشان میدهد که سیاستهای بیرونی مدیریت رشد به علت تأثیر کلان و گستردگی مساحت تحت تأثیر به طور کل از اولویت بالاتری برای مدیریت شهری برخوردار است. مانند: ایجاد کمربند سبز شهری، اعمال محدوده رشد شهری که هر دو رتبه دوم و محدوده خدمات شهری که رتبه سوم اولویت را کسب کرده اند و در مرحله بعد سیاستهای درونی مدیریت رشد قرار دارند که تأثیرگذارترین آنها، تنظیم مجدد زمین با رتبه اول میباشد و سایر سیاستهای درونی مدیریت رشد نظیر طرحهای جامع الزام آور، انتقال و خرید حق توسعه، مشوقهای تراکمی و افزایش مسکن، همکاری ها و توافقات درون محلی و برنامه ریزی اشتراکی، هزینه تأثیر توسعه و مقررات همزمان و مالیات ویژه و ابزار تأمین مالی در رتبه های چهارم به بعد قرار دارند.

قنبری و همکاران(۱۳۹۳) در تحقیقی به سطح بندی شهرستان های استان آذربایجان شرقی از لحاظ زیرساخت های گردشگری شهری با استفاده از مدل های Topsis و SAW و ضریب چولگی پیرسون پرداختند.

۳. منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه، مرکز شهرستان ارومیه و مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله۲۰کیلومتری غربِ دریاچه ارومیه، درونِ جلگه ای به طول۹۰کیلومتر و عرض۳۰کیلومتر قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی این شهربین۹۹ درجه و۱دقیقه تا۹۱درجه و۱۹دقیقه طول شرقی و۳۹درجه و۲۱دقیقه تا۳۰درجه و۲۰دقیقه عرض شمالی، در شمال غرب ایران میباشد (شکل۱). شهرستان ارومیه تقریباً در مرکز فلاتی قرار دارد که پهنه ای به ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح دریا و شامل دریاچه ارومیه است. این پهنه، منطقه ای کوهستانی است که به موازات حرکت از طرف غرب به طرف شرق از ارتفاع آن کاسته میشود. در تشکیلات رسوبی و درونی زمین در منطقهٔ ارومیه گسستگی های زیادی وجود دارد، که گسترش آنها در نواحی کوهستانی غربی و پهنه میانی این منطقه زیاد است(نصیری، ۱۳۹۵).

[1] Yingzi et al



شکل ۱. موقعیت شهرستان ارومیه

۴. روش پژوهش

روش تحقیق مورد استفاده در این مطالعه، تجزیه و تحلیل آماری، سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل سازی فضایی پیشرفته را به طور دقیق ترکیب می کند تا تأثیر پراکنده رویی شهری بر شاخص های شهر کم کربن در شهر ارومیه را ارزیابی کند. مرحله اولیه این روش شامل شناسایی و مشخص کردن یک مجموعه جامع از شاخص های ضروری برای درک پراکنده رویی شهری و تأثیرات آن بر انتشار کربن بود. این شاخص ها از سه منبع داده اصلی گرفته شده اند: سرشماری جمعیت و مسکن سال ۱۳۹۵ برای شاخص های مربوط به جمعیت، و داده های GIS از طرح تفصیلی شهر برای سایر ویژگی های شکل شهری و کاربری اراضی.و از محیط ابرای گوگل ارث انجین هم برای محاسبه شاخص کربن. به طور خاص، این شاخص ها شامل تراکم ناخالص جمعیت، تراکم خالص جمعیت، میانگین اندازه زمین مسکونی، درصد جمعیتی که در مناطق با تراکم کمتر از ۴۰ و بیشتر از ۱۰۰ نفر در هکتار ساکن هستند، درصد کاربری زمین مسکونی، درصد بلوک های کوچک (کمتر از ۳۰۰۰ متر مربع)، درصد جمعیتی که در نزدیکی کاربری های تجاری و آموزشی قرار دارند و درصد جمعیتی که در فاصله کمتر و بیشتر از ۱ کیلومتر از مرکز تجاری شهر (CBD) قرار دارند، می شوند.

برای کمی سازی شاخص کربن، داده های ماهواره ای از محصول سنتینل ۵ در محیط گوگل ارث انجین پردازش شد که نشان دهنده اتکای این مطالعه به فناوری پیشرفته سنجش از راه دور برای تجزیه و تحلیل محیط زیست است. با توجه به مقیاس های فضایی و انواع داده های متفاوت شاخص ها – با شاخص کربن به صورت رستری نمایش داده شده و دیگر شاخص ها به صورت شکل فایل برداری – یک گام روش شناختی ضروری، تجمیع فضایی این داده ها به یک واحد فضایی یکنواخت در سطح محله بود. این تجمیع، تحلیل فضایی جامع را تسهیل

کرد و قابلیت مقایسه در میان شاخص های مختلف را تضمین نمود. ادغام این داده های متنوع از طریق تکنیک های اتصال فضایی در یک محیط GIS انجام شد که امکان بررسی دقیق تأثیر پراکنده رویی شهری بر انتشار کربن در سطح محله را فراهم کرد.

هسته تحلیلی این مطالعه بر پایه دو رویکرد مدل سازی اصلی شکل گرفته است: مدل AHP-TOPSIS و مدل رگرسیون جغرافیایی وزن دار چند مقیاس (MGWR). مدل AHP-TOPSIS برای خوشه بندی محلات با استفاده از همه ۱۱ شاخص و با به کارگیری مدل AHP برای وزن دهی و اولویت بندی این شاخص ها به کار گرفته شد. این فرآیند یک شاخص پراکنده رویی برای هر محله تولید کرد که درجه نسبی پراکنده رویی شهری آن را نشان می دهد. سپس، مدل MGWR برای بررسی رابطه فضایی بین شاخص پراکنده رویی شهری (به عنوان متغیر مستقل) و انتشار کربن (به عنوان متغیر وابسته) در سرتاسر شهر اعمال شد. این تکنیک پیشرفته تحلیل فضایی، بررسی نحوه تأثیرگذاری پراکنده رویی شهری بر سطوح انتشار کربن را با در نظر گرفتن ناهمگنی فضایی ذاتی در فرآیندهای محیط زیستی شهری، امکان پذیر ساخت. از طریق این چارچوب روش شناختی، این مطالعه درک عمیقی از تعامل بین فرم شهری، گسترش و پیامدهای زیست محیطی در شهر ارومیه را ارائه می دهد.

۵. تجزیه و تحلیل

۵-۱. تحلیلی توصیفی شاخص ها

۵-۱-۲. توزیع جمعیت و تراکم

تراکم ناخالص جمعیت (GPD) از حداقل ۰.۲۳ تا اوج ۱۹۷.۸۸ نفر در هر هکتار گسترده است و محیط‌های مسکونی متنوعی از مراکز شهری متراکم تا عرصه‌های گسترده حومه‌ای را به تصویر می‌کشد. علاوه بر این، تراکم خالص جمعیت (NPD) با حذف مناطق غیرمسکونی، این تنوع را برجسته می‌کند و محدوده‌ای از ۰.۴۳ تا ۱۲۸۶.۶۲ نفر در هر هکتار را آشکار می‌سازد.

حدود ۳۷ درصد از محله‌ها سطوح تراکم متوسطی را نشان می‌دهند، با ارقام GPD بین ۷۸.۵۹ تا ۱۱۴.۴ نفر در هر هکتار که نمادی از تعادل بین پرجنب‌وجوش شهری و آرامش حومه‌ای است. در مقابل، حدود ۳۱ درصد از محله‌ها تراکم پایین‌تر مشخصه گسترش حومه‌ای را نشان می‌دهند. نکته قابل توجه این است که بخش کوچکی از جمعیت، با میانگین ۲.۵۵ درصد، در مناطق کم تراکم با کمتر از ۴۰ نفر در هر هکتار ساکن هستند که نشان‌دهنده موارد پراکنده گسترش حومه‌ای است. در تضاد آشکار، اکثریت قابل توجهی با میانگین ۸۷.۲۱ درصد در مناطقی با بیش از ۱۰۰ نفر در هر هکتار ساکن هستند که تراکم شهری غالب در بخش‌های عمده‌ای از محله‌های ارومیه را برجسته می‌سازد.

۵-۱-۳. کاربری اراضی و الگوهای مسکونی

کاربری اراضی مسکونی در ارومیه دوگانگی ظریفی را ارائه می‌کند که از گستره‌های کم‌تراکم حومه‌ای تا تنگناهای شهری پرجمعیت را در بر می‌گیرد. تنوع در درصد کاربری اراضی مسکونی (PRLU) قابل توجه است و مقادیر آن از ۰.۳۸ درصد تا ۵۶۴.۷ درصد با میانگین ۱۴۶.۹۷ درصد گسترده است. این دامنه در کنار انحراف معیار قابل توجه ۱۲۸.۵۴ درصد، بافت شهری متنوعی را نشان می‌دهد که در آن توسعه مسکونی اندک در مناطق حومه‌ای و ساخت‌وسازهای گسترده در مناطق شهری در هم آمیخته شده‌اند. علاوه بر این، ابعاد قطعات مسکونی تنوع قابل توجهی را آشکار می‌سازد؛ متوسط اندازه پلاک های زمین مسکونی (ASRL) از ۹۲.۵۴ متر مربع تا ۲۳۵۴.۸۰ متر مربع گسترده است و میانگین آن ۲۶۰.۰۴ متر مربع است. این تنوع نشان می‌دهد که ترجیح غالب در بیش از ۹۱ درصد محله‌ها، مسکن با اندازه زمین مسکونی زیر ۳۲۶ متر مربع است، هرچند وجود مناطقی با قطعات بسیار بزرگ‌تر که نشانگر توسعه کم‌تراکم و سبک حومه‌ای است را نیز نشان می دهد.

۵-۱-۴. دسترسی و نزدیکی

تحلیل دسترسی در ارومیه، نزدیکی مناطق مسکونی به خدمات کلیدی و مرکز شهر را برجسته می‌سازد و الگوهای توسعه شهری را روشن می‌کند. به طور چشمگیری، میانگین ۹۶.۸۵ درصد از جمعیت در شعاع ۲۰۰ متری کاربری‌های تجاری زندگی می‌کنند که بیانگر دسترسی بالایی در حدود ۸۷ درصد از محله‌هاست و منظره شهری چندمنظوره را تقویت می‌کند که نیاز به رفت‌وآمدهای طولانی را کاهش می‌دهد.

همچنین، تسهیلات آموزشی به راحتی در دسترس قرار دارند و بیش از ۷۷ درصد از محله‌ها بیش از ۸۴ درصد از جمعیت خود را در شعاع ۵۰۰ متری مؤسسات آموزشی جای داده‌اند که امکان پیاده‌روی و دسترسی آسان به آموزش را تسهیل می‌کنند.

با این حال، تضاد قابل توجهی در خصوص نزدیکی به مرکز تجاری (CBD) مشاهده می‌شود؛ حدود ۸۹ درصد از محله‌ها جمعیت ناچیزی در شعاع یک کیلومتری از CBD دارند که نشان‌دهنده تمرکززدایی شهری آشکار است. این پراکندگی با یافته‌ای که نشان می‌دهد حدود ۴۴ درصد از محله‌ها بخش قابل توجهی از جمعیت، با میانگین ۵۲.۸۶ درصد، در فاصله بیش از ۳ کیلومتری از CBD ساکن هستند، تشدید می‌شود که حاکی از گسترش شهری گسترده و رشد غیرمتمرکز است. این سناریو چالش‌ها و راهبردهای بالقوه‌ای را که ارومیه ممکن است برای توسعه پایدار شهری در پیش گیرد، برجسته می‌سازد و بر کاهش گسترش و افزایش تمرکز برای کاهش انتشار کربن و غنی‌سازی زندگی شهری تأکید می‌کند.

۵-۱-۵. ریخت شناسی شهری و انتشار کربن

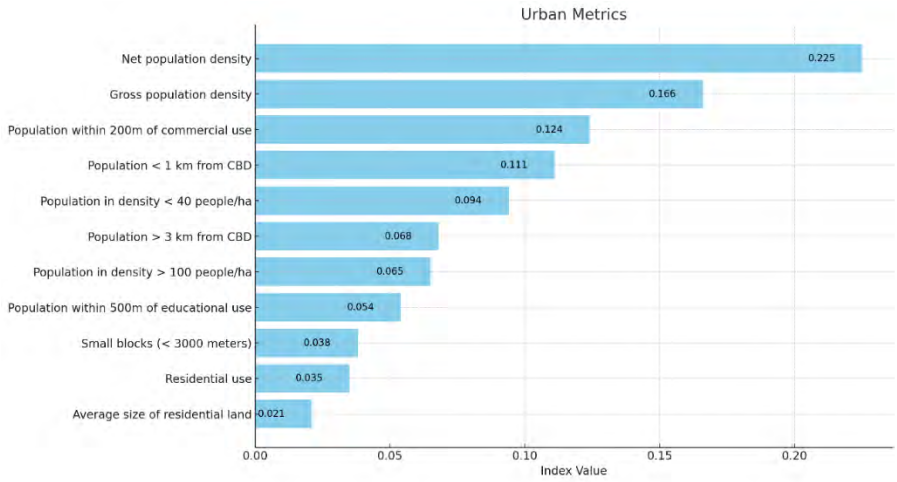
بررسی ریخت شناسی شهری ارومیه از طریق مطالعه بلوک‌های کوچک (کمتر از ۳۰۰۰ متر مربع)، شهری را با طرح‌ها و زیرساخت‌های متضاد آشکار می‌سازد. پوشش میانگین ۴۰.۰۶ درصدی چنین بلوک‌هایی، با انحراف معیار ۱۴.۸۳ درصد، نشان‌دهنده چشم‌اندازی از ساختار شهری متراکم و قلمروهای گسترده حومه‌ای است که بیانگر روح برنامه‌ریزی شهری متنوع ارومیه است.

تحلیل انتشار کربن، چالش زیست محیطی حادی را برجسته می‌سازد؛ شاخص محتوای کربن نوسان اندکی در انتشار را در سراسر شهر، از حداقل ۰.۰۳ تا حداکثر ۰.۰۴ با میانگین ۰.۰۳۵ نشان می‌دهد. این یکنواختی در سراسر محله‌ها، ماهیت فراگیر تولید گازهای گلخانه‌ای در ارومیه را برجسته می‌سازد و ضرورت راهبردهای جامع برای کاهش انتشار و ایجاد محیط شهری پایدار را آشکار می‌کند.

۶-۱-۵. تعیین اهمیت شاخص ها

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) امکان کمی سازی تجربی اهمیت نسبی شاخص های گوناگون گسترش شهری در ارتباط با تأثیر آنها بر انتشار کربن در محیط شهری ارومیه را فراهم کرد. نشان دادن ضریب ناسازگاری بسیار کم ۰.۰۳، پایداری مدل را برجسته می کند و اعتبار وزن های اخذ شده از طریق یک چارچوب ارزیابی سازگار را تأیید می کند. نکته قابل توجه این است که شاخص تراکم ناخالص جمعیت (GPD)، با وزن ۰.۲۵۱، به عنوان یک عامل بسیار مهم است. این برتری، تأثیر حیاتی آن بر راهبردهای برنامه ریزی شهری و پیامدهای زیست محیطی آن را برجسته می کند و این فرضیه را مطرح می کند که GPD بالا با وابستگی کمتر به وسایل نقلیه و افزایش کارایی حمل و نقل عمومی همراه است و بنابراین می تواند انتشار کربن را کاهش دهد. پس از آن، درصد کاربری اراضی مسکونی (PRLU) و تراکم خالص جمعیت (NPD)، با وزن های قابل توجه، به عنوان عوامل تعیین کننده اصلی ردپای کربن شهری شناسایی شدند که نقش کلیدی توزیع و تراکم جمعیت شهری را در ارزیابی های تأثیر زیست محیطی برجسته می کند.

مدل AHP طیفی از اهمیت را در معیارهای نزدیکی ترسیم کرد و اهمیت متوسطی را به نزدیکی به مرکز تجاری (CBD) و تسهیلات آموزشی نسبت داد. این تمایزگذاری، درک ظریفی از تأثیرات چندوجهی گسترش شهری بر انتشار کربن را برجسته می کند و بر نقش محوری پراکندگی مسکونی در پویایی های زیست محیطی شهری تأکید می کند. در مقابل، دسترسی نزدیک به امکانات تجاری و آموزشی گفته شد که تأثیر کمتری بر انتشار کربن کلی دارد که نشان دهنده تأثیر محلی بر محیط زیست است. با تلفیق این بینش ها، تحلیل AHP تغییر جهت راهبردی سیاست های توسعه شهری را به سمت ایجاد مناطق سکونتی با تراکم بالا ترویج می کند و در عین حال روابط پیچیده میان کاربری اراضی، دسترسی و انتشار کربن در چارچوب گسترش شهری را به رسمیت می شناسد.



شکل ۲. سطح بندی محلات با مدل Topsis

تراکم جمعیت خالص (NPD) بالا به عنوان ویژگی مثبت مطرح شد، با بالاترین شاخص مثبت ایده‌آل ۰.۰۲۸۲۷۸۰۳۷. این نشان می‌دهد تراکم جمعیت خالص بالاتر مطلوب است، شاید بیانگر استفاده بهینه از زمین و ارائه آسان‌تر خدمات عمومی. از طرف دیگر، شاخص متوسط اندازه زمین مسکونی شاخص منفی ایده‌آل پایین‌تری نسبت به شاخص مثبت ایده‌آل داشت. این تفاوت نشان می‌دهد کوچک‌تر بودن اندازه زمین‌های مسکونی ممکن است منجر به شرایط زندگی نامطلوب، مانند ازدحام بیش از حد شود. علاوه بر این، درصد جمعیت ساکن در مناطق با تراکم کمتر از ۴۰ نفر در هکتار شاخص مثبت ایده‌آل بالای ۰.۰۷۱۶۶۴۶۲۸ داشت. این می‌تواند به معنای آن باشد که مناطق با تراکم جمعیت پایین‌تر کیفیت زندگی بالاتری ارائه می‌دهند، شاید از طریق ازدحام کمتر و فضای شخصی بیشتر. از سوی دیگر، نزدیکی به مرکز کسب و کار اصلی شهر کمتر از حد انتظار بحرانی به نظر رسید. شاخص‌های مثبت و منفی ایده‌آل برای این شاخص‌ها هر دو صفر بودند. در مورد شاخص‌های نزدیکی به خدمات و زیرساخت‌ها، شاخص مثبت ایده‌آل برای درصد جمعیت در فاصله ۲۰۰ متری استفاده تجاری به طور قابل توجهی بالاتر از شاخص منفی ایده‌آل بود. این نشان می‌دهد داشتن خدمات تجاری در محدوده نزدیک برای ساکنان مفید است. مقدار ایده آل مثبت و منفی شاخص های شش گانه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول۱. مقدار ایده آل مثبت و منفی شاخص های شش گانه

	GPD	NPD	ASRL	PPLD<40PH	PPLD>100PH	PRLU
A+	0.013059	0.028278	0.015109	0.071665	0.008699	0.012099
A-	0.013059	0.028278	0.000594	0	0	8.1E-06
	PSB<3000M	PPW200MCLU	PPW500MELU	PPLT1KMCBD	PPMT3KMCBD	
A+	0.003698	0.01513	0.006593	0	0.01172	
A-	0.003698	0	0.006593	0	0.01172	

مناطقی با کمترین فاصله در شاخص راه حل ایده‌آل عبارتند از ۲۲۷، ۵۱۵ و ۵۱۲. با مقادیر راه حل ایده‌آل به ترتیب ۰.۰۳۰۵۱۰۳۴۳، ۰.۰۴۷۰۹۳۹۷۱ و ۰.۰۵۵۲۰۴۷۳۷ می باشد. احتمالاً این‌ها نواحی هستند که کمترین پراکنده رویی را دارند. در مقابل، مناطقی با بالاترین مقادیر در شاخص راه حل ایده‌آل عبارتند از ۴۲۱، ۴۲۲ و ۴۴۱ با امتیازاتی به ترتیب مانند ۰.۰۹۶۷۳۸۱۰۸، ۰.۰۹۲۷۳۱۷۷۱ و ۰.۰۸۳۸۴۸۶۴۹ می باشند. لذا می‌توان آن‌ها را به عنوان مناطقی با بالاترین میزان شاخص پراکنده رویی دانست. آنچه جالب است شاخص راه حل منفی ایده‌آل نیز هست. مناطقی مانند ۲۲۷، ۵۱۵ و ۵۱۲ مقادیر منفی ایده‌آل بالاتری دارند که نشان دهنده پراکنده رویی بیشتر در آن‌هاست. به عنوان مثال، منطقه ۲۲۷ شاخص راه حل منفی ایده‌آل بالای ۰.۰۷۷۲۶۱۴۰۴ دارد. در سوی دیگر طیف، شاخص‌های راه حل منفی ایده‌آل برای مناطقی مانند ۱۳۴، ۱۲۵ و ۱۲۴ بسیار پایین است. احتمالاً این مناطق در حال نزدیک شدن به پتانسیل بهینه‌سازی خود در بافت شهری

فعلی هستند. به عنوان مثال، منطقه ۱۳۴ مقدار پایین ۰.۰۱۶۹۷۹۰۱۹ را برای راه حل منفی ایده‌آل دارد که نشان‌دهنده احتمال محدودیت در پتانسیل بهبود بدون تغییرات اساسی در بافت شهری است. جدول (۲) فاصله با ایده آل مثبت و منفی را نشان می دهد.

جدول ۲. فاصله با ایده آل مثبت و منفی

نام معیار / محلات	فاصله با ایده آل مثبت	فاصله با ایده آل منفی	محلات	فاصله با ایده آل مثبت	فاصله با ایده آل منفی
134	0.070570585	0.016979019	315	0.074157979	0.023628384
125	0.074129201	0.022806498	311	0.07065345	0.025046668
124	0.073069004	0.018604178	513	0.087232068	0.051196853
132	0.073378873	0.02125922	442	0.072250377	0.025026199
133	0.073584906	0.024206326	433	0.072627458	0.021473507
126	0.073868836	0.020577165	313	0.073357475	0.018685664
123	0.070294352	0.019197717	323	0.096738108	0.067012984
524	0.065386454	0.02773899	421	0.074633895	0.023407251
525	0.076370572	0.030811375	312	0.075880168	0.025804019
131	0.072748331	0.017742861	432	0.075206387	0.0298277
523	0.07598946	0.024395773	434	0.083848649	0.045122511
122	0.074445861	0.022019229	441	0.064887146	0.028032465
127	0.074552629	0.021979579	223	0.070280748	0.019365546
522	0.056191107	0.0281975	321	0.074892463	0.022406912
113	0.074093329	0.02550295	233	0.07625895	0.025809229
121	0.074944878	0.024255598	211	0.073544505	0.019604279
317	0.072012692	0.01885246	322	0.068368855	0.027286998
112	0.074445419	0.025890426	216	0.070367922	0.025306514
521	0.067366433	0.023464004	232	0.07518665	0.029125938
111	0.074148197	0.021460299	222	0.074935417	0.025120323
515	0.047093971	0.04637447	224	0.074306725	0.024608178
100	0.082090627	0.036918213	212	0.072954554	0.022686918
316	0.076145677	0.030114954	213	0.078431465	0.03227121
414	0.078280184	0.035731182	214	0.073968597	0.024765128
511	0.056231719	0.0340565	234	0.073729861	0.019493012
324	0.071776115	0.017729053	235	0.077476035	0.02983407
411	0.073994698	0.021003148	215	0.074614315	0.024162789
514	0.072987353	0.024987252	331	0.07711136	0.029291246
412	0.075123789	0.026608751	221	0.071024928	0.023127096
413	0.077729681	0.03122055	225	0.127235921	0.107912584
512	0.055204737	0.036398093	231	0.069560886	0.024889865
314	0.074436789	0.025078399	332	0.030510343	0.077261404
431	0.075356283	0.023667067	227	0.065509313	0.028939785
422	0.092731771	0.068251602	226	0.066243927	0.021421967
134	0.074143167	0.022180048	135	0.071109379	0.0195109

cl_i^+ مقداری بین یک و صفر خواهد داشت. هرچه گزینه ها به راه حل ایده آل نزدیک تر باشند این مقدار به یک نزدیک تر است.

با شروع از شاخصCLi ، منطقه ۲۲۷ با امتیاز بسیار بالای ۰.۷۱۶۸۹۸۵۰۴ مشخص می‌شود که این منطقه را می‌توان به عنوان کمترین مقدار پراکنده رویی بر اساس پارامترهای این شاخص در نظر گرفت. پس از آن منطقه ۵۱۵ با امتیاز ۰.۴۹۶۱۵۱۱۰۳ و منطقه ۲۳۱ با ۰.۴۵۸۹۱۲۴۸۱ قرار دارند. در سوی دیگر، مناطقی مانند ۱۳۴، ۱۲۵ و ۱۲۴ ارزش‌های پایین‌تری برای شاخص CLi به ترتیب ۰.۱۹۳۹۳۵۹۸۸، ۰.۲۳۵۲۷۴۴۹۷ و ۰.۲۰۲۹۴۰۲۴۶ دارند. این مناطق ممکن است نیاز به توجه بیشتر برای بهبود شرایط زندگی و خدمات داشته باشند. رتبه‌بندی

پراکندگی فضایی نشان می‌دهد منطقه ۲۲۷ دوباره صدرنشین فهرست است با رتبه ۱ که وضعیت بهینه آن را در منظر شهری تأیید می‌کند. منطقه ۵۱۵ با رتبه ۲ و منطقه ۲۳۱ با رتبه ۳ دنبال می‌کنند.

جالب است که رتبه مناطقی مانند ۱۳۴، ۱۲۵ و ۱۲۴ به ترتیب ۷۰، ۵۰ و ۶۷ است که نیاز به اقدامات بهبود شهری در این مناطق را بیشتر مشخص می‌کند. این رتبه‌های پایین نشان‌دهنده بیشترین شاخص پراکنده رویی هستند. در نهایت، این داده‌ها نشان می‌دهد در حالی که مناطقی مثل ۲۲۷، ۵۱۵ و ۲۳۱ می‌توانند به عنوان نمونه‌های موفق برنامه‌ریزی شهری در نظر گرفته شوند، مناطق دیگری مانند ۱۳۴، ۱۲۵ و ۱۲۴ ممکن است نیاز به بهبودهای قابل توجهی داشته باشند. همچنین ضروری است برای درک علت این شاخص‌ها، مراجعه به سایر انواع داده‌های جمعیت‌شناختی و فضایی برای درک جامع‌تر و استراتژی‌های برنامه‌ریزی شهری مؤثرتر صورت گیرد. جدول (۳) رتبه بندی پراکنده رویی محلات را نشان می دهد.

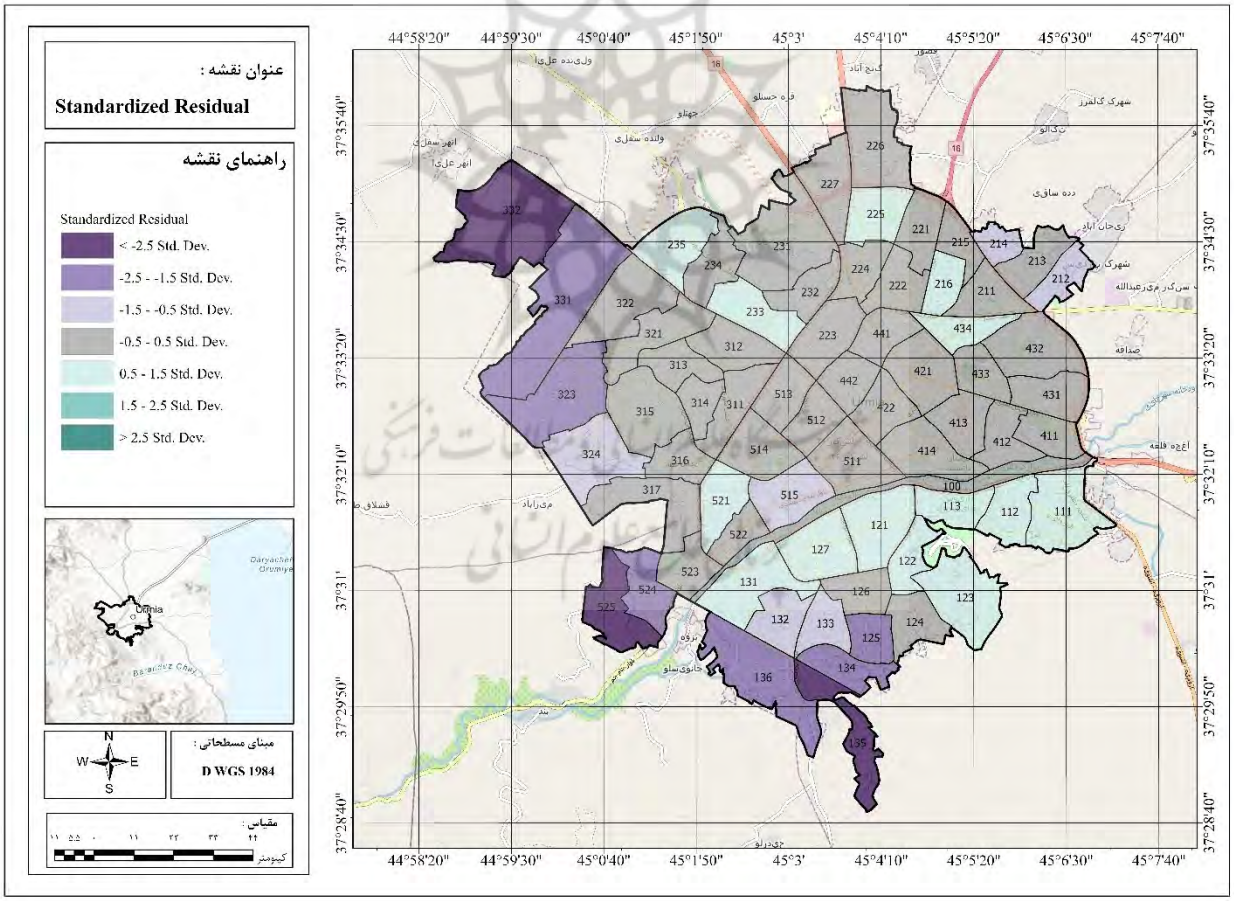
جدول ۳. رتبه بندی پراکنده رویی محلات

نام معیار / محلات	مقدار CLI	رتبه	محلات	مقدار CLI	رتبه
134	0.193935988	70	315	0.230266896	52
125	0.235274497	50	311	0.241632711	46
124	0.202940246	67	513	0.261720347	27
132	0.224637029	56	442	0.369842171	8
133	0.247530636	40	433	0.257268501	31
126	0.217872276	59	313	0.228196458	54
123	0.214518641	62	323	0.203009854	66
524	0.297866928	15	421	0.409236868	5
525	0.287467954	17	312	0.238749263	48
131	0.196072792	69	432	0.253766293	34
523	0.243021533	45	434	0.283981141	20
122	0.228261117	53	441	0.349865128	9
127	0.227691661	55	223	0.301685132	14
522	0.334138707	10	321	0.216021716	60
113	0.256063281	32	233	0.230288347	51
121	0.244510903	43	211	0.252862638	35
317	0.207477343	65	322	0.210461992	63
112	0.258037653	30	216	0.285262187	19
521	0.258327547	29	232	0.264506536	25
111	0.22446017	57	222	0.279217861	22
515	0.496151103	2	224	0.251063288	37
100	0.310214041	12	212	0.248781298	39
316	0.283406506	21	213	0.237207958	49
414	0.313400173	11	214	0.29151247	16
511	0.377197604	7	234	0.250827441	38
324	0.198078538	68	235	0.209101171	64
411	0.221090785	58	215	0.278017337	23
514	0.255038051	33	331	0.244619329	42
412	0.261555945	28	221	0.275286919	24
413	0.286557906	18	225	0.245635679	41
512	0.39734682	6	231	0.458912481	3
314	0.252005743	36	332	0.263522149	26
431	0.239004908	47	227	0.716898504	1
422	0.423966776	4	226	0.306406156	13

نام معیار / محلات	مقدار CLI	رتبه	محلات	مقدار CLI	رتبه
134	0.193935988	70	135	0.244359194	44

۷-۱-۵. مدلسازی با MGWR

به کارگیری مدل رگرسیون جغرافیایی وزن دار مقایس شده (MGWR) امکان بررسی محلی روابط متقابل میان گسترش شهری و روندهای انتشار کربن در میان محله های مختلف ارومیه را فراهم کرد. انحراف معیار باقیمانده های مدل، که کمی زیر صفر در ۰.۹۶ قرار دارد، به پراکندگی متوسطی از داده های کربن در اطراف میانگین پیش بینی شده اشاره می کند و به طور ضمنی نشان دهنده سوگیری اندکی در برآورد بیش از حد مقادیر کربن توسط مدل است، همانطور که میانگین باقیمانده استاندارد شده –۰.۱۵ نشان می دهد. دامنه گسترده بین حدهای باقیمانده ها، که با حداقل –۳.۸۳ و حداکثر ۱.۰۰ برجسته شده است، بر انحرافات قابل توجه در مناطق خاص اشاره دارد که احتمالاً به دلیل داده های پرت یا عوامل نادیده گرفته شده در چارچوب مدل است. با وجود این تنوع ها، مدل MGWR یک برآورد نسبتاً دقیق از مقادیر کربن در زمینه گسترش شهری ارائه می دهد، اگرچه راههایی برای تکمیل و افزایش دقت را پیشنهاد می کند، همانطور که در شکل (۳) نمایش داده شده است که باقیمانده های استاندارد شده را نشان می دهد.

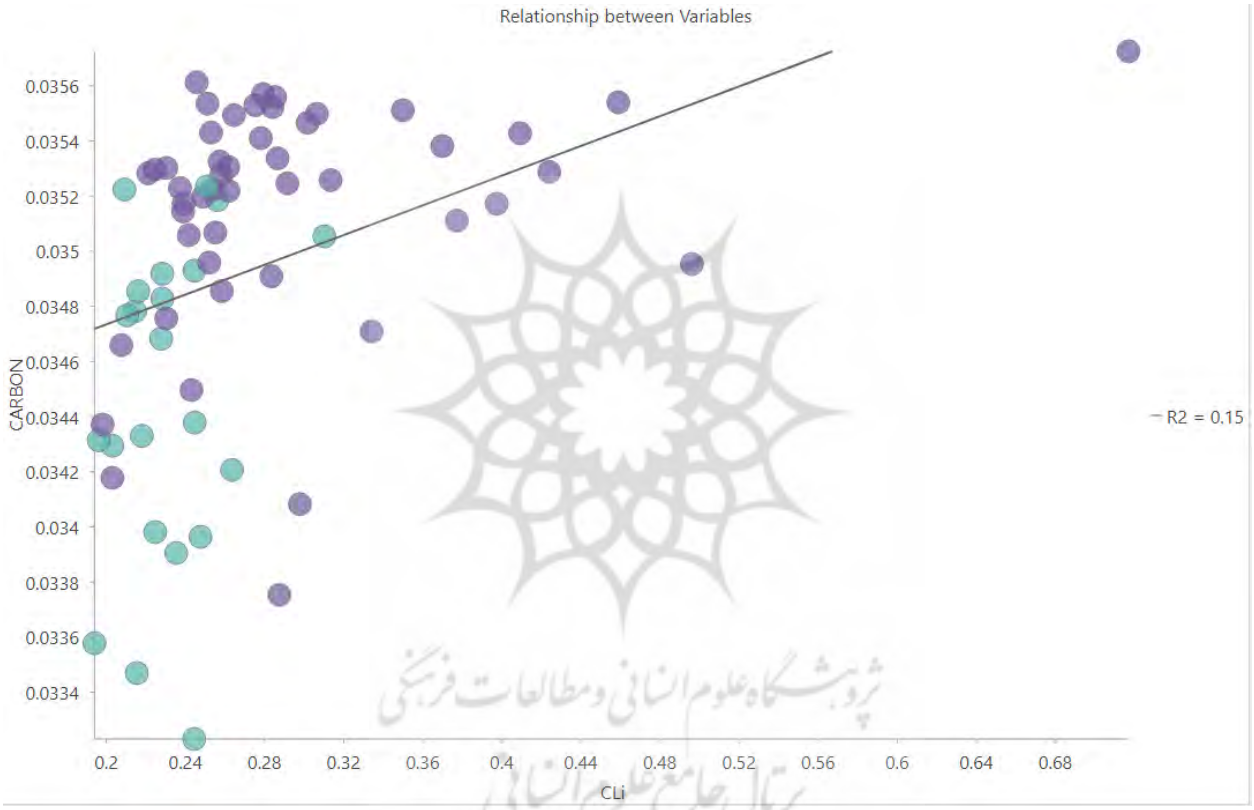


شکل ۳. باقیمانده استاندراد

معادله (۸)، y = -34.39275 + 979.048 x، در کنار مقدار R^2 برابر با ۰.۱۸۸۶۰۲، روند خطی مثبت بین مقادیر کربن پیش بینی شده توسط مدل و باقیمانده های استاندارد شده را روشن می کند و نشان می دهد که باقیمانده ها همگام با افزایش مقادیر پیش بینی شده، افزایش

می یابند. با این حال، مقدار نسبتاً کم R^2 حاکی از آن است که این مدل تنها حدود ۱۸.۹ درصد از تغییرپذیری در باقیمانده ها را در بر می گیرد و نشان می دهد که عوامل تأثیرگذار دیگری فراتر از حوزه فعلی مدل وجود دارد که بدین ترتیب بر وفاداری مدل به داده های تجربی سایه می اندازد. شیب برجسته ۹۷۹.۰۴۸ معمولاً نشان دهنده همبستگی مثبت قوی است، با این حال مقدار کم R^2 تفسیر محتاطانه ای را ایجاب می کند و حاکی از تحریف احتمالی توسط داده های پرت یا نابهنجاری های داده است.

مقدار عرض از مبدأ −۳۴.۳۹۲۷۵، که باقیمانده استاندارد شده را در یک مقدار پیش بینی صفر مشخص می کند، ممکن است بدون درک جامع از ماهیت متغیرهای پیش بینی کننده، ارزش تفسیری چندانی نداشته باشد. این تفسیر محتاطانه از مقادیر به صورت گرافیکی در شکل (۴) نمایش داده شده است که کنش متقابل بین پیش بینی های مدل و باقیمانده های استاندارد شده را ترسیم می کند. این شاخص ها به طور یکپارچه محدودیت های مدل در ثبت تغییرپذیری کامل سطوح کربن را برجسته می کنند و لزوم ادغام عوامل اضافی را برای ارائه تصویری واقع بینانه تر از تأثیرات زیست محیطی گسترش شهری پیشنهاد می کنند.

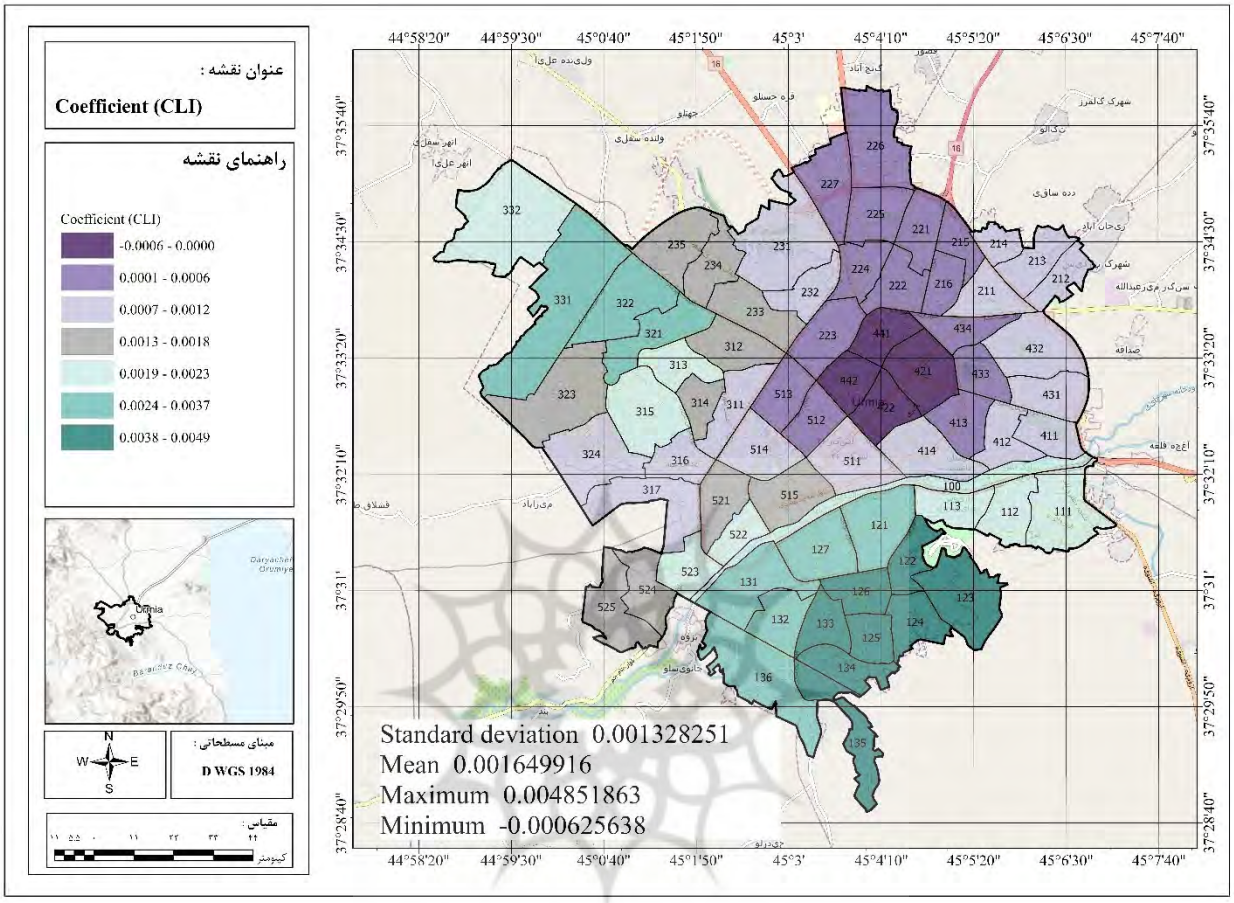


شکل ۴. پیش بینی و باقیمانده استاندارد

در مدلی که تأثیر گسترش شهری بر انتشار کربن را بررسی می‌کند، ضرایب نقش محوری دارند و قدرت و جهت رابطه بین گسترش شهری که با شاخص پراکندگی بالا نشان داده می‌شود، و سطوح کربن در محله‌ها را نشان می‌دهند. انحراف معیار ضریب، ۰.۰۰۱۳۲۸۲۵۱، معیاری از پراکندگی ارائه می‌کند و پراکندگی متوسط مقادیر گسترش شهری را در اطراف میانگین نشان می‌دهد. این انحراف معیار نشان می‌دهد که تأثیر گسترش شهری بر انتشار کربن، اگرچه یکنواخت نیست، اما پراکندگی شدید ندارد و به نسبت تأثیر ثابتی از الگوهای گسترش شهری بر سطوح کربن در محله‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

مقدار میانگین ضریب، ۰.۰۰۱۶۴۹۹۱۶، اثر متوسط مثبت را نشان می‌دهد، که به طور کلی نشان می‌دهد مناطقی با گسترش شهری بیشتر، انتشار کربن بالاتری دارند. این یافته با همبستگی مثبت شناخته شده بین افزایش گسترش شهری و افزایش سطوح کربن همخوانی دارد. دامنه مقادیر ضریب، از حداقل منفی جزئی −۰.۰۰۰۶۲۵۶۳۸ تا حداکثر مثبت قابل توجه ۰.۰۰۴۸۵۱۸۶۳، تأثیرات متنوع گسترش شهری در محله‌های مختلف را نشان می‌دهد: برخی مناطق با گسترش بیشتر، افزایش قابل توجهی در انتشار کربن را تجربه می‌کنند، در حالی که در

برخی دیگر، این تأثیر ناچیز یا حتی کمی معکوس است. این تنوع، پیچیدگی پویایی‌های شهری را برجسته می‌کند، جایی که میزان تأثیر گسترش شهری بر انتشار کربن می‌تواند به شدت متفاوت باشد و نیازمند رویکردی ظریف به برنامه‌ریزی شهری و سیاست‌های زیست‌محیطی است.

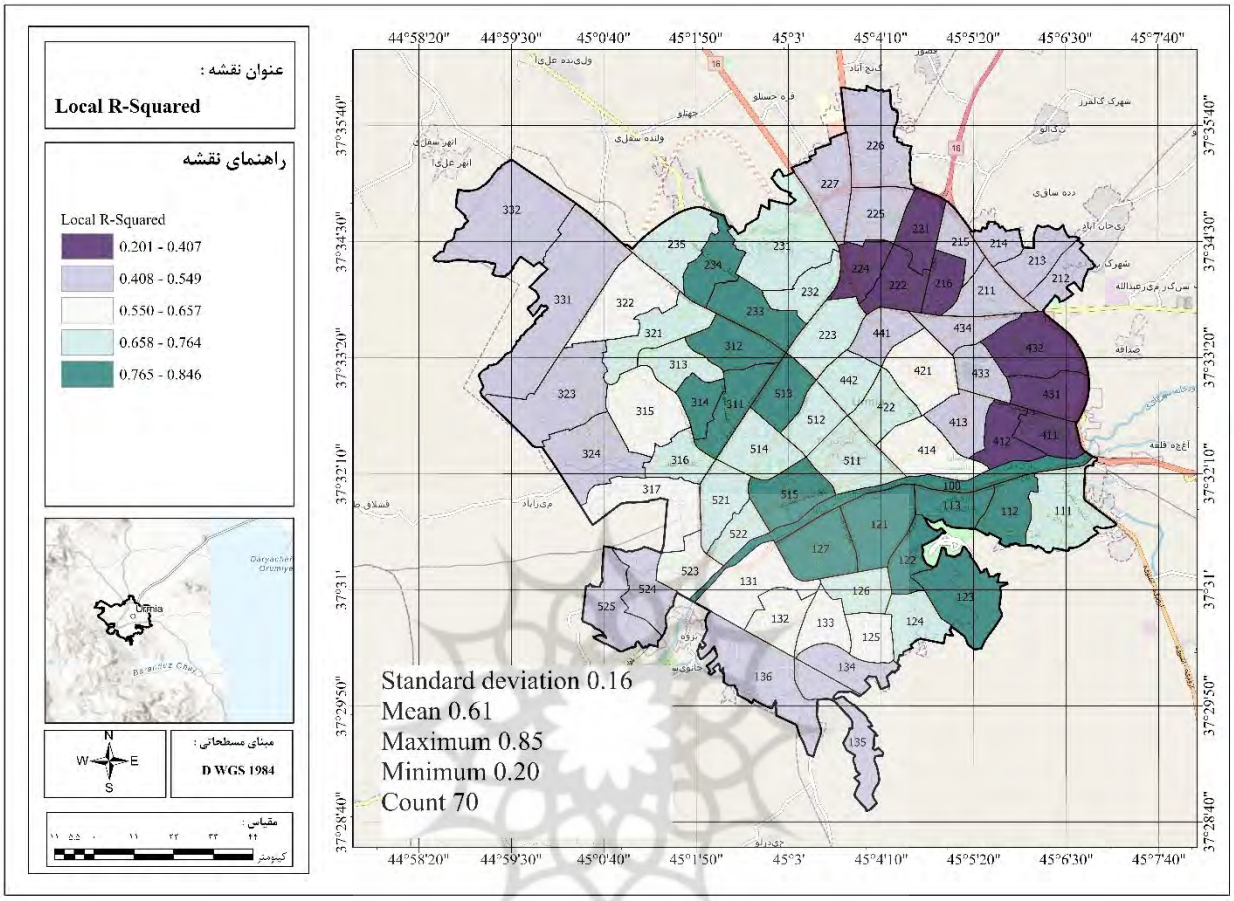


شکل ۵. ضریب(coefficient)

در تحلیل تأثیر گسترش شهری بر شاخص های شهر کم کربن در شهر ارومیه، مقادیر R-Squared محلی از مدل MGWR بینش ارزشمندی در مورد میزان برازش مدل در محله های مختلف ارائه می دهد. معیار R-Squared محلی، سهم واریانس در متغیر وابسته (مقادیر کربن) را که می تواند توسط متغیر مستقل (گسترش شهری یا شاخص پراکندگی) در یک محله خاص پیش بینی شود، کمی می کند. خروجی های آماری نشان دهنده پراکندگی متوسط در عملکرد مدل است، با انحراف معیار ۰.۱۶ در مقادیر R-Squared محلی، که نشان می دهد توانایی پیش بینی مدل در محله های مختلف متفاوت است. علاوه بر این، مقدار میانگین R-Squared محلی ۰.۶۱ نشان می دهد که به طور متوسط، حدود ۶۱ درصد از تغییرپذیری در مقادیر کربن می تواند با شاخص پراکندگی توضیح داده شود، که گسترش شهری را به عنوان یک پیش بینی کننده مهم برای انتشار کربن برجسته می کند.

با این حال، دامنه مقادیر R-Squared محلی، از حداقل ۰.۲۰ تا حداکثر ۰.۸۵، ماهیت ناهمگون رابطه بین گسترش شهری و سطوح کربن را در مناطق مختلف برجسته می کند. در برخی محله ها، مدل کارایی چشمگیری دارد، به طوری که تا ۸۵ درصد از واریانس در مقادیر کربن قابل انتساب به الگوهای گسترش شهری است. در مقابل، حتی در نامساعدترین شرایط، گسترش شهری حداقل ۲۰ درصد از واریانس در مقادیر کربن را در تمام محله های مشاهده شده تحت تأثیر قرار می دهد که نشان دهنده تأثیر پایدار آن بر انتشار کربن است. این یافته ها پیچیدگی پویایی های شهری و نیاز به رویکردی ظریف در برنامه ریزی شهری و سیاست گذاری زیست محیطی را برجسته می کند. مناطقی

با مقادیر R-Squared محلی بالا می توانند به عنوان مطالعات موردی ارزشمندی برای درک شرایط خاصی که در آن گسترش شهری بیشترین تأثیر را بر سطوح کربن دارد، مورد استفاده قرار گیرند، در حالی که مناطق با مقادیر R-Squared محلی پایین تر می توانند بینشی در مورد سایر عوامل مؤثر که نیازمند بررسی بیشتری هستند، ارائه دهند.

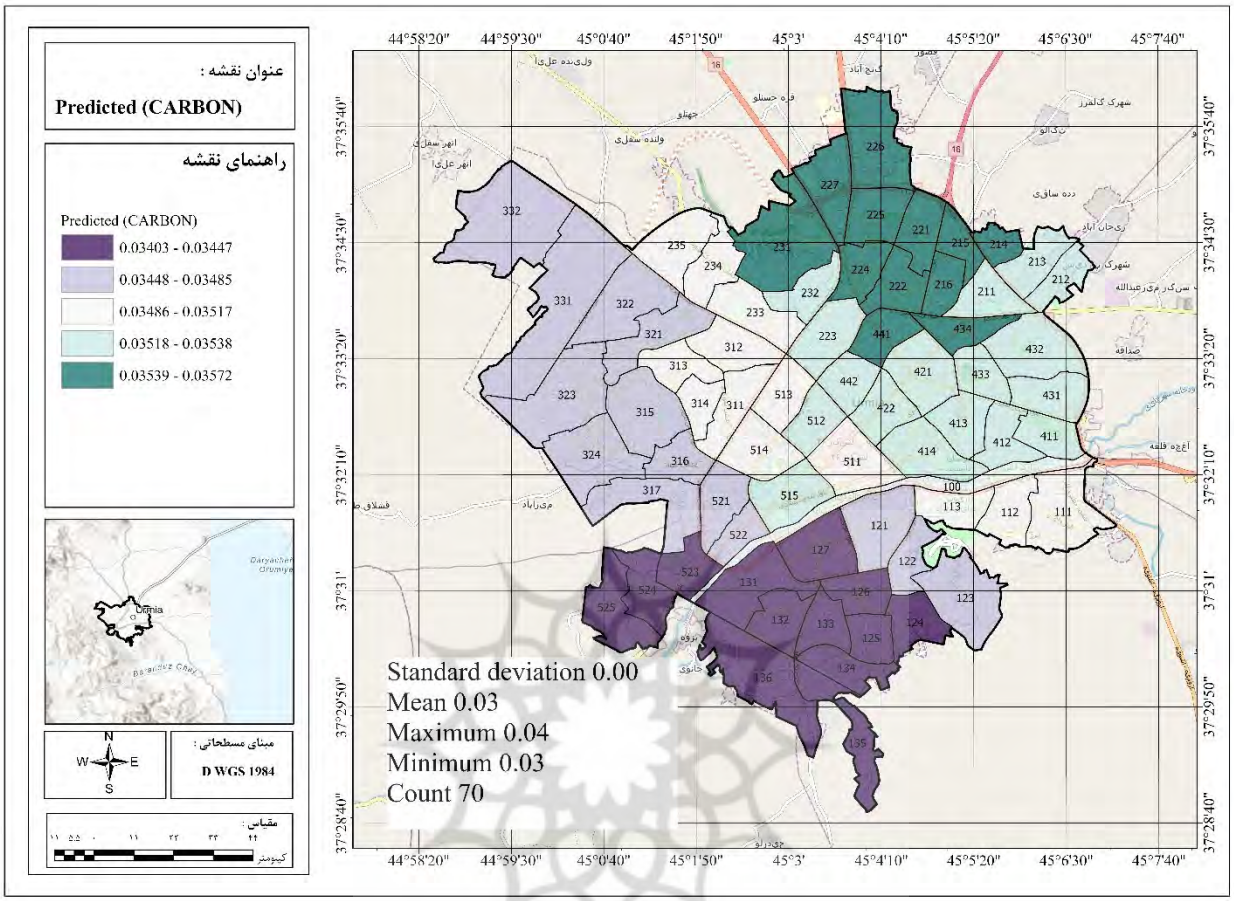


شکل ۶. R-Squared محلی

در تحلیل تأثیر گسترش شهری بر شاخص‌های شهر کم‌کربن در شهر ارومیه، مقادیر "پیش‌بینی شده کربن" به‌دست‌آمده از مدل MGWR بینش‌هایی در مورد نحوه پیش‌بینی مدل از مقادیر کربن بر اساس رابطه بین مقادیر کربن (متغیر وابسته) و شاخص پراکندگی بالا (گسترش شهری به عنوان متغیر مستقل) در محله‌های مختلف ارائه می‌دهد. خروجی‌های آماری نشان‌دهنده عدم وجود تغییرپذیری در مقادیر پیش‌بینی شده کربن است، با انحراف معیار ۰.۰۰ در همه ۷۰ محله، که نشان می‌دهد مدل نمی‌تواند تغییرات قابل‌توجهی را در مقادیر کربن در رابطه با الگوهای گسترش شهری ثبت کند. علاوه بر این، مقدار حداکثر پیش‌بینی‌شده کربن ۰.۰۴ و میانگین مقدار پیش‌بینی‌شده ۰.۰۳ در همه محله‌ها نشان می‌دهد که مقادیر پیش‌بینی شده به طور کلی پایین هستند، احتمالاً بازتاب‌دهنده سطوح کربن کلی پایین یا وجود یک ضریب مقیاس در مدل است.

حداقل مقدار پیش‌بینی‌شده کربن، با عبارت "حداقل ۰.۰۳"، تا حدودی مبهم است، اما نشان می‌دهد که کمترین مقدار پیش‌بینی‌شده به میزان قابل‌توجهی کمتر از میانگین یا حداکثر نیست. این مشاهده را تقویت می‌کند که مدل دامنه باریکی از مقادیر کربن را در همه محله‌ها پیش‌بینی می‌کند. در مجموع، آمار مربوط به مقادیر پیش‌بینی‌شده کربن دامنه بسیار باریکی را نشان می‌دهد، که بر اساس این مدل خاص، مقادیر کربن و گسترش شهری تأثیر قابل‌توجهی بر سطوح کربن در محله‌های مختلف شهر ارومیه ندارند. انحراف معیار پایین و دامنه باریک بین حداقل و حداکثر، نگرانی‌هایی را در مورد توانایی مدل در ثبت پیچیدگی کامل رابطه بین گسترش شهری و سطوح کربن ایجاد می‌کند. این یافته‌ها ممکن است نشان‌دهنده نیاز به ادغام متغیرهای دیگر در مدل یا ارزیابی مجدد پارامترهای مدل فعلی برای افزایش قدرت پیش‌بینی آن و

بازتاب بهتر پویایی‌های پیچیده بین شکل شهری و انتشار کربن باشد. شکل (۷) مقادیر پیش‌بینی‌شده کربن را نشان می‌دهد و نمایش بصری از دامنه باریک پیش‌بینی‌شده توسط مدل را ارائه می‌کند.



شکل ۷. کربن پیش بینی شده

۶. بحث

بحث در مورد تأثیر گسترش شهری بر شاخص های شهر کم کربن در شهر ارومیه، یافته های حاصل از تحلیل جامع شامل تحلیل توصیفی، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مدل تکنیک ترجیح سفارش بر اساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) و رگرسیون جغرافیایی وزنی چندمقیاسه (MGWR) را یکپارچه می کند. تحلیل توصیفی، طیف گسترده ای از تراکم جمعیت و الگوهای کاربری اراضی را آشکار کرد که تضاد آشکار میان مراکز شهری متراکم و مناطق حومه ای گسترده را برجسته می سازد. یک مشاهده کلیدی از این تحلیل، تنوع قابل توجه در تراکم جمعیت بود، به طوری که اکثریت قریب به اتفاق محله های ارومیه شرایط زندگی پرتراکم را به نمایش می گذاردند. این یافته، پیچیدگی توسعه شهری در ارومیه را برجسته می کند، مناطق پرجمعیت را در کنار گسترش حومه ای قرار می دهد. تنوع در کاربری مسکونی اراضی و نزدیکی محله ها به خدمات ضروری، چالش ها و فرصت ها را در پیشبرد توسعه پایدار شهری، به ویژه در کاهش انتشار کربن و ارتقای کیفیت زندگی شهری، بیشتر برجسته می سازد.

کمی سازی تجربی شاخص های گسترش شهری توسط مدل AHP به همراه بینش های حاصل از مدل TOPSIS، درک نکته ای از عوامل مؤثر بر انتشار کربن را فراهم می کند. اولویت بندی تراکم خالص جمعیت (NPD) و تراکم ناخالص جمعیت (GPD) به عنوان عوامل تعیین کننده مهم ردپای کربن شهری، به نقش کلیدی راهبردهای برنامه ریزی شهری در کاهش تأثیرات زیست محیطی اشاره دارد. تحلیل AHP نشان دهنده یک تغییر راهبردی به سمت مناطق مسکونی پرتراکم است و از سیاست های توسعه شهری حمایت می کند که تقاضای

گسترش شهری را با پایداری زیست محیطی سازگار می سازد. مدل TOPSIS این تحلیل را با شناسایی محله هایی با درجات متفاوت از گسترش، تکمیل می کند و بنابراین چشم انداز ریزی را برای توزیع فضایی گسترش شهری و تبعات آن بر روندهای انتشار کربن ارائه می دهد.

کاربرد مدل MGWR، بررسی عمیق رابطه فضایی میان گسترش شهری و انتشار کربن در میان محله های ارومیه را ممکن ساخت. یافته های این مدل، به ویژه پراکندگی متوسط داده های کربن و قدرت پیش بینی شاخص گسترش، ناهمگونی فضایی ذاتی در فرآیندهای زیست محیطی شهری را برجسته می سازد. با وجود محدودیت های مدل در ثبت تمام متغیرهای سطوح کربن، بینش های به دست آمده تأثیر پایدار گسترش شهری بر انتشار کربن را خاطرنشان می سازد. این تحلیل، لزوم ادغام متغیرهای بیشتر در مدل برای افزایش دقت پیش بینی آن و نیاز گسترده تر به رویکرد ظریف برای برنامه ریزی شهری و سیاستگذاری زیست محیطی را نشان می دهد. بحث در مورد این یافته ها، مطالعه را در چارچوب گفتمان گسترده تر توسعه پایدار شهری قرار می دهد و بر تعامل حیاتی میان شکل شهری، گسترش و پیامدهای زیست محیطی تأکید می کند.

۷. نتیجه گیری

مطالعه جامع گسترش شهری در شهر ارومیه، بینش های حیاتی را درباره پویایی های فضایی و تبعات زیست محیطی گسترش شهری روشن ساخته است. این نتیجه گیری، یافته های کلیدی را ترکیب می کند و به تعامل پیچیده میان شکل شهری، تراکم جمعیت، الگوهای کاربری اراضی و تأثیر مجموعی آنها بر انتشار کربن اشاره می کند.

تحلیل توصیفی، تنوع قابل توجهی را در توزیع جمعیت و کاربری مسکونی در سراسر ارومیه آشکار کرد که حکایت از یک منظر شهری پیچیده با مراکز متراکم و حومه های گسترده دارد. شواهد نشان می دهد که مناطق با تراکم خالص و ناخالص جمعیت NPD) و (GPD بالاتر، نشان دهنده شکل شهری پایدارتر است که می تواند با کاهش وابستگی به حمل و نقل خودرویی، انتشار کربن را کاهش دهد. در مقابل، شاخص گسترش که از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تکنیک ترجیح سفارش توسط شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) اخذ شده است، مناطق گسترده پراکنده را شناسایی کرد که نگرانی های مربوط به رشد غیرمتمرکز و پیامدهای زیست محیطی آن را برجسته می کند. این ناهمگونی فضایی، لزوم برنامه ریزی شهری راهبردی را که بر تراکم و دسترسی تأکید می کند، برای مهار انتشار کربن و تسهیل توسعه پایدار، خاطرنشان می سازد.

به کارگیری مدل رگرسیون جغرافیایی وزنی چندمقیاسه(MGWR) ، دریچه نوینی را برای بررسی رابطه میان گسترش شهری و انتشار کربن ارائه کرده است. با وجود چالش در ثبت تمام متغیرهای سطح کربن، یافته های مدل، تأثیر قابل توجهی از الگوهای گسترش بر ردپای کربن شهری را نشان می دهد؛ هرچند با تنوع قابل توجهی در میان محله ها. این تنوع نه تنها نقش شکل شهری در پایداری زیست محیطی را برجسته می کند، بلکه به ضرورت راهکارهای محلی در برنامه ریزی و سیاست گذاری شهری اشاره می کند.

در نتیجه، این مطالعه پیوندهای پیچیده میان گسترش شهری، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و پایداری زیست محیطی در شهر ارومیه را تأیید می کند. یافته ها، تلاش هماهنگ برای توسعه شهری با تراکم بالا، برنامه ریزی یکپارچه کاربری اراضی و دسترسی بهبودیافته به خدمات و امکانات را به عنوان راهبردهای کلیدی برای دستیابی به رشد شهری کم کربن، حمایت می کند. با به رسمیت شناختن محدودیت ها و سوگیری های بالقوه در مدل های استفاده شده، این پژوهش، ضرورت تحقیقات بیشتر در زمینه تعامل پویای شکل شهری و پیامدهای زیست محیطی را خاطرنشان می سازد. مطالعات آینده باید به دنبال ادغام طیف گسترده تری از متغیرها و به کارگیری رویکردهای متنوع روش شناختی باشند تا درک عمیق تری از تأثیرات چندوجهی گسترش شهری به دست آید و راه را برای محیط های شهری با تاب آوری و پایداری بیشتر هموار سازد.

۸. منابع

۱. آذر، عادل؛ رجب زاده، علی(۱۳۸۱)، **تصمیم گیری کاربردی**، چاپ اول، انتشاراتنگاه دانو، تهران.

۲. آروین، محمود و احمد پوراحمد و سعید زنگنه شهرکی. ۱۳۹۶.**ارزیابی زمین‌های بایر به منظور توسعه میان افزا با استفاده از تک‌نیک‌های تصمیم‌گیری تلفیقی**، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۷، شماره ۲۶، دانشگاه گلستان

۳. افتخاری الهام، گنجعلی جعفر.(۱۴۰۰). **سنجش توسعه کالبدی سکونتگاه های روستایی استان اصفهان با بهره گیری از مدل AHP وTOPSIS**، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. شماره سی ونه، ۲۷-۴۰

۴. حاتمی نژاد حسین، پوراحمد احمد، منصوریان حسین، رجایی عباس، 1392 ، **تحلیل مکانی شاخص های کیفییت زندگی در شهر تهران**، پژوهش های جغرافیای انسانی، دورهٔ 45 ، شمارهٔ 4 ،56 - 29 .

۵. علی اکبری، اسماعیل و اکبری، مجید، ۱۳۹۵. **مدل ساختاری تفسیری عوامل موثر بر زیست پذیری کلان شهر تهران**، برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۱، ۱، ۱-۳۰.

۶. قدسی پور، سید حسن. (۱۳۸۱)، **مباحثی در تصمیم گیری چند معیاری**، چاپ سوم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۷. گیوه چی، سعید و رضا قنواتی، ۱۳۹۳. **تحلیل الگوی گسترش کالبدی شهر اهواز با استفاده از مدل آنتروپی شانون**، کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار، تهران موسسه ایرانیان، انجمن معماری ایران، ۱-۱۷.

۸. نامور حقیقی شیرازی فرد فهیمه ، حاجی پور خلیل ، شبانی امیرحسین ، محمدی محمود. (۱۳۹۸). **بررسی تطبیقی الگوهای مدیریت رشد شهری در کلان شهرشیراز**. فصلنامه علمی پژوهش و برنامه ریزی شهری. ۳۹. ۹۰-۱۰۲.

نصیری، علی. (۱۳۹۵). **ارزیابی آسیب پذیری شهر ارومیه در برابر زلزله با استفاده از روشAHP پارامترهای در محیطGIS**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال شانزدهم. شماره۴۰.۹۰-۱۱۳.

۹. نیک پور، عامر، لطفی، صدیقه، رضازاده، مرتضی. ۱۳۹۶. **تحلیل رابطه میان فرم شهر و شاخص دسترسی مورد مطالعه: شهربابلسر**، فصلنامه برنامه ریزی فضایی، دانشگاه اصفهان، ۳، ۸۵-۱۰۶.

۱۰. هوشمند شریفی، تکتم. ۱۳۹۵. **تحلیل تاثیرات گسترش افقی شهر بر روی اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: شهر نیشابور)**. دانشگاه حکیم سبزواری، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری.

۱۱. یاری قلی، وحید، احدنژاد روشتی، سجادی، محسن، ۱۳۹۸. بررسی جایگاه مفهوم زیست پذیری شهری در طرح های توسعه شهری (نمونه مطالعاتی: طرح جامع شهر زنجان)، فصلنامه جغرافیا، ۵۹، ۹۳-۱۰۶.

12. Anselin, L., 1988, Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
13. Cao, H., Liu, J., Fu, C., Zhang, W., Wang, G., Yang, G., Luo, L. (2017). Urban expansion and its impact on the land use pattern in Xishuangbanna since the reform and opening up of China. Remote Sensing, 9(2), 137.
14. Cardozo, O.D., García-Palomares, J.C., & Gutiérrez, J., 2012, Application of geographically weighted regression to the direct forecasting of transit ridership at station-l evel, Applied Geography, Vol. 34, pp. 548-558.
15. Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. E., 2002, Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships, Chichester: Wiley.
16. Khodakarmili L, Pourmanafis S, Mokhtari Z, Sofianian AR, Lotfi A. (2023). Urban sustainability assessment at the neighborhood scale: Integrating spatial modellings and multi-criteria decision making approaches. Sustainable Cities and Society. Volume 97.
17. Lloyd, C. D., (2010), Local models for spatial analysis, Boca Raton: Taylor & Francis.
18. Mennis, J., 2006, Mapping the results of geographically weighted regression, The Cartographic Journal,Vol.43, No.2, pp. 171-179.
19. Páez, A., 2006, Exploring contextual variations in land use and transport analysis using a probit model with geographical weights, Journal of Transport Geography, Vol. 14, No.3, pp. 167-176.
20. Prakasa, D. T., Soemardiono, B., & Defiana, I. (2018). Theoretical Review Effect and Solution of Urban Sprawl J. Eng. Sci, 7, 47-58.
21. Qian, Y., Wu, Z. (2019). Study on urban expansion using the spatial and temporal dynamic changes in the impervious surface in Nanjing, Sustainability, 11(3), 933.
22. Terfa, B. K., Chen, N., Liu, D., Zhang, X., Niyogi, D. (2019). Urban expansion in Ethiopia from 1987 to 2017: characteristics, spatial patterns, and driving forces. Sustainability, 11(10), 2973.
23. Ying Li, Liyun Wu, Quan Han, Xin Wang, Tongqian Zou, Cheng Fan. (2021). Estimation of remote sensing based ecological index along the Grand Canal based on PCA-AHP-TOPSIS methodology. Ecological Indicators. 1-13

24. Yingzi Lin, Chong Peng, Jianfeng Shu, Wei Zhai & Jianquan Cheng (2022). Spatiotemporal characteristics and influencing factors of urban resilience efficiency in the Yangtze River Economic Belt, China. Environmental Science and Pollution Research. volume 29, 39807–39826.
25. Zhan, D., Kwan, M. P., Zhang, W., Fan, J., Yu, J., Dang, Y. (2018). Assessment and determinants of satisfaction with urban livability in China, Cities, vol 79, PP 92-101.
26. Zhang, W., Li, W., Zhang, C., Ouimet, W. B, (2017), Detecting horizontal and vertical urban growth from medium resolution imagery and its relationships with major socioeconomic factors, International journal of remote sensing, vol 38(12), PP3704-3734.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی